

Primljen / Received: 27.10.2014.

Ispravljen / Corrected: 27.1.2015.

Prihvaćen / Accepted: 6.2.2015.

Dostupno online / Available online: 10.3.2015.

# Podrška odlučivanju u upravljanju prometnim projektima u urbanim sredinama

## Autori:

Doc.dr.sc. **Nikša Jajac**, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Splitu

Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

[niksa.jajac@gradst.hr](mailto:niksa.jajac@gradst.hr)Dr.sc. **Ivan Marović**, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Rijeci

Građevinski fakultet

[ivan.marovic@gradri.uniri.hr](mailto:ivan.marovic@gradri.uniri.hr)Doc.dr.sc. **Tomaš Hanák**, dipl.ing.građ.

Tehničko sveučilište u Brnu

Građevinski fakultet

[hanak.t@fce.vutbr.cz](mailto:hanak.t@fce.vutbr.cz)

Pregledni rad

**Nikša Jajac, Ivan Marović, Tomaš Hanák**

## Podrška odlučivanju u upravljanju prometnim projektima u urbanim sredinama

Faza planiranja unutar upravljanja urbanim prometnim projektom složen je proces kako sa stajališta menadžmenta tako i s tehničko-ekonomskih stajališta. Ovo istraživanje usmjereno je na procese donošenja odluka vezanih za fazu planiranja prilikom upravljanja urbanim cestovnim infrastrukturnim projektima. Predloženi koncept se temelji na višekriterijskim metodama te na umjetnim neuronskim mrežama. U ovom radu predstavljeni koncept za podršku odlučivanju testiran je na cestovnoj infrastrukturi grada Splita i prikazuje način na koji se može unaprijediti planiranje urbane cestovne infrastrukture.

### Ključne riječi:

strateško planiranje, upravljanje projektima, podrška odlučivanju, višekriterijske metode, neuronske mreže

Subject review

**Nikša Jajac, Ivan Marović, Tomaš Hanák**

## Decision support for management of urban transport projects

The planning phase within the urban-transport project management is a complex process from both the management and techno-economic aspects. The focus of this research is on decision-making processes related to the planning phase during management of urban-road infrastructure projects. The proposed concept is based on multicriteria methods and Artificial Neural Networks. The decision-support concept presented in this paper is tested on the road infrastructure of the city of Split, and it shows how urban road infrastructure planning can be improved.

### Key words:

strategic planning, project management, support to decision-making, multicriteria methods, neural networks

Übersichtsarbeit

**Nikša Jajac, Ivan Marović, Tomaš Hanák**

## Entscheidungsunterstützung zur Verwaltung von Verkehrsprojekten in städtischen Gebieten

Die Planungsphase bei der Verwaltung von städtischen Verkehrsprojekten ist sowohl hinsichtlich des Managements, als auch in Bezug auf technisch-wirtschaftliche Aspekte ein komplizierter Prozess. Dieses Forschungsvorhaben befasst sich mit den Entscheidungsprozessen in der Planungsphase bei der Verwaltung von Projekten bezüglich des städtischen Straßenverkehrs. Das vorgeschlagene Konzept beruht auf Mehrkriterien-Methoden und auf künstlichen neuronalen Netzen. In dieser Arbeit wird das vorgestellte Konzept zur Entscheidungsunterstützung an der Straßeninfrastruktur der Stadt Split getestet und eine mögliche verbesserte Planung der städtischen Straßeninfrastruktur dargestellt.

### Schlüsselwörter:

strategische Planung, Projektverwaltung, Entscheidungsunterstützung, Multikriterienmethoden, neuronale Netze

## 1. Uvod

Razvoj urbanih infrastrukturnih sustava, primjerice sustava opskrbe vodom, prometnog sustava, kanalizacijskog sustava i s njima povezanih investicija, predstavljaju integralni dio kontinuiranog procesa razvoja i širenja modernog grada. Na sve aspekte kvalitete života u gradovima, primjerice na zdravlje stanovnika, sigurnost, ekonomske mogućnosti te uvjete za rad i odmor značajno utječe njihova infrastruktura [1, 2]. Proces planiranja u području sustava urbane prometne infrastrukture, kao integralnog dijela upravljanja urbanim cestovnim prometom, vrlo je složen i društveno osjetljiv. U fazama donošenja odluka gradska se vlast susreće s problemom kada je potrebno naći rješenje koje obuhvaća i ispunjava sve zahtjeve dionika (engl. *stakeholders*), a ujedno predstavlja dio koncepta održivog razvoja. Kako svaka gradska uprava (jedinica lokalne samouprave) ima određeni godišnji budžet za izgradnju, održavanje i popravljane, prioritarno rangiranje projekata se pojavljuje kao jedna od najvažnijih i najzahtjevnijih tema u procesu njenog odlučivanja.

Složenost ove teme proizilazi iz više činjenica: veliki broj sudionika tj. dionika s različitim mišljenjima, multidisciplinarna priroda problema, velika količina informacija, ograničeni budžet, suprotstavljeni ciljevi i kriteriji. Sve to čini da proces donošenja odluka za unapređenje planiranja cestovne infrastrukture pripada složenim i slabo strukturiranim pitanjima, posebno kada se radi o dugoročnom planiranju. Stoga bi zadaće dugoročnog planiranja trebale biti podržane alatima za pomoć pri donošenju odluka kao što su višekriterijske metode ili druge metode operacijskih istraživanja postajući tako djelotvornijima. Kako bi se prikladno moglo nositi s takvom složenošću, predložen je generički koncept podrške odlučivanju za unapređenje procesa odlučivanja u planiranju urbane cestovne infrastrukture. Koncept predstavlja višekriterijski pristup donošenja odluka, a temelji se na primjeni višekriterijskih metoda (jednostavnom zbrajanju težina, engl. *Simple Additive Weighting – SAW*, i analitičkom hijerarhijskom procesu, engl. *Analytic Hierarchy Processing – AHP*) te na umjetnim neuronskim mrežama (engl. *Artificial Neural Networks – ANN*).

Brojni su autori istraživali u vezi s podrškom odlučivanju u upravljanju urbanim prometom. Bielli [3] predstavlja pristup upravljanja urbanim prometnim sustavom pomoću sustava za podršku odlučivanju (engl. *Decision Support System – DSS*) s ciljem ostvarenja maksimalne učinkovitosti i produktivnosti cijelog urbanog prometnog sustava, uključujući i urbanu cestovnu infrastrukturu. Aspekt *cost-benefit* analize potencijalnih infrastrukturnih investicija također je predstavljen u literaturi, upućujući na postojanje nekolicine modela podrške odlučivanju [4, 5]. Quintero i dr. [6] opisali su unaprijeđeni DSS, nazvavši ga inteligentnim sustavom za podršku odlučivanju (engl. *Intelligent Decision Support System – IDSS*), koji koordinira upravljanje nekoliko urbanih infrastrukturnih sustava, poput

upravljanja kanalizacijskim i vodovodnim sustavom. Pritom su autori predstavili IDSS kao rješenje za buduće upravljanje urbanom infrastrukturom. Sličan pristup može se pronaći u prijašnjim istraživanjima drugih autora [7-9]. Sayers i dr. [10] predstavili su višekriterijsko ocjenjivanje projekata prometne infrastrukture, primjenjujući metodu SAW [11] za potrebe rangiranja prometnih investicija koje su usmjerene prema unapređenju infrastrukture u malom gradu. Analizirali su tri rješenja: minimalne intervencije u postojeću mrežu, izgradnju obilazne rute te nadogradnju postojeće rute. Suprotno, za velike gradove pretežno se primjenjuje metoda AHP radi odabira prirodno održivog prometnog sustava [12], gdje je utvrđeno da se prioriteta značajno razlikuju ovisno o dionicima koji su uključeni u proces. Shelton i Medina [13] predstavili su pojednostavljenu metodologiju za rangiranje prometnih projekata s integriranim višekriterijskim procesom donošenja odluka pomoću kojih se provodi rangiranje transportnih projekata kada postoji veći broj donositelja odluka s različitim i suprotnim gledištima, pri čemu metoda AHP služi za dodjeljivanje težina grupi kriterija uspoređujući parove u metropolitanskom području El Pasa. Za rješavanje problema prioritarnog rangiranja projekata u urbanim područjima [14], primjena metoda AHP i COPRAS-G predložena je za rješavanje specifičnog problema procjene alternativa i odabira lokacije za izgradnju novog pješačkog mosta.

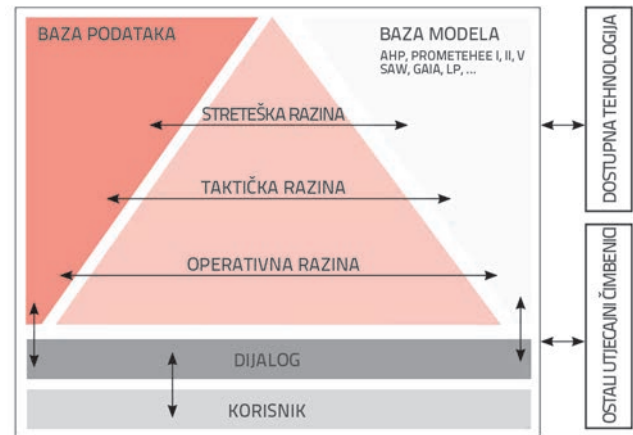
Zbog toga što je planiranje cestogradnje prostorni problem, u radu [15] se pokazuje da participativno mapiranje kao pristup omogućava uključivanje društvene zajednice u planiranje prometa koristeći geografske informacijske sustave (engl. *Geographic Information Systems – GIS*). Proizašle kognitivne mape bazirane na GIS-u i grupnim intervjuima pokazale su između ostalog da je angažman društvene zajednice dobra baza za planiranje prometa i donošenje odluka. Prostorni sustavi za podršku odlučivanju pri planiranju urbane infrastrukture iskazani u radu [16], a koji su bazirani na integraciji GIS tehnologije i SAW metode, pokazuju da se navedenu proceduru može koristiti za potrebe planiranja drugih tipova infrastrukture uključujući i prometnu infrastrukturu. Jajac je usmjerio svoje istraživanje [17] na razvoj i održavanje urbane cestovne infrastrukture primjenjujući različite višekriterijske metode i umjetne neuronske mreže za podršku odlučivanju na različitim hijerarhijskim razinama odlučivanja u urbanim područjima.

Da bi se unaprijedio proces donošenja odluka u takvim složenim okolnostima, vrlo je važno razviti i primijeniti nove alate usmjerene na povećanje razine transparentnosti i objektivnosti u procesu odabira rješenja [18]. Težište ovog istraživanja usmjereno je na podršku odlučivanju za unapređenje planiranja cestovne infrastrukture u urbanim područjima i u njemu se primjenom višekriterijske analize i umjetnih neuronskih mreža podržava upravljanje projektima. Kako je težište ovog istraživanja na unapređenju planiranja cestovne infrastrukture, osim infrastrukturnih karakteristika, analizirane su i neke karakteristike prometa.

## 2. Koncept podrške odlučivanju za unapređenje planiranja urbane cestovne infrastrukture

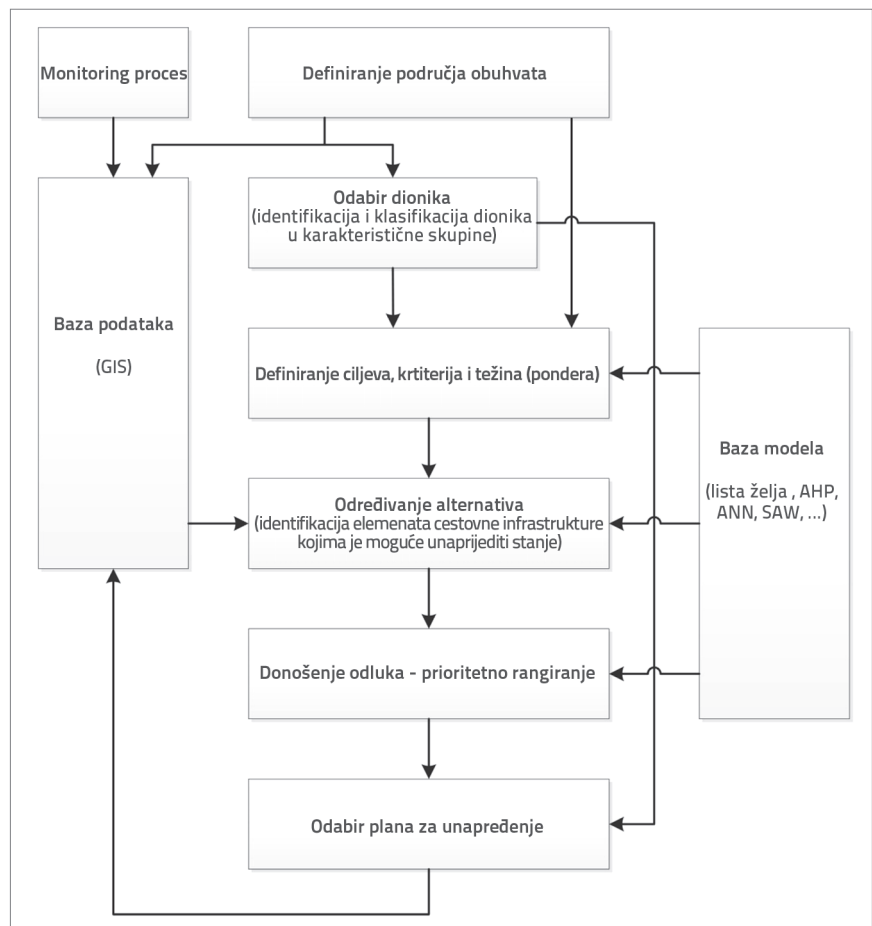
Struktura predloženog koncepta podrške odlučivanju je bazirana na prethodnim istraživanjima [5, 17, 19], gdje je predstavljeno oblikovanje sustava za podršku odlučivanju u upravljanju urbanom infrastrukturom (slika 1.). Predstavljeno oblikovanje sustava za podršku odlučivanju (SPO) nije isključivo usmjereno na unapređenje planiranja, što je slučaj u ovom radu, već na sve aspekte planiranja (npr. revitalizacije, razvoja sustava i dr.) kao i na sve razine donošenja odluka (operativne, taktičke i strateške razine) koje su povezane s upravljanjem urbanom cestovnom infrastrukturom ili bilo kojim drugim urbanim infrastrukturnim sustavom.

Takav modularan koncept se temelji na osnovnoj SPO strukturi [20, 21]: baza podataka, baza modela i dijaloški modul. Interakcije tih modula se ostvaruju tijekom procesa odlučivanja na svim razinama donošenja odluka koje služe kao mjesta susreta prikladnih modela (iz baze modela) i podataka (iz baze podataka) [5]. Prva razina odlučivanja pruža podršku donositeljima odluka na najnižoj, operativnoj razini odlučivanja koja sadrži tri osnovne funkcije: podržavanje donošenja odluka na operativnoj razini, obradu podataka i informacija, te pružanje informacija putem informacijskih tokova višim razinama odlučivanja. Druga razina odlučivanja isporučuje taktičke odluke i stvara bazu informacija i rješenja te modela za stratešku razinu odlučivanja. Odluke koje se donesu unutar sustava temelje se na znanju koje se generira na operativnoj razini odlučivanja. Stečeno znanje je strukturirano u adekvatnoj bazi znanja koja se nalazi unutar baze podataka. Na taktičkoj razini pojedini stručnjaci i stručni timovi, zaposlenici lokalnih političkih tijela te javnih tvrtki donose odluke. Utemeljeno na njihovim stručnim mišljenjima, na strateškoj razini se donose odluke o budućem razvoju infrastrukturnog sustava. Isporučene strategije moraju biti u skladu s postojećim planovima višeg reda kao i prostornim planovima grada ili regije. Te strategije predstavljaju okvir za djelovanje nižim razinama odlučivanja i upravljanja, pritom im osiguravajući kontinuitet procesa odlučivanja. Za rješavanje različitih problema, različiti modeli, metode i tehnike pohranjene su u bazi modela i mogu se koristiti na različitim razinama upravljanja. Kao što je prikazano na slici 1., sustav je otvoren i različiti vanjski čimbenici mogu utjecati na predloženi urbani infrastrukturni sustav. Osim tehnologije,



Slika 1. Oblikovanje sustava za podršku odlučivanju (SPO) u upravljanju urbanom infrastrukturom [5, 17, 19]

koja očito utječe na svim razinama sustava, drugi čimbenici poput lokalnog ponašanja (tradicionalan stil upravljanja i donošenja odluka, lokalni mentalitet, i dr.) imaju velik utjecaj kako na procese odlučivanja tako i na procese upravljanja [5, 17, 19]. Budući da je ovo istraživanje usmjereno isključivo na



Slika 2. Oblikovanje koncepta podrške odlučivanju za unapređenje planiranja urbane cestovne infrastrukture

upravljanje sustavom urbane cestovne infrastrukture, posebice na unapređenje njegovih procesa planiranja, predloženi je koncept služio za potporu procesima donošenja odluka prilikom realizacije tih upravljačkih funkcija.

Korištenjem prethodno opisane generičke arhitekture SPO-a u upravljanju urbanom infrastrukturom razvijen je koncept podrške odlučivanju za unapređenje planiranja urbane cestovne infrastrukture. Takav upravljački sustav uzima u obzir stajalište većeg broja dionika kao i ograničene resurse. Budući da su limitirana financijska sredstva učestalo i osnovno ograničenje, problemi odlučivanja se općenito mogu promatrati kao problemi određivanja prioriteta tj. prioritarnog rangiranja. Na slici 2. je korak po korak prikazan predloženi pristup za uspostavljanje prioritarnog rangiranja i izbor strategije kojim se unapređuje planiranje urbane cestovne infrastrukture.

Proces donošenja odluke započinje na strateškoj i taktičkoj razini s definiranjem područja obuhvata kojeg prati odabir dionika. Zbog prostornih karakteristika cestovne infrastrukture, baza podataka je strukturirana kao GIS baza. Na taj je način registar infrastrukture i ključnih karakteristika pojedinog infrastrukturnog elementa smješten u centralnoj, lako dostupnoj, bazi otvorenoj za ulazak novih informacija (periodički prikupljenih tijekom kontinuiranog procesa monitoringa i održavanja) koju provodi operativna razina kao što je definirano u radu [5].

Definiranje ključnih karakteristika svakog pojedinog elementa vrlo je važno za uspostavu kriterija i njihovih težina u procesu prioritarnog rangiranja. Oni direktno utječu na krajnje odluke. Tijekom prvog koraka donositelji odluka se često susreću s problemom odabira dionika [1]. Postoje brojna ograničenja postojećih metoda koje se koriste za analizu dionika. Na primjer, uobičajeno je da se dionike identificira i kategorizira kroz subjektivnu procjenu njihove relativne snage, utjecaja i legitimnosti [22, 23]. Iako se u literaturi mogu pronaći različite varijante shema kategoriziranja, u korištenim metodama često se previdi uloga komunikacijskih tokova u kategoriziranju i shvaćanju odnosa dionika. Radi određivanja dobre osnove za djelotvorno provođenje procesa donošenja odluke, dionici su podijeljeni u tri skupine: lokalna uprava, eksperti i stanovništvo tj. korisnici. Skupinu "lokalna uprava" čine zamjenik gradonačelnika zadužen za komunalnu djelatnost i pročelnici nekolicine upravnih odjela (npr. ureda za strateško planiranje i razvoj, ureda za financije, ureda za prostorno planiranje, i dr.). Skupinu "eksperti" čine građevinski, prometni, okolišni i ekonomski stručnjaci iz akademske zajednice i iz gospodarstva. Skupinu "stanovništvo" čine predstavnici gradskih četvrti ili sličnih gradskih formacija. Kako se dionici unutar skupina mijenjaju tijekom vremena (izborni period od četiri godine), njihova identifikacija je kontinuirani proces koji mora uzeti u obzir i povijesnu dimenziju.

Nakon što je odluka o području obuhvata i dionicima donesena, slijedeći je korak definiranje ciljeva, kriterija i težina tj. pondera. Analiza ciljeva završava uspostavom

hijerarhijske strukture ciljeva koja predstavlja osnovu za definiranje kriterija. Zbog nestrukturirane prirode problema koja proizlazi iz neusporedivih podataka i suprotstavljenih zahtjeva dionika, predlaže se primjena višekriterijskih modela. Proces utvrđivanja kriterija obuhvaća predstavnike lokalne uprave i predstavnike stručnjaka, a utvrđivanje težina kriterija obuhvaća stajališta svih identificiranih dionika. Pritom primjena metode AHP [24] na jednostavan način omogućava dodjeljivanje težina tijekom skupnog procesa donošenja odluka intervjuiranjem svih dionika. Proces donošenja odluke svake pojedine skupine dionika mora se ponavljati sve dok nisu zadovoljeni uvjeti koje metoda AHP zahtijeva u vezi s konzistencijom (mjeri se indeksom konzistencije – CI). Sukladno uspostavljenom stablu ciljeva i broju skupina dionika razvijena su tri scenarija (po jedan za svaku skupinu dionika). Završni scenarij (scenarij 4) utvrđen je kao srednja vrijednost prethodnih scenarija te predstavlja kompromisno stajalište svih dionika o problemu. Vrijednosti težina njihovog kompromisnog stajališta uvedene su kao pondera za SAW metodu koja se primjenjuje za prioritarno rangiranje odabranih cestovnih elemenata prema potrebi za unapređenjem njihovog stanja.

Nakon što se utvrdi hijerarhijska struktura ciljeva, svi se elementi cestovne infrastrukture unutar područja obuhvata analiziraju te se identificiraju isključivo oni elementi koji se mogu unaprijediti. Oni se identificiraju pomoću naučene i testirane umjetne neuronske mreže. Dotična neuronska mreža omogućava procjenu stanja svih elemenata koji se nalaze u području obuhvata. Među svim identificiranim elementima, samo oni elementi koji su procijenjeni kao nezadovoljavajući i neprimjereni odabiru se za daljnju analizu i rangiranje.

Nakon primjene SAW metode elementi su rangirani prema definiranim kriterijima, spremljeni u bazu podataka, te kao takvi mogu poslužiti kao potencijalne strateške alternative. Donositelji odluka na strateškoj razini, tj. predstavnici lokalne uprave uz pomoć skupine stručnjaka odabiru najprikladnije rješenje u skladu s provedenom višekriterijskom analizom i aktualnom politikom. Odabrano rješenje predstavlja strateški plan za unapređenje stanja infrastrukture unutar obuhvata područja istraživanja. Predloženi koncept je testiran na primjeru unapređenja planiranja cestovne infrastrukture grada Splita.

### 3. Unapređenje planiranja cestovne infrastrukture – na primjeru grada Splita

#### 3.1. Određivanje područja obuhvata i izbor dionika

Urbanizacija i veliki porast broja vozila i pješaka upućuje na brojna pitanja vezana za planiranje upravljanja cestovnom infrastrukturom, posebno u gusto naseljenim središtima. Takav je i grad Split s ukupnom populacijom nešto većom od 180 tisuća stanovnika (prema [25]), što ga čini drugim gradom po veličini u Republici Hrvatskoj.

Tablica 1. Klasifikacija pregledanih infrastrukturnih elemenata prema tipu kojem pripadaju

Redni broj	Tip elementa	Broj elemenata u području istraživanja	Udio tog tipa elementa prema svim elementima u području istraživanja
1.	Ulica	19	8,1
2.	Dio ulice	144	61,0
3.	Raskrižje	39	16,5
4.	Garaža	2	0,8
5.	Parkiralište	10	4,2
6.	Autobusna stanica	14	5,9
7.	Autobusni terminal	1	0,4
8.	Benzinska stanica	4	1,7
9.	Nadvožnjak	1	0,4
10.	Tunel	2	0,8

Područje obuhvata istraživanja je šire središte grada u kojem se nalazi velik broj javnih građevina, a odlikuje se velikom gustoćom brojnih pješačkih tokova. Područje je detaljno ispitano te je utvrđeno postojanje 236 infrastrukturnih elemenata čije stanje treba unaprijediti. Utvrđeni infrastrukturni elementi potom su podijeljeni u 10 različitih tipova elemenata sukladno njihovim geometrijskim i konstrukcijskim karakteristikama (tablica 1.). Pregledavani su samo javni infrastrukturni elementi kao što su javne garaže i javna parkirna mjesta, ulice i dijelovi ulica prosječnih dužina 180-200 m. Svi utvrđeni infrastrukturni elementi su sukladno tipu kojem pripadaju uneseni u registar infrastrukturnih elemenata baziran na GIS tehnologiji. U tablici 1. prikazan je utvrđeni broj elemenata nekog tipa i udio svakog tipa u ukupnom broju svih elemenata unutar područja istraživanja. Da bi se osigurale primjerene podloge za učinkovito donošenje odluka, dionici su svrstani u tri skupine: gradska uprava, stručnjaci za transport i građani (tj. korisnici). Skupinu "gradska uprava" čine zamjenik gradonačelnika zadužen za komunalne djelatnosti te predstavnici nekoliko upravnih odjela koji se bave komunalnim poslovima, prometom, planiranjem i razvojem. Skupinu "eksperti za promet" čine stručnjaci iz područja prometa, građevinarstva i okolišni stručnjaci sa Sveučilišta u Splitu, lokalni inženjeri s iskustvom u upravljanju urbanim cestovnim prometom i održavanjem infrastrukture te ekonomskih eksperata specijaliziranih za upravljanje održavanjem cesta u gradovima. Treća skupinu čine predstavnici građana iz svakog od 27 kotareva grada Splita. Okupljanje tako različitih dionika podrazumijeva da postoji usklađeni način razmišljanja u procesu postizanja promjena u složenom okruženju.

Osim toga, treba navesti: iako je dio ekspertne skupine sastavljen isključivo od stručnjaka Sveučilišta u Splitu (osim dvojice koautora) to ne znači da će nedostajati neovisno mišljenje jer neki od tih stručnjaka trenutačno ne žive ili nikada nisu boravili u Splitu, a većina od njih je znatan dio svoje karijere provela u inozemstvu. Svi oni imaju iskustva u međunarodnim znanstvenim istraživanjima u području svoje ekspertize potrebne za ovo istraživanje, ali vezanim za neka

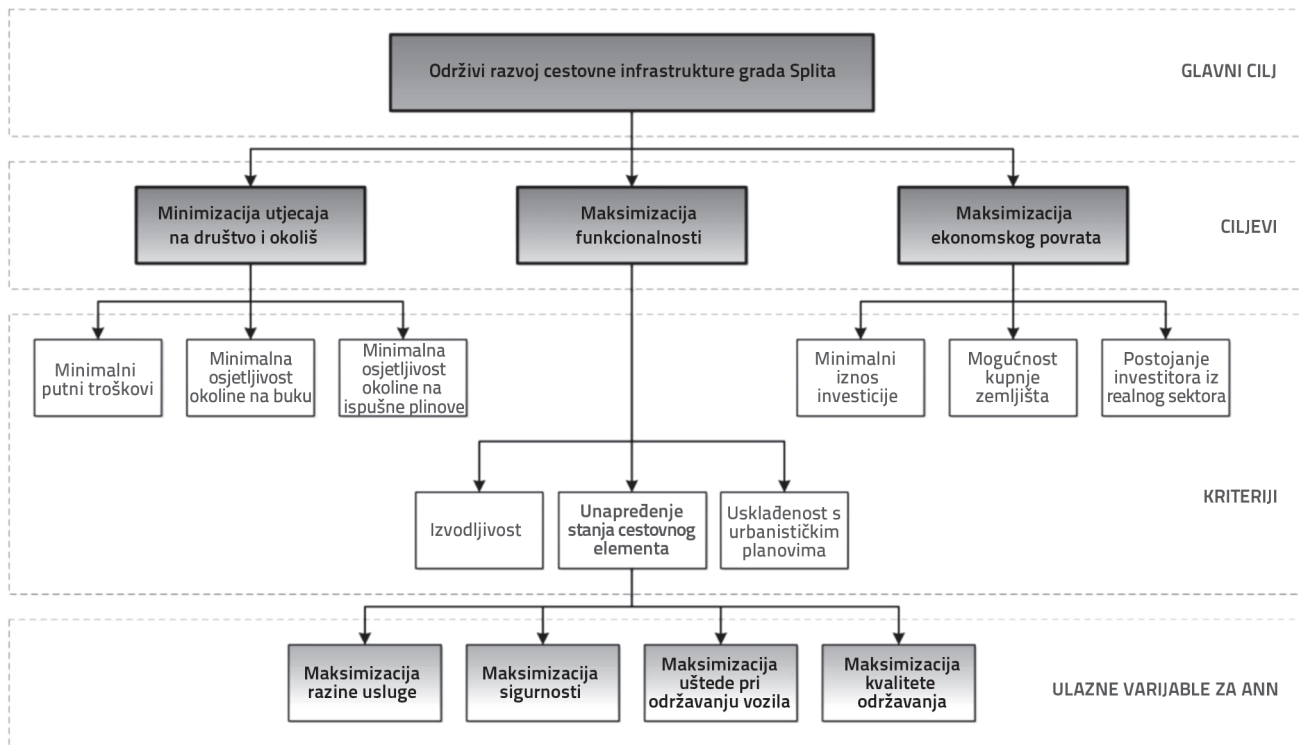
druga područja u svijetu. S druge strane, njihovo poznavanje stanja cestovne infrastrukture grada Splita smatramo dodanom vrijednošću u procesima stvaranja hijerarhije ciljeva i određivanja njihovih težina. Razlog tome je njihova sposobnost uočavanja čak i prikrivenih posebnosti cestovne infrastrukture u gradu Splitu uzimajući u obzir "širu sliku" problema. Također oni mogu detektirati neprikladne kriterije (kriterije koji općenito mogu biti shvaćeni kao značajni, ali koji ne mogu dovoljno dobro uputiti na razlike u ocjenama između analiziranih elemenata i stoga su nevažni za ovakav oblik analize) za ovo specifično područje.

### 3.2. Definiranje ciljeva, kriterija i njihovih težina

Hijerarhijska struktura ciljeva za definirani problem prikazana je na slici 3., a sastoji se od glavnog cilja i 16 podržavajućih mu ciljeva podijeljenih u tri razine. Kako je glavni cilj "Održivi razvoj cestovne infrastrukture grada Splita", njegovo rješenje je zasnovano na postupnom unapređenju stanja utvrđenih infrastrukturnih elemenata primjerice ulica ili dijelova ulica unutar pregledanog područja.

Tijekom procesa uspostave hijerarhije ciljeva, spomenuti su dionici bili uključeni u generiranje ciljeva kroz proceduru nazvanu "Lista želja". Dionici su okupljeni u panel-raspravu, koja je rezultirala hijerarhijskom strukturom ciljeva (slika 3.) i iskazom njihovih preferencija (što je prikazano u dodatku i tablici 3.). Tijekom prve faze ova procedura u obzir uzima sve ciljeve predložene od uključenih dionika. Kako je moguće međusobno preklapanje nekih ciljeva ili sličnost njihovih značenja ili sličnost s glavnim ciljem potrebno je tijekom druge faze procedure provesti njihovo sintetiziranje. Sukladno tome, preopširnost je izbjegnuta. Druga faza rezultirala je sa 16 sintetiziranih ciljeva i kriterija (slika 3.). Kad su svi važni ciljevi (po mišljenju svih eksperata uključenih u određivanje hijerarhije ciljeva) potrebni za osiguravanje postizanja glavnog cilja identificirani, svaki od tih ciljeva je raspoređen prema važnosti u smislu potpore glavnom cilju na odgovarajuću hijerarhijsku razinu. Tako je pozicija svakog predloženog cilja definirana unutar hijerarhije ciljeva. Sukladno rezultatima procedure "Lista želja" i identificiranim prioritetima između svih predloženih ciljeva, na slici 3. predložena je hijerarhijska struktura ciljeva u obliku stabla ciljeva.

Ciljevi koji se nalaze na pretposljednjoj razini definiranih stabla ciljeva potom su izabrani kao odgovarajući niz kriterija potreban za provođenje prioritarnog rangiranja infrastrukturnih elemenata višekriterijskom metodom SAW. Ti su kriteriji prikazani na tablici 2. zajedno s njihovim opisom i opisom tehnika primijenjenih za ocjenjivanje stanja infrastrukturnih



Slika 3. Hijerarhijska struktura ciljeva i kriteriji za problem planiranja infrastrukture grada Splita

Tablica 2. Nazivi, kratak opis i tehnika ocjenjivanja za svaki kriterij

Oznaka kriterija	Naziv kriterija	Kratak opis kriterija i tehnike primijenjene za ocjenjivanje stanja infrastrukturnog elementa po tom kriteriju
C <sub>1</sub>	Minimalni putni troškovi	Ekspertna procjena o uštedi putnih troškova – ocjenjivanje izraženo u eurima
C <sub>2</sub>	Minimalna osjetljivost okoline na buku	Ekspertna procjena osjetljivosti koja uzima u obzir udaljenost elementa od mjesta gdje ljudi (posebno djeca) borave dulje vrijeme (kao što su škole, stambene zgrade i medicinske ustanove) – ocjenjivanje je od 1 (najbolje) do 10 (najgore)
C <sub>3</sub>	Minimalna osjetljivost okoline na ispušne plinove	Ekspertna procjena osjetljivosti koja uzima u obzir udaljenost elementa od mjesta gdje ljudi (posebno djeca) borave dulje vrijeme (kao što su škole, stambene zgrade i medicinske ustanove) – ocjenjivanje je od 1 (najbolje) do 10 (najgore)
C <sub>4</sub>	Izvodljivost	Ekspertna procjena koja uzima u obzir očekivano trajanje izgradnje sukladno dinamičkom planu i troškovniku – ocjenjivanje od 1 (najbolje) do 5 (najgore).
C <sub>5</sub>	Unapređenje stanja cestovnog elementa	Utvrđuje se kao procjena stanja infrastrukturnog elementa pomoću posebno za ovu svrhu naučene i provjerene neuronske mreže – ocjenjivanje je od 0 (najbolje stanje) do 1 (najgore stanje)*
C <sub>6</sub>	Usklađenost s urbanističkim planovima	Utvrđuje se nalazi li se element ili ne nalazi u prostornom planu (npr. županijski prostorni plan, generalni urbanistički plan, urbanistički plan uređenja)– ako je upisan ocjena je 0; ako nije upisan ocjena je 1
C <sub>7</sub>	Minimalni iznos investicije	Iznos uključuje trošak pripreme projektne dokumentacije, trošak izgradnje po principu "ključ u ruke", trošak kupnje zemljišta i druge troškove – ocjenjivanje je izraženo u eurima
C <sub>8</sub>	Mogućnost kupnje zemljišta	Utvrđuje se može li se ili ne može kupiti dodatna zemlja koja se nalazi neposredno uz element, a koja bi se mogla dobro iskoristiti za rekonstrukciju (ili sanaciju) elementa: ako je moguće ocjena je 0; ako nije moguće, ocjena je 1
C <sub>9</sub>	Postojanje investitora iz realnog sektora	Utvrđuje se postoji li interes za uspostavljanje suradnje na projektu rekonstrukcije (ili sanacije) u obliku JPP (javno privatnog partnerstva): ako postoji ocjena je 0, ako ne postoji ocjena je 1

\* u odjeljku 3.3 opširniji je opis ove tehnike

Tablica 3. Težine kriterija i scenariji

Oznaka kriterija	Naziv kriterija	Težine za scenarij 1	Težine za scenarij 2	Težine za scenarij 3	Težine za scenarij 4	Težine za scenarij 4 [%]
C <sub>1</sub>	Minimalni putni troškovi	0,111	0,173	0,122	0,136	13,6
C <sub>2</sub>	Minimalna osjetljivost okoline na buku	0,111	0,081	0,101	0,098	9,8
C <sub>3</sub>	Minimalna osjetljivost okoline na ispušne plinove	0,111	0,079	0,110	0,100	10,0
C <sub>4</sub>	Izvodljivost	0,109	0,034	0,111	0,084	8,4
C <sub>5</sub>	Unapređenje stanja cestovnog elementa	0,070	0,259	0,111	0,147	14,7
C <sub>6</sub>	Usklađenost s urbanističkim planovima	0,154	0,04	0,111	0,102	10,2
C <sub>7</sub>	Minimalni iznos investicije	0,231	0,136	0,164	0,177	17,7
C <sub>8</sub>	Mogućnost kupnje zemljišta	0,069	0,172	0,074	0,105	10,5
C <sub>9</sub>	Postojanje investitora iz realnog sektora	0,034	0,026	0,096	0,051	5,1
	Ukupno	1,000	1,000	1,000	1,000	100,0

elemenata. Ciljevi u posljednjoj (najnižoj) razini stabla ciljeva izabrani su kao odgovarajuće varijable, tj. ulazne varijable (engl. *input*) za umjetne neuronske mreže, u procesu identificiranja cestovnih infrastrukturnih elemenata čije se stanje može unaprijediti.

Težine kriterija (ponderi) bile su definirane uzimajući u obzir preferencije svih dionika i primjenom metode AHP na definiranom stablu ciljeva. U pogledu uspostavljanja pravila metode AHP za uspoređivanje ciljeva i kriterija, svi dionici su proveli usporedbu svakog kriterija sa svakim drugim u smislu utvrđivanja njegove relativne važnosti za ostvarivanje njemu direktno nadređenog cilja i njegove relativne važnosti za posredno ostvarivanje glavnog cilja. Primjenjujući metodu AHP, indeks konzistentnosti (CI) mora se uzeti u obzir jer ako je vrijednost CI, "S" manja ili jednaka 0,1 tada su težine pravilno izračunate ( $CI_{uprava} = 0,06$ ;  $CI_{eksperti} = 0,05$ ;  $CI_{građani} = 0,09$ ), što znači da je nekonzistentnost manja od 10% [24].

Sukladno važnosti kriterija za ostvarivanje glavnog cilja, svaka od skupina dionika definirala je različite nizove pondera za isti niz kriterija. Svaki niz pondera predstavlja različiti scenarij te su tako osigurana tri scenarija koja su potrebna za daljnju analizu (tablica 3.). Utvrđivanje pondera primjenom metode AHP za sva tri scenarija bilo je opravdano jer su za sva tri scenarija dobivene vrijednosti CI manje od 0,1. Prvi scenarij opisuje preferencije gradske uprave, drugi opisuje preferencije eksperata za transport i treći scenarij pokazuje kako građani vide analizirani problem.

Različite skupine dionika iskazale su različite preferencije za prethodno definirane kriterije. Svaka od njih više preferira one kriterije za koje imaju odgovornost i za koje posjeduju prikladna znanja. Prema tome, gradska uprava (scenarij 1) i eksperti za transport (scenarij 2) iskazali su više preferencije prema kriterijima koji su povezani s funkcionalnosti, izgradivosti i izvodljivosti rješenja, a skupina građana (scenarij 3) je iskazala jednake preferencije prema definiranim kriterijima, pa time i prema njihovoj važnosti za rješenje. Četvrti scenarij predstavlja kompromisni pogled na rješenje analiziranog problema.

Daljnja analiza provedena je prema četvrtom scenariju koji čini isti niz kriterija kao i tri prethodna scenarija, ali s različitim nizom pondera. Ponder svakog kriterija u tom nizu dobiven je kao srednja vrijednost (aritmetička sredina) pondera tog istog kriterija iz tri prethodno spomenuta scenarija. Na ovaj su način preferencije svih dionika ugrađene u model i bit će iskazane kroz konačno rješenje tj. listu kojom je iskazano prioritarno rangiranje.

### 3.3. Identifikacija elemenata cestovne infrastrukture čije stanje može biti unaprijeđeno

Postoji nekoliko različitih dostupnih oblikovanja umjetnih neuronskih mreža za primjenu u ovakvim istraživanjima, ali jedno od uobičajenih je ono bez povratnih veza. Kod takvih mreža neuroni nekog sloja su povezani isključivo s neuronima sljedećeg sloja. Ove veze su jednosmjerne što znači da signali ili informacije koji se obrađuju mogu proći kroz mrežu samo u jednom smjeru, primjerice od ulaznog sloja preko skrivenih slojeva do izlaznog sloja. Mreže bez povratnih veza obično koriste algoritme učenja s povratnom propagacijom pogreške pod nadzorom za dinamičko namještanje težina veza svakog neurona u mreži.

Algoritam učenja s povratnom propagacijom pogreške najbolji je poznati algoritam za treniranje/učenje neuronskih mreža i još uvijek jedan od najkorisnijih. Osmislilo ga je više autora [26-29]. Algoritam iterativno namješta vrijednosti težina veza neurona na temelju pogreške stvarnog izlaza mreže u odnosu na ciljanu/poznatu vrijednost izlaza. Stvarno modificiranje težina provodi se na način da se težine modificiraju svaki put nakon što se primjer za učenje prezentira mreži. Višeslojni perceptron (engl. *multilayer perceptron – MLP*) poseban je tip mreže bez povratnih veza s tri ili više slojeva i nelinearnim transfernim funkcijama neurona u skrivenom/skrivenim sloju/slojevima. MLP mogu povezati obrasce učenja s izlazima za nelinearno odvojive podatke. Zahvaljujući originalnosti [29], ovo je trenutačno vjerojatno najpopularnija uobičajena neuronska mreža u uporabi.

Tablica 4. Cestovni elementi čije je stanje procijenjeno kao nedovoljno

Oznaka elementa	Procjena stanja elementa	Naziv elementa cestovne infrastrukture
A1	0,564	Pojišanska i Zvonimirova (raskrižje)
A2	0,628	Sukoišanska (dio ulice)
A3	0,790	Put Stinica (ulica)
A4	0,584	Meštrovićeva, Sustipanskog P. i Ulica Dražanac (raskrižje)
A5	0,836	Spinčićeva, Zajčeva i Put Firula (raskrižje)
A6	0,506	Pojišanska_1 (dio ulice)
A7	0,526	Pojišanska_2 (dio ulice)
A8	0,715	Kavanjinova, Manderova i Svačićeva (raskrižje)
A9	0,674	Domovinskog rata (dio ulice)
A10	0,611	Sukoišanska i Starčevićeva (raskrižje)
A11	0,754	Vukovarska, Bihačka, Zagrebačka i Dom. rata (raskrižje)
A12	0,688	Mažuranićevo šetalište, Dom. rata i Gundulićeva (raskrižje)
A13	0,623	Ulica slobode (dio ulice)

Identificiranje elemenata cestovne infrastrukture lošeg stanja koje može biti unaprijedeno napravljeno je s odgovarajućom i posebno za ove potrebe naučenom i provjerenom umjetnom neuronskom mrežom (tip mreže – višeslojni perceptron sa sljedećim troslojnim oblikovanjem 4:4-3-1:1, izvrsnih preformansi - regresija 0,06, korelacija 0,999 i pogreška 0,004) s četiri ulazne i jednom izlaznom varijablom. Četiri ulazne varijable ove neuronske mreže su: razina usluge, sigurnost, uštede na održavanju vozila i kvaliteta održavanja. Ova mreža je pripremana algoritmom s povratnom propagacijom pogreške (pomoću STATISTICA Automated Neural Networks – SANN računalnog programa proizvođača StatSoft Inc.) na setu koji se sastoji od 200 slučajeva. Svaki

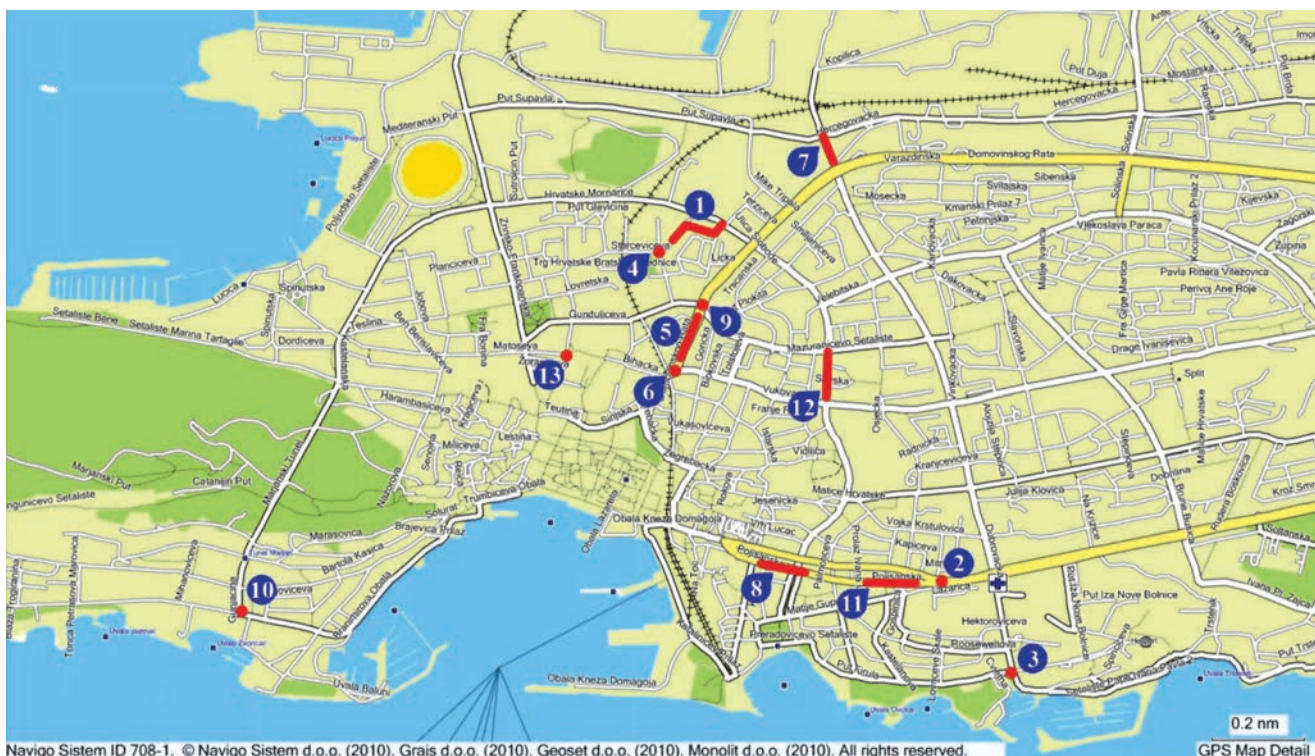
slučaj ima četiri vrijednosti (prikupljene tijekom prvog ciklusa monitoringa) za ulazne varijable i isti broj (200) vrijednosti za izlaznu varijablu koje su određene ekspertnom procjenom. Vrijednost izlazne varijable predstavlja procjenu stanja jednog infrastrukturnog elementa. Set podataka za testiranje sastoji se od 36 slučajeva i na njemu je utvrđeno da izabrana umjetna neuronska mreža procjenjuje stanje elementa s potrebnom točnošću (za potrebe ove vrste ekspertne procjene). Vrijednosti ulaznih varijabli (za 236 slučajeva) prikupljene su ponovo za isto područje istraživanja godinu dana kasnije. Podaci prikupljeni tijekom drugog ciklusa monitoringa korišteni su za procjenu stanja svih infrastrukturnih elemenata u analiziranom području pomoću naučene umjetne neuronske mreže. Između svih analiziranih elemenata izabrani su za daljnju analizu i prioritarno rangiranje samo oni elementi čije je stanje procijenjeno kao nedovoljno. Stanje elementa je smatrano nedovoljnim ako je vrijednost procjene stanja bila manja od 1 unutar intervala procjenjivanja od 0 (najlošije stanje) do 10 (najbolje stanje). Tablica 4 prikazuje infrastrukturne elemente unutar područja istraživanja čije je stanje procijenjeno kao nedovoljno.

Tablica 4. prikazuje 13 elemenata čije je stanje procijenjeno kao nedovoljno primjenom naučene umjetne neuronske mreže. Sukladno tome najbolji infrastrukturni element je element A6 (dio ulice), a najgori je infrastrukturni element A5 (raskrižje).

Tablica 5. Višekriterijski model s rangiranjem

Oznaka elementa	Rangiranje	Rezultat	Težine i oznake kriterija								
			13,55	9,78	9,99	8,45	14,68	10,20	17,70	10,48	5,15
			C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>
A1	2.	72,67	7,40	9,80	10,00	8,40	9,91	10,20	6,46	10,50	0,00
A2	1.	72,82	3,34	8,82	8,89	5,04	11,04	10,20	14,99	10,50	0,00
A3	7.	61,90	3,58	4,90	4,44	5,04	13,89	10,20	4,24	10,50	5,10
A4	10.	47,22	13,60	3,92	4,44	1,68	10,27	0,00	2,80	10,50	0,00
A5	3.	70,16	6,20	6,86	7,78	8,40	14,69	0,00	15,72	10,50	0,00
A6	8.	57,23	4,06	1,96	1,11	8,40	8,89	10,20	17,51	0,00	5,10
A7	11.	39,52	1,19	5,88	5,56	5,04	9,25	0,00	7,50	0,00	5,10
A8	13.	24,73	3,10	2,94	2,22	1,68	12,57	0,00	2,22	0,00	0,00
A9	5.	65,33	1,67	3,92	4,44	5,04	11,85	10,20	17,70	10,50	0,00
A10	4.	66,25	0,00	6,86	6,67	8,40	10,74	10,20	12,88	10,50	0,00
A11	6.	63,52	2,15	8,82	8,89	1,68	13,25	10,20	8,03	10,50	0,00
A12	9.	47,27	10,74	0,98	1,11	1,68	12,09	10,20	10,47	0,00	0,00
A13	12.	35,60	3,82	1,96	1,11	5,04	10,95	0,00	2,22	10,50	0,00





Slika 4. Prostorna raspodjela i rangiranje analiziranih elemenata

### 3.4. Odlučivanje – uspostava prioriteta

Tablica 5. prikazuje višekriterijski model za prioritarno rangiranje elemenata cestovne infrastrukture u gradskom središtu. S obzirom na iskazana suprotstavljanja između scenarija težine četvrtog scenarija izračunane su kao srednje vrijednosti težina triju scenarija (scenarij 1, 2 i 3) dajući tako jednaku važnost svim skupinama dionika. Novi, četvrti scenarij formiran je od težina zasnovanih na ekspertnom kompromisu. Ove su vrijednosti težina su potom korištene u metodi SAW kao vrijednosti pondera. Ocjene stanja infrastrukturnih elemenata trebaju biti pripremljene (normalizirane i transformirane) prije primjene SAW metode.

Niz od devet podataka u redu A1 i stupcima od C<sub>1</sub> do C<sub>9</sub> u tablici 5. dobiven je kao devet različitih umnožaka ocjena stanja infrastrukturnog elementa A1 po devet različitih kriterija i odgovarajućih težina tih istih kriterija. Podaci u ostalim redovima su dobiveni analogno. Konačni rezultat za svaki element dobiven je kao ponderirana suma i prikazan je u trećem stupcu tablice 5. U tom stupcu iskazan je konačan rezultat višekriterijskog modela za svaki element, a u drugom je stupcu iskazano njihovo rangiranje. Što je veći rezultat za neki element dobiven primjenom metode SAW, taj element ima veći prioritet za poduzimanje aktivnosti unapređenja kao što je rekonstrukcija. Dakle, element cestovne infrastrukture A2 dominira s rezultatom od 72,82 nad svim drugim elementima s kojima je provedeno uspoređivanje, a slijede ga elementi A1 (72,67) i A5 (70,16). Element s najlošijim rezultatom (24,73) je element A8.

To znači ne samo da je A2 element s najlošijim stanjem između 13 analiziranih elemenata nego da se njegovim unapređenjem najviše podupire ostvarenje glavnog cilja. Prostorna raspodjela analiziranih elemenata cestovne infrastrukture zajedno s rezultatima prioritarnog rangiranja prikazana je na slici 4. Lista prioriteta koja je dobivena predloženom metodologijom za podršku odlučivanju predstavlja sveobuhvatan plan koristan u upravljanju projektima cestovne infrastrukture. Predstavnici gradske uprave uz pomoć eksperata za upravljanje projektima (iz područja urbane cestovne infrastrukture) izabrali su najprikladnije rješenje (tijekom procesa skupnog odlučivanja) koje je usklađeno s dobivenim prioritarnim rangiranjem i aktualnim politikama. Izabrano rješenje predstavlja plan za unapređenje stanja elementa samo za jedan investicijski period i mora biti usklađen s ograničenim sredstvima predviđenim u gradskom proračunu. Dostupna financijska sredstva za sljedeći investicijski period predstavljaju su (od strane predstavnika gradske vlasti) tijekom procesa izbora rješenja kao konačni kriterij. Naposljetku su predstavnici gradske vlasti prihvatili šest najbolje rangiranih elemenata (sukladno tablici 5. i slici 4.) kao plan unapređenja za sljedeći investicijski ciklus od jedne godine.

### 4. Zaključak

Predloženi koncept za podršku odlučivanju upućuje na to da je složene i osjetljive procese donošenja odluka, kakvi su prisutni tijekom planiranja unapređenja urbane cestovne infrastrukture, moguće podržati ako se odgovarajuće metode i podaci

prikladno organiziraju i koriste. Sustav za podršku odlučivanju u upravljanju urbanom infrastrukturom bio je dobro polazište za oblikovanje ovog koncepta. Koncept za podršku odlučivanju u planiranju unaprijedene cestovne infrastrukture, koji je ovdje predstavljen je sustav unapređenja za uspostavljanje prioriteta između aktivnosti koje se nalaze unutar plana upravljanja urbanom cestovnom infrastrukturom. Koncipiran je kao sprega operacijskih i višekriterijskih metoda kao i umjetnih neuronskih mreža. Pokazao se funkcionalnim kada je primijenjen na cestovnu infrastrukturu grada Splita i može se koristiti za bilo koji drugi tip urbane prometne infrastrukture i za bilo koje drugo urbanizirano naselje ili grad. Pokazano je da se procese donošenja odluka tijekom planiranja može podržati na svim razinama odlučivanja kroz interakciju modula koncepta za podršku odlučivanju. Monitoring programom može osigurati relevantne, ujednačene i prema vremenskom rasporedu prikupljene podatke za analizu umjetnom neuronskom mrežom čiji je rezultat identifikacija elemenata na kojima stanje može

biti unaprijedeno. Uvođenje umjetne neuronske mreže (kao pomagala utemeljenog na znanju) pokazalo se prikladnim za zamjenu sudjelovanja stručnjaka na operativnoj razini. Nadalje, primjena višekriterijske metodologije (AHP i SAW metode) pokazuje nekoliko metodoloških i društveno-političkih prednosti ovog pristupa u rješavanju složenih problema kakav je prioriteto rangiranje elemenata cestovne infrastrukture (prema potrebi unapređenja njihova stanja) i neovisno o razini odlučivanja. Tako se direktno u proces odlučivanja mogu uvesti dionici koji su svrstani u tri značajno različite skupine (lokalna vlast, eksperti i građani). Njihova mišljenja su prihvaćena i iskazana težinama kriterija, čime izbor plana unapređenja i njegova implementacija postaju mnogo lakši jer se time uklanjaju nepovjerenje i pristranosti. Na kraju se može zaključiti kako opisani koncept i njime dobiveno rješenje koje je iskazano u obliku najviše rangiranih infrastrukturnih elemenata može služiti kao dobra osnova za unapređenje procesa planiranja vezanih uz urbanu cestovnu infrastrukturu.

## LITERATURA

- [1] Marović, I.: *Sustav za podršku odlučivanju u upravljanju vrijednostima nekretnina*, disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2013.
- [2] Hanák, T., Marović, I., Pavlović, S.: Preliminary identification of residential environment assessment indicators for sustainable modelling of urban areas, *International Journal for Engineering Modelling*, 27(1-2), pp. 61-68, 2014.
- [3] Bielli, M.: A DSS approach to urban traffic management, *European Journal of Operational Research*, 61(1-2), pp. 106-113, 1992.
- [4] Guisseppi, A., Forgionne, G.A.: Selecting rail grade crossing investments with a decision support system, *Information Sciences*, 144(1-4), pp. 75-90, 2002.
- [5] Jajac, N., Knezić, S., Marović, I.: Decision support system to urban infrastructure maintenance management, *Organization, Technology and Management in Construction – An International Journal*, 1(2), pp. 72-79, 2009.
- [6] Quintero, A., Konaré, D., Pierre, S.: Prototyping an intelligent decision support system for improving urban infrastructures management, *European Journal of Operational Research*, 162(3), pp. 654-672, 2005.
- [7] Pomerol, J., Roy, B., Rosenthal-Sabroux, C.: Development of an "intelligent" system for the evaluation of railway timetables: Problems and issues, *Journal of Decision Systems*, 5, pp. 249-267, 1996.
- [8] Turban, E., Aronson, J.E.: *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, 5<sup>th</sup> edition, Simon and Schuster Company, Upper Saddle River, NJ, 1995.
- [9] Leclerc, G., Hmiya, S., Aïmeur, E., Quintero, A., Pierre, S., Ochoa, G.: An intelligent decision support system (IDSS) for an urban infrastructure complaint management module, *World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, ISAS/SCI 2001*, Orlando, Florida, vol. XVIII, pp. 143-147, 2001.
- [10] Sayers, T.M., Jessop, A.T., Hills, P.J.: Multi-criteria evaluation of transport options-flexible, transparent and user-friendly?, *Transport Policy*, 10(2), pp. 95-105, 2003.
- [11] Hwang, C.-L., Yoon, K.: *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications - A State-of-the-Art Survey*, Springer-Verlag, New York, 1981.
- [12] Yedla, S., Shrestha, R.M.: Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(8), pp. 717-729, 2003.
- [13] Shelton, J., Medina, M.: Integrated multiple-criteria decision-making method to prioritize transportation projects, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2174, pp. 51-57, 2010.
- [14] Aghdaie, M.H., Zolfani, S.H., Zavadskas, E.K.: Prioritizing construction projects of municipalities based on AHP and COPRAS-G: A case study about footbridges in Iran, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 7(2), pp. 145-153, 2012.
- [15] Vajjhala, S.P., Walker, W.M.: Roads to participatory planning; Integration cognitive mapping and GIS for transport prioritization in rural Lesotho, *Journal of Maps*, 6, pp. 488-504, 2010.
- [16] Coutinho-Rodrigues, J., Simao, A., Antunes, C.H.: A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures, *Decision Support System*, 51(3), pp. 720-726, 2011.
- [17] Jajac, N.: *Modeliranje sustava za podršku odlučivanju o razvoju i održavanju urbane cestovne infrastrukture*, disertacija, Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Split, 2010.
- [18] Deluka-Tibljaš, A., Karleuša, B., Dragičević, N.: Review of multicriteria-analysis methods application in decision making about transport infrastructure, *Građevinar*, 65(7), pp. 619-631, 2013.

- [19] Jajac, N., Knezić, S., Mladineo, N.: DSS for urban infrastructure management: Parking garages case study, *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Organization, Technology and Management in Construction*, Umag, Croatia, 2008.
- [20] Sprague, R., Carlson, E.: *Building Effective Decision Support Systems*, Prentice-Hall, New Jersey, 1982.
- [21] Turban, E.: *Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems*, Macmillan Publishing Company, New York, 1993.
- [22] Mitchell, R.K., Agle, B.R., Wood, D.J.: Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts, *Academy of Management Review*, 22, pp. 853-886, 1997.
- [23] Frooman, J.: Stakeholder influence strategies, *Academy of Management Review*, 24(2), pp. 191-205, 1999.
- [24] Saaty, T.L.: *Decision Making for Leaders, The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*, Wadsworth, Belmont, 1982.
- [25] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske: Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011., Prvi rezultati po naseljima. Statistička izvješća, Zagreb, 2011.
- [26] Werbos, P.J.: *Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences*, PhD thesis, Harvard University, 1974.
- [27] Parker, D.B.: *Learning Logic*, Technical Report TR-47, Center for Computational Research in Economics and Management Science, MIT, Cambridge, 1985.
- [28] Parker, D.B.: Optimal Algorithms for Adaptive Networks: Second Order Back-Propagation, Second Order Direct Propagation, and Second Order Hebbian Learning, *Proceeding of the IEEE International Conference on Neural Networks*, San Diego, California, 2, pp. 593-600, 1987.
- [29] Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J.: Learning representations by back-propagating errors, *Nature*, 323, pp. 533-536, 1986.