

Primljen / Received: 6.3.2013.
 Ispravljen / Corrected: 30.6.2013.
 Prihvaćen / Accepted: 5.7.2013.

Dostupno online / Available online: 25.7.2013.

Pregled primjene metoda višekriterijske analize pri donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi

Autori:



Prof.dr.sc. **Aleksandra Deluka-Tibljaš**, dipl.ing.građ.
 Sveučilište u Rijeci
 Građevinski fakultet
aleksandra.deluka@gradri.hr



Prof.dr.sc. **Barbara Karleuša**, dipl.ing.građ.
 Sveučilište u Rijeci
 Građevinski fakultet
barbara.karleusa@gradri.hr



Nevena Dragičević, dipl.ing.građ.
 Sveučilište u Rijeci
 Građevinski fakultet
nevena.dragicevic@gradri.hr

Pregledni rad

Aleksandra Deluka-Tibljaš, Barbara Karleuša, Nevena Dragičević

Pregled primjene metoda višekriterijske analize pri donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi

U radu je obrazložena složena problematika donošenja odluka o prometnoj infrastrukturi u urbanim područjima te analizirana primjena metoda višekriterijske analize u tom procesu. Analizom je obuhvaćeno planiranje, projektiranje, održavanje i rekonstrukcija prometne infrastrukture. Autori u radu daju zaključke o mogućnostima, prednostima i ograničenjima primjene metoda višekriterijske analize u cilju unapređenja kvalitete donošenja odluka o prometnoj infrastrukturi u urbanim područjima.

Ključne riječi:

donošenje odluka, metode višekriterijske analize, prometna infrastruktura, urbana područja

Subject review

Aleksandra Deluka-Tibljaš, Barbara Karleuša, Nevena Dragičević

Review of multicriteria-analysis methods application in decision making about transport infrastructure

The complex issue of making decisions on transport infrastructure in urban areas is considered in the paper, and the use of multicriteria-analysis in this process is analysed. The analysis covers planning, design, maintenance and rehabilitation of transport infrastructure. Authors present conclusions on the possibilities, advantages, and limitations of the use of multicriteria-analysis methods, with the purpose of improving quality of decision making regarding transport infrastructure in urban areas.

Key words:

decision making, multicriteria-analysis methods, transport infrastructure, urban areas

Übersichtsarbeit

Aleksandra Deluka-Tibljaš, Barbara Karleuša, Nevena Dragičević

Übersicht der Anwendung von Methoden der Multikriterien-Analyse bei der Entscheidungsfindung für die Verkehrsinfrastruktur

In dieser Arbeit ist die komplexe Problemstellung der Entscheidungsfindung für die Verkehrsinfrastruktur in städtischen Gebieten dargestellt und die Anwendung von Methoden der Multikriterien-Analyse in diesem Prozess erforscht. Die Analyse betrifft Planung, Entwurf, Instandhaltung und Rekonstruktion der Verkehrsinfrastruktur. Die Autoren geben Schlussfolgerungen über Möglichkeiten, Vorteile und Einschränkungen bei der Anwendung von Methoden der Multikriterien-Analyse mit dem Ziel die Qualität der Entscheidungsfindung für die Verkehrsinfrastruktur in städtischen Gebieten zu verbessern.

Schlüsselwörter:

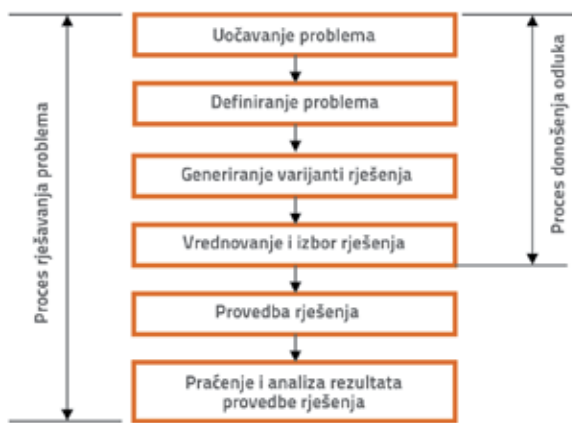
Entscheidungsfindung, Methoden der Multikriterien-Analyse, Verkehrsinfrastruktur, städtische Gebieten

1. Uvod

Razvoj infrastrukture i ulaganje u infrastrukturu sastavni je dio procesa koji se odvijaju u suvremenim gradovima: njihovoga širenja, rekonstrukcije postojećih gradskih zona ili pak zamjene postojećih, zastarjelih infrastrukturnih sustava i objekata. Infrastruktura bitno utječe na sve aspekte kvalitete života u gradovima: zdravlje stanovnika, sigurnost, ekonomske mogućnosti kao i mogućnosti za rad i provođenje slobodnog vremena. U tom smislu infrastruktura u urbanim područjima obuhvaća: prometnu infrastrukturu (cestovnu, željezničku i dr.), infrastrukturu za upravljanje vodama (vodoopskrba, odvodnja otpadnih i oborinskih voda, reguliranje vodotoka, zaštita od poplava i sl.), energetska infrastrukturu (el. energija, plin, i sl.), telekomunikacijsku infrastrukturu i infrastrukturu za odlaganje otpada i gospodarenje njime.

Izgradnji infrastrukture prethodi njezino planiranje i projektiranje, a nakon izgradnje slijedi korištenje i održavanje kojim se jamči njezina uporabljivost u predviđenom projektnom periodu. Na temelju praćenja i kontrole korištenja infrastrukture moguće je utvrditi potrebu za njezinom rekonstrukcijom i dogradnjom, odnosno potrebu za njenim unapređenjem. U navedenim koracima potrebno je kontinuirano donositi odluke o razvoju i ulaganju u infrastrukturu.

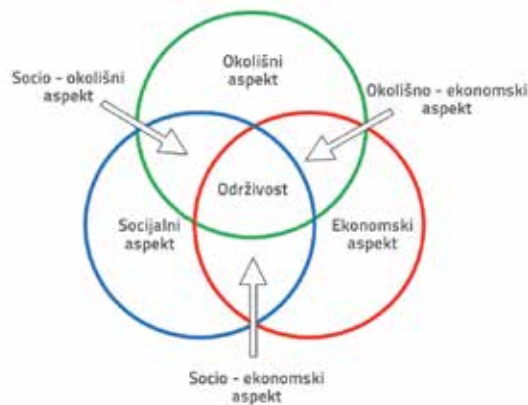
Donošenje odluka čini dio procesa rješavanja problema vezanih uz infrastrukturu i podrazumijeva: uočavanje problema koji postoje u urbanom području, a mogu se riješiti gradnjom nove infrastrukture, rekonstrukcijom postojeće infrastrukture ili pak unapređenjem upravljanja njome; zatim definiranje problema (ciljeva, kriterija, mjera, ograničenja,...); generiranje varijanti rješenja problema i, konačno, vrednovanje i izbor najbolje varijante rješenja (slika 1.) [1, 2, 3]. Nakon donošenja odluke, izabrano rješenje se provodi, prate se i analiziraju rezultati njegove provedbe.



Slika 1. Faze procesa rješavanja problema i donošenja odluka [2, 3, 4]

Temelj za generiranje varijanti je analiza postojećeg stanja i definiranje pokazatelja društveno-ekonomskog razvoja i predviđanja prometne potražnje odnosno prometnih potreba.

U pravilu se za uočeni problem generira veći broj varijantnih rješenja te je potrebno ponuđena rješenja analizirati i vrednovati s obzirom na ostvarivanje definiranih ciljeva. U postupku analize i vrednovanja rješenja infrastrukturnih problema u urbanim područjima koriste se različiti kriteriji te ovisno o kriterijima odgovarajuće mjere. Tradicionalno su se za analizu prihvatljivosti infrastrukturnih rješenja primjenjivali ekonomski kriteriji i novčane mjere. U suvremenim okolnostima, porast broja stanovnika u gradovima i posljedično sve složeniji uvjeti provedbe infrastrukturnih rješenja, potrebno je u obzir uzeti socijalni aspekt provedbe rješenja kroz uključivanje socijalnog kriterija i utjecaj odabranog rješenja na okoliš kroz sveobuhvatno uključivanje kriterija utjecaja na okoliš. Uključivanje svih navedenih kriterija u analizu i izbor najboljega rješenja prometne infrastrukture doprinosi održivom razvitku urbanih područja (slika 2.), [5, 6, 7].



Slika 2. Tri sfere održivosti [5, 6, 7]

Pri vrednovanju rješenja po navedenim kriterijima javlja se potreba za primjenom različitih mjera, kvantitativnih i kvalitativnih, što čini složenim proces izbora rješenja vezanih uz izgradnju i rekonstrukciju infrastrukture u urbanim područjima. Tradicionalni pristup u kojem su troškovi i koristi (metoda analize troškova i koristi, engl. cost-benefit analysis) bili temelj za odabir rješenja u prvi je plan stavljao građevinsku struku, odnosno ekonomsku valorizaciju građevinskih rješenja. Kod suvremenog pristupa, koji problem, pa tako i rješenje problema, razmatra s više stajališta, stručnjaci iz područja građevinarstva postaju nužni dio širega, interdisciplinarnoga tima u kojem značajnu ulogu u procesu donošenja odluka imaju stručnjaci drugih profila, ali i javnost [8]. U navedenim okolnostima metoda analize troškova i koristi, koja se temelji na izračunu troškova izgradnje, korištenja i održavanja infrastrukture s jedne strane i koristi s druge strane, ima određena ograničenja. Ona se prije svega odnose na nemogućnost odgovarajućeg vrednovanja varijanti rješenja unutar urbanog područja s aspekta specifičnih utjecaja na okoliš ili zajednicu kroz proračunavanje njihove novčane vrijednosti [9-13]. Pojedini autori [11] ističu određena ograničenja u primjeni metode

analize troškova i koristi s obzirom na kontroverzne postupke kojim se ocjene po različitim kriterijima, ocjene određene u drugim mjernim jedinicama ili pak kvalitativne ocjene prevode u novčanu vrijednost.

Kako bi se, u opisanim složenim uvjetima, unaprijedilo donošenje odluka vezanih uz infrastrukturu, važno je razvijati i primjenjivati nove alate kojima se ujedno podiže razina transparentnosti i objektivnosti izbora rješenja.

Danas se za pomoć pri izboru rješenja za složene probleme, kao što su problemi vezani uz izbor rješenja infrastrukture u urbanim sredinama, primjenjuju i razvijaju metode višekriterijske analize. Višekriterijska analiza je primjenjiva ako treba provesti izbor između više generiranih rješenja temeljem većega broja kriterija i različitih, kvantitativnih i kvalitativnih mjera [14-17].

Iako se problematika donošenja odluka vezanih uz različitu infrastrukturu u urbanim područjima temelji većim dijelom na zajedničkim, prethodno obrazloženim postavkama, postoje i određene posebnosti svake od navedene infrastrukture te se za detaljniju analizu one trebaju promatrati odvojeno. Analizira se primjena metoda višekriterijske analize u donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi.

Posebnost je prometne infrastrukture zauzimanje značajnog dijela prostora u gradovima. Naime, 15 do 20 % površina grada, a u gradskom središtu i više od 40 % površina, zauzima upravo prometna infrastruktura što upućuje na potrebu ozbiljnog promišljanja prilikom odlučivanja o intervencijama na toj infrastrukturi.

Kvaliteta života u gradovima uvelike ovisi o kvaliteti prometne usluge, pa onda posljedično i prometne infrastrukture kojom se uz primjereni prometni sustav osigurava pristupačnost gradskih područja i time podiže njihova vrijednost [1] te se, već spomenuta kvaliteta odlučivanja u domeni prometne infrastrukture reflektira kako na donositelje odluke (političari, lokalna uprava i samouprava i dr.) koji su odgovorni za razvoj sustava tako i na pojedince i društvo (javnost) kao korisnike toga sustava.

U ovome radu analizirat će se primjena metoda višekriterijske analize pri izboru rješenja u planiranju, projektiranju, izvedbi, održavanju i rekonstrukciji prometne infrastrukture u urbanim područjima. Analiza dostupnih radova iz relevantnih baza podataka bit će provedena s obzirom na prethodno navedene korake, primijenjenu metodu višekriterijske analize i vrstu prometne infrastrukture (sustava i/ili objekta).

Zaključno, u radu će se na temelju analize primjene metoda višekriterijske analize i rezultata te primjene dati zaključci i preporuke o mogućnostima i ograničenjima primjene tih metoda s obzirom na vrstu problema prometne infrastrukture u urbanim područjima. Cilj je rada unaprijediti kvalitetu odlučivanja u planiranju, projektiranju, održavanju i rekonstrukciji prometne infrastrukture, sustava ili objekata, u urbanim područjima primjenom znanstveno utemeljenih metoda višekriterijske analize.

2. Pregled metoda višekriterijske analize

U području višekriterijskog odlučivanja postoje dvije vrste višekriterijskih problema s aspekta njihova opisivanja matematičkim modelom [12, 18-21]:

- višeciljno odlučivanje (VCO)
- višeatributivno odlučivanje (VAO) ili višekriterijska analiza (VKA).

Model višeciljnog odlučivanja je primjeren za "dobro strukturirane" probleme (engl. well-structured problems). Dobro strukturirani problemi su oni kod kojih je poznato sadašnje stanje i željeno konačno stanje (ciljevi) kao i način postizanja željenog stanja. Model obuhvaća beskonačan ili vrlo velik broj varijanti rješenja koje nisu eksplicitno poznate na početku, postoje ograničenja, a do najbolje varijante se dolazi rješavanjem matematičkog modela [18, 21]. U metode višeciljnog odlučivanja se ubrajaju: metoda globalnog kriterija, metoda s funkcijom korisnosti, varijante leksikografske metode, ciljno programiranje (engl. Goal Programming, GP), metoda postizanja cilja, interaktivno ciljno programiranje, SWT (Surrogate Worth Trade-off metoda), metoda zadovoljavanja ciljeva, STEM (STEP Method), SEMOPS (SEquential Multi-Objective Problem Solving), SIGMOP (Sequential Information Generator for Multi-Objective Problems), GPSTEM (Goal Programming STEM), parametarske metode, metoda Geoffriona i dr.

Model višeatributivnog odlučivanja ili višekriterijske analize (engl. multi-criteria analysis, MCA) primjeren je za "loše strukturirane" probleme (engl. ill-structured problems) [18, 21]. Loše strukturirani problemi su oni kod kojih su ciljevi vrlo složeni, često nejasno formulirani, postoje brojne neizvjesnosti, a priroda promatranog problema postupno se mijenja tijekom njegovog rješavanja [22]. Slaba strukturiranost onemogućuje dobivanje jednoznačnog rješenja. Uzroci nejednoznačnosti potječu od ciljne strukture, koja je složena i izražena različitim kvantitativnim i kvalitativnim mjernim jedinicama. Posljedica slabe strukturiranosti problema su višedimenzionalni kriteriji za vrednovanje rješenja, te promjenjiva ograničenja. Model 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 [18, 21]. U metode višekriterijske analize ubrajaju se: metoda dominacije, *maxmin*, *minmax*, konjuktivna i disjunktivna metoda, leksikografska metoda, metoda jednostavnih aditivnih težina (engl. Simple Additive Weighting, SAW), metoda hijerarhijskih aditivnih težina, metoda višeatributivne teorije korisnosti/vrijednosti (engl. Multi Attribute Utility/Value Theory, MAUT/MAVT), 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 fom Multidimensional Analysis of Preference), PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), AHP (Analytic Hierarchy

Tablica 1. Modeli višekriterijskog odlučivanja [18, 23]

Kriteriji za usporedbu \ Modeli	Višeciljno odlučivanje (VCO)	Višekriterijska analiza (VKA)
Više kriterija definirano je	ciljevima	atributima
Ciljevi	eksplicitni	implicitni
Atributi	implicitni	eksplicitni
Ograničenja	aktivna	neaktivna
Varijante (rješenja)	implicitne	eksplicitne
Broj varijanti	beskonačan (velik)	određen (mali)
Kontrola donositelja odluke	velika	ograničena
Primjena	projektiranje (pronalazak rješenja i izbor)	izbor, evaluacija (rješenja su poznata)

Process), VIKOR (višekriterijsko kompromisno rangiranje) i dr. Navedena podjela modela višekriterijskog odlučivanja je zorno prikazana u tablici 1. [18, 23]. Problemi vezani uz prometnu infrastrukturu, temeljem složenosti i ostalih aspekata opisanih detaljno u uvodu, pretežno su "loše strukturirani". Stoga je težište ovog rada na metodama višekriterijske analize [19, 24].

Višekriterijska analiza se može definirati kao model donošenja odluka koji se sastoji od:

- skupa rješenja (varijanti koje treba rangirati ili razvrstati donositelj odluke),
- skupa kriterija (većinom su to višedimenzionalni kriteriji koji se stoga mogu vrednovati samo različitim mjernim jedinicama),
- vrijednosti (ocjena) svake varijante po svakom kriteriju [25].

Višekriterijska analiza je metoda procjene koja rangira varijante rješenja ili određuje ocjenu varijanti u odnosu na veći broj kriterija. Svaka varijanta se vrednuje u odnosu na svaki kriterij (atribut) primjenom odgovarajuće mjere, a model višekriterijske analize može se prikazati u obliku (1) [18]:

$$\max \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)\} \tag{1}$$

$$x \in A = [a_1, a_2, \dots, a_m]$$

gdje je:

- n – broj kriterija (atributa), $j = 1, 2, \dots, n$
- m – broj varijanti, $i = 1, 2, \dots, m$
- f_j – kriteriji, $j = 1, 2, \dots, n$
- a_i – varijante koje se razmatraju, $i = 1, 2, \dots, m$
- A – skup svih varijanti rješenja

Iz navedenog je moguće formirati matricu procjene varijanti po kriterijima $X(2)$ sa m -varijanti i n -kriterija [18]:

$$X = \begin{matrix} & \max & \max & \dots & \max \\ & f_1 & f_2 & \dots & f_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \tag{2}$$

pri čemu vrijednost varijante i po kriteriju j možemo označiti sa f_{ij} . Trebaju nužno postojati barem dvije varijante i barem dva kriterija ($m \geq 2$ i $n \geq 2$). Ako svi kriteriji nisu jednako važni dodjeljuju im se težine w_1, w_2, \dots, w_n te formira vektor W [26]. Kriteriji mogu biti kriteriji tipa maksimizacije (npr. koristi) ili kriteriji tipa minimizacije (npr. troškovi).

S obzirom na to da većina metoda višekriterijske analize rangira ili boduje varijante kod višekriterijske analize se određuju prema (3):

$$r_i = f_1(X, W) \text{ i } u_i = f_2(X, W) \tag{3}$$

gdje r_i predstavlja rang varijante, a u_i ukupnu vrijednost (engl. overall performance score) varijante [26]. Metodologija primjene višekriterijske analize obuhvaća sljedeći algoritam [26]:

1. razraditi više rješenja,
2. definirati kriterije,
3. vrednovati rješenja po svim kriterijima,
4. odrediti težine kriterija,
5. rangirati ili sortirati rješenja,
6. provesti analizu osjetljivosti,
7. donijeti konačnu odluku.

Kako je prethodno navedeno, u ovom se radu analizira primjena metoda višekriterijske analize pri donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi u urbanim sredinama. Teorijske postavke metoda nisu predmet ovog rada.

3. Donošenje odluka o prometnoj infrastrukturi u urbanim područjima

Teorija prometnog planiranja [2] prepoznaje tri razine unutar kojih treba donositi odluke vezane za prometnu infrastrukturu u urbanim područjima: sektorsko planiranje koje podrazumijeva da se promet tretira kao posebna gospodarska grana, prostorno-prometno planiranje koje podrazumijeva planiranje prometne mreže i pratećih pojava

unutar zadanog prostora te projektno-prometno planiranje koje podrazumijeva projektiranje, procjenu i izbor pojedinih prometnih objekata. U ovome radu se analizira primjena metoda višekriterijske analize u postupcima usvajanja rješenja na razini prometnog planiranja i projektiranja. Ujedno se nastoji utvrditi da li se i na koji način višekriterijska analiza do sada primjenjivala u postupku donošenja odluka vezanih za održavanje i rekonstrukciju prometne infrastrukture u urbanim područjima. Analiza radova u relevantnim znanstvenim bazama dostupnim autorima pokazuje da se višekriterijska analiza posljednjih desetljeća sve više primjenjuje za rješavanje problema vezanih uz prometnu infrastrukturu u svijetu i u Hrvatskoj [27, 28]. Višekriterijska analiza svoju primjenu nalazi u: planiranju prometnih koridora, trasa ili linija javnog gradskog prijevoza (JGP) [19, 24, 29-35], izboru lokacija luka, terminala i garaža [36-38], njihovog koncepta ili oblika [39, 40], planiranju širenja zračnih luka [10], izboru dinamike izgradnje prometne infrastrukture [41], planiranju ulaganja u izgradnju prometne infrastrukture [12, 33, 42, 43], određivanju prioriteta održavanja prometne infrastrukture [44], uključivanju javnosti u donošenje odluka o upravljanju javnim prijevozom [45], procjeni utjecaja na okoliš prometnih sustava i objekata [13, 46], procjenjivanju sigurnosti prometnica [47], izboru prijevoznog sredstva [48], te ciljano kod održavanja cesta [49, 50, 51] i sl.

Detaljnijom analizom ovih radova razmatrana je potencijalna zakonitost upotrebe određenih metoda višekriterijske analize (poglavlje 2.) za rješavanje specifičnih problema prometne infrastrukture u urbanim sredinama, nastojalo se utvrditi postoje li jasni razlozi ili kriteriji za primjenu neke od postojećih metoda, koji su općepriзнati kriteriji vrednovanja rješenja te prednosti i ograničenja primjene tih metoda.

Pregled relevantnih radova do kojih su došli autori i analiza primjene pojedinih metoda za rješavanje problema planiranja, projektiranja te održavanja i rekonstrukcije prometne infrastrukture u urbanim područjima prikazani su u tablici 2. i u sljedećim poglavljima.

3.1. Primjena metoda višekriterijske analize pri planiranju prometne infrastrukture

Planiranje kao aktivnost podrazumijeva, manje ili više, formalizirane postupke s ciljem da se unaprijed sagleda budućnost s dovoljno sigurnosti i pouzdanosti te u realnom vremenu donesu potrebne odluke i poduzmu odgovarajuće mjere radi poboljšanja postojećeg stanja, realizacije pozitivnih i umanjena negativnih učinaka planiranog razvoja [56]. U tom je postupku, prema [2], važno jasno definirati problem i okvire, definirati planske ciljeve, prikupiti potrebnu dokumentaciju te na osnovi toga predvidjeti ekonomski razvoj i prometne pokazatelje, definirati rješenja, vrednovati ih i naposljetku definirati dinamiku ostvarivanja usvojenih rješenja. Metode koje se primjenjuju kao alat za odabir varijante rješenja vrlo su važne jer značajno utječu na razvoj prometne infrastrukture

kao dijela prometnog sustava, ali i urbanog prostora općenito. S obzirom na to da se problemi planiranja prometne infrastrukture mogu okarakterizirati kao loše strukturirani problemi, pogodni su za primjenu metoda višekriterijske analize. U nastavku je analizirana primjena tih metoda u donošenju odluka vezanih uz različite vrste problema prometne infrastrukture u urbanim područjima.

Autori u radu [42] prikazuju višekriterijsko vrednovanje projekata prometne infrastrukture metodom jednostavnih aditivnih težina na primjeru izbora investicije za unapređenje cestovne infrastrukture u manjem gradu. U radu su predložene varijante rješenja koje podrazumijevaju sljedeće aktivnosti: minimalne zahvate na postojećoj mreži (varijanta A), gradnju obilaznice (varijanta B) te unapređenje uvjeta na postojećoj trasi (varijanta C). Kao kriteriji za procjenu ponuđenih rješenja izabrani su: utjecaj rješenja na razinu buke, kvalitetu zraka, krajobraz, sigurnost te vrijednost investicije i procijenjeno vrijeme putovanja s obzirom na odabrano rješenje. Temeljem odabranih težina kriterija, koje prednost daju okolišnom kriteriju i neprekinutosti prometnih tokova, kao najbolja se pokazala varijanta B koja podrazumijeva gradnju obilaznice.

U radu [37] metoda višekriterijske analize AHP primijenjena je za izbor najpovoljnije lokacije garažno parkiranih objekata (GPO) u manjem gradu u Hrvatskoj kako bi se odredio prioritet njihove izgradnje. Analizirano je pet potencijalnih lokacija koje su vrednovane na temelju četrnaest kriterija podijeljenih u četiri grupe: prometni, ekonomski, okolišni i socijalni kriteriji. Autori u radu analiziraju dva scenarija, jedan prema kojem prioritet daju prometnim kriterijima, zatim ekonomskim, dok okolišni i socijalni kriterij procjenjuju kao najmanje važan. U drugom scenariju prioritet se daje okolišnim i socijalnim kriterijima dok se kao manje važni definiraju prometni i ekonomski kriteriji. U oba scenarija se kao prioritetne ističu iste dvije lokacije GPO-a, dok je raspored prioriteta za preostale tri lokacije drugačiji. Zaključak je rada da se višekriterijska analiza u tom slučaju pokazala kao valjani alat za odabir rješenja jer donositeljima odluke daje mogućnost da, prema usuglašenim prioritetima u razvoju, definiraju koji će od dva ponuđena scenarija primijeniti za odabir prioriteta izgradnje.

U radu [48] analizirana je mogućnost primjene AHP metode na primjeru izbora za okoliš održivoga prometnog sustava u velikom gradu (Delhi, Indija). U radu se posebno ističe važnost definiranja kriterija na temelju kojih će se donositi odluka o izboru varijante rješenja. Predlaže se usporedba triju varijanti rješenja, a primjenjuje se šest kriterija: energetska učinkovitost, potencijal smanjenja emisija, studija izvedivosti, tehnološka pripremljenost, mogućnost implementacije i prepreke u implementaciji. Navedeni se kriteriji potom dijele na kvantitativne i kvalitativne, te se varijante međusobno uspoređuju. Zaključak je rada da se, uključivanjem kvalitativnih kriterija vezanih za održivost rješenja, rang-lista varijanti značajno promijenila te se

Tablica 2. Primjena metoda višekriterijske analize u donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi u urbanim područjima

Faza	Literatura, godina objave	Vrsta infrastrukture/opis problema	Primjenjene metode kod donošenja odluka o prometnoj infrastrukturi											
			AHP	ANP	ELECTRE	PROMETHEE	REGIME	MAVT	SAW	TOPSIS	Kombinacija VKA s GIS-om	Kombinacija VKA s metodom analize koristi i troškova	DEX	
PLANIRANJE	[52], 2011	Sva urbana infrastruktura			+					+	+	+		
	[27], 2008	Prometna infrastruktura – općenito	+											
	[28], 2003	Prometna infrastruktura – općenito	+		+	+								
	[29], 2006	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/izbor trase željeznice	+											
	[33], 2008	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/izbor varijante gradske obilaznice /ulaganje – procjena projekata												+
	[34], 2009	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/izbor trase nove linije metroa-financiranje iz EU fondova							+					
	[35], 2010	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/planiranje objekata za biciklistički promet								+		+		
	[37], 2011	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/izbor lokacije GPO objekta	+											
	[38], 2010	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/izbor lokacije luke nautičkog turizma				+								
	[42], 2003	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/izbor (projekta) varijante za unapređenje cestovne infrastrukture								+				
	[48], 2003	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/izbor optimalnog prometnog prijevoza	+											
	[53], 2012	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/prometno planiranje na gradske četvrti	+	+			+						+	
	[54], 2008	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/izbor lokacije GPO i definiranje strategije ulaganja u GPO	+			+								
	[55], 2011	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/izbor varijante razvoja mreže gradske željeznice	+											
	PROJEKTIranJE	[28], 2003	Projektiranje prometne infrastrukture – općenito	+		+	+							
[39], 2003		Prometna infrastruktura u urbanim područjima/izbor tipa GPO objekta na već definiranoj lokaciji	+											
ODRŽAVANJE/REKONSTRUKCIJA	[12], 2006	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/ izbor varijante projekta cestovne infrastrukture i križanja sa željezničkom infrastrukturom - ulaganje u prometnu mrežu	+											
	[40], 2010	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/izbor tipa pješačkog prijelaza na već definiranoj lokaciji	+											
	[44], 2009	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/upravljanje i održavanje cesta	+			+								
	[50], 2011	Prometna infrastruktura u urbanim područjima/rehabilitacija i održavanje cesta	+											

kao bolja rješenja ističu one varijante koje se nisu isticala temeljem kvantitativnih kriterija. U radu se analizira i postupak uključivanja različitih dionika u proces odabira rješenja i utvrđuje da se prioriteta u slučajevima različitih dionika bitno razlikuju.

U radu [34] analizirana je primjena metode višeatributivne teorije korisnosti na primjeru izbora projekta razvoja javnog prijevoza, definiranjem nove linije metroa (Rim, Italija). Razmatrane su dvije varijante na temelju troška izgradnje i koristi definiranih kroz različite kriterije: trajanje putovanja, prometnu sigurnost i kvalitetu zraka. Autori problematiziraju odnos novčano mjerljivih kriterija (trošak) i ostalih kriterija (koristi) koji nisu novčano mjereni ističući percepciju korisnika usluge o tim kriterijima. Pokazuje se da korisnici važnijima percipiraju troškove nego koristi od rješenja.

U radu [29] autori su prikazali primjenu AHP metode za izbor najbolje varijante rekonstrukcije željezničke pruge Osijek - Strizivojna / Vrpolje (Hrvatska). Razmatraju se četiri varijante koje podrazumijevaju različite brzine kretanja vlakova i trase između gradova te preispituju rješenja temeljem tehnološko-tehničkih, sigurnosnih, ekonomskih i okolišno-prostorno-urbanističkih kriterija. Uzevši u obzir sve odabrane kriterije, kao najbolja varijanta izabrana je ona koja omogućava najveće brzine vožnje iako je prema ekonomskom kriteriju ta varijanta bila najlošije rangirana.

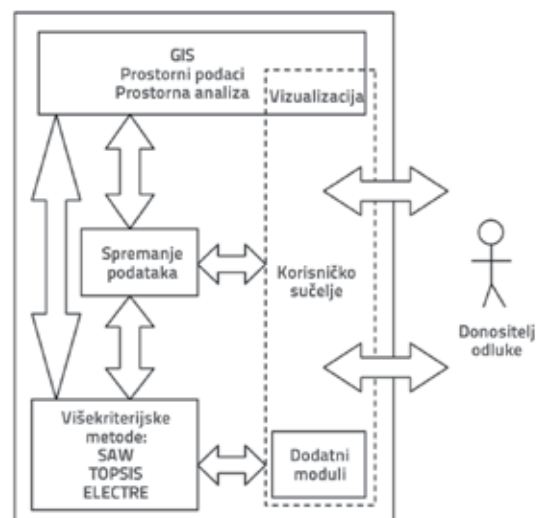
Autor rada [38] analizira primjenu metode PROMETHEE za izbor lokacije luke nautičkog turizma razmatrajući deset lokacija na području sjevernog Jadrana u odnosu na šest grupa kriterija: institucijski i politički, prirodni, okolišni, tehnički i tehnološki, ekonomski te socijalni i kulturni. Grupa socijalnih i kulturnih kriterija obuhvaća direktne i indirektno koristi, stupanj urbanizacije i prepoznavanja mikrolokacije, unapređenje kvalitete življenja lokalnog stanovništva te ostale socijalne i kulturne aspekte regije.

U radu [55] analizirano je 18 varijanti razvoja mreže gradske željeznice u Isfahanu (Iran) uvođenjem novih linija. Primjenjene su dvije grupe kriterija: primarni i glavni kriteriji. Primarni je kriterij bio očuvanje povijesnih spomenika te su isključene sve varijante kojima se ugrožavalo spomenike svjetske kulturno-povijesne baštine. Glavni kriteriji su određeni na temelju mišljenja prometnih i drugih stručnjaka. Varijante su nadalje razmatrane na temelju sljedećih glavnih kriterija: okolišni kriterij, potrošnja goriva, troškovi izgradnje, pogona i održavanja infrastrukture te koristi: vrijeme putovanja, stupanj dostupnosti mreže stanovništvu. Provedena je analiza rješenja primjenom metoda analize troškova i koristi i AHP te su rezultati uspoređeni. Odabrano je rješenje kojem je prioritet dala AHP metoda jer su njome bili obuhvaćeni okolišni i socijalni kriteriji što se pokazalo bitnim za odabir rješenja u opisanim uvjetima. U radu [53] analizirana je primjena metoda višekriterijske analize AHP, srodne ANP (Analytic Network Process) i REGIME u odnosu na metodu analize troškova i koristi radi osiguravanja održivog prometnog sustava na mikrorazini susjedstva. Analizirani su kriteriji procjene koje je moguće

primijeniti te prednosti i ograničenja u primjeni ova dva pristupa. Zaključno se u radu predlaže kombiniranje metoda analize troškova i koristi i višekriterijske analize.

Način na koji se razvojem sustava za potporu u donošenju odluka (eng. decision support system - DSS) može riješiti problem izbora lokacije garažno-parkirnog objekta i definiranja strategije ulaganja u garažno-parkirne objekte opisan je u radu [54]. Sustav obuhvaća kombinaciju više metoda. AHP metoda se primjenjuje za definiranje težina kriterija, a zatim PROMETHEE II metoda za rangiranje predloženih varijanti temeljem dvanaest kriterija: četiri socijalna, tri tehničko-urbanistička, tri ekonomska i dva okolišna kriterija. Za određivanje strategije ulaganja u GPO primjenjena je treća metoda PROMETHEE V.

Mogućnost primjene Geografskog informacijskog sustava (GIS-a) i metoda višekriterijske analize u planiranju biciklističke infrastrukture kao dijela multimodalnog prometnog sustava u urbanim područjima analizirana je u radu [35]. Navodi se da se uvođenje biciklističkih staza uobičajeno provodi nesustavno, bez plana, ili se pak uvođenje temelji na određivanju pogodnosti pojedinih cestovnih koridora za biciklistički promet. Autori predlažu metodu kojom bi se uporabom GIS tehnologije u kombinaciji s metodom jednostavnih aditivnih težina provela analiza na makrorazini tj. razini cjelokupne prometne mreže, i na mikrorazini tj. razini susjedstva. Model je primijenjen u Milwaukee Cityju (SAD). Pokazalo se da se kombinacijom navedenih metoda može unaprijediti planiranje biciklističke infrastrukture te ujedno zadovoljiti zahtjeve različitih dionika: vladinih agencija, planera i biciklista.



Slika 3. Arhitektura MCPUIS-a [52]

U radu [52] prikazuje se sustav za podršku u donošenju odluka za planiranje infrastrukture u urbanim područjima pod nazivom MCPUIS (Multicriteria Planning of Urban Infrastructure Systems), a koji se temelji na integriranju GIS tehnologije i metoda višekriterijske analize (metode jednostavnih aditivnih težina, TOPSIS i ELECTRE) prema slici 3.

Na primjeru iz Portugala analiziraju se četiri varijante razvoja, u ovome slučaju, vodoopskrbnog sustava na površini od 77 hektara uspoređujući ih na osnovi čak deset kriterija. Autori ističu primjenjivost postupka u planiranju ostale, pa i prometne, infrastrukture za sličan obuhvat. Navodi se primjenjivost kod odabira načina postavljanja mreže prometnica na određenom području.

U radu [33] prikazuje se kvalitativni model višekriterijske analize DEX za podršku procjeni ulaganja u cestovnu infrastrukturu razvijen u Sloveniji. Kvalitativni model DEX predstavlja kombinaciju kvalitativne višekriterijske analize i ekspertnog sustava (računalni program koji sadrži specifična znanja i oponaša znanje stručnjaka) tvoreći objedinjeni sustav za podršku u odlučivanju. U modelu se koriste samo kvalitativni (simbolički) atributi. Model je primijenjen na izboru varijante gradske obilaznice, a razmatrane su četiri varijante prema sljedećim kriterijima: građevinsko-tehnički, prometni, okolišni i ekonomski kriteriji te ograničenja za svaku od varijanti. Među prednostima ove metode ističe se mogućnost procjene varijanata ako nedostaju neki podaci ili dostupni podaci nisu posve precizni.

3.2. Primjena metoda višekriterijske analize pri projektiranju prometne infrastrukture

U postupku projektiranja prometnih objekata ili sustava određeni su elementi unaprijed definirani kroz prostorne planove pa je prostor za razvoj bitno različitih varijanti znatno sužen. To je vjerojatno razlog što se u fazi projektiranja znatno manje primjenjuju metode višekriterijske analize, a ako se radi o usporedbi projektnih rješenja, ona se analiziraju s ekonomsko-inženjerskog aspekta, odnosno, pomoću metode analize troškova i koristi. Postoje slučajevi kada pri donošenju odluke o financiranju određenih projekata metoda analize troškova i koristi nije sasvim prikladna te se bilježe primjeri razvoja metoda kod kojih se ta metoda nadograđuje postupcima višekriterijske analize. Svjetska banka tako koristi vlastiti inženjersko-ekonomski model za evaluaciju projekata prometne infrastrukture [8], a unutar europskih zemalja se razvijaju modeli za procjenu projekata prometne infrastrukture koji se više ne oslanjaju isključivo na metodu analize troškova i koristi već uključuju i višekriterijsku analizu [13, 33, 42].

Kao primjer primjene višekriterijske analize u postupku donošenja odluke u fazi projektiranja objekta prometne infrastrukture u urbanim područjima može se navesti onaj opisan u radu [39] u kojem je korištena AHP metoda za izbor optimalnog rješenja plutajućeg garažno-parkirnog objekta u Rijeci (Hrvatska). Tijekom izrade idejnog projekta od četiri ponuđene varijante odabrano je, na temelju dva jednostavna kriterija: broja parkirnih mjesta i složenosti rekonstrukcije, rješenje koje je zadovoljavalo s jedne strane lokalnu zajednicu, a s druge strane vlasnika plutajućeg objekta. Iste četiri varijante su analizirane i pomoću AHP metode samo što su

razrađene tri grupe kriterija: prometni, ekonomski i okolišni kriteriji te ukupno devet potkriterija. Rezultati ovih dvaju postupaka nisu se poklapali. Može se zaključiti da je razlog različitog ishoda uvođenje većeg broja kriterija i objektivno vrednovanje u koje nisu bile uključene interesne skupine već su ga proveli autori rada koji se, u ovome slučaju, mogu smatrati nezavisnim stručnjacima.

3.3. Primjena metoda višekriterijske analize pri održavanju i rekonstrukciji prometne infrastrukture

Upravljanje infrastrukturnim sustavom ili građevinom podrazumijeva donošenje odluka vezanih za njihovo održavanje, rekonstrukciju, unapređenje ili dogradnju. Načelo definiranja troškova u vijeku trajanja građevine (engl. life-cycle-cost) koje se razvija zadnjih desetljeća, između ostalog, i vezano za prometne objekte i sustave (primjerice održavanje cesta i cestovnih objekata) podrazumijeva optimiranje održavanja građevine s ciljem njezinog maksimalnog iskorištavanja uz minimalna ulaganja i, u pravilu, veže se uz metodu analize troškova i koristi. U novije vrijeme postoje ipak primjeri da se metoda višekriterijske analize primjenjuje i u procesu donošenja odluka vezanih uz održavanje i rekonstrukciju prometne infrastrukture u urbanim područjima. U radu [44] na primjeru održavanja cestovne infrastrukture u Splitu (Hrvatska) prikazan je sustav za potporu pri odlučivanju kojim se može odrediti rangiranje prioriteta u održavanju elemenata cestovne infrastrukture. Sustav za potporu pri odlučivanju obuhvaća program monitoringa kojim se prikupljaju podaci o stanju cesta. Sustav predviđa uključivanje različitih dionika (stanovnika, stručnjaka za održavanje cestovne infrastrukture i lokalne uprave) u proces odlučivanja kroz sudjelovanje u definiranju težina usvojenih kriterija. Taj se sustav za potporu pri odlučivanju bazira na primjeni AHP metode za definiranje težina kriterija i PROMETHEE II metode za definiranje rang-liste prioriteta u održavanju cesta.

U radu [50] razvijen je model koji primjenom AHP metode, korištenjem neizrazite (engl. fuzzy) logike i generatora zaključaka pomaže menadžerima da odrede prioritete u rehabilitiranju i održavanju cesta u urbanim područjima. Primjena je dana na 131 dionici cestovne infrastrukture dijela grada Teherana (Iran). Obuhvaćeni su sljedeći faktori: indeks stanja kolnika, volumen prometa, širina ceste i troškovi rehabilitacije i održavanja.

Osim primjera održavanja, primjena metoda višekriterijske analize može se naći i kod analize rješenja za rekonstrukciju postojeće prometne mreže. Izbor optimalnog načina rješavanja pješačkih prijelaza primjenom metode višekriterijske analize, u ovom slučaju AHP metode, analiziran je u radu [40]. Analizirana je mogućnost izvedbe pješačkih prijelaza na postojećoj prometnici kao prijelaza

u razini bez semaforizacije, sa semaforizacijom te u formi pothodnika odnosno nathodnika. Za odabir optimalnog tipa pješačkog prijelaza definirane su ukupno četiri grupe kriterija: sigurnost (s tri potkriterija: brzina vožnje, intenzitet prometa, širina ceste), energija (koju ulažu pješaci za svladavanje prijelaza), cijena (tri potkriterija: trošak projektiranja, izgradnje i održavanja) i ostali kriteriji (uključuju potkriterije vezane za okolišni aspekt, udobnost i prihvatljivost ponuđenog rješenja s obzirom na osobe s invaliditetom). Posebnost rada jest analiza utjecaja dionika uključenih u definiranje važnosti kriterija na sam rezultat postupka. Testirane su preferencije različitih interesnih grupa: stručnjaci i zdrave osobe bili su za primjenu nathodnika ili pothodnika, a investitori i osobe s invaliditetom birale su prijelaz u razini sa semaforizacijom. Zaključak je da ovim načinom donositelji odluke mogu dobiti važne informacije koje im mogu biti od značajne pomoći pri donošenju konačne odluke.

Do zanimljivih zaključaka dolaze autori rada [12] u kojem se na primjeru odabira varijante projekta rekonstrukcije jedne cestovne prometnice (Chiguayante district, Concepcion, Chile) uspoređuju rezultati stvarno provedene metode analize troškova i koristi i teoretski postavljene usporedbe s metodom višekriterijske analize AHP. Primjena metode analize troškova i koristi nije pokazala značajne razlike pri vrednovanju dva ponuđena rješenja rekonstrukcije što je bio jedan od razloga za dodatnom usporedbom uvođenjem kriterija utjecaja rješenja na okoliš. Upotrebom AHP metode dvije varijante su uspoređene temeljem isključivo ekonomskih kriterija i rezultat analize bio je istovjetan rezultatima provedene analize troškova i koristi. U drugom slučaju, uzevši u obzir neekonomске kriterije, rezultat AHP analize se razlikovao od rezultata predloženog primjenom metode analize troškova i koristi. U opisanom je slučaju uvođenje novih kriterija, koji nisu mogli biti kvantificirani metodom analize troškova i koristi, rezultiralo preciznijim diferenciranjem ponuđenih varijanti.

4. Analiza primjene metoda višekriterijske analize u procesu planiranja, projektiranja, održavanja i rekonstrukcije prometne infrastrukture u urbanim područjima

Analiza baze znanstvenih radova (tablica 2.) pokazala je da se metode višekriterijske analize primjenjuju u donošenju odluka pri planiranju, projektiranju, održavanju i rekonstrukciji prometne infrastrukture u urbanim područjima.

Analiza primjene metoda višekriterijske analize pri planiranju prometne infrastrukture u urbanim područjima pokazuje da se, bez obzira na vrstu problema koja se rješava u postupku izbora rješenja između više ponuđenih, najčešće primjenjuje AHP metoda, dok su manje zastupljene PROMETHEE i metoda jednostavnih aditivnih težina, a zatim ELECTRE, ANP, REGIME,

metoda višeatributivne teorije korisnosti i TOPSIS (tablica 2.). AHP metodu je razvio Thomas L. Saaty 1970-ih godina [57, 58], a pri donošenju odluka u području prometne infrastrukture njezina se primjena značajno intenzivirala zadnjih desetak godina. Prednost primjene AHP metode autori nalaze u mogućnosti koju pruža ta metoda za odabir najboljega rješenja postavljanjem hijerarhije ciljeva, kriterija i varijanata rješenja [12] te u tome što omogućava donošenje odluke suradnjom različitih stručnjaka i dionika [48]. Prednost se uočava i u tome što svim zainteresiranim stranama daje operativni okvir za provedbu analize [9]. Ističe se primjena ove metode kada su kod procjene važni okolišni i socijalni kriteriji [10, 27, 48] koji ne mogu u svim slučajevima biti egzaktno kvantificirani novčanom vrijednošću primjenom metode analize troškova i koristi, ali svakako se mogu procjenjivati u relativnom međudonosu varijanti. Pri planiranju prometne infrastrukture u zadnjih nekoliko godina analizira se kombiniranje metode analize troškova i koristi te metoda višekriterijske analize kako bi se koristile prednosti obaju pristupa i minimalizirali njihovi nedostaci [32, 53]. Kao svojstvo metoda višekriterijske analize ističe se mogućnost primjene za prethodne (engl. ex-ante) i naknadne (engl. ex-post) analize, i to na problemima mikrorazine, dok metoda analize troškova i koristi uglavnom služi za prethodnu analizu i probleme na makrorazini. Kao jedna od bitnijih razlika ističe se efikasnost kao svojstvo metode analize troškova i koristi u odnosu na efektivnost kao svojstvo višekriterijske analize. Autori [54] sugeriraju združenu primjenu metodologija na način da se primijeni metoda analize troškova i koristi uz određivanje posljedica višekriterijskom analizom ili da se provede višekriterijska analiza za šire spoznavanje mogućih rješenja te određivanje javnih troškova i dobiti korisnika primjenom metode analize troškova i koristi. Metode višekriterijske analize se često implementiraju u složenije sustave za potporu pri odlučivanju koji pružaju podršku donositeljima odluka i u pripremi ulaznih podataka (npr. težina kriterija). Unutar sustava se primjenjuje više metoda, kombiniraju metode višekriterijske analize i GIS i sl. [33, 52, 54].

Kombinacijom metode višekriterijske analize i GIS tehnologije razvija se nova generacija sustava za potporu pri odlučivanju koji se nazivaju prostorni sustavi za potporu pri odlučivanju (engl. *spatial decision support system*) [31, 35, 52]. Kao prednost takvog sustava općenito pri planiranju urbane infrastrukture ističe se vizualizacija varijanata što dodaje novu vrijednost postupcima donošenja odluka i evaluaciji problema vezanih uz urbanu infrastrukturu posebno kada su u vrednovanje uključeni svi dionici, stručnjaci i nestručna javnost [52].

Temeljem prednosti i nedostataka postojećih metoda višekriterijske analize, metoda analize troškova i koristi i drugih metoda koje pružaju podršku pri višekriterijskom donošenju odluka razvijaju se i nove metode višekriterijske analize, pa je tako u radu [33] prikazan model DEX koji predstavlja kombinaciju novorazvijene kvalitativne metode višekriterijske analize i ekspertnog sustava tvoreći objedinjeni

sustav za potporu pri odlučivanju o ulaganju u cestovnu infrastrukturu, koji je moguće primijeniti za procjenu varijanata i u slučaju nedostatka nekih podataka ili u slučaju raspolaganja nepreciznim podacima.

U fazi projektiranja pokazala se primjena višekriterijske analize korisnom u razradi oblika odnosno tipa objekta prometne infrastrukture ili tipa garažno parkirnog objekta za koji je već definirana lokacija izgradnje [39]. U ovom se primjeru koristi AHP metoda dok se u radu [28] razmatra mogućnost primjene i drugih metoda višekriterijske analize pri odabiru projektnih rješenja pa se tako na razini prometno-projektnog planiranja sugerira primjena metoda AHP, PROMETHEE i ELECTRE.

Primjena višekriterijske analize u procesu održavanja i rekonstruiranja prometne infrastrukture u urbanim područjima analizirana je na vrlo različitim problemima: od onih koji ulaze u pitanje definiranja prioriteta održavanja neke mreže (cestovne, željezničke i sl.) do analize postojeće infrastrukture s ciljem unapređivanja stanja u smislu podizanja razine sigurnosti odvijanja prometa općenito [47] ili pak podizanja razine sigurnosti posebno osjetljivog vida prometa, primjerice pješačkog prometa [40].

Potreba za upravljanjem objektima u urbanim sredinama tijekom cijelog projektnog razdoblja definira se vrlo složenim s upravljačkog i ekonomskog aspekta. U navedenim uvjetima i donošenje odluka o prioritetima u održavanju postaje složeno te se u postupku donošenja odluka mogu primijeniti metode višekriterijske analize. Na primjeru gospodarenja prometnom infrastrukturom u gradu Splitu [44] pokazuje se važnost implementacije znanstvenih metoda (u ovom slučaju višekriterijske analize) u procesu planiranja, s ciljem dobivanja maksimalno točnih podataka, koji su temelj za donošenje ispravne investicijske odluke.

Pozitivni su zaključci o mogućnostima primjene metoda višekriterijske analize pri odlučivanju vezanom uz unaprjeđenje razine sigurnosti odvijanja cestovnog prometa u urbanim područjima u radovima [40, 47]. U oba se rada ističe mogućnost vrednovanja određenih segmenata cestovne mreže uporabom većeg broja kvalitativnih i kvantitativnih kriterija.

U vezi s održavanjem se istaknula ponovno AHP metoda te PROMETHEE metoda, a u slučaju održavanja cesta prevladava primjena ne izrazite logike.

5. Zaključak

Znanstveno utemeljena i provjerena višekriterijska analiza, koja u procesu odabira rješenja vezanih za prometnu infrastrukturu u urbanim područjima daje donositelju odluke mogućnost procjene uključivanjem i kvantitativnih i kvalitativnih kriterija, posljednjih je godina sastavni dio usvojenih metodologija donošenja odluka vezanih uz prometnu infrastrukturu na razini institucija i pojedinih zemalja. Teoretsko utemeljenje primjene ove metode nalazi se u samoj prirodi problema odabira rješenja vezanih za prometnu infrastrukturu. Problemi koji se rješavaju ubrajaju

se u loše strukturirane probleme. Ciljevi koji se žele postići rješavanjem problema prometne infrastrukture su složeni, a uvjeti u kojima se rješavaju problemi, primjerice prometni i gospodarski pokazatelji, promjenjivi su i neizvjesni.

Primjena metoda višekriterijske analize pri odlučivanju o prometnoj infrastrukturi u urbanim područjima intenziviralo se u periodu od 2000. godine do danas, te se mogu naći primjeri primjene u raznim zemljama svijeta: Čile, Hrvatska, Indija, Iran, Italija, Portugal, SAD, Slovenija, Velika Britanija i dr. Analiza prikupljene baze radova i u njima obrađenih primjera primjene pokazuje da se metoda višekriterijske analize u procesu rješavanja problema pretežno koristi u fazi planiranja prometne infrastrukture u urbanim područjima, a znatno manje u fazi projektiranja infrastrukturnih objekata ili sustava ili pak pri njihovu održavanju i rekonstrukciji. Autori nisu naišli na teoretski ili praktični znanstveno elaboriran primjer primjene metode višekriterijske analize u fazi pripreme za izvedbu nekog prometnog objekta ili sustava. Može se zaključiti da u fazi implementacije rješenja odabir načina same izvedbe objekta ili sustava uglavnom ovisi o ekonomskim i inženjerskim parametrima te je za usporedbu mogućih varijanti prikladnija primjena metode analize troškova i koristi. Višekriterijska analiza se primjenjuje za donošenje odluka u svim područjima prometne infrastrukture u urbanim sredinama: cestovne, željezničke, pomorske i zračne. Značajnija je primjena tih metoda u cestovnoj, a zatim željezničkoj infrastrukturi što se može pripisati složenijim uvjetima događanja ovih dvaju oblika prometa u smislu zauzimanja kopnenog prostora i utjecaja na prostor i ljude, a što je u slučaju zračnog ili vodenog prometa manje izraženo. Analiza provedena u ovom radu pokazuje da je primjenu metoda moguće grupirati prema vrsti problema na: izbor trase, rute ili prometnog koridora; izbor lokacije prometnog objekta; izbor tipa ili oblika prometnog objekta; izbor načina održavanja ili rehabilitacije prometnog sustava ili objekta te izbor načina rekonstrukcije ili dogradnje prometne infrastrukture.

Uobičajene grupe kriterija koje se navode u analiziranim radovima su: ekonomski, prometni, okolišni i socijalni kriteriji ili njihova kombinacija. Pokazuje se da te grupe kriterija osiguravaju pravilno donošenje odluka vezanih uz prometnu infrastrukturu u urbanim područjima. Razrada u potkriterije kao i dodjeljivanje važnosti/težina pojedinim kriterijima ovisi o konkretno definiranom problemu i uvjetima njegovog rješavanja te je moguće načelno preporučiti određene potkriterije. Nužno je da ekonomski kriteriji obučavaju više potkriterija i to obavezno: troškove izgradnje, upotrebe i održavanja infrastrukture te troškove korisnika (potrošnja goriva, troškovi parkiranja, i sl.). Prometni kriteriji određeni su vrstom problema stoga se kao potkriteriji koriste uobičajeni prometni pokazatelji učinkovitosti prometnog rješenja (primjerice: povećanje sigurnosti odvijanja prometa, kapacitet prometnice, broj parkirnih mjesta i sl.). Utjecaj prometne infrastrukture na okoliš treba obuhvatiti potkriterije zadiranja prometnog rješenja u prostor te štetnog utjecaja odvijanja prometa na okoliš. Potkriterijima zadiranja u

prostor treba uzeti u obzir do koje mjere i pod kojim uvjetima izgrađenosti prometno rješenje zauzima urbanu površinu i kako se to rješenje urbanistički uklapa. Kao potkriterij utjecaja odvijanja prometa na okoliš ističu se potkriterij utjecaja prometnog rješenja na razinu buke i na onečišćenje zraka. Socijalni kriterij obuhvaća koristi društva i pojedinca od izgrađene infrastrukture, a može biti izražen potkriterijima kojima se procjenju pozitivna učinka rješenja na kvalitetu života stanovništva u gradovima, povećanje kvalitete prometne povezanosti i slično.

Metodama višekriterijske analize omogućava se uvođenje i, kroz definiranje važnosti, preferiranje specifičnih kriterija koji se pojavljuju unutar nekog urbanog područja (primjerice zaštite svjetski prepoznate graditeljske baštine nekoga grada i sl.) što se može smatrati značajnom prednošću ove metode s obzirom na to da se radi o kriterijima koji nisu uvijek mjerljivi, a iznimno su važni.

Analiza primjene metoda (detaljnije u poglavlju 4.) pokazuje da se u donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi najčešće koristi metodom AHP. Nakon nje po zastupljenosti se ističe PROMETHEE, a zatim ELECTRE i metoda jednostavnih aditivnih težina. Rjeđe se primjenjuju ANP, REGIME, metoda višeatributivne teorije korisnosti/vrijednosti, TOPSIS i ostale metode. Provedenom analizom se ne može utvrditi zakonitost primjene metoda s obzirom na broj varijanti rješenja koje se razmatraju ili pak broj definiranih kriterija ili potkriterija pa se može zaključiti da izbor metode ovisi o preferencijama onoga tko provodi analizu. Može se također zaključiti da je AHP metoda rasprostranjena pri donošenju odluka vezanih uz prometnu infrastrukturu radi jednostavnosti i fleksibilnosti u primjeni jer omogućava provedbu analize i izbora rješenja temeljem usporedbe parova varijanti u odnosu na kriterije i kriterija u odnosu na cilj. U prilog navedenom treba reći da se u svim slučajevima analiziranim u ovome radu razmatra relativno mali broj varijanti rješenja (najviše 18 varijanti) i kriterija što omogućava da se u razumnom vremenu provedu

sve usporedbe parova. Metodom AHP moguće je vrednovati rješenja uzimajući u obzir i hijerarhijsku strukturu kriterija i potkriterija te definirati težine kriterija u odnosu na cilj i potkriterija u odnosu na kriterij više razine.

Metode višekriterijske analize se često implementiraju u složenije i obuhvatnije modele, sustave za potporu pri odlučivanju, koji mogu pružiti podršku donositeljima odluka i u fazama koje prethode izboru rješenja. Unutar sustava za potporu pri odlučivanju često se primjenjuje više metoda višekriterijske analize ili se one kombiniraju s GIS-om i sl. Uporaba GIS-a omogućava vrednovanje inženjerskih rješenja na jednostavan i donositeljima odluka razumljiv način što bi za posljedicu trebalo imati kvalitetnija rješenja u implementaciji. Višekriterijska se analiza radi podizanja kvalitete odabira rješenja kombinira i s metodom analize troškova i koristi čime se postiže ravnoteža između kvalitativnih kriterija izraženih kroz višekriterijsku analizu i kvantitativnih kriterija izraženih kroz metodu analize troškova i koristi.

Stanovita ograničenja u primjeni višekriterijske analize obuhvaćaju složenost definiranja težina kriterija ako se u proces uključi velik broj dionika te vrednovanje varijanti na temelju nedovoljno razrađenih podloga, što može biti slučaj pri vrednovanju socijalnih ili okolišnih kriterija koji su po svojoj naravi u cijelosti ili dominantno kvalitativni.

Konačno, može se zaključiti da metode višekriterijske analize, osobito u okviru sustava za potporu pri odlučivanju, mogu značajno doprinijeti unapređenju kvalitete procesa donošenja odluka o urbanoj prometnoj infrastrukturi pod uvjetom dobro definiranog problema (ciljeva, kriterija i mjera), važnosti kriterija, razrađenih varijanti i raspoložive odgovarajućim podlogama za vrednovanje varijanata po izabranim kriterijima. U takvim uvjetima metode višekriterijske analize doprinose kvaliteti provedbe postupka donošenja odluka o prometnoj infrastrukturi u urbanim područjima osiguravanjem objektivnosti, transparentnosti i mogućnosti provedbe kontrole samog postupka donošenja odluka.

LITERATURA

- [1] Maletin, M.: Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima, drugo izdanje, Orion Art, Beograd, 2009.
- [2] Padjen, J.: Metode prostorno-prometnog planiranja, Informator, Zagreb, 1978.
- [3] Anderson, D.R.; Sweeney, D.J.; Williams, T.A.: An Introduction to Management Science: Quantitative Approaches to Decision Making, South-Western College Publishing, 2000.
- [4] Karleuša, B.; Beraković, B.; Rajčić, V.: Ekspertni sustav za ocjenu/vrednovanje uspješnosti planiranja u gospodarenju vodama, Građevinar, Hrvatski savez građevinskih inženjera, vol. 62., No. 1., pp. 1-11., 2010.
- [5] Sahely, H.R.; Kenedy, C.A.; Adams, B.J.: Developing sustainability criteria for urban infrastructure systems, Canadian Journal of Civil Engineering, NRC Research Press, <http://www.nrcresearchpress.com/>, Canada, Vol. 32., No.1, pp. 72-85, 2005.
- [6] Dasgupta, S.; Tam, E.K.L.: Indicators and framework for assessing sustainable infrastructure, Canadian Journal of Civil Engineering, NRC Research Press, <http://www.nrcresearchpress.com/>, Canada, Vol. 32., No.1, pp. 72-85, 2005.
- [7] BES Urban Lexicon, http://besurbanlexicon.blogspot.com/2012_06_01_archive.html, 1.2.2013.

- [8] Talvitie, A.: Evaluation of road projects and programs in developing countries, *Transport Policy*, Elsevier, Vol. 7, No. 1., pp. 61-72, 2000.
- [9] Willis, K.G.; Garrod, G.D.; Harvey, D.R.: A review of cost-benefit analysis as applied to the evaluation of new road proposals in the U.K., *Transportation Research part D: Transport and Environment*, Elsevier, Vol.3., No. 3., pp. 141-156., 1998.
- [10] Vreeker, R.; Nijkamp, P.; Welle, C.T.: A multicriteria decision support methodology for evaluating airport expansion plans, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Elsevier, Vol 7., no. 1., pp. 27-47., 2002.
- [11] Iniestra, J.G.; Gutiérrez, J.G.: Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework, *Applied Soft Computing*, Elsevier, Vol.9., No. 2., pp. 512-526., 2009.
- [12] Tudela, A.; Akiki, N.; Cisternas, R.: Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis: An application to urban transport investments, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Elsevier, Vol. 40, No. 5., pp. 414-423., 2006.
- [13] Bristow, A.L.; Nellthorp, J.: Transport project appraisal in the European Union, *Transport Policy*, Elsevier, Vol 7., no. 1., pp. 51-60., 2000.
- [14] Opricović, S.: Višekriterijumska optimizacija, Naučna knjiga, Beograd, 1986.
- [15] Triantaphyllou, E.: Multi-criteria decision making methods: A comparative study, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2000.
- [16] Greco, S.: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, *International Series in Operations Research & Management Science*, Springer, Vol. 78, New York, 2005.
- [17] Karleuša, B.: Primjena postupaka višekriterijske optimalizacije u gospodarenju vodama - magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2002.
- [18] Nikolić, I.; Borović, S.: Višekriterijska optimizacija: metode, primjena u logistici, softver, Centar vojnih škola Vojske Jugoslavije, Beograd, 1996.
- [19] Jugović, T.P.; Jugović, A.; Karleuša, B.: Solution valuating in transport planning by implementation of the multicriteria optimization, *Transportation and Globalization*, Fakultet za pomorstvo in promet, Vol. 32, ur. Zanne, M.; Fabjan, D.; Janček, P., 2006.,
- [20] Weng, S.Q.; Huang, G.H.; Li, Y.P.: An integrated scenario-based multi-criteria decision support system for water resources management and planning-A case study in the Haihe River Basin, *Experts Systems with Applications*, Elsevier, Vol. 37., No.12., pp. 8242-8254., 2010.
- [21] Farahani, R.Z.; Steadie Seifi, M.; Asgari, N.: Multiple criteria facility location problems: A survey, *Applied Mathematical Modelling*, Elsevier, Vol. 34., No.7., pp. 1689-1709., 2010.
- [22] Đorđević, B.: Vodoprivredni sistemi; Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [23] Mendoza, G.A.; Martins, H.: Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms, *Forest Ecology and Management*, Elsevier, Vol. 230, 2006, No. 1-3., pp. 1-22.
- [24] Kosijer, M.; Ivić, M.; Marković, M.; Belošević, I.: Višekriterijsko odlučivanje u planiranju i projektiranju trase željezničke pruge, *GRAĐEVINAR*, Vol.64, No.3., pp. 195-205., 2012.
- [25] Hajkowicz, S.; Collins, K.: A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management, *Water Resources Management*, Vol. 21, No. 9, pp. 1553-1566., 2007.
- [26] Hajkowicz, S.: A comparison of multiple criteria analysis and unaided approaches to environmental decision making, *Environmental Science & Policy*, Elsevier, Vol. 10., No. 2., pp. 177-184., 2007.
- [27] Pogarčič, I.; Frančič, M.; Davidović, V.: Application of AHP method in traffic planning, *ISEP 2008*, Proceedings of ITS-A Condition for Sustainable Development and Prosperity of a Modern and Safe Transport, ur. Hrnava, B.; Meše, P., Ljubljana, 2008.
- [28] Karleuša, B., Deluka-Tibljaš, A., Benigar, M.: Mogućnosti primjene postupaka višekriterijske optimizacije u prometnom planiranju i projektiranju, *Suvremeni promet*, Vol 23., No. 1-2, pp. 104-107., 2003.
- [29] Barić, D.; Radačić, Ž.; Čuperić, D.: Implementation of multi-criteria decision-making method in selecting the railway line for reconstruction, *Proceedings book ICTS 2006 Transportation and Globalization*, ur. Zanne, M.; Fabjan, D.; Janček, P., Fakultet za pomorstvo in promet Portorož, Portorož, 2006.
- [30] Jugović, T.P.; Baričević, H.; Karleuša, B.: Višekriterijska optimizacija konkurentnosti paneuropskog koridora Vb, *Promet - Traffic & Transportation*, Vol. 18, No. 3, pp. 189-195., 2006.
- [31] Keshkamat, S.S.; Looijen, J.M.; Zuidgeest, M.H.P.: The formulation and evaluation of transport route planning alternatives: a spatial decision support system for the Via Baltica project, Poland, *Journal of Transport Geography*, Elsevier, Vol.17., No. 1., pp. 54-64., 2009.
- [32] Tsamboukasm D.; Mikroudiss, G.: EFFECT - evaluation framework of environmental impacts and costs of transport initiatives, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Elsevier, Vol. 5., No. 4., pp. 283-303., 2000.
- [33] Cundrić, A.; Kern, T.; Rajković, V.: A qualitative model for road investment appraisal, *Transport Policy*, Elsevier, Vol. 15, No. 4., pp. 225-231, 2008.
- [34] Delle Site, P.; Filippi, F.: Weighting methods in multi-attribute assessment of transport projects, *European Transport Research Review*, Springer, Vol.1, No.4, pp. 199-206., 2009.
- [35] Rybarczyk, G.; Wu, C.: Bicycle facility planning using GIS and multi-criteria decision analysis, *Applied Geography*, Elsevier, Vol. 30, pp. 282-293., 2010.
- [36] Deluka-Tibljaš, A., Lučić, S., Benigar, M.: Location selection criteria for the sea passenger terminal in relation to the urban structure of the town, *Promet-Traffic & Transportation*, Vol. 18., No.3., pp. 159-164., 2006.
- [37] Deluka-Tibljaš, A.; Karleuša, B.; Benac, Č.: AHP methodology application in garage-parking facility location selection, *Promet-Traffic&Transportation*, Vol. 23, No. 4, pp. 303-313., 2011.
- [38] Kovačić, M.: Selecting the location of a nautical tourism port by applying PROMETHEE and GAIA methods, *Traffic Planning*, Vol. 22., No. 5., pp. 341-351., 2010.
- [39] Karleuša, B.; Benigar, M.; Deluka-Tibljaš, A.: Use of AHP multicriteria optimization method for the optimization of garage facility Dok 3 in Rijeka, *Proceedings book 11th International Symposium on Electronic in Traffic ISEP 2003*, ur. Anžek, M., Electrotechnical Society of Slovenia, Ljubljana, 2003.
- [40] Šimunović, Lj.; Grgurević, I.; Pašagić Škrinjar, J.: Selecting optimal pedestrian crossing using multi-criteria decision-making, *Traffic Management*, Vol. 22., No. 2., pp. 105-116., 2010.
- [41] Tsamboulas, D.; Lioukas, S.; Dionelis, C.: Evaluating alternative scenarios for high-speed rail investment in Greece, *Transportation*, Springer, Vol. 19., No. 3., pp. 245-265., 1992.

- [42] Sayers, T.M.; Jessop, A.T.; Hills, P.J.: Multi-criteria evaluation of transport options—flexible, transparent and user-friendly?, *Transport Policy*, Elsevier, Vol. 10., No. 2., pp. 95-105., 2003.
- [43] Teng, J.Y.; Huang, W.C.; Lin, M.C.: Systematic budget allocation for transportation construction projects: a case in Taiwan, *Transportation*, Vol. 37, No. 2., pp. 331-361., 2010.
- [44] Jajac, N.; Knezić, S., Marovic, I.: Decision support system to urban infrastructure maintenance management, *Organization, Technology & Management in Construction*, Vol.1, No. 2., pp. 72 – 79., 2009.
- [45] Arslan, T.: A hybrid model of fuzzy and AHP for handling public assessments on transportation projects, *Transportation*, Springer, on line: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11116-008-9181-9>, Vol. 36., No.1., pp. 97-112., 2009.
- [46] Janssen, R.: On the Use of Multi-Criteria Analysis on Environmental Impact Assessment in the Netherlands, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Wiley, Vol. 10, No. 2., pp. 101-109., 2011.
- [47] Haghighat, F.: Application of a multi-criteria approach to road safety evaluation in the Bushehr province, Iran, *Promet- Traffic & Transportation*, Vol. 23., No. 5., pp. 341-352., 2011.
- [48] 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*, Elsevier, Vol 37., No. 8., pp. 717-729., 2003.
- [49] Filippo, S.; Ribeiro, P.C.M.; Ribeiro, S.K.: A Fuzzy Multi-Criteria Model applied to the management of the environmental restoration of paved highways, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Elsevier, Vol 12., No. 6., pp. 423-436., 2007.
- [50] Moazami, D., Behbahani, H.; Muniandy, R.: Pavement rehabilitation and maintenance prioritization of urban roads using fuzzy logic, *Expert Systems with Applications*, Elsevier, vol. 38, No. 10, pp. 12869-12879., 2011.
- [51] Meneses, S.; Ferreira, A.: New optimization model for road network maintenance management, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Proceedings of EWGT2012- 15th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, Elsevier, Pariz, Vol 54., pp. 956-965., 2012.
- [52] Coutinho-Rodrigues, J.; Simao, A.; Antunes, C.H.: A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures, *Decision Support Systems*, Elsevier, Vol. 51., No. 3., pp. 720-726., 2011.
- [53] Beria, P.; Maltese, I.; Marotti, I.: Multicriteria versus Cost Benefit Analysis: a comparative perspective in the assessment of sustainable mobility, *European Transport Research Review*, Springer, Vol.4, No.3, pp. 137-152., 2012.
- [54] Jajac, N., Knezić, S., Mladineo, N.: DSS for urban infrastructure management, parking garages case study, *Organization, technology and management in construction: proceedings 8th International Conference (5th SENET Conference)*, ur.: Radujković, M.; Mlinarić, V., Croatian Association for Organization in Construction, Umag, 2008.
- [55] Khaki, A.M.; Shafiyi, S.M.: Comparison between the output of cost benefit analysis and multi-criteria analysis in urban transportation investments, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol. 5., No.11., pp. 667-677., 2011.
- [56] Krpan, Lj.: Integralni prostorno-prometni model urbanističkog planiranja: disertacija, Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2010.
- [57] Saaty, T. L.: *The Analytic Hierarchy Process*, drugo izdanje, RWS Publications, Pittsburg, 1996.
- [58] Saaty, T. L.; Vargas, L. G.: *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001.