

# Odabrani primjeri primjene alata višekriterijske analize i mikrosimulacijskog modeliranja u

## ODRŽIVOM PROMETNOM PLANIRANJU

Prostorno i prometno planiranje preduvjet je za postizanje kvalitetnog, sigurnog, funkcionalnog i integriranog urbanog okruženja. U svijetu su razvijeni različiti alati i metode kojima je cilj postići objektivnu ocjenu posljedica izgradnje i rekonstrukcije prometne infrastrukture na prostorne i prometne značajke u različitim vremenskim i prostornim dosezima. U okviru ovoga rada prikazani su odabrani primjeri primjene višekriterijske analize i mikrosimulacija u planiranju izgradnje ili rekonstrukcije prometne infrastrukture i prometnih objekata. Mikrosimulacijsko prometno modeliranje je često korišten alat za analizu prometnih pokazatelja elemenata prometne infrastrukture koji mogu biti u fazi eksploatacije ili još zanimljivije - u planskoj fazi, za postojeću i buduću prometnu potražnju. Metoda višekriterijske analize koristi se u odabiru optimalnog varijantnog rješenja u različitim građevinskim segmentima, pa tako i za odabir optimalne varijante rješenja kod izgradnje ili rekonstrukcije prometne infrastrukture. Uz prometne i ekonomske kriterije danas je neophodno u postupak izbora uključiti kriterije utjecaja na okoliš i socijalne kriterije. Socijalno osjetljivo projektiranje respektira potrebe različitih dionika te uključuje različite interesne skupine u ocjenu varijantnih rješenja i odabir optimalne varijante.

Pišu:

### Izv. prof. dr. sc. Irena Ištoka Otković

Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera Osijek, Hrvatska; iirena@gfos.hr

### Prof. dr. sc. Barbara Karleuša

Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Hrvatska; barbara.karleusa@uniri.hr

### Prof. dr. sc. Aleksandra Deluka-Tibljaš

Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Hrvatska; aleksandra.deluka@uniri.hr

### Uvod

Rekonstrukcija segmenata postojeće prometne mreže prema principima održive urbane mobilnosti uključuje više-disciplinarni pristup i razmatranje prostornih zahvata kroz holističke kriterije. Održivo prometno planiranje obuhvaća optimiranje često suprotstavljenih ciljeva razvoja urbane mobilnosti, zadovoljenje potreba svih prometnih korisnika, kao i uvažavanje prostornih ograničenja i očuvanje okoliša. Europska komisija usvojila je Plan održive urbane mobilno-

sti (Sustainable Urban Mobility Plan-SUMP), dokument koji daje okvir za planiranje i upravljanje urbanom mobilnošću sa ciljem unaprjeđenja života u gradovima kroz siguran, realan, integriran, multimodal, efikasan i okolišno prihvatljiv prometni sustav. Da bi se postigao pozitivan efekt na izbor modaliteta kretanja, i razvile preferencije prema aktivnim i zelenim oblicima mobilnosti, neophodno je stvoriti infrastrukturne preduvjete kroz pristupačnu, povezanu, sigurnu, ugodnu i atraktivnu infrastrukturu namijenjenu kretanju pješaka, biciklista i različitih drugih modaliteta urbane mikromobilnosti, uz istovremeno zadovoljenje potreba motoriziranog prometa u istom vremensko-prostornom okviru. Tradicionalno planiranje i projektiranje prometnog sustava bilo je dominantno usmjereno na zadovoljenje prometne potražnje motornog prometa, a noviji pristup projektiranju, oblikovanje prometne infrastrukture analizira u kontekstu motivatora željenih oblika mobilnosti, različite vidove prometa i različite korisnike sustava.

Osobni automobil provodi, prema nekim procjenama, 5-10% ukupnog vremena u kretanju, pa se planerski pristup prometu u mirovanju za osobna vozila koji se prilagođava potrebama korisnika, u vremenskoj perspektivi pokazao neučinkovit, osim u zonama stanovanja gdje se primjenjuju drugačiji projektni principi. Organizacija i prometna infrastruktura namijenjena prometu u mirovanju može se efikasno koristiti kao utjecajni faktor u izboru modaliteta kretanja, a u nedostatku prostora u urbano definiranim središnjim dijelovima gradova, urbane površine potrebno je ustupiti prijevozno učinkovitijim modalitetima. Pritom se kao alat, za primjerice optimizaciju izbora lokacije garažno-parkirnog objekta ili redosljed prioriteta izgradnje, uspješno primjenjuje metodologija višekriterijske analize.

U malim gradovima aktivna mobilnost je tradicionalno prisutna, ali izgradnja prometnih površina namijenjenih motornom prometu, osobito brzom, ugrožava sigurnost takvog načina kretanja, dok su površine namijenjene prometu u mirovanju često organizirane na vrlo atraktivnim gradskim lokacijama. Male gradove u prostornom i prometnom planiranju i rekonstrukciji, potrebno je sagledati kroz prostorne specifičnosti takvih urbanih prostora, ali upravo u manjim urbanim sredinama leži potencijal za očuvanje i revitalizaciju zdravog i okolišno prihvatljivog kretanja.

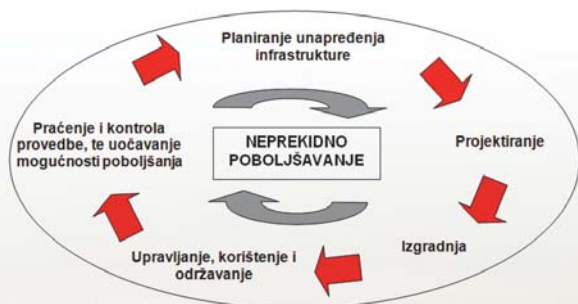
Središnji dijelovi gradova često su prostorno oblikovani u daljoj prošlosti, a kontinuirani rast motoriziranog prometa i gradske populacije stanovništva dovodi do brojnih i često suprotstavljenih ciljeva prometne potražnje, pa prometna rekonstrukcija takvih zona obuhvaća multidisciplinarni pristup i potrebu za višekriterijskom analizom (u daljnjem tekstu VKA) mogućih rješenja. Mikrosimulacijski prometni modeli

su često korišteni alat u odabiru varijantnih rješenja rekonstrukcije prometne infrastrukture, jer omogućavaju analizu funkcionalnih karakteristika još u projektnoj fazi. Važno je napomenuti da analiza funkcionalnih i ekonomskih karakteristika, na kojima je tradicionalno bazirana ocjena varijantnih rješenja rekonstrukcije, ne daje dovoljno široki pristup za socijalno osjetljivo prometno planiranje, pa je potrebno uključiti dodatne aspekte analize u odabir održivog prostorno-prometnog rješenja.

U nastavku je dan prikaz metoda VKA koji se koriste pri donošenju odluka o planiranju, projektiranju i održavanju prometne infrastrukture [1] kao i dva primjera konkretne primjene metoda VKA i kombinacije VKA i prometnih mikrosimulacija u prostorno-prometnom planiranju. Primjer primjene VKA odnosi se na određivanje prioriteta izgradnje garažno-parkirnog objekta unutar urbane sredine [3] dok je primjena kombinacije VKA i prometnih mikrosimulacija dana za primjer planiranja promjena prometnog sustava u centru manjeg grada [4]. U oba primjera primjene metoda, razvijena metodologija uključivo kriteriji, primjenjivi su i za druge slične lokacije ili probleme.

### Primjene metoda višekriterijske analize pri donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi

Uobičajeni algoritam rješavanja nekog infrastrukturnog problema sastoji se od četiri osnovne faze: planiranja; projektiranja; izvedbe; korištenja i održavanja infrastrukture, sustava ili objekta, tijekom vijeka trajanja [1]. Nakon implementacije rješenja slijedi, temeljem praćenja i uočavanja mogućnosti poboljšanja (peta faza), planiranje unaprjeđenja infrastrukture i ponavljanje cijelog procesa (Slika 1). Kroz sve faze neophodna je primjena sustavne analize kroz definiranje problema (ciljeva, kriterija i mjera), razrade mogućih varijanti rješenja i u konačnici izbor samo jednog, najboljeg rješenja.



Slika 1. Unaprjeđenje infrastrukture

S obzirom na kompleksnost urbanih područja za izbor najboljeg infrastrukturnog rješenja neophodno je, u procesu odabira rješenja, sudjelovanje i suradnja stručnjaka različitih profila. Tradicionalni pristup, u kojem su troškovi i koristi, cost-benefit (CB) metoda, bili temelj za odabir rješenja, u prvi je plan stavljao građevinsku struku i ekonomsku valorizaciju građevinskih rješenja, dok kod suvremenog pristupa,

koji problem i rješenje problema, sagledava s više stajališta, stručnjaci građevinarstva postaju neophodni dio šireg, interdisciplinarnog tima u kojem značajnu ulogu u donošenju odluka imaju stručnjaci drugih profila. Uz stručnjake neophodno je u proces uključiti i javnost.

Planiranje i analiza ulaganja, koje za posljedicu ima donošenje odluka važnih za razvoj urbanih područja, pa tako i urbane infrastrukture, složen je proces i važno je razvijati alate koji podižu razinu transparentnosti i objektivnosti izbora rješenja. Za podršku u složenim procesima donošenja odluka, kao što je donošenje odluka vezanih uz urbanu infrastrukturu, gdje je izbor između više generiranih rješenja potrebno provesti uzevši u obzir veći broj kriterija i različitih, kvantitativnih i kvalitativnih mjera, danas je razvijen niz metoda višekriterijskog odlučivanja.

U području višekriterijskog odlučivanja (VKO) jedna je od podjela temeljena na vrsti višekriterijskih problema s aspekta njihova opisivanja posredstvom matematičkog modela i ona obuhvaća modele višeciljnog odlučivanja (VCO) i višeatributivnog odlučivanja (VAO) ili višekriterijske analize (VKA).

Model višeatributivnog odlučivanja ili višekriterijske analize je primjeren za „loše strukturirane“ probleme. Obuhvaća konačan broj varijanti rješenja koje su poznate na početku. Problem se rješava pronalaskom najbolje varijante ili skupa dobrih varijanti u odnosu na definirane attribute/kriterije i njihove težine. Problem donošenja odluka o urbanoj prometnoj infrastrukturi odgovara navedenom opisu problema.

U metode višekriterijske analize ubrajaju se: metoda dominacije, maxmin, minmax, konjunktivna i disjunktivna metoda, leksikografska metoda, metoda jednostavnih aditivnih težina (SAW - Simple Additive Weighting), metoda hijerarhijskih aditivnih težina, metoda višeatributivne korisnosti (MAUT/MAVT-Multi Attribute Utility (Value) Theory), ELECTRE (ELimination and (Et) Choice Translating REALity), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), hijerarhijska trade-off metoda, LINMAP (Linear Programming Techniques for Multidimensional Analysis of Preference), PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), AHP (Analytic Hierarchy Process), VIKOR (višekriterijsko kompromisno rangiranje) i dr.

Pregledom literature iz navedenog područja [1,3] može se utvrditi da se metode višekriterijske analize koriste najviše u fazi planiranja novih rješenja. VKA je primijenjena za: izbor varijanti unaprjeđenja cestovne infrastrukture, izbor lokacija garažno-parkirnih objekata (GPO-a), planiranje objekata za biciklistički promet, izbor trase željeznice ili metroa, izbor varijante razvoja gradske željeznice, izbor varijante gradske zaobilaznice, izbor optimalnog prometnog prijevoza, prometno planiranje na razini kvarta, izbor lokacije luke nautičkog turizma i sl., zatim u fazi upravljanja, održavanja i rekonstrukcije prometne infrastrukture, kao primjerice kod ulaganja



u prometnu infrastrukturu općenito pa do vrlo konkretnih primjera kao što je izbor tipa pješačkog prijelaza na već definiranoj lokaciji. VKA se najmanje koristi pri projektiranju urbane prometne infrastrukture (npr. za izbor tipa GPO-a na već definiranoj lokaciji ili sl.).

Analiza primjene metoda višekriterijske analize u planiranju prometne infrastrukture u urbanim sredinama pokazuje da se, bez obzira na vrstu problema koja se rješava, najčešće koristi AHP metoda (u više od 30% analiziranih radova [1]), dok su manje zastupljene ostale metode PROMETHEE i SAW, a zatim ELECTRE, ANP, REGIME, MAVT i TOPSIS. Također se uočava i kombiniranje VKA metoda s GIS-om i VKA metoda s CB metodom.

Prednost primjene AHP metode autori rada [1] nalaze u mogućnosti koju pruža ova metoda za odabir najboljeg rješenja postavljanjem hijerarhije kriterija i njihovih težina te omogućava donošenje odluke kroz suradnju različitih stručnjaka i dionika, a prednost je i što svim zainteresiranim stranama daje operativni okvir za provedbu analize. Ističe se primjena ove metode kada su kod procjene važni okolišni kriteriji koji, kako je ranije navedeno, ne mogu u svim slučajevima biti egzaktno kvantificirani novčanom vrijednošću, ali svakako mogu biti procjenjivani u relativnom međudnosu varijanti. Detaljan prikaz metode prikazan je u literaturi [2].

Najznačajnije prednosti primjene metoda višekriterijske analize u donošenju odluka su: mogućnost cjelovitog sagledavanja rješenja uključujući socijalni i okolišni aspekt te mogućnost uključivanja više struka (multidisciplinarnost i interdisciplinarnost) i dionika te javnosti, u postupak donošenja odluka. Navedenim se osigurava održivost prometne infrastrukture iz više aspekata.

## Odabir optimalne lokacije za javnu garažu

Primjena AHP metode u procesu prometnog planiranja ispitana je u radu [3] na problemu odabira lokacije javne garaže u priobalnom gradu u Hrvatskoj. Grad ima tipični urbanistički koncept europskog grada sa starom povijesnom jezgrom u kojoj su koncentrirane brojne funkcije te tipične prometne probleme kao što su velike količine osobnih motornih vozila u ljetnoj sezoni te posljedično neodgovarajuća cestovna mreža (nedovoljnog kapaciteta) i nedostatak parkirnih mjesta.

Pri analizi alternativnih lokacija za garažno-parkirni objekt (GPO) razvijena su dva scenarija - smještaj GPO-a uz povijesni centar (dvije lokacije) te druga mogućnost - smještaj GPO-a izvan zone centra (tri lokacije) što podrazumijeva organizaciju javnog prijevoza do dislociranih objekata. Za rangiranje lokacija GPO-a primijenjena je višekriterijska analiza AHP metodom, a cilj je bio odrediti prioritarnu lokaciju izgradnje GPO-a.

Kao kriteriji za usporedbu korišteni su uobičajeni kriteriji primijenjeni na odabir lokacije prometnog objekta: prometni (traffic) kriteriji (T); ekonomski kriteriji (E); okolišni (environmental) kriteriji (EN) i socijalni kriteriji (S).

U sklopu ekonomskih kriterija razrađene su karakteristike tla na definiranim lokacijama jer su ti kriteriji prepoznati kao važni za procjenu složenosti izvedbe objekta. U obzir su uzeti i specifičnosti urbanističkih uvjeta (povijesna jezgra, gustoća izgrađenosti i dr.) kao i prirodnih karakteristika, prvenstveno izgrađenosti u obalnom pojasu i krških svojstava terena

zajedno sa specifičnim geotehničkim problemima (dio terena se nalazi na zaravnjenom dijelu morskog dna, kraški teren s različitom debljinom sloja gline, utjecaj na podzemne vode itd.) koji značajno utječu na planiranje, projektiranje i izvedbu ovog tipa objekata.

Na svim lokacijama analiziran je standardni garažno-parkirni objekt s polukružnim rampama, tlocrtne površine 2.600 m<sup>2</sup>, ali različite etažnosti, ovisno o lokacijskim parametrima.

Za usporedbu rješenja korišteni su sljedeći kriteriji i podkriteriji [3]:

### T - Prometni kriteriji

**T1** - kapacitet planiranog GPO-a (broj parking mjesta)

**T2** - prometno opterećenje postojeće cestovne mreže

**T21** - kapacitet ulaza/izlaza

**T22** - kapacitet okolnih raskrižja/razina usluge

**T3** - prometna važnost i dostupnost u odnosu na postojeću prometnu mrežu

**T31** - pješačka dostupnost, blizina zanimljivih destinacija do kojih se može doći pješice

**T32** - dostupnost primarnoj i prometnoj mreži (duljina prilaza, potencijalne prepreke)

### E - Ekonomski kriteriji

**E1** - troškovi izgradnje

**E11** - geotehničke karakteristike terena i način projektiranja temelja, vrsta tla i stijena na lokaciji, hidrotehničke karakteristike terena, veličina iskopa i broj podzemnih etaža, nužnost zaštite temeljne jame zbog mogućeg bočnog urušavanja i prodora podzemnih voda kao i način izrade temelja

**E12** - potrebno uklanjanje postojećih objekata s lokacije

**E13** - trošak izgradnje objekta, procijenjen u relativnom iznosu u odnosu na ostale objekte s obzirom na veličinu objekta i broj podzemnih etaža

**E2** - isplativost objekta - moguća dobit od naplate parkinga u objektu procijenjena je uzimajući u obzir veličinu objekta (broj parkirnih mjesta) i lokaciju (blizina centra smatra se pozitivnim učinkom jer osigurava komercijalnu upotrebu tijekom cijele godine)

### EN - Okolišni kriteriji

**EN1** - utjecaj na okoliš tijekom izgradnje

**EN11** - utjecaj izgradnje GPO-a na vodne resurse podrazumijeva moguću štetni utjecaj kako na podzemne vode tako i na more koje se nalazi u blizini

**EN12** - štetan utjecaj izgradnje GPO-a na tlo: količina i vrsta materijala su različiti na svakoj lokaciji (iskopani materijal se mora transportirati na odgovarajuća odlagališta građevinskog otpada, no ako se adekvatno tretira, iskopani kameni materijal može se koristiti kao industrijski kamen za različite namjene stoga je ovakva podloga povoljnija sa stajališta zaštite okoliša)

**EN13** - štetan utjecaj izgradnje GPO-a na kvalitetu zraka i povećanu razinu buke. Tijekom izgradnje može se očekivati povećana razina buke i veća koncentracija prašine zbog miniranja i rada građevinskih strojeva, što se može očekivati i kod transporta građevinskog materijala od gradilišta do odgovarajućih odlagališta

**EN2** - analiziran je utjecaj na okoliš tijekom eksploatacije objekta u odnosu na veličinu i lokaciju GPO-a (pretposta-

Tablica 1. Karakteristike varijantnih rješenja [3]

	Svojstva lokacije		Osnovne značajke objekta	Potencijal komercijalne primjene
	Prostorna i prometna pozicija	Geotehnička svojstva tla		
<b>A</b>	- centar grada (povijesni dio) - osigurana pješačka dostupnost do odredišta od interesa - slaba povezanost s prometnom mrežom - izgrađeno područje	- iskop 17.800 m <sup>3</sup> : 70% u tlu s fragmentima, 30% u krškoj karbonatnoj stijeni - temelji garažnog objekta su iznad razine podzemnih voda	- 200 parking mjesta - jedna podzemna i jedna polu-ukopana etaža	- mogućnost komercijalnog korištenja garaže tijekom cijele godine
<b>B</b>	- središte grada - osigurana pješačka dostupnost do odredišta od interesa - loša povezanost s prometnom mrežom - izgrađeno područje	- iskop 18.600 m <sup>3</sup> : 75% u tlu s fragmentima, 25% u krškoj karbonatnoj stijeni - dvije razine podzemne garaže su ispod razine podzemne vode - podupiranje iskopane jame bit će posebno složeno	- 500 parking mjesta - dvije podzemne i četiri nadzemne etaže	- mogućnost komercijalnog korištenja garaže tijekom cijele godine
<b>C</b>	- izvan centra grada - odredišta od interesa izvan pješačke dostupnosti - dobra povezanost s gradskom obilaznicom i prometnom mrežom - područje je dijelom izgrađeno	- iskop 15.800 m <sup>3</sup> : 80% u tlu s uloncima, 20% u okršenoj karbonatnoj stijeni - jedna etaža podzemne garaže je ispod razine podzemnih voda - podupiranje iskopane jame bit će posebno složeno, okršena je stijena duboko slegnuta na 70% temelja (do 15 metara)	- 500 parking mjesta - jedna podzemna i pet nadzemnih etaža	- nije prikladno za komercijalnu upotrebu izvan sezone
<b>D</b>	- prigradski dio grada, u blizini sportskih sadržaja - potrebno za provedbu javnog prijevoza za vezu sa centrom - dobra povezanost s prometnom mrežom - područje djelomično izgrađeno	- iskop 15.700 m <sup>3</sup> : 100% u tlu - temelji garažnog objekta su iznad razine podzemnih voda - podupiranje iskopane jame bit će složeno, okršena podloga je duboko slegnuta	- 500 parking mjesta - jedna podzemna i pet nadzemnih etaža	- nije prikladno za komercijalnu upotrebu izvan sezone
<b>E</b>	- prigradski dio grada - potrebno uvođenje linija javnog prijevoza do centra - dobra povezanost s lokalnom cestovnom mrežom - područje djelomično izgrađeno	- iskop za temelje 3.100 m <sup>3</sup> : 100% u tlu - temelji su iznad razine podzemnih voda	- 300 parking mjesta - tri etaže iznad razine tla	- nije prikladno za komercijalnu upotrebu izvan sezone

vlja se da veći broj parkirališnih mjesta i lokacija bliže centru stvara npr. prometne gužve koje su djelomično posljedica punjenja/praznjenja GPO-a)

**EN3** - odnosi se na ocjenu utjecaja koji objekt ima na postojeći (i planirani) pogled na grad koji je ocjenjivan u odnosu na katnost objekta i njegovu lokaciju unutar određene zone (povijesno središte grada ili rubni dio)

### S - Socijalni kriterij

Socijalni (društveni) kriterij se obično procjenjuje kroz broj ljudi koji bi imali koristi od određenog projekta. U ovom slučaju prednost su imali objekti s većim brojem parkirnih mjesta i bliže sadržajima koji se koriste cijele godine i od lokalnog stanovništva (bliži povijesnoj jezgri). Mogući negativni učinci za društvo uzeti su u obzir kroz druge kriterije (npr. povećanje obujma prometa u prometnim kriterijima) pa oni nisu uključeni u analizu kao potencijalni negativni društveni učinci.

Pregled karakteristika za svih pet varijantnih rješenja prikazan je u tablici 1.

Primjena AHP metode omogućava usporedbu u paru svih varijantnih rješenja s obzirom na svaki definirani kriterij (ili podkriterij). Usporedba se može provesti na temelju mjerljive ili procijenjene važnosti/sklonosti jednog rješenja u odnosu na drugu. Točnost procjene varijanti prema određenom kriteriju značajno utječe na dosljednost i kvalitetu usporedbe parova varijanti. Na temelju svih definiranih kriterija provedena je usporedba svih parova varijanti prema svakom utvrđenom kriteriju. Kako bi se ispitala osjetljivost metode u odnosu na promjene važnosti kriterija, u ovom su radu analizirana dva pristupa (rang-lista kriterija prema važnosti: 1. najvažniji kriterij, 2. manje važan kriterij itd.):

#### Važnost kriterija prema scenariju A:

1. prometni kriterij
2. ekonomski kriterij
3. okolišni i društveni kriteriji

### Važnost kriterija prema scenariju B:

1. okolišni i društveni kriteriji
2. prometno-ekonomski kriteriji

Hijerarhijska struktura AHP metode za razmatrani problem prikazana je na slici 2.

Na temelju provedene analize prema scenarijima A i B, najbolja lokacija GPO-a je varijanta B, a zatim slijedi varijanta C. Alternative A, E i D rangirane su kao 3., 4. i 5. u oba scenarija (slika 3). Varijanta B je vrlo povoljna sa društvenog (socijalnog) gledišta i povoljna s ekonomskog, ali je prema prometnim kriterijima i osobito prema kriteriju utjecaja na okoliš nepovoljnija od alternative C, pa se iz grafičkog prikaza analize osjetljivosti može odabrati varijanta C kao konačna ili se socijalni kriterij može detaljnije razraditi i provesti ponovno rangiranje.

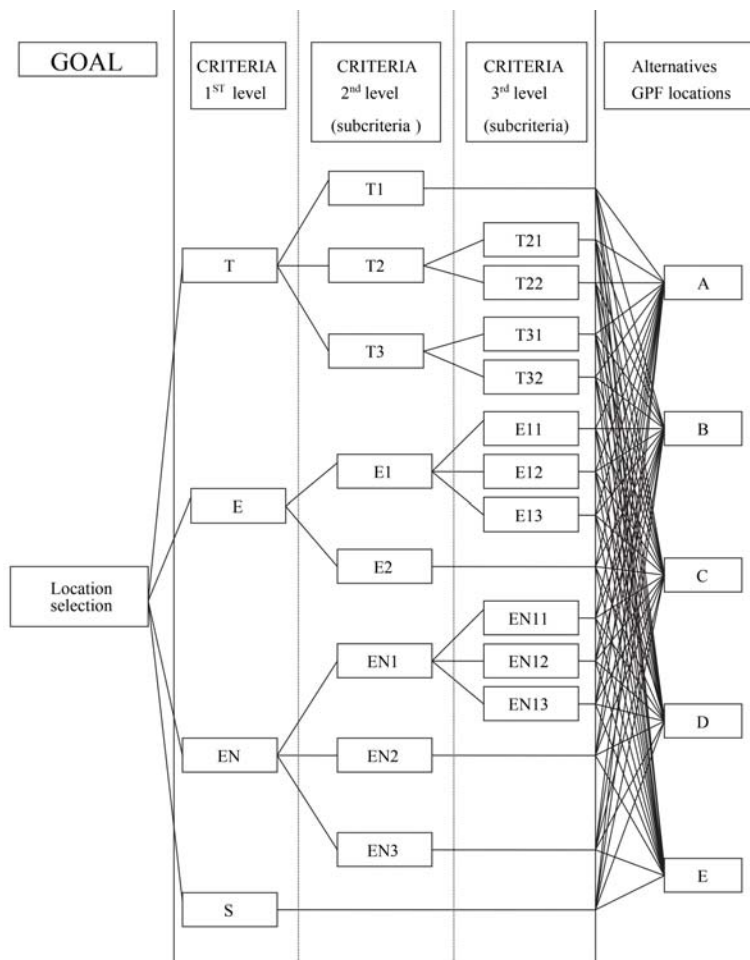
Rezultati višekriterijske analize se u ovom slučaju mogu koristiti za definiranje redoslijeda izgradnje predloženih garažnih objekata jer pokazuju potrebu za različitim GPO-om iz različitih perspektiva.

### Primjena mikrosimulacija i AHP metode višekriterijske analize u održivom prometnom planiranju

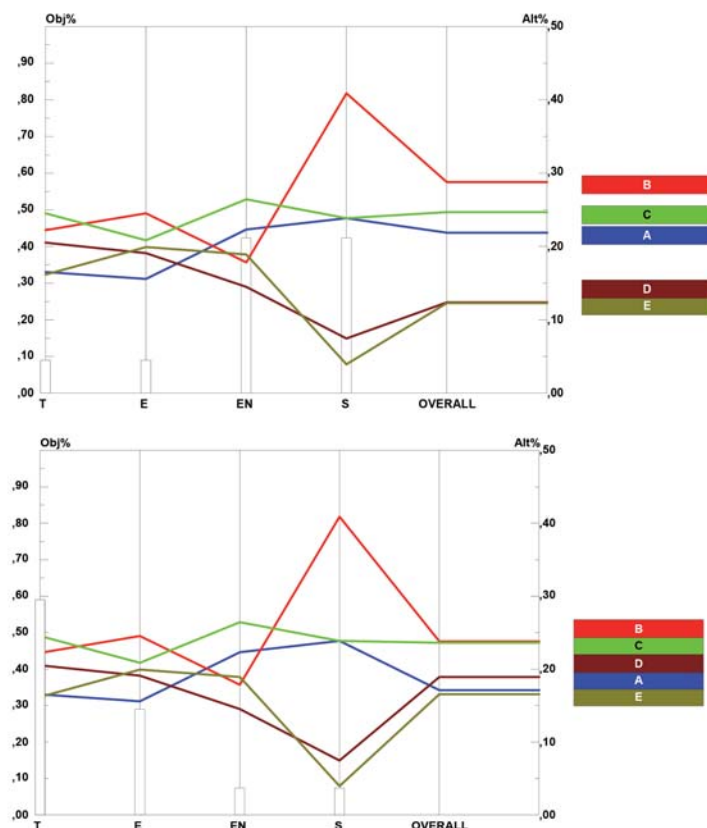
Grad Belišće jedan je od sedam gradova Osječko-baranjske županije, industrijski grad sa oko 10.000 stanovnika. Geografsko-prometna pozicija Belišća čini ga sjecištem važnih regionalnih prometnih koridora. Predmet studije [4] je rekonstrukcija prometnih površina centra grada Belišća. U zoni rekonstrukcije postoji 86 parkirnih mjesta koja ne zadovoljavaju potražnju prometa u mirovanju. Centar grada je administrativni centar sa nizom javnih objekata (pošta, policija, dom zdravlja, ljekarna, muzej grada) koji generiraju potrebu za većom dinamikom prometa u mirovanju - zaustavljanjem i kratkotrajnim parkiranjem. U okviru promatranog segmenta mreže nalazi se i zona stanovanja, koja generira potrebe za dugotrajnim parkiranjem, kao i blizina industrijskih zona u kojoj nema dovoljno parkirnih mjesta s obzirom na potrebe zaposlenika.

Cilj predmetnog projekta rekonstrukcije zone u centru grada Belišća je bio zadovoljiti prometnu potražnju različitih prometnih korisnika prema principima održive urbane mobilnosti [4]. Kao temelj za razradu varijantnih rješenja poslužili su podaci prikupljeni terenskim istraživanjima i iz postojeće dokumentacije vezane za zonu obuhvata.

Mikrosimulacijsko prometno modeliranje na razini idejnog projekta daje kvantitativne pokazatelje kao što su vrijeme putovanja između zadanih točaka, vremenske gubitke, broj zaustavljanja vozila, vremenske gubitke povezane sa zaustavljanjem, razinu uslužnosti, dinamičke karakteristike i dr., ali dobivene rezultate treba uzeti u razmatranje kao relativne pokazatelje, koji imaju dovoljnu razinu točnosti za usporedbu varijantnih rješenja. U istom kontekstu potrebno je analizirati pokazatelje utjecaja na okoliš (aerozagađenje) i ekonomske (potrošnju goriva) pokazatelje



Slika 2. AHP hijerarhijska struktura (lijevo je cilj, kriteriji, podkriteriji, desno varijantna rješenja) [3]



Slika 3. Rezultat rangiranja varijanti korištenjem AHP metode i analiza osjetljivosti za scenarij A (gore) i scenarij B (dolje) [3]

dobivene primjenom mikrosimulacijskog modeliranja u ovoj projektnoj fazi.

U okviru studije napravljena su četiri mikrosimulacijska modela u VISSIM-u, za postojeće stanje (varijanta A0) i za tri varijantna rješenja rekonstrukcije (A1, A2 i A3) da bi se ocijenilo koje varijantno rješenje najbolje može odgovoriti na buduću prometnu potražnju.

Varijantna rješenja su bila slijedeća [4]:

**A1: ŠETNICA** - izgradnja izdvojenog javnog parkirališta i pješačke šetnice u području obuhvata. Cesta za motorni promet namijenjena je samo pristupu parkiralištu, a primjena modernih tehnoloških rješenja - kamere na parkiralištima i display sa brojem slobodnih parkirnih mjesta na svakoj pristupnoj prometnici prevenirao bi neučinkovit ulazak u zonu parkiranja. Biciklistički promet je vođen u mješovitom toku sa vozilima, ali se smanjenjem brzine u zoni povećava sigurnost prometa biciklista.

Rekonstruirana površina: 1630 m<sup>2</sup>; broj parkirnih mjesta: 109 (20 novih); nova šetnica: 130 m; nova biciklistička staza: 0 m; raskrižje: trokrako.

**A2: SHARED SPACE** - koncept sa potpunom integracijom prometnih tokova na zajedničkoj površini oblikovanoj prema potrebama pješačkih i biciklističkih kretanja, s manjim brojem parkirnih mjesta od postojećeg rješenja sa ciljem utjecaja na izbor aktivnih modaliteta urbane mobilnosti. Dodatak rješenju je izgradnja mreže biciklističkih staza u području obuhvata koja daje veću sigurnost biciklističkom prometu.

Rekonstruirana površina: 3880 m<sup>2</sup>; broj parkirnih mjesta: 48 (38 manje od postojećeg); nova pješačka staza: 160 m; nova biciklistička staza: 535 m; raskrižje: četvero-krako.

**A3: ZONA SMIRENOG PROMETA** - Rekonstrukcija postojeće sabirne ulice koja vodi prema užem centru grada, u zonu smirenog prometa („zonu 30“), s novih 31 uzdužnih parkirnih mjesta. Postojeće prometne površine za pješake i bicikliste, zajedno sa površinama namijenjenim prometu u mirovanju (82 parkirna mjesta) ostaju iste.

Rekonstruirana površina: 1150 m<sup>2</sup>; broj parkirnih mjesta: 116 (31 novo); nova pješačka staza: 145 m; nova biciklistička staza: 210 m; raskrižje: četvero-krako.

Osnovni metodološki koraci primijenjeni za ocjenu varijantnih rješenja prikazani su u dijagramu na slici 4.

U odabiru optimalnog varijantnog rješenja rekonstrukcije korištena je AHP metoda višekriterijske analize u kombinaciji sa mikrosimulacijskim modeliranjem za očekivanu prometnu potražnju u projektnom periodu. U razmatranom problemu, hijerarhijska struktura AHP metode bazirana je na pet odabranih grupa kriterija - funkcionalni (F), sigurnosni (S), ekonomski (EC), okolišni (environmental) (EN) i prostorno-urbanistički (spatial-urbanistic) (SU), koji sadrže 21 kriterij, 7 pod-kriterija, a težinski koeficijenti su varirani prema preferencijama utvrđenih uključivanjem interesnih grupa (slika 5). Odabrani kriteriji kratko su objašnjeni u nastavku [4]:

### Funkcionalni kriteriji - F

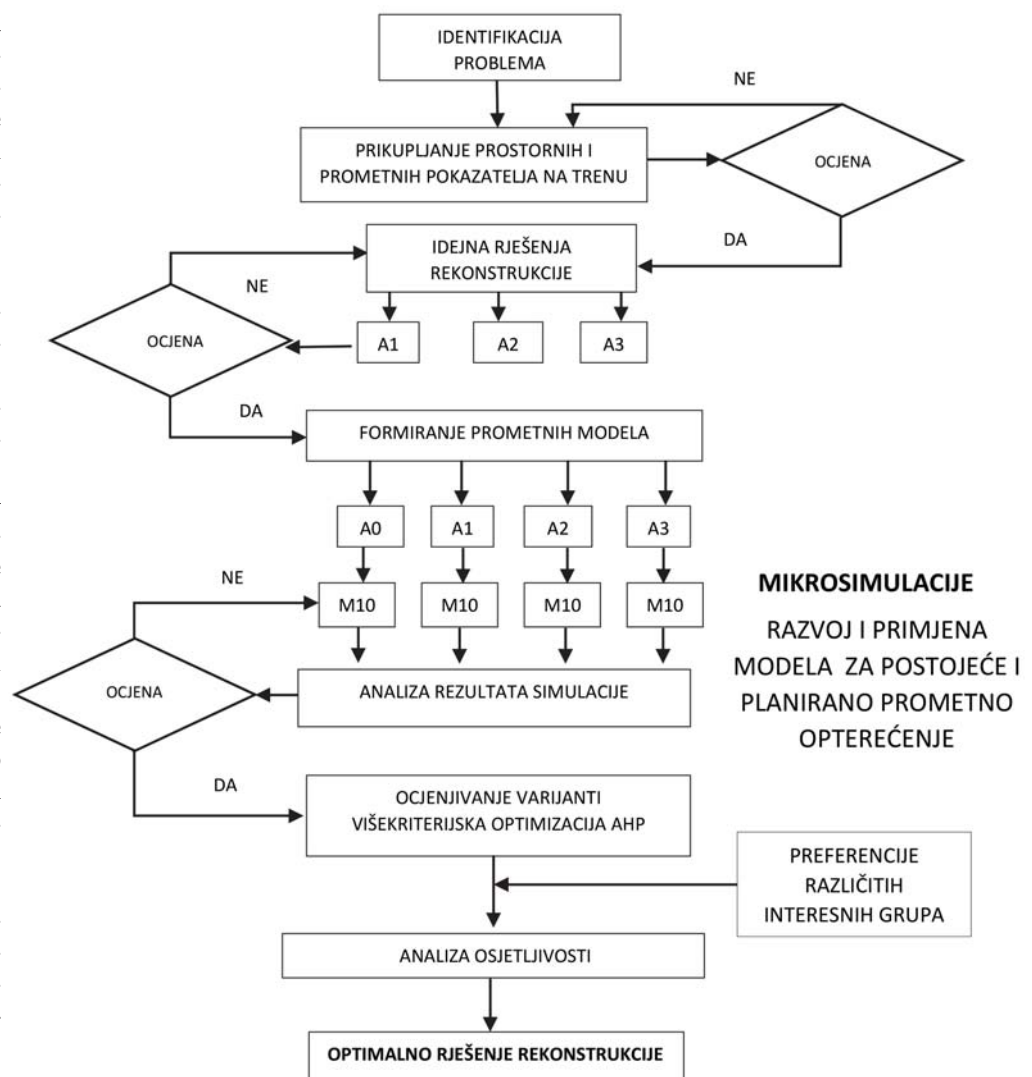
Funkcionalni kriteriji služe za ocjenu koliko pojedino varijantno rješenje odgovara prometnim zahtjevima pojedinih kategorija korisnika za buduću prometnu potražnju koja je usvojena kao relevantna.

**F1** - funkcionalni prometni kriteriji kao rezultat mikrosimulacija u VISSIM-u

**F11** - maksimalna dužina kolone vozila (m) u vršnom satu

**F12** - ukupni prosječni vremenski gubici po vozilu (sec/voz)

**F13** - prosječni broj zaustavljanja svakog vozila (broj)



A0-postojeće prometno rješenje; A1, A2, A3 - idejna rješenja rekonstrukcije; M10-analiza deset različitih prometnih scenarija primjenom mikrosimulacija prometa

Slika 4. Osnovni metodološki koraci [4]

**F14** - prosječni vremenski gubici uzrokovani zaustavljanjem po vozilu (sec/voz)

**F15** - razina uslužnosti (LOS - Level of service) iskazana kategorijski od A do F

**F2** - dužina novih biciklističkih staza (m) iz projektnog rješenja

**F3** - dužina nove pješačke infrastrukture (m) iz projektnog rješenja

**F4** - ukupan broj parkirnih mjesta iz projektnog rješenja

### Kriterij prometne sigurnosti - S

Direktne pokazatelje prometne sigurnosti kao što su broj prometnih nezgoda i broj teških prometnih nezgoda (sa poginulom ili teško stradalom osobom) moguće je analizirati samo za postojeće prometno rješenje (AO), pa su sigurnosni kriteriji analizirani kroz posredne pokazatelje.

**S1** - brzina (km/h) je u korelaciji sa brojem prometnih nezgoda, a u visokoj korelaciji sa ishodima, odnosno težinom prometnih nezgoda, pogotovo u interakciji vozilo-pješak. Za povećanje brzine od 30 km/h do 50 km/h povećava se vjerojatnost smrtnih i teških ishoda za pješake u rasponu od 40-65%. Za ocjenu varijanti je usvojena brzina dobivena primjenom mikrosimulacija u VISSIM-u.

**S2** - stupanj segregacije (izražen kroz broj razdvojenih prometnih tokova)

**S3** - broj konfliktnih točaka (broj) suprotstavljenih prometnih tokova vozilo-vozilo

**S4** - broj konfliktnih točaka (broj) suprotstavljenih prometnih tokova vozilo-pješak

### Ekonomski kriteriji - EC

Ekonomski pokazatelji uobičajeno se izražavaju kroz cijenu koštanja izgradnje, održavanja, vrijednosti objekta na početku i na kraju planskog perioda, neposrednih i posrednih troškova korisnika i dr. Zbog razine projektne dokumentacije nije moguće cijenu izgradnje i održavanja iskazati kvantitativno već su analizirane kroz usporedbu parova rješenja što je jedna od prednosti za ocjenu varijanti pri korištenju AHP metodologije.

**EC1** - cijena izgradnje (provodi se usporedba parova)

**EC11** - rekonstruirana površina u m<sup>2</sup>

**EC12** - korištenje modernih tehnologija (kamera/display sa podacima o broju raspoloživih parkirnih mjesta)

**EC2** - cijena održavanja (provodi se usporedba parova)

**EC3** - potrošnja goriva (US gal lqd) za kritičan prometni scenarij buduće potražnje, dobivena kao rezultat mikrosimulacija u VISSIM-u

### Okolišni kriteriji - EN

Okolišni kriteriji ocjenjeni su kroz količinu ispušnih plinova u gramima, a dobiveni su kao rezultati mikrosimulacija u VISSIM-u.

**EN1** - emisija karbon-monoksida (CO) u gramima

**EN2** - emisija nitrogen-oksida (NOx) u gramima

**EN3** - hlapljivi organski spojevi (VOC) u gramima

### Prostorno-urbanistički kriteriji - SU

Prostorno-urbanistički kriterij je procjenjivan kroz kvalitativne pokazatelje koji su iskazani kroz odabrane kriterije koji opisuju atraktivnost rješenja i prostorni potencijal. Ovi kvalitativni pokazatelji uključuju subjektivan doživljaj i u ovom radu analizirane su subjektivne procjene prihvatljivosti varijantnih rješenja prema navedenim kriterijima koje su iskazale različite ciljne skupine putem anketiranja.

**SU1** - walkability - potencijal i prostorna motivacija za pješačko kretanje

**SU2** - potencijal i prostorna motivacija za biciklističko kretanje

**SU3** - atraktivnost varijantnog rješenja

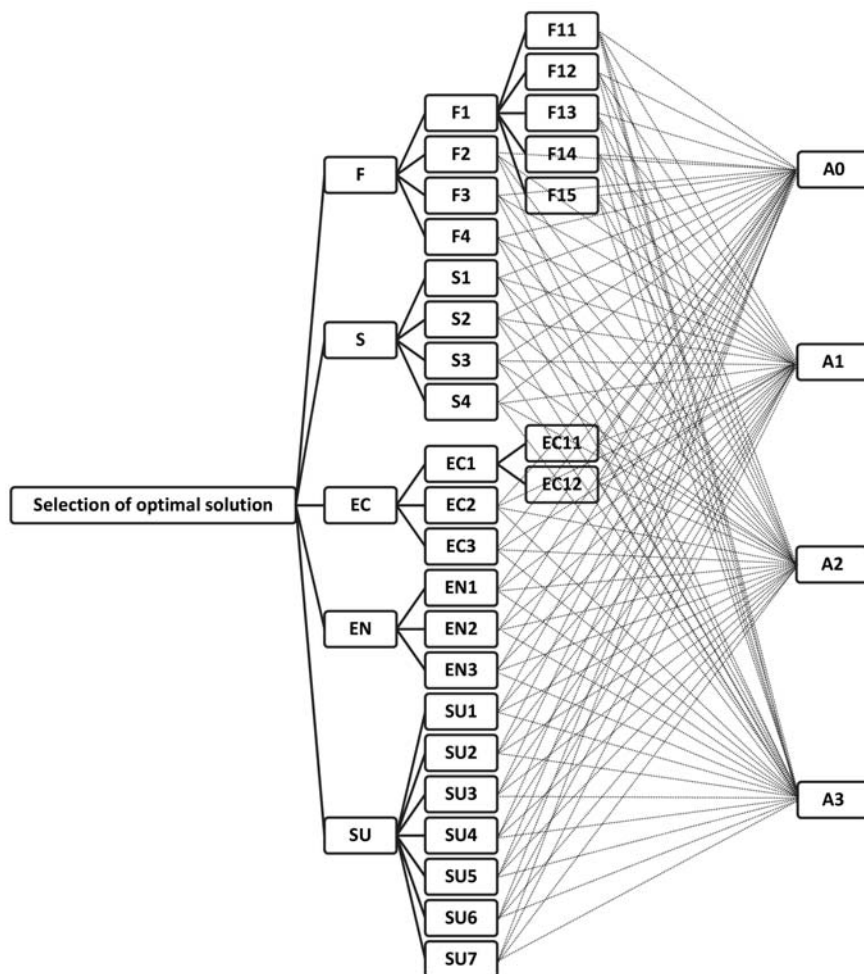
**SU4** - potencijal za socijalne interakcije

**SU5** - ocjena osjećaja ugone

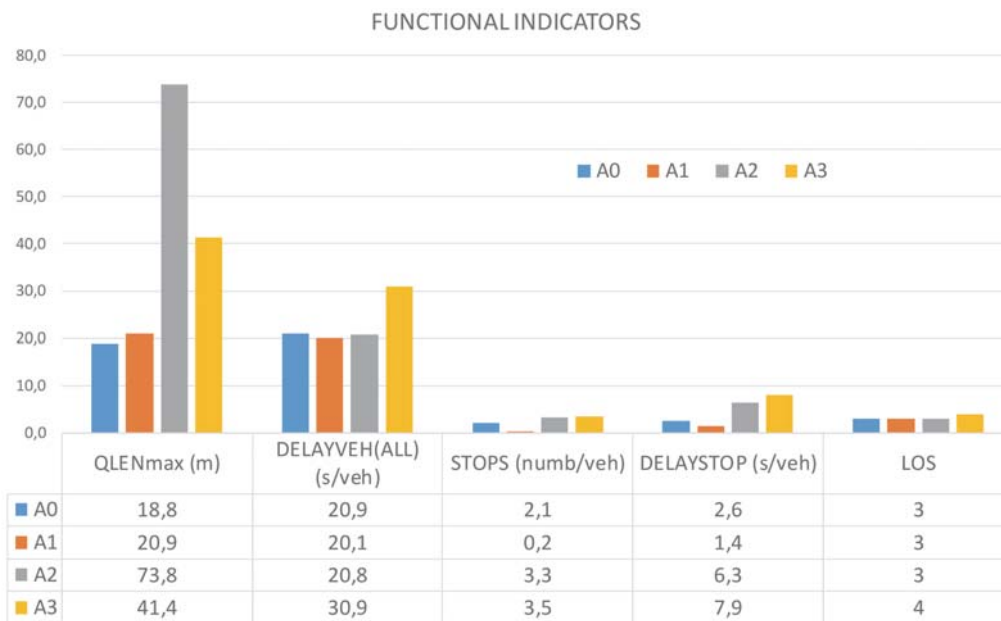
**SU6** - ocjena osjećaja sigurnosti za najranjivije prometne skupine

**SU7** - ocjena parkirne politike - adekvatan odnos prema rješenju prometa u mirovanju (koliko prostora pristajemo utrošiti za parkirališta)

Važnost kriterija za ocjenu varijantnih rješenja, odnosno težinski koeficijenti pojedinih podkriterija odražavaju preferencije donositelja odluke i imaju utjecaj na postupak optimi-



Slika 5. AHP hijerarhijska struktura (lijevo je cilj, kriteriji, podkriteriji; desno varijantna rješenja) [4]

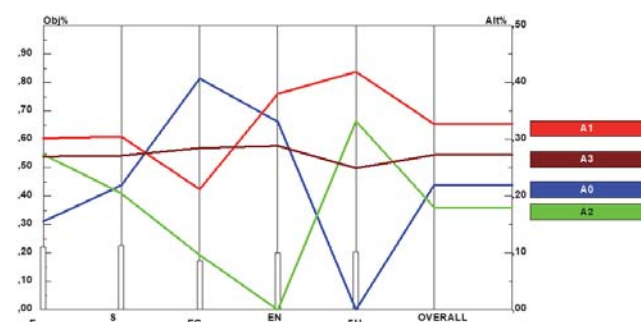


A0 - postojeće rješenje, A1- A3 varijantna rješenja rekonstrukcije

Slika 6. Usporedba funkcionalnih indikatora za kritično prometno opterećenje [4]

Tablica 2. Dodjeljivanje različitih preferencija - analiza pet scenarija

Scenarij 1	sve težine kriterija i podkriterija su jednake
Scenarij 2	težine kriterija su dodijeljene sukladno rangiranju svih ispitanika (cijela baza podataka)
Scenarij 3	težine kriterija su dodijeljene sukladno rangiranju eksperata
Scenarij 4	težine kriterija su dodijeljene sukladno rangiranju studenata
Scenarij 5	težine kriterija su dodijeljene sukladno rangiranju građana



Slika 7. AHP analiza za Scenarij 2 [4]

ranja i konačan ishod odabira rješenja. U okviru ovoga istraživanja anketirano je 120 ispitanika podijeljenih u tri grupacije (eksperti, studenti i građani) koje su analizirale važnost kriterija i dale svoju ocjenu varijantnih rješenja u odnosu na kvalitativne kriterije (SU). Statistički su analizirane sličnosti i razlike važnosti kriterija pojedinih grupacija ispitanika.

Analiza rezultata je pokazala da su funkcionalni kriteriji najvažniji studentima i drugi po važnosti ekspertima (sa vrlo malom razlikom u odnosu na prvi kriterij po važnosti), a građanima je taj kriterij na trećem mjestu. Ekonomske kriterije su sve grupacije ocijenile kao najmanje važan kriterij, ali studenti su

im dali veću prosječnu ocjenu od ostale dvije grupacije. Sigurnosne kriterije su sve grupe ispitanika ocijenile visokim ocjenama; građanima i ekspertima su to najvažniji kriteriji. Za sigurnosne i okolišne kriterije nema velike razlike u ocjenama između pojedinih grupa. Prostorno urbanističke kriterije su građani ocijenili kao druge po važnosti, dok su ih studenti i eksperti ocijenili kao predzadnje, manju ocjenu su dali samo ekonomskim kriterijima. Ovaj rezultat jasno pokazuje da je građanima bitan prostorni potencijal rješenja koji sadrži socijalne i psihološke komponente ocjene i da su

tome dali veću važnost nego struka koja preferira kriterije koji opisuju funkcioniranje prometnih tokova.

Usporedba funkcionalnih pokazatelja za kritičan prometni scenarij budućeg prometnog opterećenja prikazana je na Slici 6.

Uključivanje preferencija u AHP metodu napravljeno je kroz analizu pet različitih scenarija sa različitim težinskim koeficijentima čime je provedena analiza osjetljivosti. Težine su dodjeljivane grupi kriterija, ali ne i svakom podkriteriju. Opis pojedinih scenarija prikazan je u Tablici 2.

Rezultat AHP analize za Scenarij 2, kada su težine kriterija dodijeljene temeljem procjena svih uključenih dionika, prikazan je na Slici 7.

Neovisno o odabranom scenariju i preferencijama, kao najbolja varijanta istaknula se A1, a zatim slijede A3, A0 i kao najlošija A2. Ovisno o scenariju i odabranim težinama kriterija dolazi do vrlo malih promjena u ukupnoj vrijednosti vektora prioriteta što međutim ne mijenja konačnu rang listu varijanti.

Sve grupacije su kao najvažnije dvije grupe kriterija istaknule funkcionalni kriterij ili kriterij prometne sigurnosti koje, uvažavajući različite scenarije, najbolje uravnotežuje varijantno rješenje A1. Varijantno rješenje A1 se temelji na općepoznatom konceptu pješačke zone kojom se doprinosi kvaliteti pješačkog prometa i prostora općenito, a istovremeno se rješenjem za motorni promet (uključujući onaj u mirovanju) ne ugrožava standard motornog prometa jer nudi čak i veći broj parkirnih mjesta od postojećeg. Inovativniji koncept varijantnog rješenja A2 - shared space je, možda i očekivano, manje poželjno rješenje jer otvara pitanje sigurnosti odvijanja prometa na površini koju zajednički dijele svi sudionici u prometu, a ujedno značajno smanjuje broj parkirnih mjesta u zoni na što su posebno osjetljivi stanari kojih u ovoj zoni ima. Varijantno rješenje A3 - smireni promet na sabirnoj prometnici, može se procijeniti, ne donosi vidljivo unaprjeđenje u postojeće prostorno-prometne uvjete, jer se i dalje favorizira motorni promet povećanjem ukupnog broja parkirnih mjesta u profilu prometnice. Uzdužno parkiranje u profilu prometnice sve grupe ispitanika ocjenjuju lošije po kriteriju osjećaja sigurnosti, čak i od rješenja shared space-a (A2).



Metodologija odabira optimalnog rješenja rekonstrukcije prikazana u ovom radu primjenjiva je na različite segmente urbane prometne mreže većih i manjih gradova. U ocjeni varijantnih rješenja rekonstrukcije trebalo bi dodatno analizirati potrebe ranjivih prometnih korisnika, kao što su djeca i starije osobe te osobe sa invaliditetom kojih u ovoj zoni, s obzirom na dominantne sadržaje, ima u većem broju.

## Zaključak

Izgradnja i rekonstrukcija prometne infrastrukture i objekata u izgrađenim i prostorno definiranim urbanim zonama prema principima održive urbane mobilnosti je kompleksan zadatak. Ključne odluke, kao što je odabir varijantnog rješenja koji ima direktne implikacije na kvalitetu rješenja izgradnje ili rekonstrukcije, donose se u ranim projektnim fazama kada je razina projektne detaljnosti takva da se odluke tradicionalno temelje na procjeni i iskustvu projekatnata rješenja. Da bi se prevenirala subjektivnost u odabiru optimalnog rješenja, primjena mikrosimulacijskog prometnog modeliranja logičan je izbor, jer omogućava brojčano utemeljene analize prometnih pokazatelja za planirana varijantna rješenja za različite prostorne i vremenske doseg.

Tradicionalni način odabira rješenja, uz analizu prometnih uvjeta, u pravilu se temelji na procjeni troškova pojedinog rješenja, što ne daje dovoljnu širinu pristupa za odabir optimalnog rješenja. Uz prometne i ekonomske kriterije danas je neophodno u postupak izbora uključiti kriterije utjecaja na okoliš i socijalne kriterije. Stoga održivo i socijalno osjetljivo prometno planiranje mora uvažiti širi raspon kriterija kao i subjektivne kriterije različitih dionika koji su uključeni u proces planiranja, ali jednako važno i budućih korisnika-građana, što vrlo dobro omogućava primjena metoda višekriterijske analize.

U ovom radu prikazani su odabrani primjeri primjene višekriterijske analize i mikrosimulacijskog prometnog modeliranja pri donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi.

U odabiru varijantnog rješenja izgradnje ili rekonstrukcije prometne infrastrukture učinkovita se pokazala AHP metoda višekriterijske analize zbog mogućnosti kombiniranja različitih načina procjene kriterija: brojčano iskazanih kriterija i podkriterija, usporedbu parova varijantnih rješenja prema odabranim kriterijima koje je teško brojčano iskazati zbog razine projektne dokumentacije, a omogućava i analizu osjetljivosti preferencija kriterija različitih dionika koji su uključeni u postupak odabira.

U ovom radu prikazani su primjeri primjene AHP metode za odabir optimalne lokacije GPO-a te kombinacija prometne mikrosimulacije i AHP metode na primjeru analize varijanti unaprjeđenja prometnog sustava manjeg grada na principima održive mobilnosti. Oba primjera dokazuju ranije navedene prednosti primjene ovih metoda.

Primjeri pokazuju i da se od načelno istih temeljnih kriterija procjene planiranja prometnog sustava ili njegovog segmenta - prometni (funkcionalni), ekonomski, socijalni kriteriji i kriteriji utjecaja na okoliš, razradom ovisnom o specifičnom problemu može, uz dodatnu podršku raspoloživih alata mikrosimulacija i metoda višekriterijske analize, vrlo kvalitetno procijeniti varijantna prometna rješenja te u sinergiji različitih dionika izabrati najbolje. ■



## LITERATURA:

1. Deluka-Tibljaš, A.; Karleuša, B.; Dragičević, N. Review of multicriteria-analysis methods application in decision making about transport infrastructure. *Građevinar*, 2013., 65, 7; 619-631
2. Saaty, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*, 2nd ed.; RWS Publications: Pittsburg, PA, USA, 1996.
3. Deluka-Tibljaš, A., Karleuša, B., Benac, Č. AHP methodology application in garage-parking facility location selection. *Promet - Traffic and Transportation*, 2011, 23, 4; 303-313
4. Ištoka Otković, I.; Karleuša, B.; Deluka-Tibljaš, A.; Šurdonja, S.; Marušić, M. Combining Traffic Microsimulation Modeling and Multi-Criteria Analysis for Sustainable Spatial-Traffic Planning. *Land (Basel)*, 2021, 10 (2021), 7; 666, 26 doi:10.3390/land10070666