



izv. prof. dr. sc. **Maja Ahac**,
dipl. ing. grad.

Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
maja.ahac@grad.unizg.hr



izv. prof. dr. sc. **Saša Ahac**,
dipl. ing. grad.

Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
sasa.ahac@grad.unizg.hr



Antonio Tomc, mag. ing.
aedif.

Georad d.o.o.
antonio.tomc@georad.hr



Gabrijel Matić, mag. ing.
aedif.

Radnik d.d.
gabrijel.matic@gmail.com

UDK: 711.7/625.1

1. Uvod

Vrednovanje projekata razvoja željezničke infrastrukture skup jest aktivnosti usmjerenih na utvrđivanje opravdanosti i prihvatljivosti projekta, izbor optimalnog rješenja te ujedno na utvrđivanje stupnja prioriteta ulaganja u projekte. Ne tako davno izbor optimalnog rješenja uključivao je jedino analizu financijskih kriterija kroz analizu najmanjeg troška. Korak naprijed bila je analiza troškovne učinkovitosti temeljena na identifikaciji takozvanih omjera koristi i troškova koji su dovodili do utvrđivanja „vrijednosti za novac“ različitih rješenja [1]. Iako je to općepriznat metodološki pristup vrednovanju, procjena koja se temelji samo na monetarnome utjecaju danas se smatra preuskom i jednostranom [2], jer je pri izboru rješenja održivog razvoja željezničke infrastrukture potrebno uzeti u obzir velik broj kriterija vrednovanja. Oni

VREDNOVANJE RJEŠENJA PLANIRANIH ŽELJEZNIČKIH TRASA PRIMJENOM VIŠEKRITERIJSKE ANALIZE

U stručnome radu prikazana je primjena višekriterijske analize na primjeru vrednovanja rješenja obilazne željezničke pruga grada Zagreba za teretni prijevoz na dionici Zaprešić – Horvati. Postupak se oslanja na rezultate prethodnih istraživanja o stajalištima domaćih stručnjaka u području planiranja i projektiranja prometne infrastrukture o važnostima pokazatelja vrednovanja i kriterija vrednovanja.

obuhvaćaju okolišne kriterije (uključujući korištenje resursa i zbrinjavanje ostataka), ekonomske kriterije (uključujući investicijske i operativne izdatke i ulaganja u inovacije), inženjerske kriterije (uključujući performanse sustava), društvene kriterije (uključujući dostupnost, prihvatljivost, zdravlje) i kriterije sigurnosti [3]. Zbog toga se posljednjih desetljeća intenzivirala primjena višekriterijske analize za vrednovanje projektnih rješenja razvoja željezničke mreže.

Višekriterijska analiza jest tehnika koja kombinira mnogo kvantitativnih i kvalitativnih procjena u procesu donošenja odluka. Cilj je analize rangirati različita razvojna rješenja prema prikupljenim i procijenjenim podacima iz različitih disciplina. Četiri osnovna pojma u procesu višekriterijske analize (pokazatelji, kriteriji, ponderi i bodovi) definiraju se na sljedeći način. Pokazatelji su mjere uspješnosti prema kojima se rješenja vrednuju. Oni odražavaju važne aspekte ciljeva razvoja rješenja. Kriteriji su skupovi pokazatelja koji se odnose na zasebne komponente općeg cilja razvoja rješenja. Moraju pružiti složen i sveobuhvatan pregled učinkovitosti, održivosti i izvedivosti rješenja te rezultirati pravdom, opravdanom i multidisciplinarnom procjenom. Ta procjena trebala bi stvoriti čvrstu i branjivu osnovu za identifikiranje najpoželjnijeg rješenja. Ponderi predstavljaju vrijednost utjecaja kriterija na ocjenu rješenja i odražavaju stajališta dionika procesa o važnosti pojedinih kriterija. Višekriterijska analiza rezultira dodjeljivanjem bodova svakome rješenju i omogućuje odabir najpoželjnijeg rješenja.

Brojna literatura o višekriterijskim analizama nudi više od stotinu različitih pristupa dodjeli bodova rješenju, uzimajući u obzir višestruke ciljeve, pokazatelje i kriterije odlučivanja. Iako se ti pristupi mogu znatno razlikovati, mnogi od njih imaju određene zajedničke aspekte i pružaju slične okvire za podršku odlučivanju. Nakon izrade najmanje dvaju razvojnih rješenja koje se želi ocijeniti, ti okviri uključuju sljedeće ključne korake [4, 5, 6]. Prvi korak obuhvaća proračun ili procjenu i dodjeljivanje vrijednosti odabranim pokazateljima. Budući da oni mogu biti kvantitativni ili kvalitativni te da dodatno mogu biti izraženi u različitim jedinicama i rasponima, u drugom se koraku pristupa njihovoj normalizaciji na jedan usporedivi raspon i jedinicu. Normalizacija se provodi preslikavanjem ili preračunavanjem vrijednosti pokazatelja na odabranu skalu ili interval (primjerice od 0 do 100) u odnosu na raspon vrijednosti pokazatelja. To omogućava proračun ukupnih bodova koji odražavaju sve pokazatelje svakog rješenja. Nakon što su vrijednosti pokazatelja normalizirane, pokazatelji postaju matematički usporedivi. U trećem se koraku provodi izračun bodova za svaki kriterij zbrajanjem normaliziranih vrijednosti pokazatelja. Međutim, kriteriji ne moraju neophodno biti jednako važni za ocjenu rješenja. Zato se u četvrtome koraku definira skup pondera koji odražavaju razinu važnosti svakog kriterija ocjene. Ponderi se identifikiraju na temelju prakse i u skladu s ciljevima analize, obično preko anketnih obrazaca ili verbalnim izražavanjem dionika, a izražavaju se težinskim faktorima. Ako dionici nemaju preferencije, analiza se provodi pod pretpostavkom da

su svi kriteriji jednako (proporcionalno) važni. U petome koraku analize konačni bodovi svakog rješenja izračunavaju se zbrajanjem težinskih ocjena kriterija. U šestom je koraku potrebno provesti analizu osjetljivosti. Analiza osjetljivosti služi za potvrdu robusnosti procesa donošenja odluke, tj. za osiguranje visoke razine objektivnosti, mogućnosti revizije i transparentnosti procesa, te se provodi nakon rangiranja rješenja i prije donošenja konačne odluke. Analiza osjetljivosti obuhvaća sustavno variranje težine kriterija te rezultira procjenom nesigurnosti rezultata zbog pristranosti dionika pri odabiru pokazatelja i važnosti kriterija.

U ovome radu prikazana je primjena višekriterijske analize na vrednovanje razvojnih rješenja nove obilazne željezničke pruge grada Zagreba za teretni prijevoz na dionici Zaprešić – Horvati. Tri rješenja tehnički su razrađena na idejnoj razini u diplomskim radovima studenata Građevinskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, smjera Prometnice [7, 8]. Pokazatelji, kriteriji i ponderi kriterija primijenjeni u postupku vrednovanja razvojnih rješenja preuzeti su iz rezultata prethodnih istraživanja mišljenja domaćih stručnjaka u području planiranja

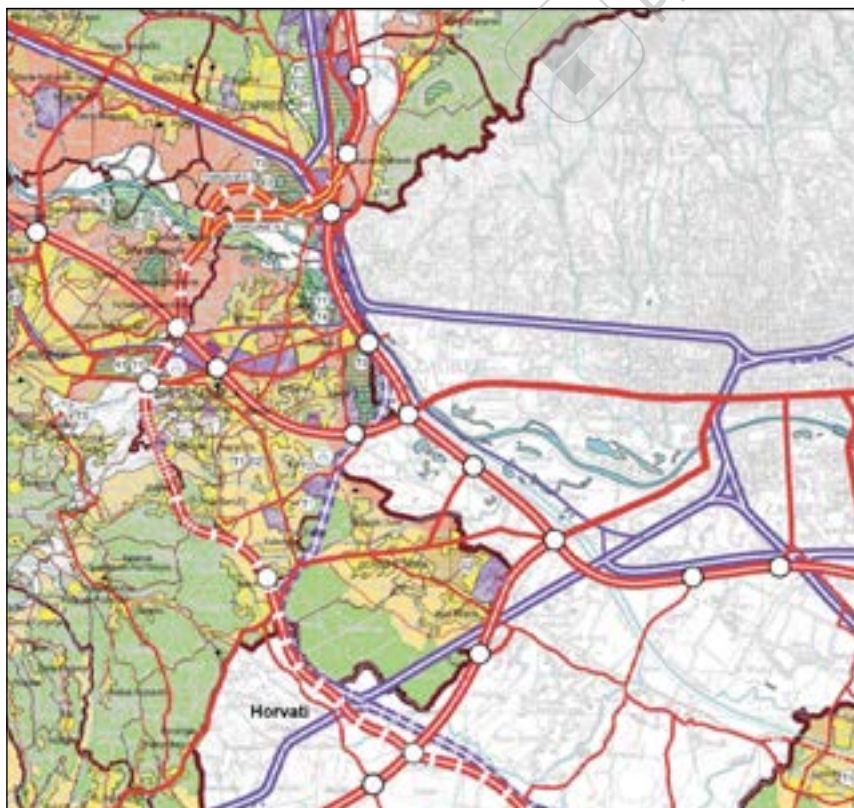
i projektiranja prometne infrastrukture danima u [9].

2. Razrada rješenja obilazne pruge

Trasa nove obilazne željezničke pruge grada Zagreba za teretni prijevoz Zaprešić – Horvati – Mraclin – Rugvica – Brckovljani uključena je u prostorne planove grada Zagreba (PPGZ) i Zagrebačke županije (PPŽŽ). Trase dionice Zaprešić – Horvati dane u tim dokumentima ne poklapaju se (nadovezuju) preko administrativnih granica (slika 1.). Rješenje uključeno u PPGZ pružnu trasu vodi uz postojeću autocestu od rasputnice Klara prema zapadu, s južne strane Općine Sveta Klara, sjevernom obalom kanala Odra te u nastavku južnom obalom rijeke Save, sjeverno od naselja Rakitja do Zaprešića. Prema [11], to rješenje, koje je nastalo prije trideset godina, danas više ne zadovoljava prometne i razvojne zahtjeve. Obilazna pruga preblizu je gradu i prolazi vodozaštitnim područjem, što zahtijeva zahtjevna, složena i skupa rješenja. PPŽŽ pružnu trasu vodi paralelno s trasom novoplanirane autoceste, od Rakova potoka, sa zapadne strane Rakitja do južne obale rijeke Save, sve do Zaprešića. Prema [12], tu trasu treba

prilagoditi radi prolaska kroz tri područja ekološke mreže (Natura 2000): Stupnički lug, Sava uzvodno od Zagreba i Sava kod Hrušćice sa šljunčarom Rakitje (slika 2.). Navedeni izazovi poslužili su kao polazište za razradu koncepta triju različitih idejnih rješenja nove elektrificirane dvokolosiječne obilazne željezničke pruge za teretni prijevoz na dionici Zaprešić – Horvati, od odvojka na postojećoj željezničkoj pruzi M 101 DG – Savski Marof – Zagreb GK, uz današnje stajalište Zaprešić Sava, sve do priključka na postojeću željezničku prugu M 202 Zagreb GK – Rijeka, za koju se za potrebe razvoja rješenja pretpostavilo da je dograđena u dvokolosiječnu (slika 2.)

Rješenje R1 vodi trasu najbliže koridoru danome u trenutačno važećemu PPGZ-u, zanemaruje područja ekološke mreže te prolazi vrlo blizu naselja između autoceste AC2 i rijeke Save. Rješenje R2 nastoji izbjeći negativan utjecaj izgradnje pruge na ekološku mrežu [12] te smanjiti broj konflikata s cestovnom mrežom vođenjem trase južno od autoceste AC2, dok rješenje R3 u najvećoj mjeri poštuje područja ekološke mreže, ali i važnost zajedničkog vođenja prometnih i infrastrukturnih koridora (a time i racionalnog



Slika 1. Izvadak iz PPGZ-a i PPŽŽ-a



Slika 2. Izvadak s Bioportala

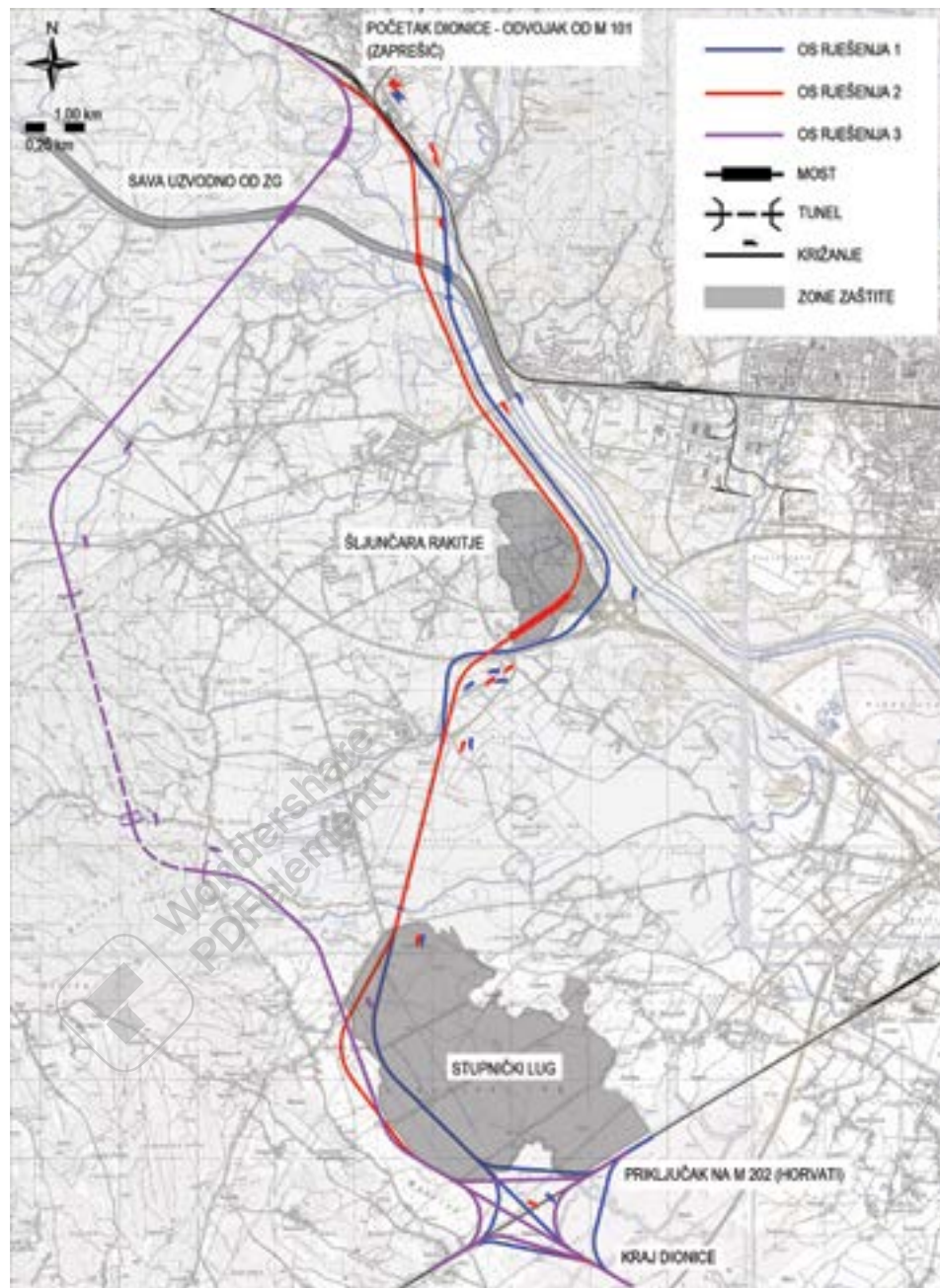
korištenja prostora) koja je istaknuta u PPŽŽ-u, tako da trasu u najvećoj mjeri prilagođava pružanju koridora novoplanirane autoceste.

Pri razradi rješenja poštivani su osnovni zahtjevi Projektnog zadatka za izradu studije razvoja željezničkog čvora Zagreb [14]: osni razmak između kolosijeka na otvorenoj pruzi iznosi 5,00 m; projektirana građevinska brzina duž dionice iznosi od 80 do 120 km/h, a na priključnim kolosijecima 65 km/h; najveći uzdužni nagib na budućoj trasi iznosi 4 ‰, prema uvjetu da ukupni otpori na budućoj trasi ne smiju prelaziti 6 daN/t; elementi i dimenzije poprečnih profila definirani su za najveću dopuštenu masu željezničkih vozila od 22,5 t/o (kategorija modela opterećenja D4) te za slobodni profil za prolazak željezničkih vozila GC.

Za razradu rješenja korišten je specijalizirani računalni program *Bentley Power Rail Track*. Kao podloge korišteni su topografska karta područja i digitalni model terena u mjerilu 1 : 25 000. U računalnome programu prvo je položena horizontalna, a potom vertikalna geometrija trasa, a kasnije su definirani elementi poprečnih profila obilazne pruge i priključnih pruga. Superponiranjem tlocrtne, vertikalne i poprečne geometrije na kraju je dobiven trodimenzionalan trup pruga koji je definirao granice njihovih koridora (slika 3.). Nakon tehničke razrade rješenja pristupilo se njihovom vrednovanju.

3. Odabir pokazatelja, kriterija i njihove važnosti

Budući da se pojmovi „održivost“, „otpornost“, „dekarbonizacija“, „zelene tehnologije“, „energetska učinkovitost“ i „urbana mobilnost“ danas ponajprije vežu uz tračničke prometne sustave, ne čudi brojnost recentnih stranih istraživanja o odabiru pokazatelja, kriterija i pondera za višekriterijsku analizu projekata izgradnje nove tračničke infrastrukture ili rekonstrukcije i dogradnje postojeće. Ipak, radi političkih, geografskih, gospodarskih i društvenih specifičnosti u ovome su radu korišteni rezultati istraživanja provedenog na teritoriju RH tijekom 2012. u cilju definiranja modela za višekriterijsko ocjenjivanje i vrednovanje projekata pruga i cesta, a koji su dani u [9]. Navedeno istraživanje prove-



Slika 3. Pregledna situacija razrađenih rješenja trasa

deno je kao anonimno internetsko anketiranje mišljenja hrvatskih stručnjaka iz područja planiranja i projektiranja prometne infrastrukture. U njemu je sudjevalo 46 zaposlenika tvrtki za planiranje i projektiranje, znanstvenih institucija, sveučilišta, državne i lokalne uprave i samouprave. Rezultati anketa primijenjeni su za definiranje osam kriterija i 25 pokazatelja za višekriterijsko vrednovanje projekata. Njihovi ponderi (težinski koeficijenti) određeni su kao aritmetička sredina svih ocjena (1 – 10) koje su stručnjaci dodijelili pojedinome kriteriju.

Nakon inicijalnog pregleda razrađenih rješenja obilazne pruge za teretni prijevoz zaključeno je da je za potrebe vlastite analize potrebno prilagoditi listu kriterija i pokazatelja definiranu u [9]. Prilagodba je provedena radi specifičnosti zadatka i lokacije, (ne)dostupnosti pojedinih ulaznih podataka za procjenu vrijednosti pokazatelja te procjene da će sva analizirana rješenja ostvariti jednak broj bodova po pokazatelju. Tako su u analizi rješenja obilazne pruge izostavljeni pokazatelji etapne izvodivosti rješenja, uklapanja u druge prometne

sustave, utjecaj rješenja na turizam, karakteristike geologije i seizmologije zemljišta te pokazatelj vremena putovanja putničkih vlakova. Također je zanemaren kriterij koristi za razvojni potencijal koji ocjenjuje doprinos rješenja razvoju gos-

podarstva regije i njegov utjecaj na širu društvenu zajednicu. Kako bi se ponderi (težinski faktori) kriterija, dani u [9], prilagodili smanjenju broja kriterija, provedena je vlastita normalizacija ocjena kriterija (tablica 1.).

4. Provedba i rezultati višekriterijske analize

Lista kriterija, odabranih pokazatelja, njihovih mjera i proračunanih ili procijenjenih vrijednosti za svako razrađeno rješenje obilazne pruge dana je u tablici 2. Nakon kvantifikacije pokazatelja provedena je normalizacija njihovih vrijednosti svodenjem na raspon bodova od 0 do 100.

Vrijednosti pokazatelja razrađenih rješenja obilazne pruge, koje sadržavaju kriteriji investicijskih troškova i troškova eksploatacije, procijenjene su na temelju Smjernica za analizu troškova i koristi (*Cost-Benefit Analysis* – CBA) za projekte prometnica i željeznica [15]. **Troškovi investicija**, razdijeljeni na troškove izgradnje željezničke infrastrukture (gornjeg ustroja, objekata – mostova, podvožnjaka, nadvožnjaka i tunela, zaštite od buke, uređaja – elektroenergetskih, si-

Tablica 1. Kriteriji i težinski koeficijenti kriterija

Kriterij [9]	Težinski koeficijenti (važnost kriterija)	
	Na skali 1 – 10 [9]	Normalizirani
Troškovi investicija	7,826	0,142
Troškovi eksploatacije	7,848	0,143
Vrijeme izgradnje	7,156	0,130
Prostorno-urbanistički utjecaj	7,478	0,136
Prometni i građevinsko-tehnički kriterij	8,091	0,147
Ekološka prihvatljivost	8,356	0,152
Vrijeme putovanja	8,178	0,149

Izvor: 4

Tablica 2. Kriteriji, pokazatelji i rezultati njihove kvantifikacije

Kriterij	Pokazatelj	Mjera	Vrijednost pokazatelja			Normalizirana vrijednost pokazatelja 1 – 100		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3
Troškovi investicija	Izgradnja željezničke infrastrukture	mil. EUR	75,7	95,6	146,3	76	70	54
	Izgradnja željezničke suprastrukture	mil. EUR	91,2	79,1	69,7	62	67	71
Troškovi eksploatacije	Održavanje (redovito i izvanredno)	mil. EUR	0,9	0,9	1,0	67	67	66
	Upravljanje	mil. EUR	0,6	0,5	0,6	67	67	66
Vrijeme izgradnje	Vrijeme izgradnje kritičnih objekata	km	0,6	2,3	4,4	92	68	40
Prostorno - urbanistički utjecaj	Uklapanje u postojeće željezničke pravce	km	6,2	5,6	5,6	36	32	32
	Odstupanje trase od zračne linije	-	1,2	1,2	1,3	67	67	66
	Zauzimanje površina	km2	0,6	0,5	0,4	62	67	71
	Očuvanje prostornih cjelina	%	44,8	45,2	77,2	27	27	46
	Položaj trase na objektima	%	2,7	7,1	4,0	80	49	71
	Ograničenja u prostoru	kom	29	25	16	59	64	77
	Duljina trase	km	21,0	20,8	21,8	67	67	66
Prometni i građevinsko tehnički kriterij	Zakrivljenost trase	%	44,0	29,0	24,0	55	70	75
	Brzina prometa	km/h	100	120	120	29	35	35
	Sigurnost prometa	kom	1	1	0	50	50	100
	Propusna sposobnost	%	6,8	19,9	25,6	87	62	51
Ekološka prihvatljivost	Utjecaj buke i vibracija	km	1,2	2,8	1,3	77	47	76
	Onečišćenje vode i tla	km	21,0	20,8	17,7	65	65	70
	Utjecaj na krajobraz	km	2,1	2,9	0,2	60	44	96
Vrijeme + putovanja	Vrijeme putovanja teretnih vlakova	km	12,6	10,4	10,9	63	69	68

Izvor: 4

gنالno-sigurnosnih, telekomunikacijskih i uređaja za središnje upravljanje prometom) i suprastrukture (donjeg ustroja – zemljanih radova, odvodnje te otkupa zemljišta), izraženi su u monetarnim jedinicama. **Troškovi eksploatacije**, razdijeljeni na troškove redovitog i izvanrednog održavanja te upravljanja novoplaniranim sustavom, izraženi su kao godišnji trošak u monetarnim jedinicama. Pri normalizaciji vrijednosti tih pokazatelja najveći broj bodova dodijeljen je rješenju s najmanjom vrijednosti troška.

Pokazatelj kriterija vremena izgradnje definiran je procijenjenim **vremenom izgradnje kritičnih objekata** duž razrađenih rješenja pruga. Vrijednost tog pokazatelja procijenjena je kao ukupna duljina nadvoznjaka, podvoznjaka, mostova i tunela duž trase i izražena u kilometrima. Pri normalizaciji vrijednosti pokazatelja najveći broj bodova dodijeljen je rješenju s najmanjom ukupnom duljinom objekata.

Kriterij prostorno-urbanističkog utjecaja opisan je sljedećim pokazateljima. **Uklapanje u postojeće željezničke pravce** procijenjeno je duljinom priključaka (u kilometrima) planirane pruge na postojeću željezničku prugu M 202 Zagreb GK – Rijeka. Budući da veća duljina priključnih pruga osigurava manji uzdužni nagib, prilikom normalizacije vrijednosti tog pokazatelja najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najvećom ukupnom duljinom priključaka. **Odstupanje trase od zračne linije** kvantificirano je kroz proračun bezdimenzionalnoga koeficijenta zakrivljenosti koji prikazuje odnos stvarne duljine trase i duljine pravocrtnog spoja početne i krajnje točke trase. Prilikom normalizacije vrijednosti tog pokazatelja najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najmanjim koeficijentom. **Zauzimanje površina** procijenjeno je površinom koridora svakog rješenja izraženom u kvadratnim kilometrima. Pri normalizaciji vrijednosti tog pokazatelja najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najmanjom površinom koridora. **Očuvanje prostornih cjelina** procijenjeno je udjelom trase koja se proteže uz planirani ili postojeći koridor javno-prometne površine. Pri normalizaciji najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najvećom vrijednošću tog pokazatelja. **Položaj trase na objektima** kvantificiran je udjelom svih objekata (osim tunela) u ukupnoj duljini trase. Pri normalizaciji naj-

veći je broj bodova dodijeljen rješenju s najmanjom vrijednošću tog pokazatelja. **Ograničenja u prostoru** procijenjena su brojem prepreka slobodnome tlocrtnom i visinske vođenju pružnih trasa koje su se pri razradi rješenja morale prilagođavati uvjetima postojećeg prirodnog i izgrađenog okoliša. Pri normalizaciji vrijednosti tog pokazatelja, kvantificiranog brojem horizontalnih krivina, mostova, podvoznjaka i nadvoznjaka, najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najmanjim brojem prepreka. **Duljina trase** u kilometrima posljednji je pokazatelj kriterija prostorno-urbanističkog utjecaja. Pri normalizaciji najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najmanjom vrijednošću tog pokazatelja.

Prometni i građevinsko-tehnički kriterij opisan je sljedećim pokazateljima. **Zakrivljenost trase** u postocima proračunana je kao težinski udio horizontalnih krivina određenog radijusa duž trasa. Pri normalizaciji najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najmanjom vrijednošću tog pokazatelja. **Brzina teretnog prijevoza**, koju omogućava svako rješenje, procijenjena je na temelju prosječnih projektiranih građevinskih brzina duž trasa. One su definirane kao težinski prosjek brzina koje dopuštaju polumjeri položenih horizontalnih krivina. Pri normalizaciji najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najvećom vrijednošću tog pokazatelja. **Sigurnost prometa** kvantificirana je planiranim brojem željezničko-cestovnih prijelaza, pri čemu najveći broj bodova ostvaruje rješenje s najmanjim brojem takvih kritičnih lokacija na trasi. **Propusna sposobnost** procijenjena je na temelju utvrđenog udjela duljine trase na kojemu je ostva-

ren mjerodavni uspon. Pri normalizaciji najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najmanjom vrijednošću tog pokazatelja.

Kriterij ekološke prihvatljivosti kvantificiran je sljedećim pokazateljima. **Utjecaj buke i vibracija** uslijed tijeka željezničkog prometa opisan je duljinom trase koja prolazi na udaljenosti kraćoj od stotinu metara od naseljenog područja, u kilometrima trase. Pri normalizaciji najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najmanjom vrijednošću tog pokazatelja. **Onečišćenje vode i tla** promatralo se kroz negativan utjecaj povećanja koncentracije onečišćujućih tvari koje se očekuje duž tras i na lokacijama portala tunela. Ono je kvantificirano duljinom pružne trase izvan tunela u kilometrima. Pri normalizaciji najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najmanjom vrijednošću tog pokazatelja. **Utjecaj na krajobraz** definiran je udjelom trase koja prolazi zaštićenim krajobrazom. Pri normalizaciji najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najmanjom vrijednošću tog pokazatelja.

Kriterij vremena putovanja opisan je pokazateljem **vremena putovanja teretnih vlakova** između krajnjih točaka trase. Ono je procijenjeno u minutama na temelju odnosa pokazatelja duljine trase i brzine željezničkoga teretnog prijevoza. Pri normalizaciji najveći je broj bodova dodijeljen rješenju s najmanjom vrijednošću tog pokazatelja.

Zbrajanjem normaliziranih bodova pokazatelja po pojedinome kriteriju (tablica 3.) utvrđene su prednosti i mane svakog rješenja.

Tablica 3. Rezultati višekriterijske analize rješenja

Kriterij	Ukupni bodovi po kriteriju			Težinski bodovi po kriteriju		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Troškovi investicija	138	137	125	20	20	18
Troškovi eksploatacije	134	134	132	19	19	19
Vrijeme izgradnje	92	68	40	12	9	5
Prostorno-urbanistički utjecaj	398	373	429	54	51	58
Prometni i građevinsko-tehnički kriterij	221	217	261	33	32	38
Ekološka prihvatljivost	202	156	242	31	24	37
Vrijeme putovanja	63	69	68	9	10	10
Ukupno bodova	1248	1154	1297	178	164	186

Izvor: 4

Tablica 4. Rezultati analize osjetljivosti

Kriterij	Težinski koeficijent	Matrica analize osjetljivosti kriterija/rješenja						
Troškovi investicija	0,14	0,250	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Troškovi eksploatacije	0,15	0,125	0,250	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Vrijeme izgradnje	0,13	0,125	0,125	0,250	0,125	0,125	0,125	0,125
Prostorno-urbanistički utjecaj	0,14	0,125	0,125	0,125	0,250	0,125	0,125	0,125
Prometni i građevinsko-tehnički kriterij	0,15	0,125	0,125	0,125	0,125	0,250	0,125	0,125
Ekološka prihvatljivost	0,15	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,250	0,125
Vrijeme putovanja	0,14	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,250
Rješenje	Ukupni težinski bodovi rješenja							
R1	178	173	173	167	206	184	181	164
R2	164	167	154	153	191	171	164	153
R3	186	178	179	167	216	195	192	171

Izvor: 4

Iz tablice 3. vidljivo je da je najveći ukupan broj bodova ostvarilo rješenje R3. Najmanji broj bodova ostvarilo je rješenje R2. Rješenje R1 najpovoljnije je prema kriterijima troškova i vremena izgradnje, dok je rješenje R3 najpovoljnije u odnosu na prostorno-urbanistički utjecaj, tehničke karakteristike i ekološku prihvatljivost.

Budući da je raspon ocjena važnosti koje su kriterijima dodijelili stručnjaci iz područja planiranja i projektiranja željezničke infrastrukture (7,156 – 8,356), a time i pondera kriterija (0,130 – 0,152) relativno uzak, provedena je analiza osjetljivosti rješenja na važnost pojedinoga kriterija. Proračun bodova u sklopu analize osjetljivosti proveden je u sedam

navrata, i to tako da je u svakome navedenom od kriterija dodijeljen ponder iznosa 0,25, dok je preostalim kriterijima dodijeljen ponder iznosa 0,125. Rezultati analize osjetljivosti, prikazani u tablici 4., pokazali su da je ukupna ocjena svakog rješenja najosjetljivija na odabranu važnost prostorno-urbanističkog utjecaja, a najmanje na važnost kriterija ekološke prihvatljivosti.

5. Zaključak

Višekriterijska analiza proširuje proces donošenja odluka izvan praktičnog dosega analize troškova i koristi te nadopunjuje monetarne, financijske i ekonomske kriterije širim rasponom čimbenika prosudbe (pravnim, ekološ-

kim, tehničkim i socijalnim). To je osobito važno u procjeni kapitalnih projekata željezničke infrastrukture financiranih iz nacionalnih i međunarodnih fondova, čiji ciljevi nadilaze profit. Višekriterijska analiza, u kojoj se primjenjuju različite tehnike prikupljanja i obrade podataka iz različitih disciplina, može se u ovome kontekstu smatrati primjenjivim alatom za multidisciplinarnu, sveobuhvatnu ocjenu vrijednosti planiranog rješenja željezničke infrastrukture. Zaključno, rezultati analize prikazane u ovome radu ističu važnost zajedničke procjene i prosudbe različitih dionika u uspostavljanju ciljeva i kriterija za ocjenjivanje projekta te definiranju i kategoriziranju pokazatelja i relativne važnosti kriterija.

LITERATURA

- [1] Renda, A.; Schrefler, L.; Luchetta, G.; Zavatta, R. Assessing the costs and benefits of regulation—Final Report. Study for the European Commission, Secretariat General, Brussels. 2013. dostupno online: <https://regulatoryreform.com/wp-content/uploads/2015/02/EU-Renda-et-al-ASSESSING-THE-COSTS-AND-BENEFITS-OF-REGULATION-Dec-2013.pdf> (pristupljeno 29. studenog 2023.)
- [2] Ambrasaitė, I.; Barfoda, M. B.; Salling, K. B. MCDA and Risk Analysis in Transport Infrastructure Appraisals: the Rail Baltica Case, *Procedia Social and Behavioral Sciences* 20 (2011), str. 944–953. doi: 10.1016/j.sbspro.2011.08.103
- [3] Sahely, H.R.; Kennedy, C.A.; Adams, B.J. Developing sustainability criteria for urban infrastructure systems. *Can. J. Civ. Eng.* 2005, 32, str. 72–85. doi: 10.1139/I04-072
- [4] Deluka-Tibljáš, A.; Karleuša, B.; Dragičević, N. Review of multicriteria-analysis methods application in decision making about transport infrastructure. *J. Croat. Assoc. Civ. Eng. Građevinar*, 2013, 65, str. 619–631. doi: 10.14256/JCE.850.2013
- [5] Boghani, H.; Ambur, R.; Blumenfeld Mendonca, M.; Saade, L.; Goodall, R.M.; Ward, C.; Plasek, O.; Goffton, N.; Morata, M.; Roberts, C.; et al. Sensitivity enriched multi-criterion decision making process for novel railway switches and crossings a case study. *Eur. Transp. Res. Rev.* 2021, 13, 6. doi: 10.1186/s12544-020-00467-x
- [6] Dean, M. A Practical Guide to Multi-Criteria Analysis. Technical Report, Bartlett School of Planning, University College London, 2022. doi: 10.13140/RG.2.2.15007.02722
- [7] Matić, G. Obilazna željeznička pruga grada Zagreba za teretni promet: dionica Horvati – Zaprešić, Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet; 2022.
- [8] Tomc, A. Varijantna rješenja dvokolosične željezničke pruge za teretni promet Horvati – Zaprešić, Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet; 2023.
- [9] Vilke, S.; Baričević, H.; Maglić, L. Kriteriji za vrednovanje kopnene prometne trase. *Suvremeni Promet: Časopis Za Pitanja Teor. I Prakse Prometa* 2013, 33, 422–427.
- [10] Prostorni plan Zagrebačke županije, 2020. izvadak grafičkog prikaza Korištenje i namjena prostora, dostupno na:

Pročišćeni Plan Zagrebačke županije nakon VII. Izmjena i dopuna (zpuzz.hr) (pristupljeno 03. svibnja 2022.)

- [11] Kreč S.; Božičević J.; Amanović S. Redefiniranje željezničkog čvora Zagreb: Božičević J. (ur.) Znanstveni skup Prometna problematika grada Zagreba, Zbornik, 12.-13. lipnja 2006. Zagreb, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 2006. str. 267-281.
- [12] Kučinić, Ž. Planiranje obilazne željezničke pruge grada Zagreba u prostornom planu Zagrebačke županije s obzirom na ekološku mrežu, 42. međunarodno savjetovanje "Planiranje i projektiranje" u zelenom poslovanju održivo i društveno odgovorno, 2021.
- [13] Bioportal, Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, dostupno na Bioportal (pristupljeno 21. lipnja 2023.)
- [14] Projektni zadatak za izradu studije razvoja željezničkog čvora Zagreb. HŽ Infrastruktura d.o.o., Sektor za razvoj, pripremu i provedbu investicija i EU fondova, 2022.
- [15] Smjernice za CBA za projekte prometnica i željeznica. Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, dostupno na: <https://promet-eufondovi.hr/wp-content/uploads/2021/04/Smjernice-za-CBA-za-projekte-prometnica-i-zeljeznica.pdf> (pristupljeno: 18. srpnja 2023.)

SAŽETAK

VREDNOVANJE RJEŠENJA PLANIRANIH ŽELJEZNIČKIH TRASA PRIMJENOM VIŠEKRITERIJSKE ANALIZE

U radu prikazan je proces provedbe višekriterijske analize primijenjene u vrednovanju razvojnih rješenja nove obilazne željezničke pruge grada Zagreba, tehnički razrađenih na idejnoj razini u diplomskim radovima studenata Građevinskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Pokazatelji, kriteriji i ponderi kriterija analize preuzeti su iz rezultata prethodnih istraživanja i prilagođeni specifičnostima promatrane dionice. Detaljno je opisan postupak kvantifikacije i normalizacije pokazatelja te provedbe analize osjetljivosti kriterija. Dobiveni rezultati ističu važnost zajedničke procjene i prosudbe dionika u uspostavljanju ciljeva i kriterija za ocjenjivanje projekta te definiranju i kategoriziranju pokazatelja i relativne važnosti kriterija.

Ključne riječi: obilazna pruga, Zagreb, višekriterijska analiza, vrednovanje rješenja

Kategorizacija: stručni rad

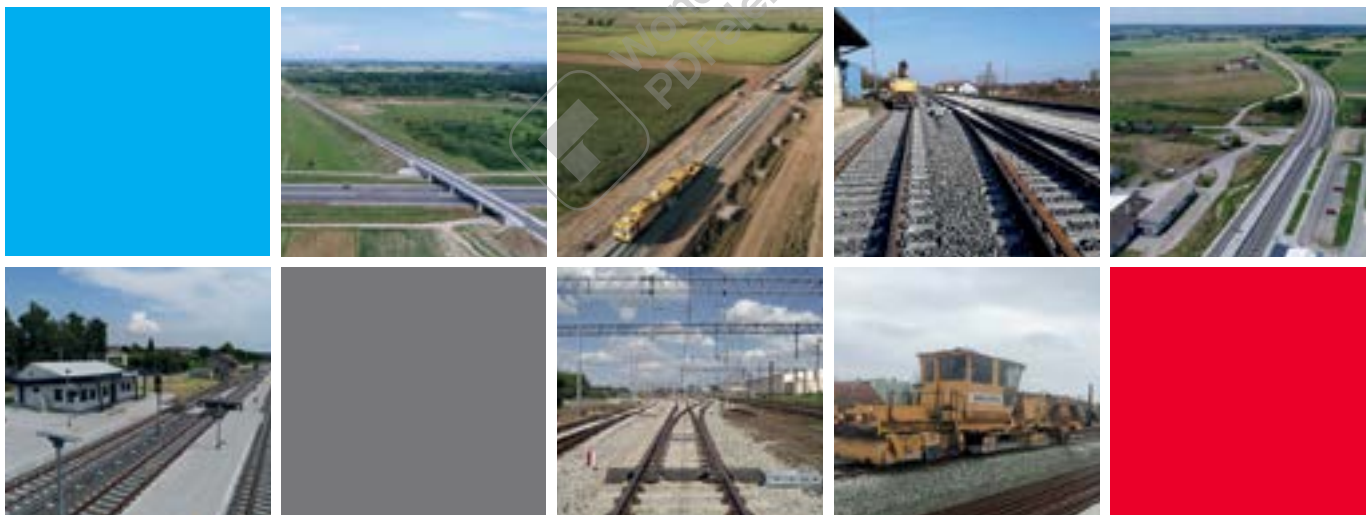
SUMMARY

EVALUATING PLANNED RAILWAY ROUTES VARIANTS BY MULTI-CRITERIA ANALYSIS

The paper presents the process of implementing a multi-criteria analysis applied in the evaluation of the development variants of the new Zagreb bypass railway, which were technically elaborated at the conceptual level in the master theses of the students of the Faculty of Civil Engineering at the University of Zagreb. The indicators, criteria and ponderers of the analysis criteria were taken from the results of previous studies and adapted to the specifics of the observed section. The procedure for quantifying and normalising the indicators and carrying out the sensitivity analysis of the criteria is described in detail. The results obtained underline the importance of a joint evaluation and assessment by the stakeholders when setting objectives and criteria for the project evaluation and when defining and categorising indicators and the relative importance of criteria.

Key words: bypass railway, Zagreb, multi-criteria analysis, variant evaluation

Categorization: professional paper



U službi najboljih infrastruktura u Hrvatskoj

COMSA
CORPORACIÓN

Gradimo održivu
budućnost

Brazil | Danska | Hrvatska | Kolumbija | Letonija | Litva | Meksiko
Peru | Portugal | Španjolska | Švedska | Urugvaj

www.comsa.com