

# Sustav za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

---

Rogulj, Katarina

Doctoral thesis / Disertacija

2018

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

<https://doi.org/10.31534/DocT.046.RogK>

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:265043>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-07**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT

  
dabar

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE  
I GEODEZIJE**

**Katarina Rogulj, mag.ing.aedif.**

**SUSTAV ZA PODRŠKU  
ODLUČIVANJU U PLANIRANJU  
OBNOVE POVIJESNIH  
CESTOVNIH MOSTOVA**

**Disertacija**

**Split, 2018.**

Katarina Rogulj, mag.ing.aedif.

Redni broj: 046

**Ova disertacija predana je na ocjenu  
Sveučilištu u Splitu,  
Fakultetu građevinarstva, arhitekture i geodezije  
u svrhu stjecanja akademskog stupnja  
doktora tehničkih znanosti u  
znanstvenom polju temeljne tehničke znanosti**

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Nikša Jajac

**Povjerenstvo za ocjenu:**

izv. prof. dr. sc. Deana Breški

prof. dr. sc. Jure Radnić

doc. dr. sc. Ivan Marović

**Povjerenstvo za obranu:**

izv. prof. dr. sc. Deana Breški \_\_\_\_\_

prof. dr. sc. Jure Radnić \_\_\_\_\_

doc. dr. sc. Ivan Marović \_\_\_\_\_

Rad je obranjen dana 25. rujna 2018.

Tajnica:

Saša Delić, dipl. iur.

**Rad sadrži:**

168 stranica teksta

6 fotografija

32 slike

39 tablica

167 citiranih referenci

*Mojoj obitelji*

*Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Nikši Jajcu na nesebičnoj pomoći u svim fazama izrade disertacije, na mnogim vrijednim savjetima te obogaćivanju znanjem i iskustvom.*

*Hvala prof. dr. sc. Juri Radniću na uloženom vremenu, korisnim savjetima i pomoći.*

*Hvala svima koji su na bilo koji način pomogli pri izradi ove disertacije.*

Katarina Rogulj, mag.ing.aedif.

## Sustav za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

### Sažetak:

Disertacijom je iskazano istraživanje uspostave sustava za podršku odlučivanju (SPO) u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova. Najprije su dane teorijske postavke i dosadašnja istraživanja SPO-a, objašnjenje pojma povijesnih cestovnih mostova, njihovih karakteristika i važnosti te potencijalnih metoda obnove. Nadalje je oblikovan i opisan novoformirani SPO te njegovi osnovni elementi: baza podataka, baza znanja, baza modela i dijalog. Težište istraživanja je u oblikovanju baze modela, unutar koje su razvijena četiri nova modela s kojima se ostvaruje glavni cilj istraživanja. Predstavljena je struktura baze podataka te su prikupljeni adekvatni podaci i potrebna znanja za formiranje baze znanja. Tako prikupljeni podaci i znanja utjecali su i na proces formiranja modela u bazi modela. Kroz tri razine odlučivanja, uspostavljena je interakcija među navedenim osnovnim elementima SPO-a te je predstavljena njegova funkcionalnost u teorijskoj razradi. Na operativnoj razini odlučivanja prikupljeni su podaci za bazu podataka kao što su: nazivi i lokacije mostova, podaci o karakteristikama mostova, metodama obnove, potrebama u smislu prostorno-funkcionalnih i financijskih upravljačkih ograničenja te ekspertnom vizualnom načinu procjenjivanja stanja mostova. Na taktičkoj razini definiran je način formiranja ciljeva i relevantnih kriterija za planiranje metode obnove pojedinačnog mosta. Izrađen je novi model koji pomaže pri donošenju taktičkih odluka o izboru metode obnove, baziran na tim kriterijima i višekriterijalnom pristupu uz korištenje metoda AHP i PROMETHEE. Nakon oblikovanja modela za taktičku razinu koja se bavi planiranjem obnove pojedinačnog mosta prešlo se na oblikovanje modela za planiranje obnove skupa mostova. Tako je predstavljena metodologija uspostave kriterija vrednovanja potrebnih za realizaciju novo razvijenog modela rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za aktivnost obnove. Ovo su strateški kriteriji te se kao rezultat primjene višekriterijalnih metoda (AHP, PROMETHEE i GAIA) dobio ukupni poredak analiziranih mostova. Među navedenim kriterijima posebno treba istaknuti doprinos ostvaren kroz definiranje kriterija kojim se opisuje stanje povijesnog mosta. Stoga je za tu potrebu izrađen novi pokazatelj nazvan indeks procjene stanja povijesnih cestovnih mostova (IPSPCM). Vrijednost, koja predstavlja ocjenu po tom kriteriju, iskazuje se indeksom koji je rezultat novo formiranog modela procjene stanja povijesnih cestovnih mostova. Ovaj model zasnovan je na kombiniranju definiranog načina provedbe ekspertne vizualne procjene stanja mosta, modificirane neizrazite (fuzzy) logike i odabrane višekriterijalne metode (AHP). Ukupni poredak mostova, dobiven kao rezultat modela rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za aktivnost obnove, uz definiranje potrebnih prostorno-funkcionalnih i financijskih ograničenja te njihove kombinacije, korišten je za realizaciju novo oblikovanog modela izbora upraviteljskog pristupa. Kao rezultat analiziranog modela, primjenom višekriterijalne metode PROMETHEE V, dobio se set mostova za obnovu na godišnjoj razini. Glavni doprinos disertacije je razvoj SPO-a kojim se pomaže krajnjem donositelju odluke provoditi planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova na sustavan, sistematičan i organiziran način. Validacija modela SPO-a napravljena je za slučaj povijesnih cestovnih mostova na području Splitsko-dalmatinske županije, izgrađenih za vrijeme ili prije Austro-Ugarske Monarhije.

**Ključne riječi:** sustav za podršku odlučivanju, višekriterijalna analiza, višekriterijalne metode, ekspertni sustavi, planiranje obnove, povijesni cestovni mostovi, IPSPCM



Katarina Rogulj, mag.ing.aedif.

## **A Decision Support System for the Historic Road Bridges Rehabilitation Planning**

### **Abstract:**

In this dissertation a study of a decision support system (DSS) establishment in the rehabilitation planning of historic road bridges is given. The theoretical background of DSS, historic road bridges explanation, their characteristics and importance and potential rehabilitation methods are presented at a beginning of dissertation. Furthermore, the newly formed DSS has been designed and described as well as its basic elements: database, knowledge base, model base and dialogue. The research focus was in designing the model base, within which four new models are developed. The structure of the database has been presented and adequate data are collected as well as required knowledge to form a knowledge base. The collected data and knowledge influenced the modeling process in the model base. Through three levels of decision-making, an interaction between the mentioned basic elements of the DSS was established and its functionality was introduced. At the operational level, data were collected for databases such as: name and location of bridges, bridge characteristics, rehabilitation methods, spatial-functional and financial constraints and expert visual bridge condition estimation. At the tactical level, the way of forming goal three and relevant criteria for an individual bridge rehabilitation method selection are defined. A new model has been developed to assist in making tactical decisions in the selection of rehabilitation methods, based on defined criteria and a multicriterial approach using the AHP and PROMETHEE methods. After design of the model on tactical level, the model for rehabilitation priority ranking of all historical bridges on strategic level is developed. Thus, the methodology for criteria establishing, necessary for the realization of the newly developed model, is presented. These are the strategic criteria and as a result of the multicriteria methods (AHP, PROMETHEE and GAIA) application, the overall ranking of the analyzed bridges was obtained. Among the above mentioned criteria, is the criterion that presents historic road bridge condition evaluation. Therefore, a new indicator called the Index of Historical Road Bridge Condition Rating (IHRBCR) was developed. The value of IHRBCR is the result of a newly established model of historic road bridges condition estimating. This model is based on combining a defined way of implementing expert visual bridge condition rating, modified fuzzy logic and multicriteria method (AHP). The overall rank of bridges, obtained as a result of the model for rehabilitation priority ranking of historic road bridges, with the definition of the necessary spatial-functional and financial constraints and their combination, was used for the realization of the newly developed model for manager's approach selection. As a result of the analyzed model, using the multicriteria method PROMETHEE V, a set of bridges for rehabilitation was obtained on an annual basis. The main goal of the dissertation is to develop a DSS that will assist the final decision-maker to carry out the rehabilitation planning of historic road bridges in the systematic and organized manner. The model was validated on the case of historic road bridges in the area of Split-Dalmatia County, built during or before the Austro-Hungarian Monarchy.

**Keywords:** decision support system, multicriteria analysis, multicriteria methods, expert systems, rehabilitation planning, historic road bridges, IHRBCR

# SADRŽAJ

<b>1. UOVD</b> .....	<b>1</b>
1.1. Definiranje predmeta istraživanja.....	2
1.2. Ciljevi i hipoteza istraživanja.....	5
1.3. Metodološke postavke istraživanja.....	6
1.4. Obrazloženje strukture disertacije .....	7
1.5. Znanstveni doprinos istraživanja .....	8
<b>2. TEORIJSKE POSTAVKE I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>10</b>
2.1. Odlučivanje i sustavna podrška odlučivanju .....	10
2.1.1. Teorijske odrednice odlučivanja .....	10
2.1.2. Sustavi za podršku odlučivanja.....	13
2.1.2.1. Razvoj sustava za podršku odlučivanju .....	13
2.1.2.2. Definiranje sustava za podršku odlučivanju .....	16
2.1.3. Višekriterijalno odlučivanje .....	22
2.1.3.1. Višekriterijalna analiza .....	23
2.1.3.2. Višekriterijalne metode .....	24
2.1.4. Ekspertni sustavi .....	31
2.2. Planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova.....	34
2.2.1. Planiranje i obnova - komponente upravljanja cestovnim mostovima .....	36
2.2.1.1. Pristupi i modeli u upravljanju cestovnim mostovima .....	40
2.2.1.2. Sustavna podrška odlučivanju u upravljanju cestovnim mostovima .....	41
2.2.2. Povijesni cestovni mostovi-razlozi njihove važnosti i potrebe očuvanja.....	42
2.2.3. Metode obnove povijesnih cestovnih mostova .....	44
<b>3. DEFINIRANJE TEORIJSKOG MODELA SUSTAVA ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU U PLANIRANJU OBNOVE POVIJESNIH CESTOVNIH MOSTOVA</b> .....	<b>47</b>
3.1. Model sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova .....	47
3.1.1. Hijerarhijske razine sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova .....	50

3.1.2.	Interakcija elemenata komponenti sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova.....	52
3.2.	Struktura podsustava upravljanja modelima za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova.....	58
3.2.1.	Model procjene stanja povijesnih cestovnih mostova.....	59
3.2.2.	Model rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove.....	73
3.2.3.	Model podrške u izboru upraviteljskog pristupa prilikom planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova .....	80
3.2.4.	Model izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta .....	84
<b>4.</b>	<b>VALIDACIJA MODELA SUSTAVA ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU U PLANIRANJU OBNOVE POVIJESNIH CESTOVNIH MOSTOVA .....</b>	<b>90</b>
4.1.	Prikaz prikupljenih podataka iz analize povijesnih cestovnih mostova.....	90
4.2.	Validacija modela procjene stanja povijesnih cestovnih mostova .....	97
4.3.	Validacija modela rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti bonove.....	130
4.4.	Validacija modela podrške u izboru upraviteljskog pristupa prilikom planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova .....	148
4.5.	Validacija modela izbora obnove povijesnog cestovnog mosta.....	155
4.6.	Praktične znanstvene spoznaje o stanju i načinu planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova Splitsko-dalmatinske županije .....	163
<b>5.</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>166</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>169</b>
	<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>182</b>
	<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>184</b>
	<b>POPIS FOTOGRAFIJA .....</b>	<b>186</b>
	<b>POPIS KRATICA .....</b>	<b>187</b>
	<b>ŽIVOTOPIS AUTORA .....</b>	<b>189</b>

## 1. UVOD

Građevinarstvo se po svojoj prirodi bavi rješavanjem pojedinačnih tehničkih problema, ali i problematikom tehničkih sustava kakvi su primjerice infrastrukturni sustavi (cestovni, vodoopskrbe i odvodnje, gospodarenja otpadom, itd.). Važan aspekt građevinarstva, osim oblikovanja tehničkih rješenja za date probleme, je i upravljanje tehničkim sustavima čiji je sastavni dio planiranje i s njim povezano odlučivanje. Pritom je od izuzetne važnosti primijeniti integralni pristup u upravljanju, posebno u fazi planiranja, u kojeg se uključuju različiti dionici, podaci i informacije relevantne za građevinske probleme. Takvim pristupom bi se došlo do boljih izbora između više ponuđenih varijantnih rješenja odnosno odluka, ukoliko se pod odlučivanjem smatra proces izbora između više inačica rješenja za promatrani problem. Naime, boljim projektantskim rješenjima uklopljenim u razrađene planove, primjerice razvoja i održavanja infrastrukturnih sustava, postiže se kvalitetnije upravljanje pojedinim elementom, ali i sustavom u cjelini. Prethodno navedenim identificirana je i preciznije određena važna funkcija tj. element upravljanja - planiranje. Planiranje upravljanja ili još preciznije planiranje poduzimanja graditeljskih aktivnosti na infrastrukturnim sustavima okarakterizirano je kompleksnim odlučivanjem jer ono uključuje i vremensku dimenziju koja daje dinamiku ukupnom procesu upravljanja. Također, upućuje na postojanje utjecaja te ovisnosti između elemenata sustava i realizacije njihovih zadaća, ali i elemenata na sustav u cjelini. Dakle, može se zaključiti kako je dinamika infrastrukturnih sustava vrlo intenzivna, a kada se planira upravljanje takvim sustavom, proces odlučivanja tijekom planiranja dodatno se komplicira. Treba, pritom, razlikovati planiranje vezano uz cijeli sustav i ono vezano uz njegove dijelove/elemente te njihovo neizbježno prožimanje. Osim toga, planirati se mogu i različite faze u procesu upravljanja. Odlučivanje tijekom pripreme projektantskih rješenja i izrade planova upravljanja od iznimne je važnosti i predstavlja područje interesa značajnog broja istraživanja u posljednje vrijeme. Navedeno upućuje na aktualnost i značajan prostor za istraživanje mogućnosti unaprjeđivanja istog. Ako se fokus postavi na upravljanje cestovnim infrastrukturnim sustavom, tada se može govoriti o upravljanju građevinskim aspektima osnovne mreže prometnica i o upravljanju njezinim složenijim elementima kao što su mostovi te s njima povezanim planiranjem. Također, postaje i vrlo jasan utjecaj upravljačkih odluka vezanih uz mostove na funkcioniranje mreže prometnica. Takav utjecaj može biti privremen ili trajan. Upravljanje mostovima otvara novi spektar građevinsko-upravljačkih problema u fazi planiranja, koje postaje još složenije ako se interes usmjeri na planiranje upravljanja specifičnih među njima (kao što su povijesni cestovni mostovi).

## 1.1. Definiranje predmeta istraživanja

Upravljanje mostovima uključuje sve aktivnosti tijekom vijeka trajanja mosta od izgradnje do zamjene, s ciljem osiguranja njegove sigurnosti i funkcionalnosti. Također, trebalo bi uključiti i identifikaciju (izradu i ažuriranje registra) i procese zaštite vrijednih mostova, planiranje sustava njihova održavanja te osiguranja funkcioniranja cestovnog sustava i povezanih troškova, što gotovo u pravilu nije slučaj. Istraživanjem problematike u sustavu planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova uočeno je niz problema koji se prvenstveno odnose na organizaciju planiranja te na ulogu odlučivanja u planiranju. Planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova, kao ključnih elemenata cestovne infrastrukture, od velike je važnosti zbog povećane količine prometa, lošeg stanja odnosno oštećenosti mostova, ali i zbog njihovog povijesnog značaja koji se reflektira u brojnim sferama društveno-gospodarskog života nekog područja. Neki od navedenih mostova dio su materijalne kulturne baštine, dok su neki nepravедno zapostavljeni u tom pogledu, stoga bi ih se trebalo valorizirati i u istu uključiti ukoliko se taj proces za pojedini most zaključi opravdanim. Kompleksnost postaje tim izraženija jer je u slučaju povijesnih cestovnih mostova potrebno izvršiti snimanje stanja i identificirati oštećenja mostova kako pojedinačno tako i svih mostova, koji su pod ingerencijom nekog upravljačkog tijela, u cjelini. Potom je potrebno donijeti odluke vezane uz izbor pristupa aktivnostima unaprjeđenja njihove funkcionalnosti i odabira metode obnove, ako za to postoji potreba. Osim toga, treba se i preciznije definirati što su to povijesni mostovi. Stoga se ovo istraživanje usmjerilo na planiranje obnove mostova izgrađenih za vrijeme ili prije vladavine Austro-Ugarske Monarhije, na kojima se odvija cestovni promet različitog intenziteta. Kao područje istraživanja definirano je područje Splitsko-dalmatinske županije (SDŽ). Ovim je definiran vremenski i prostorni obuhvat istraživanja.

Sve navedeno predstavlja ishodište razvoja interesa istraživanja mogućnosti modeliranja sustava kojim bi se unaprijedilo planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova. Problemi i izazovi, koji iz potrebe upravljanja istima proizlaze, različite su prirode. Neki od njih nalaze se u opće društvenim potrebama kao što su zahtjevi za zaštitom i prezentiranjem kulturne baštine, zahtjevi za ekonomskom održivosti i funkcionalnosti takvih specifičnih objekata u okviru cestovne infrastrukture, njihovoj dostatnosti u odgovaranju na zahtjeve suvremenog cestovnog prometa, unaprjeđenju razine uslužnosti cestovne infrastrukture kojoj pripadaju, unaprjeđenju ostvarivanja prometnih tokova radi zadovoljavanja potreba stanovništva i gospodarstva za transportom općenito, osiguranju prihvatljive razine stanja mosta u smislu sigurnosti mostova i njegovih dijelova. Navedene je probleme izazov promatrati kroz njihovu zajedničku poveznicu koju čine

građevinski aspekti upravljanja takvim specifičnim objektima postavljenim u dinamički sustav kakva je cestovna infrastruktura. Pod pojmom građevinskih aspekata podrazumijevaju se građevinska rješenja za pojedinačne probleme na koje se nailazi na mostovima i koje je nužno rješavati. Navedeno je potrebno odraditi radi osiguranja uporabljivosti mostova za cestovni promet, proces projektiranja i njegova priprema u smislu izrade projektnog zadatka, analiziranje metoda i tehnika koje se prilikom obnove mogu primijeniti, analiziranje varijantnih projektnih rješenja i planiranje provedbe obnove, ali i održavanja kako pojedinačnog mosta tako i svih koji se nalaze unutar sustava kojim se upravlja. Svi navedeni aspekti odlikuju se velikim brojem raznovrsnih tehničkih/gr građevinskih relevantnih podataka i informacija, velikim brojem dionika i odrednica prvenstveno proizašlih iz legislative građevinske struke te konzervatorske djelatnosti i djelatnosti zaštite prirode. Prethodno navedeno potrebno je staviti u kontekst zakonom određenih pravnih subjekata/tijela koja su zadužena za upravljanje cestovnom infrastrukturom, kao i njihovoj interakciji s ostalim dionicima, što predstavlja dodatni istraživački izazov. Istovremeno daju motivaciju za pronalaženje rješenja koja odgovaraju identificiranim, upravljačkim funkcijama na svim razinama tijela upravljanja koje po svojoj prirodi i zakonskoj obvezi obavljaju inženjerke i inženjeri građevinarstva. Od strateške razine planiranja razvoja ukupne cestovne infrastrukture na nekom području, preko taktičke razine upravljanja razvojem funkcionalnosti pojedinih elemenata infrastrukture (u ovom slučaju mostova) pa sve do operativne razine monitoringa i planiranja poduzimanja aktivnosti obnove, proizašle su ključne odrednice kojima se može definirati istraživački problem, a to je planiranje i povezano odlučivanje te podrška, modeliranje, metode i tehnike obnove povijesnih cestovnih mostova.

Istražujući dostupnu literaturu vezanu uz tematiku upravljanja cestovnom infrastrukturom kao i praksu upravljanja u SDŽ, ali i Republici Hrvatskoj, uočeno je da o odlukama vezanim uz poboljšanje stanja i unaprjeđenje funkcionalnosti povijesnih cestovnih mostova uglavnom nema ni spomena. Na temelju navedenog može se zaključiti kako bez provedbe takvih akcija će, prije ili kasnije, doći do isključenja takvih mostova iz sustava cestovne infrastrukture zbog njihove neprikladnosti, a u nekom kasnijem trenutku i do njihova samourušavanja. Odluke o obnovi uglavnom su ad hoc prirode i odnose se na nužne sanacije radi osiguranja njihove uporabljivosti i stabilnosti. Donose se u pravilu subjektivnom prosudbom čije su karakteristike izrazita nepripremljenost zbog zahtjevane hitnosti te nedostatka obrade i izvođenja kvalitetnih zaključaka iz velikog broja raznovrsnih podataka i informacija, prvenstveno tehničke te društvene, ekološke i ostale prirode.

Iz svega navedenog može se uočiti složenost navedenog problema te bi zbog toga bilo nužno subjektivnu prirodu odlučivanja o planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova pokušati

zamijeniti s primjenom odgovarajućeg sustava za podršku odlučivanju (SPO) kao pomoćnog „alata“ upraviteljima cestovne infrastrukture, planerima, voditeljima građevinskih projekata, građevinskim projektantima i ostalima u rješavanju opsežnog spektra problema, s posebnim naglaskom na građevinske (organizacijske, tehničke i tehnološke) aspekte obnove i osiguranja funkcionalnosti mostova.

SPO služi za modeliranje ljudskog razmišljanja i procesa odlučivanja, pri tom, prihvaća činjenice dobivene od korisnika, procesira ih te predlaže rješenja bliska onima koja su uspostavili eksperti. Takvim sustavom omogućila bi se potpora u rješavanju dobro i slabo strukturiranih te nestrukturiranih zadataka planerskog odlučivanja, te bi se u njegovoj bazi modela razvili odgovarajući kvantitativni modeli kojima bi se poboljšalo planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova, po pitanju njihove tehničke/konstruktivne uporabljivosti, održivosti u korištenju u okviru cestovnog sustava i povijesnog značenja, te unaprijedila strateška razina planiranja i donošenja odluka u tim procesima. Prethodno navedeno je potrebno jer postoji nedostatak podrške upraviteljima cestovne infrastrukture, planerima, projektantima, voditeljima projekta i ostalima u procesima odlučivanja tijekom upravljanja, planiranja, projektiranja i iznalaženja odgovarajućih građevinskih rješenja te tijekom provedbe građevinskih projekata kao što je obnova mostova.

Uspostavom svega navedenog, moglo bi se potaknuti davanje "novog života" povijesnim cestovnim mostovima tj. poboljšati njihovo trenutno stanje i funkcionalnost u okviru cestovne infrastrukture, ali i postići širi doprinos društvu kroz potaknute aktivnosti u turizmu, ekologiji i drugim sektorima. Također, mogu se identificirati osnovni informacijski tokovi, uska komunikacijska grla i izraditi modeli kojima se mogu podržati upravljačke odluke u procesima monitoringa, planiranja održavanja i razvoja, pripreme projektiranja, organizaciji i tehnologiji građenja, tijekom vođenja projekata u svrhu unaprjeđenja kvalitete planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Konkretni doprinosi će se dati za područje na kojem će se testirati funkcionalnost predloženog SPO-a u smislu identifikacije povijesnih cestovnih mostova na području SDŽ-a, oblikovanja načina i planova poduzimanja aktivnosti monitoringa, poboljšanja stanja i unaprjeđenja funkcionalnosti te njihove obnove.

Proučavanjem postojeće literature u području predstavljene teme istraživanja, može se zaključiti kako navedena problematika do sada nije istraživana tj. navedeni pristup (izrada ovakvog specifičnog SPO-a) nije korišten u slučaju planiranja obnove cestovnih mostova povijesnog značenja, a pogotovo ne SPO koji svoje funkcioniranje temelji na višekriterijalnoj analizi i višekriterijalnim metodama te ekspertnom sustavu.

## 1.2. Ciljevi i hipoteza istraživanja

Glavni cilj disertacije jest poboljšati kvalitetu procesa odlučivanja u oblikovanju projektnih zadataka i ostalih aktivnosti planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova (skupa i/ili pojedinačnih mostova). Uz glavni cilj postavljaju se sljedeći specifični ciljevi istraživanja koji su podijeljeni u tri skupine kako je navedeno niže.

### 1) Ciljevi istraživanja za stolom i na terenu:

- Izraditi teorijsku podlogu za uspostavu modeliranja SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova utemeljenu na pregledu dosadašnjih istraživanja;
- Identificirati povijesne mostove unutar područja istraživanja, snimiti i dokumentirati njihovo stanje (prikupiti podatke) i analizirati prikupljene podatke;
- Uspostaviti sistematizirani pregled povijesnih cestovnih mostova (popis) i dati sintezu podataka njihova stanja unutar područja istraživanja (SDŽ) kojim su identificirane ključne odrednice i podaci, posebno građevinske prirode, za planiranje obnove (sa svim njihovim relevantnim karakteristikama i pripadajućom fotodokumentacijom);
- Provesti strukturirane i/ili nestrukturirane (neformalne) intervjuje i druge oblike razgovora s donositeljima odluka i stručnjacima u području istraživanja te identificirati njihove stavove i odrednice njihova odlučivanja o planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova.

### 2) Ciljevi u definiranju modela i metodologija:

- Definirati metode obnove povijesnih cestovnih mostova te izraditi prikladni model njihova vrednovanja zasnovan na korištenju višekriterijalnih metoda u svrhu izbora odgovarajuće, za obnovu pojedinog mosta;
- Predložiti model za prioritarno rangiranje skupa povijesnih cestovnih mostova prema potrebi za poduzimanjem aktivnosti obnove mostova zasnovan na angažiranju i kombiniranju više višekriterijalnih metoda;
- Predložiti metodologiju za unaprjeđenje konzistentnosti odlučivanja u prethodno predloženim modelima provedbom ciljne analize i formiranjem opće hijerarhijske strukture ciljeva u obliku stabla ciljeva koja odražava stavove identificiranih relevantnih skupina dionika u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova;
- Definirati upraviteljske pristupe za planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova, koji uzimaju u obzir financijske, prostorno-funkcionalne parametre te njihovu kombinaciju, a koji su zasnovani na kombiniranju rezultata proritetnog rangiranja i cjelobrojnog linearnog programiranja;



- Izraditi metodologiju kojom bi se umanjila nesigurnost/nepouzdanost u procjeni stanja povijesnih cestovnih mostova vizualnim pregledom, korištenjem kombinacije fuzzy logike i višekriterijalne metode;

3) Ciljevi analize, sinteze i obrazlaganja ostvarenih rezultata i spoznaja:

- Prikazati i obrazložiti rezultate provedenih istraživanja i jasno iskazati zaključke;
- Prikazati konkretne spoznaje istraživanja i rezultate testiranja na realnom primjeru koje su od značaja za Splitsko-dalmatinsku županiju i Republiku Hrvatsku kao što su identifikacija povijesnih cestovnih mostova, provedba pregleda trenutnog stanja, izrada plana obnove i modela njegove uspostave, izbor odgovarajućih metoda obnove konkretnih mostova i sl.

Proces odlučivanja pri planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova često je nekonzistentan što je posljedica kompleksnosti navedene problematike, ali i velikog broja dionika. Osiguranjem konzistentnosti modela SPO-a može se pridonijeti prevladavanju problema odlučivanja. Stoga će, navedeno znanstveno istraživanje, rezultirati razvojem novog modela SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova, pa se postavlja hipoteza:

*H: Moguće je uspostaviti novi model sustava za podršku odlučivanju, temeljen na višekriterijalnoj analizi i ekspertnom sustavu, kojim se unaprjeđuje kvaliteta odlučivanja u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova.*

### **1.3. Metodološke postavke istraživanja**

Za ovu disertaciju istraživanje je podijeljeno na istraživanje na terenu i istraživanje za stolom. Terensko istraživanje obuhvaća izradu plana terenskog istraživanja, razmatranje, fotografiranje, zapisivanje karakteristika mostova, vođenje zapisnika o pregledu mostova te su se prikupljeni podaci iskoristili za daljnji rad za stolom. Također, odrađeni su i slobodni intervjui/neformalni oblici razgovora sa stručnjacima i osobama čije je područje struke i prakse usmjereno na područje istraživanja. Istraživanjem za stolom analizirala se postojeća znanstvena literatura vezana za tematiku teorije i podrške odlučivanju, višekriterijalnu analizu i višekriterijalne metode te ekspertne sustave, upravljanje cestovnim infrastrukturnim sustavom u kojem se više pažnje dalo planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova te strukturiranju i analiziranju podataka prikupljenih s terena.

Koristila se induktivna i deduktivna metoda, kao i metode sinteze i analize u izradi teorijskog modela SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova. Metoda dedukcije i analize

poslužile su tokom izbora i proučavanja literature, a metoda indukcije i sinteze te metoda slobodnog intervjua koristila se prilikom izrade teorijskog modela. Metoda modeliranja i metoda simulacije koristile su se za empirijski dio istraživanja. Metodom modeliranja izradio se niz modela za podršku procesima odlučivanja o problematici planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Pri tom su se koristile metode višekriterijalnog odlučivanja. Metodom simulacije su se testirali modeli i pokazala se njihova funkcionalnost. Definirao se Indeks procjene stanja povijesnih cestovnih mostova (IPSPCM), kombinacijom fuzzy logike i metode višekriterijalne analize, koji se temelji na ISM-u (Indeks stanja mosta, *eng.* Bridge Condition Index (BCI)) i koji uvažava specifičnosti povijesnog cestovnog mosta. Na taj način se planerima, projektantima, voditeljima projekata i drugim sudionicima u upravljanju povijesnim mostovima omogućuje konzistentnija i kvalitetnija obnova takvih mostova.

#### **1.4. Obrazloženje strukture disertacije**

Disertacija je organizirana u pet poglavlja. Prvo poglavlje daje definiciju predmeta istraživanja, drugo poglavlje opisuje SPO i daje opsežan prikaz dosadašnjih istraživanja u navedenom području. Treće poglavlje definira potrebne i adekvatne modele, a u četvrtom poglavlju dana je validacija novorazvijenih modela. Peto poglavlje je zaključak.

U prvom poglavlju definiran je problem istraživanja i prikazana su temeljna i najnovija dostignuća iz istraživačkog područja. Definirana je metodologija rada, ciljevi i očekivani doprinosi istraživanja.

Drugo poglavlje odnosi se na identificiranje okvira istraživanja kroz istraživanje pristupa i metoda. Obrazložene su ključne odrednice SPO-a, razvoj njegove teorije i primjene (u različitim istraživačkim područjima). Nadalje je obrađen razvoj i spoznaje o SPO-ima u planiranju obnove mostova s naglaskom na povijesne cestovne mostove. Posebna se pažnja posvetila višekriterijalnoj analizi, višekriterijalnom odlučivanju i metodama AHP, PROMETHEE, GAIA. Prikazane su temeljne odrednice ekspertnih sustava (neizrazita (fuzzy) logika). Također, prikazan je pregled literature dosadašnjih istraživanja u području upravljanja mostovima i primjene SPO-a. Poseban se naglasak stavio na definiranje pojma povijesnih cestovnih mostova, njihovog značenja i karakteristika. Navele su se temeljne karakteristike i pristupi planiranja obnove povijesnih mostova, identificirale su se i opisale raspoložive metode njihove obnove.

U trećem poglavlju prikazao se i opisao predloženi model SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova. Najprije se iskazala struktura predloženog SPO-a s navođenjem njegovih osnovnih komponenti i iskazivanjem funkcionalnih odnosa među njima u kontekstu donošenja

upravljačkih odluka o obnovi. Navedeno je ostvareno grafičkim prikazom i opisom arhitekture i funkcionalnosti predloženog SPO-a bez provedbe programiranja. Nakon toga se iskazala struktura baze podataka i baze modela s težištem na posljednju. Priložio se shematski prikaz baze podataka i odnosa među podacima kao i odnos pojedinih podataka s bazom modela. Opis baze podataka zadržao se na utvrđivanju načina na koji se formira i na koji se njome upravlja te na vrstama podataka i njihove strukturiranosti unutar iste. Baza modela opisala se na način da se predstavio odnos pojedinih modela, načini njihova kombiniranja pri uporabi i naravno funkcioniranje i namjena svakog od njih. Prikazala se shema svakog modela te njegova provedba, što uključuje definiranje vrste i oblika za model zahtijevanih ulaznih podataka kao i očekivane rezultate tog modela. Modul dijalog također se obradio, ali kako u njemu nije ostvaren znanstveni doprinos posvetila mu se relativno najmanja pozornost.

U četvrtom poglavlju prikazala se provedba validacije kao i rezultati validacije razvijenog modela SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova. Validacija navedenog SPO-a provela se na mostovima koji su pod upravom Županijske uprave za ceste Splitsko-dalmatinske županije (ŽUC SDŽ) na području SDŽ-a. Najprije se dao opis funkcioniranja predloženog modela za rješavanje problema odlučivanja u planiranju obnove navedenih mostova. Dalje se nastavilo s opisom načina prikupljanja i analiziranjem prikupljenih podataka, prikazom sistematiziranih prikupljenih podataka te njihovom obradom kroz modele predloženog SPO-a. Obrazložili su se rezultati svih modela pojedinačno i izvršenja predloženog SPO-a u cjelini s naglaskom na njihov utjecaj na oblikovanje planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova, procjene stanja mostova te izbor metode za obnovu mostova analiziranih unutar područja istraživanja. Potom su se dale praktične spoznaje o stanju i pristupu planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova SDŽ-a, s prijedlogom načina unaprjeđenja upravljanja njihovom obnovom. Na kraju disertacije, u petom poglavlju prikazao se, kroz zaključna razmatranja, sveukupni doprinos istraživanja.

## **1.5. Znanstveni doprinos istraživanja**

Postojeća iskustva i metode (posebno višekriterijalne), oblikovani novi modeli zasnovani na njima, njihovim kombinacijama i modificiranoj fuzzy logici, a svi uklopljeni u jedinstveni funkcionalni sustav, postavka su istraživanja koje se iskazuje disertacijom. Istraživanjem i njegovim rezultatima proširuju se dosadašnje spoznaje i doprinosi se razvoju SPO-a u području planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova kao integralnom pristupu ovoj temi. Poseban doprinos iskazuje se u oblikovanju metodologije za procjenu stanja povijesnih cestovnih

mostova koja je do danas zbog svojih posebnosti vrlo malo obrađivana te njezino uklapanje i stavljanje u donos s drugim relevantnim odrednicama u procesu planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Pristup rješavanju zadaća u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova, koje se iskazuje uspostavom novog i odgovarajućeg (validiranog) SPO-a, pridonosi cjelovitosti planiranja i pridruženog odlučivanja. Predloženim istraživanjem definira/oblikuje se model SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova te se ostvaruje sljedeći znanstveni doprinos:

- Definiranje arhitekture i funkcionalnosti novog SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova s iskazanim strukturama baze relevantnih podataka i baze inovativnih modela kojima se unaprjeđuje integralno planiranje obnove;
- Oblikovanje modela za procjenu stanja povijesnih cestovnih mostova kojim se kao rezultat dobiva indeks procjene stanja povijesnih cestovnih mostova (IPSPCM);
- Oblikovanje modela za rangiranje mostova iz analiziranog skupa prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove kao kvalitetne podloge za integralno i inkluzivno planiranje obnove s posebnim naglaskom na definiranje relevantnih kriterija za provedbu rangiranja među kojima treba izdvojiti IPSPCM;
- Oblikovanje modela za izbor metode obnove povijesnog cestovnog mosta kao podrške investitorima i projektantima u fazi planiranja obnove pojedinačnog mosta posebno pri izradi projektnog zadatka;
- Oblikovanje modela za podršku u izboru upraviteljskog pristupa planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova s obzirom na financijske i prostorno-funkcionalne odrednice te njihovu kombinaciju. Modelom se unaprjeđuje održivost procesa obnove mostova unutar promatranog cestovnog sustava i to kroz unaprjeđenje kvalitete planiranja dinamike obnove mostova i potrebnih odgovarajućih financijskih sredstava;

Praktični doprinosi utemeljeni na rezultatima znanstvenih doprinosa:

- Praktične spoznaje o stanju i sadašnjem načinu planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova SDŽ-a s prijedlogom konkretnih mjera, metoda obnove pojedinačnog mosta i prijedlogom načina unaprjeđenja upravljanja obnovom povijesnih cestovnih mostova u okviru nadležnosti Županijske uprave za ceste SDŽ.

## 2. TEORIJSKE POSTAVKE I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

U poglavlju se prikazuju dosadašnja istraživanja sustavne podrške odlučivanju. Najprije je dana definicija i ključne stavke teorije odlučivanja, zatim razvoj SPO-a, njegova definicija i koncept. Dalje se nastavlja s objašnjenjem ekspertnih sustava, višekriterijalnog odlučivanja i višekriterijalne analize te njihovom ulogom u SPO-u. Potom se definiralo značenje povijesnih cestovnih mostova kao i pojma planiranja njihove obnove te su se opisale raspoložive metode obnove.

### 2.1. Odlučivanje i sustavna podrška odlučivanju

Potpoglavlje je podijeljeno u četiri dijela. U prvom dijelu opisuju se važne značajke procesa odlučivanja, hijerarhijske razine odlučivanja i upravljanja. Drugi dio opisuje SPO-a, njegov koncept i komponente te prikazuje međusobnu interakciju komponenata. U trećem dijelu definira se višekriterijalno odlučivanje koje se temelji na višekriterijalnoj analizi i višekriterijalnim metodama, a četvrti dio opisuje ekspertne sustave i njihovu ulogu u SPO-u te se daje koncizan opis neizravne logike.

#### 2.1.1. Teorijske odrednice odlučivanja

Odlučivanje, kao proces u širokoj uporabi koji se koristi i u osobnom životu i u poslovnom svijetu, važan je i nezaobilazan aspekt svakidašnjice. Donošenje odluke u svakodnevnom životu je uglavnom intuitivno, no poslovno odlučivanje nosi sa sobom visoku odgovornost i kompleksnost zbog velike količine varijabli, koje utječu na odluku, i posljedica nastalih određenom odlukom. Za odlučivanje je važno da se radi o procesu koji traje dulje ili kraće vrijeme, sastoji se od faza ili koraka koji se provode pri donošenju odluke i u kojem se vrši izbor dvije ili više mogućnosti, da bi se riješio određeni problem.

Poslovno odlučivanje je temelj upravljanja, što su potvrdili mnogi autori za koje je upravljanje donošenje odluka ili tvrde da je odlučivanje osnovni element upravljačke djelatnosti (Sikavica, 1999).

Zajedno s razvojem informacijskih sustava, odlučivanje uključuje sve veću količinu informacija te kompleksni proces analize i sinteze tih informacija. Sposobnost prikupljanja, obrade i analize

informacija potrebnih za proces odlučivanja prelazi ljudske mogućnosti (Claudilu, 2007). Prema Mintzberg (1980) upravitelji imaju deset glavnih uloga koje se mogu svrstati u tri važne kategorije: interpersonalna, informativna i odlučujuća. Za obavljanje tih uloga, upravitelji trebaju informacije koje informacijski sustav dostavlja učinkovito i brzo.

Odlučivanje je proces selekcije između različitih načina djelovanja kako bi se postigao jedan ili više ciljeva. Prema Simon (1977) upraviteljska odluka slična je cjelovitom upravljačkom procesu. S obzirom na funkcije upravljanja, može se kazati da planiranje, organizacija i kontrola uključuju niz odluka: Što treba učiniti? Kada? Gdje? Od koga?

Niz stručnjaka različitim modelima prikazao je procesa odlučivanja, no najpoznatiji je onaj model dobitnika Nobelove nagrade H. T. A. Simona. Njegov individualni rad (Simon, 1960) i zajednička istraživanja s A. Newellom (Newell i Simon, 1972) afirmirali su temelje za ljudske modele odlučivanja. Simon (1977) definira osnovni model za odlučivanje u upravljanju kao proces u četiri faze:

- spoznaja problema: identifikacija problema koji zahtijeva odluku i skup informacija relevantnih za odluku;
- dizajn: kreiranje, razvoj i analiziranje akcija;
- izbor: među ponuđenim akcijama izabrati jednu;
- implementacija: provođenje odabrane akcije.

Proces odlučivanja upada u kontinuum koji se kreće od visoko strukturiranih (ponekad spomenutih kao programiranih) do visoko nestrukturiranih (neprogramiranih) odluka (Averweg, 2012). Strukturirani procesi se odnose na rutinske i ponavljajuće probleme za koje već postoje standardna rješenja, a nestrukturirani procesi su "opskurni" i za njih ne postoje definirane solucije. Polustrukturirani problemi nalaze se između strukturiranog i nestrukturiranog problema te uključuju kombinaciju standardnih postupaka rješavanja i individualne prosudbe. U strukturirane odluke koje se donose pomoću dobro strukturiranih procesa, mogu se navesti ulazi, rezultati i interni postupci koji se odnose na faze odlučivanja (pripremu odluka, donošenje odluka i realizacija). Bilo koja faza odlučivanja za koju je navedeno važeće zove se faza strukturiranih odluka. Za nestrukturirane odluke tri navedene faze odluke nisu jasno strukturirane. To se događa jer je odluka koju treba donijeti ili nova ili nije dovoljno proučena. U tom slučaju računala mogu pomoći korisnicima u izradi nestrukturiranih odluka. Određeni aspekti polustrukturiranih odluka djelomično su strukturirani, ali ih se ne može uvrstiti u kategoriju strukturiranih odluka, što znači da su strukturirane samo jedna ili dvije od tri faze. Većina odluka neke tvrtke uvrštena je u ovu kategoriju (Gorry i Morton, 1971).

Tri su osnovne podjele odluka koje odgovaraju razinama upravljanja: *strateške odluke* (utječu na cijelu organizaciju dugoročno, na njezine ciljeve i strategije te se odnose na planiranje razvoja sustava, donose se na najvišoj (strateškoj) razini upravljanja), *taktičke odluke* (omogućavaju realizaciju strateških odluka, donose se na srednjoj (taktičkoj) razini upravljanja) *te operativne odluke* (utječu na trenutne, a ne na buduće aktivnosti organizacije, glavna zadaća ove odluke je prikupljanje, obrada i slaganje podataka koji se prenose na više razine upravljanja za potrebe kvalitetnog procesa odlučivanja, donosi se na najnižoj (operativnoj) razini upravljanja).

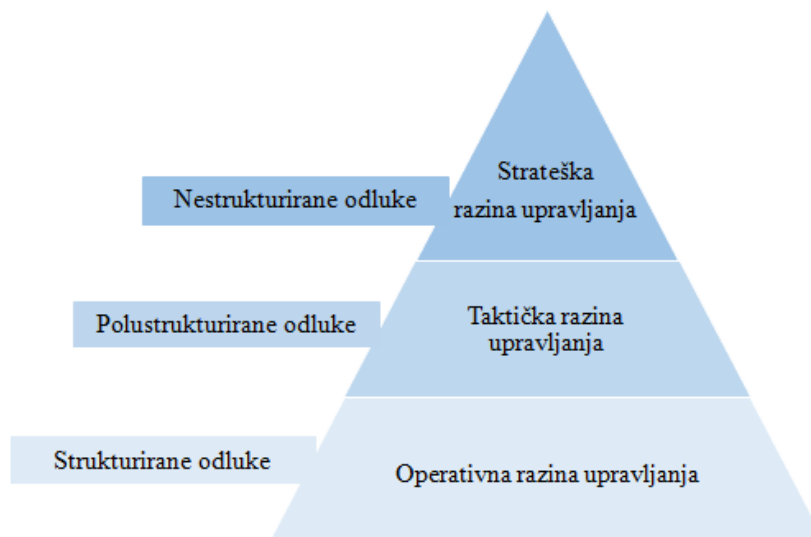
Načini donošenja odluka te pripreme za odlučivanje se razlikuju od slučaja do slučaja, kao i metode koje se primjenjuju. Tri su razine upravljanja (Anthony, 1965):

*Operativna razina* - najniža razina upravljanja i odlučivanja, a osnovni joj je zadatak prikupljanje (primjerice, prikupljanje podataka o povijesnim cestovnim mostovima za rješavanje projektnog zadatka tj. izbor metode obnove mosta) te analiziranje podataka (rangiranje metoda obnove korištenjem metoda višekriterijalne analize) u svrhu operativnog upravljanja i odlučivanja ili pripreme podloge za više razine upravljanja i odlučivanja. Na operativnoj razini donose se strukturirane odluke.

*Taktička razina* - iz ciljeva sa strateške razine te raspoloživih podataka s operativne razine upravljanja, na ovoj se razini donose taktičke odluke (primjerice izbor metode obnove za povijesni cestovni most) koje povećavaju učinkovitost realizacije projekta te se razvijaju alternativna rješenja u skladu s određenim ciljevima. Na ovoj razini donose se polustrukturirane odluke.

*Strateška razina* - najviša razina upravljanja i odlučivanja u kojoj donositelj odluka odlučuje o kompromisnom rješenju te o strategiji upravljanja sustavom (primjerice, planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova kao specifičnim elementima cestovne infrastrukture koje je zbog svoje opsežnosti i kompleksnosti teško izvedivo u jednom investicijskom ciklusu) na detaljno pripremljenoj podlozi svih mogućih solucija o upravljanju određenim sustavom. Na strateškoj hijerarhijskoj razini donose se nestrukturirane odluke.

Na slici 2.1. su prikazane hijerarhijske razine upravljanja i odlučivanja prethodno objašnjene s vrstama odluka prema strukturiranosti



Slika 2.1. Prikaz hijerarhijskih razina upravljanja i odlučivanja (autor prilagodio prema: O'Brien i Marakas, 2011)

Kao podrška složenom odlučivanju i rješavanju problema, robustan, visoko kvalitetan i efikasan pristup pokazao se sustav za podršku odlučivanju (SPO) čiji su originalan koncept najjasnije definirali Gorry i Scott Morton (1971) na način da su integrirali Anthonyevu kategorizaciju upraviteljskih razina (Anthony, 1965) i Simonovu (1960) podjelu prema vrsti odluka.

### 2.1.2. Sustavi za podršku odlučivanju

SPO-i su jedni od najsloženijih informacijskih sustava. Koriste se kao potpora odlučivanju kod polustrukturiranih i nestrukturiranih, ali i kod rutinskih problema. Moraju biti dovoljno jednostavni i naklonjeni korisniku kako bi bili što pristupačniji te moraju biti fleksibilni kako bi prihvatili promjene u načinu odlučivanja ili u zadanom problemu te u skladu s tim dali kvalitetan odgovor na te promjene. Nadalje je prikazan razvoj i opis komponenata SPO-a.

#### 2.1.2.1. Razvoj sustava za podršku odlučivanju

Tijekom proteklih šezdeset godina, područje informacijskih sustava znatno je uznapredovalo. Prije 1965. bilo je izuzetno skupo izgraditi informacijski sustav velikih razmjera. Uspostavljanje IBM System/360 i drugih snažnijih procesorskih sustava omogućilo je praktičniju i ekonomičniju izgradnju upravljačkih informacijskih sustava (engl. *Management Information Systems-MIS*). MIS je bio usredotočen na pružanje podrške upravljanju s dobro strukturiranim, periodičnim izvješćima koji su uglavnom bili iz računovodstvenih i transakcijskih sustava



(Power, 2002). Izvješća dobivena iz MIS-a bila su orijentirana na podatke i omogućavala su donositeljima odluka prikupljanje potrebnih informacija za donošenje odluka, ali nisu omogućavala modeliranje problema odlučivanja. U tom trenutku spoznalo se da tehnološka podrška za donošenje odluka mora olakšati ad hoc obradu podatka i upravljačku kontrolu nad manipulacijom modela jer donositelji odluka nisu htjeli koristiti sustave koje nisu mogli kontrolirati (Silver, 1991).

Tijekom šezdesetih godina započelo je istraživanje korištenja računalnih kvantitativnih modela kao ispomoć u odlučivanju i planiranju (Raymond, 1966; Holt i Huber, 1969). Ferguson i Jones (1969) objavili su prvu eksperimentalnu studiju koristeći SPO potpomognut računalom. Istražili su aplikaciju raspoređivanja proizvodnje pomoću IBM 7094.

Glavna prekretnica bila je doktorska disertacija M.S. Scott Mortona (1967) na Sveučilištu Harvard koja je uključivala izgradnju, implementaciju i testiranje interaktivnog modela upravljanja sustavom odlučivanja (McCosh, 2002).

Sredinom šezdesetih godina Engelbart i ostali (1962) razvili su prvi hipermedijski sustav NLS (oNLine System), a Forrester je surađivao u izgradnji SAGE (Semi-Automatic Ground Environment) sustava zračne obrane za Sjevernu Ameriku koji se smatra prvim kompjuteriziranim i na podacima utemeljenim SPO-om dovršenim 1962. godine (Hughes i Hughes, 2000).

Krajem šezdesetih, modelski upravljani SPO-i postali su praktični. Dva SPO začetnika, Peter Keen i Charles Stabell, ustanovili su koncept donošenja odluke koji se izveo iz teorije organizacijskog odlučivanja tijekom kasnih pedesetih i ranih šezdesetih godina te tehničkog rada na interaktivnim računalnim sustavima (Keen i Scott Morton, 1978). Sedamdesetih godina poslovni časopisi počeli su objavljivati članke o sustavima upravljanja odlučivanjem (engl. *Management Decision Systems*), o sustavima strateškog planiranja i o SPO-ima (Sprague i Watson, 1979). Prvi put se pojam „sustav za podršku odlučivanju“ pojavljuje u članku Gorry i Scott-Mortona (1971) koji su tvrdili da su MIS prvenstveno usredotočeni na strukturirane odluke i predložili da podrška informacijskim sustavima (engl. *Supporting Information Systems*) za polustrukturirane i nestrukturirane odluke trebaju biti nazvani "sustavi za podršku odlučivanju".

Keen i Scott Morton (1978), u svom priručniku o SPO-u, prvi upućuju na bihevioristički pristup analizi, dizajnu, provedbi, evaluaciji i razvoju SPO-a. Alterova istraživanja (1975, 1977) proširili su okvire razmišljanja o poslovnim i upravljačkim SPO-ima. Alter (1980) je iz svog istraživanja zaključio da se SPO-i mogu kategorizirati u smislu generičkih operacija koje takvi sustavi mogu izvesti te koje se razvijaju jednodimenzionalno u rasponu od sustava iznimno orijentiranih na podatke do krajnje orijentiranih na model. Donovan i Madnick (1977) klasificiraju SPO-ove kao

institucionalne ili ad hoc. Institucionalni SPO podržava odluke koje se ponavljaju, a ad hoc SPO podržava podnošenje zahtjeva za jednokratnim zahtjevima. Hackathorn i Keen (1981) klasificiraju SPO u tri različite međusobno povezane kategorije: osobni SPO, SPO grupe i organizacijski SPO. Sprague i Carlson (1982) u svojoj knjizi "Building Effective Decision Support Systems" dodatno su pojasnili Sprague-ov (1980) SPO okvir baze podataka, baze modela i softver za generiranje i upravljanje dijalogom.

Sustavi za podršku grupnom odlučivanju (engl. *Group Decision Support Systems-GDSS*) kombiniraju komunikaciju, računarstvo i tehnologiju s ciljem pružanja podrške odlučivanju u rješavanju nestrukturiranih zadatak grupe ljudi, a izvršni informacijski sustavi (engl. *Executive Information Systems-EIS*) proširili su opseg SPO-a od male grupe do korporativne razine (Shim i ostali, 2002).

Sustavi upravljanja modelima i SPO-i temeljeni na znanju (engl. *Knowledge-base decision support systems*) koriste tehnike iz umjetne inteligencije i ekspertnih sustava kako bi pružili „pametniju“ podršku za donositelje odluka (Courtney i Paradise, 1993). Bonczek i ostali (1980) utemeljili su teoriju temeljenu na SPO znanju. Njihovo istraživanje pokazalo je kako su umjetna inteligencija i ekspertni sustavi primjenjivi za razvoj SPO-a. Definirali su 4 osnovna aspekta ili komponente SPO-a:

- sustav jezika (engl. *Language System*) koji uključuje sve prepoznatljive poruke;
- sustav prezentacije (engl. *Presentation System*) za sve poruke koje emitira SPO;
- sustav znanja (engl. *Knowledge System*) koji obrađuje sva unesena znanja u SPO;
- sustav za obradu problema (engl. *Problem-Processing System*) koji pokušava dijagnosticirati i riješiti probleme.

Početak 1990. godine, poslovna inteligencija, pohrana podataka i On-Line analitička obrada (OLAP) ojačali su potencijal SPO-a (Power, 2002). Krajem devedesetih, skladištenje podataka je postalo osnova integriranog okruženja znanja koja je omogućila višu razinu dijeljenja informacija, olakšavajući brže i bolje donošenje odluka (Power, 2001).

Arnott i Pervan (2005) upućuju na glavne primjene SPO-a u manipuliranju kvantitativnim modelima, pristupanju i analizi velikih baza podataka i održavanju grupnog odlučivanja.

Na temelju prethodno iznesenog može se zaključiti da je intenzivan razvoj SPO-a započeo polovinom sedamdesetih godina, a oblikovanje koncepta SPO-a kao zasebne znanstvene discipline ostvarilo se početkom osamdesetih godina. Mada se u literaturi znatno prije 80-tih godina koristio naziv "sustav za podršku odlučivanju", zapravo se radilo o nekim specifičnim verzijama MIS-a ili o interaktivnim sustavima iz područja simulacije i optimizacije s pojednostavljenom logistikom odlučivanja.

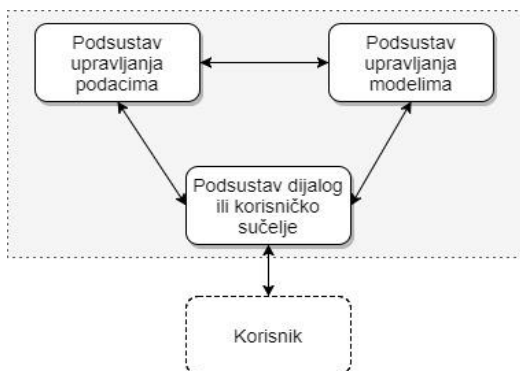
### 2.1.2.2. Definiranje sustava za podršku odlučivanju

Koncept SPO-a iznimno je širok i njegove definicije se razlikuju ovisno o autorskom stajalištu. Za Keen i Scott Morton (1978) SPO povezuje intelektualne resurse pojedinaca s mogućnostima računala u svrhu poboljšanja kvalitete odluka. Definiraju navedeni sustav kao podršku baziranu na računalu za donositelja odluka koji se bavi polustrukturiranim problemima. Sličnu definiciju daju Sprague i Carlson (1982) koji tvrde da je SPO interaktivni računalni sustav koji pomaže donositelju odluke da koristi podatke i modele za rješavanje nestrukturiranih problema. S druge strane, Schroff (1998) tvrdi da je nemoguće dati preciznu definiciju SPO-a koja uključuje sve njegove aspekte. Bidgoli (1989) tvrdi da postoji nekoliko zahtjeva koji obuhvaćaju definiciju SPO-a: hardver, softver, ljudski elementi (dizajneri i krajnji korisnici). Takav SPO dizajniran je za podršku odlučivanju, pomaže donositeljima odluka na svim razinama i ukazuje na polustrukturirane i nestrukturirane zadatke. Ipak, prema Poweru (2007) pojam "sustav za podršku odlučivanju" je koristan i obuhvatan pojam za mnoge vrste informacijskih sustava koji podržavaju odlučivanje. Bhatt i Zaveri (2002) definiraju SPO kao računalni softver koji prihvaća ulazne podatke velikog broja činjenica i metoda kako bi ih pretvorio u smislene usporedbe, grafikone i trendove koji mogu olakšati i poboljšati proces odlučivanja donositeljima odluka pri rješavanju nestrukturiranih problema. Prema Jajac (2010) SPO je sustav donošenja odluka koji se sastoji od korisnika odluke koji koristi navedeni sustav kako bi riješio određenu zadaću u nekom organizacijskom okruženju. Međutim, na precizniji način Turban i ostali (2011) ga definiraju kao pristup za podršku odlučivanju korištenjem interaktivnog, fleksibilnog i prilagodljivog informacijskog sustava baziranog na računalu (engl. *computer-base information system-CBIS*). CBIS je razvijen (od strane korisnika) za pružanje podrške rješenju specifičnom nestrukturiranom upraviteljskom problemu korištenjem podataka, modela i znanja zajedno s korisničkim sučeljem. Pri tom uključuje spoznaje donositelja odluka i podržava sve faze odlučivanja te ga može koristiti jedan ili grupa korisnika.

Iz svega navedenog može se zaključiti da je glavna svrha SPO-a pružanje pomoći upravitelju u donošenju odluke koja je bazirana na setu obrađenih informacija prezentiranih na njemu razumljiv način. Dakle, riječ je o informacijskom sustavu koji ne zamjenjuje upravitelja nego uz pomoć računala prikuplja i obrađuje informacije potrebne upravitelju za donošenje odluke.

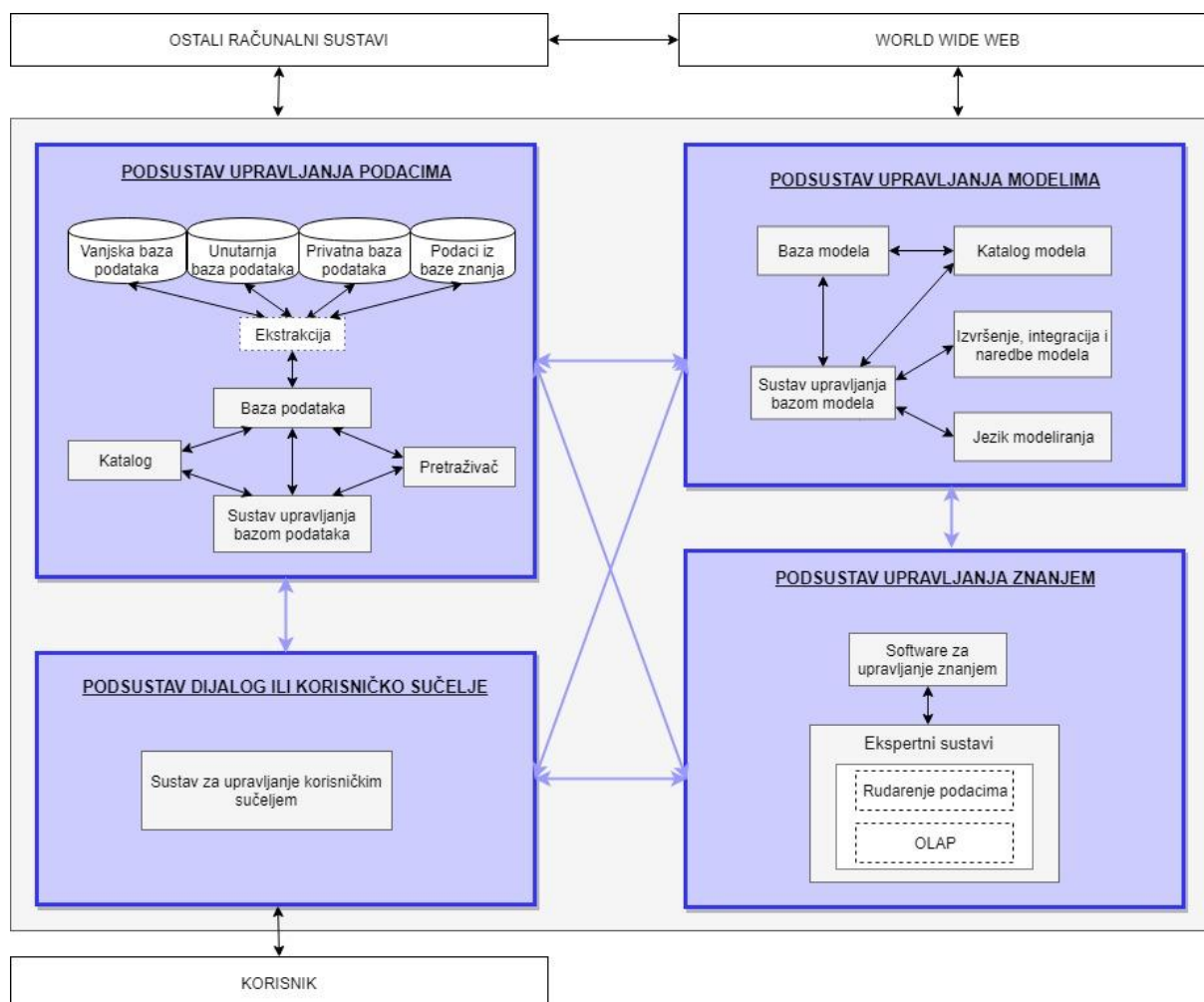
Na razvoj tehnološke osnove SPO-a važan utjecaj imao je Sprague koji je definirao okvir za razvoj sustava i definirao tri tipa sustava (Sprague i Carlson, 1982): SPO specifične namjene, SPO generatori i SPO pomagala. Također, su oblikovali koncept SPO generatora kako bi se premostila prepreka između pomagala i SPO-a specifične namjene. Različiti autori definirali su

različite komponente SPO-a, a među njima su i Sprague i Carlson (1982) koji su definirali tri fundamentalne komponente odnosno podsustave: podsustav upravljanja podacima (engl. *data management subsystem*), podsustav upravljanja modelima (engl. *model management subsystem*) i podsustav dijalog (engl. *dialog subsystem/user-interface subsystem*), prikazani na slici 2.2..



Slika 2.2. Prikaz osnovnih komponenata SPO-a (autor prilagodio prema: Sprague i Carlson, 1982)

U određenom broju knjiga, tekstova i članaka spominje se i podsustav upravljanja znanjem (engl. *knowledge management subsystem*) (Turban, 2007). Pored softverskog inženjeringa, u generiranje koncepta SPO-a, uključuje se i tehnologija baze podataka, znanost o upravljanju, operacijska istraživanja, kognitivna znanost, umjetna inteligencija i ekspertni sustavi (Power, 2008). SPO se počeo širiti razvojem tehnologije te je obuhvaćao širi raspon aplikacija. Sadržavao je, ovisno o zadanom problemu, pojednostavljene proračunske tablice, determiniranje ciljeva, analizu mogućih varijanti pa čak i geografske informacijske sustave (engl. *Geographical Information Systems -GIS*) za analizu i organizaciju podataka te sustav upravljanja znanjem (engl. *Knowledge Management System*) (Power, 2013). Tehnološki razvoj podrazumijeva formulaciju koncepta SPO-a odnosno uključuje razvoj baze podataka i baze modela. Pojava poslovne inteligencije, krajem 80-ih godina, rezultirala je razvojem četiriju osnovnih alata za podršku odlučivanju za primjenu u SPO-u (Shim, 2002): skladištenje podataka (engl. *data warehouse*), on-line analitička obrada (OLAP), rudarenje podataka (engl. *data mining*) i na web-u baziran SPO (engl. *web-based DSS*) te drugih softverskih alata za uporabu podataka iz raznih baza podataka i njihovo pretvaranje u informacije važne za donošenje odluka. Na slici 2.3. prikazan je prošireni oblik koncepta SPO-a koji uz komponente prikazane na slici 2.2 uključuje i komponentu podsustav upravljanja znanjem. Uz komponente SPO-a prikazani su i njihovi elementi o kojima će se više reći u nastavku.



Slika 2.3. Prikaz proširenog oblika koncepta SPO-a

**Podsustav upravljanja podacima** koristi jednu ili više pohrana/baza podataka (bazu podataka, skupine dokumenata i/ili spremište podataka) radi pružanja relevantne informacije SPO-u. Podaci za SPO se mogu prikupiti od raznih unutarnjih, vanjskih i privatnih izvora te iz baze znanja (Turban, 2007). Podaci se unose u SPO prema potrebi. Podsustav se sastoji od: baze podataka (engl. *database*), sustava upravljanja bazom podataka (eng. *database management system-DBMS*), kataloga podataka u bazi podataka (engl. *data directory/ dictionary*) i pretraživača (engl. *query facility*).

Baza podataka je organizirani skup podataka koji se može koristiti za jednu ili više aplikacija. Većina velikih SPO-a ima vlastitu integriranu bazu podataka. Prilikom oblikovanja baze podataka potrebno je podatke prikupiti iz nekoliko različitih izvora (vanjskih, unutarnjih i privatnih te podaci iz baze znanja). Unutarnji podaci dolaze uglavnom iz sustava za obradu transakcije (engl. *Transaction Processing System-TPS*). TPS je vrsta informacijskog sustava koji pripada operativnoj razini poslovnog sustava te obavlja tri funkcije: vođenje evidencije, izdavanje dokumentacije i izvještavanje. Vanjski podaci uključuju podatke iz industrije, podatke

o istraživanju tržišta, podatke o zapošljavanju, raspored poreznih stopa, ekonomske podatke, itd. Privatni podaci uključuju smjernice koje koriste neki donositelji odluka, procjene specifičnih podataka i/ili situacija (Payne, 2016). Podaci iz baze znanja prikupljaju se za ekspertne sustave te se koriste za oblikovanje pravila i okvira u bazi znanja. Naime, podaci za SPO mogu biti dobiveni iz većih baza podataka kao što je skladište podataka ili iz nekoliko izvora. Proces prikupljanja podataka iz nekoliko izvora naziva se ekstrakcija čiji je osnovni zadatak određivanje relevantnosti prikupljenih podataka, filtriranje i organiziranje te sintetiziranje podataka (Shim, 2002).

Sustav za upravljanje bazom podataka (DBMS) je sustavni softver za stvaranje i upravljanje bazama podataka. Omogućuje korisnicima sustavno stvaranje, preuzimanje, čitanje, ažuriranje, upravljanje i brisanje podataka u bazi podataka. Koncept DBMS-a prvi je uveo Edgar F. Codd početkom 1970. godine. Napretkom tehnologije hardver je postao više interaktivan s DBMS-ovim softverskim aplikacijama (Codd, 1990). DBMS u osnovi služi kao sučelje između baze podataka i krajnjih korisnika ili aplikacijskih programa, osiguravajući da se podaci konzistentno organiziraju i ostaju lako dostupni (Rouse, 2015). Navedeni sustav upravlja s tri važna aspekta: podacima, bazom podataka u kojoj omogućava pristup, zaključavanje i modificiranje podataka te shemom baze podataka koja definira njezinu logičku strukturu. Funkcije DBMS-a su (Daghli i Varmora, 2014):

- definicija podataka - obavlja strukturu tablice koja će pohraniti podatke.
- manipulacija - uključuje različite tipove naredbi za umetanje, brisanje i uređivanje podataka u tablici.
- dohvaćanje - služi za pregled podataka iz tablica baze podataka.
- administrator baza podataka - odgovoran za sve aktivnosti koje obavlja s bazom podataka. Mora ispravno održavati bazu podataka na način da redovito čuva sigurnosnu kopiju kako bi se mogli "oporaviti" podaci u trenutku kvara baze podataka.

Baza podataka i DBMS mogu omogućiti potporu brojnim upraviteljskim djelatnostima, no prava uporabljivost SPO-a ostvaruje se kada je uspostavljena integracija baze podataka i modela jer podaci daju vrijedne informacije donositelju odluka tek njihovim korištenjem u modelima (Jajac, 2010).

Pretraživač je mehanizam koji prihvaća zahtjev za podacima, pristupa, manipulira te propituje podatke. Koristi jezik upita Structured Query Language (SQL) za pristupanje informacijama.

Katalog podataka u bazi podataka sadrži definiciju, izvor te značenje podataka, podržava dodavanje i brisanje novih unosa. Sastoji se od pretraživačkih alata (eng. *search tools*), upravljanja podacima (engl. *data management*) te metapodataka (engl. *metadata*) koji

omogućuju dokumentiranje skupova podataka unutar organizacije, pomažu korisnicima da pronađu i koriste postojeće podatke (Guptill, 1999).

**Podsustav upravljanja modelima** je softverski paket koji uključuje i upravlja kvantitativnim i kvalitativnim modelima (De Kock, 2003). Podsustav se sastoji od: baze modela (engl. *model base*), sustava upravljanja bazom modela (eng. *model base managemant system-MBMS*), jezika modeliranja (eng. *modeling language*), kataloga modela u bazi modela (eng. *model directory*) te izvršenja, integracije i naredbi modela (eng. *model execution, integration and command*).

Baza modela sadrži statističke, financijske i druge kvantitativne modele koji pružaju analitičke mogućnosti SPO-a. Sastoji se od četiri glavne kategorije modela: strateške, taktičke, operativne i analitičke (Turban i ostali, 2007). Strateški modeli podržavaju odluke na strateškoj razini, u trajanju od 5 do 10 godina. Taktički modeli koriste se taktičkom razinom odlučivanja te se njihov vremenski horizont proteže na mjesec dana do 4 godine. Operativni modeli podržavaju svakodnevne aktivnosti i odnose se na najnižu, operativnu razinu odlučivanja. U najkraćem su trajanju za razliku od prethodno navedenih modela i to u periodu od jednog dana do mjesec dana (Payne, 2016). Analitički modeli su matematički modeli u koje se unose podaci za analizu kao što su statistički modeli, regresijska analiza, algoritmi za rudarenje podataka, financijski modeli i drugi. Mogu se koristiti samostalno, a mogu biti integrirani s drugim modelima (De Kock, 2003). Osim kvantitativnih baza modela može sadržavati i kvalitativne modele koji, u većini slučajeva prikazani kao pravila, se mogu izvesti samostalno ili u kombinaciji s kvantitativnim modelima. Sustav upravljanja bazom modela (MBMS) je sustavni software s mogućnošću kreiranja modela korištenjem programskih jezika, SPO alata i/ili potprograma, stvaranja novih rutina i izvještaja, ažuriranje i mijenjanje modela te manipuliranje podacima. Glavni cilj MBMS-a je uspostava interakcije između modela i baze podataka pomoću odgovarajućih veza te pomaže donositelju odluka u kreiranju vlastitih modela (De Kock, 2003). Jezici modeliranja koriste se prilikom generiranja/oblikovanja novih modela. Katalog modela u bazi modela ima sličnu ulogu kao i katalog podataka u bazi podatka. To je katalog svih modela i softvera u bazi modela. Sadrži definicije modela te objašnjava funkcije, dostupnost i kapacitete modela. Izvršenje modela je proces kontroliranja rada modela. Integracijom modela se kombiniraju operacije nekoliko modela ukoliko je to potrebno. Naredba modela prihvaća i tumači naredbe za modeliranje iz komponente dijalog ili korisničkog sučelja te ih usmjerava do MBMS-a (Payne, 2016).

**Podsustav dijalog ili korisničko sučelje** služi za vršenje komunikacije između SPO-a i krajnjeg korisnika. Korisnik opskrbljuje SPO podacima i upravlja njime koristeći se podsustavom.

Prikupljene informacije određuju koji podaci se moraju izdvojiti iz izvora podataka (De Kock, 2003). Ključan je za učinkovito korištenje SPO-a. Sustav za upravljanje korisničkim sučeljem (engl. *User Interface Management System-UIMS*) ili Softver za generiranje i upravljanje dijalogom (engl. *Dialogue Generation Management Software-DGMS*) sastavni je dio SPO-a koji odgovara različitim prikazima informacija. Odgovornost UIMS-a je osigurati sučelje između korisnika i ostatka SPO-a. Glavni zadatak UIMS-a je pretvoriti ulaz korisnika u jezike koje DBMS i MBMS mogu čitati te prevesti izlaz iz DBMS i MBMS i podsustava za upravljanje znanjem u oblik razumljiv korisniku.

Korisnik je upravitelj, donositelj odluka, jedna od funkcija mu je rješavanje problema. Korisnici se međusobno razlikuju s obzirom na poziciju u organizaciji, s obzirom na kognitivne mogućnosti i preference te s obzirom na različite stilove odlučivanja.

**Podsustav upravljanja znanjem** može podržati bilo koji drugi podsustav ili djelovati kao neovisna komponenta. Pruža znanje za rješavanje specifičnog problema. Podsustav je tehnološki dio inicijative upravljanja znanjem koja se može svrstati s obzirom na strategiju upravljanja na personalizirane inicijative orijentirane na osobu i kodificirane inicijative usmjerene na tehnologiju (Maier, 2004). Sastoji se od: softvera za upravljanje znanjem (engl. *knowledge management software*) i ekspertnih sustava (engl. *expert systems*)

Softver za upravljanje znanjem pruža strukturu za izvršavanje i integriranje jednog ili više ekspertnih sustava (ES) u operacije s komponentama SPO-a. SPO-i koji uključuju ekspertne sustave nazivaju se inteligentni SPO, SPO / ES ili SPO temeljen na znanju. Djeluje kao savjetnik za nestručnjake (De Kock, 2003). Ekspertni sustavi su specifična skupina softvera koji pomažu ekspertima ili ih zamjenjuju u ograničenim profesionalnim područjima. Ekspertni sustavi oblikuju bazu znanja u kojoj je sadržano znanje dobiveno od eksperta. Baza znanja je prikazana kroz neke oblike poput pravila, okvira, Bayesovih mreža i drugo (Sedighian i Javanmard, 2014). Baza podataka u podsustavu upravljanja znanjem ima ulogu pročišćavanja, pohranjivanja, obrađivanja, transformiranja, agregiranja te izvještavanja o podacima i sinkroniziranje metapodataka (Khan i ostali, 2006). Rudarenje podacima (engl. *data mining-DM*) je proces identificiranja uzoraka korištenjem tehnologija, prikladnih za preuzimanje znanja iz velikih količina podataka, kao što su klasifikacija i predikcija, klaster analiza i udruživanje. Da bi se točno mogao definirati DM potrebno je razumjeti razliku između podataka, informacije i znanja. Podatak je vrijednost, karakteristika ili simbol koji se može procesuirati računalom, informacija je sastavljena od uzoraka, skupova ili veza izvedenih iz podataka, a znanje se sastoji od povijesnih uzoraka i budućih trendova koji se mogu predvidjeti iz informacije (Sedighian i



Javanmard, 2014). Većina DM alata koristi statističke tehnike u kombinaciji s učinkovitim prepoznavanjem uzoraka i algoritmima strojnog učenja (Ganguly, 2002). Podaci se unose i obrađuju unutar baze podataka kako bi bili dostupni za analizu i podršku odlučivanju. DM alati pristupaju podacima iz baze podataka kako bi otkrili nove uzorke i prilagodili modele za predviđanje budućeg ponašanja (Khan i ostali, 2006). Koristi se za izgradnju ekspertnog sustava iz heurističkog znanja.

Alati SPO-a i poslovne inteligencije kao što je OLAP (Hammer, 2003) koriste se za interpretaciju i procjenu predviđenih modela za generiranje znanja, što pomaže analitičarima i donositeljima odluka u donošenju strateških i taktičkih odluka. OLAP alati omogućavaju brze i interaktivne načine analiziranja podataka organizacije i pružaju analitičke mogućnosti krajnjem korisniku kako bi stekao uvid u znanje sadržano u velikim bazama podataka (Khan i ostali, 2006).

### 2.1.3. Višekriterijalno odlučivanje

Višekriterijalno odlučivanje (engl. *Multiple Criteria Decision Making-MCDM*) je proces donošenja odluka zasnovan na mnogim te često konfliktnim kriterijima pomoću kojih se ocjenjuju različite varijante rješenja problema koji mogu biti vrlo kompleksni, ne samo zbog velikog broja različitih kriterija, već i zbog različite važnosti tih kriterija. Stoga, da bi se postigle adekvatne i kvalitetne odluke, potrebno je proces višekriterijalnog odlučivanja obaviti što objektivnije i strukturalnije. Problemi višekriterijalnog odlučivanja, usprkos svojoj kompleksnosti i raznovrsnosti, imaju zajedničke sljedeće karakteristike (Marović, 2013):

- višestrukost kriterija (izbor relevantnih kriterija je nužan pristup svakog donositelja odluka prilikom rješavanja višekriterijalnog problema);
- međusobna konfliktnost kriterija (zbog velikog broja kriterija često je prisutna konfliktnost među njima);
- neusporedive mjerne jedinice (kriteriji najčešće imaju različite mjerne jedinice),
- projektiranje ili izbor (rješenja višekriterijalnih problema su ili projektiranje najbolje varijante ili izbor najbolje varijante iz skupa definiranih akcija).

Glavnu ulogu u višekriterijalnom odlučivanju ima donositelj odluke čije se preferencije modeliraju uz pomoć analitičara za izbor optimalnog rješenja višekriterijalnog problema (Jajac, 2010). Višekriterijalni problemi obično se sastoje od pet komponenti: cilj, preferencije donositelja odluke, varijante, kriteriji i ishodi (Wang i ostali, 2009). Višekriterijalno odlučivanje

može se klasificirati, na temelju broja razmatranih varijanti (Jajac, 2010; Kumar i ostali, 2017), u:

- višeatributno odlučivanje (engl. *Multiple Attribute Decision Making-MADM*) kojim se izabire optimalna varijanta iz skupa te se najčešće koristi za probleme s manjim (konačnim) brojem varijanti te
- višekriterijalno programiranje (engl. *Multiple Objective Decision Making-MODM*) kojim se projektira najbolja varijanta te se rješavaju problemi gdje je broj varijanti (mogućih rješenja) velik.

U današnje vrijeme sve je više zastupljeno višekriterijalno odlučivanje, točnije većina problema/zadaća je po svojoj prirodi višekriterijalna pa čak i oni koji se klasično razmatraju kao jednokriterijalni (Marović, 2013). Primjena metodologije višekriterijalnog odlučivanja u SPO-u započela je već osamdesetih godina kada je Zeleny (1982) među prvima opisao pojavu SPO-a temeljenog na modelu višekriterijalnog odlučivanja. Integracija višekriterijalnog odlučivanja sa SPO-om pokazala se korisna za oba pristupa. Alati višekriterijalnog odlučivanja korisni su za prepoznavanje i procjenu međusobno inkompatibilnih varijanti za SPO, dok SPO može implementirati pristup višekriterijalnog odlučivanja i pomoći u održavanju i preuzimanju modela višekriterijalnog odlučivanja. Tijekom godina, višekriterijalno odlučivanje je značajno pridonijelo razvoju raznih SPO modela (Kou i ostali, 2011).

#### 2.1.3.1. Višekriterijalna analiza

Kao što je prethodno definirano, višekriterijalno odlučivanje je zasnovano na različitim kriterijima pomoću kojih se ocjenjuju različite varijante rješenja problema. Za sagledavanje i analiziranje višekriterijalnog problema koristi se višekriterijalna analiza i višekriterijalne metode. Kako je problem planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova višekriterijalan (velik broj kriterija, konfliktnost kriterija, neusporedive jedinice mjera kriterija, izbor optimalnog rješenja ili rangiranje varijanti) tako se višekriterijalna analiza u kombinaciji s višekriterijalnim metodama pokazala kao najprikladnija metodologija za realizaciju navedenog problema. Višekriterijalna analiza (engl. *Multicriteria Decision Analysis-MCDA*) smatra se prikladnom metodologijom za procjenjivanje različitih rješenja višekriterijalnih problema zbog svoje fleksibilnosti i mogućnosti olakšavanja dijaloga između dionika, analitičara i znanstvenika (Huang i ostali, 2011; Cinelli i ostali, 2014). Velik porast upotrebe višekriterijalne analize zabilježio se u zadnjih nekoliko desetljeća. U različitim područjima primjene njezina uloga je znatno porasla, a posebno u razvoju novih i poboljšanju starih višekriterijalnih metoda (Velasquezi i Hester, 2013).

Zbog složenosti procesa planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova i potrebe da se osigura održivost i sustavnost u budućim akcijama, odluke se moraju donositi na strukturiran, transparentan i pouzdan način, a višekriterijalna analiza može doprinijeti takvom cilju. Rješavanje problema u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova započinje s definiranjem razine odnosno s dizajniranjem modela višekriterijalne analize. Za stratešku razinu planiranja skup kriterija i alternativa neće se jednako generirati i vrednovati kao oni s nižih razina. Prilikom generiranja kriterija veliku pomoć pruža "ciljna analiza", odnosno analiza ciljeva za rješavanje analiziranog problema (Jajac, 2010). Za vrednovanje investicijskih projekata, primjenom višekriterijalne analize, kriteriji su najčešće razvrstavani u četiri grupe: ekonomski, tehničko-tehnološki, društveno-politički i ekološki kriteriji (Mladineo, 2006).

### 2.1.3.2. Višekriterijalne metode

Višekriterijalna analiza se, u svojim počecima, najviše koristila pri donošenju investicijskih odluka. Danas se zbog sve složenijih problema u realnom svijetu, jednokriterijalno odlučivanje u velikoj većini slušajeva ne može smatrati ispravnim i zadovoljavajućim jer usporedba tehničko-tehnoloških i ekonomskih aspekata skoro je neizvediva bez primjene višekriterijalnih metoda odlučivanja. Za definiranje višekriterijalne analize, potrebno je prvo matematički iskazati definiciju jednokriterijalne zadaće (Brans i ostali, 1984):

$$\text{Max}\{f(v)|v \in V\} \quad (2.1)$$

gdje je  $V$  predstavlja skup potencijalnih varijanti, a  $f: V \rightarrow R$  kriterij koji razlikuje varijante. Kao rezultat dobiva se ukupni poredak varijanti u skupu  $V$  što predstavlja dobro postavljenu zadaću jer pri određivanju optimalne varijante  $\tilde{v}$  izraz  $f(\tilde{v}) \geq f(v), \forall v \in V$  ima smisla. Potpuni graf se dobiva u slučaju ako se varijante iz skupa  $V$  promatraju kao vrhovi grafa te ako se  $\forall v, z \in V$  definira brid  $vz$  kada je  $f(v) \geq f(z)$  (Jajac, 2010).

Zadaća postaje višekriterijalna u slučaju kada se dodaju kriterij pri izboru optimalne varijante:

$$\text{Max}\{f_1(v), \dots, f_j(v), \dots, f_n(v)|v \in V\} \quad (2.2)$$

gdje  $f_j(v)$  predstavlja kriterije za  $j=1,2,\dots,n$ , a  $n$  broj kriterija. Na ovaj način postavljena zadaća kao rezultat neće dati potpuni poredak u skupu  $V$ , što znači da nije dobro postavljena jer pojam optimalne varijante više nema smisla jer u općem slučaju ne postoji varijanta  $\tilde{v}$  takva da je

$f_j(\tilde{v}) \geq f_j(v), \forall v \in V, \forall j \in (1, 2, \dots, n)$ . Međutim, to su svakodnevne zadaće za koje je potrebno naći rješenje.

Neka su  $v$  i  $z$  dvije varijante iz skupa  $V$  za koje vrijedi  $f_j(v) \geq f_j(z), \forall j \in (1, 2, \dots, n)$ , pri čemu je barem jedna nejednakost stroga, tada varijanta  $v$  dominira nad varijantom  $z$ , čime se dobiva djelomični poredak u skupu  $V$ , nazvan poredak dominacije. Neka su varijante iz skupa  $V$  vrhovi grafa, brid  $vz$  postoji ako  $v$  dominira nad  $z$ , te se tako dobiva graf dominacije. Ako zadaća  $i$  sadrži samo nekoliko kriterija, poredak dominacije je vrlo "siromašan", pa sam graf dominacije nema mnogo bridova. A često se događa da je poredak dominacije "prazan" (Marović, 2013).

Tri su temeljne skupine metoda višekriterijalne analize (Greco i ostali, 2004):

- metode koje koriste funkciju korisnosti (engl. *utility function*): Multi Attribute Utility Theory (MAUT) i Analytical Hierarchy Process (AHP),
- metode višeg ranga (engl. *outranking methods*): Elimination and Choice Expressing the Reality (ELECTRE), Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE), Geometrical Analysis for Interactive Aid (GAIA) i The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS),
- skupovi pravila odlučivanja (engl. *sets of decision rules*): Dominance Based Rough Set Approach (DBRSA).

U praksi se najviše koriste metode višeg ranga, za rangiranje ili odabir optimalne varijante s obzirom na definirane kriterije, zbog svoje jednostavne primjene i prilagodljivosti stvarnim problemima (Herva i Roca, 2013; Wang i ostali, 2014). Ovdje će se nešto više reći o metodama PROMETHEE (I, II i V), GAIA (kao dio PROMETHEE metode) te AHP s obzirom da će se iste koristiti u disertaciji.

#### Preference ranking organization method for enrichment of evaluations (PROMETHEE)

Metoda PROMETHEE također spada u metode višeg ranga. Razvijena je početkom osamdesetih godina (Brans i ostali, 1984; Brans i Vincke, 1985), a temelji se na skupu preduvjeta (Brans i Mareschal, 2005): (i) stupanj razlike između dviju varijanti mora se uzeti u obzir, (ii) ljestvice kriterija su nevažne jer se usporedbe provode u parovima, (iii) moguća su tri slučaja: varijanta  $v$  preferira se nad varijantom  $z$ ; varijanta  $v$  i varijanta  $z$  su indiferentne; varijanta  $v$  i varijanta  $z$  su neusporedive, (iv) metode trebaju biti lako razumljive donositelju odluka i (v) težine se dodjeljuju na fleksibilan način. Za oblikovanje preferencije donositelja odluke za svaki kriterij koriste se funkcije preferencije (šest mogućih) koje se temelje na intenzitetu preferencije. Nakon što se definiraju funkcije preferencije za sve kriterije, izračunava se ukupni indeks preferencije

koji pokazuje stupanj preferencije  $v$  nad  $z$ , odnosno izražava se kako i s kojim intenzitetom  $v$  dominira nad  $z$  u odnosu na sve kriterije (Behzadian i durgi, 2010). Zatim se izračunavaju pozitivni (izlazni) i negativni (ulazni) tokovi kojima se mjeri "snaga" odnosno "slabost" varijante  $v$  nad  $z$ . Parcijalno rangiranje varijanti postiže se PROMETHEE I metodom a ukupno rangiranje PROMETHEE II metodom. Kombinacija PROMETHEE II (funkcija cilja) i 0-1 linearnog programiranja, uzimajući pri tom u obzir definiranje ograničenja, daje PROMETHEE V metodu (Brans i Mareschal, 1992; Brans i De Smet, 2016). Matematički iskaz PROMETHEE metoda dan je u nastavku.

Matrica koja se sastoji od potencijalnih varijanti  $V$  predstavlja ulaz za PROMETHEE metodu. Svaki  $v \in V$  je  $f(v)$  što predstavlja evaluaciju jednog kriterija i svaka evaluacija  $f_i(v_i)$  mora biti realan broj. Metoda PROMETHEE I daje parcijalni odnos, a zatim iz metode PROMETHEE II, rangiraju se varijante prema ukupnom poretku izračunavanja neto toka (Brans i sur., 1984):

$$\Phi(v) = \Phi^+(v) - \Phi^-(v) \quad (2.3)$$

$\Phi^+(v)$  je pozitivni (izlazni) tok definiran kao:

$$\Phi^+(v) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in V} \Pi(v, x) \quad (2.4)$$

a  $\Phi^-(v)$  je negativan (ulazni) tok definiran kao:

$$\Phi^-(v) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in V} \Pi(x, v) \quad (2.5)$$

gdje su  $v$  i  $x$  varijante iz skupa varijanti  $V$  (tijekom usporedbe varijante  $v$  s ostalim  $n-1$  varijantama),  $n$  predstavlja broj varijanti, a  $\Pi$  je indeks preferencije definiran za svaki par varijanti:

$$\Pi(v, z) = \frac{\sum_{j=1}^m w_j P_j(v, z)}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (2.6)$$

gdje  $P_j(v, z)$  predstavlja preferenciju  $v$  nad  $z$  za danu funkciju preferencije kriterija  $j$ , a  $w_j$  je težina kriterija  $j$ . S obzirom da je  $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ , jednadžba (2.6) mijenja svoj izraz u:  $\Pi(v, z) = \sum_{j=1}^m w_j P_j(v, z)$ .

Šest je tipova funkcije preferencije predloženo od strane autora metode (Brans i drugi, 1984, Brans i drugi 1985), kako je prikazano u tablici 2.1. Donositelj odluke i analitičar u zajedničkom dogovoru biraju po jednu funkciju za svaki kriterij s obzirom na njihovo znanje o intezitetu preferencije. U svakom pojedinom slučaju neki parametri trebaju biti unaprijed određeni, a svaki

od parametara ima stvarno ekonomsko značenje, oni su:  $q$  je prag indiferentnosti,  $p$  je prag preferencije, a  $\sigma$  predstavlja Gaussov prag.

Tablica 2.1. Funkcije preferencije (Brans i Vincke, 1985)

Tip funkcije	Naziv	Analitička definicija	Oblik	Definirani parametri
Tip I	Običan kriterij	$P_j(a, b) = \begin{cases} 0, & d_{a,b} \leq 0 \\ 1, & d_{a,b} > 0 \end{cases}$		-
Tip II	U-oblik kriterij	$P_j(a, b) = \begin{cases} 0, & d_{a,b} \leq q \\ 1, & d_{a,b} > q \end{cases}$		$q$
Tip III	V-oblik kriterij	$P_j(a, b) = \begin{cases} \frac{d_{a,b}}{p}, & d_{a,b} \leq p \\ 1, & d_{a,b} > p \end{cases}$		$p$
Tip IV	Kriterij razina	$P_j(a, b) = \begin{cases} 0, & d_{a,b} \leq q \\ \frac{1}{2}, & q < d_{a,b} \leq p \\ 1, & d_{a,b} > p \end{cases}$		$q, p$
Tip V	Linearan kriterij	$P_j(a, b) = \begin{cases} 0, & d_{a,b} \leq q \\ \frac{d_{a,b} - q}{p - q}, & q < d_{a,b} \leq p \\ 1, & d_{a,b} > p \end{cases}$		$q, p$
Tip VI	Gaussov kriterij	$P_j(a, b) = 1 - e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}}$		$\sigma$

Metode PROMETHEE I i II su prikladne za odabir jedne varijante. Međutim, u nekim se slučajevima mora odrediti podskup varijanti, s obzirom na skup ograničenja. PROMETHEE V proširuje metode PROMETHEE I i II u tom konkretnom slučaju (Brans i Mareschal, 1992).

Neka je  $\{v_i, i=1, 2, \dots, n\}$  set mogućih varijanti i pridružuju se sljedećim boolean varijablama:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{ako je } v_i \text{ odabrana} \\ 0, & \text{ako } v_i \text{ nije odabrana} \end{cases} \quad (2.7)$$

Metoda se sastoji od sljedeća dva koraka:

1. Višekriterijalni problem je prvo razmatran bez ograničenja. Ukupna rang lista iz PROMETHEE II metode je dobivena s izračunatim neto tokovima  $\{\phi(v_i), i = 1, 2, \dots, n\}$ .
2. Nakon toga,  $\{0, 1\}$  linearno programiranje je razmatrano da bi se u obzir uzela dodatna ograničenja pod uvjetom da se mogu linearno izraziti.

$$\max \left\{ \sum_{i=1}^k \phi(v_i) x_i \right\} \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{p,i} x_i \sim \beta_p \quad p = 1, 2, \dots, P \quad (2.9)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, n \quad (2.10)$$

gdje  $\sim$  znači  $=, \geq$  ili  $\leq$ , a  $\lambda_{p,i}$  su koeficijenti ograničenja. Koeficijenti ciljne funkcije (2.8) su neto "outranking" tokovi. Što je veći neto tok, to je bolja varijanta. Svrha linearnog programiranja  $\{0, 1\}$  je odabir varijanti koje prikupljaju što je moguće veći neto tok i uzimaju u obzir ograničenja. Ograničenja (2.9) mogu uključivati kardinalnost, proračun, povratak, ulaganje, marketing, itd.. Mogu biti povezana sa svim varijantama ili eventualno nekim skupinama varijanti. Nakon što je riješeno  $\{0, 1\}$  linearno programiranje, dobiva se podskup varijanti koje zadovoljavaju ograničenja i osiguravaju što je moguće veći neto tok (Brans i De Smet, 2016).

### Geometrical Analysis for Interactive Aid (GAIA)

Metoda GAIA (Brans i Mareschal, 1994) je grafička vizualizacija karakteristika višekriterijalnog problema preko geometrijske interpretacije rezultata dobivenih PROMETHEE metodom (Karandea i Chakraborty, 2012). Omogućava svođenje  $n$ -dimenzionalnog problema na dvodimenzionalni čime se omogućava njegov ravninski prikaz. Dimenzionalnost problema mjeri se prema broju kriterija. Međutim, pri transformaciji iz prostornog u ravninski oblik dolazi do nepovoljnog strukturiranja zadaće. Usprkos tome, geometrijski prikaz daje dovoljno visok postotak informacija za sagledavanje zadaće i pruža pomoć kod zadaća koje karakteriziraju djelomično ili potpuno konfliktni kriteriji (Jajac, 2010). Matematički iskaz metode dan u nastavku.

Za svaku varijantu  $v$  i za svaki kriterij  $j$  definira se jednokriterijalni tok (Mladineo, 2006):

$$\Phi_j(v) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in V} \{P_j(v, x) - P_j(x, v)\}, \quad -1 \leq \Phi_j(v) \leq 1 \quad (2.11)$$

$$\sum_{j=1}^k W_j \Phi_j(v) = \Phi_j(v) \quad (2.12)$$

$$\sum_{a \in V} \Phi_j(v) = 0 \quad (2.13)$$

U kontekstu PROMETHEE metode, svaka varijanta  $v_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) iz skupa  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  može biti predstavljena vektorom:  $\alpha_i = (\Phi_1(v_i), \dots, \Phi_j(v_i), \dots, \Phi_k(v_i))$ .

Definira se matrica  $\Phi$  na način:

$$\begin{bmatrix} \Phi_1(v_1) & \dots & \Phi_j(v_1) & \dots & \Phi_k(v_1) \\ \Phi_1(v_2) & \dots & \Phi_j(v_2) & \dots & \Phi_k(v_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Phi_1(v_i) & \dots & \Phi_j(v_i) & \dots & \Phi_k(v_i) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Phi_1(v_n) & \dots & \Phi_j(v_n) & \dots & \Phi_k(v_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_i \\ \vdots \\ \alpha_n \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Svaka varijanta  $v_i$  koja je predstavljena redom  $\alpha_i$  matrice  $\Phi$  može biti predstavljena točkom  $V_i$  u prostoru  $R^k$  čije su koordinate elementi vektora  $\alpha_i$ . Budući da vrijedi  $\sum_{a \in V} \Phi_j(v) = 0$ , centar težina svih točaka  $V_i$  leži u ishodištu. S obzirom da nije moguće prikazati  $k$ -dimenzionalni prostor  $R^k$ , problem se svodi na dvodimenzionalni koristeći analizu glavnih komponenti (Mladineo, 2006).

### Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP metoda pruža pojednostavljeni i prošireni prirodni proces donošenja odluka o kompleksnim problemima. Osnovao ju je Saaty s ciljem procjene kvantitativnih i/ili kvalitativnih kriterija u relativnom odnosu pomoću ljestvice (Saaty, 1980). Proces započinje s utvrđivanjem skupa varijanti i hijerarhijske evaluacije kriterija (stablo vrijednosti-engl. *value tree*), nakon čega slijedi međusobno uspoređivanje kriterija (definiranje težina) i uspoređivanje varijanti s obzirom na definirane kriterije (ocjenjivanje) (Belton i Stewart, 2002). Sve se varijante uspoređuju s obzirom na kriterije, tražeći od donositelja odluke i dionika preferenciju na ljestvici od 1 do 9, pri čemu 1



označava jednaku važnost, a 9 apsolutnu prednost (Saaty, 1980, 2005). Kao rezultat postupka formira se matrica usporedbi prikazanih kao omjeri. Sljedeći korak je smanjenje matrice usporedbi u skup rezultata koji predstavljaju relativnu važnost svake težine i varijante (vektori prioriteta) (Cinelli i ostali, 2014). Tijekom vrednovanja elemenata hijerarhije (ciljeva, kriterija i varijanti) provjerava se konzistentnost procjenjivanja svih dionika pomoću indeksa konzistencije (engl. *consistency index*-CI). Zadovoljavajuća vrijednost indeksa je manja ili jednaka 0,10, ukoliko je veća od navedene vrijednosti, CI se računa pomoću omjera konzistentnosti (engl. *consistency ratio*-CR= CI/RI; gdje je RI indeks omjera (engl. *ratio index*). Na ovaj način utvrđuje se točnost dobivenih rangova varijanti i kriterija te njihovih težinskih vrijednosti (Bello-Dambatta i ostali, 2009). Matematički iskaz metode dan je u nastavku.

Neka je  $n$  broj kriterija ili varijanti čije težine  $w_i$  treba odrediti na temelju njihovih omjera koji se izračunavaju na sljedeći način (Saaty, 1980):

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (2.15)$$

Od tih omjera formira se matrica relativnih važnosti  $A$ :

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Matrica  $A$  za slučaj konzistentnih procjena za koje vrijedi  $a_{ij} = a_{ik} * a_{kj}$  zadovoljava jednadžbu  $Aw = \lambda w$ , gdje je  $w$  vektor prioriteta. Problem rješavanja težina može se riješiti jednadžbom  $Aw = \lambda w$ , gdje je  $\lambda$  različita od nule.

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Elementi matrice  $A=(a_{ij})$ ,  $a_{ij}=w_i/w_j$ ,  $i, j=1, \dots, n$  su pozitivni i zadovoljavaju svojstvo reciprociteta  $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ . Osim što je recipročna, matrica  $A$  je i konzistentna jer zadovoljava

$$a_{jk} = \frac{a_{ik}}{a_{ij}} \quad i, j, k = 1, \dots, n \quad (2.18)$$

Da bi matrica  $A$  bila konzistentna potreban i dovoljan je uvjet da je glavna svojstvena vrijednost jednaka  $n$ , tj. redu matrice  $A$ .

#### 2.1.4. Ekspertni sustavi

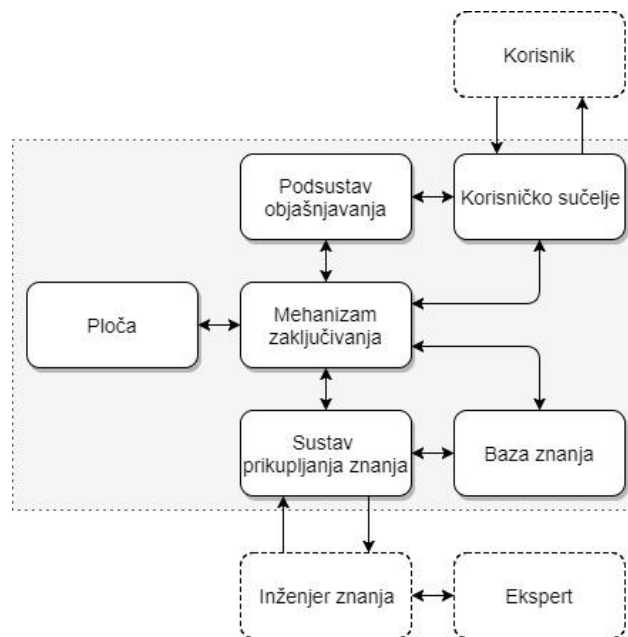
Ekspertni sustavi (ES) su računalni programi unutar određene domene koji uključuju određenu količinu umjetne inteligencije (engl. *artificial intelligence*) da oponaša ljudsko razmišljanje kako bi došli do istih zaključaka kao i eksperti. Glavni cilj ES-a je pružanje ekspertnih savjeta u posebnim/specifičnim situacijama. Za razliku od SPO-a koji pomaže korisniku pri donošenju zaključaka, ES donose zaključke umjesto korisnika. Funkcije ES-a obično su zahtjevnije od funkcija konvencionalnih računalnih programa: koriste simboliku i heuristiku za simuliranje ekspertnog znanja, imaju sposobnost učenja, objašnjavaju vlastito zaključivanje, različitim tehnikama pretraživanja osiguravaju fleksibilno rješavanje problema i dr. (Ismail i ostali, 2009). Dio su umjetne inteligencije, što je šire istraživačko područje koje osim ES-a obuhvaća i sustave za upravljanje prirodnim jezicima (engl. *natural language systems*) i sustav računalne percepcije za vid, govor i dodir (engl. *perception systems for vision, speech and touch*) (Ramos i ostali, 2008; Jajac, 2010). Prednost ES-a je što mogu koristiti nepotpune i nepouz dane podatke pri donošenju zaključaka te sadrže objašnjenja svog procesa razmatranja (De Kock, 2003).

Tehnologija ES-a počela se razvijati sredinom šezdesetih godina, kada se razvio DENDRAL (ekspertni sustav za određivanje strukture organskih molekula) i MYCIN (ekspertni sustav za pomaganje fizičarima pri dijagnozi poremećaja krvi) (Grove, 2000). Dijagnoza je jedno od glavnih područja gdje ES pronalaze primjenu iz ranih faza, jer ekspertni sustavi simuliraju ljudsko razmišljanje o određenoj problematici, rezoniraju o ljudskim znanjima i rješavaju probleme pomoću heurističkog znanja (Angeli, 2008).

Arhitektura ES-a, prikazana na slici 2.4, ovisi o njegovoj namjeni te se u globalu sastoji od: baze znanja (engl. *knowledge base*), mehanizma zaključivanja (engl. *inference engine*), korisničko sučelje (engl. *user interface*), podsustava objašnjavanja (engl. *explanation sub-system*), sustava prikupljanja znanja (engl. *knowledge refining system*) i ploče (engl. *blackboard*) (Turban i ostali, 2001). Za razvoj ekspertnog sustava najvažnija je kvalitetno oblikovana baza znanja (Sarma i ostali, 2010).

Baza znanja sadrži ekspertno znanje o određenoj problematici. Sadržava znanja o specifičnom području i na heuristici bazirana pravila s ciljem da se umani kompletna pretraga područja znanja. Znanje se može oblikovati pomoću formalnih teorija ili normativnih modela, a prikazuje se u obliku pravila, semantičkih mreža, okvira ili slučajeva (De Kock, 2003). Mehanizam zaključivanja obrađuje informacije iz baze znanja te izvlači zaključke i pojašnjava ponuđena rješenja. Tri su osnovne tehnike zaključivanja: zaključivanje prema naprijed, zaključivanje prema nazad i hibridno zaključivanje (kombinacija zaključivanja prema naprijed i zaključivanja prema nazad) (De Kock, 2003). Korisničko sučelje omogućava pristup ES-u prirodnim jezikom ili pomoću unaprijed definirane sintakse. Podsustav objašnjavanja korisnicima osigurava pojašnjenje procesa razvoja odluke (outputa), nusprodukt je mehanizma zaključivanja. Sustav prikupljanja znanja interaktivna je programska jedinica koja inženjerima znanja pomaže u formalizaciji znanja (akviziranju svog znanja eksperta) u samom ekspertnom sustavu kojeg onda evaluiraju eksperti. Ploča (mnogi ES-ovi koriste globalnu bazu podataka umjesto ploče) uključuje arhitekturu koja omogućuje neovisnim izvorima znanja da komuniciraju, koristi se za snimanje odluka kojima upravljaju ekspertni sustavi (De Kock, 2003). Prema Turban i ostali (2001) ploča je vrsta baze podataka s radnom memorijom koja sadržava podatke o trenutnom problemu, ulazne podatke i rezultate međukoraka.

Navedeni elementi ES-a nalaze se na slici 2.4. u sivom pravokutniku. Unutar pravokutnika odvijaju se procesi prikupljanja i pohrane znanja, zaključivanja na temelju dobivenog znanja, objašnjavanja donesenih zaključaka i dobivenih rezultata te njihovo prosljeđivanje krajnjem korisniku. Izvan sivog pravokutnika su članovi određenog tima koji sudjeluju u procesima definiranja znanja i stavova, oblikovanja ES-a i prikupljanja dobivenih rezultata. Tako je ekspert stručna osoba u promatranom području koja ima iskustvo i znanja za rješavanje specifičnog problema čije rješavanje preuzima ES. Mora biti komunikativan te prenesti svoja znanja drugim članovima tima. Povratna komunikacijska veza uspostavlja se između eksperta i inženjera znanja. Ekspert prenosi svoja znanja o određenom problemu inženjeru znanja koji je u stanju dizajnirati, izraditi i testirati ES. Odgovoran je za odabir relevantnog zadatka ES-a te za rješenja određenog problema. Inženjer ekspertova znanja unosi u ES te dobiva povratne informacije koje prosljeđuje ekspertu. Reverzibilna komunikacijska veza uspostavlja se i s korisnikom, osobom koja koristi ES nakon njegovog razvoja. Svi korisnici nemaju iste potrebe i želje, zato im se ES mora prilagoditi kako bi stekli povjerenje u njega te ga tako nastavili koristiti. Korisniku se prenose zaključci i rezultati dobiveni ES-om, a on također može svoje stavove i znanja iskazati te ih prenijeti u ES



Slika 2.4. Struktura ekspertnih sustava (autor prilagodio prema: Turban i ostali, 2001)

Brža i efikasnija izgradnja ES-a može se osigurati pomoću ljuske ekspertnih sustava (engl. *expert system shell*) koja generira ES te je programski opremljena s gotovim mehanizmom zaključivanja i modulima koji podržavaju izgradnju baze znanja (Khorasani i ostali, 2011).

Iako je i ES-u i SPO-u glavni cilj potpora procesu odlučivanja, ne funkcioniraju na isti način. SPO sadrži podatke pohranjene u bazi podataka, a ES su fokusirani na upravljanje bazama znanja u kojima se nalaze heuristička znanja karakteristična za eksperte. Ključna razlika je što ES koristi mehanizme zaključivanja kojih nema u SPO-u jer se oni temelje na korištenju algoritama i drugih mogućnosti koje su povezane s bazama podataka. Iz navedenog se može zaključiti kako SPO koristi razne vrste modela i alata, no njihova interpretacija i objašnjenje rezultata je siromašno. Međutim, uključivanjem ekspertnih sustava u SPO povećava se njegova funkcionalnost i učinkovitost uvođenjem "inteligentne pomoći" i ekspertnog znanja u proces odlučivanja.

### Neizrazita (fuzzy) logika

Neizrazitu logiku predstavio je Zadeh (1965) i još tada je ovaj pristup privukao veliku pažnju. Iako se za jednostavnije sisteme neizrazita logika pokazala kao veoma efikasna i jasno prilagođena ljudskom razumijevanju. Za kompliciranije sisteme se pokazala kao veoma zahtjevna. Naime, postoje situacije u kojima znanje o sistemu nije moguće predstaviti na apsolutno precizan način. Da bi se prezentiralo znanje o ovakvim sistemima mora se odbaciti

klasična (binarna) logika u kojoj je nešto ili točno ili netočno i koristiti neizrazita logika. Klasična teorija skupova polazi od činjenice da neki element  $x$  iz promatranog (univerzalnog) skupa  $X$  pripada ili ne pripada konkretnom skupu  $A$ . Slična podjela postoji u klasičnoj logici: iskaz je istinit ili lažan i isključuje se treća mogućnost. Pripadnost je uvjetovana karakteristikom elementa, odnosno uvjetom koji element skupa  $X$  treba ispuniti da bi pripadao skupu  $A$ . Teorija neizrazitih skupova uvodi funkciju pripadnosti  $\mu_A(x)$ . Ova funkcija pokazuje koliko  $x \in X$  ispunjava uvjet pripadnosti skupu  $A$ . U klasičnoj teoriji ona može imati jednu od dvije vrijednosti, 1 i 0, tj. element pripada ili ne pripada skupu  $A$ . U teoriji neizrazitih skupova funkcija pripadnosti može imati bilo koju vrijednost između 0 i 1. Vrijednost  $\mu_A(x)$  određuje koliko je istine u tvrdnji da element  $x$  pripada skupu  $A$ , odnosno element  $x$  u većem stupnju ispunjava uvjete pripadnosti skupu  $A$ . Za funkciju pripadnosti vrijedi  $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$ , za svaki  $x \in A$ , tj.  $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ . Neizraziti skup  $A$  definira se kao skup uređenih parova:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X, 0 \leq \mu_A(x) \leq 1\} \quad (2.19)$$

$X$  je univerzalni skup ili skup promatranja na kojem je definiran neizraziti skup  $A$ , a  $\mu_A(x)$  je funkcija pripadnosti elementa  $x$  skupu  $A$ . Svaki neizraziti skup je kompletno i jedinstveno određen svojom funkcijom pripadnosti.

Fuzzy logika se najčešće koristi za modeliranje složenih sustava u kojima je, primjenom drugih metoda, veoma teško utvrditi međuovisnosti koje postoje između pojedinih varijabli. Modeli zasnovani na neizrazitoj logici sastoje se od „If – Then“ („Ako – Onda“) pravila. „If – Then“ pravila međusobno su povezana izrazom „Else“ („ili“).

U velikoj većini slučajeva ulazne vrijednosti su najčešće predstavljene brojem, pri čemu se i izlazna vrijednost dobiva također u numeričkom obliku. S druge strane, u neizrazitom sustavu dati sustav je opisan lingvistički (kvalitativno) preko zadanih pravila. Zbog toga, najprije se na određeni način fazificiraju numeričke vrijednosti. Nakon toga, mehanizam zaključivanja ih obrađuje u neizrazitom sustavu kroz faze agregacije, aktivacije i akumulacije (Kandel, 1991). Izlazna vrijednost dobiva se procesom defazifikacije.

## 2.2. Planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova

Očuvanje mostova ima za cilj spriječiti, odgoditi ili smanjiti pogoršanje elemenata mostova ili cijelog mosta, vratiti izvornu funkciju mostova, održavati mostove u prikladnom stanju i produljiti njihov vijek trajanja (AASHTO, 2011). Očuvanje mostova obuhvaća preventivnu

djelatnost održavanja i obnove. Obnova mosta uključuje rad na obnovi njegove strukturalne cjelovitosti. Može uključivati i djelomičnu ili potpunu zamjenu mosta sa ili bez širenja poprečnog presjeka (INDOT, 2013).

U većini procesa obnove povijesnih građevina pa tako i povijesnih cestovnih mostova, jedan od najvećih izazova jest kako zadržati kulturnu/povijesnu važnost građevine na željenoj razini. Nekoliko je slučajeva koji utječu na degradaciju važnosti kulturnog dobra (Lee, 2004):

- urbani razvoj bez razmatranja kulturnog konteksta povijesnih mostova;
- obnova kulturne baštine usredotočuje se uglavnom na vanjski izgled;
- obnova kulturne baštine usredotočuje se uglavnom na strukturalnu sigurnost (mehaničku otpornost i stabilnost);
- nedostatak razvoja strategije održavanja.

Da bi se izbjegli takvi slučajevi potreban je planirani i sveobuhvatni pristup održavanja povijesnih cestovnih mostova. Rodrigues i Grossi (2007) predložili su koncept upravljanja mostovima koji u obzir uzima kompatibilnost s ciljem postizanja veze između multidisciplinarnih aspekata kao što su tehnički, operativni, ekološki, sociološki aspekti te aspekt okoline i kulturne baštine. S obzirom na to da povijesne konstrukcije "pate" od posljedica starenja, kompatibilnost mora biti podjednako usmjerena i na sigurnost mosta i na očuvanje njegove kulturne važnosti.

Prilikom upravljanja građevinskim projektima, kao što je obnova povijesnih cestovnih mostova, posebna pažnja treba se posvetiti planiranju kao najvažnijoj fazi procesa odlučivanja. Sposobnost dionika da utječu na konačne karakteristike i troškove projekta je najviša na njegovom početku i progresivno se smanjuje tijekom izrade projekta, dok se troškovi promjena i popravaka općenito povećavaju (Marović i Hanak, 2017). Višekriterijalna analiza je često korištena u planiranju i upravljanju privatnim građevinskim projektima (Jajac i ostali, 2013) te javnim investicijskim projektima (Kilić i Kaya, 2015; 2014; Car-Pušić i ostali, 2015). Provedba javnih projekata, putem kojih se javne usluge isporučuju, složen je poslovni proces koji zahtijeva posebnu pažnju, ozbiljnost i društvenu odgovornost ne samo od javne uprave već i šire društvene zajednice. Budući da su moderna društva ubrzano i globalno povezana, svaka pogrešna odluka može prouzročiti katastrofu. Donositelji politike moraju brzo i precizno odlučivati s oskudnim resursima i nemaju vremena za eksperimentiranje s pogreškama. Zbog tih zahtjeva, vladajući u javnoj politici trebaju visoko kvalitetnu, sveobuhvatnu i pravodobnu informaciju (Marović, 2013).

Proces planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova kao početne faze upravljanja istima, provodi se ukoliko su oštećenja mostova toliko uznapredovala da samo održavanje nije dovoljno

da se osigura strukturalna stabilnost građevine. Glavni dio planiranja obnove je izbor adekvatnog varijantnog rješenja (metode) obnove. Taj se izbor treba provoditi racionalnim i sistematičnim odlučivanjem pri tom koristeći holistički pristup u sagledavanju strukturalne sigurnosti i kulturnog značenja građevine. Prilikom obnove povijesnih cestovnih mostova prvenstveno se mora voditi računa o njegovoj mehaničkoj otpornosti i stabilnosti, a potom o zadržavanju njegove autentičnosti, osim u nekim ekstremnim slučajevima kada strukturalna stabilnost konstrukcije nije ugrožena. Svaka alternativa razmatra se i procjenjuje s obzirom na materijal koji će se koristiti za obnovu u okvirima očuvanja povijesnog značaja (Hong i ostali, 2009).

Prilikom procjene povijesnih mostova za obnovu, ekspert/inženjer se mora suočiti s poteškoćama čiji su rezultati (Whittington i Shiwa, 1988): nedostupnost evidencije o strukturi, strukture su same po sebi vrlo stare, korišteni su neujednačeni načini oblikovanja i gradnje, neki popravci koji su učinjeni često nisu dokumentirani.

Obnova povijesnih cestovnih mostova može biti vrlo skup pothvat iz sljedećih razloga (Shiwa, 1987): zamjenski materijali su skupi i često ih je teško nabaviti, osoblje za održavanje mora biti visoko kvalificirano stoga su troškovi plaća visoki, u mnogim slučajevima kada se počne raditi na planiranim popravcima dodatna oštećenja na mostu postaju očita tek kada je struktura djelomično rastavljena.

### 2.2.1. Planiranje i obnova - komponente upravljanja cestovnim mostovima

Cestovna infrastruktura jedno je od glavnih društvenih bogatstava koja sadrži specifične karakteristike i čijem planiranju treba pristupiti na poseban način (Jajac, 2010). Ključne komponente cestovne infrastrukture su cestovni mostovi koji zbog svoje funkcije povezivanja cesta te zbog svog strateškog položaja zahtijevaju posebnu pozornost. Naročito je važna sustavna i sistematična procjena mostova kao bitna aktivnost nadzora i upravljanja transportnim sustavom. Upravljanje građevinama obuhvaća djelatnosti kojima se optimizira uporaba određene građevinske infrastrukture tako da se tijekom unaprijed određenog razdoblja ostvari najveća moguća korist (Puž i ostali, 2013).

Nedostaci vezani uz starenje mosta postali su glavna briga za upravitelje, ali i društvo u cjelini. Degradacija mostova uglavnom započinje procesima čije se djelovanje očituje tek u odmakloj fazi, pojavama vidljivim na površini građevine (Tenžera i ostali, 2012). Ozbiljna oštećenja na mostovima mogu nastati izloženošću uvjetima agresivne okoline, povećanjem volumena prometa, zanemarivanje problema trajnosti, pogreške u izvedbi te podcjenjivanje važnosti održavanja (Frangopol i Liu, 2005). Utvrđivanje razine popravaka potrebnih za postizanje

najisplativijeg vijeka trajanja mosta već dugi niz godina predstavlja izvor dileme za upravitelje. U skladu s ograničenim sredstvima za upravljanje, održavanje i obnovu mostova moraju se postaviti određene strategije. No, s druge strane, bilo kakva nepažnja i zakašnjele radnje održavanja mostova mogu dovesti do velikih budućih troškova ili znatne degradacije građevine (Rashidi i Lemass, 2011a).

Kako bi se mostovi efektivno održavali i obnavljali eksperti moraju posjedovati znanja o njihovom projektiranju kao i njihovu povijest održavanja što je za većinu mostova nepoznato. Održavanje mostova podrazumijeva skup aktivnosti za uspostavu održivog stanja radi osiguranja osnovnih vrijednosti građevine (mehanička otpornost i stabilnost, sigurnost u korištenju i sl.) kao što su radovi obnove, adaptacije i rekonstrukcije s kojima se omogućava sigurnost i uporabljivost mosta (Tenžera i ostali, 2012).

Pregled i održavanje cestovnih mostova vrlo je osjetljiv i kompleksan zadatak zbog povećanog volumena prometa, degradacije i raznih oštećenja postojećih mostova. Upravljanje cestovnim mostovima povjereno je državnim institucijama i oblikuju ga tehnički, politički, okolišni i povijesni aspekti. Ono se bavi svim aktivnostima tijekom životnog vijeka mosta od gradnje do zamjene, s ciljem osiguranja njegove sigurnosti i funkcionalnosti. Također omogućava potrebnu zaštitu, planiranje održavanja te minimiziranje troškova životnog ciklusa mosta (Dabous, 2008). Životni vijek mosta može se podijeliti u četiri različite faze (ARRB, 2000): projektiranje i izgradnja, neznatna pogoršanja, očita oštećenja te pojava opsežne degradacije. Najučinkovitiji način odabira adekvatne strategije održavanja, uključujući zamjenu, popravak, obnovu i preventivno održavanje jest primjena matematičkog modeliranja računalnih sustava (Chassiakos i ostali, 2005).

Različiti sustavi upravljanja mostovima ostvaruju svoje ciljeve na različite načine. Ti ciljevi odgovaraju lokalnim okolnostima i značenju građevina, razini tehničke naobrazbe, tradiciji upravljanja imovinom, vlasničkim odnosima i organizaciji nadležnih službi. Glavni nedostatak u razvitku sustava je izlučivanje efektivnih pokazatelja za određivanje prioriteta radova obnove i financijsko planiranje iz ograničene baze podataka (Puž i ostali, 2013).

S napretkom tehnologije, kombinacija pregleda mostova te metode održavanja ili obnove upravljana je računalom podržanim sustavom za upravljanje mostovima (engl. *Bridge Management System* - BMS) koji se koristi diljem svijeta za rješavanje kompleksnosti odlučivanja u upravljanju mostovima (Dabous, 2008). Međutim svaki BMS se razlikuje od države do države zbog korištenja različitih načina pregleda mostova i strategija održavanja, obnavljanja i popravljanja mostova unutar raspodijeljenog budžeta (Branco i de Brito, 2004). Upravljanje cestovnim mostovima u Hrvatskoj počelo se intenzivnije izučavati osamdesetih



godina kada su provedeni prvi sustavni pregledi mostova cestovne mreže (Radić, 1991). Gospodarenje mostovima razvija se u poduzeću Hrvatske ceste od 1995. godine, kada je započelo uvođenje BMS-a pod nazivom HRMOS, na temelju sustava koji primjenjuju danske direkcije za ceste (Kršinić, 1996). Sredinom devedesetih razvija se sustav gospodarenja mostovima na državnim cestama temeljen na sustavu kojeg koriste danske uprave za ceste DANBRO (Puž i ostali, 2004).

Upravljanje mostovima uključuje dvije razine odlučivanja: razinu projekta i razinu mreže (Elbehairy, 2007). Na razini projekta upravljanje mostovima odnosi se na pojedine mostove i uglavnom se bavi alternativnim mogućnostima svakog mosta s obzirom na inspekciju, rutinsko održavanje, popravak i obnovu. Upravljanje mostovima na razini mreže povezano je s kompletnim sustavom mostova te se bavi inventarom mostova i obavlja višegodišnju procjenu mreže. Cilj upravljanja s razinom mreže je zadržavanje funkcionalnosti svih mostova u mreži na unaprijed određenoj razini. Razmatrajući obje razine, upravljanje se može provesti pomoću pristupa odozgo prema dolje (top-down) ili pristupa odozdo prema gore (bottom-up) (Rashidi, 2013). Pristup odozgo prema dolje određuje željene ciljeve za cijelu mrežu, a zatim odabire pojedine projekte mostova na temelju tih ciljeva. Pristup odozdo prema gore određuje optimalno djelovanje za svaki most, a zatim odabire koji će se projekti najprije dovršiti na temelju optimizacije mreže. Pristup odozdo prema gore donosi bolje rezultate za manje mreže mostova.

Glavne aktivnosti sustava upravljanja mostom su: modul baze podataka, procjena stanja te proces odlučivanja (Yanev, 2007). Modul baze podataka sastoji se od dokumentacije o mostovima i računalne baze podataka. Jedan od osnovnih zahtjeva sustava upravljanja mostovima je sveobuhvatan i dostupan popis podataka o mostovima. Popis bi trebao sadržavati informacije o održavanju, niz deskriptivnih podataka koji se koriste za različite svrhe, kao što su upravljanja velikim mrežama mostova, vrednovanje cjelokupnog stanja mostova, lokacija mosta, vrsta mosta, materijali, troškovi i povijest održavanja, itd. Zapisi o bilo kakvim nedostacima, promjene izvornih projekata mostova i akcija održavanja trebaju se precizno memorirati za buduća znanja. Povijest održavanja ne pruža samo informacije za pojedini most, već može dovesti, prilikom analiziranja svih informacija, do razumijevanja uobičajenih problema koji zahtijevaju više od rješenja na razini projekta ili mreže (Moore i ostali, 2011).

Procjena stanja temelji se na podacima iz periodičnih terenskih pregleda mostova. Svrha procjene stanja je procjena stupnja i opsega pogoršanja te nedostataka. Most je podijeljen na elemente ili komponente, a stanje svakog elementa ili komponente iskazano je pomoću procjene stanja. Procjene stanja definirane su numeričkim ili jezičnim varijablama kao mjerama stupnja i opsega pogoršanja. Stanje se procjenjuje kroz inspekcijski proces koji uključuje uporabu

specifičnih tehnika za procjenu fizičkog stanja mosta. Detaljni vizualni pregled provodi se na rutinskoj ili planiranoj osnovi kako bi se otkrili ozbiljni nedostaci i ocijenio stupanj pogoršanja elemenata mosta. Osim toga, trebaju se provoditi ad hoc inspekcije nakon prirodnih katastrofa kao što su potresi te hitne inspekcije nakon nesreća zbog specifičnih kvarova. Ako se tijekom vizualnog pregleda utvrdi ozbiljno oštećenje, potrebno je detaljno ispitivanje koje koristi metode nerazornih ispitivanja (engl. *non-destructive testing*-NDT) kako bi se utvrdio opseg oštećenja u elementu mosta. Također je potrebno napraviti pregled stanja mosta nakon što su se obavile radnje održavanja, obnove ili popravaka radi osiguranja da je oštećenje ili kvar otklonjen, a nakon toga na mostu se trebaju nastaviti obavljati rutinski pregledi i održavanja (Elbehairy, 2007). Inspeksijski sustav mostova kontrolira cijeli proces životnog ciklusa mosta i daje informacije potrebne za sustav odlučivanja koji je odgovoran za sve aktivnosti tijekom životnog vijeka mosta, kao što je rutinsko održavanje i popravak te nadogradnja i zamjena. Watson i Everett (2011) navode da uobičajeni proces inspekcije mostova uključuje četiri razine:

- 1) rutinske provjere radi potvrde opće sigurnosti i upotrebljivosti strukture za korisnike cesta;
- 2) sveobuhvatni vizualni pregled koji provodi kvalificirani ekspert za ocjenu stanja svakog mosta;
- 3) detaljne inspekcije koje se obavljaju kada se zahtijevaju daljnja ispitivanja što je utvrđeno tijekom razine 2, a obavljaju ih kvalificirani inženjeri;
- 4) procjena opterećenja zbog promjena u opterećenju odnosno zbog primjene novih vrsta vozila ili zbog potrebe za potvrđivanjem strukturalnog kapaciteta mostova.

Kao rezultat ključna je odgovornost upravitelja, zaduženih za obnovu mostova, donijeti transparentne odluke s najnižim predviđenim gubicima (Rashidi i ostali, 2010). Procesi podrške odlučivanju široko su korišteni kako bi pomogli upraviteljima utvrditi najprikladnije akcije koje treba poduzeti (McCowan i Mohamed, 2007). Bez obzira jesu li restrikcije obnove tehničke, ekonomske, ekološke ili društvene, primjenom principa potpore odlučivanju, upravitelji mogu jasno razjasniti što bi moglo biti najbolji tijek obnove za određeni most. Stoga, kada je riječ o odlučivanju o planiranju obnove, treba razmotriti strategije na razini mreže kao i na razini projekta. Većina odluka vezanih uz održavanje mostova donosi se temeljem procjena zasnovanih na vizualnim pregledima koje obavljaju za to osposobljeni inženjeri čiji je zadatak vidjeti, prepoznati i zabilježiti pojave bitne za ocjenu stanja konstrukcije i opreme mosta, odnosno indikacije koje vode oštećenju. Vizualni pregled, uz sve ostale metode ispitivanja, smatra se najvažnije sredstvo za ocjenjivanje stanja mosta. Koliko će vizualni pregled biti kvalitetan i točan ovisi o osposobljenosti i opremljenosti eksperata koji provode pregled. Učinkovitost

upravljanja u planiranju održavanja i obnove bitno ovisi o ujednačenosti rezultata vizualnog pregleda odnosno o procjeni vrste oštećenja (Radić, 1991). Nakon vizualnog pregleda dodjeljuju se ocjene stanja elementa koje se potom ugrađuju u jedinstvenu ocjenu cijele građevine. (Tenžera i ostali, 2012). Ocjenjivanje stanja konstrukcija može se definirati kao proces kojim se utvrđuje s kolikom je pouzdanošću konstrukcija sposobna preuzeti sadašnja i buduća djelovanja, pri tome ispunjavajući zadaću svog postojanja u planiranom vremenu uporabe. Jednostavne metode (primjerice pregled dokumentacije) se najčešće rabe za niže razine ocjenjivanja, dok je za više razine ocjenjivanja potrebno smanjiti nesigurnosti pregledom konstrukcije i ispitivanjem materijala. Kao opciju, gdje god je moguće, bolje je odabrati nerazorne metode ispitivanja (Radić i ostali, 2009).

U sljedećim potpoglavljima dana je podjela na dosadašnja istraživanja u upravljanju mostovima koristeći razne pristupe kao što je sustav za upravljanje mostovima, optimizacijske tehnike i generički algoritmi za održavanje mostova, pristupi temeljeni na riziku kojim se utvrđuju optimalne akcije za mostove zahvaćene višestrukim opasnostima itd. te dosadašnja istraživanja sustavne podrške odlučivanju odnosno istraživanje SPO-a ili višekriterijalnog odlučivanja (ili njihove kombinacije) u upravljanju mostovima, kao pristupa koji će se koristiti i razvijati za planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova. Istraživanja o planiranju obnove mostova (a naročito mostova povijesnog značenja) eksplicitno nema, već su autori u svojim istraživanjima aktivnosti (popravci, obnova, održavanje, zamjena, itd.) na mostovima prikazali kroz proces upravljanja istima.

#### 2.2.1.1. Pristupi i modeli u upravljanju cestovnim mostovima

Yanev (2007) opisuje proces upravljanja mostom kao sistematičan postupak, kojim se propisuje praćenje aktivnosti vezanih za most, a koji se temelji na saznanjima o svim uvjetima i ograničenjima. S druge strane, BMS je definiran kao računalni upravljački sustav koji se koristi za praćenje stanja mreže mostova i pomaže pri određivanju mjera koje treba poduzeti tijekom upravljanja (Tonias i Zhao, 2007). Glavni cilj BMS-a je osigurati adekvatnu razinu funkcionalnosti mosta uz niske troškove njegovog održavanja i obnove. Istraživanje upravljanja mostovima može se podijeliti u dvije kategorije: teorijska istraživanja koja daju fundamentalne modele te istraživanja koja uključuju praktičnu primjenu razvijenih modela tj. implementaciju postojećih i novih BMS-ova (Akgul, 2013). Na različite načine se može okarakterizirati oštećenje za dobivanje ocjene stanja elementa mosta ili samog mosta kao što je stupanj, težina, opseg, intenzitet, važnost i hitnost oštećenja. Razne aktivnosti kao što su inspekcije, procjene i

testiranja služe za ocjenjivanje mostova ili njihovih elemenata te rangiranje mostova po prioritetu za aktivnosti održavanja i obnove (Vassie i Arya, 2008). U prošlom stoljeću, razvijeni su mnogi BMS-ovi, a mnogi od njih su još uvijek u stalnom razvoju, kao što su: PONTIS (čiji je razvoj financirala 1991. godine Federal Highway Administration (FHWA), a čiji je vlasnik American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)) i BRIDGIT (kojeg je razvila organizacija AASHTO) u SAD-u, nadalje tu je FinnRA BMS (Soderqvist, 2004) u Finskoj, DANBRO u Danskoj (Bjerrum i Jensen, 2006), J-BMS (Kawamura i ostali, 2008) i BMS-ovi za japanske prefektore (Furuta i Watanabe, 2010), T-BMS u Taiwan (Liao i ostali, 2008), SBMS za čelične mostove u Koreji (Kong i ostali, 2006), Argentinian-BMS (Ruiz et al. 2008) u Argentini i mnogi drugi. U studiji BRIME (Woodward i ostali, 2001) predložen je okvir za upravljanje mostovima u europskoj cestovnoj mreži. Elbehairy i ostali (2006) prezentirali su opsežan model BMS-a korištenjem algoritma namijenjenog za pomoć donositelju odluke u izboru optimalne strategije radne zone za obnovu i popravke ploče mosta uz minimalne troškove. Elberhairy (2007) predlaže inovativni BMS okvir koji razmatra odluke vezane za obnovu, popravke pa i deterioraciju mostova na razini mreže (skup mostova) i na razini projekta (most ili element mosta).

#### 2.2.1.2. Sustavna podrška odlučivanju u upravljanju cestovnim mostovima

U nastavku je dan temeljit pregled postojeće literature o modeliranju SPO-a u upravljanju mostovima, njihovima elementima ili metodama obnove. U nekim je radovima korištena samo logika SPO-a, u nekim višekriterijalna analiza ili što je češće pojedinačne višekriterijalne metode, a u nekim radovima kombinacija ovih pristupa i metoda. Također, su se koristili i ekspertni sustavi u procjeni stanja mostova i njihovih elemenata. Pojedini radovi primjenjivali su navedene pristupe i metode na mostovima u cjelini, pojedini na određenim elementima mostova, a pojedini na tehnikama održavanja i obnove mostova. Međutim, u dosadašnjim istraživanjima nije se još istražila primjena pristupa/logike SPO-a u kombinaciji s višekriterijalnom analizom i ekspertnim sustavima u planiranju obnove sustava povijesnih cestovnih mostova i pojedinačnih povijesnih cestovnih mostova kao cjelovitih objekata, ali niti u izbor metoda njihove obnove uz uključivanje svih relevantnih dionika u proces planiranja.

Rashidi i ostali (2016a, 2016b) u istraživačkim radovima koji su dio doktorske disertacije (Rashidi, 2013) razvili su metodologiju za podršku odlučivanju u upravljanju obnovom betonskim mostovima s ciljem održavanja komponenti mosta unutar dozvoljenih granica sigurnosti, mehaničke otpornosti i stabilnosti, održivosti i funkcionalnosti. Razvijena je i

ilustrirana kvantitativna metodologija kako bi se dao uvid donositelju odluke o izboru najbolje strategije upravljana mostovima. Metodologija se sastoji od dvije faze: fokus je stavljen na procjenu stanja i prioritarno rangiranje mostova korištenjem integriranog indeksa prioriteta koji obrađuje strukturalnu i funkcionalnu učinkovitost mosta, uzimajući u obzir preferencije donositelja odluke. U drugoj fazi uključuje se višekriterijalno odlučivanje za odabir najbolje strategije obnove na razini projekta i sustava/mreže. Rashidi i ostali (2017) prikazali su novorazvijeni SPO u kombinaciji s AHP metodom za modeliranje obnove čeličnih mostova unutar granica sigurnosti, funkcionalnosti i održivosti. Dabous (2008) je u svojoj disertaciji razvio metodologiju podrške odlučivanja za obnovu betonskih mostova općenito, a posebice za ploču mosta. Razvijena je metoda vjerojatnosti za procjenu stanja mosta u skladu s inspekcijom mostova i Markovljevim pristupom za modeliranje degradacije. Hijerarhijska struktura je korištena za prikaz problema i rangiranje različitih projekata mosta pomoću višeatributne teorije korisnosti (engl. *Multi Attribute Utility Theory-MAUT*). Dabous i Alkass (2012) koristili su metodologiju višekriterijalnog odlučivanja za upravljanje mostovima pod budžetskim ograničenjem te za izbor strategije obnove (Dabous i Alkass, 2010). Jajac i ostali (2017) razvili su koncept za podršku odlučivanju u kombinaciji s višekriterijalnom analizom i višekriterijalnim metodama za izbor optimalne metode obnove povijesnog mosta registriranog kao kulturno dobro. Yehia i ostali (2008) prikazali su novorazvijeni SPO za upravljanje pločom mosta, a Whittington i Shiwa (1988) razvili su softver za podršku odlučivanju za procjenu masivnih kamenih mostova.

Procjenu održivosti, funkcionalnosti i sigurnosti mostova, pomoću višekriterijalnog odlučivanja i višekriterijalne analize, istraživali su: Salem i ostali (2013) te Penadés-Plà i ostali (2016). Dok su Tee i ostali (1988), Melhem i Aturaliya (1996), Sasmal i ostali (2006), Sasmal i Ramanjaneyulu (2008) istraživali mogućnosti korištenja fuzzy matematike za procjenu stanja betonskih mostova.

### 2.2.2. Povijesni cestovni mostovi - razlozi njihove važnosti i potrebe očuvanja

Povijesne građevine su najvrjedniji odraz kulturne baštine i kulturnog identiteta koje imaju značajne uloge u stvaranju snažne veze između prošlosti i sadašnjosti. Bez njih nije moguće razumjeti, tumačiti i pratiti razvoj civilizacije. Povijesni cestovni mostovi jedni su od primjera tih građevina te su i dalje glavni dio infrastrukturnog sustava u mnogim zemljama (Proske i Hübl, 2007). Očuvanje povijesnih mostova treba zadržati njihovo izvorno stanje, strukturu i materijale.

Pri tom je nužno održavati povijesne i kulturne vrijednosti te fundamentalne funkcije kao što su stabilnost, trajnost i funkcionalnost. Međutim, ovi su zahtjevi često međusobno kontradiktorni.

Ono što građevinska kulturna dobra, kao što su povijesni mostovi, razlikuje od ostalih jest to što moraju prvenstveno funkcionirati kao dio transportnog sustava. Stoga konzervacija povijesnih mostova treba prihvatiti oštećenja i promjene na mostovima pod određenim pravilima i procesima baziranim na objektivnoj procjeni povijesnih vrijednosti (Isohata, 2005). Kako bi se razvili prikladni projekti obnove i restauracije bez zanemarivanja bilo koje od jedinstvenih kulturnih vrijednosti, vrlo je važno odrediti sadašnje uvjete ovih konstrukcija (Ural i ostali, 2008).

Most je građevina koja se gradi za prelazak preko fizičkih prepreka kao što su vode, doline ili ceste. Gradi se od različitih materijala i različitim tehnologijama na način da sigurno podržava vlastitu težinu, kao i opterećenja koja prelaze preko njega. Precizna definicija povijesnog cestovnog mosta ne može se dati, ali se povijesno značenje tim mostovima može dodijeliti, ako su izgrađeni za vrijeme važnog povijesnog razdoblja. Najbolji primjer su mostovi Splitsko-dalmatinskoj županije koji su izgrađeni u doba Austro-Ugarske Monarhije. Prema registru kulturnih dobara neki se od tih mostova vode kao nepokretna kulturna baština, dok su neki, po tom pitanju, nepravedno zapostavljeni. Takvi mostovi, osim sigurnosnih i transportnih, moraju zadovoljavati i kulturološke uvjete. No, s obzirom na njihove karakteristike neki ne udovoljavaju uvjetima suvremenog transportnog sustava (Chamberlin, 1999). Iako svi oni predstavljaju jedinstvene simbole kulturne baštine, prirodna ili ljudska djelovanja uzrokuju velike štete, od kojih su neke nepopravljive. Stoga ih je neophodno redovito održavati te je potrebno poboljšati odgovarajuće metode praćenja njihova stanja kako bi se zaštitila i očuvala njihova jedinstvena kulturna vrijednost. Povijesni cestovni mostovi, koji datiraju stotinu i više godina unazad, a koji nisu redovito održavani ni obnavljani, ukazuju na blaga do ozbiljna oštećenja elemenata zbog različitih prirodnih i ljudskih učinaka. Glavni razlozi oštećenja u mostovima mogu biti (Sevim i ostali, 2016): potresi, neadekvatna i nedostatna odvodnja, slaba trajnost materijala, prekomjerno opterećenje, ratovi, ekstenzivna vegetacija i biološke kolonizacije, agresivan okoliš itd.

Povijesni cestovni mostovi različitih oblika, dimenzija i materijala izgrađeni su za društvene, ekonomske i strateške svrhe. Neki od tih mostova su trenutačno kritične komponente transportnih sustava jer moraju izdržati znatno veća opterećenja od onih za koja su prvobitno bili oblikovani pa im je stoga i brža degradacija. Osim što su neophodni za pravilno funkcioniranje transportnih mreža, predstavljaju važan dio kulturne baštine, čime je njihovo očuvanje za sljedeće generacije važan pothvat (Sevim i ostali, 2016). Stoga je stalna dijagnoza njihove

strukture neophodna upotrebom metoda koje neće promijeniti povijesni karakter strukture (Solla i ostali, 2011).

### 2.2.3. Metode obnove povijesnih cestovnih mostova

Konstrukcije koje pripadaju graditeljskoj baštini kao što su povijesni cestovni mostovi, po svojoj prirodi, predstavljaju skup specifičnih značajki koje ograničavaju primjenu suvremenih načina obnove. Međutim, ICOMOS (2001) daje preporuke o odgovarajućim pristupima pomoću kojih se vodi intervencija unutar arhitektonske baštine u granicama racionalnog znanstvenog procesa i kulturnog konteksta. Minimalni popravci kako bi se osigurali zahtjevi za sigurnost i izdržljivost konstrukcije, poštivanje izvorne koncepcije i tehnike te kompatibilnost novih i postojećih materijala su bitna pitanja suvremenih načela intervencije u arhitektonskoj baštini (Oliveira i Lourenço, 2004). Očuvanje graditeljskog naslijeđa nužno je radi očuvanja njegove kvalitete i značenja, stoga se taj pojam odnosi i na sve njegove konstitutivne dijelove, pa tako i na nosivi sustav. Zahtjev za očuvanjem graditeljskog naslijeđa, a sa stanovišta nosivog sustava, ukoliko se želi održati dosljednost u ostvarenju pojma očuvanja, nosi u sebi niz posebnosti koje predstavljaju nosivi sustav kao relevantnog čimbenika budući da je nositelj materijalne opstojnosti arhitekture, participirajući, implicitno, u njenoj kvalitativnoj valorizaciji (Lokošek, 2012). Problem obnove nosivog sustava, unutar šireg konteksta obnove graditeljskog naslijeđa može se predstaviti kao:

- obnovu oštećenih dijelova nosivog sustava;
- poboljšanje cjelokupne otpornosti nosivog sustava u odnosu na njegovo izvorno stanje.

Integralni pristup obnove povijesnih cestovnih mostova sastoji se od niza interdisciplinarnih aktivnosti od izrade arhitektonskog snimka postojećeg stanja i konzervatorsko-restauratorskih istraživanja preko izrade projekta obnove pa sve do izvedbe radova i prezentacije kulturnog dobra. Obnovi mosta prethodi detaljan vizualni pregled te ukoliko je potrebno primjena i drugih metoda ispitivanja stanja povijesnih cestovnih mostova. Pregled obavlja kvalificirani inženjer i na temelju kojeg, uz provedbu zapisa, promišljanja i analiza, donosi zaključke glede mehaničke otpornosti i stabilnosti odnosno odluku o izboru adekvatne metode obnove za određenu konstrukciju. Za povijesne mostove osim stabilnosti i sigurnosti važnu ulogu igra i očuvanje njihove autentičnosti.

Izbor obnove povijesnog cestovnog mosta mora se odabrati s obzirom na strukturalno ponašanje mosta i postojeća oštećenja. Potrebno je razumjeti uzroke postojeće štete tako da inženjer može odlučiti o najučinkovitijim tehnologijama popravljivanja i/ili ojačanja. Uobičajene tehnologije

obnove koje se koriste u takvim strukturama su injekcije filerskog materijala, punjenje spojeva između kamena, jačanje strukture čeličnim šipkama, izvođenje vodonepropusnosti i odvodnje kolnika, demontaža i rekonstrukcija nekih elementa strukture te ojačanje i konsolidacija temelja mosta (Rodrigues i ostali, 2008).

Osim što se značajnost pridaje sigurnosti i funkcionalnosti mosta pri odabiru obnove, ključnu ulogu, kao što je već prethodno rečeno, igraju i uvjeti Ministarstva kulture te se stoga navode metode po kojima konstrukcija mosta treba zadovoljavati oba aspekta (mehanička otpornost i stabilnost te kulturološka autentičnost). Tehnologija obnove mostova se neće posebno opisivati već će se dati kroz opis metoda obnove za koje se predlože logika njihova "oblika" s obzirom na korišteni materijal i tehnologiju. Podjela metoda obnove dana je u radu Jajac i ostali (2017), a one su sljedeće:

- Autentična metoda - obnova povijesnog cestovnog mosta autentičnom metodom zahtjeva korištenje materijala istog porijekla i autentičnih tehnologija (utvrđeno da je u povijesti tom tehnologijom građen most ili njegov dio) kako bi se postigla koherentna cjelina koja oblikovno odgovara izvornoj formi mosta. Ovom metodom uz osiguranje stabilnosti konstrukcije postiže se i originalni izgled mosta kojim bi se ispunjavali zahtjevi Ministarstva kulture po pitanju očuvanja kulturne baštine.
- Suvremena A metoda - podrazumijeva uklanjanje cijelog mosta te gradnju novog koji će se graditi po suvremenim normama i odgovarat će suvremenim standardima. Na ovaj način postiže se prometna propusnost koja zadovoljava opterećenja vozila karakteristična za moderno doba te se tako postiže i veća prometna povezanost. Na ovaj način se izbjegava obnova pojedinih elemenata mosta te se omogućava veća sloboda pri odabiru materijala koji mogu biti financijski povoljniji. Veći financijski troškovi mogu se očekivati u procesu uklanjanja mosta. Za ovu metodu predlaže se korištenje suvremenih materijala i suvremenih tehnologija.
- Suvremena B metoda - podrazumijeva zadržavanje postojeće konstrukcije uz obnovu kompletne konstrukcije ili njezinih elemenata autentičnim i/ili suvremenim materijalima te suvremenim tehnologijama. Za razliku od suvremene A metode, ova metoda ne zahtjeva uklanjanje cijele konstrukcije već samo dio ili element. Koristi se u slučajevima kada nije moguće zbog stabilnosti ili funkcionalnosti povijesne građevine obnavljati s autentičnim metodama.

Nedostatak suvremene A i B metode jest što ne udovoljavaju zahtjevima Ministarstva kulture te bi se ovim metodama omogućila destrukcija autentičnosti mosta.



- Kombinirana metoda - kombinacija autentične i suvremene B metode, koristi se kada nije moguće u potpunosti obnoviti most autentičnom metodom, a kompletna zamjena mosta nije potrebna ili je zabranjena zbog očuvanja autentičnosti konstrukcije. Omogućuje očuvanje izvornog oblika mosta uz zadovoljenje konzervatorskih uvjeta te poboljšanja sigurnosti i stabilnosti mosta.

### **3. DEFINIRANJE TEORIJSKOG MODELA SUSTAVA ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU U PLANIRANJU OBNOVE POVIJESNIH CESTOVNIH MOSTOVA**

U ovom poglavlju prikazan je i opisan novorazvijeni model SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova. Najprije se prikazala njegova struktura s navođenjem njegovih osnovnih komponenata (podsustav za upravljanje podacima, podsustav za upravljanje modelima, podsustav za upravljanje znanjem i podsustav upravljanja dijalogom), a zatim funkcionalni odnos među komponentama u kontekstu donošenja upravljačkih odluka o obnovi. Navedeno je ostvareno grafičkim prikazom i opisom arhitekture i funkcionalnosti predloženog SPO-a bez provedbe programiranja. Nakon toga se iskazala struktura baze podataka, baze znanja i baze modela s težištem na posljednju. Priložio se shematski prikaz baze podataka te odnosa među podacima kao i odnosa pojedinih podataka s bazom modela. Opis baze podataka zadržao se na utvrđivanju načina njezina formiranja upravlja te na vrstama podataka i njihove strukturiranosti unutar iste. Baza modela opisala se na način da se predstavila međuovisnost pojedinih modela, načini njihova kombiniranja pri uporabi i naravno funkcioniranje i namjena svakog od njih. Prikazala se shema svakog modela te njegova provedba što je uključivalo definiranje vrste i oblika za model zahtjevanih inputa kao i očekivanih outputa. Također, modul dijalog se definirao, ali kako u njemu nema ostvarenih znanstvenih doprinosa posvetila mu se najmanja pozornost.

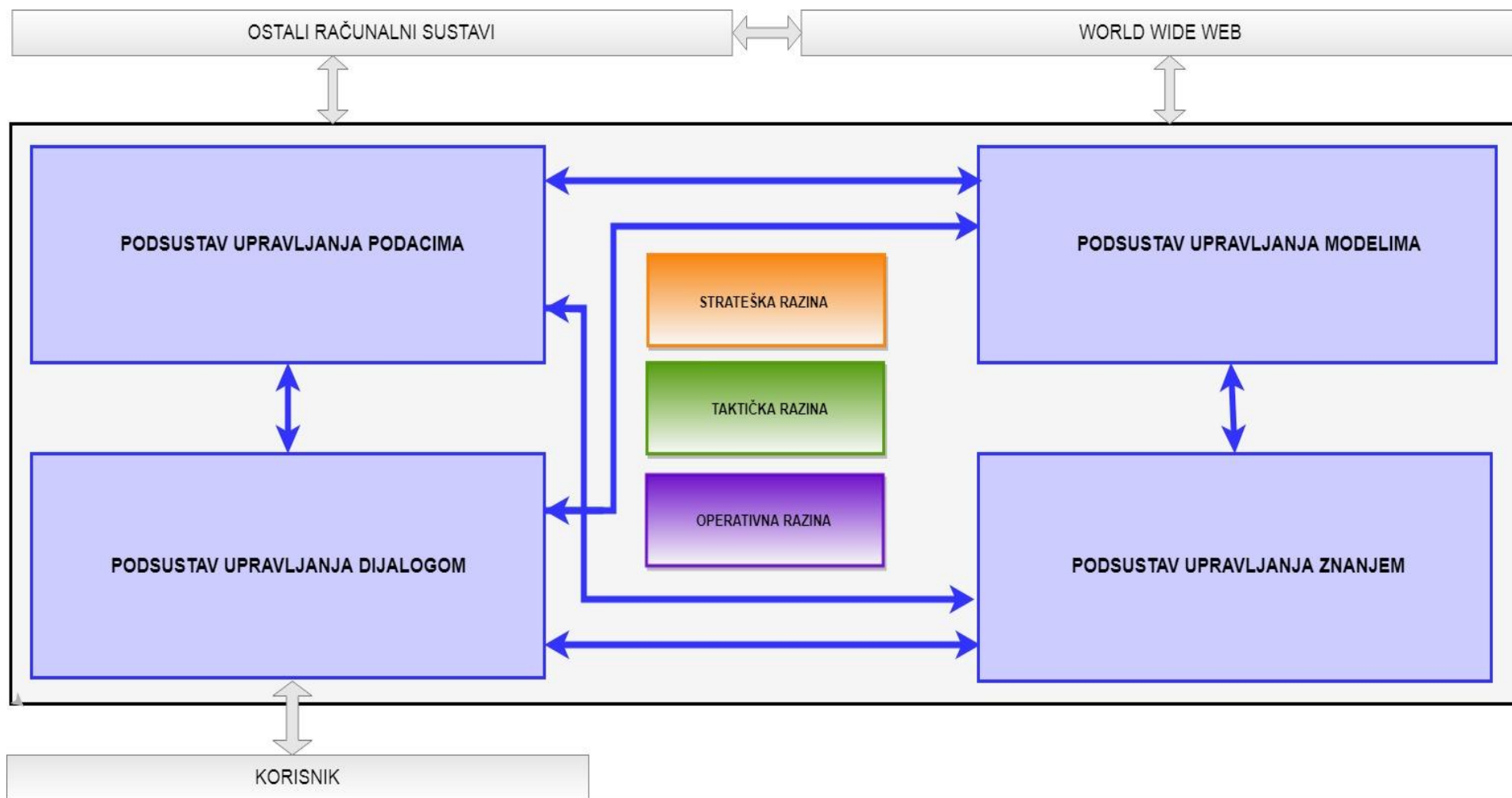
#### **3.1. Model sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova**

Planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova složen je proces koji zahtijeva uključivanje hijerarhijskih razina odlučivanja, zbog slabe strukturiranosti odnosno nestrukturiranosti njegovih zadaća. U prethodnom potpoglavlju 2.1.1. dano je objašnjenje razina navedene hijerarhije kao i značenja pojedine strukturiranosti problema. Hijerarhija koja se koristi za problem planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova sukladna je prethodno opisanoj. Temeljem hijerarhije odlučivanja uspostavljena je i arhitektura sustava za podršku odlučivanju, prikazana na slici 3.1., koja kroz četiri osnovne komponente omogućava izradu sustava. Osnovne komponente su: podsustav upravljanja podacima, podsustav upravljanja modelima, podsustav upravljanja znanjem te podsustav upravljanja dijalogom. Međusobna interakcija navedenih komponenti

ostvaruje se na svim razinama hijerarhije odlučivanja. Cilj njihove interakcije jest pružiti podršku korisniku odnosno donositelju odluke. Prema tome hijerarhijske razine omogućavaju doticaj modela s njima potrebnim podacima i znanjem ili pak omogućavaju odabir modela na temelju prikupljenih podataka i znanja. Korisnik odabire hoće li prilikom odlučivanja, ovisno o situaciji u kojoj se nalazi, prvo prikupiti podatke pa na temelju njih izabrati model ili će prvo odabrati prikladni model pa će prikupiti potrebne podatke.

Prva razina odlučivanja je operativna i na toj se razini donose operativne odluke te se definiraju podloge za više razine odlučivanja. Na operativnoj razini prikupljaju se podaci koji se pohranjuju u bazu podataka te se koriste za realizaciju modela unutar baze modela. Druga razina odlučivanja je taktička razina na kojoj se donose taktičke odluke te se izrađuju podloge za sljedeću, višu razinu odlučivanja. Na ovoj razini odluke donose eksperti te lokalne uprave, nadležne za donošenje taktičkih odluka. Na trećoj, strateškoj, razini donose se strateške odluke. Donositelji odluke kroz ekspertne procjene donose strateške odluke koje svoje izvršenje pronalaze u učincima odluka nižih razina čime se omogućava neprekinutost odlučivanja po svim razinama hijerarhije. Tehnike i znanja višeg ranga najčešće koriste taktička i strateška razina, međutim i na operativnoj razini se mogu koristiti napredne metode. Na strateškoj i taktičkoj razini rješavaju se nestrukturirane i polustrukturirane (slabo strukturirane) zadaće dok su na operativnoj razini zastupljene dobro strukturirane zadaće.

S obzirom na dinamičnu prirodu planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova, moguće su promjene u sustavu pa tako i u odlukama za koje se te promjene vežu. Tako su na operativnoj razini učestalije odluke koje su rutinskog karaktera te sadrže aspekte s čestim promjenama pa tako i s čestom potrebom za odlučivanjem. Na ovoj razini odluke su kratkoročne, predstavljaju rješenja dobro strukturiranih problema te zahtijevaju manje odgovornosti. Suprotno ovim odlukama su taktičke odluke kojima se treba posvetiti veća pažnja i odgovornost. Naime, s ovim odlukama rješavaju se slabo strukturirani problemi te se pri donošenju taktičkih odluka koriste naprednije tehnike i metode. Na taktičkoj razini definiraju se rješenja potrebna kao podloge za donošenje dugoročnih odluka te se tako dobivena rješenja koriste u evaluaciji na strateškoj razini. Ovim se olakšava proces odlučivanja na trećoj razini.



Slika 3.1. Sustav za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova - osnovne komponente i njihovi odnosi

Na slici 3.1. prikazan je koncept sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova. Međutim, na dotičnoj slici dane su samo komponente bez glavnih elemenata (baza podataka, baza modela i baza znanja) i hijerarhijske razine odlučivanja. Iz priloženog se može uočiti kako su komponente u međusobnoj vezi te preko podsustava za upravljanjem dijalogom "komuniciraju" s korisnikom, tj. donositeljem odluke. Podaci za navedeni sustav prikupljaju se iz raznih unutarnjih, vanjskih pa i privatnih izvora. Vanjski izvori mogu biti iz ostalih računalnih sustava ili World Wide Web-a. Svi podaci koji se prikupe odlaze u komponentu podsustav upravljanja podacima unutar koje se obrađuju pomoću elemenata navedene komponente. Podaci iz navedene komponente dalje se odводе do preostale tri komponente. Podsustav upravljanja znanjem preuzima podatke iz podsustava upravljanja podacima kako bi formirao ekspertna znanja. Podsustav upravljanja modelima prikuplja podatke iz podsustava upravljanja podacima i/ili znanja iz podsustava upravljanja znanjem. Izlazi dobiveni iz tri spomenute komponente dalje se upućuju podsustavu upravljanja dijalogom koji ih prosljeđuje korisniku. Cijela "komunikacija" između komponenti razvija se preko hijerarhijskih razina odlučivanja, ali i preko tokova informacija među tim razinama.

### 3.1.1. Hijerarhijske razine sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

Prva hijerarhijska razina ključna je za ostvarenje kontakta s okolinom. Naime, na ovoj razini odlučivanje se podržava pomoću korisničkog sučelja i podataka koji se kontinuirano prikupljaju iz raznih vanjskih i unutarnjih izvora te se pohranjuju u bazu podataka. Stalno prikupljanje podataka organizirani je proces koji zahtijeva ciklički pregled na terenu. Ovim putem omogućava se pohrana svih potrebnih i adekvatnih podataka u bazu podataka koji će se koristiti u određenom trenutku za donošenje operativnih odluka. Pohranjeni podaci ujedno služe i za kreiranje podloge za više razine odlučivanja.

Kao što je već rečeno, operativna razina je u direktnoj vezi s korisničkim sučeljem i bazom podataka, što je važna činjenica za planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova jer za uspješnost realizacije SPO-a u planiranju obnove navedenih mostova ključno je osigurati relevantne podatke kojima će se dati jasan uvid u prostorne i fizičke karakteristike mostova.

Modeli na operativnoj razini se neće realizirati, već će se podaci, prikupljeni na ovoj razini te pohranjeni u bazi podataka, iskoristiti za realizaciju modela koji se definiraju na višim razinama odlučivanja.

Zbog važnosti prostornih i fizičkih karakteristika povijesnih cestovnih mostova, potrebno je iskoristiti geografske baze podataka poput GIS-a. Također, podaci koji se prikupe na ovoj razini koristit će se i za kreiranje ekspertnih znanja te njihovu pohranu u bazu znanja koja će se iskoristiti za realizaciju modela na višim hijerarhijskim razinama. Definiranjem ekspertnih znanja točnije ekspertnog sustava koji "crpi" podatke iz baze podataka i baze znanja omogućava se uvođenje umjetne inteligencije u SPO kao intelektualne podrške za rješavanje složenih problema, kao što je primjerice procjena stanja povijesnog cestovnog mosta u pogledu njegove stabilnosti i sigurnosti.

Na drugoj hijerarhijskoj razini odlučivanja definirat će se varijantna rješenja te će se na ovoj razini uključiti svi adekvatni dionici, eksperti i relevantne uprave, nadležni za donošenje taktičkih odluka. Definirana varijantna rješenja će se iskoristiti kao podloga za donošenje odluka na višoj, strateškoj razini odlučivanja. Rješenja dobivena na ovoj razini generiraju se na temelju analiziranih potrebnih podataka uz upotrebu modela iz baze modela te uz prisustvo relevantnih dionika. S obzirom na uključivanje dionika na ovoj razini, promatraju se i sukobljavanja mišljenja odnosno konflikti među njima, jer u procesu planiranja povijesnih cestovnih mostova sudjeluju ne samo eksperti za područje konstrukcije mostova, već i nadležno tijelo koje upravlja tim mostovima kao i konzervatorski odjeli koji se zalažu za zaštitu kulturnog dobra. Za razliku od niže, operativne, razine na kojoj se koriste dobro strukturirani podaci, na taktičkoj razini su ti podaci slabo strukturirani odnosno podaci na ovoj razini se mogu izraziti samo u kvalitativnoj formi. Ovu razinu karakterizira korištenje modela te se primjenjuju metode i tehnike višekriterijalne analize, što nije slučaj za operativnu razinu. Navedene metode i tehnike služe za izbor između više ponuđenih varijantnih rješenja ili za njihovo prioritarno rangiranje. Pri tome je potrebno definirati kriterije te odrediti njihove relativne važnosti te se na temelju definiranih kriterija ocjenjuju varijantna rješenja. Dobiveni rezultati na ovoj razini, podloga su za donošenje strategija na idućoj, višoj razini. S obzirom na to da su na taktičkoj razini podaci slabo strukturirani, važno je uključiti i ekspertno mišljenje u proces generiranja rješenja za određeni problem. U ovom slučaju taj problem je planiranje obnove povijesnog cestovnog mosta te izbor projektnog zadatka, odnosno odabir prikladne metode obnove za obnovu povijesnog cestovnog mosta, o čemu će više kasnije biti rečeno. Na trećoj hijerarhijskoj razini, na temelju prethodno definiranih taktičkih odluka koje služe kao podloga za višu razinu, definiraju se strategije vezane uz problematiku planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Tako definirane strategije za cilj imaju maksimizirati zadovoljstvo donositelja odluke te su u skladu s načelima održivog razvoja. Metode koje se koriste na taktičkoj razini, primjenjuju se i na strateškoj razini. Odluke i strategije ove razine su političke prirode i zahtijevaju uključivanje eksperata i kao takve imaju

ključan utjecaj na planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova te se zbog toga moraju uskladiti sa strategijama višeg reda. Rezultati tih odluka moraju se proslijediti i na niže razine kako bi se na tim razinama donosile odluke u skladu s uvaženim strategijama. Ovim putem osigurava se na svim razinama protočnost informacija te kvalitetno i kontinuirano planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova.

### 3.1.2. Interakcija elemenata komponenti sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

Kako je prikazano na slici 3.1. i rečeno u prethodnom poglavlju, SPO u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova sastoji se od četiri međusobno povezane komponente. Veze između komponenti ostvaruju se preko hijerarhijskih razina odlučivanja. Navedene razine razlikuju se s obzirom na podatke koji se pohranjuju/prenose, pa tako prva razina prikuplja neobrađene podatke drugih razina, dok druga i treća razina koriste podatke obrađene i pripravljene s nižih razina. Taktička razina može i preuzeti podatke sa strateške razine prema potrebi. Svaka komponenta sadrži određene elemente u međusobnoj interakciji. Značenje svakog elementa opisano je u potpoglavlju 2.1.2.2., stoga će se ovdje prikazati samo elementi u kojima se pohranjuju podaci, znanja i formiraju modeli, a to su baza znanja, baza modela i baza podataka. Korisničko sučelje služi za uspostavu kontakta između korisnika i SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova. Ovisno o korisniku te vrsti odluke, odnosno na kojoj razini se odluka donosi, ostvaruje se komunikacija.

Unutar baze podataka promatranog SPO-a pohranjuju se podaci dobiveni terenskim ispitivanjima koji uključuju vizualni pregled elemenata i komponenata mosta, mjerenja, fotografiranja, zapisivanja i dokumentiranja karakteristika povijesnih cestovnih mostova. Podaci se prikupljaju iz postojeće literature, prelistavanjem dokumentacije iz Državnog arhiva u Zadru, razgovorima s ekspertima, s upraviteljima mostova te s korisnicima odnosno građanima koji žive u blizini tih mostova.

Baza podataka vrlo je važan čimbenik SPO-a jer unutar nje pohranjuju se svi podaci koji će se koristiti na svim razinama odlučivanja. Osim što se podaci pohranjuju unutar baze podataka ujedno se i preuzimaju od nje. Odluke koje se donesu kao rješenje odlaze u bazu podataka te je potrebno dobivene podatke nakon njihove provedbe pohraniti u bazi podataka kao povratne informacije. Na slici 3.2. prikazan je koncept SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova s elementima komponenti. U gornjem lijevom kutu je komponenta upravljanja podacima unutar koje se nalazi baza podataka s pohranjenim podacima. Podaci se prikupljaju na

operativnoj razini. Kako je glavni cilj SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova formirati bazu modela, potrebno je prikupiti relevantne podatke za realizaciju njezinih modela. Stoga će se terenskim ispitivanjima, mjerenjima, fotografiranjem, vizualnim pregledom eksperta, zabilježavanjem prostornih i fizikalnih karakteristika mostova prikupiti podaci potrebni za procjenu stanja navedenih mostova. Ti će se podaci zajedno s ostalim podacima prikupljenima iz Državnog arhiva u Zadru, razgovorima s ekspertima, upravama za ceste i mostove i konzervatorima te pretraživanjem dostupne literature i definiranjem prostorne prirode mostova korištenjem GIS-a, iskoristiti za definiranje ciljeva i kriterija na strateškoj razini te će se kao povratna informacija dobiti varijantna rješenja u obliku odluke koja se može iskoristiti kao relevantna informacija te se pohraniti u bazi podataka. Za dobivanje strateških rješenja će se definirati ograničenja i to prostorno-funkcionalna i financijska te njihova kombinacija da bi se tako donositelju odluke omogućila slobodna financijska i prostorna raspodjela resursa kroz 2 investicijska ciklusa. Za formiranje ciljeva i kriterija na taktičkoj razini potrebno je prikupiti podatke o potencijalnim metodama obnove povijesnog cestovnog mosta da bi se tako dobili, kao povratna informacija, taktička rješenja odnosno taktičke odluke. U radu se neće opisivati organizacija podataka niti će se programirati baza podataka, već će samo relevantni podaci, gore opisani i prikazani na slici 3.2., biti navedeni.

Za komponentu podsustav upravljanja znanjem prikazan je ekspertni sustav kao vrsta umjetne inteligencije kojom se na temelju potrebnih podataka iz baze podataka definiraju znanja unutar baze znanja. Baza znanja dio je ekspertnog sustava. Potrebna znanja oformit će se korištenjem pravila i principa modificirane neizravne (fuzzy) logike. Podaci o mostovima dobiveni iz baze podataka, točnije podaci terenskog istraživanja, vizualnog pregleda i dr., iskoristit će se za definiranje adekvatnih znanja pomoću kojih će se kroz ekspertni sustav korisniku pružiti informacija o stanju promatranih mostova. Izgradnja ekspertnih sustava zasniva se na ideji da eksperti rješavaju probleme koristeći svoja znanja te ih povezuju s uzročno-posljedičnim vezama. Ekspert mora posjedovati iznadprosječna znanja i vještine koje preuzima izgrađeni ekspertni sustav te iskustvo kojim će biti u mogućnosti riješiti specifične probleme. Svoja znanja prenosi na druge sudionike u ekspertnom sustavu. Za uspješan ekspertni sustav važna je međusobna interakcija svih sudionika. Inženjer znanja izrađuje i testira ekspertni sustav, programer prevodi znanje u jezik razumljiv računalu, a krajnji korisnik koristi novorazvijeni ekspertni sustav. S obzirom na to da svaki korisnik ima različite potrebe i želje, ekspertni sustav mu se mora prilagoditi jer na ovaj način korisnik stječe povjerenje u njega. U bazi znanja pohranjena su znanja o području potrebnom za rješavanje problema. Navedena znanja pohranjuju se kao niz pravila. U bazi podataka nalaze se poznate informacije koje ekspertni



sustav koristi pri traženju rješenja problema. Baza znanja i baza podataka povezane su mehanizmom za zaključivanje u kojem se realizira konačno rješenje, koje se korisniku objašnjava u modulu za objašnjenje. Ekspertni sustav treba funkcionirati kao i ekspert koji koristi svoje iskustvo i razumijevanje problema da bi došao do potrebne i točne informacije. Njegova specifičnost leži u objašnjenju kako se došlo do pojedinih informacija i rješenja.

Kao ekspertni sustav, u ovom radu, koristit će se neizrazita (fuzzy) logika, točnije njezin modificirani oblik, koji bi u prijevodu značio neizrazita težinska geometrijska sredina (engl. *fuzzy weighted geometric mean* - FWGM). Pri tom će se koristiti  $\alpha$ -presjeci, linearno programiranje i centroid metoda. O navednima će više riječi biti u sljedećem poglavlju.

Komponenta podsustav upravljanja znanjem nije direktno povezana ni s jednom razinom, ali je indirektno povezana sa strateškom razinom preko baze modela u podsustavu upravljanja modelima.

Podsustav upravljanja modelima dio je SPO-a te sadrži bazu modela unutar koje se objedinjuju svi modeli pomoću kojih se podržavaju različiti procesi odlučivanja na svim hijerarhijskim razinama. Stoga se modeli mogu koristiti za rješavanje dobro ili slabo strukturiranih ili nestrukturiranih problema. Na operativnoj razini modeli koriste neobrađene podatke iz baze podataka dok se na taktičkoj razini koriste podaci u obliku podloge dobivene s drugih razina i neobrađivani podaci iz baze podataka. Obradeni podaci dobiveni su temeljem analiza i istraživanja te se takvi podaci koriste na najvišoj razini. Podaci koji s viših razina idu prema nižim, obrađeni su ukoliko se radi o rezultatima određenih odluka ili strategija na strateškoj razini, međutim mogu biti i neobrađeni ukoliko se odnose na strategije višeg reda te kao takvi imaju ograničenja za sve razine, a naročito za stratešku i taktičku razinu (Jajac, 2010).

Na operativnoj razini SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova, ne formiraju se modeli već se na toj razini prikupljaju podaci koje će modeli na višim razinama koristiti. Za prikupljanje tih podataka, potrebna su ekspertna znanja, naročito za prikupljanje podataka o stanju mostova vizualnim pregledima.

Taktička razina odlučivanja koristi modele koji se odnose na slabo ili polustrukturirane probleme. Na taktičkoj razini SPO-a, povećava se funkcionalnost sustava jer modeli na toj razini moraju zadovoljiti procese analize te definiranja i uspoređivanja varijantnih rješenja. Vrlo je važno uključenje eksperata na ovoj razini za generiranje kriterija i procjenjivanje varijantnih rješenja. Na taktičkoj razini realizira se projektni zadatak, odnosno model izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta. Za navedeni model, potrebni su podaci o metodama obnove pohranjeni u bazi podataka. S obzirom na slabu strukturiranost zadaća ove razine, potrebne su sofisticiranije metode i tehnike za realizaciju modela. Pa će stoga u proces izbora metode obnove

biti potrebno uključiti višekriterijalnu analizu i višekriterijalne metode (AHP i PROMETHEE). Uključivanje navedene višekriterijalne analize i višekriterijalnih metoda važno je zbog velikog broja kriterija koje problem izbora adekvatne metode obnove sadrži i njihove međusobne konfliktnosti te zbog izbora jednog varijantnog rješenja od više ponuđenih, ali i zbog uključivanja više dionika u proces izbora, čija se mišljenja često i ne podudaraju. Rješenja dobivena ovim modelom, na taktičkoj razini, su taktička rješenja koja se pohranjuju u bazu podataka te se kao takva mogu koristiti za višu, stratešku, razinu čija je funkcija razvoj sustava.

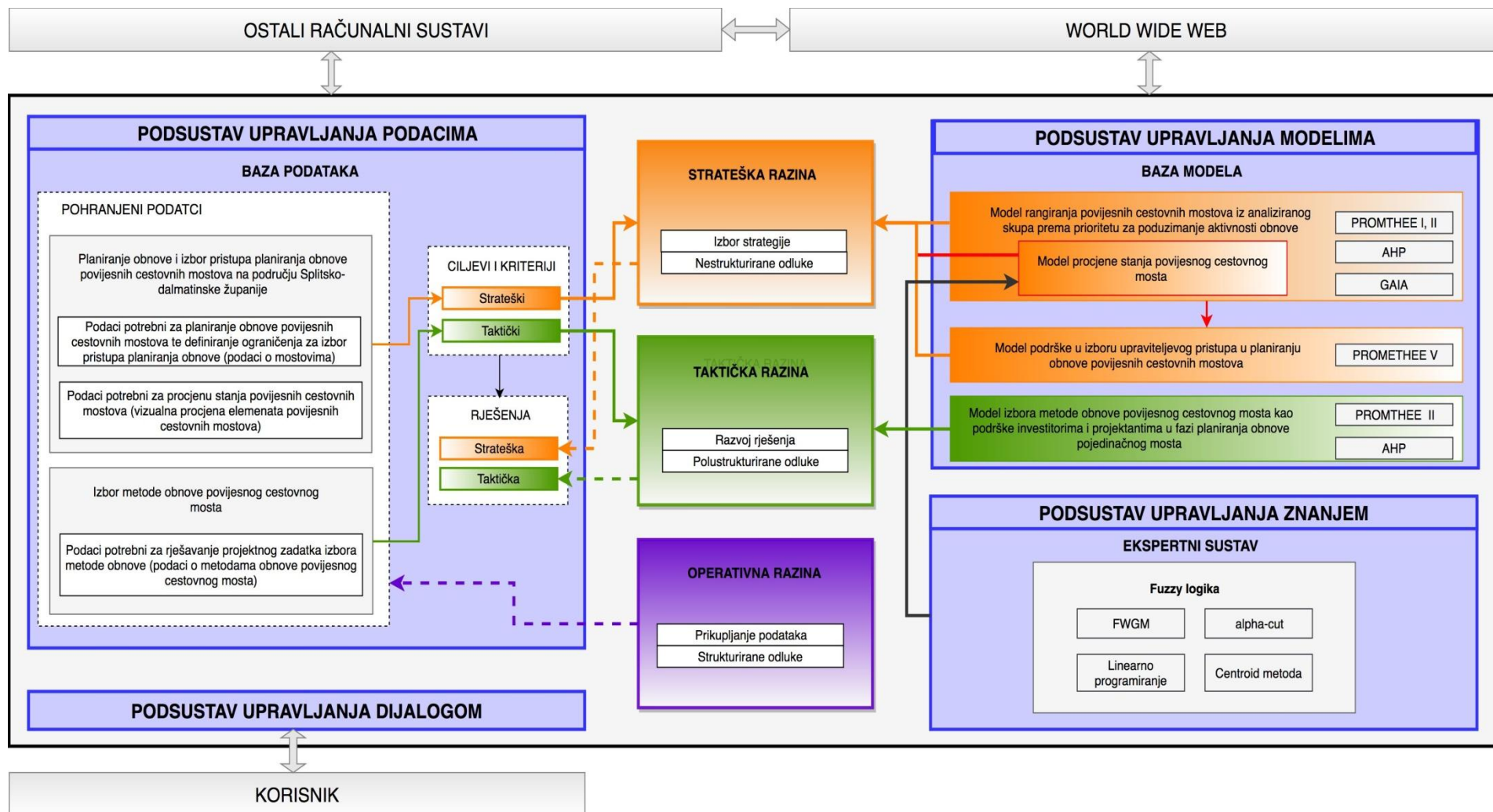
Strateška razina odlučivanja koristi modele koji se odnose na nestrukturirane probleme. Na ovoj razini realizira se model rangiranja povijesnih cestovnih mostova za poduzimanje aktivnosti obnove. S obzirom na to da je problematika slična onoj na taktičkoj razini, znači navedeni problem sadrži velik broj međusobno konfliktnih kriterija i dionika čija mišljenja često nisu usklađena, potrebna je upotreba višekriterijalne analize i višekriterijalnih metoda (AHP, PROMETHEE, GAIA). Za razliku od taktičke razine, na strateškoj razini se ne vrši izbor varijantnih rješenja već se kao rezultat dobiva rang lista povijesnih cestovnih mostova prioritetnih za obnovu. Potrebni podaci se prikupljaju iz baze podataka a ciljevi i kriteriji definiraju se na strateškoj razini. Za navedeni model, prethodno se određuje Indeks procjene stanja povijesnog cestovnog mosta (IPSPCM), kao jednog od kriterija za višekriterijalnu analizu. Navedeni indeks dobiva se modelom procjene stanja povijesnog cestovnog mosta. U ovom slučaju, primjena ekspertnih sustava od velike je važnosti za određivanje potrebnog indeksa. Kao ekspertni sustav, koristi se modificirana neizrazita logika za koju je prethodno potrebno prikupiti podatke o elementima mosta iz baze podataka. Podaci su prikupljeni vizualnom ekspertnom procjenom. Vrijednosti procijenjenih stanja elemenata iskorišteni su za dobivanje ocjena stanja komponenata mosta pomoću neizrazite logike, da bi se određivanjem relativnih važnosti komponenata, pomoću višekriterijalne metode AHP, te njihovih množenja s ocjenama stanja komponenata dobila konačna ocjena stanja povijesnog cestovnog mosta. Također se na strateškoj razini uz pomoć modela izbora upraviteljskog pristupa, definiraju moguće opcije financiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Pri tom je potrebno za realizaciju navedenog modela prikupiti definirana prostorno-funkcionalna i financijska ograničenja iz baze podataka.

Rješenja dobivena na strateškoj razini utvrđuju se kao definirane strategije koje od trenutka prihvaćanja postaju politike odlučivanja o planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova te se uključuju u bazu podataka kao podaci koje treba uzeti u obzir tijekom odlučivanja na svim razinama.

Podsustav upravljanja dijalogom ili korisničko sučelje služi za uspostavljanje dijaloga između korisnika i SPO-a. Učestala uporabivost sustava ovisi o kvaliteti kontakta između korisnika i sustava, a što određuje korisničko sučelje. Različiti su načini uspostave njihova kontakta, koji ovise najprije o korisniku te o određenom problemu i situaciji u kojoj treba donijeti odluku. Kontakt se može ostvariti na svim razinama odlučivanja i to na više načina. Na operativnoj razini se može definirati komunikacija između sustava i korisnika, što nije lagan zadatak za taktičku i stratešku razinu.

Na slici 3.2. prikazan je koncept SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova. Baza podataka sastoji se od podataka prikupljenih na operativnoj razini koji su relevantni za rješavanje problema planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Važno je definirati kriterije po kojima se podaci prikupljaju i klasificiraju. Tako su na strateškoj razini definirani strateški, a na taktičkoj razini taktički kriteriji. Pomoću navedenih kriterija procjenjuju se varijantna rješenja kreirana na strateškoj odnosno taktičkoj razini. Puno strelice označavaju kreiranje kriterija na strateškoj i taktičkoj razini u bazi podataka, a u bazi modela označavaju kreiranje modela na pojedinoj razini. Kao rezultat (povratna veza) dobivaju se valorizirana rješenja u bazi podataka, što je prikazano isprekidanom crtom, na strateškoj odnosno taktičkoj razini, a na operativnoj razini isprekidana crta označava prikupljanje podataka za bazu podataka.

U bazi modela na strateškoj razini definiraju se tri modela koja su u međusobnoj interakciji. Model procjene stanja povijesnog cestovnog mosta vrlo je važan za realizaciju modela rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za aktivnost obnove. Navedenim modelom dobiva se indeks procjene stanja povijesnog cestovnog mosta (IPSPCM) koji je ujedno i jedan od kriterija kojim se valoriziraju varijantna rješenja u modelu rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za aktivnost obnove. Dobivena ukupna rang lista koristi se, uz definiranje potrebnih prostorno-funkcionalnih i financijskih rješenja, za definiranje setova mostova za obnovu kroz naredna dva investicijska ciklusa. Navedeni setovi dobivaju se preko tri upraviteljska pristupa, modelom podrške u izboru upraviteljskog pristupa u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova. Metoda PROMETHEE I i II, AHP i GAIA koriste se za model rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za aktivnost obnove, dok se za model podrške u izboru upraviteljskog pristupa koristi metoda PROMETHEE V. Za model procjene stanja povijesnog cestovnog mosta koristi se modificirana neizravna logika te metoda AHP.



Slika 3.2. Koncept sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova - detaljni prikaz

### **3.2. Struktura podsustava upravljanja modelima za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova**

Podsustav upravljanja modelima objedinjuje sve modele unutar baze modela potrebne za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova na jednom mjestu. U strukturi baze modela za navedeni SPO, na slici 3.2., može se uočiti podjela na taktičke i strateške modele. Operativna razina namijenjena je za prikupljanje podataka. Modeli koji se koriste na taktičkoj odnosno strateškoj razini služe za rješavanje slabostukturiranih i nestrukturiranih zadataka. Razine odlučivanja koriste određene modele za realizaciju pojedinih funkcija. Koji model se koristi na kojoj razini ovisi o problemu kojom se pojedina razina bavi. Za odluke na strateškoj i taktičkoj razini, zbog njihove slabe strukturiranosti odnosno nestrukturiranosti, koristi se višekriterijalna analiza i višekriterijalne metode čija je zadaća rangiranje definiranih varijantnih rješenja odnosno rangiranje povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za obnovu na strateškoj razini te rangiranje metoda obnove povijesnog cestovnog mosta na taktičkoj razini. Višekriterijalna metoda AHP koristi se za definiranje relativnih važnosti ciljeva i kriterija, a PROMETHEE metodom uspostavlja se parcijalno i ukupno rangiranje te usporedba varijantnih rješenja. Definiranje stanja povijesnih cestovnih mostova određuje se na strateškoj razini koristeći pravila i principe neizrazite logike te se tako dobiva indeks procjene stanja povijesnih cestovnih mostova, što je i ujedno jedan od generiranih kriterija za višekriterijalnu analizu u procesu rangiranja mostova prema prioritetu obnove. PROMETHEE V metodom omogućava se izbor upraviteljskog pristupa prilikom planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Na taj način se krajnjem donositelju odluke osigurava sloboda u raspodjeli prostorno-funkcionalnih i financijskih resursa. Model izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta spada u taktičke modele, dok model rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za aktivnost obnove, model izbora upraviteljskog pristupa prilikom planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova te model procjene stanja povijesnog cestovnog mosta su strateški modeli.

U nastavku je dano objašnjenje novorazvijenih modela izrađenih prilikom istraživanja za potrebe podrške odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova. Navedene su i objašnjene potrebne znanstvene metode.

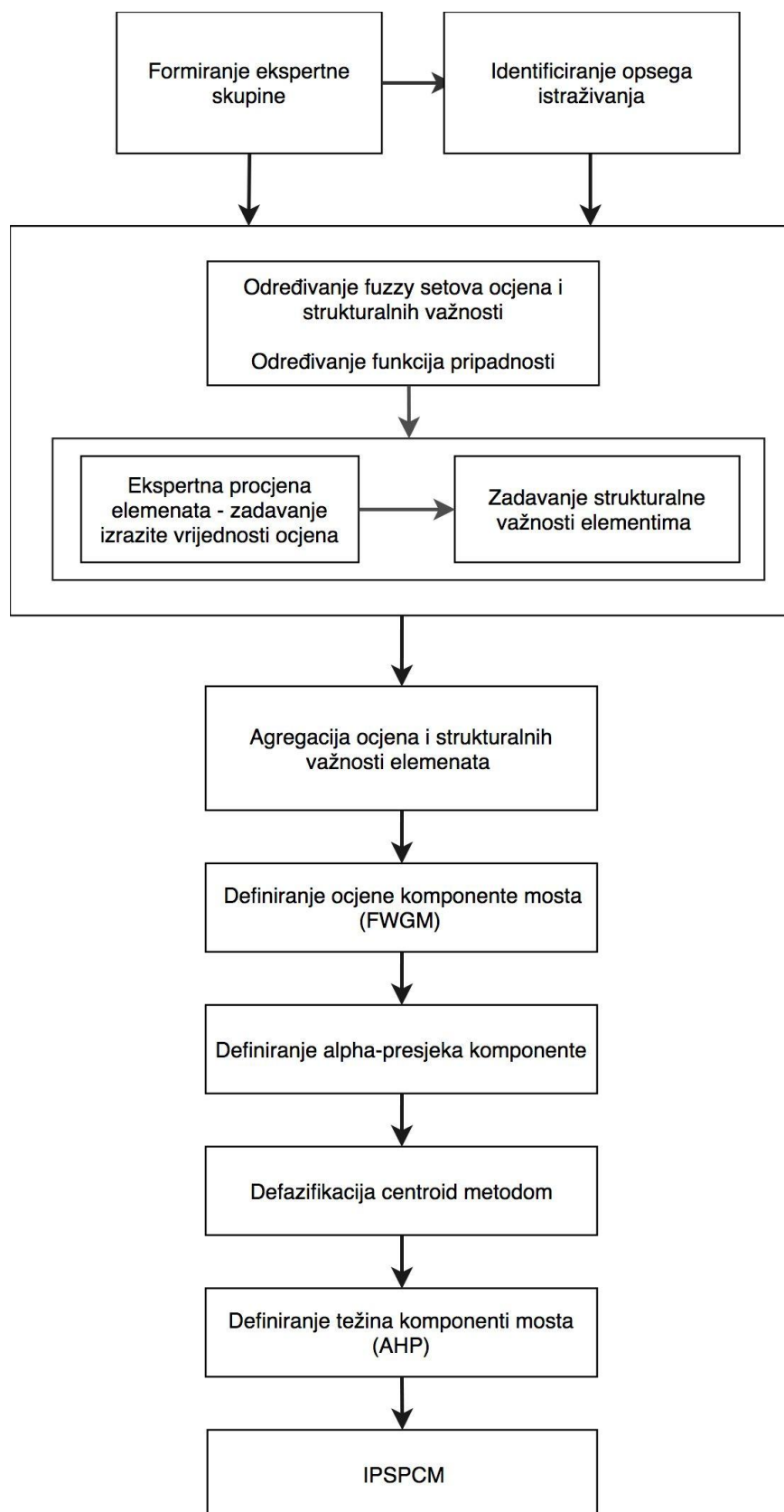
### 3.2.1. Model procjene stanja povijesnih cestovnih mostova

Model procjene stanja povijesnih cestovnih mostova služi za rješavanje slabo strukturiranih zadaća na strateškoj razini. Rezultat modela je indeks procjene stanja povijesnog cestovnog mosta (IPSPCM) koji je ujedno i kriterij potreban za rangiranje povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za aktivnost obnove (detaljno objašnjeno u potpoglavlju 3.2.2.). Navedeni indeks se temelji na indeksu stanja mostova (ISM) (engl. *Bridge Condition Index*- BCI) kojeg je definirao Dabous (2008) u svojoj disertaciji. Indeks ISM korišten je za procjenu stanja betonskih suvremenih mostova. No, metodologija za dobivanje IPSPCM-a je poboljšana od one koja je iznesena za dobivanje ISM-a, o čemu će više riječi biti kasnije.

Mostovi, kao ključne komponente cesta, s vremenom degradiraju zbog prometnog preopterećenja, utjecaja okoliša, zamora itd. Povijesni cestovni mostovi na području SDŽ-a "trpe" opterećenja koja im nisu predviđena u postupku projektiranja te iz toga razloga potrebno je pristupiti temeljenom pregledu i analizi njihova stanja. Da bi se osigurala stalna sigurnost i stabilnost mostova, potrebno je odrađivati periodične terenske inspekcije koje uključuju vizualnu procjenu, nedestruktivna ili djelomično destruktivna testiranja. Terenskim inspekcijama bi se odlučilo o izboru potrebnih aktivnosti kao što su popravci, obnove, ojačavanja ili ako je potrebno, uklanjanje mosta, a sve s obzirom na njihovo stanje u trenutku pregleda. Upravitelji mostovima dužni su izraditi planove financiranja takvih aktivnosti. Za izradu takvih planova nužan je racionalan i sustavan pristup za organiziranje i provođenje aktivnosti vezanih za planiranje, projektiranje, izgradnju, održavanje, obnovu i zamjenu mostova. Da bi se donijela valjana odluka o svim navedenim aktivnostima, potreban je sustavan i logičan način procjene stanja mostova. Procjena stanja mosta je vrlo važna za bilo koji sustav upravljanja mostovima. Temelji se na podacima koji predstavljaju subjektivnu prosudbu i mišljenje eksperta za mostove. Stoga bi postupak poput neizrazite (fuzzy) logike bio koristan za rješavanje nepreciznosti i subjektivne prosude. Na slici 3.3. prikazan je dijagram toka modela procjene stanja povijesnih cestovnih mostova.

Realizacija modela započinje s formiranjem ekspertne skupine koju čini ekspert za mostove te pet eksperata iz ostalih područja konstrukcija. Isključivo vizualna procjena se koristiti za procjenjivanje stanja navedenih mostova. Procjenjivanje kreće od elemenata mostova (lukovi, čeonci zidovi, upornjaci, stupovi, ograda, zastor...) kojima se zadaju izrazite (engl. *crisp*) vrijednosti ocjena. Prije dodjeljivanja ocjena elementima definiraju se neizraziti setovi ocjena i strukturalnih važnosti kao i njihove funkcije pripadnosti. Preciznije rečeno, ocjene mostova i strukturalne važnosti se fazificiraju. Ocjene elementima dodjeljuje ekspert za mostove te na

temelju njegove ocjene ostalih pet eksperata iz ostalih područja konstrukcija definiraju strukturalne važnosti pomoću definiranih neizrazitih setova. Nakon dodjeljenih fazificiranih ocjena i strukturalnih važnosti, izračunava se fazificirana ocjena komponente (gornji ustroj, donji ustroj i oprema) koju se onda defazificira centroid metodom. Zatim se defazificirane ocjene komponenti međusobno uspoređuju koristeći pravila AHP metode i Saatyve skale usporedbe. Rezultati usporedbe su relativne važnosti. Množenjem relativne važnosti i ocjene pojedine komponente te zbrajanjem umožaka dobiva se ocjena stanja mosta odnosno vrijednost IPSPCM-a.



Slika 3.3. Model procjene stanja povijesnih cestovnih mostova

Strukturalna važnost određuje koliko element ima negativan utjecaj na stanje mosta s obzirom na njegovu ocjenu u odnosu na ocjenu drugih elemenata. S obzirom na to da se elementima zadaju



neizrazite vrijednosti ocjena, potrebno je pronaći kojim definiranim neizrazitim setovima ta ocjena pripada, pa se tako dobiva više mogućnosti odnosno stanja u kojima se element može nalaziti. Na taj način stvaraju se kombinacije svih elemenata u svim stanjima i svaka od navedenih kombinacija dobiva prosječnu strukturalnu važnost. Prosječna strukturalna važnost dobivena je zbrajanjem važnosti eksperata za konstrukcije i dijeljenju s ukupnim brojem eksperata. Nakon što su se definirale ocjene i važnosti elemenata pristupa se njihovoj agregaciji čime se dalje pomoću pristupa neizrazite težinske geometrijske sredine (engl. *fuzzy weighted geometric mean*- FWGM) dobiva neizrazita ocjena komponente mosta za sve kombinacije. S obzirom na njezinu neizrazitu vrijednost definiraju se  $\alpha$ -presjeci kojima se određuje gornja i donja vrijednost neizrazitih setova ocjene komponente svih kombinacija. Potom se izračuna prosječna vrijednost navedenih granica i procesom defazifikacije za koji se koristi centroid metoda određuje se izrazita ocjena komponente mosta. Postupak se ponavlja dok sve komponente ne dobiju svoju ocjenu. Nakon toga, komponentama se definiraju težine pomoću višekriterijalne metode AHP. Koristeći Saatyevu skalu komponente se međusobno uspoređuju, nakon čega slijedi normalizacija dodijeljenih težina i provjera konzistentnosti matrice usporedbe. Ukoliko je matrica konzistentna, definirane težine se usvajaju i kreće se na izračunavanje ocjene stanja mosta. Ocjena stanja mosta definira se kao indeks procjene stanja povijesnog cestovnog mosta (IPSPCM), a izračunava se na način da se dobivene ocjene komponentata množe s dodijeljenim im težinama i međusobno zbroje.

Svrha ocjenjivanja stanja mosta jest odrediti mehaničku otpornost i stabilnost te sigurnost u trenutku vizualne inspekcije mosta. Teorija neizrazite logike često je korištena u području građevinarstva pa tako i u procjeni stanja mostova. Za ovaj doktorski rad koristit će se neizrazita logika u kombinaciji s AHP metodom. Upotrijebit će se modificirani oblik neizrazite logike jer će u metodologiji biti analizirane i strukturalne važnosti elemenata. Dosadašnji način procjene stanja mostova (i to isključivo betonskih) vizualnim pregledom, odrađen je korištenjem ili klasične neizrazite logike ili pristupom neizrazitog težinskog prosjeka (engl. *fuzzy weighted average*- FWA). U ovom radu prikazat će se korištenje pristupa FWGM-a koji do sada nije korišten u ocjenjivanju stanja mostova.

Neizrazita logika (Zadeh, 1965) ukratko je objašnjena u potpoglavlju 2.1.4. te će se stoga ovdje detaljnije opisati metodologija pristupa FWGM-a. Za neizrazitu logiku važno je definiranje *if-then* pravila, kojih može biti na tisuće (ovisno o količini ulaznih i izlaznih podataka) te je za ispravnu njihovu definiciju važno što bogatije znanje i iskustvo eksperata, mnogo vremena i troškova. Što je veći broj pravila, to više prosudba moraju eksperti donijeti. Redukcija *if-then* pravila može dovesti do smanjenja potrebnog znanja, a samim tim onda i do netočnih i

nepotpunih zaključaka. Za izbjegavanje definiranja velikog broja pravila, a i njihove redukcije preporučuje se korištenje pristupa FWGM-a (Wang i ostali, 2009). Stoga je jasna potreba za razvojem novog pristupa neizrazite logike u kojem neće biti potrebe za dugotrajnim ispitivanjem eksperata. U nastavku je dan detaljan opis cijelog postupka dobivanja ocjene mosta pomoću FWGM-a, kao i prikaz potrebnih matematičkih modela.

### Neizrazita logika i neizrazita težinska geometrijska sredina

Neizraziti set je skup elemenata u univerzalnom skupu gdje su granice seta dvosmislene, nejasne i neizrazite. Svakom elementu skupa dodjeljuje se funkcija pripadnosti  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ , u vrijednosti unutar intervala  $[0,1]$ . Dodijeljena vrijednost se zove stupanj pripadnosti te specificira mjeru do koje element pripada određenom neizrazitom setu. Ako je vrijednost 0, tada element ne pripada setu, a ako je 1, tada element u potpunosti pripada navedenom setu. Ukoliko vrijednost "leži" unutar intervala  $(0,1)$ , element djelomično pripada neizrazitom setu (Sasmal i ostali, 2008). Stoga se svaki neizraziti set može odrediti jedinstvenom funkcijom pripadnosti. Također se mogu iskazati i intervalima, koji se zovu  $\alpha$ -presjeci. Neka je  $\tilde{A}$  neizraziti set unutar univerzalnog skupa  $X$ . Tada su  $\alpha$ -presjeci od  $\tilde{A}$  definirani kao (Wang i ostali, 2009):

$$A_{\alpha} = \{x \in X | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\} = [\min \{x \in X | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}, \max \{x \in X | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}] \quad (3.1)$$

Prema Zadehovom dodatnom principu (Zadeh, 1965), neizraziti set  $\tilde{A}$  može biti prikazan kao:

$$\tilde{A} = \bigcup_{\alpha} \alpha A_{\alpha}, \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad (3.2)$$

Neizraziti brojevi su posebni dijelovi neizrazitih setova. Neizraziti broj je konveksan neizraziti set opisan danim intervalom realnih brojeva, svaki sa stupnjem pripadnosti između 0 i 1. Funkcije pripadnosti neizrazitih brojeva su djelomično kontinuirane i zadovoljavaju sljedeće uvjete:

- 1)  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$  za svaki  $x \notin [a, d]$ ;
- 2)  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  je nepadajući (monotono rastući) na intervalu  $[a, b]$  i nerastući (monotono padajući) na intervalu  $[c, d]$ ;
- 3)  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$  za svaki  $x \in [b, c]$ ,

gdje su  $a \leq b \leq c \leq d$  realni brojevi  $\mathbb{R} = (-\infty, +\infty)$ .

Najčešće korišteni neizraziti brojevi su triangularni i trapezoidalni, čije su funkcije pripadnosti definirane kao:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x-a)/(b-a), & a \leq x \leq b \\ (d-x)/(d-b), & b \leq x \leq d \\ 0, & \text{ostalo} \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x-a)/(b-a), & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-b), & c \leq x \leq d \\ 0, & \text{ostalo} \end{cases} \quad (3.4)$$

Triangularni i trapezoidalni brojevi se često zapisuju kao (a, b, c) odnosno (a, b, c, d). Triangularni brojevi su posebni oblik trapezoidalnih brojeva s  $b=c$ .

Neka su  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$  i  $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$  dva pozitivna triangularna neizrazita broja. Tada su osnovne neizrazite aritmetičke operacije definirane kao (Dubois i Prade, 1980):

$$\text{Zbrajanje: } \tilde{A} + \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3);$$

$$\text{Oduzimanje: } \tilde{A} - \tilde{B} = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1);$$

$$\text{Množenje: } \tilde{A} \times \tilde{B} \approx (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3);$$

$$\text{Dijeljenje: } \tilde{A} \div \tilde{B} \approx \left( \frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1} \right).$$

Neizraziti brojevi se često moraju preoblikovait u izrazitu vrijednost u svrhu usporedbe ili rangiranja. Takav proces preoblikovanja zove se defazifikacija, koja se može provesti na više načina. Najčešće korišten proces defazifikacije je metoda centroidne defazifikacije ili centroid metoda koja je još poznata kao centar gravitacije ili centar površine defazifikacije. Centroid metoda definira centroid neizrazitog broja  $\tilde{A}$  kao njegovu defazificiranu vrijednost, kako je prikazano (Yager, 1981);

$$\overline{x_0}(\tilde{A}) = \frac{\int_a^d x \mu_{\tilde{A}}(x) dx}{\int_a^d \mu_{\tilde{A}}(x) dx} \quad (3.5)$$

gdje je  $\overline{x_0}(\tilde{A})$  je defazificirana vrijednost. Za triangularni neizraziti broj  $\tilde{A} = (a, b, d)$  defazificirani centroid glasi:

$$\overline{x_0}(\tilde{A}) = \frac{a+b+d}{3} \quad (3.6)$$

Kada je neizraziti broj  $\tilde{A}$  prikazan pomoću  $\alpha$ -presjeka, tj.  $\tilde{A} = \cup_{\alpha} \alpha \cdot A_{\alpha} = \cup_{\alpha} \alpha \cdot [(x)_{\alpha}^D, (x)_{\alpha}^G]$ , ( $0 < \alpha \leq 1$ ), njegov defazificirani centroid se može iskazati sljedećim jednadžbama (Wang i ostali, 2009):

$$\int_a^d \mu_{\tilde{A}}(x) dx = \frac{1}{2} [(x)_{\alpha_n}^G - (x)_{\alpha_n}^D - \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i ((x)_{\alpha_{i+1}}^G - (x)_{\alpha_{i+1}}^D) + \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_{i+1} ((x)_{\alpha_i}^G - (x)_{\alpha_i}^D)] \quad (3.7)$$

$$\int_a^d x \mu_{\tilde{A}}(x) dx = \frac{1}{6} [(x)_{\alpha_n}^{2G} - (x)_{\alpha_n}^{2D} - \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i ((x)_{\alpha_{i+1}}^{2G} - (x)_{\alpha_{i+1}}^{2D}) + \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_{i+1} ((x)_{\alpha_i}^{2G} - (x)_{\alpha_i}^{2D})] + \frac{1}{6} \sum_{i=0}^{n-1} \Delta \alpha_i ((x)_{\alpha_i}^G \cdot (x)_{\alpha_{i+1}}^G - (x)_{\alpha_i}^D \cdot (x)_{\alpha_{i+1}}^D) \quad (3.8)$$

Ukoliko je  $\Delta \alpha_i \equiv \frac{1}{n} \alpha_i = \frac{1}{n}$ ,  $i = 0, \dots, n$ , izrazi (3.7) i (3.8) se mogu pojednostavniti:

$$\int_a^d \mu_{\tilde{A}}(x) dx = \frac{1}{2n} [((x)_{\alpha_0}^G - (x)_{\alpha_0}^D) + ((x)_{\alpha_n}^G - (x)_{\alpha_n}^D) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} ((x)_{\alpha_i}^G - (x)_{\alpha_i}^D)] \quad (3.9)$$

$$\int_a^d x \mu_{\tilde{A}}(x) dx = \frac{1}{6n} [(x)_{\alpha_0}^{2G} - (x)_{\alpha_0}^{2D} + ((x)_{\alpha_n}^{2G} - (x)_{\alpha_n}^{2D}) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} ((x)_{\alpha_i}^{2G} - (x)_{\alpha_i}^{2D})] + \frac{1}{6n} \sum_{i=0}^{n-1} ((x)_{\alpha_i}^G \cdot (x)_{\alpha_{i+1}}^G - (x)_{\alpha_i}^D \cdot (x)_{\alpha_{i+1}}^D) \quad (3.10)$$

Napomena 1. Neka je  $n=1$ , tada jednadžbe (3.9) i (3.10) postaju:

$$\int_a^d \mu_{\tilde{A}}(x) dx = \frac{1}{2} [((x)_{\alpha_0}^G - (x)_{\alpha_0}^D) + ((x)_{\alpha_n}^G - (x)_{\alpha_n}^D)] \quad (3.11)$$

$$\int_a^d x \mu_{\tilde{A}}(x) dx = \frac{1}{6} [((x)_{\alpha_0}^{2G} - (x)_{\alpha_0}^{2D}) + ((x)_{\alpha_n}^{2G} - (x)_{\alpha_n}^{2D}) + ((x)_{\alpha_0}^G \cdot (x)_{\alpha_n}^G - (x)_{\alpha_0}^D \cdot (x)_{\alpha_n}^D)] \quad (3.12)$$

$$\bar{x}_0(\tilde{A}) = \frac{1}{3} [(x)_{\alpha_0}^D + (x)_{\alpha_n}^D + (x)_{\alpha_n}^G + (x)_{\alpha_0}^G] - \frac{(x)_{\alpha_0}^G \cdot (x)_{\alpha_n}^G - (x)_{\alpha_0}^D \cdot (x)_{\alpha_n}^D}{((x)_{\alpha_0}^G - (x)_{\alpha_0}^D) + ((x)_{\alpha_n}^G - (x)_{\alpha_n}^D)} \quad (3.13)$$

Jednadžba (13) predstavlja defazifikaciju centroid metodom za trapezoidalne neizrazite brojeve.

Napomena 2. Ako je  $(x)_{\alpha_n}^G = (x)_{\alpha_n}^D$ , tada jednadžbe (3.9) i (3.10) postaju:

$$\int_a^d \mu_{\tilde{A}}(x) dx = \frac{1}{2n} [((x)_{\alpha_0}^G - (x)_{\alpha_0}^D) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} ((x)_{\alpha_i}^G - (x)_{\alpha_i}^D)] \quad (3.14)$$

$$\int_a^d x \mu_{\tilde{A}}(x) dx = \frac{1}{6n} [(x)_{\alpha_0}^{2G} - (x)_{\alpha_0}^{2D} + 2 \sum_{i=1}^{n-1} ((x)_{\alpha_i}^{2G} - (x)_{\alpha_i}^{2D}) + \sum_{i=0}^{n-1} ((x)_{\alpha_i}^G \cdot (x)_{\alpha_{i+1}}^G - (x)_{\alpha_i}^D \cdot (x)_{\alpha_{i+1}}^D)] \quad (3.15)$$

$$\bar{x}_0(\tilde{A}) = \frac{1}{3} \cdot \frac{((x)_{\alpha_0}^{2D} - (x)_{\alpha_0}^{2D}) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} ((x)_{\alpha_i}^{2G} - (x)_{\alpha_i}^{2D}) + \sum_{i=0}^{n-1} ((x)_{\alpha_i}^G \cdot (x)_{\alpha_{i+1}}^G - (x)_{\alpha_i}^D \cdot (x)_{\alpha_{i+1}}^D)}{((x)_{\alpha_0}^G - (x)_{\alpha_0}^D) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} ((x)_{\alpha_i}^G - (x)_{\alpha_i}^D)} \quad (3.16)$$

Napomena 3. Neka je  $n=1$ , tada jednadžbe (3.14), (3.15) i (3.16) postaju:

$$\int_a^d \mu_{\tilde{A}}(x) dx = \frac{1}{2} ((x)_{\alpha_0}^G - (x)_{\alpha_0}^D) \quad (3.17)$$

$$\int_a^d x \mu_{\tilde{A}}(x) dx = \frac{1}{6} [((x)_{\alpha_0}^{2G} - (x)_{\alpha_0}^{2D}) + ((x)_{\alpha_0}^G \cdot (x)_{\alpha_1}^G - (x)_{\alpha_0}^D \cdot (x)_{\alpha_1}^D)] \quad (3.18)$$

$$\bar{x}_0(\tilde{A}) = \frac{1}{3} \cdot \frac{((x)_{\alpha_0}^{2D} - (x)_{\alpha_0}^{2D}) + ((x)_{\alpha_0}^G \cdot (x)_{\alpha_n}^G - (x)_{\alpha_0}^D \cdot (x)_{\alpha_n}^D)}{(x)_{\alpha_0}^G - (x)_{\alpha_0}^D} = \frac{1}{3} ((x)_{\alpha_0}^G + (x)_{\alpha_n}^G + (x)_{\alpha_0}^D) \quad (3.19)$$

Jednadžba (3.19) predstavlja defazifikaciju centroid metodom za triangularan neizraziti broj.

Prosječna težina  $n$  neizrazitih brojeva se do sada dobivala pomoću neizrazite prosječne težine (engl. *fuzzy weighted average-FWA*) prilikom procjene stanja betonskih mostova (Kao i Liu, 2001; Sasmal i ostali, 2008; Tee i Bowman 1990). Za procjenu stanja povijesnih cestovnih mostova koristiti će se pristupu FWGM-a za  $n$  neizrazitih brojeva, izraženo na sljedeći način:

$$\begin{aligned}
 \widetilde{y}_G &= f_G(\widetilde{x}_1, \dots, \widetilde{x}_n; \widetilde{w}_1, \dots, \widetilde{w}_n) \\
 &= (\widetilde{x}_1)^{\frac{\widetilde{w}_1}{\widetilde{w}_1 + \widetilde{w}_2 + \dots + \widetilde{w}_n}} (\widetilde{x}_2)^{\frac{\widetilde{w}_2}{\widetilde{w}_1 + \widetilde{w}_2 + \dots + \widetilde{w}_n}} \dots (\widetilde{x}_n)^{\frac{\widetilde{w}_n}{\widetilde{w}_1 + \widetilde{w}_2 + \dots + \widetilde{w}_n}} \\
 &= \prod_{i=1}^n (\widetilde{x}_i)^{\frac{\widetilde{w}_i}{\sum_{j=1}^n \widetilde{w}_j}}
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

gdje su  $\widetilde{x}_1, \dots, \widetilde{x}_n$   $n$  pozitivni neizraziti brojevi, a  $\widetilde{w}_1, \dots, \widetilde{w}_n$  su njihove dodijeljene neizrazite težine. Očigledno,  $\widetilde{y}_G$  je također neizraziti broj i može se izračunati pomoću  $\alpha$ -presjeka i Zadehova dodatnog principa.

Neka je  $(y_G)_\alpha = [(y_G)_\alpha^D, (y_G)_\alpha^G]$ , gdje je  $\alpha$ -presjek set od  $\widetilde{y}_G$ . Tada se donja i gornja granica mogu odrediti prema sljedećim matematički modelima:

$$\begin{aligned}
 (y_G)_\alpha^D &= \text{Min} \prod_{i=1}^n (x_i)^{\frac{w_i}{\sum_{j=1}^n w_j}} \\
 (w_i)_\alpha^D &\leq w_i \leq (w_i)_\alpha^G, \quad i = 1, \dots, n \\
 (x_i)_\alpha^D &\leq x_i \leq (x_i)_\alpha^G, \quad i = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

$$\begin{aligned}
 (y_G)_\alpha^G &= \text{Max} \prod_{i=1}^n (x_i)^{\frac{w_i}{\sum_{j=1}^n w_j}} \\
 (w_i)_\alpha^D &\leq w_i \leq (w_i)_\alpha^G, \quad i = 1, \dots, n \\
 (x_i)_\alpha^D &\leq x_i \leq (x_i)_\alpha^G, \quad i = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{3.22}$$

S obzirom da je:

$$f_G(x_1, \dots, x_n; w_1, \dots, w_n) = \prod_{i=1}^n (x_i)^{\frac{w_i}{\sum_{j=1}^n w_j}} \tag{3.23}$$

rastuća funkcija varijabli  $x_i (i = 1, \dots, n)$ , gornji matematički modeli se mogu stoga izraziti kao:

$$\begin{aligned}
 (y_G)_\alpha^D &= \text{Min} \exp \left( \frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln (x_i)_\alpha^D}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) \\
 (w_i)_\alpha^D &\leq w_i \leq (w_i)_\alpha^G, \quad i = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{3.24}$$

$$(y_G)_\alpha^G = \text{Max} \exp \left( \frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln(x_i)_\alpha^G}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) \quad (3.25)$$

$$(w_i)_\alpha^D \leq w_i \leq (w_i)_\alpha^G, \quad i = 1, \dots, n$$

gdje je  $\exp()$  eksponencijalna funkcija.

Neka je  $z = \frac{1}{\sum_{i=1}^n w_i}$  i  $u_i = zw_i$  za  $i = 1, \dots, n$ , modeli (3.24) i (3.25) mogu biti transformirani u:

$$\text{Min } z_1 = \sum_{i=1}^n u_i \ln(x_i)_\alpha^D \quad (3.26)$$

$$u_1 + u_2 + \dots + u_n = 1$$

$$(w_i)_\alpha^D \cdot z \leq u_i \leq (w_i)_\alpha^G \cdot z, \quad i = 1, \dots, n$$

$$z \geq 0$$

$$\text{Max } z_2 = \sum_{i=1}^n u_i \ln(x_i)_\alpha^G \quad (3.27)$$

$$u_1 + u_2 + \dots + u_n = 1$$

$$(w_i)_\alpha^D \cdot z \leq u_i \leq (w_i)_\alpha^G \cdot z, \quad i = 1, \dots, n$$

$$z \geq 0$$

Navedeni modeli (3.26) i (3.27) su modeli linearnog programiranja (Wang i ostali, 2009) i mogu se lako riješiti koristeći softver *Matlab*. Neka su  $z_1^*$  i  $z_2^*$  optimalne objektivne vrijednosti modela (3.26) i (3.27). Tada je  $(y_G)_\alpha^D = \exp(z_1^*)$  i  $(y_G)_\alpha^G = \exp(z_2^*)$ . Definirajući različite  $\alpha$ -presjeke, različiti setovi  $\alpha$ -presjeka za  $\tilde{y}_G$  mogu se generirati, na temelju kojih  $\tilde{y}_G$  se može izraziti kao:

$$\tilde{y}_G = \bigcup_{\alpha} \alpha \cdot (y_G)_\alpha = \bigcup_{\alpha} \alpha [(y_G)_\alpha^D, (y_G)_\alpha^G], \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad (3.28)$$

Pretpostavimo da komponenta mosta ima  $n$  elemenata,  $EL_i$  ( $i=1, \dots, n$ ), za vizualnu procjenu od starne eksperta. Neka je  $\tilde{R}_{EL_i} = (R_{EL_i}^D, R_{EL_i}^S, R_{EL_i}^G)$  neizrazita ocjena  $i$ -tog elementa, a  $\tilde{w}_{EL_{ij}} = (w_{EL_{ij}}^D, w_{EL_{ij}}^S, w_{EL_{ij}}^G)$   $j=1, \dots, n$ , neizrazita težina  $i$ -tog elementa po  $j$ -tom ekspertu s obzirom na definiranu neizrazitu ocjenu elementa.  $D$  predstavlja donju vrijednost granice,  $S$  srednju vrijednost a  $G$  gornju vrijednost granice seta. Na temelju postavljenih pretpostavki, ocjene komponenti mosta (gornji ustroj, donji ustroj i oprema) se mogu odrediti uz pomoć sljedećih koraka:

**Korak 1.** Zadavanje izrazite vrijednosti ocjene elementima u vrijednosti od 0 do 100. Ocjenu zadaje ekspert za mostove. S obzirom na subjektivnost koja se javlja prilikom procjene stanja mosta, predlaže se, radi postizanja preciznosti, podjelna na 11 neizrazitih setova. Zatim se s obzirom na definiranu ocjenu, izdvajaju neizraziti setovi unutar kojih se ocjena nalazi, na način: Neka je izrazita vrijednost ocjene  $x$  dio skupa  $S = \{10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90\}$ , tada za svaki  $x \in S$  vrijedi:  $\tilde{R}_k^{ELi} = ((R_k^{ELi})^D, (R_k^{ELi})^S, (R_k^{ELi})^G)$ ,  $k = 1, 2, 3$ ,  $i = 1, \dots, n$ , gdje je  $\tilde{R}_k^{ELi}$ ,  $k$ -ti neizraziti set  $i$ -tog elementa.

A za svaki  $x \notin S$ , vrijedi:  $\tilde{R}_k^{ELi} = ((R_k^{ELi})^D, (R_k^{ELi})^S, (R_k^{ELi})^G)$ ,  $k = 1, 2$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

Navedeni neizraziti setovi predstavljaju sva moguća stanja u kojem se element može nalaziti s obzirom na danu ekspertnu ocjenu, o čemu će više biti rečeno u idućem poglavlju.

**Korak 2.** Zadavanje strukturalnih važnosti elementima s obzirom na sva moguća stanja u kojima se nalaze na temelju zadane izrazite vrijednosti ocjene.

Važnosti definiraju eksperti, na način da je:

$\tilde{w}_j^{ELi} = (\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (w_j^{ELi})^D, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (w_j^{ELi})^S, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (w_j^{ELi})^G)$   $i = 1, \dots, n$ , gdje je  $\tilde{w}_j^{ELi}$  strukturalna važnost  $j$ -tog eksperta za  $i$ -ti element s obzirom na stanje u kojem je taj element.

**Korak 3.** Određivanje ukupnog broja kombinacija svih elemenata u svim izdvojenim stanjima, s obzirom na zadanu izrazitu vrijednost ocjene:

$$N_{komb} = \prod_{i=1}^n (\tilde{R}_k^{ELi}, \tilde{w}_j^{ELi}) \quad (3.29)$$

**Korak 4.** Određivanje neizrazite ocjene komponente po svim kombinacijama kao:

$$(\tilde{R}_{KOMP})_l = \prod_{i=1}^n (\tilde{R}_k^{ELi})^{\sum_{j=1}^n \tilde{w}_j^{ELi}} \quad (3.30)$$

Za izračunavanje rezultante neizrazite vrijednosti ocjene komponente  $(\tilde{R}_{KOMP})_l$ , koristi se pristup FWGM-a pomoću izraza (3.30). S obzirom da su vrijednosti  $(\tilde{R}_{KOMP})_l$  neizraziti brojevi, mogu se izračunati koristeći  $\alpha$  – presjeke.



**Korak 5.** Određivanje  $\alpha$ -presjeka za neizrazite vrijednosti ocjena komponenata po svim kombinacijama pomoću modela linearnog programiranja:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z_1 &= u_1 \ln (R_{EL_1})_{\alpha}^D + u_2 \ln (R_{EL_2})_{\alpha}^D + \dots + u_n \ln (R_{EL_n})_{\alpha}^D & (3.31) \\
 u_1 + u_2 + \dots + u_n &= 1 \\
 (w_1^{EL})_{\alpha}^D \cdot z &\leq u_1 \leq (w_1^{EL})_{\alpha}^G \cdot z, \\
 (w_2^{EL})_{\alpha}^D \cdot z &\leq u_2 \leq (w_2^{EL})_{\alpha}^G \cdot z, \\
 &\vdots \\
 (w_n^{EL})_{\alpha}^D \cdot z &\leq u_n \leq (w_n^{EL})_{\alpha}^G \cdot z, \\
 z &\geq 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Max } z_2 &= u_1 \ln (R_{EL_1})_{\alpha}^G + u_2 \ln (R_{EL_2})_{\alpha}^G + \dots + u_n \ln (R_{EL_n})_{\alpha}^G & (3.32) \\
 u_1 + u_2 + \dots + u_n &= 1 \\
 (w_1^{EL})_{\alpha}^D \cdot z &\leq u_1 \leq (w_1^{EL})_{\alpha}^G \cdot z, \\
 (w_2^{EL})_{\alpha}^D \cdot z &\leq u_2 \leq (w_2^{EL})_{\alpha}^G \cdot z, \\
 &\vdots \\
 (w_n^{EL})_{\alpha}^D \cdot z &\leq u_n \leq (w_n^{EL})_{\alpha}^G \cdot z, \\
 z &\geq 0
 \end{aligned}$$

gdje su  $[\ln(R_{EL_1})_{\alpha}^D, \ln(R_{EL_1})_{\alpha}^G], \dots, [\ln(R_{EL_n})_{\alpha}^D, \ln(R_{EL_n})_{\alpha}^G]$  logaritmičke vrijednosti od  $[(R_{EL_1})_{\alpha}^D, (R_{EL_1})_{\alpha}^G]$ , koje predstavljaju setove  $\alpha$ -presjeka za neizrazite vrijednosti ocjena elemenata po svim kombinacijama, a  $[(w_1^{EL})_{\alpha}^D, (w_1^{EL})_{\alpha}^G], \dots, [(w_n^{EL})_{\alpha}^D, (w_n^{EL})_{\alpha}^G]$  predstavljaju setove  $\alpha$ -presjeka za neizrazite vrijednosti strukturalnih važnosti elemenata.

Gore navedeni modeli linearnog programiranja su primjene modela (3.26) i (3.27) za neizrazitu vrijednost ocjene komponente mosta po svim kombinacijama za sve  $\alpha$ -presjeke.

**Korak 6.** Neka su  $z_1^*$  i  $z_2^*$  optimalne objektivne vrijednosti modela (3.31) odnosno (3.32), tada je  $(R_{KOMP_l})_{\alpha}^D = \exp(z_1^*)$  i  $(R_{KOMP_l})_{\alpha}^G = \exp(z_2^*)$ , gdje je  $R_{KOMP_l}$  neizrazita ocjena komponente po svim kombinacijama. Različiti setovi  $\alpha$ -presjeka za  $R_{KOMP_l}$  mogu biti generirani, na temelju čega  $R_{KOMP_l}$  se može napisati kao:

$$R_{KOMP_l} = \bigcup_{\alpha} \alpha \cdot [(R_{KOMP_l})_{\alpha}^D, (R_{KOMP_l})_{\alpha}^G], \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad (3.33)$$

**Korak 7.** Određivanje prosječne vrijednosti svih kombinacija neizrazite ocjene komponente mosta za izračunati  $\alpha$ -presjeka na sljedeći način:

$$R_{KOMP} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n [(R_{KOMP_l})_{\alpha}^D, (R_{KOMP_l})_{\alpha}^G] \quad (3.34)$$

**Korak 8.** Defazifikacija neizrazite vrijednosti ocjene komponente  $R_{KOMP}$  pomoću centroid metode.

$$\bar{x}_0(\tilde{A}) = \frac{1}{3} ((x)_{\alpha_0}^G + (x)_{\alpha_n}^G + (x)_{\alpha_0}^D)$$

S obzirom da je  $R_{KOMP}$  iskazana pomoću setova  $\alpha$ -presjeka, njezin defazificirani centroid se može dobiti pomoću jednadžbi (3.14) i (3.15). U posebnom slučaju, kada je interval  $[0,1]$  u jednake dijelove podijeljen različitim  $\alpha$ -presjecima, defazificirani centroid se može odrediti pomoću jednadžbi (3.17) i (3.18) (Wang i ostali, 2009).

#### Izračun relativnih važnosti komponenata mosta

Nakon što su se izračunale defazificirane vrijednosti ocjena svih komponenti mosta, slijedi zadavanje relativnih važnosti (težina) komponentama pomoću metode AHP. Koristeći Saatyevu skalu (Saaty, 1980) usporedbe ciljeva i kriterija, u ovom slučaju komponenti mosta (gornji ustroj, donji ustroj i oprema), dobivaju se težine komponenti.

U gornjem trokutu (sivo obojan) matrice usporedbe (engl. *real continous pari-wise- RCP*) upisuju se vrijednosti težina, a njihove recipročne vrijednosti u donji trokut, kako je prikazano u tablici 3.1. (Sasmal i ostali, 2008).

Tablica 3.1. Matrica usporedbe

A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	...	A <sub>n</sub>
A <sub>1</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>	...	A <sub>1n</sub>
A <sub>2</sub>	A <sub>21</sub>	A <sub>22</sub>	A <sub>23</sub>	...	A <sub>2n</sub>
A <sub>3</sub>	A <sub>31</sub>	A <sub>32</sub>	A <sub>33</sub>	...	A <sub>3n</sub>
...	...	...	...	...	...
A <sub>n</sub>	A <sub>n1</sub>	A <sub>n2</sub>	A <sub>n3</sub>	...	A <sub>nn</sub>

Vrijednosti na dijagonali su uvijek 1. Pretpostavljajući da se skupina elemenata  $A$  sastoji od  $A_1, A_2, \dots, A_n$  elemenata, matrica usporedbe se može konstruirati i relativne važnosti elemenata ( $A_{ij}$ ) se dobivaju uspoređujući element  $i$  s elementom  $j$ . Odnos  $\alpha_{ij}$  i matrica usporedbe reda  $p \times p$  se može prikazati kao (Sasmal i stali, 2008):

$$A_{p \times p} = [\alpha_{ij}] = \left[ \frac{w_i}{w_j} \right], i, j = 1, p \quad (3.35)$$

Svaki podatak matrice  $[A]$  predstavlja ekspertnu prosudbu usporedbom. Konzistentnost matrice  $[A]$  zadovoljava uvjet:

$$A_{ij} = A_{ik} A_{kj} \quad i, j, k = 1, 2, \dots, n \quad (3.36)$$

gdje je  $n$  broj elemenata. Konzistentnost navedene matrice ima rang 1 s jediničnim vektorom  $(\lambda) = n$ . Tada je:

$$[A]w = nw \quad (3.37)$$

gdje je  $w$  jedinični vektor.

U većini slučajeva, usporedbe elemenata nisu idealne odnosno matrica usporedbe ne mora uvijek postići konzistentnot. Izraz (3.37) se ne mora zadovoljiti za sve moguće dodijeljene težine.

Maksimalna svojstvena vrijednost matrice je blizu  $n$  (broju elemenata), dok su ostale vrijednosti blizu 0. Stoga je u nekonzistentim slučajevima potrebno odrediti jedinični vektor koji odgovara najvećoj svojstvenoj vrijednosti  $\lambda_{max}$ , odnosno mora se definirati jedinični vektor  $w$  koji zadovoljava sljedeće:

$$Aw = \lambda_{max}w \quad (3.38)$$

gdje je  $\lambda_{max} \approx n$ .

Konzistentnost matrice postiže se ukoliko je vrijednost omjera konzistencije manja ili jednaka 0,1. Omjer konzistencije (CR) dobije se izračunavajući  $\lambda_{max}$ . Saaty (1994) definira indeks konzistencije matrice  $[A]$  kao:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.39)$$

CR se dobije dijeljenjem indeksa konzistencije (CI) s nasumičnim indeksom konzistencije (engl. *random consistency index*-RCI) kojeg je predložio Saaty (1994).

### Određivanje IPSPCM

Dobivene težine se množe s defazificiranim vrijednostima ocjena komponenata da bi se na taj način dobila konačna ocjena povijesnog cestovnog mosta odnosno indeks procjene stanja povijesnog cestovnog mosta:

$$IPSPCM = R_{GU} * w_{GU} + R_{DU} * w_{DU} + R_O * w_O \quad (3.40)$$

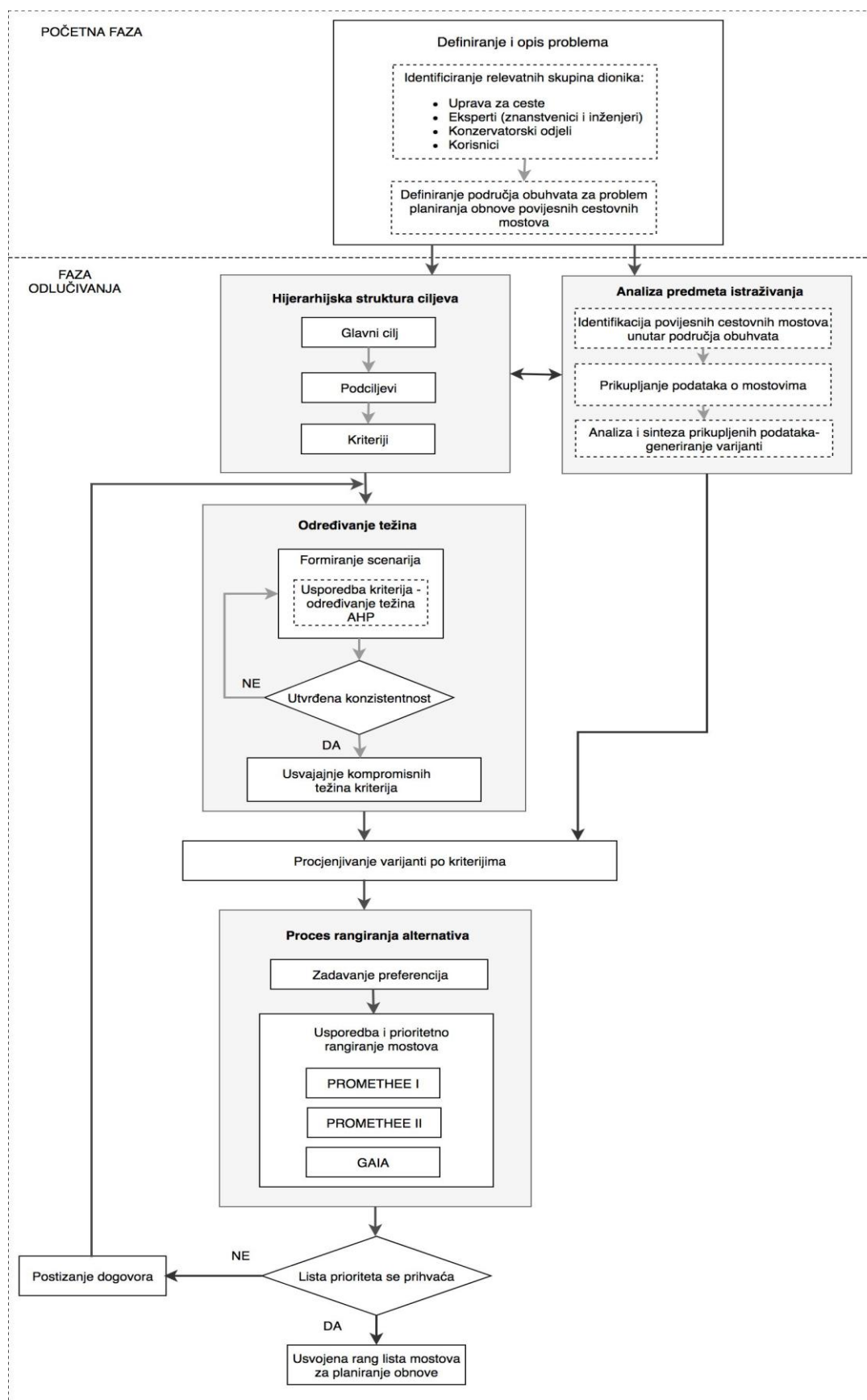
gdje su  $R_{GU}$ ,  $R_{DU}$ ,  $R_O$  ocjene komponenata mosta dobivene defazifikacijom, a  $w_{GU}$ ,  $w_{DU}$ ,  $w_O$  relativne važnosti komponenata.

### 3.2.2. Model rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove

Model rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove koristi se za rješavanje nestrukturiranih zadataka na strateškoj hijerarhijskoj razini odlučivanja, detaljnije opisanih u potpoglavlju 2.2.1. Rezultat analize navedenim modelom jest rang lista povijesnih cestovnih mostova što je ujedno i ulazni parametar za model podrške u izboru upraviteljskog pristupa prilikom planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Proces realizacije modela podijeljen je u dvije faze: početna faza i faza odlučivanja. U početnoj fazi oblikuju se potrebne podloge za daljnju realizaciju modela pri čemu se najprije definira i opisuje problem koji se kasnije prezentira svim identificiranim relevantnim skupinama dionika, koji bi za slučaj povijesnih cestovnih mostova bili: uprava za ceste, eksperti u području mostova i konstrukcija, konzervatorski eksperti i korisnici. Nakon upoznavanja s problemom definira se područje obuhvata. Time završava prva faza modela te dobiveni podaci iz nje koriste se za fazu odlučivanja. U fazi odlučivanja potrebno je najprije analizirati predmet istraživanja tako da se identificiraju svi povijesni cestovni mostovi unutar područja obuhvata. Potom se prikupljaju svi potrebni podaci što zahtijeva prvenstveno rad za stolom pri čemu se izrađuje plan terenskog istraživanja koji podrazumijeva određivanje pristupa, redoslijeda i dinamike pregledavanja mostova te određuje postupak prikupljanja podataka na terenu. O kvaliteti prikupljenih podataka ovisi precizno definiranom pristupu, redoslijedu i dinamici jer u suprotnom se može postići nerealno stanje sustava u određenom trenutku. Kvaliteta podrazumijeva točnost i vremensku ujednačenost prikupljanja podataka. Prikupljanje podataka o pojedinom mostu određeno je na temelju njegovih karakteristika. Svaki most ima svoje karakteristike koje je potrebno pribilježiti i

ocijeniti, a samim tim i dokumentaciju u koju će se sve unijeti. Terensko istraživanje i prikupljanje podataka o mostovima uglavnom se bazira na vizualnom pregledu, izvođenju potrebnih mjerenja, fotodokumentaciji te zapisivanju i dokumentiranju viđenog pa čak i razgovorima s relevantnim ekspertima, upraviteljima i konzervatorima.

Nakon što su svi potrebni podaci prikupljeni potrebno je izvršiti analizu na temelju koje se dobivaju određena saznanja o mostovima kao i o njihovim komponentama odnosno elementima. Potom se podaci sintetiziraju čime se generiraju varijante s kojima se ide u daljnji proces. Cijeli proces realizacije modela rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove prikazan je dijagramom toka na slici 3.4..



Slika 3.4. Model rangiranja povijesnih cestovnih mostova iz analiziranog skupa prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove

Nakon generiranja varijantnih rješenja, slijedi izrada hijerarhijske strukture ciljeva u obliku stabla ciljeva, u nekoliko razina. Proces izrade hijerarhijske strukture ciljeva predstavlja integracijski faktor za uspješnu realizaciju planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Njezina uspostava formira se kroz uključivanje relevantnih dionika na svim hijerarhijskim razinama odlučivanja. Svaki od dionika predstavlja eksperta odnosno osobu koja posjeduje specifična znanja i sposobna je formulirati ta znanja prema zahtjevima pred kojima se nalazi, s ciljem generiranja i vrednovanja ciljeva. Izrada hijerarhijske strukture ciljeva na ovaj način zahtijeva određenu podršku zbog velikog broja uključenih u proces i njihovih raznolikih područja ekspertize. Posebno je važna podrška pri odlučivanju o uvrštavanju pojedinih ciljeva u hijerarhiju. Osim toga, važno je i na kojoj razini ih uvrstiti jer neki od definiranih ciljeva mogu biti prikladniji za sljedeće razine hijerarhije. Ciljevi koji se odbacuju smatraju se nevažecim i ne uvrštavaju se u hijerarhiju, što za sobom povlači i prestanak daljnjeg generiranja ciljeva (Jajac, 2010). U procesu formiranja hijerarhijske strukture ciljeva važnu ulogu ima donositelj odluke, ali i ostali dionici zainteresirani za problematiku planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Prvo se definira glavni cilj, a potom njemu podržavajući podciljevi. Podciljevi se dalje dijele na kriterije i ukoliko je potrebno podjela se vrši sve dok se na zadnjoj razini ne definiraju kriteriji koji više nisu djeljivi. Više o formiranju same hijerarhijske strukture reći će se kasnije.

Nakon formiranja stabla ciljeva pristupa se određivanju relativnih važnosti odnosno težina ciljeva i kriterija. Određivanje težina je neophodno zbog različite važnosti ciljeva i kriterija. Eksperti moraju dodijeliti relativne važnosti ovisno o razini na kojoj se ti ciljevi i kriteriji nalaze te ovisno o ekspertovom području znanja. Stoga se eksperti dijele u skupine dionika i svaka skupina formira svoj scenarij po kojem zadaje težine kriterijima. Za dodjeljivanje težina koristi se metoda AHP te se u skladu s njezinim pravilima vrši navedeni postupak. Postupak dodjeljivanja težina kreće od vrha stabla ciljeva, od glavnog cilja (čija je težina 1 ili 100), dalje se nastavlja na njemu podržavajuće podciljeve (čiji zbroj težina mora biti 1 ili 100) te se na kraju težine dodjeljuju kriterijima. Kriteriji se međusobno uspoređuju, zadajući im vrijednosti relativnih važnosti prema Saatyjevoj skali (Saaty, 1980). Nakon što se zadaju vrijednosti, zadane iznose je potrebno normalizirati korištenjem postotnog udjela od ukupne važnosti 100%. Zbroj vrijednosti relativnih važnosti svih kriterija mora iznositi 1.

Formira se onoliko scenarija koliko je skupina dionika, i svaki scenarij daje svoje težine za svaki kriterij. Potom se za svaki kriterij određuje srednja vrijednost, dobivena zbrajanjem težina za pojedini kriterij po svim scenarijima i podijeljena s ukupnim brojem scenarija. Na ovaj način, određivanjem aritmetičke sredine težina svakog kriterija formira se dodatni scenarij, nazvan

kompromisni scenarij temeljem kojeg se mišljenja i stavovi svih dionika, iskazani kroz težine, podjednako uzimaju u obzir.

Nakon formiranja svih scenarija i dodjeljivanja težina kriterijima važno je odrediti konzistentnost svakog scenarija. Primjenom AHP metode potrebno je uzeti u obzir koeficijent konzistentnosti (CR) čija vrijednost manja ili jednaka 0,1. Time se dokazuje da su pravilno zadane relativne važnosti kriterija.

Definiranjem težina kriterija i generiranjem alternativa ide se u idući korak realizacije modela rangiranja povijesnih cestovnih mostova, prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove u proces procjenjivanja varijanti po svim kriterijima. Svaki most dobiva svoju vrijednost po pojedinom kriteriju te se na ovaj način procjenjuju karakteristike mostova. Nakon procjene varijanti, slijedi zadavanje preferencija, točnije zadavanje funkcije preferencije te minimuma i maksimuma svakom kriteriju. Ovim postupkom, uz prethodno objašnjenje značenja svake funkcije preferencije, dioniku se omogućava preciznije isticanje njegovog preferiranja jednog kriterija nad drugim.

Svršetkom zadavanja preferencija, kreće se na proces usporedbe i prioritarnog rangiranja varijanti odnosno povijesnih cestovnih mostova. Pri tom se koriste metode PROMETHEE I za djelomično rangiranje varijanti te metoda PROMETHEE II za njihovo ukupno rangiranje. Grafički se prikazuju rezultati ukupnog rangiranja povijesnih cestovnih mostova koristeći metodu GAIA kojom se višedimenzionalni problem (više kriterija) svodi na dvodimenzionalni. Ukoliko se rang lista mostova prema prioritetu za obnovu prihvaća, proces realizacije navedenog modela završava, u suprotnom se ponavlja od koraka formiranja hijerarhijske strukture ciljeva i zadavanja relativnih važnosti sve dok rezultat rang liste nije zadovoljavajuć. Kako je već prethodno rečeno, krajnji rezultat ovog modela ulazni je parametar za početak realizacije modela podrške u izboru upraviteljskog pristupa prilikom planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova, o kojem će više biti rečeno u potpoglavlju 3.2.3.

### Formiranje opće hijerarhijske strukture ciljeva za planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova

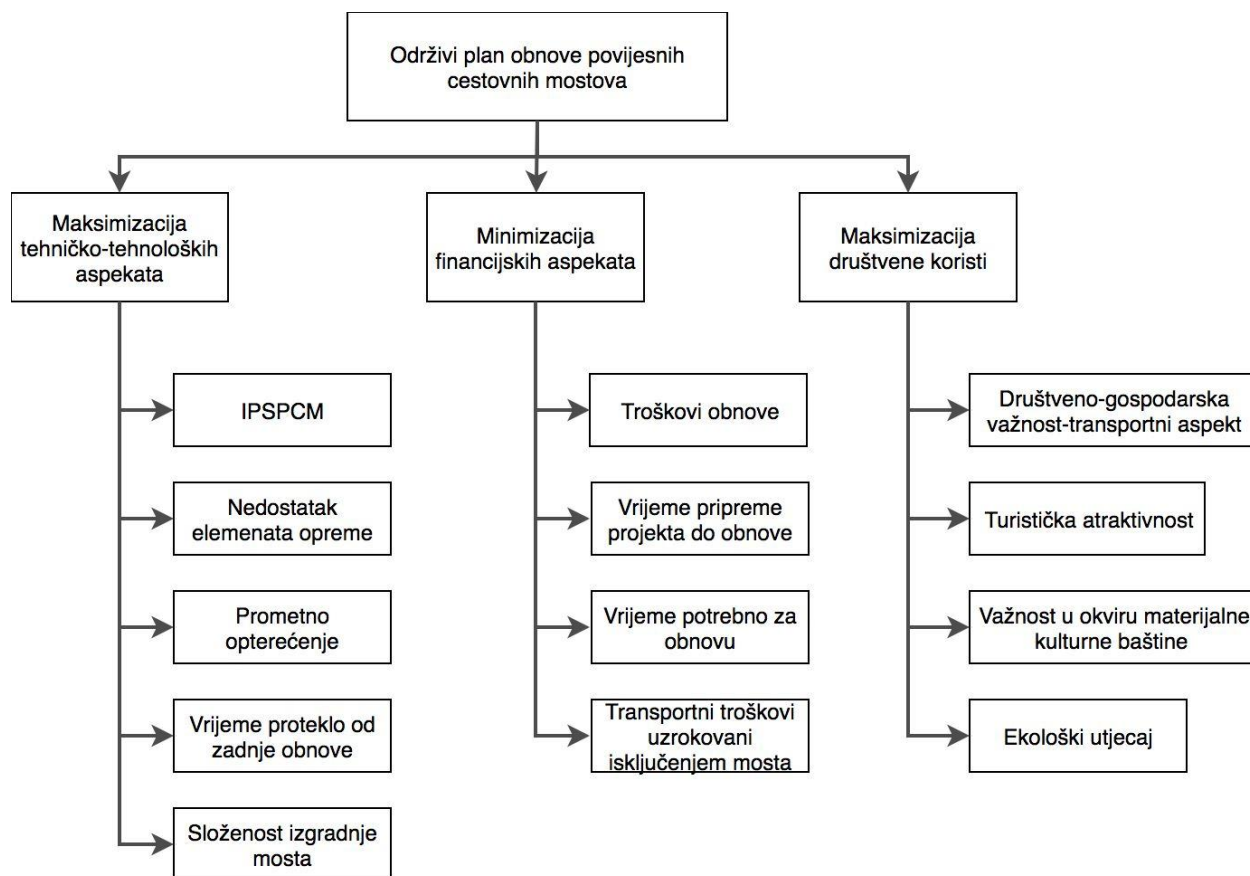
Kako je prethodno već rečeno formiranjem navedenog modela uspostavljena je hijerarhijska struktura ciljeva kojom se u jednu cjelinu u obliku stabla ciljeva uključuju svi ciljevi i kriteriji potrebni za kvalitetno i učinkovito odlučivanje na svim razinama hijerarhije odlučivanja. Na ovaj način osigurava se usklađenost ciljeva i kriterija jer su ciljevi niže razine podržavajući ciljevima više razine pa tako i kriteriji na nižoj razini podržavajući su podciljevima na višoj razini.



Uspostavljena opća hijerarhijska struktura ciljeva, prikazana na slici 3.5., podijeljena je u tri razine te je formirana za dobivanje rang liste povijesnih cestovnih mostova prioriternih za aktivnost obnove.

Formiranje hijerarhijske strukture ciljeva važan je segment ostvarivanja cjelokupnog funkcioniranja SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova jer predstavlja ključan faktor za realizaciju održivog plana njihove obnove. Osnovni faktor za njezinu uspostavu je uključivanje relevantnih dionika na svim razinama odlučivanja sa svrhom definiranja i vrednovanja ciljeva. S obzirom da je velik broj dionika s različitim znanjima i iskustvima koji su uključeni u proces njezine uspostave, potrebna je podrška pri odlučivanju o tome koje ciljeve je potrebno uvrstiti u hijerarhiju i na kojoj razini. Također, moguće je neke od generiranih ciljeva odbaciti.

S obzirom na poznatu problematiku i glavni cilj koji se želi postići, iščitana je adekvatna literarna građa te su odrađeni neformalni razgovori s ekspertima. Na temelju navedenog predložila se hijerarhijska struktura ciljeva koja se predstavila dionicima. Kako je formiranje hijerarhijske strukture ciljeva iterativan proces, predložena je služila kao polazište dionicima prilikom definiranja ciljeva. Navedeni dionici su se formirali u skupine sa svojim predstavnikom. Unutar svake skupine generirani su najprije podciljevi pa onda njima podržavajući kriteriji. Svaka skupina generira ciljeve iz domene svoje struke. Svaki član skupine, tijekom brainstorming-a, predložio je svoju grupu kriterija te ih priložio predstavniku skupine. U isto vrijeme, predstavnici ostalih skupina djelovali su kao savjetnici prilikom generiranja kriterija, da ne bi došlo do njihova preklapanja. Vrlo je važno izbjegavati dupliciranje dvaju ili više kriterija te povećati točnost procjene varijanti po svakom kriteriju. Postupak generiranja kriterija je višestruk i završava kada se svi članovi skupine usuglase oko definiranih podciljeva i kriterija koji se usvajaju kao konačni za hijerarhijsku strukturu ciljeva. Tako je za problematiku planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova, temeljem prethodno opisanog postupka, oformljena opća hijerarhijska struktura ciljeva. Međutim, isti oblik hijerarhijske strukture može se koristiti i za druge vrste mostova pa i objekata, no važno je pri tome, ukoliko se ukaže potreba za tim, dodati ili reducirati neke od definiranih kriterija. Navedeni kriteriji generirani su tijekom višestrukih razgovora s relevantnim dionicima.



Slika 3.5. Hijerarhijska struktura ciljeva za planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova

U nastavku su dani i definirani podciljevi i kriteriji prema prethodno opisanoj općoj hijerarhijskoj strukturi ciljeva. Temeljna pretpostavka svakog procesa odlučivanja je postizanje zadanih ciljeva. Najprije se definiraju ciljevi na strateškoj razini odlučivanja, s obzirom da je kvalitetan odabir ciljeva ključan za cijeli proces odabira dogovornog rješenja. Stoga, donositelj odluke na stateškoj razini mora biti detaljno upućen u problematiku koja se pred njim nalazi. Stajališta svih dionika u procesu odlučivanja moraju se uzeti u obzir kako bi se se postigao što detaljnije definirani cilj. Nakon ostavrenja glavnog cilja, nastavlja se s podjelom na njemu podržavajuće podciljeve. Tako se, na vrhu hijerarhije, nalazi glavni cilj "Održivi plan obnove povijesnih cestovnih mostova". Nadalje, u hijerarhiju, su uključeni njemu, direktno ili indirektno, podržavajući podciljevi i kriteriji, ovisno na kojoj se razini nalaze. Pa su tako na drugoj razini redom podciljevi maksimizacija tehničko-tehnoloških aspekata, minimizacija financijskih aspekata i maksimizacija društvene koristi direktno podržavajući glavnom cilju. Ovo su opći podciljevi s kojima se osigurava pravilno grananje hijerarhijske strukture u smislu pokrivanja svih aspekata važnih za postizanje glavnog cilja. Podciljem maksimizacija tehničko-tehnoloških aspekata želi se ostvariti poboljšanje trenutnog stanja mostova u pogledu njihove mehaničke otpornosti i stabilnosti te prometne sigurnosti i funkcionalnosti. Podržavajući kriteriji ovom

podcilju su, kako je prikazano na slici 3.5., IPSPCM (indeks procjene stanja povijesnog cestovnog mosta), nedostatak elemenata opreme, prometno opterećenje, vrijeme proteklo od zadnje obnove te složenost izgradnje mosta. Idući podcilj je minimizacija financijskih aspekata kojim se želi optimizirati troškove financiranja obnove mosta pa tako i vrijeme koje je potrebno za pripremu projekta obnove te vrijeme obnove povijesnih cestovnih mostova. Stoga su mu podržavajući kriteriji odnosno kriteriji definirani na trećoj razini hijerarhije: troškovi obnove, vrijeme pripreme projekta do obnove, vrijeme potrebno za obnovu i transportni troškovi uzrokovani isključenjem mosta. Trećim podržavajućim podciljem, maksimizacija društvene koristi, ističe se važnost povijesnih mostova u okviru njihove materijalne kulturne baštine te utjecaja prometa koji se odvija na njima. Kriteriji koji su definirani iz ovog podcilja su: društveno-gospodarska važnost-transportni aspekt, turistička atraktivnost, važnost u okviru materijalne kulturne baštine te ekološki utjecaj. Svi navedeni kriteriji detaljno su opisani u idućem poglavlju, u validaciji modela rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove.

### 3.2.3. Model podrške u izboru upraviteljskog pristupa prilikom planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova

Model izbora upraviteljskog pristupa prilikom planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova izrađen je za nestrukturirane zadaće na strateškoj razini hijerarhije odlučivanja i nastavak je na prethodno opisani model rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove. Metodologija provedena u modelu za ovu disertaciju potvrđena je znanstvenim radom (Rogulj i Jajac, 2018) objavljenim u međunarodno priznatom časopisu citiranom u Current Contents. Podaci potrebni za formiranje modela preuzeti su iz baze podataka podsustava upravljanja podacima, a potrebna metoda iz baze modela podsustava upravljanja modelima SPO-a. Proces realizacije modela prikazan je dijagramom toka na slici 3.6..

Model SPO-a je razvijen s namjerom da podrži upraviteljske odluke vezane za planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova. Provedba SPO-a ovisi o potrebama i preferencijama različitih dionika i ograničenih resursa (pogotovo na razini grada ili županije). Ove realnosti pokazuju da problemi donošenja odluka vezanih za planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova uključuju postavke prioriteta. Financiranje projekta može se osigurati, uglavnom, na tri načina, ovisno o načinu oblikovanja politike:

1. Definirani proračun: iznos sredstava za realizaciju obnove povijesnih cestovnih mostova unaprijed je određen za svaku proračunsku godinu ovisno o uvjetima koji su različiti od onih koji proizlaze iz prostornog i funkcionalnog aspekta analiziranog problema;
2. Prostorno-funkcionalni stil: iznos sredstava u jednoj proračunskoj godini planira se uzimajući u obzir samo prostorno i funkcionalno ograničenje;
3. Kombinirani stil: iznos sredstava u proračunu koji je namijenjen jednoj fazi ovog projekta već je poznat i pruža se temeljem prostorno-funkcionalnih i financijskih ograničenja.

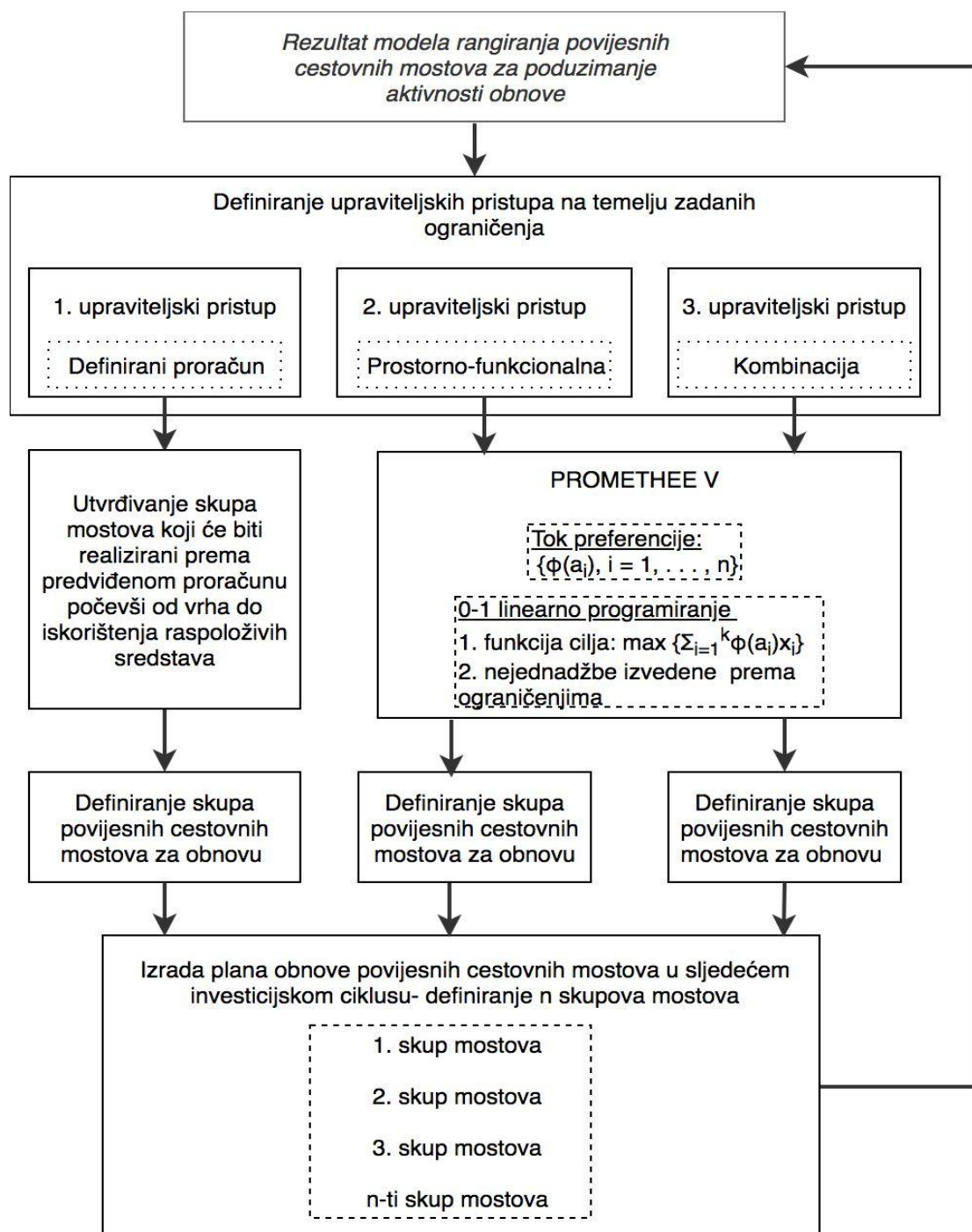
Tri prethodno definirana stila oblikovanja politike ovise o postojanju sljedećih preduvjeta:

- Upravno tijelo nema sredstva potrebna za realizaciju cjelokupnog projekta u jednoj financijskoj godini;
- Cijeli projekt ne može biti završen unutar jedne proračunske godine zbog tehničkih ograničenja;
- Projekt mora biti podijeljen u nekoliko faza, a svaka se faza sastoji od prilagodbe u najmanje jednom mostu;
- Prilagodba jednog mosta znači rješavanje svih strukturiranih problema obnavljanjem mosta (djelomični pristup nije opcija).

Ovi preduvjeti definirani su kao konačni dogovor svih zainteresiranih strana nakon što je provedena detaljna evaluacija istraživanja prikazanih u ovom radu. S obzirom da se prepoznaju ključni problemi i ograničenja, cilj ovog modela je pružiti podršku donositelju odluke.

U modelu rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove dobivena je usporedba i ukupna rang lista povijesnih cestovnih mostova PROMETHEE II metodom. Međutim, mostovi rangirani pri samom vrhu ne bi trebali nužno biti odmah odabrani za ulaganje u njihovu obnovu jer se uvode ograničenja korištenjem unaprijed definiranog iznosa raspoloživih financijskih sredstava u sljedećoj proračunskoj godini ili korištenjem metode PROMETHEE V. Na taj način se dobivaju setovi mostova koji će biti financirani za obnovu za svaku proračunsku godinu, uzimajući pri tom u obzir razna druga ograničenja. Razlog ovome jest broj utjecaja (uvjeta na kojima se temelji projekt) koji se odnose na takvo planiranje projekta koje treba istražiti prije konačnog tumačenja faza projekta (definicija konačnog plana). To je zbog broja utjecaja (uvjeta na kojima se temelji projekt) koji se odnose na takvo planiranje projekta koje treba istražiti prije konačnog tumačenja njegovih faza (definicija konačnog plana). Ti utjecaji odražavaju mišljenje investitora, koje se iskazuje kriterijima kao što su dostupnost resursa (osobito financijskih), strategije i planovi višeg reda, aktivni ugovori, itd. Stoga je nužno definirati i uvesti nekoliko ograničenja koja mogu obuhvatiti

sve relevantne utjecaje. Tri pristupa oblikovanja politike obećavaju daljnju realizaciju modela izbora upraviteljskog pristupa prilikom planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Za prvi pristup predodređeni proračun i vrijeme trajanja obnove mosta definiraju se kao ograničenja te se korištenjem top-down pristupa formiraju setovi mostova za obnovu za svaku godinu u iznosu unaprijed definiranog proračuna. U drugom pristupu, setovi mostova koje treba obnoviti u narednim investicijskim godinama određuju se prostorno-funkcionalnim ograničenjima te kao i u prvom pristupu ograničenjem vremena trajanja obnove. Ova ograničenja ne uključuju financijske troškove jer će se u konačnici prilagoditi potrebama pristupa. Za treći pristup istodobno se uvode financijska i prostorno-funkcionalna ograničenja, određujući pritom koji se mostovi moraju obnoviti za svaku investicijsku godinu. Drugi i treći pristup rješavaju se PROMETHEE V metodom.



Slika 3.6. Model izbora upraviteljskog pristupa u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova s obzirom na financijske i prostorno-funkcionalne odrednice te njihovu kombinaciju

Svaki pristup daje setove mostova koji se trebaju obnoviti u sljedeća dva mandata odnosno u sljedećih osam investicijskih godina. Proces se ponavlja za svaku godinu dok svi mostovi ne budu financirani. Zbog stalne promjene projektnog okruženja, preporučuje se ponavljanje prioritarnog rangiranja i ažuriranje ulaznih podataka mostova. Stoga je povratna veza, kako je prikazano na slici 3.6., potrebna jer se dobivanjem jednog seta mostova ujedno utvrđuje ulazni set podataka za dobivanje seta mostova za sljedeću godinu. Kako se se PROMETHEE II

metodom iskazuju relativni odnosi među mostovima, obnova jedne skupine mostova utjecat će na ukupni poredak, a time i na set mostova koji će se obnavljati u narednoj godini. Nadalje, treba naglasiti da se svaka faza projektnog plana može odrediti različitim pristupima oblikovanja politike. Ova fleksibilnost predloženog modela je dodatni bonus jer omogućava visoku razinu dosljednosti unutar procesa odlučivanja, a istodobno osigurava moguću primjenu različitih stilova oblikovanja politike te prilagodljivost bez obzira na upravitelja odnosno vladajuće

#### 3.2.4. Model izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta

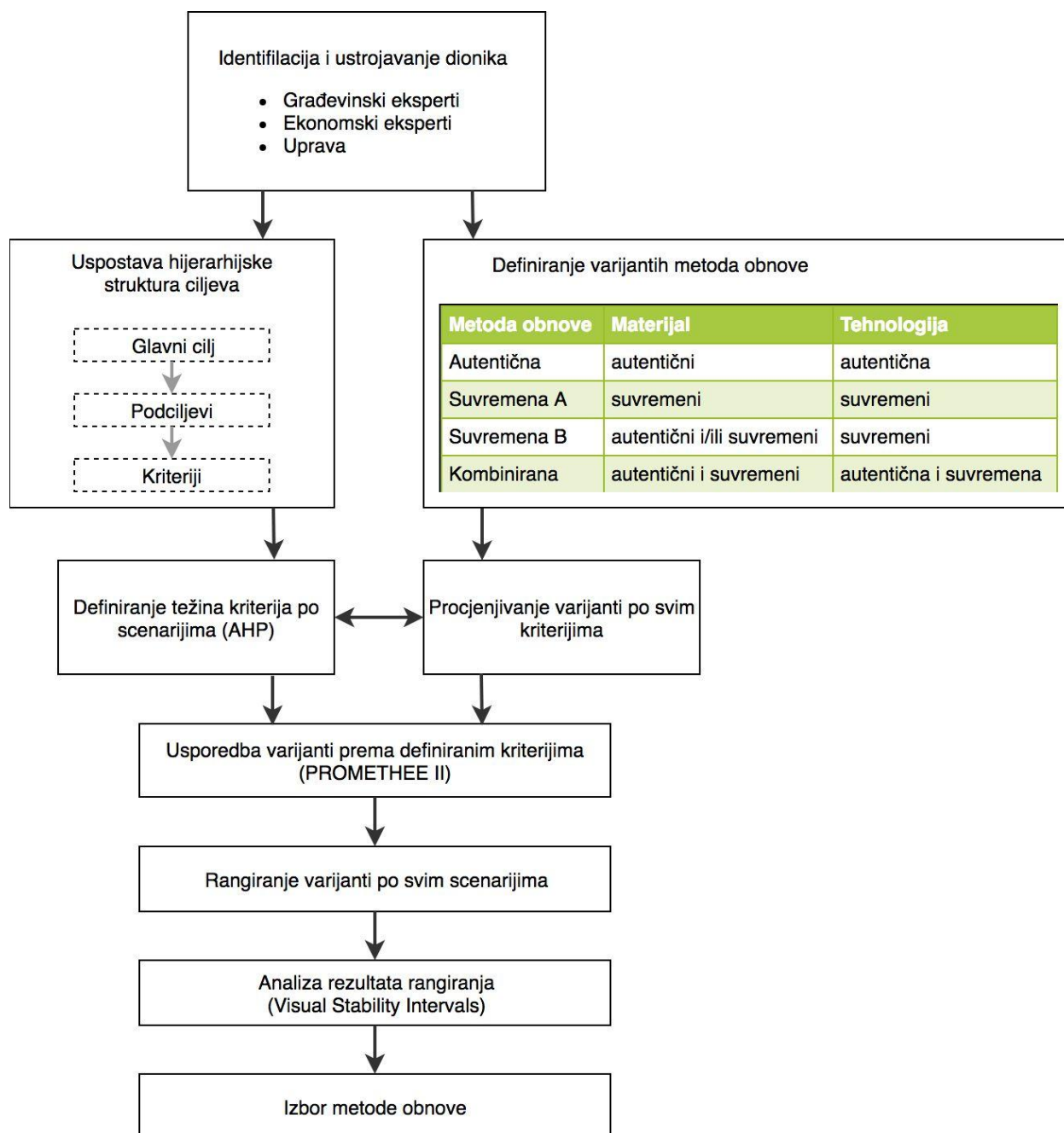
Model izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta formiran je za rješavanje polustrukturiranih zadataka na taktičkoj razini hijerarhije odlučivanja. Istraživanja provedena u modelu za ovu disertaciju potvrđena su znanstvenim radom (Jajac, Rogulj i Radnić, 2017) objavljenim u međunarodno priznatom časopisu citiranom u Current Contents. Potrebni podaci preuzeti su iz baze podataka podsustava upravljanja podacima, a relevantne metode iz baze modela podsustava upravljanja modelima SPO-a. Cijeli postupak realizacije modela prikazan je na slici 3.7..

Provođenje modela započinje s identifikacijom i ustrojavanjem dionika u tri skupine, odnosno s identifikacijom predstavnika pojedine skupine dionika: građevinski eksperti, ekonomski eksperti te uprava (koja uključuje upravu za ceste i konzervatorske odjele). Svaka skupina dionika sastoji se od nekoliko članova uključenih u izradu hijerarhijske strukture ciljeva u obliku stabla ciljeva (engl. *goal tree*) koje se uspostavlja tijekom rasprave o problemu unutar grupa: planiranje obnove povijesnog cestovnog mosta. Svi predstavnici međusobno surađuju u formiranju stabla ciljeva. Odluka o uključivanju generiranih ciljeva i kriterija donesena je konsenzualno.

Najintrigantniji zadatak u procesu odlučivanja jest odabrati faktore koje treba uključiti u hijerarhijsku strukturu koja mora sadržavati ključne stavke da bi se problem mogao opisati što je preciznije moguće. Individualni ili skupina donositelja odluke upoznatih s problemom trebaju razmotriti sve činjenice i parametre za koje smatraju da će pridonijeti njegovom rješenju (Farkas, 2010).

Izrada stabla ciljeva dijeli se u tri faze. Prva faza započinje s definiranjem glavnog cilja, potom se definiraju njemu podržavajući podciljevi čija se podjela nastavlja u trećoj fazi generiranjem kriterija. Sve skupine sudjeluju u svim fazama izrade hijerarhije, međutim svaka skupina dionika odlučuje o kriterijima vezanima za njihovu granu ekspertize, dok predstavnici ostalih skupina djeluju kao savjetnici/kontrolori da bi se izbjeglo preklapanje definiranih kriterija u toj skupini. Vrlo je važno izbjegavati dupliranje procjene varijanti po dvama ili više kriterija te povećati

preciznost procjene po svakom kriteriju. Uspostava hijerarhijske strukture ciljeva omogućava bolje razumijevanje veza između glavnog cilja i definiranih podciljeva kao i veza između podciljeva i kriterija te tako osigurava veću kvalitetu procesa odlučivanja (Bitunjac i drugi, 2016). Podciljevi i njima podržavajući kriteriji moraju biti definirani tako da im se lako mogu dodijeliti težine.



Slika 3.7. Model izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta

Završetkom podjele podciljeva na kriterije završava proces formiranja hijerarhijske strukture ciljeva koja osigurava pregled međusobnih odnosa podciljeva i kriterija unutar hijerarhije, ali ne



daje nikakve informacije o njihovoj relativnoj važnosti. Potrebno je dodijeliti relativne važnosti kriterijima pomoću kojih se relevantne karakteristike varijanti mogu opisati i procijeniti. Relativne važnosti kriterija iskazuju se kao težine. Svi dionici uključeni su u proces dodjeljivanja težina, stoga se formira onoliko scenarija koliko ima skupina dionika i svaki scenarij sadrži težine skupine kojom je formiran. Kompromisna težina svih skupina dionika određuje se kao aritmetička sredina. Proces dodjeljivanja težina po svakom scenariju pa tako i određivanje kompromisne težine detaljnije će biti opisani u sljedećem poglavlju.

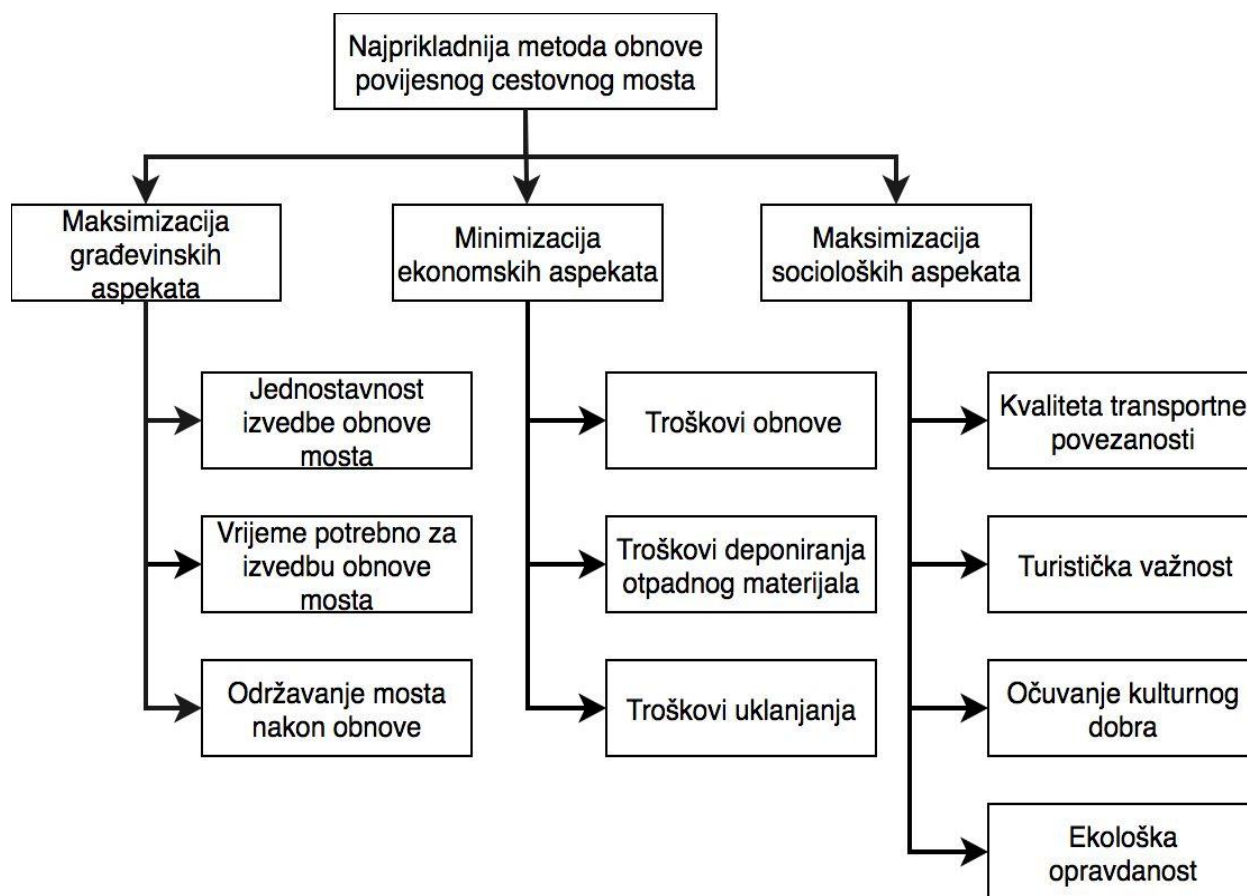
Paralelno s procesom izrade hijerarhije odvija se proces definiranja varijanti za realizaciju projekta odnosno identificiraju se metode koje se mogu primijeniti za projekt obnove povijesnog cestovnog mosta. U ovom procesu sudjeluju sve skupine dionika.

Sljedeći korak je procjena svih varijanti po svim kriterijima i izbor adekvatne višekriterijalne metode za njihovu međusobnu usporedbu. Usporedba mora biti bazirana na usklađenom mišljenju svih eksperata, iskazanim pomoću dodijeljenih težina i funkcija preferencije. Težine kriterija dodijeljene su pomoću AHP metode, a usporedba varijanti i njihovo prioritarno rangiranje PROMETHEE II metodom. Varijante su odabrane s obzirom na kombinaciju korištenog materijala i tehnika za obnovu mosta kako je prikazano na slici 3.7. i objašnjeno u potpoglavlju 2.2.3. Analizom rezultata mogu se odrediti relativne veze između varijanti koje daju bolji uvid u izbor metode obnove. Analiziraju se intervali stabilnosti (engl. weight stability intervals) pomoću kojih se određuju minimalne promjene u vezama kriterija koje imaju najveći utjecaj na rangiranu listu. Navedeno daje bolju sliku analiziranog problema. Nakon analize, rezultati se prikazuju krajnjem donositelju odluke na temelju čega on odlučuje o izboru metode obnove. Stoga, slika 3.7. objašnjava generalni model podrške odlučivanja u planiranju projektnog zadatka obnove povijesnog cestovnog mosta koji završava izborom adekvatne metode obnove i može se primijeniti za izbor metode obnove bilo kojeg povijesnog cestovnog mosta ili se može modificirati za obnovu bilo kojeg povijesnog objekta. U tom slučaju samo se elementi sa zadnje razine hijerarhijske strukture ciljeva modificiraju tako da se definiraju kriteriji koji će odgovarati analiziranom povijesnom objektu. Ukoliko se ukaže potreba, može se dodati jedan ili više kriterija, ali svaku modifikaciju ili dodavanje novih kriterija moraju odraditi relevantni dionici.

Formiranje opće hijerarhijske strukture ciljeva za izbor metode obnove povijesnih cestovnih mostova

Za uspješno upravljanje projektom obnove povijesnog cestovnog mosta nužno je razviti specifičan proces odlučivanja. Odlučivanje započinje s identifikacijom i okupljanjem adekvatnih dionika. Za slučaj izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta, to bi bili stručnjaci iz područja građevinarstva, konzervatorski eksperti i uprava za ceste. Dionici se formiraju u skupine sa svojim predstavnikom. S obzirom da je postupak formiranja opće hijerarhijske strukture za izbor metode obnove identičan onom za rangiranje povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu obnove, opisanog u potpoglavlju 3.2.2., ovdje ga se neće detaljnije prikazati. Unutar svake skupine generiraju se podciljevi i njemu podržavajući kriteriji. Svaka skupina generira ciljeve iz domene svoje struke te nakon "izljeva ideja" svaki član predlaže svoju grupu kriterija. Kriteriji se potom prilažu predstavniku skupine. Predstavnici ostalih skupina savjetuju pojedinu skupinu tijekom generiranja kriterija, da ne bi došlo do preklapanja ili dupliciranja kriterija. Postupak određivanja podciljeva i kriterija se ponavlja dok se svi članovi ne usuglase oko definiranih podciljeva i kriterija koji se potom unose u hijerarhijsku strukturu ciljeva. Na ovaj način kreirana je opća hijerarhijska struktura ciljeva za izbor metode obnove.

Glavni cilj je izabrati najadekvatniju/najprihvatljiviju metodu obnove povijesnog cestovnog mosta. Nakon definicije glavnog cilja, dionici dalje formiraju hijerarhijsku strukturu ciljeva generiranjem podciljeva i kriterija koji podržavaju glavni cilj. Postizanje objektivnosti procesa izrade opće hijerarhijske strukture, posebno prilikom definiranja relevantnih podciljeva i kriterija, od velike je važnosti. Stoga, sve skupine dionika moraju postići konsenzus za svaki element (podcilj i kriterij) prije nego se isti uključi u hijerarhiju. Prikaz opće hijerarhijske strukture ciljeva za potrebe izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta dan je na slici 3.8..



Slika 3.8. Hijerarhijska struktura ciljeva za izbor metode obnove povijesnog cestovnog mosta

Tri podcilja podržavaju ostvarenje glavnog cilja: prvi- maksimizacija građevinskih aspekata analiziranog problema, drugi- minimizacija ekonomskih aspekata i treći- maksimizacija socioloških aspekata. Podciljem maksimizacija građevinskih aspekata želi se omogućiti jednostavnost izvedbe mosta u pogledu izrade projektne dokumentacije i same obnove mosta te održavanje mosta nakon obnove, dok se podciljem minimizacija ekonomskih aspekata žele optimizirati troškovi obnove, uklanjanja i deponiranja otpadnog materijala. Trećim podciljem maksimizacija socioloških aspekata želi se između ostalog ukazati na turističku važnost mosta i očuvanje kulturnog dobra. Svaki od navedenih podciljeva predstavlja zadovoljenje mišljenja pojedine skupine dionika o analiziranom problemu. Svaka skupina je predložila podcilj iz svog područja ekspertize, dok ostale skupine dionika dogovorno prihvaćaju podcilj (pa tako i definirane kriterije koji podržavaju podcilj) kao ključne za uklapanje u hijerarhiju. Ovaj algoritam pokazao se korisnim jer je razumljiv i ne iziskuje previše prilagodbe dionika novoj metodologiji. Podciljevi su podijeljeni u set kriterija s kojima se mogu procjenjivati ili ocjenjivati varijante te daljnja podjela nije potrebna. Definirani kriteriji prikazani su na slici 3.8.. Tri kriterija definirana za postizanje podcilja maksimizacija građevinskih aspekata su: jednostavnost izvedbe obnove mosta, vrijeme potrebno za izvedbu obnove i održavanje mosta

nakon obnove. Kriteriji koji podržavaju podcilj minimizacija ekonomskih aspekata su: troškovi obnove, troškovi deponiranja otpadnog materijala, troškovi uklanjanja, a podcilj maksimizacija socioloških aspekata podržavaju: kvaliteta transportne povezanosti, turistička važnosti, očuvanje kulturnog dobra, ekološka opravdanost. Neki od navedenih kriterija imaju veću važnost od drugih, ali svi kriteriji omogućuju bolji uvid u problem prikazujući razlike među varijantama procijenjenih po kriterijima. Životni vijek povijesnog mosta nakon obnove definiran je kao jedan od kriterija, međutim dionici su odlučili ne uključiti ga u stablo ciljeva zbog očekivane male razlike među procjenama analiziranih metoda po tom kriteriju, odnosno sve metode bi po tom kriteriju imale istu procjenu. Razlog ovome je odluka za planirani horizont na 20 godina. Stoga su dionici uključili kriterij održavanje mosta nakon obnove koji uvodi komponentu vremena, ali u isto vrijeme ukazuje na razlike između predloženih varijanti. Prije nego se uključe u hijerarhiju, prema zahtjevu eksperata, nekima od kriterija potrebno je "fino podešavanje" (engl. *fine-tuning*) opsega i tehnike procjene radi postizanja preciznosti prilikom procjenjivanja varijanti. Nekoliko generiranih kriterija su odbačeni zbog preklapanja, a nekoliko ih je grupirano za definiranje jednog kriterija, kao što je slučaj za kriterij turistička važnost i ekološka opravdanost.

## **4. VALIDACIJA MODELA SUSTAVA ZA PODRUŠKU ODLUČIVANJU U PLANIRANJU OBNOVE POVIJESNIH CESTOVNIH MOSTOVA**

U ovom poglavlju prikazuje se provedba validacije kao i njezini rezultati razvijenog modela SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova. Validacija navedenog SPO-a provodi se na primjeru upravljanja povijesnim cestovnim mostovima pod upravom ŽUC-a na području SDŽ-a. Najprije je dan opis funkcioniranja predloženog modela za rješavanje problema odlučivanja u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova na području SDŽ-a. Dalje se nastavilo s opisom načina prikupljanja i analiziranjem prikupljenih podataka, prikazom sistematiziranih prikupljenih podataka te njihovom obradom kroz modele predloženog SPO-a. Obrazložili su se rezultati svih modela pojedinačno s naglaskom na njihov utjecaj na oblikovanje planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova, procjene stanja mostova, izbora upraviteljskog pristupa i metode obnove. Na kraju su dane praktične spoznaje o stanju i načinu planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova na području SDŽ-a, izgrađenih prije ili za vrijeme Austro-Ugarske Monarhije.

### **4.1. Prikaz prikupljenih podataka iz analize povijesnih cestovnih mostova**

Na temelju predstavljenog novoformiranog SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova u potpoglavlju 3.1., potrebno je pristupiti prikupljanju podataka na operativnoj hijerarhijskoj razini. Prikupljeni podaci se pohranjuju u bazu podataka iz koje se preuzimaju prema potrebi za realizaciju modela u bazi modela na taktičkoj i strateškoj hijerarhijskoj razini. Ciljevi i kriteriji formiraju se, unutar baze podataka, na temelju prikupljenih podataka, na strateškoj i taktičkoj razini. Na strateškoj razini definiraju se za realizaciju modela rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za aktivnost obnove. Potrebni podaci sadržavaju prostorne i fizičke karakteristike navedenih mostova. Prostorni podaci o mostovima prikupljaju se koristeći računalnu GIS aplikaciju ArcGIS koja omogućuje vizualizaciju, analiziranje i uređivanje prostornih informacija te njihov prikaz u obliku grafičkih mapa. Također, daje mogućnost pregleda fizičkih podataka svakog mosta zasebno. Na slici 4.1. dan je prikaz lokacija mostova napravljen u ArcGIS-u, pritiskom na svaku oznaku dobiju se informacije o mostu (lokacija, dio SDŽ, naziv mosta, oznaka ceste, podatak o kulturnom dobru, dužina, širina,

materijal, itd). Navedeni podaci o povijesnim cestovnim mostovima dani su u tablici 4.1.. Navedeni podaci prikupljeni su terenskim obilaskom mostova, fotodokumentiranjem, potrebnim mjerenjima, razgovorima s ekspertima Konzervatorskih odjela u Splitu i Imotskom, razgovorima sa ŽUC SDŽ te prikupljanjem dokumentacije iz Državnog arhiva u Zadru. Razgovori i prikupljena dokumentacija pomogli su u određivanju ukupnog broja povijesnih cestovnih mostova.



Slika 4.1. Prostorni prikaz povijesnih cestovnih mostova na području SDŽ-a

Područje Vrgorca, Imotskog i Solina sadrže najviše povijesnih mostova, a najmanje ih je u području Vrlike. Ovaj podatak će biti koristan za određivanje prostorno-funkcionalnih ograničenja prilikom izbora upraviteljskog pristupa u planiranju obnove navedenih mostova, uzimajući u obzir, osim prostorne komponente, financijsku i vremensku. U tablici 4.1. dani su podaci o povijesnim cestovnim mostovima na temelju kojih su se oformili neki od ciljeva i kriterija na strateškoj razini, prikazanih na slici 3.5., za realizaciju modela rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za aktivnost obnove. U idućem potpoglavlju dana je validacija modela procjene stanja povijesnih cestovnih mostova za što je bila potrebna temeljna vizualna inspekcija eksperta da bi se ocijenilo stanje elemenata mosta te tako odredila konačna ocjena mosta. Skupine fotografija 4.1, 4.2., 4.3. i 4.4. prikazuju promatrane mostove.

Tablica 4.1. Podaci o povijesnim cestovnim mostovima

Br.	Naziv mosta	Lokacija	Oznaka ceste	Kulturno dobro	Prepreka	Vrijeme nastanka	Materijal	Dužina (m)	Širina (m)	Broj otvora
1	Jovića most	Vinjani Gornji	LC 67155	Ne	Bujični tok Ričina	19.st.	kameni	30	5,5	4
2	Most preko rječice Matice	Kokorići	LC 67207	Ne	Rječica Matica	19.st.	kameni	40	3,7	6
3	Most u Rastokama	Vrgorac	LC 67207	Ne	Rječica Matica	19.st.	betonski	18	4,6	4
4	Most Brvina	Runović	LC 67170	Z-7066	Rijeka Vrljika	1850.-1890.	kameni	16,65	4,95	4
5	Most na Bublinu	Zmijavci	LC 67162	Z-7065	Rijeka Vrljika	krajem 19. st.	kameni	23,4	4,85	6
6	Zmijavački most	Zmijavci	LC 67170	Z-7040	Rijeka Vrljika	1800.-1830.	kameni	23,55	5,5	6
7	Most na Suvaji/Karalipeov most	Donji Proložac	ŽC 6157	Z-4462	Bujični tok Suvaja	18. st.-kraj 19. st.	kameni	26	6,2	4
8	Most Šumet	Šumet	ŽC 6181	Z-7039	Kanal Jaruga	1700.-1800.	kameni	17,4	5,15	3
9	Most Jasenovac na Jarugi/Siji	Jasenovsko	LC 67147	Ne	Kanal Jaruga	19.st.	kameni	19,5	4,2	3
10	Most na Jarugi/Siji kod Mračaja	Grubine	LC 67147	Ne	Kanal Jaruga	19.st.	kameni	11,1	6,2	2
11	Most kod kamenoloma "Lavčević	Žrnovnica	ŽC 6142	Ne	Rijeka Žrnovnica	19.st.	kameni	21	5,08	3
12	Žrnovački most	Žrnovnica	LC 67116	Ne	Rijeka Žrnovnica	prva polovica 19.st.	kameni	23,02	6,5	4
13	Most preko rijeke Jadro	Solin	LC 67065	Ne	Rijeka Jadro	druga polovica	kameni	40	6,9	5

4. Validacija modela sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

						19.st.				
14	Most na ulazu u tvornicu "Majdan"	Solin	LC 67075	Ne	Rijeka Jadro	19.st.	kameno-betonski	30	9,8	3
15	Rera/Vetmin most	Klis	LC 67074	Ne	Bujični tok	1902.	kameni	76,81	4,8	6
16	Most na Grabu	Grab	LC 67047	Z-4879	Rijeka Grab	19.st.	kameno-betonski	79	5,1	5
17	Most na Kosincu	Gala	ŽC 6802	Z-4878	Rijeka Kosinac	1900.	kameno-betonski	92,3	5	7
18	Most Blato na Cetini	Blato na Cetini	ŽC 6260	Ne	Rijeka Cetina	prva polovina 19.st.	kameno-betonski	21,1	4,5	5
19	Pavića most	Podgrađe	ŽC 6169	Z-5685	Rijeka Cetina	19.st.	kameno-betonski	50	10	12
20	Most na Panju	Rumin	ŽC 6105	Z-5029	Rijeka Cetina	1895.-1905.	kameni	120	4,25	7
21	Balečki most	Vinalić	ŽC 6082	Z-5028	Rijeka Cetina	druga polovica 19.st.	zidani kameni	45	5,5	3





*Fotografija 4.1.* Povijesni cestovni mostovi na području SDŽ-a; odozgo prema dolje, po redovima: Jovića most (Vinjani Gornji), Most preko rječice Matice (Kokorići), Most u Rastokama (Vrgorac), Most Brvina (Runović), Most na Bublinu (Zmijavci), Zmijavački most (Zmijavci)





*Fotografija 4.2.* Povijesni cestovni mostovi na području SDŽ-a; odozgo prema dolje, po redovima: Most na Suvaji/Karalipeov most (Donji Proložac), Most Šumet (Šumet), Most Jasenovac na Jarugi/Siji (Jasenovsko), Most na Jarugi/Siji kod Mračaja u Imotskom polju (Grubine), Most kod kamenoloma "Lavčević (Žrnovnica), Žrnovački most (Žrnovnica)





*Fotografija 4.3.* Povijesni cestovni mostovi na području SDŽ-a; odozgo prema dolje, po redovima: Most preko rijeke Jadro (Solin), Most na ulazu u tvornicu "Majdan" (Solin), Rera/Vetmin most (Klis), Most na Grabu (Grab), Most na Kosincu (Gala), Most Blato na Cetini (Blato na Cetini)





*Fotografija 4.4.* Povijesni cestovni mostovi na području SDŽ-a; odozgo prema dolje, po redovima: Pavića most (Podgrađe) (Radnić i Smilović, 2008), Most na Panju (Rumin), Balečki most (Vinalić)

U nastavku će biti opisane validacije svih modela iz baze modela. Započet će se s validacijom modela procjene stanja povijesnog cestovnog mosta čiji rezultat predstavlja ulazni podatak za višekriterijalnu analizu odnosno predstavlja jedan od kriterija definiranih na strateškoj razini za rangiranje mostova prema prioritetu za obnovu. Nadalje će se definirati potrebna ograničenja za izbor upraviteljskog pristupa prilikom planiranja obnove navedenih mostova. Zadnja validacija odnosit će se na model izbora metode obnove u kojem su predložene četiri metode, opisane u potpoglavlju 2.2.3..

#### **4.2. Validacija modela procjene stanja povijesnih cestovnih mostova**

Za rangiranje povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za aktivnost obnove nužno je odrediti stanje mostova u trenutku njihova pregleda čime se ispituje mehanička stabilnost i otpornost, ali i sigurnost kako za vozila tako i za pješake. Stanje mosta može se procijeniti vizualnom inspekcijom ili ispitivanjima koja mogu biti razarajuća ili nerazarajuća. Za potrebe ove disertacije, odnosno za procjenjivanje stanja povijesnih cestovnih mostova koristila se

isključivo vizualna ekspertna procjena. Validacija je napravljena na povijesnim cestovnim mostovima na području Splitsko-dalmatinske županije. Najprije je trebalo definirati obuhvat ispitivanja pa je tako procjena krenula od elemenata na temelju kojih se dobila ocjena komponenti mosta, a nakon toga ukupna ocjena mosta što je ujedno i rezultat modela procjene stanja povijesnih cestovnih mostova, prikazan u obliku indeksa procjene stanja povijesnog cestovnog mosta (IPSPCM). Svaki most sadrži tri komponente: gornji ustroj, donji ustroj i oprema. Koliko svaka komponenta ima elemenata ovisi o mostu. Međutim, kako je riječ o povijesnim mostovima i to kamenim u većini slučajeva, za njih je karakteristična lučna gradnja, pa su tako za gornji ustroj promatrani elementi: lukovi i čeonu zidovi, za donji ustroj: stupovi i upornjaci, a za opremu: zastor, ograda, odvodnja i rasvjeta. U tablici 4.2. dan je ukupan broj elemenata svake komponente pojedinog mosta. Čeonu zidovi su za sve mostove lučne konstrukcije u istom broju jer su se promatrali kao skupina. Elementi opreme koji nedostaju nisu ocjenjivani, ali se zato njihov nedostatak uzeo u obzir kroz kriterij K2 (Nedostatak elemenata opreme) za potrebe prioritarnog rangiranja mostova za aktivnost obnove.

Ekspert za mostove dao je ocjene elementima na temelju vizualnog pregleda. Potom su strukturalne važnosti dodijeljene od strane pet eksperata iz područja konstrukcija na temelju ocjena elemenata. Iako su u pitanju vrlo iskusni eksperti s bogatim znanjem i stručnošću, njihova mišljenja (ocjene i strukturalne važnosti) mogu biti ponekad i subjektivnog karaktera pa samim tim dati nesigurne i neprecizne procjene. Stoga se kao rješenje takvom problemu nameće neizrazita (fuzzy) logika o kojoj je više rečeno u prijašnjim potpoglavljima. Početak svake neizrazite logike kreće s definiranjem neizrazitih setova. Tako su se eksperti složili da se za ocjenu elementa uzmu vrijednosti od 0 do 100 te se njihova neizrazitost raspodjeli u 11 setova, radi postizanja što preciznije ocjene komponente, a na kraju i mosta, dodjeljujući svakom setu funkciju pripadnosti. Isto je napravljeno i za strukturalne važnosti koje su podijeljene u 5 setova, od 0 do 1. Svaki definirani neizraziti set osim numeričke ima i lingvističku vrijednost. Ocjene elementima su se dodjeljivale izrazitom (engl. *crisp*) vrijednošću da bi se na temelju te vrijednosti izdvojili neizraziti setovi kojima ta ocjena pripada. Svakom izdvojenom neizrazitom setu dodijeljena je neizrazita strukturalna važnost. Pet eksperata je dodjeljivalo važnost pomoću definiranih neizrazitih setova strukturalne važnosti. Prosječna vrijednost dodijeljenih neizrazitih vrijednosti strukturalnih važnosti koristi se za daljnji proračun. U tablicama 4.3. i 4.4. prikazani su setovi s lingvističkim vrijednostima ocjena odnosno strukturalnih važnosti, a slike 4.6. i 4.7. prikazuju dodijeljene funkcije pripadnosti za neizrazite setove ocjena odnosno strukturalnih važnosti. Eksperti su se odlučili za triangularnu funkciju pripadnosti kojom bi se opisali setovi za ocjenu i važnost elemenata.

Tablica 4.2. Povijesni cestovni mostovi s ukupnim brojem elemenata po komponentama

Oznaka	Naziv mosta	Komponenta				
		Gornji ustroj		Donji ustroj		Oprema
		Lukovi	Čeoni zidovi	Stupovi	Upornjaci	
A1	Jovića most	4	2	3	2	3
A2	Most preko rječice Matice	6	2	5	2	2
A3	Most u Rastokama	4	2	3	2	3
A4	Most Brvina na rijeci Vrljici	4	2	3	2	3
A5	Most na Bublinu na rijeci Vrljici	6	2	5	2	3
A6	Zmijavački most na rijeci Vrljici	6	2	5	2	3
A7	Most na Suvaji/Karalipeov most	4	2	3	2	3
A8	Most Šumet nad kanalom Jaruga	3	2	2	2	3
A9	Most Jasenovac na Jarugi/Siji	3	2	2	2	3
A10	Most na Jarugi/Siji kod Mračaja u Imotskom polju.	2	2	1	2	3
A11	Most kod kamenoloma "Lavčević	3	2	2	2	4
A12	Žrnovački most	4	2	3	2	4
A13	Most preko rijeke Jadro	5	2	4	2	4
A14	Most na ulazu u tvornicu "Majdan"	3	2	2	2	3
A15	Rera/Vetmin most	6	2	5	2	3
A16	Most na Grabu	5	2	4	2	4
A17	Most na Kosincu	12	2	11	2	3
A18	Most Blato na Cetini	0	0	4	2	4
A19	Pavića most	7	2	6	2	4
A20	Most na Panju	8	2	6	2	4
A21	Balečki most	3	2	2	2	4

Most Blato na Cetini nema lukova i čeonih zidova već mu je gornja nosiva konstrukcija sastavljena od uzdužnih i poprečnih nosača te ploče. Slično je i kod Mosta u Grabu koji osim lukova i čeonih zidova sadrži i ploču, a most kod ulaza u tvornicu "Majdan", poprečne nosače i ploču. Navedeni elementi su procijenjeni i uvršteni u daljnji proračun.

Tablica 4.3. Neizraziti setovi ocjena elemenata s lingvističkim vrijednostima i opisom

Neizraziti set	Lingvistička vrijednost	Opis
(0, 0, 10)	Ekstremno loše	Most je u izuzetno lošem stanju. Dijelovi elementa su odronjeni ili otpali, nadziru se pukotine maksimalne širine duž cijelog elementa, obilna vegetacija i procjeđivanje.
(0, 10, 20)	Vrlo loše	Na elementima mosta mogu se uočiti pukotine maksimalne širine, dijelovi elemenata (blokovi) su oštećeni ili dijelom otpali. Gusta vegetacija i procjeđivanje.
(10, 20, 30)	Prilično loše	Elementi mosta sadrže pukotine maksimalne do srednje širine, kao i dijelovi elemenata (blokovi). Vegetacija i procjeđivanje su u popriličnom intezitetu.
(20, 30, 40)	Loše	Most je u lošem stanju, nadzire se više pukotina srednje širine duž elemenata, vegetacija i procjeđivanje su vrlo dobro uočljivi.
(30, 40, 50)	Srednje loše	Na elementu se nadzire više pukotina srednje do minimalne širine, vegetacija i procjeđivanje u srednjem intezitetu.
(40, 50, 60)	Blago loše	Dijelovi elemenata (blokovi) sadrže više pukotina srednje do minimalne širine. Nadzire se blaga vegetacija i procjeđivanje.
(50, 60, 70)	Srednje dobro	Blokovi elemenata sadrže više pukotina minimalne širine. Neznatna vegetacija i procjeđivanje je prisutno.
(60, 70, 80)	Dobro	Blokovi elemenata sadrže nekoliko mikropukotina, vegetacija i procjeđivanje je u malom intezitetu.
(70, 80, 90)	Prilično dobro	Most je u prilično dobrom stanju, pukotina skoro pa i nema, vegetacija i procjeđivanje je u vrlo malom intezitetu.
(80, 90, 100)	Vrlo dobro	Na mostu se ne uočavaju pukotine, vegetacije i procjeđivanja skoro pa i nema, boja materijala malo tamnija.
(90, 100, 100)	Odlično	Most je u izvrsnom stanju. Nema nikakvih oštećenja, svi elementi su u izvrsnom stanju, nema raslinja i procjeđivanja. Boja materijala je u odličnom stanju.

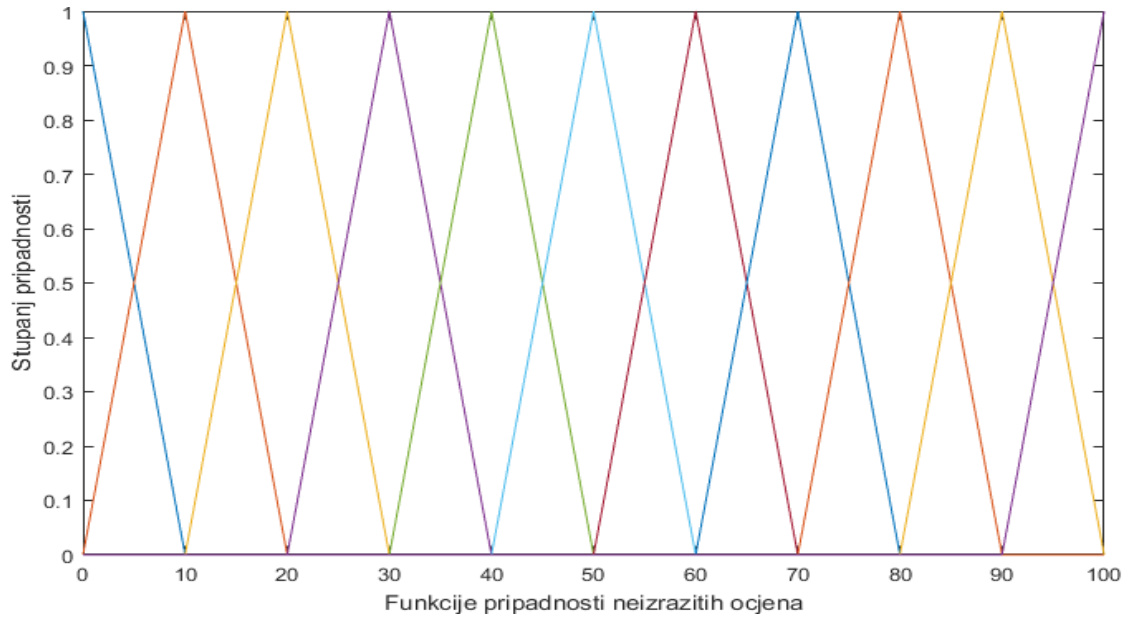
Tablica 4.4. Neizraziti setovi strukturalnih važnosti elemenata s lingvističkim vrijednostima

Neizraziti set	Lingvistička vrijednost
(0, 0, 0,25)	Ekstremno loše
(0, 0,25, 0,5)	Vrlo loše
(0,25, 0,5, 0,75)	Loše
(0,5, 0,75, 1)	Srednje dobro
(0,75, 1, 1)	Dobro

Kako je već rečeno, s obzirom na to da su definirani triangularni neizraziti setovi, svakom setu dodijeljena je triangularna funkcija pripadnosti za ocjene i za strukturalne važnosti. Na slikama 4.2. i 4.3. prikazane su navedene funkcije pripadnosti, gdje se na osi apscisa nalaze funkcije pripadnosti za neizrazite setove ocjena odnosno strukturalnih važnosti, a na osi ordinata je stupanj pripadnosti tj. kolika je pripadnost dodijeljene ocjene ili važnosti pojedinom setu. Cijeli proračun dobivanja ocjene komponente napravljen je uz pomoć software-a *Matlab*, pa su nadalje dani rezultati navedenog proračuna zajedno s pripadajućim kodom. Kako je postupak dobivanja ocjene pojedine komponente, pa na kraju i mosta, opsežan, detaljan proračun svih mostova nije dan već su samo dane konačne (izrazite) ocjene mostova. Cijeli proračun prikazan je na mostu na Jarugi/Siji kod Mračaja u Imotskom polju, označen oznakom A10. Nadalje, dan je kod za dobivanje slike 4.2. i 4.3. na kojima su prikazani neizraziti setovi s funkcijama pripadnosti za ocjene strukturalne važnosti elemenata. Ovaj dio koda vrijedi za sve komponente i mostove.

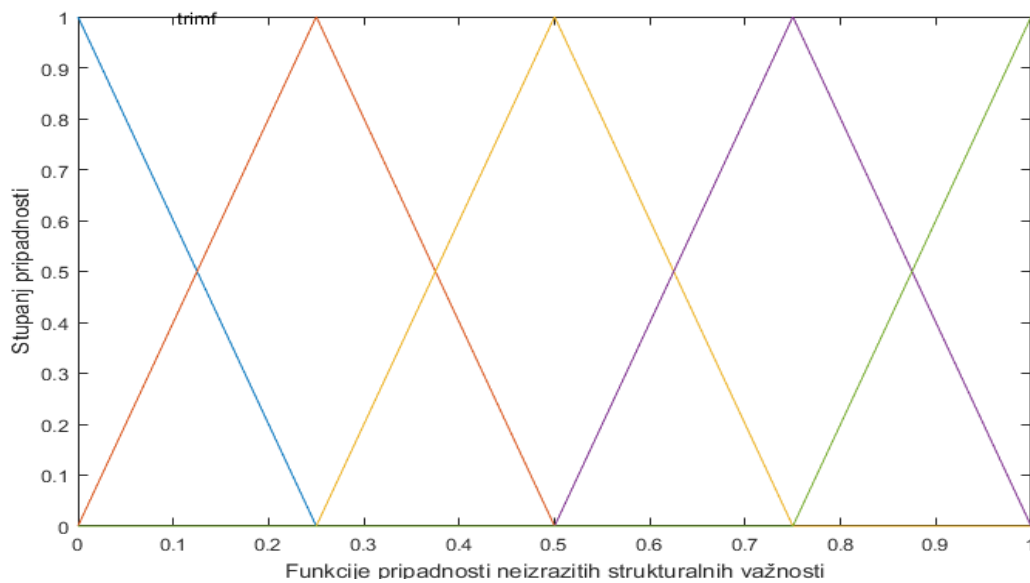
```
mf_type = {'trimf'};
param=[0 0 10;
       0 10 20;
       10 20 30;
       20 30 40;
       30 40 50;
       40 50 60;
       50 60 70;
       60 70 80;
       70 80 90;
       80 90 100;
       90 100 100];
x1=0;
x2=100;
n=11;
x=linspace(x1,x2,n);
mf=evalmf(x, param, char(mf_type));
plot(x,mf(1:11,:));
text((param(1,2)+param(1,3))/2,100,mf_type{1},'horizon','center');
xlabel('Funkcije pripadnosti neizrazitih ocjena');
ylabel('Stupanj pripadnosti');
```





Slika 4.2. Funkcije pripadnosti neizrazitih setova za ocjene elemenata

```
mf_type = {'trimf'};
param=[0 0 0.25;
       0 0.25 0.5;
       0.25 0.5 0.75;
       0.5 0.75 1;
       0.75 1 1];
x1=0;
x2=1;
n=5;
x=linspace(x1,x2,n);
mf=evalmmf(x, param, char(mf_type));
plot(x,mf(1:5,:));
text((param(1,2)+param(1,3))/2,1,mf_type{1},'horizon','center');
xlabel('Funkcije pripadnosti neizrazitih strukturalnih važnosti');
ylabel('Stupanj pripadnosti');
```



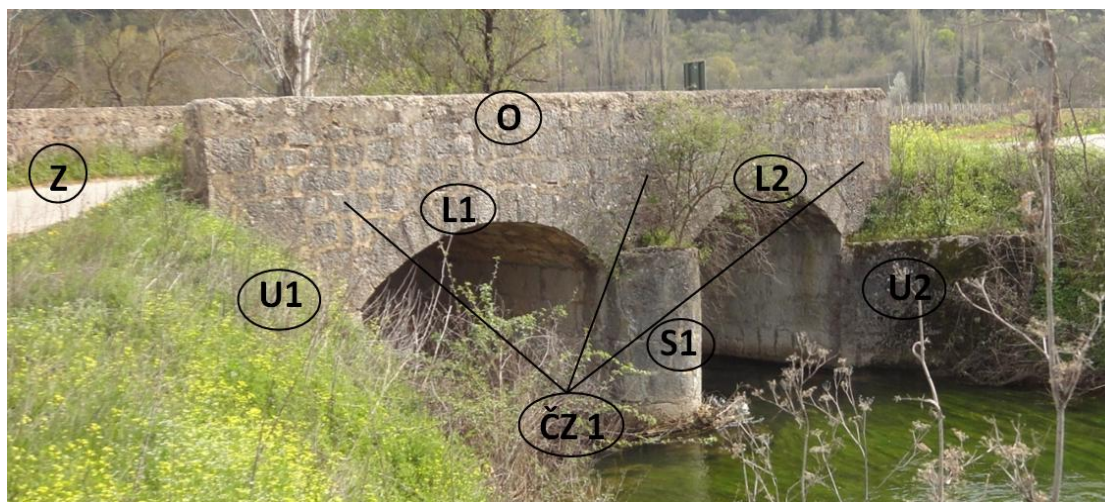
Slika 4.3. Funkcije pripadnosti neizrazitih setova za strukturalne važnosti elemenata

Na skupini fotografija 4.5. prikazan je most na Jarugi/Siji kod Mračaja u Imotskom polju na kojoj se mogu uočiti oštećenja mosta kao što su gusta vegetacija i procjeđivanje, pukotine po elementima mosta, odronjavanje i otpadanje dijelova elemenata, a na slici 4.4. označeni su elementi mosta za procjenu, s tim da skupina čeonih zidova 2 nije uočljiva jer se nalazi s druge strane mosta.



*Fotografija 4.5.* Most na Jarugi/Siji kod Mračaja u Imotskom polju (slike odzgo redom: prikaz mosta s istočne strane, prikaz mosta sa zapadne strane, krilo upornjaka, stup, pristupna cesta, ograda)





Slika 4.4. Oznake elemenata mosta za procjenu (L1-luk 1; L2-luk2; S1-stup1; U1-upornjak1; U2-uporanjak 2; ČŽ 1- skupina čeonih zidova 1; Z- zastor; O- ograda)

U nastavku su dane ocjene elemenata za komponente mosta te njihove strukturalne važnosti. Najprije se krenulo s komponentom gornji ustroj, koja sadrži 4 elementa: luk 1, luk 2, čeon zidovi 1 i čeon zidovi 2. U tablici 4.5. dane su izrazite vrijednosti ocjene elemenata gornjeg ustroja te su izdvojeni neizraziti setovi kojima te vrijednosti pripadaju. Neizraziti setovi predstavljaju neizrazite ocjene elemenata i svaki set dobiva svoju neizrazitu strukturalnu važnost iskazanu kao prosječna vrijednost svih neizrazitih strukturalnih važnosti danih od strane eksperata. Također svaki neizraziti set vrijednosti ocjene elemenata jest opis stanja elemenata u trenutku ekspertne vizualne procjene. Prema zadanim izrazitim vrijednostima ocjena, može se uočiti kako se za svaki elementi izdvajaju dva ili tri stanja, što se može uočiti u tablici 4.5. ali i u ocjenjivanjima elemenata ostalih komponenti.

Tablica 4.5. Izrazite i neizrazite vrijednosti elemenata komponente gornji ustroj

Element	Izrazita vrijednost ocjene	Neizrazita vrijednost ocjene	Neizrazite strukturalne važnosti po ekspertima (prosječna vrijednost)
Luk1	75	60, 70, 80	0,30; 0,55; 0,80
		70, 80, 90	0,15; 0,40; 0,65
Luk2	70	50, 60, 70	0,60; 0,85; 1,00
		60, 70, 80	0,30; 0,55; 0,80
Čeon zidovi 1	75	70, 80, 90	0,15; 0,40; 0,65
		60, 70, 80	0,30; 0,55; 1,00
Čeon zidovi 2	75	70, 80, 90	0,15; 0,40; 0,65
		60, 70, 80	0,30; 0,55; 0,10
		70, 80, 90	0,15; 0,40; 0,65

Nakon što su se zadale ocjene elementima gornjeg ustroja i izdvojile njihove neizrazite vrijednosti te odredile prosječne vrijednosti neizrazitih strukturalnih važnosti elemenata, pristupa se definiraju ukupnog broja kombinacija elemenata u svim mogućim stanjima za izračun konačne ocjene komponente. Svaka komponenta ima različit broj kombinacija, stoga je dolje raspisan kod isključivo primjenjiv za kombinacije elemenata gornjeg ustroja. Kako će kod izgledati ovisi o broju elemenata i njihovim stanjima koja su izdvojena na temelju ocjene. Ulazni podaci a1, a2, b1, b2, b3, c1, c2, d1 i d2 predstavljaju stanja elemenata, pa je tako podatak a1 i a2 stanje za element luk1, b1, b2 i b3 stanje za element luk2, c1 i c2 za čeone zidove 1, a d1 i d2 za čeone zidove 2. Navedeni podaci sadržavaju neizraziti set ocjene elementa i njemu pripadajuću prosječnu vrijednost neizrazite strukturalne važnosti. Svako stanje sadrži šest brojeva, prva tri predstavljaju donju, srednju i gornju vrijednost neizrazitog seta ocjene, a druga tri broja, donju, srednju i gornju vrijednost neizrazitog seta strukturalne važnosti. U srednjem neizrazitom broju stupanj pripadnosti odgovarajućeg seta doseže vrijednost 1. Elementi gornjeg ustroja prikazani su u matričnom obliku A, B, C i D. Funkcija *allcombs* omogućava međusobno kombiniranje svih elemenata u različitim stanjima.

```
% neizrazite ocjene i neizrazite strukturalne važnosti
a1=[60 70 80,0.3 0.55 0.8];
a2=[70 80 90,0.15 0.4 0.65];
b1=[50 60 70,0.60 0.85 1];
b2=[60 70 80,0.30 0.55 0.8];
b3=[70 80 90,0.15 0.4 0.65];
c1=[60 70 80,0.3 0.55 1];
c2=[70 80 90,0.15 0.4 0.65];
d1=[60 70 80,0.3 0.55 0.1];
d2=[70 80 90,0.15 0.4 0.65];

% broj elemenata s neizrazitim vrijednostima
A = [a1;a2];
B = [b1;b2;b3];
C = [c1;c2];
D = [d1;d2];

% kombinacije
brOcjena = 4;
komb = allcombs({[0 1], [0 1 2], [0 1], [0 1]});
```

Ukupan broj kombinacija elemenata za gornji ustroj jest:  $N_k = 24 \times 4$ . Broj  $N_k$  iskazan je u matričnom obliku u kojem su ispisane sve moguće kombinacije četiriju elemenata u različitim stanjima (njih ukupno 24). Dolje je prikazan matrični oblik navedenih kombinacija.

$$N_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Vrijednosti 0, 1 i 2 predstavljaju stanja elemenata, na način da 0 vrijedi za prvo stanje odnosno a1, b1, c1 i d1, 1 vrijedi za drugo stanje, a2, b2, c2 i d2, a 2 vrijedi za stanje b3. U tablici 4.6. te su vrijednosti transformirane u neizrazite ocjene i neizrazite strukturalne važnosti elemenata, pa je tako primjerice, a1, b1, c1 i d1 ekvivalentno prvom retku matrice  $N_k$ , itd.

```
mxOcjena = [];
for c = 1:24
    mxOcjena(:, :, c) = [A(komb(c, 1) + 1, :); B(komb(c, 2) + 1, :);
                        C(komb(c, 3) + 1, :); D(komb(c, 4) + 1, :)];
end
```

Tablica 4.6. Kombinacije svih elemenata s neizrazitim ocjenama i neizrazitim strukturalnim važnostima

Broj kombinacije	Kombinacije elemenata	Neizrazita ocjena			Neizrazita strukturalna važnost		
1	a1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	0,8000
	b1	50,0000	60,0000	70,0000	0,6000	0,8500	1,0000
	c1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	1,0000
	d1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	0,1000
2	a1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	0,8000
	b1	50,0000	60,0000	70,0000	0,6000	0,8500	1,0000
	c1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	1,0000
	d2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500

4. Validacija modela sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

3	a1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	b1	50,000	60,000	70,000	0,6000	0,8500	1,0000
	c2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	d1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,1000
4	a1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	b1	50,000	60,000	70,000	0,6000	0,8500	1,0000
	c2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	d2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
5	a1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	b2	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	c1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	1,0000
	d1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,1000
6	a1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	b2	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	c1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	1,0000
	d2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
7	a1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	b2	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	c2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	d1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,1000
8	a1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	b2	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	c2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	d2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
9	a1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	b3	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	c1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	1,0000
	d1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,1000
10	a1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	b3	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	c1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	1,0000
	d2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
11	a1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	b3	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	c2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	d1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,1000
12	a1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,8000
	b3	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	c2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	d2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
13	a2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	b1	50,000	60,000	70,000	0,6000	0,8500	1,0000
	c1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	1,0000
	d1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	0,1000
14	a2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	b1	50,000	60,000	70,000	0,6000	0,8500	1,0000
	c1	60,000	70,000	80,000	0,3000	0,5500	1,0000
	d2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
15	a2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500
	b1	50,000	60,000	70,000	0,6000	0,8500	1,0000
	c2	70,000	80,000	90,000	0,1500	0,4000	0,6500

	d1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	0,1000
16	a2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	b1	50,0000	60,0000	70,0000	0,6000	0,8500	1,0000
	c2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	d2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
17	a2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	b2	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	0,8000
	c1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	1,0000
	d1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	0,1000
18	a2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	b2	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	0,8000
	c1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	1,0000
	d2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
19	a2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	b2	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	0,8000
	c2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	d1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	0,1000
20	a2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	b2	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	0,8000
	c2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	d2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
21	a2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	b3	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	c1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	1,0000
	d1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	0,1000
22	a2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	b3	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	c1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	1,0000
	d2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
23	a2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	b3	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	c2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	d1	60,0000	70,0000	80,0000	0,3000	0,5500	0,1000
24	a2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	b3	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	c2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500
	d2	70,0000	80,0000	90,0000	0,1500	0,4000	0,6500

Dobivenim kombinacijama određuju se, pomoću  $\alpha$ -presjeka, donja i gornja granica funkcije pripadnosti. Setovi  $\alpha$ -presjeka kreću se od 0 do 1 u razmacima od 0,1. U tablici 4.7. dani su setovi  $\alpha$ -presjeka neizrazitih vrijednosti ocjena elemenata po svim kombinacijama. Iz priloženog se mogu uočiti 22 vrijednosti od kojih su 11 za uzlazni dio pripadnosti neizrazitog seta odnosno za vrijednosti  $\alpha$ -presjeka od 0 do 1, a drugih 11 za silazni dio pripadnosti neizrazitog seta, za  $\alpha$ -presjeke od 1 do 0. Vrijednosti 11 i 12 su iste za svaki set jer u tim vrijednostima set poprima stupanj pripadnosti 1. Navedenih 22 vrijednosti formiraju funkcije pripadnosti svih neizrazitih

ocjena elemenata svake kombinacije. Dolje je dan kod za dobivanje navedenih setova  $\alpha$ -presjeka za ocjene.

```
mxTockeKombKomponentiOcjene = [];
for i = 1:24
    for j = 1:4
        mxTockeKombKomponentiOcjene (j,:,i) = [linspace(mxOcjena (j, 1,
            i), mxOcjena (j, 2, i), 11),
        linspace(mxOcjena (j, 2, i),
            mxOcjena (j, 3, i), 11)];
    end
end
```

Isti postupak za dobivanje setova  $\alpha$ -presjeka primijenjen je i za neizrazite strukturalne važnosti. Tako je u tablici 4.8. dan prikaz svih setova  $\alpha$ -presjeka za važnosti elemenata gornjeg ustroja, a ovdje je dan pripadajući kod.

```
mxTockeKombKomponentiTezina = [];
for i = 1:24
    for j = 1:4
        mxTockeKombKomponentiTezina (j,:,i) = [linspace(mxOcjena (j, 4,
            i), mxOcjena (j, 5, i), 11), linspace(mxOcjena (j, 5, i),
            mxOcjena (j, 6, i), 11)];
    end
end
```

Nakon izračunatih setova  $\alpha$ -presjeka neizrazitih ocjena i neizrazitih strukturalnih važnosti, pristupa se određivanju ocjene komponente uz pomoć pristupa FWGM-a, u kojem se traži eksponencijalna vrijednost ocjene komponente. Kako je ocjena komponente neizrazita vrijednost potrebno je i za nju odrediti setove  $\alpha$ -presjeka koji se dobivaju iz prethodno izračunatih setova ocjena i važnosti elemenata. Kod za navedeni postupak dan je dolje, a u tablici 4.9. prikazane su vrijednosti setova  $\alpha$ -presjeka za neizrazite ocjene komponente za 24 kombinacije.

```
X = [];
Y = [];
for i = 1:24
    for j = 1:22
        norm = (mxTockeKombKomponentiTezina(1,j,i) +
mxTockeKombKomponentiTezina(2,j,i) + mxTockeKombKomponentiTezina(3,j,i) +
mxTockeKombKomponentiTezina(4,j,i));

        X (i,j) =
((mxTockeKombKomponentiTezina(1,j,i)/norm)*log(mxTockeKombKomponentiOcjene(1,
j,i)))+(mxTockeKombKomponentiTezina(2,j,i)/norm)*log(mxTockeKombKomponentiOc
jene(2,j,i)))+(mxTockeKombKomponentiTezina(3,j,i)/norm)*log(mxTockeKombKompo
nentiOcjene(3,j,i)))+(mxTockeKombKomponentiTezina(4,j,i)/norm)*log(mxTockeKo
mbKomponentiOcjene(4,j,i));
    end
end
```



$Y = \exp(X) ;$

Vrijednost Y predstavlja rješenje dobiveno pristupom FWGM-a, a ujedno je to i ocjena svake kombinacije.

Tablica 4.7. Setovi  $\alpha$ -presjeka neizrazitih vrijednosti ocjena elemenata po svim kombinacijama

Br.komb.	Komb. el.	Granica seta																					
		$(R_{EL})_{\alpha}^D$										$(R_{EL})_{\alpha}^G$											
		$\alpha$ -presjeci										$\alpha$ -presjeci											
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
1	a1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	b1	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	c1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	d1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
2	a1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	b1	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	c1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	d2	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
3	a1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	b1	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	c2	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	d1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
4	a1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	b1	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	c2	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	d2	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
5	a1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	b2	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	c1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	d1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
6	a1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	b2	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	c1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	d2	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
7	a1	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	b2	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	c2	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90

4. Validacija modela sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

	d1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
8	a1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	b2	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	c2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	d2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
9	a1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	b3	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	c1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	d1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
10	a1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	b3	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	c1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	d2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
11	a1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	b3	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	c2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	d1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
12	a1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	b3	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	c2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	d2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
13	a2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	b1	50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70
	c1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	d1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
14	a2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	b1	50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70
	c1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	d2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
15	a2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	b1	50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70
	c2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	d1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

4. Validacija modela sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

16	a2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	b1	50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70
	c2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	d2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
17	a2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	b2	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	c1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	d1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
18	a2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	b2	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	c1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	d2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
19	a2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	b2	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	c2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	d1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
20	a2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	b2	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	c2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	d2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
21	a2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	b3	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	c1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	d1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
22	a2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	b3	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	c1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	d2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
23	a2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	b3	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	c2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90
	d1	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
24	a2	70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90

b3	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
c2	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
d2	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90

Tablica 4.8. Setovi  $\alpha$ -presjeka neizrazitih vrijednosti strukturalnih važnosti elemenata po svim kombinacijama

Br.komb.	Komb.el.	Granica seta	$\alpha$ -presjeci										
		$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
		$(w_{EL})_{\alpha}^G$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
1	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	b1		0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000	0,8250	0,8500
	c1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	d1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	b1		0,8500	0,8650	0,8800	0,8950	0,9100	0,9250	0,9400	0,9550	0,9700	0,9850	1,0000
	c1		0,5500	0,5950	0,6400	0,6850	0,7300	0,7750	0,8200	0,8650	0,9100	0,9550	1,0000
	d1		0,5500	0,5050	0,4600	0,4150	0,3700	0,3250	0,2800	0,2350	0,1900	0,1450	0,1000
2	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	b1		0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000	0,8250	0,8500
	c1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	d2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	b1		0,8500	0,8650	0,8800	0,8950	0,9100	0,9250	0,9400	0,9550	0,9700	0,9850	1,0000
	c1		0,5500	0,5950	0,6400	0,6850	0,7300	0,7750	0,8200	0,8650	0,9100	0,9550	1,0000
	d2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
3	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	b1		0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000	0,8250	0,8500
	c2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	d1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	b1		0,8500	0,8650	0,8800	0,8950	0,9100	0,9250	0,9400	0,9550	0,9700	0,9850	1,0000

4. Validacija modela sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

	c2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	d1		0,5500	0,5050	0,4600	0,4150	0,3700	0,3250	0,2800	0,2350	0,1900	0,1450	0,1000
4	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	b1		0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000	0,8250	0,8500
	c2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	d2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	b1		0,8500	0,8650	0,8800	0,8950	0,9100	0,9250	0,9400	0,9550	0,9700	0,9850	1,0000
	c2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	d2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
5	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	b2		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	c1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	d1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	b2		0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	c1		0,5500	0,5950	0,6400	0,6850	0,7300	0,7750	0,8200	0,8650	0,9100	0,9550	1,0000
	d1		0,5500	0,5050	0,4600	0,4150	0,3700	0,3250	0,2800	0,2350	0,1900	0,1450	0,1000
6	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	b2		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	c1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	d2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	b2		0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	c1		0,5500	0,5950	0,6400	0,6850	0,7300	0,7750	0,8200	0,8650	0,9100	0,9550	1,0000
	d2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
7	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	b2		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	c2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	d1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	b2		0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	c2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500

4. Validacija modela sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

	d1		0,5500	0,5050	0,4600	0,4150	0,3700	0,3250	0,2800	0,2350	0,1900	0,1450	0,1000
8	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	b2		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	c2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	d2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	b2		0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	c2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	d2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
9	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	b3		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	c1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	d1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	b3		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	c1		0,5500	0,5950	0,6400	0,6850	0,7300	0,7750	0,8200	0,8650	0,9100	0,9550	1,0000
	d1		0,5500	0,5050	0,4600	0,4150	0,3700	0,3250	0,2800	0,2350	0,1900	0,1450	0,1000
10	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	b3		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	c1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	d2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	b3		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	c1		0,5500	0,5950	0,6400	0,6850	0,7300	0,7750	0,8200	0,8650	0,9100	0,9550	1,0000
	d2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
11	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	b3		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	c2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	d1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	b3		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	c2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	d1		0,5500	0,5050	0,4600	0,4150	0,3700	0,3250	0,2800	0,2350	0,1900	0,1450	0,1000

4. Validacija modela sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

12	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	b3		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	c2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	d2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	a1	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	b3		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	c2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	d2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
13	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	b1		0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000	0,8250	0,8500
	c1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	d1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	b1		0,8500	0,8650	0,8800	0,8950	0,9100	0,9250	0,9400	0,9550	0,9700	0,9850	1,0000
	c1		0,5500	0,5950	0,6400	0,6850	0,7300	0,7750	0,8200	0,8650	0,9100	0,9550	1,0000
	d1		0,5500	0,5050	0,4600	0,4150	0,3700	0,3250	0,2800	0,2350	0,1900	0,1450	0,1000
14	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	b1		0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000	0,8250	0,8500
	c1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	d2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	b1		0,8500	0,8650	0,8800	0,8950	0,9100	0,9250	0,9400	0,9550	0,9700	0,9850	1,0000
	c1		0,5500	0,5950	0,6400	0,6850	0,7300	0,7750	0,8200	0,8650	0,9100	0,9550	1,0000
	d2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
15	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	b1		0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000	0,8250	0,8500
	c2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	d1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	b1		0,8500	0,8650	0,8800	0,8950	0,9100	0,9250	0,9400	0,9550	0,9700	0,9850	1,0000
	c2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	d1		0,5500	0,5050	0,4600	0,4150	0,3700	0,3250	0,2800	0,2350	0,1900	0,1450	0,1000
16	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000



4. Validacija modela sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

	b1		0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000	0,8250	0,8500
	c2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	d2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	b1		0,8500	0,8650	0,8800	0,8950	0,9100	0,9250	0,9400	0,9550	0,9700	0,9850	1,0000
	c2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
d2	0,4000		0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	
17	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	b2		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	c1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	d1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	b2		0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	c1		0,5500	0,5950	0,6400	0,6850	0,7300	0,7750	0,8200	0,8650	0,9100	0,9550	1,0000
	d1		0,5500	0,5050	0,4600	0,4150	0,3700	0,3250	0,2800	0,2350	0,1900	0,1450	0,1000
18	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	b2		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	c1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	d2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	b2		0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	c1		0,5500	0,5950	0,6400	0,6850	0,7300	0,7750	0,8200	0,8650	0,9100	0,9550	1,0000
	d2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
19	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	b2		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	c2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	d1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	b2		0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	c2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	d1		0,5500	0,5050	0,4600	0,4150	0,3700	0,3250	0,2800	0,2350	0,1900	0,1450	0,1000
20	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	b2		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500

4. Validacija modela sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

	c2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	d2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	b2		0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7250	0,7500	0,7750	0,8000
	c2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
d2	0,4000		0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500	
21	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	b3		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	c1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	d1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	b3		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	c1		0,5500	0,5950	0,6400	0,6850	0,7300	0,7750	0,8200	0,8650	0,9100	0,9550	1,0000
	d1		0,5500	0,5050	0,4600	0,4150	0,3700	0,3250	0,2800	0,2350	0,1900	0,1450	0,1000
22	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	b3		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	c1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	d2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	b3		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	c1		0,5500	0,5950	0,6400	0,6850	0,7300	0,7750	0,8200	0,8650	0,9100	0,9550	1,0000
	d2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
23	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	b3		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	c2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	d1		0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500
	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	b3		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	c2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	d1		0,5500	0,5050	0,4600	0,4150	0,3700	0,3250	0,2800	0,2350	0,1900	0,1450	0,1000
24	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^D$	0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	b3		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	c2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000

	d2		0,1500	0,1750	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750	0,4000
	a2	$(w_{EL})_{\alpha}^G$	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	b3		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	c2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500
	d2		0,4000	0,4250	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250	0,5500	0,5750	0,6000	0,6250	0,6500

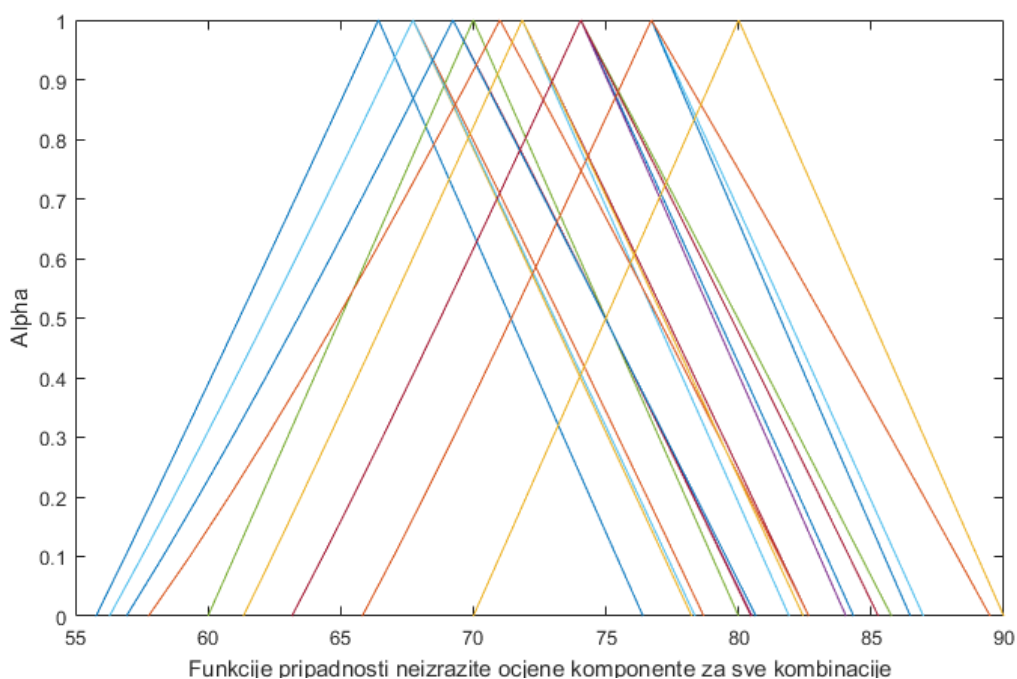
Tablica 4.9. Vrijednost ocjene komponente gornji ustroj za sve kombinacije

$\alpha$ -presjek	Broj kombinacije											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,0	55,78	56,29	56,29	56,92	60,00	61,34	61,34	63,16	61,34	63,16	63,16	65,81
0,1	56,88	57,51	57,51	58,30	61,00	62,43	62,43	64,33	62,43	64,33	64,33	67,00
0,2	57,97	58,71	58,71	59,63	62,00	63,50	63,50	65,46	63,50	65,46	65,46	68,14
0,3	59,05	59,89	59,89	60,92	63,00	64,57	64,57	66,58	64,57	66,58	66,58	69,26
0,4	60,12	61,05	61,05	62,17	64,00	65,62	65,62	67,68	65,62	67,68	67,68	70,36
0,5	61,18	62,19	62,19	63,40	65,00	66,67	66,67	68,76	66,67	68,76	68,76	71,44
0,6	62,24	63,32	63,32	64,60	66,00	67,71	67,71	69,83	67,71	69,83	69,83	72,51
0,7	63,29	64,43	64,43	65,78	67,00	68,75	68,75	70,90	68,75	70,90	70,90	73,57
0,8	64,34	65,54	65,54	66,95	68,00	69,79	69,79	71,95	69,79	71,95	71,95	74,62
0,9	65,38	66,64	66,64	68,10	69,00	70,82	70,82	73,00	70,82	73,00	73,00	75,67
1,0	66,43	67,73	67,73	69,23	70,00	71,85	71,85	74,05	71,85	74,05	74,05	76,71
1,0	66,43	67,73	67,73	69,23	70,00	71,85	71,85	74,05	71,85	74,05	74,05	76,71
0,9	67,42	68,86	68,78	70,40	71,00	72,86	72,94	75,09	72,92	75,05	75,24	77,75
0,8	68,42	69,98	69,83	71,56	72,00	73,86	74,02	76,13	73,99	76,05	76,43	78,78
0,7	69,42	71,09	70,88	72,71	73,00	74,87	75,11	77,16	75,05	77,05	77,61	79,81
0,6	70,41	72,20	71,94	73,85	74,00	75,88	76,19	78,19	76,11	78,05	78,79	80,84
0,5	71,41	73,30	72,99	74,97	75,00	76,88	77,27	79,22	77,17	79,05	79,97	81,87
0,4	72,41	74,39	74,04	76,09	76,00	77,89	78,35	80,25	78,23	80,05	81,13	82,89
0,3	73,41	75,47	75,09	77,21	77,00	78,89	79,43	81,27	79,29	81,05	82,30	83,91
0,2	74,40	76,55	76,14	78,31	78,00	79,90	80,50	82,30	80,34	82,05	83,46	84,93
0,1	75,40	77,62	77,18	79,41	79,00	80,90	81,58	83,32	81,39	83,05	84,61	85,95
0,0	76,40	78,69	78,23	80,51	80,00	81,91	82,65	84,34	82,44	84,05	85,77	86,97

4. Validacija modela sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova

$\alpha$ -presjek	Broj kombinacije											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0,0	56,29	56,92	56,92	57,76	61,34	63,16	63,16	65,81	63,16	65,81	65,81	70,00
0,1	57,51	58,30	58,30	59,32	62,43	64,33	64,33	67,00	64,33	67,00	67,00	71,00
0,2	58,71	59,63	59,63	60,79	63,50	65,46	65,46	68,14	65,46	68,14	68,14	72,00
0,3	59,89	60,92	60,92	62,20	64,57	66,58	66,58	69,26	66,58	69,26	69,26	73,00
0,4	61,05	62,17	62,17	63,56	65,62	67,68	67,68	70,36	67,68	70,36	70,36	74,00
0,5	62,19	63,40	63,40	64,87	66,67	68,76	68,76	71,44	68,76	71,44	71,44	75,00
0,6	63,32	64,60	64,60	66,15	67,71	69,83	69,83	72,51	69,83	72,51	72,51	76,00
0,7	64,43	65,78	65,78	67,40	68,75	70,90	70,90	73,57	70,90	73,57	73,57	77,00
0,8	65,54	66,95	66,95	68,62	69,79	71,95	71,95	74,62	71,95	74,62	74,62	78,00
0,9	66,64	68,10	68,10	69,82	70,82	73,00	73,00	75,67	73,00	75,67	75,67	79,00
1,0	67,73	69,23	69,23	71,00	71,85	74,05	74,05	76,71	74,05	76,71	76,71	80,00
1,0	67,73	69,23	69,23	71,00	71,85	74,05	74,05	76,71	74,05	76,71	76,71	80,00
0,9	68,80	70,41	70,39	72,23	72,92	75,05	75,24	77,75	75,20	77,67	78,03	81,00
0,8	69,87	71,57	71,53	73,43	73,99	76,05	76,43	78,78	76,34	78,64	79,33	82,00
0,7	70,94	72,72	72,68	74,63	75,05	77,05	77,61	79,81	77,47	79,61	80,63	83,00
0,6	72,00	73,85	73,83	75,80	76,11	78,05	78,79	80,84	78,60	80,59	81,92	84,00
0,5	73,06	74,97	74,97	76,97	77,17	79,05	79,97	81,87	79,73	81,56	83,20	85,00
0,4	74,13	76,09	76,11	78,12	78,23	80,05	81,13	82,89	80,85	82,54	84,47	86,00
0,3	75,19	77,20	77,25	79,27	79,29	81,05	82,30	83,91	81,96	83,52	85,74	87,00
0,2	76,25	78,30	78,39	80,40	80,34	82,05	83,46	84,93	83,07	84,51	86,99	88,00
0,1	77,30	79,39	79,52	81,53	81,39	83,05	84,61	85,95	84,17	85,49	88,24	89,00
0,0	78,36	80,48	80,66	82,65	82,44	84,05	85,77	86,97	85,27	86,48	89,48	90,00

Slika 4.5. prikazuje funkcije pripadnosti  $\alpha$ -presjeka svih neizrazitih ocjena komponenata za sve kombinacije. Na navedenoj slici je vidljiv raspon setova na osi apcisa od 55 do 90, što odgovara rasponu dobivenih vrijednosti, a na osi ordinati dane su vrijednosti  $\alpha$ .



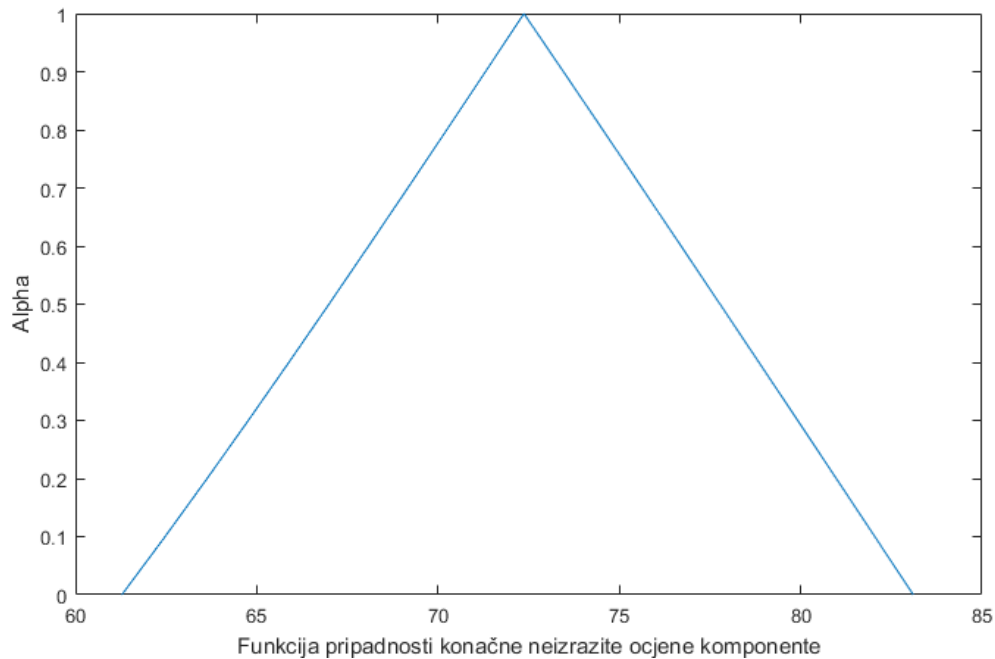
Slika 4.5. Grafički prikaz vrijednosti ocjene komponente za sve kombinacije

Nakon definirane neizrazite ocjene komponente svih kombinacija, određuje se jedinstvena neizrazita ocjena komponente pomoću aritmetičke sredine ocjena svih kombinacija. Vrijednost setova  $\alpha$ -presjeka za konačnu neizrazitu ocjenu komponente dana je u tablici 4.10. Slika 4.6. prikazuje funkciju pripadnosti konačne neizrazite ocjene komponente, a naredba za izračun navedene vrijednosti glasi:

```
alphaCuts = mean(Y,1);
```

Tablica 4.10. Prosjek svih kombinacija-konačna neizrazita vrijednost ocjene komponente gornji ustroj

<b><math>\alpha</math>-presjek</b>	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$(R_{KOMP})_{\alpha}^D$	61,28	62,47	63,63	64,77	65,89	66,99	68,08	69,17	70,24	71,31	72,37
<b><math>\alpha</math>-presjek</b>	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
$(R_{KOMP})_{\alpha}^G$	72,37	73,46	74,54	75,62	76,70	77,78	78,85	79,92	80,98	82,04	83,11



Slika 4.6. Grafički prikaz funkcije pripadnosti konačne ocjene komponente gornji ustroj

Dobivena funkcija pripadnosti kreće se u vrijednosti od 61,28 do 83,11, a stupanj pripadnosti 1 doseže se u vrijednosti 72,37.

Rezultat konačne neizrazite ocjene komponente potreban je za dobivanje konačne izrazite ocjene, što se postiže defazifikacijom neizrazite vrijednosti. Defazifikacija neizrazite ocjene komponente dobiva se pomoću centroid metode, iskazane izrazom 3.19 u potpoglavlju 3.2.1..

Kod za dobivanje defazificirane vrijednosti komponente dolje je naveden, gdje  $m$  predstavlja vrijednost gornje granice seta neizrazite vrijednosti ocjene u kojem je stupanj pripadnosti 1,  $n$  predstavlja također gornju granicu ali sa stupnjem pripadnosti 0. Stupanj pripadnosti je 0 i za donju granicu neizrazite vrijednosti komponente koja je u kodu označena s  $o$ . Izrazita (defazificirana) vrijednost komponente gornji ustroj označena je s  $P$ .

```
m=alphaCuts(12);
n=alphaCuts(22);
o=alphaCuts(1);
```

```
P=(m+n+o)/3;
```

Konačna izrazita vrijednost komponente gornji ustroj dobivena je na sljedeći način i iznosi:

$$\bar{x}_0(\tilde{A}) = \frac{1}{3} \cdot (83,11 + 72,37 + 61,28) = 72,25$$

Isti postupak primjenjuje se i za komponentu donji ustroj te za komponentu oprema, stoga se neće cijeli postupak ponavljati već će se dati samo konačne neizrazite i izrazite vrijednosti ocjena komponenata.

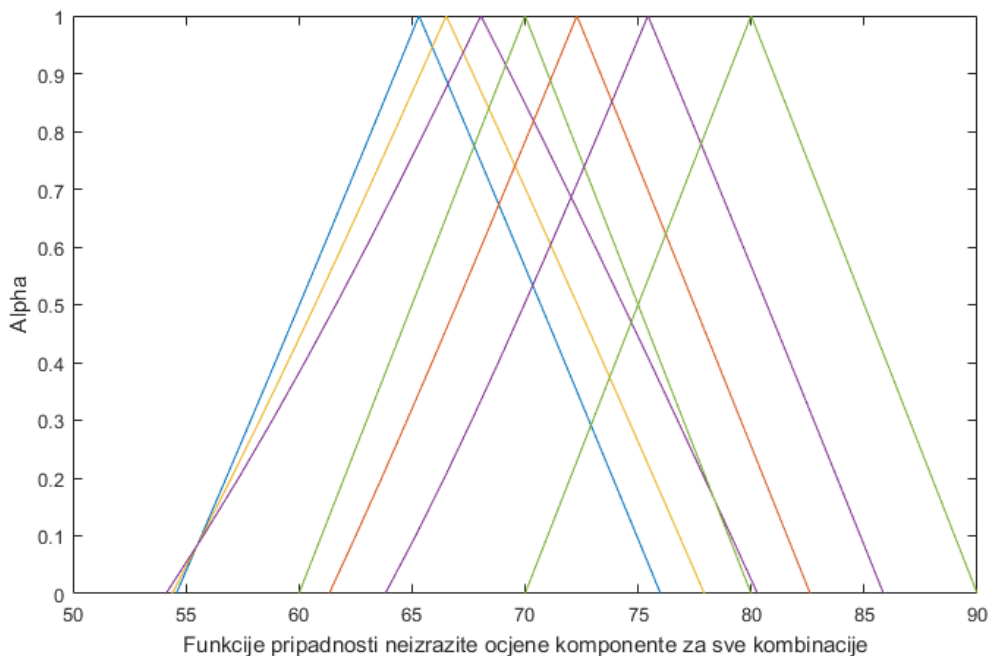
Ulazni podaci za komponentu donji ustroj dani su u tablici 4.11.

Tablica 4.11. Izrazite i neizrazite vrijednosti elemenata komponente donji ustroj

Element	Izrazita vrijednost ocjene	Neizrazita vrijednost ocjene	Neizrazite strukturalne važnosti po ekspertima (prosječna vrijednost)
Stup	70	50, 60, 70	0,65; 0,90; 1,00
		60, 70, 80	0,30; 0,55; 0,80
		70, 80, 90	0,10; 0,35; 0,60
Upornjak 1	75	60, 70, 80	0,30; 0,55; 0,80
		70, 80, 90	0,10; 0,35; 0,60
Upornjak 2	75	60, 70, 80	0,30; 0,55; 0,80
		70, 80, 90	0,10; 0,35; 0,60

Broj dobivenih kombinacija na temelju ukupnog broja elemenata i neizrazitih setova kojima izrazita vrijednost ocjene pojedinog elementa pripada za komponentu je matrica  $N_k = 12 \times 3$ .

Neizrazite vrijednosti ocjena elemenata donjeg ustroja svih kombinacija prikazane su na slici 4.7..

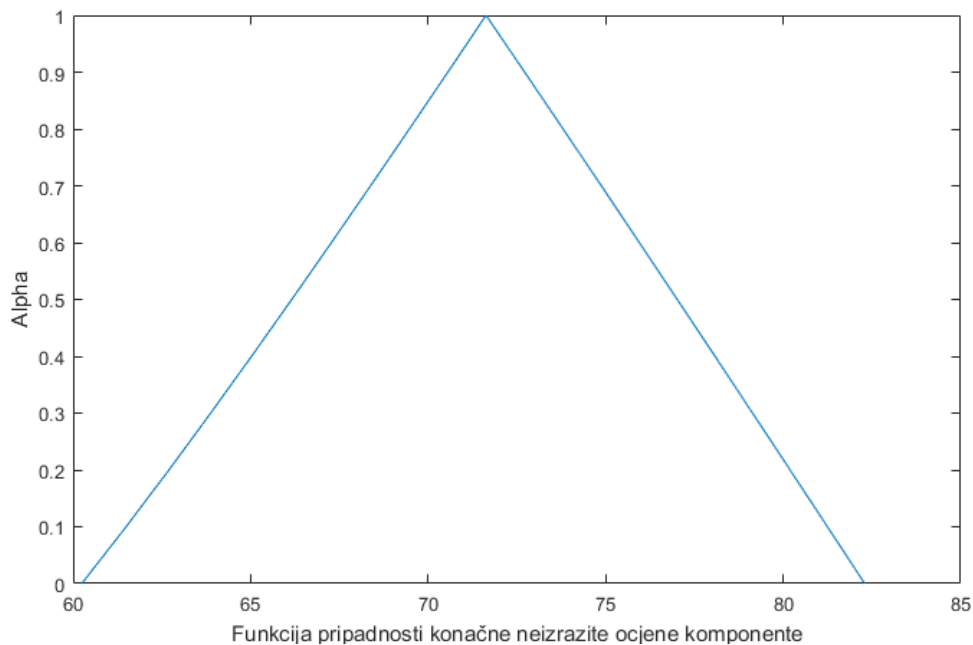


Slika 4.7. Grafički prikaz vrijednosti ocjene komponente za sve kombinacije

Konačna neizrazita vrijednost ocjene promatrane komponente, prikazane u tablici 4.12., gdje su dane donje i gornje granice setova  $\alpha$ -presjeka, a na slici 4.8. dan je grafički prikaz funkcije pripadnosti sa svim svojim  $\alpha$ -presjecima.

Tablica 4.12. Prosjek svih kombinacija-konačna neizrazita vrijednost ocjene komponente donji ustroj

<b><math>\alpha</math>-presjek</b>	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
<b><math>(R_{KOMP})_{\alpha}^D</math></b>	60,24	61,49	62,70	63,88	65,03	66,16	67,27	68,38	69,47	70,55	71,63
<b><math>\alpha</math>-presjek</b>	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
<b><math>(R_{KOMP})_{\alpha}^G</math></b>	71,63	72,72	73,80	74,88	75,95	77,02	78,08	79,14	80,19	81,25	82,30



Slika 4.8. Grafički prikaz funkcije pripadnosti konačne ocjene komponente donji ustroj

Defazifikacija neizrazitih vrijednosti ocjene donjeg ustroja dobiva se pomoću centroid metode, pa je konačna izrazita vrijednost ocjene navedene komponente:

$$\bar{x}_0(\tilde{A}) = \frac{1}{3} \cdot (82,30 + 71,63 + 60,24) = 71,39$$

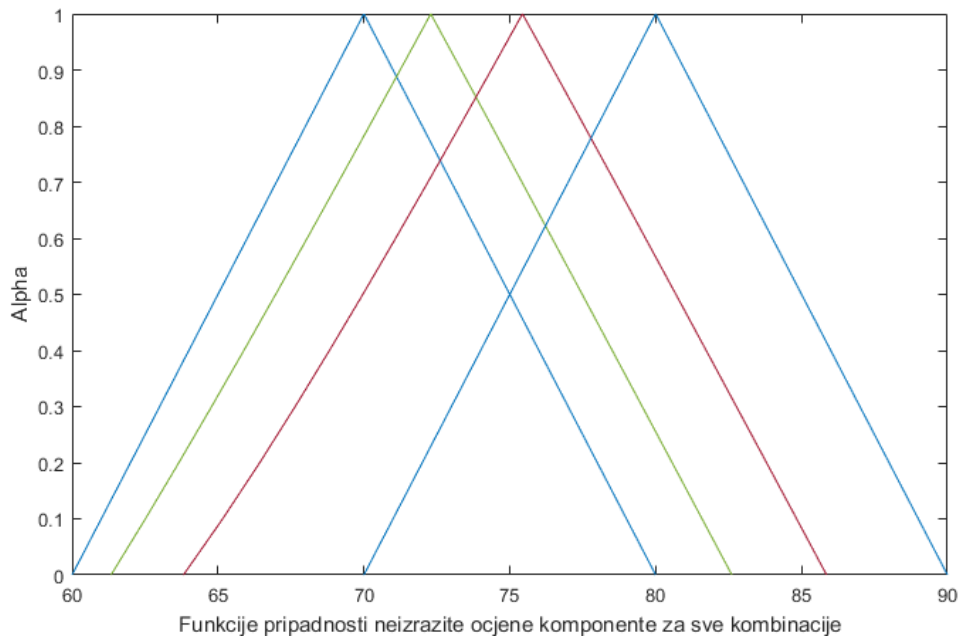
Elementi komponente oprema su zastor, ograda, odvodnja i rasvjeta. Kako rasvjete nema za navedeni most, ista se nije mogla ocijeniti. Ulazni podaci za komponentu oprema dani su u tablici 4.13.



Tablica 4.13. Izrazite i neizrazite vrijednosti elemenata komponente oprema

Element	Izrazita vrijednost ocjene	Neizrazita vrijednost ocjene	Neizrazite strukturalne važnosti po ekspertima (prosječna vrijednost)
Zastor	75	60, 70, 80	0,30; 0,55; 0,80
		70, 80, 90	0,10; 0,35; 0,60
Ograda	75	60, 70, 80	0,30; 0,55; 0,80
		70, 80, 90	0,15; 0,40; 0,65
Odvodnja	75	60, 70, 80	0,30; 0,55; 0,80
		70, 80, 90	0,15; 0,40; 0,65

Broj dobivenih kombinacija na temelju ukupnog broja elemenata i neizrazitih setova kojima izrazita vrijednost ocjene pojedinog elementa pripada za komponentu oprema je matrica  $N_k = 8 \times 3$ . Neizrazite vrijednosti ocjena elemenata opreme svih kombinacija prikazane su na slici 4.9..

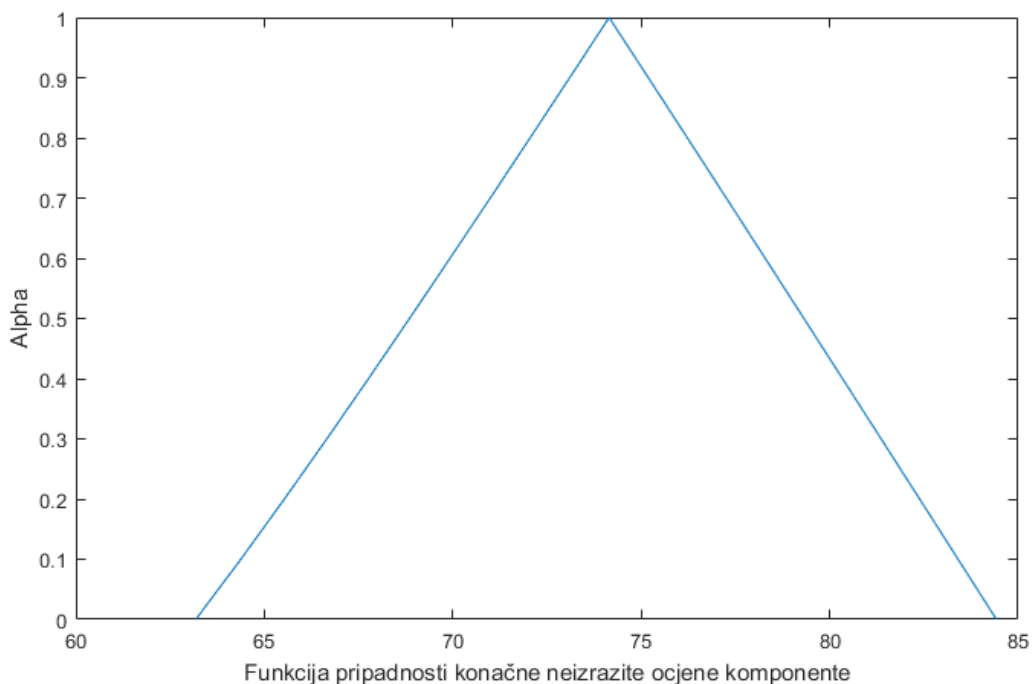


Slika 4.9. Grafički prikaz vrijednosti ocjene komponente za sve kombinacije

Konačna neizrazita vrijednost ocjene komponente oprema, prikazana je u tablici 4.14. gdje su dane donje i gornje granice setova  $\alpha$ -presjeka, a na slici 4.10. dan je grafički prikaz funkcije pripadnosti sa svim  $\alpha$ -presjecima.

Tablica 4.14. Prosjek svih kombinacija-konačna neizrazita vrijednost ocjene komponente oprema

<b><math>\alpha</math>-presjek</b>	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
<b><math>(R_{KOMP})_{\alpha}^D</math></b>	63,18	64,38	65,53	66,66	67,76	68,85	69,93	70,99	72,05	73,10	74,15
<b><math>\alpha</math>-presjek</b>	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
<b><math>(R_{KOMP})_{\alpha}^G</math></b>	74,15	75,19	76,23	77,26	78,29	79,32	80,34	81,37	82,39	83,41	84,43



Slika 4.10. Grafički prikaz funkcije pripadnosti konačne ocjene komponente oprema

Defazifikacija neizrazitih vrijednosti ocjene komponente dobiva se pomoću centroid metode, pa je konačna izrazita vrijednost ocjene opreme:

$$\bar{x}_0(\tilde{A}) = \frac{1}{3} \cdot (84,43 + 74,15 + 63,18) = 73,92$$

Nakon određenih izrazitih vrijednosti ocjena komponenata pristupa se određivanju njihovih relativnih važnosti (težina) pomoću AHP metode. Najprije se uspostavlja matrica usporedbe u kojoj se komponente međusobno uspoređuju prema Saaty-ovoj skali, kako je prikazano u tablici 4.15.

Tablica 4.15. Matrica usporedbe komponenata mosta

Komponenta	Gornji ustroj	Donji ustroj	Oprema
Gornji ustroj	1	1	2
Donji ustroj	1	1	2
Oprema	1/2	1/2	1

Normalizacijom matrice dobivaju se sljedeće vrijednosti:

1	1	2	$\Sigma = 4$	4/10=0,4
1	1	2	$\Sigma = 4$	4/10=0,4
1/2	1/2	1	$\Sigma = 2$	2/10=0,2
$\Sigma = 2,5$	$\Sigma = 2,5$	$\Sigma = 5$	$\Sigma = 10$	

Zadnji stupac (sivo obojan) predstavlja konačne težine komponenata koje idu u daljnji proračun. Nakon dodjeljenih težina provjerava se konzistentnost matrice.

$$\lambda_{max} = 2,5 * 0,4 + 2,5 * 0,4 + 5 * 0,2 = 3$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3 - 3}{3 - 1} = 0$$

$$RI = 0,52 \text{ za } n = 3$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0}{0,52} = 0$$

Vrijednost indeksa konzistentnosti je 0 čime je postignuta konzistentnost matrice odnosno težine su ispravno dodijeljene.

Indeks procjene stanja povijesnih cestovnih mostova dobiva se zbrojem svih izrazitih ocjena komponenti pomnoženih s njihovim relativnim važnostima:

$$IPSPCM = 72,25 * 0,4 + 71,39 * 0,4 + 73,92 * 0,2 = 72,24$$

Vrijednosti IPSPCM-a za sve ostale mostove dane su u tablici 4.16. Prema priloženom u tablici, najmanju vrijednost ima most preko rječice Matice u Kokorićima, 38,59, a najveću Balački most u Vinalićima, 98,18. S obzirom na vizualnu inspekciju mostova dobivene vrijednosti su

opravdane što je i potvrđeno ekspertnim mišljenjem o stanju mostova. U tablici 4.17. dana je usporedba procjene stanja mosta dobivene modelom s ekspertnom procjenom.

Tablica 4.16. Vrijednosti IPSPCM-a za sve povijesne cestovne mostove

Oznaka	Naziv mosta	IPSPCM
A1	Jovića most	73,60171
A2	Most preko rječice Matice	38,59362
A3	Most u Rastokama	60,53167
A4	Most Brvina na rijeci Vrljici	91,24867
A5	Most na Bublinu na rijeci Vrljici	77,64051
A6	Zmijavački most na rijeci Vrljici	80,13062
A7	Most na Suvaji/Karalipeov most	80,31042
A8	Most Šumet nad kanalom Jaruga	71,19911
A9	Most Jasenovac na Jarugi/Siji	86,62116
A10	Most na Jarugi/Siji kod Mračaja	72,24052
A11	Most kod kamenoloma "Lavčević	80,91733
A12	Žrnovački most	89,25399
A13	Most preko rijeke Jadro	88,03461
A14	Most na ulazu u tvornicu "Majdan"	79,17611
A15	Rera/Vetmin most	73,87135
A16	Most na Grabu	78,81673
A17	Most na Kosincu	87,83348
A18	Most Blato na Cetini	59,64867
A19	Pavića most	98,1667
A20	Most na Panju	98,16578
A21	Balački most	98,18438

Tablica 4.17. Usporedba vrijednosti IPSPCM-a dobivenih modelom s vrijednostima danim ekspertnom procjenom

Oznaka	Naziv mosta	IPSPCM	Ekspert
A1	Jovića most	73,60171	75
A2	Most preko rječice Matice	38,59362	40
A3	Most u Rastokama	60,53167	60
A4	Most Brvina na rijeci Vrljici	91,24867	95
A5	Most na Bublinu na rijeci Vrljici	77,64051	80
A6	Zmijavački most na rijeci Vrljici	80,13062	80
A7	Most na Suvaji/Karalipeov most	80,31042	80
A8	Most Šumet nad kanalom Jaruga	71,19911	70
A9	Most Jasenovac na Jarugi/Siji	86,62116	90
A10	Most na Jarugi/Siji kod Mračaja	72,24052	75

A11	Most kod kamenoloma "Lavčević	80,91733	80
A12	Žrnovački most	89,25399	90
A13	Most preko rijeke Jadro	88,03461	90
A14	Most na ulazu u tvornicu "Majdan"	79,17611	80
A15	Rera/Vetmin most	73,87135	75
A16	Most na Grabu	78,81673	80
A17	Most na Kosincu	87,83348	90
A18	Most Blato na Cetini	59,64867	60
A19	Pavića most	98,1667	100
A20	Most na Panju	98,16578	100
A21	Balački most	98,18438	100

Iz tablice 4.17. može se uočiti kako su razlike u vrijednostima dobivene modelom i onih dobivenih od strane eksperta za povijesne cestovne mostove vrlo male, s vrlo visokom korelacijom  $r=0,99$ . Prema tome, može se zaključiti kako je novorazvijeni model efikasan i djelotvoran kada je u pitanju procjena stanja povijesnih cestovnih mostova. Navedena metodologija modela može se iskoristiti i za druge vrste mostova, a i objekata, jedino što je ključno za cijeli proces jest prikupljanje adekvatnog znanja odnosno podataka (ocjena, postotaka, težina, itd) kojima će se dobiti što ispravnija tj. realnija izlazna vrijednost. Također je važan i kvalitetan odabir funkcije pripadnosti kao i podjela na odgovarajuće neizrazite setove. Dobivene vrijednosti mostova koriste se kao ocjene po kriteriju za procjenu povijesnih cestovnih mostova, o čemu će više riječi biti u sljedećem potpoglavlju.

### **4.3. Validacija modela rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove**

Izbor kriterija osnovni je zadatak procesa višekriterijalne analize. O definiranim kriterijima ovisi kvaliteta odluke. Da bi se pristupilo rangiranju varijanti (povijesnih cestovnih mostova) prema prioritetu za obnovu, nužno je odrediti relevantne kriterije po kojima će se one optimalno procijeniti. Kako u većini inženjerskih problema nije moguće odrediti jedan ključan kriterij, preporučuje se korištenje višekriterijalne analize i višekriterijalnih metoda.

U potpoglavlju 3.2.2. opisan je proces oblikovanja hijerarhijske strukture ciljeva sastavljene od definiranog glavnog cilja, podciljeva i kriterija. Podaci potrebni za realizaciju ovog modela preuzeti su iz baze podataka objašnjene u potpoglavlju 3.2., a opis podataka dan je u potpoglavlju 4.1. Validacija modela rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove temelji se na formulaciji navedenog modela iz potpoglavlja

3.2.2. U navedenom potpoglavlju opisano je stablo ciljeva sa svim svojim elementima potrebnim za realizaciju rješenja prioritarnog rangiranja za obnovu povijesnih cestovnih mostova, opisan je glavni cilj i njemu podržavajući podciljevi. Ovdje će se prikazati opis kriterija u tabličnom obliku te će se pojasniti dodjeljivanje njihovih težina, kao i rješenje procjenjivanja varijanti po kriterijima, a to je ukupna rang lista povijesnih cestovnih mostova. Na slici 3.5. uočava se podjela svakog podcilja na kriterije. Detaljno objašnjenje svakog od tih kriterija dano je u tablici 4.18., s oznakom kriterija, nazivom, kratkim opisom i preferenciji za svaki kriterij.

Tablica 4.18. Kriteriji sa svojim karakteristikama

Oznaka	Naziv	Kratak opis kriterija i procjenjivanja varijanti po svakom kriteriju	Preferencije	
			min/ max	Tip funkcije
K1	IPSPCM	Indeks procjene stanja povijesnog cestovnog mosta dobiva se na temelju ekspertne vizualne procjene elemenata mosta od strane stručnjaka za mostove (FGAG Split) i modela procjene stanja povijesnog cestovnog mosta čije su vrijednosti dobivene u potpoglavlju 4.2. Navedenim kriterijem se želi ocijeniti stanje mosta u pogledu mehaničke otpornosti i stabilnosti te prometne sigurnosti. Stoga je povoljniji most za obnovu onaj koji ima manju vrijednost indeksa.	Min	V-oblik
K2	Nedostatak elemenata opreme	Kriteriji se odnosi na broj elemenata opreme koji nedostaju, u ovom slučaju se promatra ograda i rasvjeta kao dva ključna elementa za sigurno odvijanje prometa. Iz tog razloga, povoljniji su mostovi za obnovu oni koji imaju više elemenata opreme u nedostatku.	Max	V-oblik
K3	Prometno opterećenje	Procijenjen intenzitet vozila za prometnicu na pojedinom mostu. Što je intenzitet veći to je most povoljniji za obnovu.	Max	V-oblik
K4	Vrijeme proteklo od zadnje obnove	Procjena vremena proteklog od zadnje obnove ponderira se ovisno o njegovoj veličini. Mostovi od čije je obnove prošlo više godina su prioritarniji za obnovu. Ocjena: 1- do 10 godina; 3 - do 50 godina; 5 - više od 50 godina.	Max	Običan
K5	Složenost izgradnje mosta	Kriterija se odnosi na brojnost materijala od kojih je most građen/obnavljan. Što je manja brojnost to je most autentičniji pa je stoga i	Min	Običan

		prioritetniji za obnovu. Ocjena se daje po ovom kriteriju prema brojnosti materijala.		
K6	Financijska vrijednost obnove	Financijska vrijednost obnove je za potrebe ovog rada procijenjena od strane stručnjaka za povijesne mostove i troškove njihove obnove. Procjena je dana u valuti EUR. Kako je cilj svakog projekta utrošiti što manje sredstava stoga su po ovom kriteriju prioritetniji mostovi s nižom cijenom obnove.	Min	V-oblik
K7	Vrijeme pripreme projekta do obnove	Vrijeme pripreme projekta je procijenjeno od strane stručnjaka za projekte obnove ove vrste građevine. Naime, osim što je potrebna izrada dokumentacije stručne ekspertize i projekta statike, potrebna je i sva relevantna dokumentacija od strane Konzervatorskih odjela u Splitu ili Imotskom, ovisno u kojem se području most nalazi. Vrijeme je iskazano u mjesecima. Kako je cilj što prije započeti s obnovom pa tako i brže riješiti svu potrebnu dokumentaciju, mostovi s manje vremena za pripremu projekta su prioritetniji.	Min	Linearan
K8	Vrijeme potrebno za obnovu	Kriteriji se odnosi na ukupno vrijeme trajanja obnove. Uzima se pretpostavka da vrijeme trajanje obnove je jednako vremenu trajanja isključenosti prometa na pojedinom mostu. Mjeri se u mjesecima i što je most kraće isključen iz prometa prilikom obnove to je prioritetniji za obnovu.	Min	Linearan
K9	Transportni troškovi uzrokovani isključenjem mosta	Transportni troškovi se dobivaju na temelju procijenjene vrijednosti inteziteta prometa i prijedjenih kilometara obilaska mjesta obnove. Mostovi za koje se proračuna manja vrijednost transportnih troškova uzrokovanih isključenjem mosta su piroritetniji za obnovu.	Min	V-oblik
K10	Društveno-gospodarska važnost-transportni aspekt	Kriterij se odnosi na povezanost gradova, naselja ili mjesnih odbora međusobno ili s drugim gradom, naseljem ili mjesnim odborom. S obzirom da manja mjesta gravitiraju većima odnosno mjesni odbor naselju, a naselje gradu, veća je protočnost na mostu iz tog smjera stoga se u obzir uzima broj stanovnika manjih mjesta. Kriterij se ocjenjuje dodijeljivanjem pondera broju stanovnika, na sljedeći način:	Max	Linearan

		<p>- broj stanovnika do 1000 - 1,          - broj stanovnika od 1000 do 2000 - 3,          - broj stanovnika od 2000 do 5000 - 5,          - broj stanovnika veći od 5000 - 7.</p> <p>Most s najvećom ocjenom smatra se prioritetnijim za obnovu.</p>		
K11	Turistička atraktivnost	<p>Kriterij se odnosi na atraktivnost mosta s obzirom na njegovu autentičnost odnosno očuvanja kulturne važnosti. Naime, neki mostovi imaju dograđeni ili obnovljeni dio koji se ne uklapa u njegov izvorni oblik/izgled, primjerice ograda, ploča mosta, dograđeni nogostup za pješake, itd. Mostovi koji imaju dijelove koji se ne uklapaju u njegov izvorni izgled su prioritetniji za obnovu.</p> <p>Ocjena: 0 - most nema dijelova koji se ne uklapaju u njegov izvorni oblik/izgled, 1 - most ima dijelova koji se ne uklapaju u njegov izvorni oblik/izgled.</p>	Max	Običan
K12	Važnost u okviru materijalne kulturne baštine	<p>Kriterij se odnosi na upis mosta u registar kulturnog dobra. Mostovi upisani u registar smatraju se prioritetnijim za obnovu.</p> <p>Ocjena: 0 - most nije upisan u registar, 1 - most je upisan u registar.</p>	Max	Linearan
K13	Ekološki utjecaj	<p>Kriterij se odnosi na utjecaj buke i ispušnih plinova koje proizvode vozila na mostovima. Korištenjem GIS podrške iz baze podataka označena su okolna naselja/gradovi te su određene udaljenosti svakog najbližeg naselja/grada od mosta. Kriterij se određuje u tri koraka:</p> <p>1) izmjere se udaljenosti najbližih naselja/gradova od mosta te se odredi recipročna vrijednost prosječne udaljenosti,</p> <p>2) odrede se ponderi na sljedeći način način:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- broj stanovnika do 1000 - ponder 1,</li> <li>- broj stanovnika od 1000 do 2000 - ponder 3,</li> <li>- broj stanovnika od 2000 do 5000 - ponder 5,</li> <li>- broj stanovnika veći od 5000 - ponder 7,</li> </ul> <p>3) množenjem koraka 1) i 2) dobije se ocjena mosta po navedenom kriteriju.</p> <p>Most s većom vrijednošću ekološkog utjecaja smatra se prioritetnijim za obnovu.</p>	Max	Linearan



Veće vrijednosti procjena varijanti se preferiraju, odnosno određen je maksimum prema sedam kriterija. Prema ostalih šest kriterija preferiraju se procjene varijanti nižih vrijednosti, odnosno određen je minimum za navedene kriterije. Funkcije preferencije dodijeljene su svakom kriteriju s obzirom na preferenciju donositelja odluke između dviju varijanti prema pojedinom kriteriju. Vrijednost funkcije preferencije kreće se od 0 do 1. Što je njezina vrijednost manja to je veća indiferentnost donositelja odluke, a ako je vrijednost bliža 1 preferencija donositelja odluke je veća. U slučaju stroge preferencije vrijednost funkcije će biti 1. Koliko tipova funkcije preferencije će biti ovisi o karakteristikama određenih i korištenih kriterija. U ovom slučaju korištena su tri tipa funkcija preferencija: V-oblik kriterij, običan kriterij i linearan kriterij. V-oblik korišten je za pet kriterija, običan za tri kriterija, a linearan za pet kriterija.

U potpoglavlju 3.2.2. navedene su četiri skupine dionika. Svaka skupina dionika ima svoje predstavnike, tako skupinu građevinskih eksperata predstavljaju dva znanstvenika s Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Split koji se bave problematikom konstrukcije mosta, skupinu konzervatorskih eksperata predstavljaju eksperti za konzerviranje povijesnih građevina iz Ministarstva kulture (jedan predstavnik iz Konzervatorskog odjela Split i jedan predstavnik iz Konzervatorskog odjela Imotski). Skupinu dionika ŽUC SDŽ čine 2 predstavnika pod čijom su upravom i promatrani povijesni cestovni mostovi. Skupinu korisnika su predstavljala dva građana koji koriste navedene mostove, a ne pripadaju ni jednoj od prethodno opisanih skupina dionika. Nakon što su kriteriji definirani, svaka skupina dionika procjenjuje težine kriterija, kreirajući tako četiri scenarija: građevinski eksperti (SC1), konzervatorski eksperti (SC2), ŽUC SDŽ (SC3) i korisnici (SC4). Težinske vrijednosti kriterija određene su uzimajući u obzir preferencije svih dionika i primjenom metode AHP. Metodom AHP odredile su se težine podciljeva i kriterija koji su na istoj hijerarhijskoj razini. Dionici su proveli međusobnu usporedbu kriterija radi utvrđivanja njihove relativne važnosti za ostvarivanje njima nadređenih podciljeva i njihove relativne važnosti te tako posredno ostvarivanje glavnog cilja. Važnosti kriterija su potom normirane radi uvođenja jedinstvenog rangiranja. Težine kriterija po svakom scenariju moraju u sumi iznositi 100 ili 1. U tablici 4.19. dana je relativna važnost (težine) podciljeva prema svakoj skupini dionika, a u tablici 4.20. težine kriterija. Glavni cilj uvijek zadržava vrijednost 1 dok se podciljevima dodjeljuju težine koje zbrojene iznose 1, odnosno njihov zbroj daje vrijednost glavnog cilja. Iz priloženog se može vidjeti kako svaka skupina dionika preferira (dodjeljuje veće težine) podciljeve iz svog područja ekspertize, pa je tako za građevinske eksperte najvažniji PC1 dok je za konzervatore i korisnike to PC3, a za upravu ŽUC SDŽ, PC2.

Tablica 4.19. Relativna važnost glavnog cilja i podciljeva za tri scenarija

Oznaka	Naziv	Relativna važnost			
		SC1	SC2	SC3	SC4
GC	Održivi plan obnove povijesnih cestovnih mostova	1	1	1	1
PC1	Maksimizacija tehničko-tehnoloških aspekata	0,56	0,30	0,38	0,33
PC2	Minimizacija financijskih aspekata	0,23	0,20	0,52	0,33
PC3	Maksimizacija društvene koristi	0,21	0,50	0,10	0,34

Za skupinu građevinskih eksperata ključni su kriteriji od K1 do K5, posebna važnost je dana kriterijima K1, K2 i K3 odnosno stanju mosta u pogledu mehaničke stabilnosti i otpornosti te prometnoj sigurnosti i prometnom opterećenju. Kriteriji K10, K11, K12 i K13 oformljeni su od strane konzervatorskih eksperata, a značajnija važnost dana je kriterijima K11 i K12 jer je u konzervatorskom interesu pobrinuti se prvenstveno za mostove koji su upisani u registar kulturnog dobra kao i devastacija mostova po pitanju neadekvatnog uređenja i obnove opreme ili drugog elementa mosta koje nisu u skladu s načelima očuvanja kulturnog dobra. ŽUC SDŽ kao upravitelji, preferiraju kriterije od K6 do K9 gdje važnu ulogu u obnovi povijesnih cestovnih mostova imaju financijska i vremenska komponenta obnove mostova. Pa prema tome, kriterij K6 i K9 poprimaju najveću važnost prema ovoj skupini dionika. Korisnicima je važno vrijeme isključenja mostova tijekom obnove i troškovi transporta prilikom zaobilazanja mjesta obnove. Također, su dali veću važnost stabilnosti i sigurnosti mosta kao i ekološkom utjecaju i atraktivnosti mosta.

U tablici 4.20. dan je prikaz težina četiriju scenarija za sve kriterije te njihova prosječna vrijednost određena aritmetičkom sredinom jer na ovaj način mišljenja svih skupina dionika se jednako uzima u obzir. Prosječna vrijednost će se u nastavku imenovati sa SC5 kao dodatni scenarij. Zbroj svih kriterija po svakom scenariju iznosi 1.

Tablica 4.20. Težine kriterija za tri scenarija

Oznaka	Naziv	Težine kriterija					
		SC1	SC2	SC3	SC4	Prosjek	%
K1	IPSPCM	0,16	0,08	0,12	0,10	0,115	11,50
K2	Nedostatak elemenata opreme	0,14	0,08	0,11	0,11	0,11	11,00
K3	Prometno opterećenje	0,13	0,06	0,11	0,09	0,0975	9,75
K4	Vrijeme proteklo od zadnje obnove	0,10	0,03	0,02	0,02	0,0425	4,25
K5	Složenost izgradnje mosta	0,02	0,04	0,02	0,01	0,0225	2,25

K6	Financijska vrijednost obnove	0,08	0,05	0,16	0,05	0,085	8,50
K7	Vrijeme pripreme projekta do obnove	0,05	0,06	0,08	0,02	0,0525	5,25
K8	Vrijeme potrebno za obnovu	0,06	0,05	0,14	0,11	0,09	9,00
K9	Transportni troškovi uzrokovani isključenjem mosta	0,04	0,04	0,14	0,15	0,0925	9,25
K10	Društveno-gospodarska važnost-transportni aspekt	0,06	0,10	0,03	0,08	0,0675	6,75
K11	Turistička atraktivnost	0,08	0,16	0,03	0,08	0,0875	8,75
K12	Važnost u okviru materijalne kulturne baštine	0,07	0,16	0,03	0,08	0,085	8,50
K13	Ekološki utjecaj	0,01	0,09	0,01	0,10	0,0525	5,25
UKUPNO		1	1	1		1	100

Primjenom navedene metode, potrebno je uzeti u obzir omjer konzistentnosti (CR) čija vrijednost manja ili jednaka od 10% dokazuje da su pravilno zadane težine kriterija (Saaty, 1980). Pa je stoga dobiveno:  $CR_{\text{građevinski eksperti}}=0,07$ ,  $CR_{\text{konzervatorski eksperti}}=0,05$  i  $CR_{\text{ŽUC SDŽ}}=0,04$  te  $CR_{\text{korisnici}}=0,09$ , što dokazuje postignutu konzistentnost po svim scenarijima. Paralelno s definiranjem kriterija i zadavanjem težina, analizirani su povijesni cestovni mostovi na području SDŽ-a, ukupno njih 21. Opis pojedinog mosta dan je u prethodnom potpoglavlju 4.1.

Nakon definicije varijanti potrebno je ih procijeniti po svakom kriteriju, kako je prikazano u tablici 4.21. u obliku matrice odluke, a u tablici 4.22. dani su statistički podaci mostova po svim kriterijima.

Najmanju vrijednost prema kriteriju K1 dobiva varijanta A2, a najveću A21, što je i za očekivati s obzirom na stanje mostova pod tim oznakama, po pitanju njihove stabilnosti i sigurnosti. Prema kriteriju K2 mostovi ili imaju sve elemente opreme ili nedostaje 1 element, osim mosta pod oznakom A2 čija je prometna sigurnost prema priloženom ugrožena zbog nedostatka rasvjete i ograde. Prometno opterećenje najveće je za varijantu A11, a maksimalni troškovi obnove procijenjeni su za varijantu A15, nakon koje slijedi A18. Riječ je o mostovima koji zbog svoje veličine i stupnja degradacije zahtijevaju složenije radove obnove, a samim tim i veće troškove. Mostovi pod oznakom A19, A20 i A21 nemaju nikakva financijska opterećenja jer su nedavno obnavljani i u odličnom su stanju po pitanju stabilnosti i sigurnosti, za razliku od mosta pod oznakom A7 koji je obnovljen otprilike u isto vrijeme kada i navedena tri mosta, međutim

obnova nije kvalitetno odrađena i nije napravljena za sve komponente mosta (potrebna je prema stručnoj procjeni).

Varijante A19, A20 i A21 uzete su u razmatranje za usporedbu i rangiranje prema prioritetu obnove zato što su se promatrali svi mostovi koji imaju povijesno i kulturno značenje na području SDŽ-a i koji su pod upravom ŽUC SDŽ-a, što vrijedi za tri navedena mosta. No, kako je rečeno, za njih nije potrebno poduzimati aktivnosti obnove, barem ne unutar dva investicijska ciklusa predviđena za obnovu, ali zato ih se treba razmatrati za aktivnost održavanja kada se ukaže potreba za tim. S obzirom na to da je glavna tema ove disertacije planiranje obnove mostova, neće se obrađivati održavanje već će se ono uzeti u obzir u budućim istraživanjima. Kriteriji K7, K8 i K9 su za varijante A19, A20 i A21, zbog istog razloga kao i za kriterij K6, ocijenjeni su s nulom.

Kriteriji K11 i K12 važnima su se pokazali za konzervatorske eksperte jer po kriteriju K11 čak sedam mostova sadrži elemente koji nisu adekvatni s obzirom na očuvanje njihove kulturološke komponente. Prema kriteriju K12 deset je mostova upisano u registar kulturne baštine.

Tablica 4.21. Matrica odluke

Varijante	Kriteriji												
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
A1	73,60171	1	2572	3	1	82.500,00	18	5	12860	3	0	0	0,021429
A2	38,59362	2	1835	5	1	88.800,00	18	8	2752,5	1	0	0	0,002174
A3	60,53167	1	1835	5	2	45.540,00	18	8	3670	1	1	0	0,002326
A4	91,24867	1	2484	3	1	4.120,90	18	2	7452	3	0	1	0,008108
A5	77,64051	1	2180	5	1	22.698,00	18	4	4360	3	0	1	0,003
A6	80,13062	1	2484	3	1	25.905,00	18	5	9936	3	0	1	0,014778
A7	80,31042	1	4641	1	2	40.300,00	12	6	6961,5	3	0	1	10
A8	71,19911	1	3596	5	1	50.050,00	18	8	14384	1	0	1	3,333333
A9	86,62116	1	1827	3	1	4.914,00	18	2	5481	1	0	0	0,001053
A10	72,24052	1	1827	5	1	34.410,00	18	6	4019,4	1	0	0	0,002083
A11	80,91733	0	5631	3	1	10.710,00	12	6	9572,7	1	0	0	0,003109
A12	89,25399	0	2483	1	2	8.970,00	12	3	1738,1	1	1	0	10
A13	88,03461	0	2774	1	1	18.000,00	12	2	2219,2	5	0	0	16,66667
A14	79,17611	1	2169	1	3	29.400,00	18	2	2169	5	1	0	0,00375
A15	73,87135	1	1531	5	2	238.700,00	18	8	4593	5	1	0	0,00625
A16	78,81673	0	3629	3	3	47.475,00	15	8	3629	1	1	1	3,333333
A17	87,83348	1	1239	1	3	30.000,00	15	6	4336,5	1	1	1	0,001667
A18	59,64867	0	2828	3	3	186.440,00	15	7	7070	1	1	0	0,001
A19	98,1667	0	1362	1	2	0	0	0	0	1	0	1	0,001136
A20	98,16578	0	1329	1	2	0	0	0	0	1	0	1	0,002
A21	98,18438	0	1228	1	2	0	0	0	0	1	0	1	0,002222

Tablica 4.22. Statistički podaci varijanti po svim kriterijima

Statistika	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
Minimum	38,59	0,00	1228,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0	1,00	0,00	0,00	0,00
Maksimum	98,18	2,00	5631,00	5,00	3,00	238700,00	24,00	8,00	14384,00	5,00	1,00	1,00	16,67
Prosjek	79,26	0,67	2451,62	2,81	1,71	46139,66	13,81	4,57	5266,7	2,05	0,33	0,48	2,07
Stan. dev.	14,30	0,58	1136,18	1,66	0,78	61186,13	6,81	2,87	3910,4	1,50	0,48	0,51	4,53

Nakon što su definirane težine kriterija i procijenjene vrijednosti varijanti, pristupilo se obradom dobivenih ulaznih podataka pomoću metode PROMETHEE. Pomoću software-a Visual PROMETHEE (Mareschal, 2011), podaci su obrađeni korištenjem metode PROMETHEE I i PROMETHEE II.

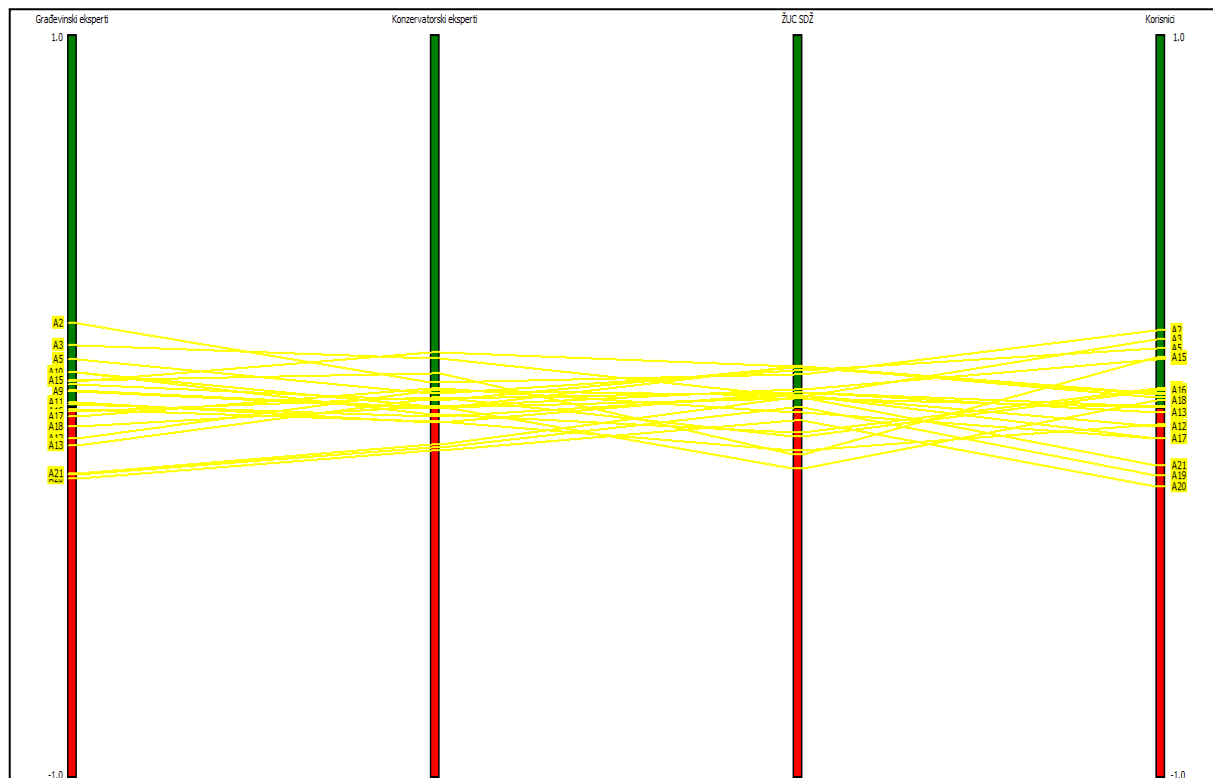
PROMETHEE I metodom dobiven je djelomičan poredak, a PROMETHEE II ukupna rang lista mostova za svaki scenarij. PROMETHEE II metoda kao rezultat daje rang listu uspoređujući međusobno povijesne cestovne mostove po svim kriterijima. U tablici 4.23. dana je ukupna rang lista mostova po svim scenarijima kao i vrijednost neto toka ( $\Phi$ ).

Tablica 4.23. Rezultati neto toka i ukupno rangiranje za četiri scenarija

Redni broj	SC1		SC2		SC3		SC4	
	Oznaka mosta	Phi( $\Phi$ )	Oznaka mosta	Phi( $\Phi$ )	Oznaka mosta	Phi( $\Phi$ )	Oznaka mosta	Phi( $\Phi$ )
1	A2	0,2204	A14	0,1397	A14	0,1025	A2	0,1999
2	A3	0,1600	A3	0,1236	A9	0,1008	A3	0,1763
3	A5	0,1203	A15	0,0838	A4	0,1002	A5	0,1503
4	A10	0,0868	A2	0,0598	A5	0,0914	A15	0,1273
5	A8	0,0854	A17	0,0422	A2	0,0809	A10	0,1198
6	A15	0,0647	A12	0,0364	A10	0,0391	A8	0,0422
7	A14	0,0602	A5	0,0282	A13	0,0310	A16	0,0354
8	A4	0,0527	A16	0,0176	A11	0,0305	A14	0,0278
9	A6	0,0366	A13	0,0147	A12	0,0241	A4	0,0245
10	A9	0,0350	A4	0,0086	A7	0,0237	A9	0,0190
11	A11	0,0054	A18	-0,0056	A3	0,0208	A18	0,0096
12	A7	-0,003	A10	-0,0080	A21	0,0189	A11	-0,0057
13	A1	-0,0161	A6	-0,0095	A6	0,0162	A6	-0,0091
14	A16	-0,0214	A9	-0,0132	A19	-0,0093	A13	-0,0242
15	A17	-0,0346	A8	-0,0294	A17	-0,0226	A1	-0,0566
16	A18	-0,0625	A7	-0,0349	A20	-0,0436	A12	-0,0599
17	A12	-0,0939	A1	-0,0480	A8	-0,0776	A17	-0,0941
18	A13	-0,1135	A11	-0,0494	A16	-0,0875	A7	-0,0945
19	A21	-0,1883	A21	-0,1108	A1	-0,1275	A21	-0,1684
20	A19	-0,1931	A19	-0,1179	A15	-0,1370	A19	-0,1944
21	A20	-0,2036	A20	-0,1279	A18	-0,1751	A20	-0,2251

Iz tablice 4.23. može se uočiti da su tri nedavno obnovljena mosta, označena A19, A20 i A21, na zadnjim mjestima prema scenarijima SC1, SC2 i SC4. Prema scenariju SC3 nalaze se pod 12., 14. i 16. rednim brojem. Mada bi se očekivalo da su zadnji na rang listi za poduzimanje aktivnosti obnove za sve scenarije, slučaj za SC3 ipak nije iznenađujuć jer prema tom scenariju veliku ulogu igraju troškovi i vrijeme obnove mosta koji bi trebali biti što manji (prema

upraviteljskoj želji), a ovi mostovi prema tim kriterijima imaju vrijednost 0. Još jedan razlog očekivanog rezultata rang liste za SC3 jest što su varijante A15 i A18, kao najskuplje za obnovu, na zadnjim mjestima. Nadalje, najprioritetniji za obnovu je most pod oznakom A2 za SC1 i SC4, a za druga dva scenarija varijanta A14. Grafički prikaz odnosa varijanti prema četiri scenarija dan je na slici 4.11..



Slika 4.11. Rang liste četiriju različitih scenarija i njihova međusobna usporedba

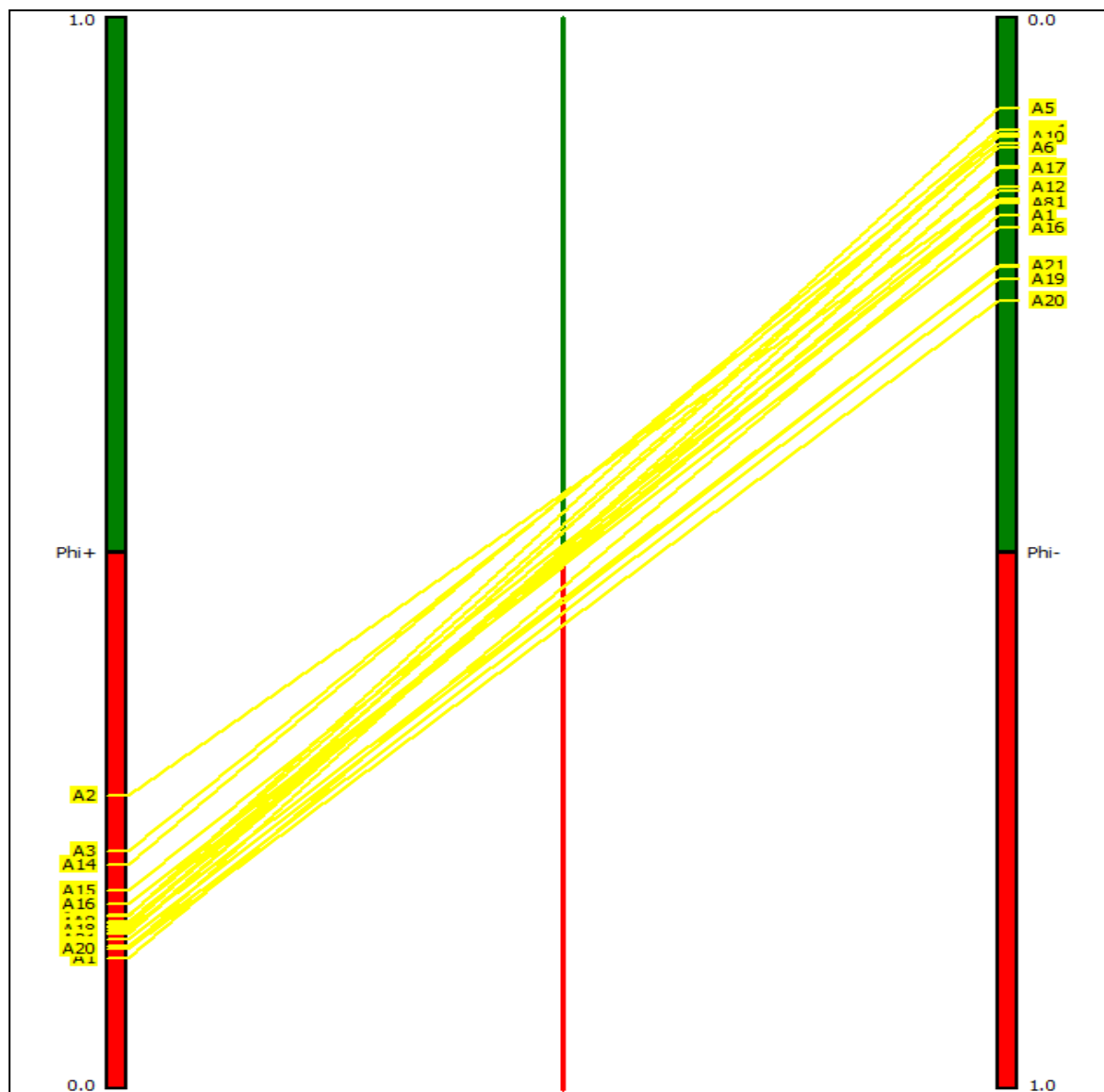
Ono što je važno za daljnju obradu podataka, pa tako i za sljedeći model objašnjen u potpoglavlju 3.2.3., jest prosječna vrijednost težina svih scenarija SC5. U tablici 4.24. prikazani su rezultati rang liste dobivene za SC5. PROMETHEE I metodom dobivene su vrijednosti ulaznog i izlaznog toka, a PROMETHEE II ukupna rang lista (sivo obojano). Na prvom mjestu nalazi se varijanta A2 s neto tokom  $\Phi=0,1112$ . Redom je slijede na 2. i 3. mjestu varijanta A14 s  $\Phi=0,10306$  odnosno A3 s  $\Phi=0,1030$ . Može se uočiti da su razlike u vrijednostima neto tokova vrlo male. Na zadnjem mjestu su redom varijante A21, A19 i A20 s vrijednostima neto tokova -0,0930, -0,1106 i -0,1333.

Tablica 4.24. Rezultati neto toka i ukupno rangiranje povijesnih cestovnih mostova za SC5

Redni broj	SC5			
	Oznaka mosta	$\Phi^+$	$\Phi^-$	$\Phi$
1	A2	0,2729	0,1618	0,1112
2	A14	0,2086	0,1050	0,1036
3	A3	0,2210	0,1180	0,1030
4	A5	0,1610	0,0853	0,0756
5	A4	0,1607	0,1090	0,0517
6	A9	0,1517	0,1114	0,0403
7	A10	0,1501	0,1116	0,0385
8	A15	0,1854	0,1692	0,0161
9	A6	0,1310	0,1221	0,0088
10	A7	0,1457	0,1393	0,0064
11	A17	0,1448	0,1405	0,0043
12	A12	0,1543	0,1587	-0,0044
13	A13	0,1619	0,1720	-0,0101
14	A11	0,1548	0,1715	-0,0167
15	A8	0,1555	0,1735	-0,0181
16	A16	0,1719	0,1958	-0,0240
17	A1	0,1211	0,1845	-0,0635
18	A18	0,1476	0,2335	-0,0858
19	A21	0,1387	0,2317	-0,0930
20	A19	0,1335	0,2442	-0,1106
21	A20	0,1309	0,2642	-0,1333

S obzirom na dobivenu rang listu može se utvrditi pouzdanost procesa procjena mostova i dodjeljivanja težina jer su nedavno obnavljana tri mosta dobila zadnja mjesta prema prioritetu za aktivnost obnove. Slika 4.12. daje grafički prikaz parcijalnog poretka varijanti za SC5, a slika 4.13. ukupnu rang listu.

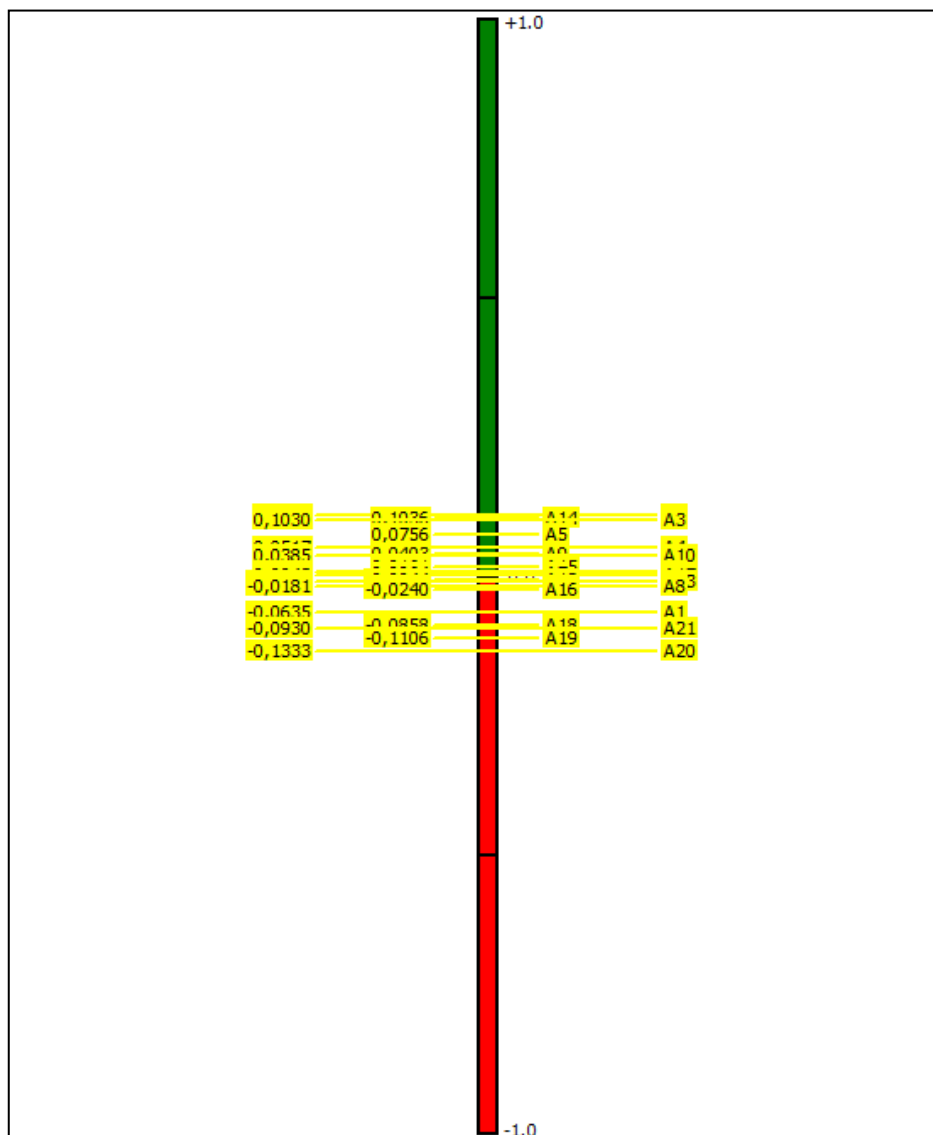




Slika 4.12. Grafčki prikaz parcijalnog poretka varijanti za SC5

Na slici 4.13. prikazan je parcijalni poredak varijanti po svim kriterijima, tj. prikazani su rezultati PROMETHEE I metode koji se temelje na usporedbi ulaznih (Phi-) i izlaznih (Phi+) neto tokova. Lijevi stup prikazuje izlazne neto tokove, a desni ulazne. Stupci su tako postavljeni da se bolji rezultati nalaze unutar zelenog područja, a lošiji unutar crvenog. Ukupan neto tok (Phi) prikazan je srednjim stupcem. Varijanta koja ima najveći izlazni tok rangirana je prva odzgo po lijevom stupcu (A2), dok je na desnom stupcu odzgo prema dolje prva rangirana varijanta s najmanjim ulaznim tokom (A5). Varijante su međusobno povezane žutim linijama. Ukoliko se linije dviju promatranih varijanti međusobno ne presijecaju, znači da je jedna varijanta bolja od druge i po ulaznom i izlaznom toku pa je varijanta, koja se nalazi više na stupcu, bolja. Ako se linije tih dviju varijanti sijeku, znači da ih se ne može uspoređivati, tj. ne mogu se tumačiti na temelju

grafičkog prikaza PROMETHEE I metodom, već je potrebna ukupna rang lista dobivena PROMETHEE II metodom.

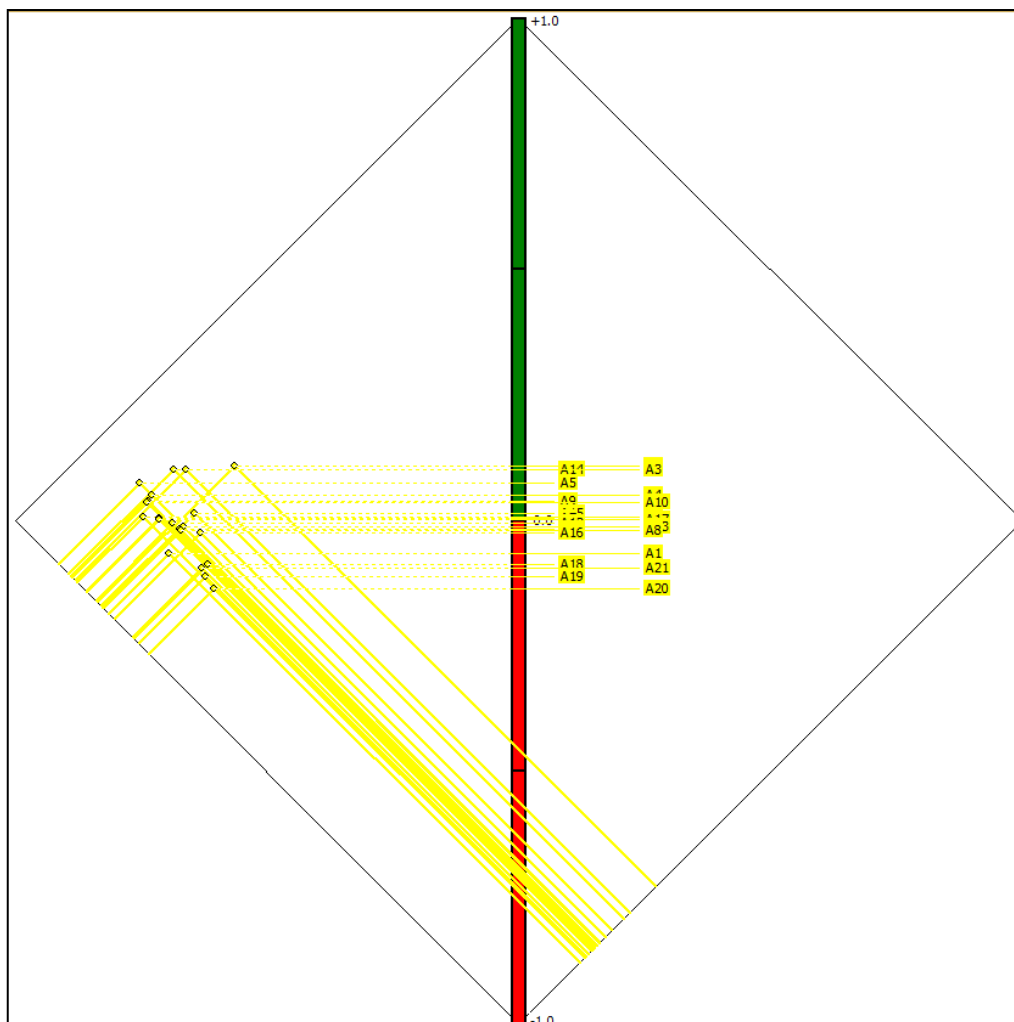


Slika 4.13. Grafički prikaz ukupne rang liste za SC5

Slika 4.12. prikazuje ukupan poredak varijanti po svim kriterijima. Kao što je već rečeno, PROMETHEE II metoda bazira se na usporedbi neto toka ( $\Phi$ ). Vrijednost stupca kreće se od -1 do +1. Varijable su poredane redom s neto tokovima, počevši od +1, kako je prikazano u tablici 4.27.

PROMETHEE Diamond prikazan na slici 4.14. je grafički prikaz 2D prostora ( $\Phi$ +/ $\Phi$ - prostor) parcijalnog i ukupnog poretka, odnosno prikaz rezultata PROMETHEE I i PROMETHEE II metode. Unutar kvadrata nalaze se rješenja čija vertikalna dijagonala predstavlja  $\Phi$  neto tok. Svaka varijanta se označava točkom iz koje se spušta okomica na susjedne stranice kvadrata. Dvije okomice predstavljaju najbrže postizanje rješenja promatrane varijante u prostoru te

ujedno predstavljaju i granice prostora koji ta varijanta obuhvaća. Ako prostor prve varijante obuhvaća cijeli prostor druge varijante, prva varijanta je dominantna i navedene varijante se mogu međusobno uspoređivati. A ako im se prostori međudobno sijeku tada se varijante ne mogu uspoređivati.

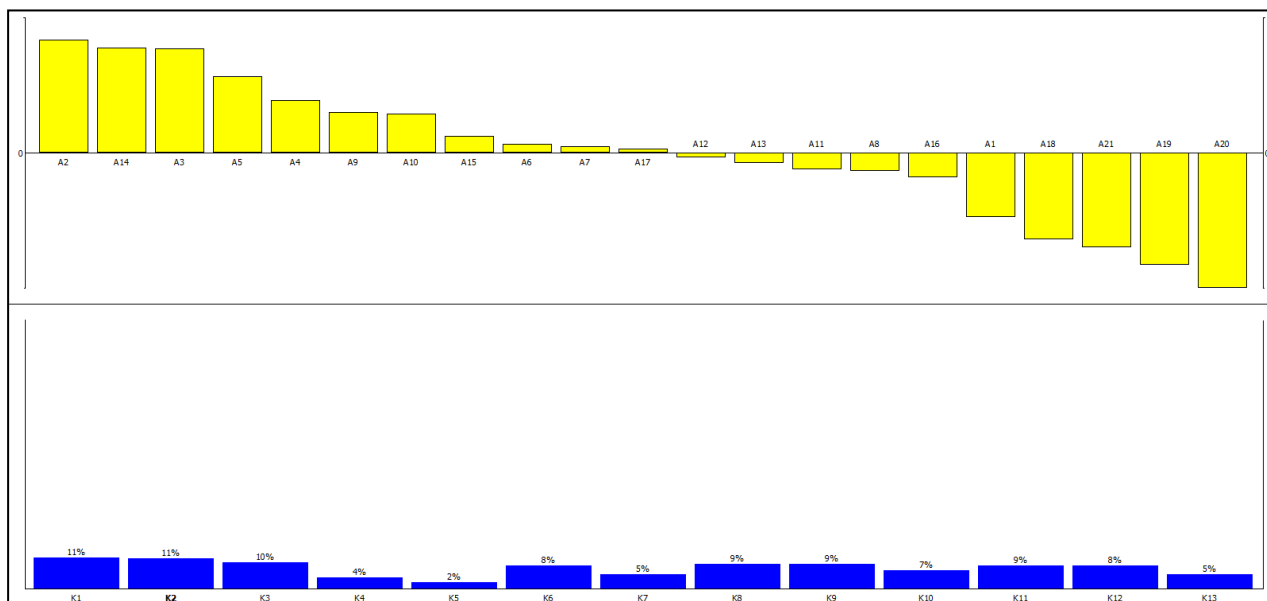


Slika 4.14. PROMETHEE Diamond prikaz rezultata

Vertikalna dijagonala prostora predstavlja ukupnu rang listu varijanti. Varijante više pozicionirane su dominantnije. Ukoliko se promatraju i uspoređuju varijante A3 i A14, može se utvrditi da su navedene varijante međusobno neusporedive jer im se prostori presijecaju. Međutim, ako se uspoređuju, primjerice s varijantom A8, može se zaključiti da su obje dominantne u odnosu na tu varijantu. Na ovaj način se mogu međusobno uspoređivati sve varijante.

Histogrami na slici 4.15. prikazuju odnos dominacije varijanti i određenih relativnih važnosti te se na ovaj način mogu lako uočiti varijante s pozitivnom vrijednošću neto toka. Pozitivan neto tok imaju varijante iznad osi apscise, njih 11, a negativan tok varijante ispod osi apscise, 10.

Ispod histograma varijanti nalaze se kriteriji sa svojim težinama u obliku stupaca. Grafički prikaz dan na slici 4.15. rezultat je softverske opcije nazvanom "Walking Weights", što se može protumačiti kao mogućnost mijenjanja težina (Marović, 2013). Promjenom težina u navedenoj softverskoj opciji mijenjaju se i neto tokovi varijanti. Kako zbroj svih težina mora iznositi 100%, promjenom težine jednog kriterija mijenjaju se težine svih ostalih. Na ovaj način može se dobiti uvid u promjene ukupnog ranga varijanti uzrokovanog promjenom težine kriterija.



Slika 4.15. Odnos dominacije varijanti i određenih težina

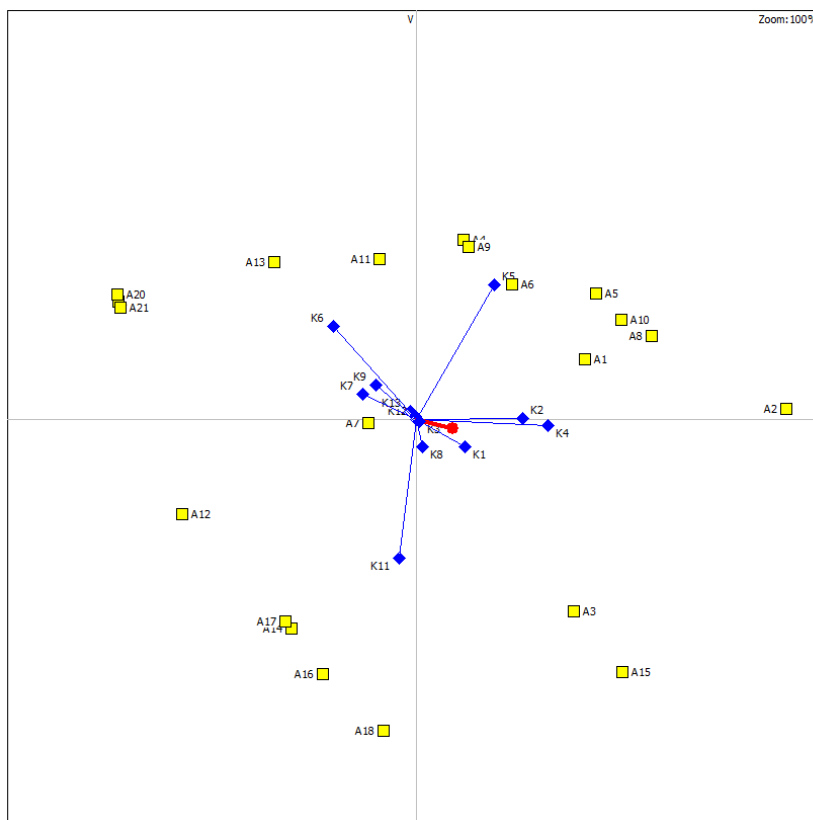
U tablici 4.25. prikazani su intervali stabilnosti. Navedeni intervali predstavljaju donju i gornju vrijednost težina u postocimaza svaki kriterij prema svakom scenariju, unutar kojih ukupno rangiranje po PROMETHEE II metodi ostaje nepromijenjeno. Za svih pet scenarija mogu se uočiti izrazito mali intervali stabilnosti težina kriterija. Malom promjenom težina kriterija dolazi se do promjene ukupne rang liste što ukazuje na konfliktnost među kriterijima, a što je ujedno i pokazatelj slabe strukturiranosti problema.

Tablica 4.25. Intervali stabilnosti za definirane kriterije po svim scenarijima

Kriterij	Intervali stabilnosti (%,%)									
	SC1		SC2		SC3		SC4		SC5	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
K1	14,79	20,46	7,03	10,29	11,82	12,29	7,37	8,78	10,52	11,61
K2	13,54	14,49	7,87	8,22	10,89	11,10	8,76	9,92	10,60	11,25
K3	12,11	13,29	5,40	6,18	10,69	11,13	7,18	7,66	9,48	10,14
K4	9,71	10,90	2,78	3,35	1,88	2,08	16,60	17,33	3,94	4,29
K5	1,63	2,53	3,37	4,16	1,31	2,13	0,53	1,16	1,96	2,34

K6	7,55	8,38	4,05	5,12	16,04	16,28	4,03	4,52	8,31	8,91
K7	0,00	13,44	1,34	7,35	7,76	8,25	0,00	2,53	3,95	6,06
K8	3,79	4,55	3,62	4,67	13,39	15,17	11,80	13,07	8,82	10,08
K9	5,27	6,83	2,72	5,54	13,94	14,34	6,59	10,68	8,94	10,24
K10	5,33	7,21	9,42	10,45	2,93	3,18	5,87	6,96	6,64	7,64
K11	7,33	8,46	15,81	16,84	2,97	3,27	6,75	7,08	8,23	8,91
K12	0,00	100	0,00	100	0,00	100	0,00	100	0,00	100,00
K13	0,00	4,31	8,06	9,45	0,37	1,79	3,27	9,46	4,17	6,17

Softverska opcija GAIA grafički je prikaz odnosa definiranih kriterija i varijanti te omogućava geometrijsku interpretaciju. Na slici 4.16. dana je geometrijska prezentacija kriterija i pravca odluke (označene crvenom) u  $u-v$  ravnini. Velika "raspršenost" varijanti i kriterija ukazuje na slabu strukturiranost problema odnosno konfliktnost među nekim kriterijima. Velika konfliktnost se može uočiti između kriterija K5 i K11 te kriterija K4 i K6.

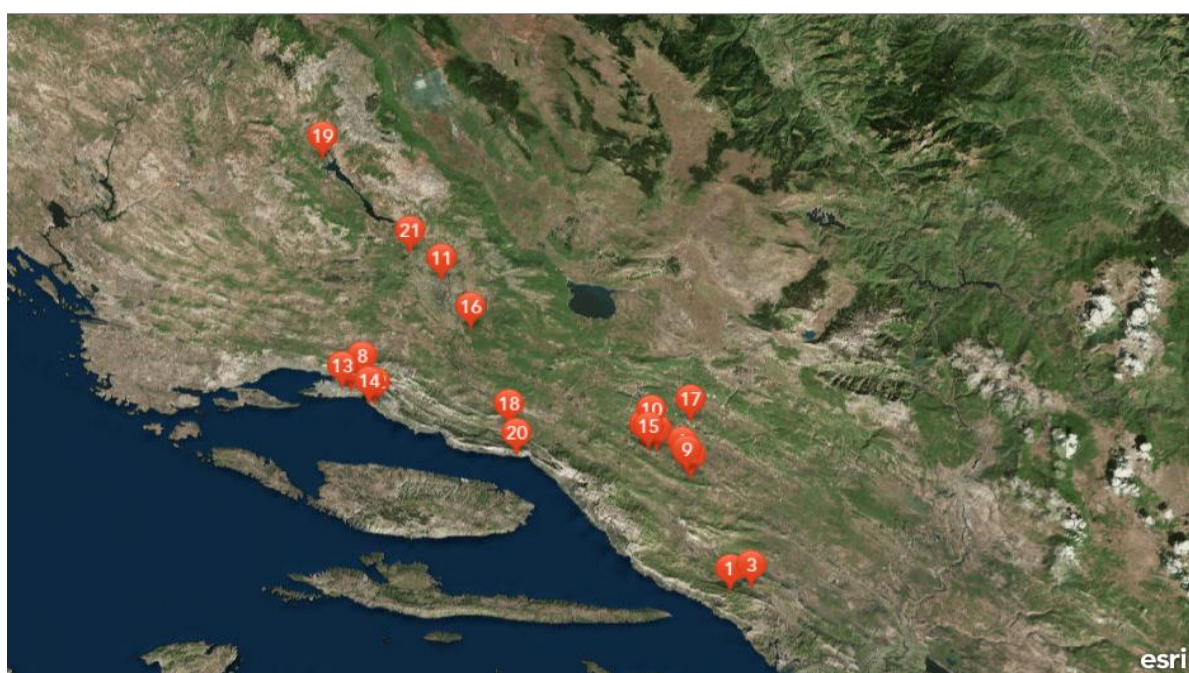


Slika 4.16. Grafički prikaz položaja kriterija i varijanti u  $u-v$  ravnini

Tablica 4.26. prikazuje konačnu rang listu povijesnih cestovnih mostova s njihovim oznakama i nazivima, a slika 4.17. daje prostorni prikaz mostova s rednim brojem iz dobivene ukupne rang liste.

Tablica 4.26. Ukupna rang lista mostova

Redni broj	Oznaka mosta	Naziv mosta
1	A2	Most preko rječice Matice
2	A14	Most na ulazu u tvornicu "Majdan"
3	A3	Most u Rastokama
4	A5	Most na Bublinu
5	A4	Most Brvina
6	A9	Most Jasenovac
7	A10	Most na Jarugi/Siji kod Mračaja
8	A15	Rera/Vetmin most
9	A6	Zmijavački most
10	A7	Most na Suvaji/Karalipeov most
11	A17	Most na Kosincu
12	A12	Žrnovački most
13	A13	Most preko rijeke Jadro
14	A11	Most kod kamenoloma "Lavčević
15	A8	Most Šumet
16	A16	Most na Grabu
17	A1	Jovića most
18	A18	Most Blato na Cetini
19	A21	Balečki most
20	A19	Pavića most
21	A20	Most na Panju



Slika 4.17. Prostorni prikaz povijesnih cestovnih mostova na području SDŽ-a s rednim brojem dobivenim PROMETHEE II metodom

Rezultati dobiveni višekriterijalnom analizom, ukazuju na niz metodoloških prednosti ovog pristupa u procesu prioritarnog rangiranja povijesnih mostova za aktivnost obnove. Sam pristup višekriterijalne analize dozvoljava uključivanje svih zainteresiranih strana u postupak planiranja obnove mostova što nije uobičajena dosadašnja praksa. Osim relevantnih dionika kao što je upravitelj povijesnim cestovnim mostovima (ŽUC SDŽ), u proces su uključeni i eksperti građevinske i konzervatorske struke te korisnici. Skupine dionika sudjelovale su u procesu, izjašnjavajući svoje stavove i mišljenja, kroz definiranje relevantnih kriterija i zadavanje težina. Pomoć su, pri tome, pokazale višekriterijalne metode AHP i PROMETHEE koje su se ukazale korisnima te jednostavnima za primjenu i interpretaciju rezultata. Konačna rang lista dobivena je PROMETHEE II metodom za koju su ulazni podaci bili prosječna vrijednost težina svih kriterija imenovana kao scenarij 5. generirane varijante odnosno povijesni cestovni mostovi. Nekoliko grafičkih prikaza dali su bolji i slikovit uvid u dobivene rezultate. U konačnici varijanta A2 se pokazala najprioritetnijom za obnovu. Riječ je o mostu preko rječice Matice u Kokorićima koji se inače zbog svog vrlo lošeg stanja te nedostatka elemenata opreme pokazao najlošiji. Zadnje rangirani su mostovi koji su nedavno obnavljani: Pavića most, Panj most i Balečki most.

Iz svega navedenog model se pokazao učinkovitim i robusnim za rješavanje slaboustruktuiranih problema kao što je rangiranje povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za obnovu. Ključna stavka pristupa višekriterijalne analize jest da su mišljenja svih dionika jednako vrednovana te da krajnje mišljenje bude predstavljeno donositelju odluke koji će odlučiti o prihvaćanju dobivene ukupne rang liste. Konačna rang lista prezentirana je donositelju odluke te kao takva usvojena. Iz tog razloga ponovni postupak provođenja modela rangiranja povijesnih cestovnih mostova, prema prioritetu obnove radi postizanja dogovora, nije bio potreban.

#### **4.4. Validacija modela podrške u izboru upraviteljskog pristupa prilikom planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova**

U potpoglavlju 3.2.3. opisan je model podrške u izboru upraviteljskog pristupa prilikom planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Validacija modela temelji se na njegovom opisu, na terenskom istraživanju i proučavanju literature o povijesnim cestovnim mostovima i upravljanju istima, na razgovorima s ekspertima, a posebno sa ŽUC SDŽ.

Ukupna rang lista dobivena u prethodnom potpoglavlju 4.3. kao rezultat PROMETHEE II metode za scenarij 5 odražava realnu vrijednost povijesnih cestovnih mostova koji će se financirati za poduzimanje aktivnosti obnove. Imajući na umu strategiju ŽUC SDŽ-a, može se pretpostaviti da je cilj u prvoj investicijskoj godini financirati što više mostova prema

raspoloživim financijskim sredstvima počevši od vrha prioritete rang liste, ali u praksi taj pristup ne daje uvijek najbolje rješenje (pruža kompromitirano rješenje u obliku skupa mostova koje treba obnoviti). Samo su dva ograničenja potrebna za definiranje ovog pristupa (prvi upraviteljski pristup), a to su raspoloživa financijska sredstva i vrijeme potrebno za obnovu pojedinog mosta. Međutim, navedeni pristup je korisniji i efikasniji od nasumičnog izbora mostova za obnovu. Njegov nedostatak je što zanemaruje interakciju između mostova u postizanju glavnog cilja. Financiranje obnove jednog mosta svakako utječe na promjenu vrijednosti drugih mostova za financiranje njihove obnove (drugim riječima, utječe na promjenu prioriteta rangiranja). Pretpostavlja se da postoje interakcije između mostova prema unaprijed definiranim kriterijima (i prema glavnom cilju). Osim toga, financiranje jednog mosta može promijeniti ulazne parametre koji utječu na odnose drugih mostova. Navedeno predstavlja ključan upraviteljski problem na strateškoj razini odlučivanja. Povećanje kvalitete i učinkovitosti prilikom rješavanja takvih problema moguće je korištenjem kombinacije PROMETHEE II metode i {0-1} linearnog programiranja (kao set linearnih jednadžbi i/ili nejednadžbi-ograničenja dobivenih iz mišljenja donositelja odluke) odnosno korištenjem PROMETHEE V metode. Međutim, ovakav pristup formiranja politike čini proces donošenja odluka složenijim jer zahtijeva definiranje ograničenja od strane donositelja odluka.

Za prvi upraviteljski pristup oblikovanja politike financiranja povijesnih mostova za obnovu postavlja se ograničenje budžeta te vrijeme potrebno za obnovu iskazano u mjesecima. Financiranje mostova planirano je za osam godina te je ukupni potrebni iznos novca 968.932,90 EUR odnosno za svaku godinu 121.116,62 EUR. Prema rezultatima prioritarnog rangiranja za scenarij 5 te prema ograničenjima prvog upraviteljskog pristupa, u osam godina ukupno će biti obnovljeno 14 povijesnih cestovnih mostova. Analizirajući rezultate dobivene PROMETHEE II metodom i uzimajući u obzir moguće strategije financiranja mostova sljedeća ograničenja, postavljena kao nejednadžbe u modelu {0-1} linearnog programiranja, su definirana za drugi i treći upraviteljski pristup. No, prije postavljanja ograničenja za navedena dva pristupa potrebno je bilo podijeliti područje SDŽ-a na kojem se nalaze mostovi na pet dijelova: I dio (Imotski i okolica), II dio (Vrgorac i okolica), III dio (Solin i Žrnovnica), IV dio (Sinj i okolica) te V dio (Omiš i okolica). Raspodjela mostova po dijelovima unutar područja SDŽ-a prikazana je u tablici 4.27.



Tablica 4.27. Raspodjela mostova po dijelovima unutar područja SDŽ-a

Dio SDŽ-a	Matematički prikaz	Oznaka mosta	Naziv mosta
Imotski i okolica	$x_1$	A1	Jovića most
	$x_7$	A7	Most na Suvaji/Karalipeov most
	$x_8$	A8	Most Šumet nad kanalom Jaruga
	$x_9$	A9	Most Jasenovac na Jarugi/Siji
	$x_{10}$	A10	Most na Jarugi/Siji kod Mračaja
Vrgorac i okolica	$x_2$	A2	Most preko rječice Matice
	$x_3$	A3	Most u Rastokama
	$x_4$	A4	Most Brvina
	$x_5$	A5	Most na Bublenu
	$x_6$	A6	Zmijavački most
Solin i Žrnovnica	$x_{11}$	A11	Most kod kamenoloma "Lavčević
	$x_{12}$	A12	Žrnovački most
	$x_{13}$	A13	Most preko rijeke Jadro
	$x_{14}$	A14	Most na ulazu u tvornicu "Majdan"
	$x_{15}$	A15	Rera/Vetmin most
Sinj i okolica	$x_{16}$	A16	Most na Grabu
	$x_{17}$	A17	Most na Kosincu
Omiš i okolica	$x_{18}$	A18	Most Blato na Cetini

Područje Vrlike na kojem se nalaze mostovi Panj i Balečki nije razmatrano. S obzirom da su to mostovi koji su nedavno obnavljani i u odličnom su stanju potrebe za financiranjem njihove obnove u narednih osam godina nema. No, svakako ih se treba uzeti u obzir u pogledu financiranja njihovog održavanja ili popravaka u budućnosti, ali s obzirom da održavanje nije tema ove doktorske disertacije, navedeno će se ostaviti za buduća istraživanja. Prethodno rečeno vrijedi i za Pavića most u Podgrađu na području grada Omiša.

Za drugi upraviteljski pristup postavljeno je pet prostorno-funkcionalnih ograničenja i jedno ograničenje koje se odnosi na vremensku komponentu obnove mostova. Prostorno-funkcionalna ograničenja su:

- 1) u I dijelu (Imotski i okolica) nalazi se 5 mostova- potrebno je obnoviti najviše 2 mosta;
- 2) u II dijelu (Vrgorac i okolica) nalazi se 5 mostova-potrebno je obnoviti najmanje 1 most;
- 3) u III dijelu (Solin, Žrnovnica i okolica) nalazi se 5 mostova-potrebno je obnoviti najmanje 1 most;

4) u IV dijelu (Sinj i okolica) nalaze se 2 mosta-potrebno je obnoviti najviše 1 most;

5) u V dijelu (Omiš i okolica) nalazi se 1 most-potrebno je obnoviti najviše 1 most.

Za vremensku komponentu trajanja obnove mosta uzima se šesto ograničenje, najviše 12 mjeseci za prvu financijsku godinu.

Treći upraviteljski pristup je kombinacija prva dva pristupa, odnosno kombinacija financijskih i prostorno-funkcionalnog pristupa, stoga su za njega definirana ista ograničenja kao i za dva prethodno definirana pristupa. Ograničenje za treći pristup je najviše 121.116,62 EUR za prvu financijsku godinu. Funkcija cilja i gore specificirana ograničenja su prikazana u nastavku:

Funkcija cilja:

Max  $\sum_{j=1}^{18} \Phi_j x_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, 18$ ,  $x_1, x_2, \dots, x_{18}$  - varijante

$$\begin{aligned} \text{Max}\{ & -0,0635x_1 + 0,1112x_2 + 0,1030x_3 + 0,0517 + 0,0756x_5 + 0,0088x_6 + 0,0064x_7 \\ & - 0,0181x_8 + 0,0403x_9 + 0,0385x_{10} - 0,0167x_{11} - 0,0044x_{12} - 0,0101x_{13} \\ & + 0,1036x_{14} + 0,0161x_{15} - 0,0240x_{16} + 0,0043x_{17} - 0,0858x_{18}\} \end{aligned}$$

Prostorno-funkcionalna ograničenja:

1)  $x_1 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} \leq 2$

2)  $x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \geq 1$

3)  $x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} \geq 1$

4)  $x_{16} + x_{17} \leq 1$

5)  $x_{18} \leq 1$

6)  $5x_1 + 8x_2 + 8x_3 + 2x_4 + 4x_5 + 5x_6 + 6x_7 + 8x_8 + 2x_9 + 6x_{10} + 6x_{11} + 3x_{12} + 2x_{13} + 2x_{14} + 8x_{15} + 8x_{16} + 6x_{17} + 7x_{18} \leq 12$

Financijska ograničenja:

7)  $82500x_1 + 88800x_2 + 45540x_3 + 4120,9x_4 + 22698x_5 + 25905x_6 + 40300x_7 + 50050x_8 + 4914x_9 + 34410x_{10} + 10710x_{11} + 8970x_{12} + 18000x_{13} + 29400x_{14} + 228700x_{15} + 47475x_{16} + 30000x_{17} + 186440x_{18} \leq 121116,62$

Ove nejednadžbe su postavljene na temelju ograničenja koja uzimaju u obzir strategiju obnove povijesnih cestovnih mostova i uključena su u model {0-1} linearnog programiranja. Broj nejednadžbi je 7 i svaka predstavlja po jedno ograničenje. Prvih pet nejednadžbi predstavlja prostorno-funkcionalna ograničenja, a svako od tih ograničenja definira dijelove područja SDŽ.

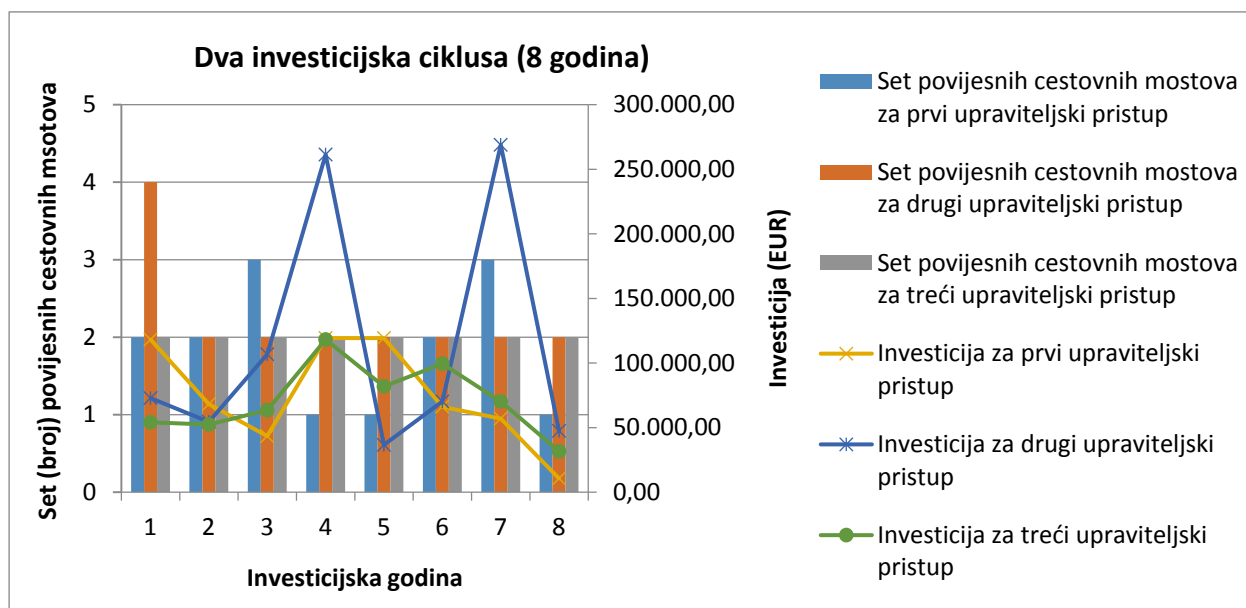
Šesta nejednadžba predstavlja ograničenje vremenske komponente trajanja obnove, a sedma budžetsko ograničenje. Za prvih pet nejednadžbi, uz varijante se ne nalaze koeficijenti (njihova vrijednost je 1). Šesta i sedma nejednadžba imaju koeficijente uz varijante, jer to zahtijeva ograničenje koje one opisuju. Iznosi koeficijenata predstavljaju procijenjeno vrijeme potrebno za obnovu pojedinog mosta iskazano u mjesecima te procijenjenu financijsku vrijednost ulaganja u obnovu mostova iskazano u EUR. Izraz s lijeve strane šeste nejednadžbe mora biti manji ili jednak 12, a sedme nejednadžbe manji ili jednak 121.116,62 jer su to procijenjena sredstva za prvu godinu investicijskog ciklusa obnove mostova. Nejednadžbe se zatim pretvaraju u matricu ulaznih podataka. Rezultati za svaki upraviteljski pristup prikazani su u tablici 4.28. Za svaki pristup prikazani su mostovi koji će se financirati za obnovu na godišnjoj razini te ukupna vrijednost obnove iskazana u EUR.

Tablica 4.28. Rezultati za tri upraviteljska pristupa - setovi povijesnih cestovnih mostova za osam financijskih godina

Upraviteljski pristup	Setovi mostova za osam investicijskih godina								Ukupna vrijednost (EUR)
	1.god	2.god	3.god	4.god	5.god	6.god	7.god	8.god	
Prvi	A2 A14	A3 A5	A4 A9 A10	A15	A15	A6 A7	A12 A13 A17	A11	602.467,90
Drugi	A4 A9 A10 A14	A3 A12	A2 A13	A5 A15	A6 A11	A7 A17	A1 A18	A16	918.882,90
Treći	A4 A8	A9 A16	A3 A13	A2 A14	A10 A16	A1 A11	A7 A17	A5 A12	571.662,90

U tablici 4.28. rezultati prvog pristupa dobiveni su zbrajanjem investicijskih sredstava potrebnih za obnovu mostova prema rezultatima prioritetnog rangiranja iz PROMETHEE II metode do granice budžeta za svaku godinu dvaju investicijskih ciklusa. Također, uključena je i vremenska komponenta trajanja obnove pojedinog mosta. Iz priloženog se može uočiti kako je za 4. i 5. godinu financiran isti most pod oznakom A15 (Blato na Cetini). Razlog tomu je vrijednost obnove navedenog mosta od 238.700,00 EUR, a što je veći iznos od onog predviđenog za svaku godinu (121.116,62 EUR). Prema prvom pristupu, ukupno će se obnoviti 14 mostova unutar 8 godina u vrijednosti od 602.467,90 EUR. Rezultati drugog i trećeg pristupa dobiveni su zbrajanjem investicijskih sredstava potrebnih za obnovu mostova PROMETHEE V metodom. Prema drugom pristupu, ukupno će se obnoviti 17 mostova unutar 8 godina u iznosu od 918.882,90 EUR, a prema trećem pristupu 16 mostova u iznosu od 571.662,90 EUR. Drugi

pristup realizira 4 mosta za obnovu u prvoj financijskoj godini za razliku od prvog i trećeg pristupa koji realiziraju po 2 mosta. Dobiveni setovi mostova za svaku godinu predstavljaju stavove donositelja odluke u skladu sa strategijom financiranja i upravljanja projektom obnove povijesnih cestovnih mostova. Ukoliko se svi mostovi iz prethodnog seta ne realiziraju u određenoj godini, kako je predviđeno u tablici 4.28., ulaze u rangiranje s preostalim mostovima te se prema navedenim pristupima svrstavaju u setove mostova za obnovu u narednim godinama. Prema rezultatima iz tablice 4.28., prvi pristup daje najmanji broj mostova planiranih za obnovu, dok drugi i treći pristup daju 17 odnosno 16. Iako je prema drugom pristupu vrijednost obnove veća nego za prvi i treći pristup, više se mostova realizira za financiranje za aktivnost obnove. Također, prema drugom pristupu ostaje jedan most A8 u iznosu od 50.050,00 EUR nakon dva investicijska ciklusa, dok za prvi pristup ostaju 4 mosta A1 (82.500,00 EUR), A8 (50.050,00 EUR), A16 (82.500,00 EUR) i A18 (186.440,00 EUR), a za treći pristup ostaju dva mosta A15 i A18 u iznosu od 238.770,00 EUR odnosno 186.440,00 EUR. Drugi pristup je skuplji zato što budžetska komponenta nije prioritarna već samo prostorno-funkcionalna komponenta. No, prema odluci donositelja odluke, drugi se upraviteljski pristup uzima kao adekvatan za planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova. Na slici 4.18. prikazani su rezultati za dva investicijska ciklusa odnosno osam godina planiranih za obnovu povijesnih cestovnih mostova prema tri upraviteljska pristupa s brojem setova mostova za svaku godinu i s ukupnom vrijednošću obnove svakog seta. Iz priloženog se može uočiti kako je za prvi i treći investicijski ciklus "kretanje" vrijednosti obnove setova mostova iz godine u godinu slično dok za drugi pristup naglo poraste u 4. i 7. godini, gdje vrijednosti obnove dosežu 261.398,00 EUR odnosno 268.940,00 EUR (što je ujedno i najviša vrijednost obnove mostova po godinama, promatrajući sve pristupe zajedno). Najmanja vrijednost drugog pristupa jest u 5. godini i iznosi 36.615,00 EUR. Najmanju vrijednost obnove seta mostova postiže prvi pristup u osmoj investicijskoj godini (10.710,00 EUR (A11)). Kao što je već rečeno, u prvom i trećem upraviteljskom pristupu veliku ulogu igra financijska komponenta, stoga nijedan set ne prelazi vrijednost veću od 121.116,62 EUR (što je maksimalna vrijednost predviđena za financiranje svake godine). Kod drugog pristupa, situacija je malo drugačija jer se budžet ne uzima u obzir kao ograničenje pa se iz tog razloga pojavljuju prekoračenja zadanog limita za 4. i 7. set mostova, ali se zato omogućuje realizacija najviše mostova za obnovu u prvoj investicijskoj godini i najviše mostova se obnovi do kraja dva ciklusa. Ono što je ključno za sva tri pristupa jest vremenska komponenta obnove mostova prema kojoj se ni u jednom setu ne prelazi vrijeme obnove od godine dana, a to je ujedno i razlog male veličine setova.



Slika 4.18. Rezultati triju upraviteljskih pristupa za dva investicijska ciklusa (8 godina)

Za svaku investicijsku godinu ograničenja u modelu izbora upraviteljskog pristupa, prilikom planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova kao i ulazni podaci u prethodnom modelu rangiranja navedenih mostova prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove, moraju se ažurirati. Ponovno pokretanje navedenih modela iznova, dok svi mostovi ne budu financirani za obnovu, preporučuje se zbog stalne promjene ulaznih podataka.

Kako je navedeno, drugi upraviteljski pristup je izabran kao odgovarajući za planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova prema donositelju odluke. Pristup se lako prilagođava potrebama prilikom planiranja budžeta za pojedinu godinu u pogledu broja mostova i predstavlja manji financijski teret nakon predviđenih osam godina financiranja obnove mostova. Prema navedenom pristupu ostaje samo jedan most u iznosu od 50.050,00 EUR za razliku od prvog i trećeg pristupa prema kojima ostaju 4 mosta u iznosu od 366.465,00 EUR, odnosno 2 mosta u iznosu od 425.140,00 EUR. Također, prema drugom pristupu, u prvoj investicijskoj godini financirat će se 4 mosta za obnovu u vrijednosti od 72.844,90 EUR čiji je prikaz dan redom u tablici 4.29..

Tablica 4.29. Mostovi u koje treba ulagati u prvoj investicijskoj godini prema drugom upraviteljskom pristupu

Redni br.	Oznaka mosta	Naziv mosta	Dio SDŽ-a
1	A4	Most Brvina	Vrgorac i okolica
2	A9	Most Jasenovac na Jarugi/Siji	Imotski i okolica
3	A10	Most na Jarugi/Siji kod Mračaja	Imotski i okolica
4	A14	Most na ulazu u tvornicu "Majdan"	Solin i Žrnovnica

Drugi upraviteljski pristup omogućuje obnovu najviše mostova unutar osam godina (uz uvjet postavljanja novih težina kriterija i ograničenja) te postiže maksimalnu učinkovitost. Razlog tomu je što pruža najveću fleksibilnost pri planiranju odluka. Slijedom toga, predloženo je da se postupak drugog upraviteljskog pristupa ponovi za budžetsko planiranje u narednih osam godina.

#### 4.5. Validacija modela izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta

U potpoglavlju 3.2.4. opisan je model izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta te proces oblikovanja hijerarhijske strukture ciljeva sastavljene od definiranog glavnog cilja, podciljeva i kriterija. Validacija modela izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta bazira se na opisu navedenog modela iz potpoglavlja 3.2.4., i na istraživanju Pavića mosta (terensko istraživanje i proučavanje literature). Znanstveni doprinos istraživanja potvrđen je znanstvenim radom (Jajac, Rogulj i Radnić, 2017) objavljenim u priznatom međunarodnom časopisu citiranom u Curret Contents.

Gradnja Pavića mosta započela je 1893. godine, a prema natpisu na ploči koja se nalazi na sredini mosta na uzvodnoj strani dovršen je 1900. godine. Most je sličan anonimnom i nedatiranom nacrtu mosta koji se čuva u državnom arhivu u Zadru, a koji se ne odnosi ni na jedan pojedinačni most, već je tipsko rješenje.

Most ima sedam otvora s uobičajenim rješenjima kamenih mostova iz tog perioda. Premošćuje rijeku Cetinu na predjelu Stupe nedaleko od mjesta Podgrađe. Na tom je mjestu uzdužni pad korita relativno velik, a riječni tok prilično ubrzan. Kroz prva tri otvora na južnoj strani mosta odvija se glavni tok rijeke Cetine. Most je imao znatna oštećenja za vrijeme II svjetskog rata. Porušena su 4 luka na sjevernoj strani mosta kao i veći dio kamene ograde. Poslije Drugog svjetskog rata obnovljen je tako da je sjeverna polovica mosta iznad stupova (dijelovi lukova, čeonih zidova, ograde i vijenca) izvedena iz betona. Na taj način praćena je izvorna struktura mosta čime su obnovljeni svi elementi izvornog mosta, osim poklopnica. Ukupna dužina ograde

mosta, a time i ukupna dužina mosta, iznosi oko 92,3 m, mjereno između suprotnih krajeva ograde na zapadnoj (nizvodnoj) strani. Most ima šest otvora dužine oko 8,1 m i jedan otvor dužine 5 m, te šest stupova. Stupovi su širine oko 2 odnosno oko 3 m. Širina kolnika na mostu iznosi oko 4,10 m, a sa širinom ograde bez poklopnica oko 0,45 m. Ukupna širina mosta iznosi oko 5 m. Most ima tri kamena svoda na južnoj strani i četiri betonska svoda na sjevernoj strani. Na južnoj strani mosta vanjski čeonni zidovi također su izvedeni iz kamenih blokova u horizontalnim slojevima i visine oko 30 cm. Blokovi čeonih zidova obrađeni su na isti način kao i blokovi svodova. Sljubnice su također uske kao kod svodova. Na spoju s upornjacima čeonni zidovi svodova se kontinuirano nastavljaju u krilo upornjaka. Veliki dio izvorne ograde mosta je nestao ili porušen u Drugom svjetskom ratu te je nestala i porušena ograda s poklopnicom koja je zamijenjena betonom na čitavoj sjevernoj polovici mosta. Na južnoj polovici, manjim dijelom, je izvedena iz kamena. Širina kamenog ogradnog zida je oko 40 cm, a širina betonskog dijela ogradnog zida na sjevernoj strani mosta nešto uža. U ogradnom zidu, iznad kamenog istaka, u tjemenu lukova nalaze se procjednice za odvodnju površinske vode s kolnika. Procjednice su obostrane na istočnoj i zapadnoj strani mosta (Radnić i Smilović, 2008). Temeljem definiranih kriterija iz potpoglavlja 3.2.4. u tablici 4.30. dan je popis kriterija, njihov naziv, oznaka, kratak opis te preferencije.

Tablica 4.30. Ulazni podaci za višekriterijalnu analizu

Oznaka kriterija	Naziv kriterija	Kratak opis kriterija i njihovog ocjenjivanja	Preferencije	
			min/ max	Tip funkcije
K1	Jednostavnost izvedbe obnove	Ekspertna procjena jednostavnosti statičkog proračuna i izvedbe obnove konstrukcije. Ocjena: 1 (najgore) -10 (najbolje)	Max	V-oblik
K2	Vrijeme potrebno za izvedbu obnove	Očekivano trajanje obnove mostova u skladu s dinamičkim planom i troškovnikom, iskazano u mjesecima.	Min	Linearni
K3	Održavanje konstrukcije	Ekspertna procjena o potrebi daljnjih radova na konstrukciji nakon obnove, ovisno o vremenskoj komponenti. Ocjena: 1 (najbolje) -10 (najgore)	Min	Linearni
K4	Troškovi obnove	Troškovi iskazani u valuti EUR, koji uključuju troškove pripreme projektne dokumentacije i troškove izvedbe.	Min	V-oblik
K5	Troškovi deponiranja otpadnog	Ekspertna procjena koja uzima u obzir udaljenost odlagališta, trajanje ciklusa vožnje i troškove zbrinjavanja otpada, iskazani u	Min	V-oblik

	materijala	valuti EUR.		
K6	Troškovi uklanjanja	Troškovi uklanjanja dijelova mosta, iskazani u valuti EUR.	Min	V-oblik
K7	Kvaliteta transportne povezanosti	Ekspertna procjena koja uzima u obzir povezanost mosta sa susjednim cestama. Ocjena: 1 (nije spojeno) - 10 (spojeno).	Max	V-oblik
K8	Turistička atrakcija	Atraktivnost mosta za korisnike s obzirom na njegovu lokaciju i estetiku. Ocjena: 1 (najgore) - 10 (najbolje)	Max	V-oblik
K9	Očuvanje kulturnog dobra	Projekt obnove ne smije uništiti izvoran izgled mosta. Ocjena: 1 (uništeno) -10 (nije uništeno)	Max	V-oblik
K10	Ekološka opravdanost	Zaštita okoliša i endemskih vrsta tijekom izvedbe obnove mosta. Ocjena: 1 (najgore) - 10 (najbolje)	Max	V-oblik

Za pet kriterija određen je minimum, tj. preferiraju se niže vrijednosti procjena varijanti po ovim kriterijima. Za ostale kriterije određen je maksimum odnosno poželjne su veće vrijednosti procjena varijanti po tim kriterijima. Svaki kriterij ima svoju funkciju preferencije koja predstavlja preferenciju donositelja odluke između dviju metoda obnove prema pojedinom kriteriju. Kako je već prethodno rečeno u potpoglavlju 4.3. vrijednost funkcije preferencije kreće se od 0 do 1. Koliko će se tipova funkcije preferencije uzeti za opis kriterija ovisi o karakteristikama određenih i korištenih kriterija. U ovom slučaju, V-oblik funkcije preferencije prevladava (zadana za osam kriterija), a linearan oblik je korišten za dva razmatrana kriterija. Za izbor metode obnove povijesnog cestovnog mosta definirane su tri skupine dionika: građevinski eksperti, ekonomski eksperti i uprava koja uključuje ŽUC SDŽ i Ministarstvo kulture SDŽ (Konzervatorski odjel u Splitu). Svaka skupina ima svog predstavnika, pa su tako za građevinske eksperte predstavnici dva znanstvenika iz područja konstrukcija s Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, dva ekonomska eksperta iz građevinske kompanije te jedan predstvanik iz ŽUC SDŽ, a jedan iz Ministarstva kulture SDŽ-a. Svaka navedena skupina dionika procijenila je težine kriterija, kreirajući tako 3 scenarija: građevinski eksperti (scenarij 1), ekonomski eksperti (scenarij 2) i uprava SDŽ (scenarij 3). Težine kriterija dodijeljene su primjenom metode AHP od strane svih skupina dionika. Relativne važnosti kriterija su potom normirane te težine kriterija po svakom scenariju zbrojene iznose 1. Odredio se i omjer konzistentnosti (CR) radi utvrđivanja točnosti dodijeljenih težina. Tako su dobivene sljedeće vrijednosti omjera konzistentnosti za pojedinu skupinu:  $CR_{\text{građevinski eksperti}}=0,05$ ,  $CR_{\text{ekonomski eksperti}}=0,04$  i  $CR_{\text{uprava SDŽ}}=0,08$ . Ovim je dokazana postignuta konzistentnost po svim scenarijima. U tablici 4.31. prikazana su tri navedena scenarija te njihove relativne važnosti za glavni cilj i



podciljeve. U tablici 4.32. dane su težine kriterija po svakom scenariju uključujući i njihovu prosječnu vrijednost. Dobivena prosječna vrijednost težina svih scenarija predstavlja kompromisnu težinu svih skupina dionika. Zbroj svih kriterija po svakom scenariju iznosi 1.

Tablica 4.31. Relativna važnost glavnog cilja i podciljeva za tri scenarija

Oznaka	Naziv	Relativna važnost		
		Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3
GC	Najprikladnija metoda obnove povijesnog cestovnog mosta	1	1	1
PC1	Maksimizacija građevinskih aspekata	0,55	0,25	0,20
PC2	Minimizacija ekonomskih aspekata	0,25	0,45	0,30
PC3	Maksimizacija socioloških aspekata	0,20	0,40	0,40

Tablica 4.32. Težine kriterija za tri scenarija

Oznaka	Naziv	Težine kriterija				
		Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3	Prosjek	%
K1	Jednostavnost izvedbe obnove	0,25	0,065	0,065	0,127	12,7
K2	Vrijeme potrebno za izvedbu obnove	0,20	0,12	0,07	0,097	9,7
K3	Održavanje konstrukcije	0,10	0,065	0,065	0,110	11
K4	Troškovi obnove	0,10	0,15	0,14	0,130	13
K5	Troškovi deponiranja otpadnog materijala	0,08	0,15	0,13	0,120	12
K6	Troškovi uklanjanja	0,07	0,15	0,13	0,117	11,7
K7	Kvaliteta transportne povezanosti	0,06	0,07	0,12	0,083	8,3
K8	Turistička atrakcija	0,05	0,07	0,08	0,067	6,7
K9	Očuvanje kulturnog dobra	0,045	0,09	0,12	0,085	8,5
K10	Ekološka opravdanost	0,045	0,07	0,08	0,065	6,5
UKUPNO		1	1	1	1	100

Kriteriji od K1 do K3 ključni su za građevinske eksperte posebice kriteriji K1 i K2. Težinska vrijednost kriterija K1 bazirana je na jednostavnosti izrade obnove povijesnog mosta, kriterij K2 je definiran iz dinamičkih planova, a K3 predstavlja daljnje radove nakon obnove mosta (održavanje ili popravci) ovisno o vremenskoj komponenti. Za ekonomske eksperte kriterij K4, K5 i K6 su najvažniji i njihove su procjene dobivene iz troškovnika. Navedeni kriteriji se odnose na troškove obnove, uklanjanja i deponiranja otpadnog materijala. Uprava SDŽ definirala je kriterije K7, K8, K9 i K10. Kriterij K7 predstavlja kvalitetu transportne povezanosti odnosno propusnosnu moć ceste. Bolja povezanost polučuje bolju propusnost, a također i manje emisije

CO<sub>2</sub> jer se reducira prometno zagušenje i vrijeme vožnje. Turistička zajednica SDŽ dala je procjenu za kriterij K8 uzimajući u obzir navike i interese turista. Kriterij K9 je procijenilo Ministarstvo kulture SDŽ čiji je glavni cilj zaštita i očuvanje kulturnog dobra. Kriterij K10 pokazuje koliko je važno koristiti autentične materijale koji nemaju negativan ekološki utjecaj i jedini je kriterij koji se za razliku od ostalih navedenih direktno odnosi na aspekt okoliša.

Paralelno s definiranjem kriterija i zadavanjem težina dionici su analizirali moguće metode obnove za Pavića most te su definirali četiri. Dionici koju su predložili metode su građevinski eksperti. Metode su predložene kao varijante od kojih će jedna biti odabrana kao adekvatna za Pavića most, a one su: autentična metoda, suvremena metoda A, suvremena metoda B i kombinirana metoda. Definirane su s obzirom na kombinaciju korištenog materijala i tehnologije. Tako je autentična metoda kombinacija autentičnog materijala i tehnologije, suvremena A metoda je kombinacija suvremenog materijala i tehnologije, suvremena B metoda autentičnog i/ili suvremenog materijala te suvremene tehnologije, a kombinirana metoda kombinacija je autentičnog i suvremenog materijala i tehnologije. Prikaz navedenih metoda dan je na slici 4.19., a detaljan opis u potpoglavlju 2.2.3.

Nakon definicije varijanti potrebno je svaku procijeniti po svim kriterijima kako je prikazano u tablici 4.33. u obliku matrice odluke, a u tablici 4.34. dani su statistički podaci varijanti po svim kriterijima.

Tablica 4.33. Matrica odluke

Metoda obnove	Kriteriji									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Autentična	6	13	9	664.764,71	3.231,73	66.782,19	5	10	10	8
Suvremena A	5	9	7	413.951,89	3.680,04	15.0310,71	10	4	1	4
Suvremena B	7	10	6	423.032,19	1.287,12	51.153,08	5	5	3	5
Kombinirana	8	11	8	604.331,57	992,44	51.494,78	5	9	8	8

Tablica 4.34. Statistički podaci varijanti po svim kriterijima

Statistika	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Minimum	5	9	6	413951,89	992,44	51153,08	5	4	1	4
Maksimum	8	13	9	664764,71	3580,04	150310,71	10	10	10	8
Prosjek	6,50	10,75	7,50	526520,09	2297,83	79935,19	6,25	7	5,50	6,25
Stand. dev.	1,12	1,48	1,12	110167,54	1173,48	41118,68	2,17	2,55	3,64	1,79

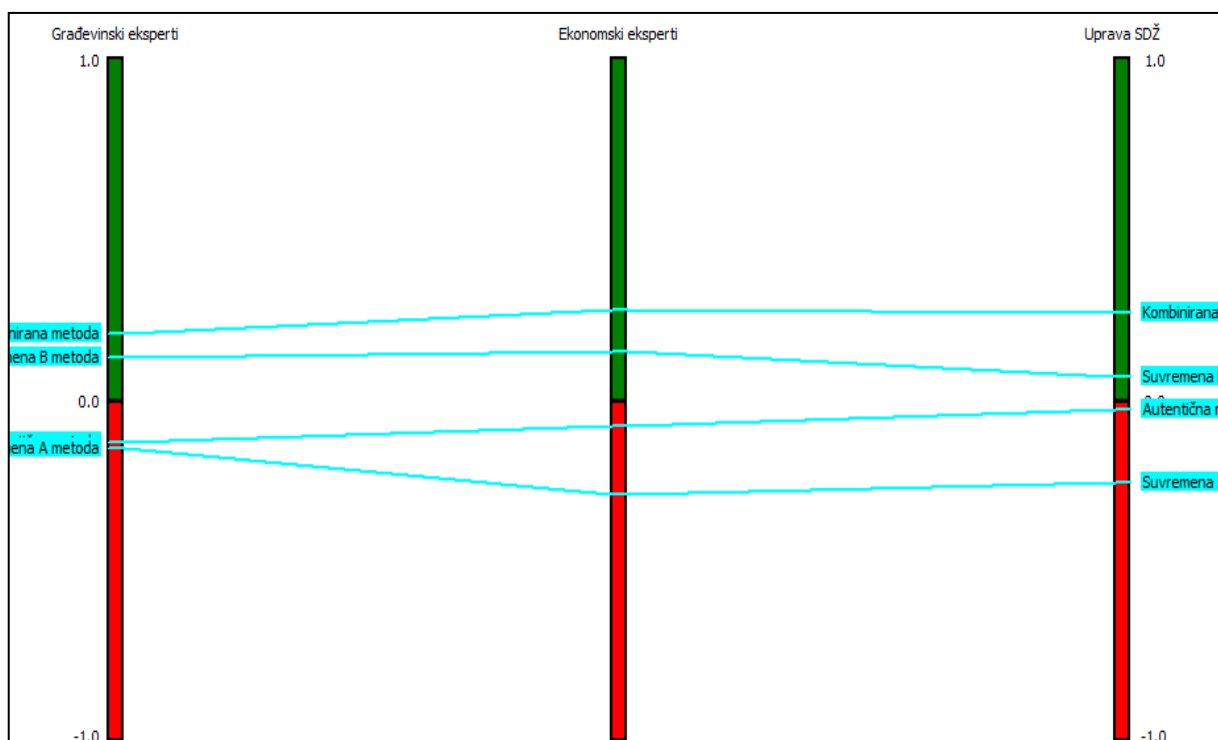
S definiranim težinama kriterija i procijenjenim varijantama, kao s ulaznim parametrima, ide se u metodu PROMETHEE. Pomoću software-a Visual PROMETHEE (Mareschal, 2011) podaci višekriterijalne analize su obrađeni korištenjem metode PROMETHEE II i za svaki scenarij

dobivena je rang lista metoda obnove. PROMETHEE II metoda kao rezultat daje rang listu uspoređujući međusobno definirane metode obnove po svim kriterijima. U tablici 4.35. dana je rang lista metoda obnove po svim scenarijima kao i vrijednosti neto toka ( $\Phi$ ).

Tablica 4.35. Rezultati neto toka i ukupno rangiranje za tri scenarija

Redni broj	Metoda obnove	Phi ( $\Phi$ )		
		Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3
1	Kombinirana	0,1813	0,2555	0,2446
2	Suvremena B	0,1115	0,1288	0,0552
3	Autentična	-0,1381	-0,0914	-0,0398
4	Suvremena A	-0,1547	-0,2929	-0,2601

Iz priloženog se može uočiti kako je po svim scenarijima redosljed metoda isti, na prvome je mjestu kombinirana metoda, nakon koje slijede redom: suvremena B, autentična i suvremena A metoda. Razlike se mogu uočiti u neto tokovima, prema kojima kombinirana metoda dobiva najvišu vrijednost prema scenariju 2. Najveća razlika u vrijednostima neto toka može se uočiti za scenarij 3 gdje kombinirana metoda ima vrijednost  $\Phi=0,2446$ , a suvremena B  $\Phi=0,0552$ . Najmanja razlika pojavljuje se za scenarij 1 gdje je  $\Phi=0,1813$  za kombiniranu (što je ujedno i najmanja vrijednost kombinirane metode), a za suvremenu B,  $\Phi=0,1115$ . Slika 4.19. grafički prikazuje rang liste triju scenarija i njihovu međusobnu usporedbu.

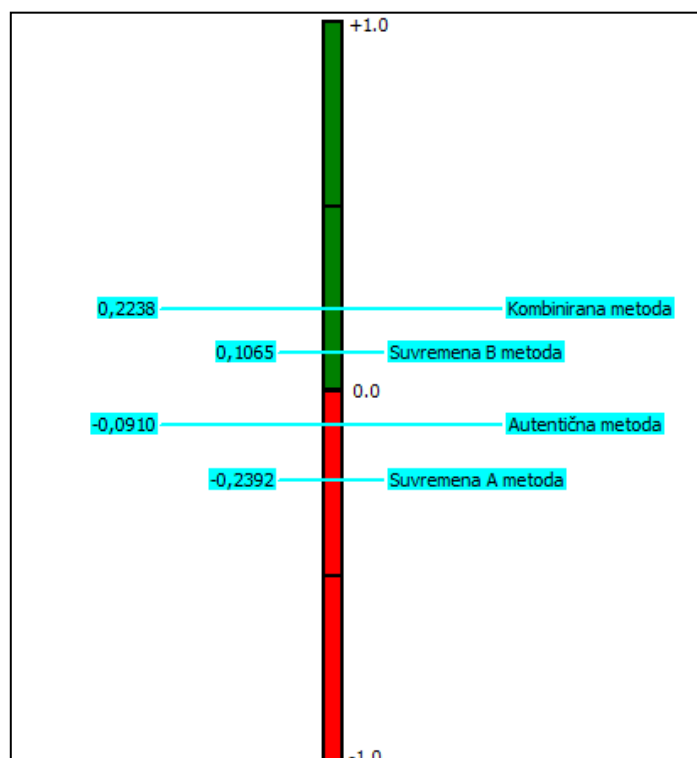


Slika 4.19. Rang liste triju različitih scenarija i njihova međusobna usporedba

Rang lista prosječne vrijednosti svih scenarija, nazvana scenarij 4, prikazana je u tablici 4.36. Kao što je dobiveno i za ostale scenarije, prema scenariju 4 kombinirana metoda je prva rangirana s vrijednošću neto toka  $\Phi=0,2238$ , a ostale metode su zadržale isti rang. Slika 4.20. daje grafički prikaz rezultata neto tokova i ukupne rang liste za scenarij 4.

Tablica 4.36. Rezultati neto toka i ukupno rangiranje metoda obnove za scenarij 4

Redni broj	Metoda obnove	Phi ( $\Phi$ )
		Scenarij 4
1	Kombinirana	0,2238
2	Suvremena B	0,1065
3	Autentična	-0,0910
4	Suvremena A	-0,2392



Slika 4.20. Grafički prikaz rezultata neto tokova i ukupnog rangiranja za scenarij 4

Intervali stabilnosti, prikazani u tablici 4.37., predstavljaju gornju i donju vrijednost težina u postocima za svaki kriterij prema svakom scenariju. Unutar tih intervala ukupno rangiranje po PROMETHEE II metodi ostaje nepromijenjeno što dodatno potvrđuje ispravnost zadanih težina.

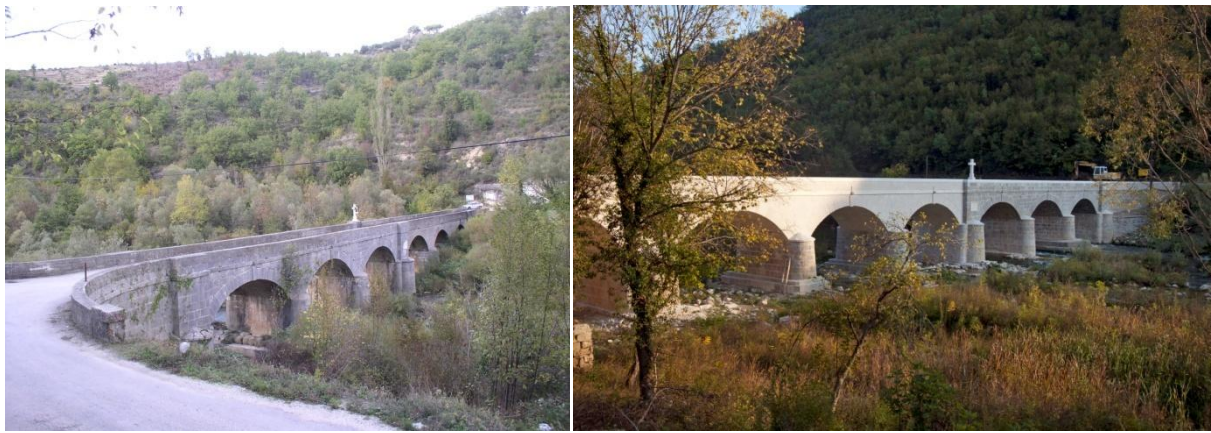
Tablica 4.37. Intervali stabilnosti za navedene kriterije po svakom scenariju

Kriterij	Interval stabilnosti [% , %]			
	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3	Scenarij 4 (prosječna težina)
K1	[17.81 , 100]	[0.00 , 100]	[0.00 , 100]	[0.00 , 100]
K2	[0.00 , 22.70]	[0.00 , 38.16]	[0.00 , 36.42]	[0.00 , 31.13]
K3	[0.00 , 13.25]	[0.00 , 27.23]	[0.00 , 34.44]	[0.00 , 29.57]
K4	[0.00 , 11.33]	[0.00 , 26.54]	[5.66 , 28.19]	[0.00 , 23.20]
K5	[2.57 , 100]	[0.00 , 100]	[4.66 , 100]	[0.00 , 100]
K6	[5.41 , 86.95]	[0.00 , 92.99]	[0.00 , 95.07]	[0.00 , 92.18]
K7	[0.00 , 7.16]	[0.00 , 19.21]	[0.00 , 24.48]	[0.00 , 17.47]
K8	[3.93 , 19.98]	[0.00 , 20.18]	[0.00 , 14.12]	[0.00 , 18.73]
K9	[3.50 , 19.56]	[0.00 , 21.90]	[0.00 , 17.85]	[0.00 , 20.30]
K10	[3.29 , 23.57]	[0.00 , 23.79]	[0.00 , 15.98]	[0.00 , 21.92]

Analiza rezultata jasno pokazuje da kombinirana metoda zadovoljava uvjete glavnog cilja po svim scenarijima. Ostale metode obnove pokazale su se nedovoljno prikladnima za obnovu Pavića mosta, posebice suvremena A metoda koja zahtijeva kompletnu zamjenu povijesnog mosta novim, pritom ne koristeći autentični materijal kojim je most izvorno građen. Kombinirana metoda ne narušava postojeći povijesni i ekološki sklad, već izvršava potrebne izmjene kojima se poboljšava stabilnost i prometna funkcionalnost mosta.

Sve prethodno rečeno, zajedno sa slikama (4.19. i 4.20.), predstavlja analizu rezultata, odnosno jednostavnu/konciznu podlogu na temelju koje konačni donositelj odluke (sada s više informacija) može odabrati između predloženih metoda obnove. U ovom slučaju krajnji donositelj odluke je ŽUC SDŽ.

Model izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta omogućava definiranje i bolje razumijevanje informacijskog toka procesa odlučivanja u kontekstu planiranja. Vrlo je važno da mišljenja svih dionika budu uzeta u obzir te da konačno zajedničko mišljenje bude preneseno krajnjem donositelju odluke, što je postignuto s dobivenim rezultatima na temelju kojih se on mogao odlučiti za adekvatnu metodu obnove. Iz svega prikazanog i rečenog model se pokazao vrlo korisnim, lako razumljivim i efikasnim te kao kvalitetna podrška u odlučivanju o planiranju projektnog zadatka izbora metoda obnove povijesnog cestovnog mosta. Na skupini fotografija 4.6 prikazan je Pavića most prije i poslije primijenjene kombinirane metode obnove. Most je obnovljen 2008. godine prema dokumentu: "Pavića most preko rijeke Cetine: Ekspertiza o stanju mosta i projekt sanacije".



Fotografija 4.6. Pavića most (lijevo- prije obnove; desno- poslije obnove) (Radnić i Smilović, 2008)

#### **4.6. Praktične spoznaje o stanju i načinu planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova SDŽ-a**

Analiza problema istraživanja rezultirala je detaljnim uvidom u proces planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova kao složene i nestrukturirane zadaće. U praksi se ovaj proces provodi najčešće nesistematičnim i nesustavnim odnosno neorganiziranim i neplaniranim odlučivanjem. Pritom se odluke donose s nedostatkom korištenja postojećih kvantitativnih metoda, tehnika i modela te nedovoljnim razvojem novih. Iz toga se može zaključiti da ovakav pristup odlučivanja ne može rezultirati efikasnim i sustavnim planiranjem obnove povijesnih cestovnih mostova, što su potvrdili i razni znanstveni i stručni članci, razgovori s ekspertima i upraviteljima. Stoga se pristupilo uvođenju novog pristupa odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova u obliku općeg generičkog modela SPO-a usmjerenog na povećanje efikasnosti i djelotvornosti procesa planiranja obnove navedenih mostova.

Za potrebe ove disertacije razvijen je model SPO-a, kao interaktivni sustav podržan računalom, koji pomaže donositelju odluke koristiti podatke i modele za rješavanje nestrukturiranih zadaća kao što je planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova. Modeli koji su se razvili unutar baze modela navedenog sustava za podršku odlučivanju, koristili su pristup višekriterijalne analize i višekriterijalne metode (AHP, PROMETHEE I, II i V te GAIA) te ekspertne sustave (neizravna logika). Navedene višekriterijalne metode uključene su u bazu modela s obzirom na proces za čiju podršku su bile najpotrebnije i to na taktičkoj i strateškoj razini odlučivanja. Razlog primjene višekriterijalne analize "leži" u složenoj problematici planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova gdje je proces odlučivanja na višim razinama višekriterijalan, odnosno sastoji se od više međusobno konfliktirajućih kriterija. Tako je proces višekriterijalne analize korišten za model rangiranja povijesnih cestovnih mostova prema prioritetu za aktivnost obnove te za model

izbora metode obnove. Za oba navedena modela definirani su relevantni kriteriji i njihove relativne važnosti od strane generiranih adekvatnih dionika. Za model izbora upraviteljskog pristupa potrebno je bilo definirati ograničenja i to prostorno-funkcionalna, financijska i njihovu kombinaciju. Za sve tri skupine ograničenja uvedeno je i vremensko ograničenje (vrijeme potrebno za obnovu pojedinog mosta). Za realizaciju modela procjene stanja povijesnog cestovnog mosta korišteni su podaci stručne vizualne inspekcije mostova te se pristupom neizravne logike došlo do konačne ocjene stanja pojedinog mosta koja ujedno predstavlja i vrijednost indeksa procjene stanja navedenih mostova. Dobivena vrijednost indeksa koristila se kao ocjena varijanti po istoimenom kriteriju.

Model SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova inovativan je i glavni doprinos ove disertacije. U dosadašnjoj literaturi SPO se koristio u slučaju upravljanja mostovima, za betonske mostove ili betonsku ploču mosta (Rashidi i ostali, 2016; Dabous i Alkas, 2012; Dabous, 2008; Yehia i ostali, 2008). Navedeni autori razvili su SPO u kombinaciji s višekriterijalnom analizom, međutim pristup se koristio isključivo za betonske mostove, što znači da su definirani kriteriji karakteristični za te mostove, za koje nije uključena i konzervatorska komponenta. Također, u navedenoj literaturi nije se koristio pristup modificirane neizravne logike za procjenu stanja mosta. Unutar modela SPO-a razvijena su, prije spomenuta, četiri modela u njegovoj bazi modela. Dosadašnjih istraživanja za izbor upraviteljskog pristupa pri planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova nema, kao ni za izbor metode obnove povijesnog cestovnog mosta. Međutim, istraživanja za procjenu stanja mostova dali su: Tee i ostali (1988), Melhem i Aturaliya (1996), Sasmal i ostali (2006), Sasmal i Ramanjaneyulu (2008). U navedenim istraživanjima primijenila se neizravna logika za procjenu stanja betonskih mostova ili ploče mosta. Korištena je vizualna inspekcija za procjenu elemenata. Elementi su svrstani u skupine odnosno komponente (gornji ustroj (engl. *superstructure*), donji ustroj (engl. *substructure*) i ploča (engl. *deck*). U ovom istraživanju elementi su svrstani u komponente gornji ustroj, donji ustroj i oprema te je riječ o kamenim mostovima ili kameno-betonskim. Ukupan broj elemenata svake komponente razlikovao se od mosta do mosta, što nije bio slučaj u navedenim istraživanjima. Također, za realizaciju modela procjene stanja povijesnih cestovnih mostova korišten je pristup FWGM-a kojim se u obzir uzela geometrijska sredina za ocjenu stanja mosta te se metodologija dobivanja ocjene uvelike razlikovala od one definirane dosadašnjim istraživanjima koji su koristili pristup FWA (koji uključuje aritmetičku sredinu).

Iz svega navedenog može se zaključiti kako je novorazvijenim modelom SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova moguće postići cjelovito prikupljanje raspoloživih i potrebnih podataka, njihovo obrađivanje i prezentiranje rezultata donositeljima odluke, čime im

se olakšava proces odlučivanja te se osigurava sustavno i sistematično planiranje obnove navedenih mostova. Za definirani model SPO-a korištene su suvremene tehnike i metode te je model primjenjiv u praksi. Značajno doprinosi učinkovitosti i djelotvornosti pri planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova, čime je ostvaren definirani glavni doprinos ove disertacije.



## 5. ZAKLJUČAK

S obzirom na složenost ukupne problematike planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova, izvršena je sustavna analiza koja je rezultirala razvojem jedinstvenog SPO-a. Predloženi model je alat za poboljšanje i unaprjeđenje planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova. Implementiranje SPO-a, pomoću predložene metodologije, omogućava uključenje svih relevantnih dionika u proces odlučivanja te olakšava donošenje odluka koje se odnose na planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova. Metodologija razvoja SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova svrstava dionike u tri razine međusobno povezane tokovima informacija te omogućava njegovu izgradnju kroz četiri komponente. Interakcija komponenata sustava omogućava njegovu realizaciju. Unutar pojedine komponente nalazi se odgovarajuća baza. U navedenim bazama obavljaju se ključne funkcije kao što su pohrana podataka, pohrana znanja, realizacija modela na temelju prikupljenih podataka i znanja te, kao zadnja radnja, komunikacija s korisnikom. Donošenje odluka pri planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova zbog izrazite nestrukturiranosti problema koja proizlazi iz međusobno neusklađenih mišljenja svih dionika te međusobno neusporedivih i često konfliktnih kriterija, zahtjeva stvaranje ovakvog jedinstvenog SPO-a.

Na operativnoj razini donose se operativne odluke te se prikupljaju i obrađuju podaci koji se koriste na višim razinama. Relevantni podaci obrađuju se u obliku podloga za donošenje odluka na višim razinama. Odluke na ovoj razini donose se za rješavanje dobro strukturiranih problema. Na taktičkoj razini donose se taktičke odluke koje su kvalitetnije od onih na nižoj razini jer su utemeljene na podacima u obliku podloga za donošenje odluka, a i uključuju relevantne dionike. Na ovoj razini problemi su kompleksniji i slabo strukturarni te se iz tog razloga razvio model izbora metode obnove za čiju su se realizaciju koristile višekriterijalna analiza i višekriterijalne metode AHP i PROMETHEE II. Rezultat modela je prioritarna rang lista metoda obnove prema kojoj se odabire ona najprikladnija za obnovu specifičnog mosta. Realizacijom novorazvijenog modela ostvaruje se podrška odlučivanju potrebna za poboljšanje njegove kvalitete. Na strateškoj razini donose se odluke o izboru strategije za što se koriste podaci pripremljeni na nižim razinama, a pri tome se i drugi izvori podataka također sagledavaju. S obzirom na to da je na ovoj razini riječ o nestrukturiranim zadaćama nužna je bila izgradnja modela kojim bi se dobila adekvatna rješenja. Kao i na taktičkoj razini, potreba se ukazala za višekriterijalnom analizom i višekriterijalnim metodama. Na strateškoj razini razvijena su tri nova modela. Za prvi model koristile su se metode AHP, PROMETHEE I i II te GAIA, pomoću kojih se, uz definiranje potrebnih kriterija i njihovih relativnih važnosti, kao rezultat dobila rang lista povijesnih

cestovnih mostova prema prioritetu za obnovu. U proces realizacije navedenog modela su bili uključeni svi relevantni dionici: upravitelj, eksperti i konzervatori te korisnici koji su svoja mišljenja izrazili preko težinskih vrijednosti.

Realizacija modela izbora upraviteljskog pristupa zahtijevala je definiranje potrebnih ograničenja. Tri definirana pristupa razlikovala su se s obzirom na zadana im ograničenja pa je tako za prvi pristup definirano financijsko ograničenje, za drugi prostorno-funkcionalna ograničenja (u kojem se u mostovi podijelili u skupine s obzirom na to kojem području SDŽ-a pripadaju), a za treći pristup korištena je kombinacija prostorno-funkcionalnih i financijskih ograničenja odnosno kombinacija prva dva pristupa. Za sva tri pristupa definirana je i vremenska komponenta odnosno vrijeme potrebno za obnovu, kao dodatno ograničenje. Cijela metodologija navedenog modela provedena je uz pomoć višekriterijalne metode PROMETHEE V.

Za treći model na strateškoj razini, model procjene stanja povijesnog cestovnog mosta, koristio se postupak neizrazite logike, točnije pristupa FWGM-a koji se bazira na dobivanju ocjene mosta pomoću neizrazite geometrijske sredine i centroid metode. Za potrebe navedenog modela prikupljeni su podaci o pojedinom mostu koji se temelje isključivo na vizualnoj ekspertnoj procjeni elemenata mosta. Tako su dobivene ocjene komponenata (gornji ustroj, donji ustroj i oprema) kojima se onda dodijelila relativna važnost pomoću metode AHP te se zbrojem ponderiranih ocjena komponenata dobila konačna ocjena mosta. Na ovaj način potvrdila se pretpostavka kako novoformirani ekspertni sustav, uz prikupljene adekvatne podatke i znanje, omogućuje zaključke o povijesnim cestovnim mostovima koje je i sam ekspert donio.

Posebno značenje ovog pristupa odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova je mogućnost uključivanja svih dionika, kojih se razmatrana problematika tiče ili ih interesira ili su visokokvalificirani stručnjaci za nju, u postupak rješavanja njezinih slaboustruktuiranih i nestruktuiranih zadataka. Stoga su definirane tri skupine dionika na taktičkoj i četiri na strateškoj razini odlučivanja.

Kao zaključak može se utvrditi kako je predloženi novooblikovani SPO u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova efikasan i adekvatan alat za donositelja odluke. Sustav je funkcionalan, prilagodljiv i lako ga se može nadograđivati prema potrebi te pruža podršku odlučivanju čime se osigurava njezina kvaliteta što je dokazano validacijom svih modela definiranih unutar baze modela. Implementacija samog sustava je poprilično zahtjevna i složena, međutim, istovremeno osigurava organizirano, sustavno i sistematično provođenje planiranja obnove povijesnih cestovnih mostova na području SDŽ-a. Novorazvijeni SPO, sa svojom funkcionalnošću i prilagodljivošću, poboljšava kvalitetu odlučivanja što je prikazano validacijom svih prezentiranih modela iz baze modela. Stoga se može zaključiti, da je na temelju predloženog

modela SPO-a u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova te njegove validacije na primjeru mostova na području SDŽ-a, moguće uspostaviti novi model SPO-a, temeljenog na višekriterijalnoj analizi i ekspertnom sustavu, kojim se unaprjeđuje kvaliteta odlučivanja u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova, čime je potvrđena hipoteza ove disertacije te je ostvaren glavni doprinos istraživanja i njemu podržavajući doprinosi. U proces je uključen velik broj dionika predvođenih svojim predstavnikom, obrađena je velika količina podataka korištenjem novooblikovanih i adekvatnih modela podrške. Prethodno navedeno upućuje na to da se ovako predložena podrška odlučivanju, u slučaju dobro strukturiranih, slabo strukturiranih i nestrukturiranih zadaća, oblikovanih od određene količine podataka, pokazala efikasnom i kvalitetnom. Novo razvijeni model SPO-a moguće je nadograđivati s obzirom na buduće spoznaje problema prilikom daljnjeg istraživanja.

## LITERATURA

- [1] AASHTO, "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", 6th Edition.
- [2] Alter, S.L., "A Study of Computer Aided Decision Making in Organizations", Doktorska disertacija, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, SAD, 1975.
- [3] Alter, S.L., "Why Is Man-Computer Interaction Important for Decision Support Systems?", *Interfaces*, 7(2), 109–115, 1977.
- [4] Alter, S.L., "Decision Support Systems: Current Practice and Continuing Challenge", Reading, MA: Addison-Wesley, 1980.
- [5] Arnott, D., Pervan, G., "A critical analysis of decision support systems research", *Journal of Information Technology*, 20(2), 67–87, 2005.
- [6] Angeli, C., "Online expert systems for fault diagnosis in technical processes", *Expert Systems*, 25(2), 115-132, 2008.
- [7] Anthony, R.N., "Panning and Control Systems: A Framework for Analysis", Cambridge, MA: Harvard University Graduate School of Business, 1965.
- [8] ARRB, "Local Roads Bridge Manual", Transport Research Ltd, 2000.
- [9] Awerwef, U.R.F., "Decision-making support systems: Theory and practice", Cape Town, South Africa, 2012.
- [10] Behzadian, M., Kazemzadeh, R.B., Albadvi, A., Aghdasi, M., "PROMETHEE: a comprehensive literature review on methodologies and applications", *Eur. J. Oper. Res.* 200, 198–215, 2010.
- [11] Bello-Dambatta, A., Farmani, R., Javadi, A., Evans, B., "The Analytical Hierachy Process for Contaminated Land Management", *Advanced Engineering Informatics*, 23, 433–441, 2009.
- [12] Belton, V., Stewart, T.J., "Multiple Criteria Decision Analysis: an Integrated Approach", Kluwer Academic Publisher, 2009.
- [13] Bhatt, G.D., Zaveri, J., "The enabling role of decision support systems in organizational learning", *Decision Support Systems*, 32, 297 – 309, 2002.
- [14] Bitunjac, I., N. Jajac, and I. Katavić., "Decision support to sustainable management of bottom trawl fleet", *Sustainability*, 8(3), 204–19, 2016.
- [15] Bidgoli, H., "Decision Support Systems: Principles and Practice", St Paul: West Publishing Company, 1989.
- [16] Bjerrum, J., Jensen, F., "Internet-based management of major bridges and tunnels using the Danbrotsystem", In: P.J.S. Cruz, D.M. Frangopol, and L.C. Neves, eds. *Proceedings of IABMAS2006 the 3rd international conference on bridge maintenance*,

- safety, management, life-cycle performance and cost, 16–19 July 2006, Porto, Portugal. London, UK: CRC-Press-Balkema-Taylor & Francis Group, 598–605, 2006.
- [17] Bolar, A., Tesfamariam, S., Sadiq, R., "Condition assessment for bridges: a hierarchical evidential reasoning (HER) framework", *Structure and Infrastructure Engineering*, 9(7), 648-666, 2013.
- [18] Bonczek, R.H., Holsapple, C.W., Whinston, A.B., "The Evolving Roles of Models in Decision Support Systems", *Decision Sciences*, 11(2), 339-356, 1980.
- [19] Bonyuet, M., Garcia-Diaz, A., Illy, V., Hicks, I., "Optimization Procedures for Simultaneous Road Rehabilitation and Bridge Replacement Decisions in Highway Networks", *Taylor & Francis*, 34(5), 445-459, 2002.
- [20] Brans, J.P., De Smet, Y., "PROMETHEE methods", *Multiple Criteria Decision Analysis*. 233, 187-219, 2016.
- [21] Brans, J.P., Mareschal, B., "Promethee-V-MCDM problems with segmentation constraints", *INFOR*. 30(2), 85-96, 1992.
- [22] Brans, J.P., Mareschal, B., "The PROMCALC and GAIA decision support system for multicriteria decision aid", *Decision Support Systems*, 12:297–310, 1994.
- [23] Brans, J.P., Mareschal, B., "PROMETHEE methods", In: Figueira, J., Figueira, J., Greco, S., Greco, S., Ehrgott, M., Ehrgott, M. (Eds.), *Multi Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer, New York, 2005.
- [24] Brans, J.P., Mareschal, B., Vincke, P.H., "PROMETHEE - A New Family of Outranking Methods in Multicriteria Analysis", *Operational Research IFORS 84*. J.P. Brans (Ed.), Amsterdam, North Holland, The Netherlands, 477–490, 1984.
- [25] Brans, J.P., Vincke, P.H., "A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM", *Management Science*. 31. 647-656, 1985.
- [26] Burch, J., Frudnitski, G., "Information Systems: Theory and Practice", John Wiley & Sons, 1989.
- [27] Car-Pušić, D., Marović, I., Gudac, I., Medvedec, D., "Prioritization of public investment projects: Case study of GSC portfolio", *Proc. 34th Int. Conf. on Organizational Science Development*, March 25-27, Portorož, Slovenia, 2015.
- [28] Chamberlin, W.P. , "Synthesis of Highway Practice 275- Historic Highway Bridge Preservation Practice", *National Cooperative Highway Research Program*, Schenectady, New York, 1999.
- [29] Chassiakos, A., Vagiotas, P., Theodorakopoulos, D., "A knowledgebased system for maintenance planning of highway concrete bridges", *Advances in Engineering Software*, 36(11-12), 740-749, 2005.

- [30] Cinelli, M., Coles, S.R., Kirwan, K., "Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment", *Ecological Indicators*, 46, 138–148, 2014.
- [31] Claudilu, B., "Contributions to Conception, Design and Development of Decision Support Systems", Doktorska disertacija, Sveučilište Cluj-Napoca, Rumunjska, 2007.
- [32] Codd, F.E., "The Relational Model for Database Management", Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
- [33] Courtney, J.F., "Decision making and knowledge management in inquiring organizations: Towards a new decision-making paradigm for DSS", *Decision Support System*, 31(1), 17-38, 2001.
- [34] Dabous, S.A., Alkass, S., "Managing bridge infrastructure under budget constraints: a decision support methodology", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 38, 1227–1237, 2012.
- [35] Dabous, S.A., Alkass, S., "A multi-attribute ranking method for bridge management." *Engineering, Construction and Architectural Management*, 17(3), 282-291, 2010.
- [36] Dabous, S.A., "A decision support methodology for rehabilitation management of concrete bridges", Doktorska disertacija, Sveučilište Concordia, Montreal, Quebec, Kanada, 2008.
- [37] Dagli, V.R., Varmora, S.J., "Database Management System", *RESEARCH HUB – International Multidisciplinary Research Journal*, 1(3), 1-5, 2014.
- [38] de Brito, J., Branco, F., "Computer Aided Lifecycle Costs Prediction in Concrete Bridges", *Engineering Modeling*, 11(3-4), 97-106, 1998.
- [39] de Kock, E., "Decentralising the codification of rules in a decision support expert knowledge base", Doktorska disertacija, Sveučilište Pretoria, Pretoria, Južnoafrička Republika, 2003.
- [40] Donovan, J.J., Madnick, S.E., "Institutional and Ad Hoc DSS and Their Effective Use", *Data Base*, 8(3), 79-88, 1977.
- [41] Elbehairy, H., "Bridge Management System with integrated life cycle cost optimization", Doktorski rad, Waterloo, Ontario, Canada, 2007.
- [42] Elbehairy, H., Hegazy T., Souki, K., "Bridge Management System with Practical Work Zone Planning", *Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering*, Montreal, Canada, 2006a.
- [43] Elbehairy, H., "Bridge management system with integrated life cycle cost optimization", Doktorska disertacija, Sveučilište Waterloo, Waterloo, Ontario, Kanada, 2007.

- [44] Engelbart, D.C., "Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework", Air Force Office of Scientific Research, AFOSR-3233, 1962.
- [45] Farkas, A., "The use of the AHP in civil engineering projects", 8th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking, Budapest, Hungary, 2010.
- [46] Frangopol, D., Liu, M., "Bridge management based on multiple-objective optimization", Proceedings of the 5th International Conference on Bridge Management, Bridge Management 5: Inspection, Maintenance, Assessment and Repair, 235-242, 2005.
- [47] Furuta, H., Watanabe, E., "Bridge maintenance and practical bridge management systems in Japan", In: D.M. Frangopol, R. Sause, and C.S. Kusko, eds. Proceedings of IABMAS2010 the 5th international conference on bridge maintenance, safety, management and life-cycle optimization, 11–15 July 2010, Philadelphia, Pennsylvania, USA. London, UK: CRC-Press-Balkema- Taylor & Francis Group, 1044–1051, 2010.
- [48] Ganguly, A.R., "Software review - data mining components." OR/MS Today, Institute for Operations Research and the Management Sciences, 2002.
- [49] Golabi, K., Shepard, R., "Pontis: A System for Maintenance Optimization and Improvement of U.S. Bridge Networks", Interfaces, 27, 71-88, 1997.
- [50] Gorry, G.A., Scott Morton, M.S., "A Framework for Management Information Systems", Sloan Management Review, 13(1), 55-70, 1971.
- [51] Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R., "Axiomatic characterization of a general utility function and its particular cases in terms of conjoint measurement and rough-set decision rules", European Journal of Operation Research, 158, 271–292, 2004.
- [52] Grove, R., "Internet-based expert systems", Expert Systems, 17(3), 129-135, 2000.
- [53] Guptill, S.C., "Metadata and data catalogues", Geographical information systems, 667-692, 1995.
- [54] Hackathorn, R.D., Keen, P.G.W., "Organizational Strategies for Personal Computing in Decision Support Systems", Management Information Systems Quarterly, 5(3), 21–26, 1981.
- [55] Hammer, J., "Advances in online analytical processing", Data and Knowledge Engineering, 45(2), 127-256, 2003.
- [56] Herva, M., Roca, E., "Review of combined approaches and multi-criteria analysis for corporate environmental evaluation", Journal of Cleaner Production, 39, 355–371, 2013.
- [57] Holt, C. C., Huber, G. P., "A Computer Aided Approach to Employment Service Placement and Counseling", 15(11), 573-595, 1969.

- [58] Hong, N.K., Koh, H.M., Hong, S.G., Bae, B.S., Yoon, W.K., "Toward a Balanced Heritage Management Plan for Old Stone Bridges Considering the Embedded Cultural Significance", *International Journal of Architectural Heritage*, 3(3), 195-211, 2009.
- [59] Huang, I.B., Keisler, J., Linkov, I., "Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends." *Science of the Total Environment*, 409, 3578–3594, 2011.
- [60] Hughes, A.C., Hughes, T.P., "Systems, Experts, and Computers: The Systems Approach in Management and Engineering, World War II and After", Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, SAD, 2000.
- [61] ICOMOS, "Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage", *International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage*, 2001.
- [62] Indiana Department of Transportation (INDOT), "Bridge Rehabilitation", Design manual, preuzeto (17. ožujka 2018), 2013. URL:[http://www.in.gov/indot/design\\_manual/](http://www.in.gov/indot/design_manual/).
- [63] Ismail, N., Ismail, A. Atig, R., "An Overview of Expert Systems in Pavement Mangement", *European Journal of Scientific Research*, 30(1), 99-111, 2009.
- [64] Isohata, H., "A study on Repair and Strenthening of Historical Steel Bridges", *Fourth International Conference on Current and Future Trends in Bridge design, construction and maintenance*, Intitution of Civil Engineers, Kuala Lumpur, Malezija, 2005.
- [65] Jajac, N., "Modeliranje sustava za podršku odlučivanju o razvoju i održavanju urbane cestovne infrastrukture", *Doktorski rad*, Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Split, 2010.
- [66] Jajac, N., Bilić, I., Ajduk, A., "Decision support concept to management of construction projects – problem of construction site selection", *Croatian Operational Research Review*, 4, 235-246, 2013.
- [67] Jajac, N., Rogulj, K., Radnić, J., "Selection of the Method for Rehabilitation of Historic Bridges - Decision Support Concept for Planning of Rehabilitation Projects", *International Journal of Architectural Heritage*, 11(2), 261-277, 2017.
- [68] Kandel, A., "Fuzzy expert systems“, CRC Press., 1991.
- [69] Karande, P., Chakraborty, S., "Application of PROMETHEE-GAIA method for non-traditional machining processes selection", *Management Science Letters*, 2, 2049–2060, 2012.
- [70] Kawamura, R., Miyamoto, A., Ishida, J., "J-BMS database system 2007 for management of existing bridges in Yamaguchi prefecture", In: H.M. Koh, and D.M.



- Frangopol, eds. Proceedings of IABMAS2008 the 4th international conference on bridge maintenance, safety, management, health monitoring and informatics, 13–17 July 2008, Seoul, Korea. London, UK: CRC-Press- Balkema-Taylor & Francis Group, 2626–2633, 2008.
- [71] Keen, P.G.W., Scott Morton, M.S., "Decision Support Systems: An Organizational Perspective", Reading: Addison-Wesley, 1978.
- [72] Khan, S., Ganguly, A.R., Gupta, A., "Creating Knowledge for Business Decision Making", Encyclopedia of knowledge management, David G. Schwartz, Sveučilište Bar-Ilan, Izrael, 81-89, 2006.
- [73] Khorasani, E.S., Rahimi, S., Patel, P., Houle, D., "CWJess: Implementation of an Expert System Shell for Computing with Words", Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems pp. 33–39, 2011.
- [74] Kiliç, M, Kaya, I., "Investment project evaluation by a decision making methodology based on type-2 fuzzy sets", Applied Soft Computing, 27, 399–410, 2015.
- [75] Knezić, S., "Model gospodarenja kakvoćom obalnog mora", Doktorska disertacija, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 1998.
- [76] Kong, J.S. i drugi, "Novel management system for steel bridges in Korea", In: P.J.S. Cruz, D.M. Frangopol, and L.C. Neves, eds. Proceedings of IABMAS2006 the 3rd international conference on bridge maintenance, safety, management, life-cycle performance and cost, 16–19 July 2006, Porto, Portugal. London, UK: CRC-Press-Balkema-Taylor & Francis Group, 133–134, 2006.
- [77] Kou, G., Shi, Y., Wang, S., "Multiple criteria decision making and decision support systems - Guest editor's introduction", Decision Support Systems, 51, 247-249, 2011.
- [78] Kršinić, N., "Sustav za upravljanje i gospodarenje mostovima u Republici Hrvatskoj", Zbornik radova, IV kongresa DHGK, Hrvatsko društvo građevinskih konstruktora, J. Radić (ur.), pp. 87-93, Cavtat 1996.
- [79] Kumar, A., Sah, B., Singh, A.R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., Bansald, R.C., "A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69, 596-609, 2017.
- [80] Kuvačić, B.; Jurić, S., "Sustav gospodarenja građevinama u „Hrvatskim autocestama“ d.o.o.", Ceste i mostovi, 54 (6), 26-30, 2008.
- [81] Lee, T. S., "Buried treasure: cheonggyecheon restoration project", Civil Engineering, the Magazine of the American Society of Civil Engineers 74(1), 9–20, 2004.
- [82] Liao, H.K., Yen, C.I., Yau, N.J., "Development of a bridge maintenance decision support module for Taiwan Bridge Management System", In: H.M. Koh, and D.M.

- Frangopol, eds. Proceedings of IABMAS2008 the 4th international conference on bridge maintenance, safety, management, health monitoring and informatics, 13–17 July 2008, Seoul, Korea. London, UK: CRC-Press-Balkema-Taylor & Francis Group, 606–613, 2008.
- [83] Lokošek, E., "Prilog metodama očuvanja nosivog sustava graditeljskog naslijeđa". predavanje u sklopu 6. ciklusa predavanja u organizaciji Sekcije za arhitektonsko naslijeđe DAZ-a, Društvo arhitekata Zagreba (DAZ), Zagreb, 2012.  
preuzeto (10. ožujka 2018),  
URL:<https://www.arhitekti-hka.hr/hr/strucno-usavrsavanje/prilog-metodama-ocuvanja-nosivog-sustava-graditeljskog-naslijeda,358.html>.
- [84] Maier, R., "Knowledge management systems: Information and communication technologies for knowledge management", (2<sup>nd</sup> ed.), Berlin, Germany: Springer, 2004.
- [85] Marović, I., "Sustav za podršku odlučivanju u upravljanju vrijednostima nekretnina." Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, Hrvatska, 2013.
- [86] Marović, I., "Strategic decision making – choosing the investment project out of public administration portfolio", Eds. Divić, V., Trogrlić, B., Gotovac, H., Zajednički temelji, 39-40. Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, Hrvatska, 2013.
- [87] Marović, I., Car-Pušić, D., Hrvatin, Z., "Establishing a model to evaluate public administration projects", e-GFOS, 5, 56-66, 2013.
- [88] Marović, I., Hanak, T., "Selection of adequate site location during early stages of construction project management: A multi-criteria decision analysis approach", IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 251, 2017, 012044 doi:10.1088/1757-899X/251/1/012044.
- [89] McCosh, A., "Comments on 'A Brief History of DSS', e-mail za D. Power, pristup (27. prosinca 2017.), 2002.: URL <http://dssresources.com/history/dsshhistory.html>
- [90] Mintzberg, H.A., "The Nature of Managerial Work", Prentice Hall, New Jersey, SAD, 1980.
- [91] Mladineo, N., "Istraživanje postupaka optimizacije u proizvodnji, transportu i otrošnji betona", Doktorska disertacija, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, Hrvatska., 2006.
- [92] McCowan, A. K., Mohamed S., "Decision Support System to Evaluate and compare Concession Options", Journal of Construction Engineering and Management, 133(2), 114-123, 2007.

- [93] Mladineo, N., "Istraživanje postupka optimizacije u proizvodnji, transportu i potrošnji betona", Doktorska disertacija, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2006.
- [94] Melhem, H., Aturaliya, S., "Bridge condition rating using an eigenvector of priority setting", *Microcomputers in Civil Engineering*, 11(6), 421-432, 1996.
- [95] Moore, D., Refaat M., de Fleuriot E., Nordengen P., "Implementation of a Bridge Maintenance Management System for Dubai, United Arab Emirates", *Austrroads 8th Bridge Conference Sydney, Australia*, 2011.
- [96] Newell, A., Simon, H.A., "Human Problem Solving." Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1972.
- [97] O'Brien, J.A., Marakas, G.M., "Management Information Systems", 10. izdanje, McGraw-Hill, New York, 2011.
- [98] Oliveira, D.V., Lourenço, P.B., "Repair of stone masonry arch bridges", *ARCH'04 - 4th International Conference on Arch Bridges, Barcelona: CIMNE*, 2004.
- [99] Olson, D.L., Courtney Jr., J.F., "Decision support models and expert systems." Macmillan Publishing Company, SAD, 1992.
- [100] Payne, J., "Components of DSS Data Management Subsystem Model Management Subsystem." [Power Point prezentacija], 2016.  
 pristup (30. prosinca 2017.): URL <http://slideplayer.com/slide/7288144/>
- [101] Penadés-Plà, V., García-Segura, T., Martí, J.V., Yepes, V., "A Review of Multi-Criteria Decision-Making Methods Applied to the Sustainable Bridge Design", *Sustainability*, 8, 1295, 2016. doi:10.3390/su8121295.
- [102] Poer, D.J., "A Brief History of Decision Support Systems", *DSSResources.COM*, 2003. (Editor), verzija 2.8, 31. svibnja  
 (<http://www.dssresources.com/history/dsshhistory.html>).
- [103] Power, D.J., "Supporting Decision-Makers: An Expanded Framework", In Harriger, A., *e-Proceedings Informing Science Conference, Krakow, Poland*, 431-436, 2001.
- [104] Power, D. J., "Decision support systems: concepts and resources for managers", Westport, Conn., Quorum Books, 2002.
- [105] Power, D.J., "A Brief History of Decision Support Systems", *Decision Support System*, 2007.  
 Resources.com, pristup (30. prosinca 2017):  
 URL <http://dssresources.com/history/dsshhistory.html>, version 4.1.

- [106] Power D., "Decision Support Systems: A Historical Overview", Handbook on Decision Support Systems 1. International Handbooks Information System. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [107] Power, D. J., "Engineering Effective Decision Support Technologies: New Models and Applications", IGI Global, 2013.
- [108] Proske, D., Hübl, J., "Historical arch bridges under horizontal loads", ARCH'07 – 5th International Conference on Arch Bridges, Madeira, 2007.
- [109] Puž, G, Radić, J., Tenžera, D., "Predviđanje stanja mostova radi optimalizacije održavanja", Građevinar, 65(12), 1079-1088, 2013.
- [110] Puž, G., Bleiziffer, J., Radić, J., "Sustav nadzora i upravljanja mostovima", Zbornik radova, Graditelji – nositelji razvojnih projekata Republike Hrvatske, (ur. Radić, J.), Cavtat, 16 493.-504. 17, 2004.
- [111] Ramos, C., Augusto, J.C., Shapiro, D., "Ambient Intelligence - the Next Step for Artificial Intelligence", IEEE Intelligent Systems, Special Issue on Activity - Based Computing, 15-18, 2008.
- [112] Radić, J., "Prosudba utjecaja na trajnost mostova u Hrvatskoj", Zbornik radova prvog znanstvenog kolokvija "Mostovi", Društvo hrvatskih građevinskih konstruktora, Brijuni, 219-232, 1991.
- [113] Radić, J, Mandić, A., Augustinović, I., "Ocjenjivanje postojećih konstrukcija". Građevinar, 61 (9), 901-912, 2009.
- [114] Rashidi, M., Lemass B., "Holistic Decision Support for Bridge Remediation", The 4th International Conference on Construction Engineering and Project Managment (ICCEPM), Sydney, Australia, 2011a.
- [115] Rashidi, M., Lemass B., Gibson P., "A Decision Support System for Concrete Bridge Maintenance", 2nd International Symposium on Computational Mechanics and the 12th International Conference on the Enhancement and Promotion of Computational Methods in Engineering and Science, Hong Kong- Macau (Kina) American Institute of Physics (AIP), 2010.
- [116] Rashidi, M., Ghodrat, M., Samali, B., Kendall, B., Zhang, C., "Remedial Modelling of Steel Bridges through Application of Analytical Hierarchy Process (AHP)", Applied Science, 7, 168, 2017. doi:10.3390/app7020168.
- [117] Rashidi, M., Samali, B., Sharafi, P., "A new model for bridge management: Part A: condition assessment and priority ranking of bridges", Australian Journal of Civil Engineering, 14(1), 35–45, 2016a.

- [118] Rashidi, M., Samali, B., Sharafi, P., "A new model for bridge management: part B: decision support system for remediation planning", *Australian Journal of Civil Engineering*, 14(1), 46-53, 2016b.
- [119] Rashidi, M., "Decision support system for remediation of concrete bridges", Doktorski rad, Sveučilište Wollongong, Wollongong, Australia, 2013.
- [120] Raymond, R.C., "Use of the Time-sharing Computer in Business Planning and Budgeting", *Manage Science*, 12(8), 363–381, 1996.
- [121] Rodrigues, J. D., Grossi, A., "Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions", *Journal of Cultural Heritage*, 8, 32–43, 2007.
- [122] Rodrigues, N., Ramos, A., Branco, F., "Rehabilitation of Historical Masonry Bridges", 1st International Conference Construction Heritage in Coastal and Marine Environments – Damage, Diagnostic, Maintenance and Rehabilitation, Portugal, 2008.
- [123] Robelin, C.A., Madant, C.M., "Network-Level Reliability-Based Bridge Inspection, Maintenance and Replacement Optimization Model", Earlier Faculty Research, Sveučilište California, Berkeley, US, 2006.
- [124] Rogulj, K., Jajac, N., "Achieving a Construction Barrier-Free Environment: Decision Support to Policy Selection", *Journal of Management in Engineering (ASCE)*, 34(4), 1-18, 2018.
- [125] Rouse, M., "Database Management System (DBMS)", TechTarget, 2015.  
pristup (30. prosinca 2017.):  
URL <http://searchsqlserver.techtarget.com/definition/database-management-system>
- [126] Safi, M., Sundquist, H., Karoumi, R., Racutanu, G., "Development of the Swedish bridge management system by upgrading and expanding the use of LCC", *Structure and Infrastructure Engineering*, 9(12), 1240-1250, 2013.
- [127] Saaty, T.L., "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, New York, 1980.
- [128] Saaty, T.L., "The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making", Fiigueira, J., Fiigueira, J., Greco, S., Greco, S., Ehrgott, M., Ehrgott, M. (Eds.), in. Springer, New York, 2005.
- [129] Sarma, S.K., Singh, K.R., Singh, A., "An Expert System for diagnosis of diseases in Rice Plant", *International Journal of Artificial Intelligence*, 1(1), 26-31, 2010.
- [130] Sasmal, S., Ramanjaneyulu, K., "Condition evaluation of existing reinforced concrete bridges using fuzzy based analytic hierarchy approach", *Expert Systems with Applications*, 35(3), 1430-1443, 2008.

- [131] Sasmal,S.,Ramanjaneyulu,K.,Gopalakrishnan,S.,Lakshmanan,N., "Fuzzy Logic Based Condition Rating of Existing Reinforced Concrete Bridges", Journal of Performance of Constructed Facilities, 20(3), 261-273, 2006.
- [132] Salem,O.M.,Miller,R.A.,Deshpande, A.S., Arurkar, T.P., "Multi-criteria decision-making system for selecting an effective plan for bridge rehabilitation."Structure and Infrastructure Engineering, 9(8), 806-816, 2013.
- [133] Schroff, A., "An approach to user oriented decision support systems", Inaugural Dissertation. Fribourg, University of Fribourg, 1998.
- [134] Scott Morton, M.S., "Computer-Driven Visual Display Devices - Their Impact on the Management Decision-Making Process." Doktorska disertacija, Sveučilište Harvard, Cambridge, SAD, 1967.
- [135] Sedighian, Z., Javanmard, M., "The effect of data mining on expert systems used for improving efficiency of correct speech E-learning systems", Advances in Natural and Applied Sciences, 8(10), 102-106, 2014.
- [136] Sevim, B., Atamturktur, S., Altunis, A.C., Bayraktar, A., "Ambient vibration testing and seismic behavior of historical arch bridges under near and far fault ground motions", Bull Earthquake Eng, 14, 241–259, 2016.
- [137] Shiwa, L., "Computer database assessment of masonry bridges", Doktorska disertacija, Sveučilište Edinburgh, UK, 1987.
- [138] Shim, J.P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D. J., Sharda, R., Carlsson, C., "Past, present, and future of decision support technology." Decision Support Systems, 111 – 126, 2002.
- [139] Sikavica, P., Bebek, B., Skoko, H., Tipurić, D., "Poslovno odlučivanje", Informator, Zagreb, Hrvatska, 1999.
- [140] Silver, M., "Systems that support decision makers: description and analysis", Chichester, New York, Wiley, 1991.
- [141] Simon, H. A., "The New Science of Management Decision", Harper & Row, New York. SAD, 1960.
- [142] Simon, H. A., "The New Science of Management Decisions", Revised Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, SAD, 1977.
- [143] Solla, M., Lorenzo, H, Riveiro, B. Rial, F.I., "Non-destructive methodologies in the assessment of the masonry arch bridge of Traba, Spain", Engineering Failure Analysis, 18, 828–835, 2011.
- [144] Sprague Jr., R.H., "A Framework for the Development of Decision Support Systems", Management Information Systems Quarterly, 4(4), 1–26, 1980.

- [145] Sprague Jr., R.H., Carlson, E.D., "Building Effective Decision Support Systems", Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1982.
- [146] Sprague Jr., R. H., Watson, H. J., "Bit by Bit: Toward Decision Support Systems", *California Management Review*, 22(1), 60-68, 1979.
- [147] Soderqvist, M., "Experience in the Finnish bridge management system development", In: E. Watanabe, D.M. Frangopol, and T. Utsunomiya, eds. *Proceedings of IABMAS2004, 2nd international conference on bridge maintenance, safety, management and cost, 18–22 October 2004, Kyoto, Japan*. London, UK: A. A. Balkema- Taylor & Francis Group, 165–166, 2004.
- [148] Tee, A., Bowman, M., Sinha, K., "A Fuzzy Mathematical Approach for Bridge Condition Evaluation", *Civil Engineering Systems*, 5(1), 17-24, 1988.
- [149] Tenžera, D, Puž, G, Radić, J., "Vizualni pregled kao pomagalo za ocjenu stanja mostova", *Građevinar*, 64 (9), 717-726, 2012.
- [150] Thompson, P., Sinha, K., Patidar, V., Labi, S., "Multi-Objective Optimization for Bridge Management Systems", *International Bridge and Structure Management: 10th International Conference on Bridge and Management, October 20-22, 2008.*, Buffalo, New York, 2008.
- [151] Tonias, D.E., Zhao, J.J., "Bridge engineering." New York: McGraw-Hill, 463, 2007.
- [152] Turban, E., Aronson, J.E., Liang, T.P., Sharma, R., "Decision Support and Business Intelligence Systems", 8. izdanje, Upper Saddle River, New Jersey, Pearson-Prentice Hall, 2007.
- [153] Turban, E., McLean, E., Wetherbe, J., "Information Technology for Strategic Advantage", 2<sup>nd</sup> Edition. New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [154] Turban, E., Sharda, R., Delen, D., "Decision Support and Business Intelligence Systems", Pearson Education Inc., New Jersey, 2011.
- [155] Ural, A., Oruc, S., Donğangün, A., Tuluk, Ö. I., "Turkish historical arch bridges and their deteriorations and failures", *Engineering Failure Analysis* 15, 43–53, 2008.
- [156] Vassie, P. R., Arya, C., "Bridge Management", *ICE Manual of Bridge Engineering*, 2008. doi: 10.1680/mobe.34525.0591.
- [157] Velasquez, M., Hester, P.T., "An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods", *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56-66, 2013.
- [158] Wang, Y-M., Chin, K-S., Poon, G.K.K., Yang, J-B., "Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean", *Expert Systems with Applications*, 36, 1195–1207, 2009.

- [159] Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang, C.F., Zhao, J.H., "Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making", *Renew Sustain Energy Rev*, 13, 2263–78, 2009.
- [160] Wang, J-g., Wang, J., Chen, Q-h., Zhang, H-y., Chen, X-h., "An outranking approach for multi-criteria decision-making with hesitant fuzzy linguistic term sets", *Information Sciences*, 280, 338–351, 2014.
- [161] Watson, S., Everett S., "RTA bridge inspection records for sustainability", *Austrroads Bridge Conference*, 8th, Sydney, New South Wales, Australia, 2011.
- [162] Whittington, H.W., Sihwa, L., "Decision support software approach to the assessment of stone masonry bridges", *Civil Engineering Systems*, 5, 137-147, 1988.
- [163] Woodward, R.J. i drugi, "Bridge management in Europe (BRIME)-Deliverable D14 Final Report", *Technical report, European Commission Under the Transport RTD Programme of the 4th Framework Programme PL97-2220*, 2001.
- [164] Yanev,B., "Bridge Management." Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, 2007.
- [165] Yehia, S., Abudayyeh, O., Fazal, I., Randolph, D., "A decision support system for concrete bridge deck maintenance", *Advances in Engineering Software*, 39(3), 202-210, 2008.
- [166] Zadeh, L.A., "Fuzzy sets", *Information and Control*, 8, 338–353, 1965.
- [167] Zeleny, M., "Multiple Criteria Decision Making", McGraw-Hill, 1982.



## POPIS SLIKA

Slika 2.1.	Prikaz hijerarhijskih razina upravljanja i odlučivanja (autor prilagodio prema: O'Brien i Marakas, 2011)	13
Slika 2.2.	Prikaz osnovnih komponenata SPO-a (autor prilagodio prema: Sprague i Carlson, 1982)	17
Slika 2.3.	Prikaz proširenog oblika koncepta SPO-a	18
Slika 2.4.	Struktura ekspertnih sustava (autor prilagodio prema: Turban i ostali, 2001)	33
Slika 3.1.	Sustav za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova - osnovne komponente i njihovi odnosi	49
Slika 3.2.	Koncept sustava za podršku odlučivanju u planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova-detaljni prikaz	57
Slika 3.3.	Model procjene stanja povijesnih cestovnih mostova	61
Slika 3.4.	Model rangiranja povijesnih cestovnih mostova iz analiziranog skupa prema prioritetu za poduzimanje aktivnosti obnove	75
Slika 3.5.	Hijerarhijska struktura ciljeva za planiranje obnove povijesnih cestovnih mostova	79
Slika 3.6.	Model izbora upraviteljskog pristupa o planiranju obnove povijesnih cestovnih mostova s obzirom na financijske i prostorno-funkcionalne odrednice te njihovu kombinaciju	83
Slika 3.7.	Model izbora metode obnove povijesnog cestovnog mosta	85
Slika 3.8.	Hijerarhijska struktura ciljeva za izbor metode obnove povijesnog cestovnog mosta	88
Slika 4.1.	Prostorni prikaz povijesnih cestovnih mostova na području SDŽ-a	91
Slika 4.2.	Funkcije pripadnosti neizrazitih setava za ocjene elemenata	102
Slika 4.3.	Funkcije pripadnosti neizrazitih setava za strukturalne važnosti elemenata	102
Slika 4.4.	Oznake elemenata mosta za procjenu (L1-luk 1; L2-luk2; S1-stup1; U1-upornjak1; U2-uporanjak 2; ČŽ 1- skupina čeonih zidova 1; Z- zastor; O-ograda)	104
Slika 4.5.	Grafički prikaz vrijednosti ocjene komponente za sve kombinacije	122
Slika 4.6.	Grafički prikaz funkcije pripadnosti konačne ocjene komponente gornji ustroj	123
Slika 4.7.	Grafički prikaz vrijednosti ocjene komponente za sve kombinacije	124

Slika 4.8.	Grafički prikaz funkcije pripadnosti konačne ocjene komponente donji ustroj	125
Slika 4.9.	Grafički prikaz vrijednosti ocjene komponente za sve kombinacije	126
Slika 4.10.	Grafički prikaz funkcije pripadnosti konačne ocjene komponente oprema	127
Slika 4.11.	Rang liste četiriju različitih scenarija i njihova međusobna usporedba	140
Slika 4.12.	Grafički prikaz parcijalnog poretka varijanti za SC5	142
Slika 4.13.	Grafički prikaz ukupne rang liste za SC5	143
Slika 4.14.	PROMETHEE Diamond prikaz rezultata	144
Slika 4.15.	Odnos dominacije varijanti i određenih težina	145
Slika 4.16.	Grafički prikaz položaja kriterija i varijanti u $u$ - $v$ ravnini	146
Slika 4.17.	Prostorni prikaz povijesnih cestovnih mostova na području SDŽ-a s rednim brojem dobivenim PROMETHEE II metodom	147
Slika 4.18.	Rezultati triju upraviteljskih pristupa za dva investicijska ciklusa (8 godina)	154
Slika 4.19.	Rang liste triju različitih scenarija i njihova međusobna usporedba	160
Slika 4.20.	Grafički prikaz rezultata neto tokova i ukupnog rangiranja za scenarij 4	161

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1.	Funkcije preferencije (Brans i Vincke, 1985)	27
Tablica 3.1.	Matrica usporedbe	71
Tablica 4.1.	Podaci o povijesnim cestovnim mostovima	92
Tablica 4.2.	Povijesni cestovni mostovi s ukupnim brojem elemenata po komponentama	99
Tablica 4.3.	Neizraziti setovi ocjena elemenata s lingvističkim vrijednostima i opisom	100
Tablica 4.4.	Neizraziti setovi strukturalnih važnosti elemenata s lingvističkim vrijednostima	101
Tablica 4.5.	Izrazite i neizrazite vrijednosti elemenata komponente gornji ustroj	104
Tablica 4.6.	Kombinacije svih elemenata s neizrazitim ocjenama i neizrazitim strukturalnim važnostima	106
Tablica 4.7.	Setovi $\alpha$ -presjeka neizrazitih vrijednosti ocjena elemenata po svim kombinacijama	111
Tablica 4.8.	Setovi $\alpha$ -presjeka neizrazitih vrijednosti strukturalnih važnosti elemenata po svim kombinacijama	114
Tablica 4.9.	Vrijednost ocjene komponente gornji ustroj za sve kombinacije	120
Tablica 4.10.	Prosjek svih kombinacija-konačna neizrazita vrijednost ocjene komponente gornji ustroj	122
Tablica 4.11.	Izrazite i neizrazite vrijednosti elemenata komponente donji ustroj	124
Tablica 4.12.	Prosjek svih kombinacija-konačna neizrazita vrijednost ocjene komponente donji ustroj	125
Tablica 4.13.	Izrazite i neizrazite vrijednosti elemenata komponente oprema	126
Tablica 4.14.	Prosjek svih kombinacija-konačna neizrazita vrijednost ocjene komponente oprema	127
Tablica 4.15.	Matrica usporedbe komponenata mosta	128
Tablica 4.16.	Vrijednosti IPSPCM-a za sve povijesne cestovne mostove	129
Tablica 4.17.	Usporedba vrijednosti IPSPCM-a dobivenih modelom s vrijednostima danim ekspertnom procjenom	129
Tablica 4.18	Kriteriji sa svojim karakteristikama	131

Tablica 4.19.	Relativna važnost glavnog cilja i podciljeva za tri scenarija	135
Tablica 4.20.	Težine kriterija za tri scenarija	135
Tablica 4.21.	Matrica odluke	138
Tablica 4.22.	Statistički podaci varijanti po svim kriterijima	138
Tablica 4.23.	Rezultati neto toka i ukupno rangiranje za tri scenarija	139
Tablica 4.24.	Rezultati neto toka i ukupno rangiranje povijesnih cestovnih mostova za SC5	141
Tablica 4.25.	Intervali stabilnosti za definirane kriterije po svim scenarijima	145
Tablica 4.26.	Ukupna rang lista mostova	147
Tablica 4.27.	Raspodjela mostova po dijelovima unutar područja SDŽ-a	150
Tablica 4.28.	Rezultati za tri upraviteljska pristupa - setovi povijesnih cestovnih mostova za osam financijskih godina	152
Tablica 4.29.	Mostovi u koje treba ulagati u prvoj investicijskoj godini prema drugom upraviteljskom pristupu	155
Tablica 4.30.	Ulazni podaci za višekriterijalnu analizu	156
Tablica 4.31.	Relativna važnost glavnog cilja i podciljeva za tri scenarija	158
Tablica 4.32.	Težine kriterija za tri scenarija	158
Tablica 4.33.	Matrica odluke	159
Tablica 4.34.	Statistički podaci varijanti po svim kriterijima	159
Tablica 4.35.	Rezultati neto toka i ukupno rangiranje za tri scenarija	160
Tablica 4.36.	Rezultati neto toka i ukupno rangiranje metoda obnove za scenarij 4	161
Tablica 4.37.	Intervali stabilnosti za navedene kriterije po svakom scenariju	162

## POPIS FOTOGRAFIJA

- Fotografija 4.1. Povijesni cestovni mostovi na području SDŽ-a; odozgo prema dolje, po redovima: Jovića most (Vinjani Gornji), Most preko rječice Matice (Kokorići), Most u Rastokama (Vrgorac), Most Brvina (Runović), Most na Bublinu (Zmijavci), Zmijavački most (Zmijavci) 94
- Fotografija 4.2. Povijesni cestovni mostovi na području SDŽ-a; odozgo prema dolje, po redovima: Most na Suvaji/Karalipeov most (Donji Proložac), Most Šumet (Šumet), Most Jasenovac na Jarugi/Siji (Jasenovsko), Most na Jarugi/Siji kod Mračaja u Imotskom polju (Grubine), Most kod kamenoloma "Lavčević (Žrnovnica), Žrnovački most (Žrnovnica) 95
- Fotografija 4.3. Povijesni cestovni mostovi na području SDŽ-a; odozgo prema dolje, po redovima: Most preko rijeke Jadro (Solin), Most na ulazu u tvornicu "Majdan" (Solin), Rera/Vetmin most (Klis), Most na Grabu (Grab), Most na Kosincu (Gala), Most Blato na Cetini (Blato na Cetini) 96
- Fotografija 4.4. Povijesni cestovni mostovi na području SDŽ-a; odozgo prema dolje, po redovima: Pavića most (Podgrađe) (Radnić i Smilović, 2008), Most na Panju (Rumin), Balečki most (Vinalić) 97
- Fotografija 4.5. Most na Jarugi/Siji kod Mračaja u Imotskom polju (slike odozgo redom: prikaz mosta s istočne strane, prikaz mosta sa zapadne strane, krilo upornjaka, stup, pristupna cesta, ograda) 103
- Fotografija 4.6. Pavića most (lijevo- prije obnove; desno- poslije obnove) (Radnić i Smilović, 2008) 163

## **POPIS KRATICA**

AHP - Analytical Hierarchy Process

BCI - Bridge Condition Index

BMS - Bridge Management System

CBIS - Computer-base Information System

CI - Consistency Index

CR - Consistency Ratio

DABRSA - Dominance Based Rough Set Approach

DBMS - Database Management System

DGMS - Dialogue Generation Management Software

DM - data mining

DSS - Decision Support System

EIS - Executive Information Systems

ELECTRE - ELimination Et Choix Traduisant la REalité

ES - Ekspertni sustav

GAIA - Graphical Analysis for Interactive Aid

GDSS - Group Decision Support System

GIS - Geographic Information System

FWA - Fuzzy Weighted Average

FWGM - Fuzzy Weighted Geometric Mean

IPSPCM - Indeks procjene stanja povijesnih cestovnih mostova

ISM - Indeks stanja mostova

MAUT - Multiple Attribute Utility Theory

MADM - Multiple Attribute Decision-Making

MBMS - Model Base Management System

MCDM - Multiple Criteria Decision-Making

MIS - Management Information Systems

MODM - Multi Objective Decision-Making

NLS - oNLine System

OLAP - On-Line Analytical processing

PROMETHEE - Preference Ranking Organization METHod for the Enrichment of Evaluations

RI - Ratio index

SAGE - Semi-Automatic Ground Environment

SQL - Structured Query Language

SDŽ - Splitsko-dalmatinska županija

SPO - Sustav za podršku odlučivanju

TOPSIS - Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

TPS - Transaction Processing System

UIMS - User Interface Management System

ŽUC SDŽ - Županijska uprava za ceste Splitsko-dalmatinske županije

## ŽIVOTOPIS AUTORA

Katarina Rogulj rođena je 28. srpnja 1987. godine u Splitu. Školovanje je započela 1994. godine u osnovnoj školi "Knez Trpimir" u Kaštel Gomilici. Godine 2002. upisuje III. gimnaziju (prirodoslovno-matematičku) koju završava 2006. Iste godine upisuje Građevinsko-arhitektonski fakultet u Splitu koji je 2010. godine preimenovan u Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije. Preddiplomski studij završava 2010. godine, a završni rad je izradila uz mentorstvo prof. dr. sc. Bernardina Peroša, s temom rada: "Proračun čelične hale". Diplomski studij upisuje iste godine te 2012. godine diplomira na općem smjeru pod vodstvom prof. dr. sc. Sandre Juradin. Tema diplomskog rada je: "Projektiranje sastava samozbijajućeg betona CBI metodom i metodom ekvivalentnog morta".

Od godine 2013. do danas u privatnim građevinskim tvrtkama, u svojstvu projektanta suradnika sudjeluje u izradi više dokumenata i projekata, od idejnog rješenja do izvedbenog projekta. Godine 2016. položila je stručni ispit za obavljanje poslova prostornog uređenja i graditeljstva, a godinu nakon postala je član Hrvatske komore inženjera građevinarstva.

Kao autor i koautor, do sada, ima veći broj znanstvenih radova (objavljenih ili su u postupku objavljivanja) u međunarodnim časopisima citiranim u Web of Science, a neki od njih su citirani i u Current Contents.