

STRUČNI RAD

JASMINA STANIŠIĆ*, NIKOLA RISTIĆ, DRAGAN ĐORĐEVIĆ

PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE ZA PREMEŠTANJE TRASE ŽELEZNIČKE PRUGE: STUDIJA SLUČAJA JAGODINE

APPLICATION OF MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR RAIL ALIGNMENT RELOCATION: A CASE STUDY OF JAGODINA

UDK: 625.1/.5 + 519.8 + 656.2

REZIME:

Proces planiranja i projektovanja trase železnice u infrastrukturnim projektima često je složen i pod uticajem brojnih, ponekad suprotstavljenih, faktora. Kao deo idejnog projekta (IDP) modernizacije pruge Beograd–Niš, predviđene za brzine do 200 km/h, početna trasa je projektovana da ostane unutar postojećeg koridora, a stanice zadržavaju svoju postojeću lokaciju. Međutim, nakon zabrinutosti koju je izrazila grupa lokalnih građana u vezi sa trasom koja prolazi kroz grad, dodatno je analizirana mogućnost premeštanja železničke trase i stanice na području Jagodine. Da bi se osigurao uravnotežen i metodološki utemeljen proces donošenja odluka, u definisanje i ponderisanje kriterijuma za ocenu razmatranih opcija uključeni su i stavovi relevantnih zainteresovanih strana. Glavni cilj bio je da se identifikuje optimalna trasa i lokacija stanice koja integriše tehničku i tehnološku izvodljivost, ekonomsku isplativost, kao i ekološke i društvene aspekte. Tri alternativne varijante, zajedno sa rešenjem iz Idejnog projekta (IDP varijanta), ocenjene su korišćenjem metoda višekriterijumske analize (VKA), PROMETHEE i TOPSIS, uz sprovođenje prateće analize osetljivosti radi testiranja stabilnosti dobijenih rezultata. Ovaj pristup pokazuje praktičnu vrednost alata VKA u donošenju složenih planskih odluka i ističe važnost ranog angažovanja zainteresovanih strana.

Ključne reči: višekriterijumska analiza, trasa železničke pruge, idejni projekat

SUMMARY:

The process of rail alignment planning and design in infrastructure projects is often complex and influenced by numerous, sometimes conflicting, factors. As part of the preliminary design (PD) for the Belgrade–Niš railway modernization project, intended for speeds up to 200 km/h, the initial alignment was designed to remain within the existing corridor, with the station retaining its current location. However, following concerns raised by a group of local citizens regarding the alignment passing through the city, the possibility of relocating the railway alignment and station in the Jagodina area was additionally analysed. To ensure a balanced and informed decision-making process, stakeholder input was included in the definition and weighting of criteria used to evaluate the options. The main objective was to identify the optimal alignment and station location that integrates technical and technological feasibility, economic viability, and environmental and social considerations. Three alternative variants, along with the PD solution, were assessed using Multi-Criteria Analysis (MCA) methods, PROMETHEE and TOPSIS, with accompanying sensitivity analysis to test the robustness of outcomes. This case demonstrates the practical value of MCA tools in navigating complex planning decisions and highlights the importance of early engagement with affected communities.

Keywords: Multi-Criteria Analysis, Rail alignment, Preliminary design.

*Jasmina Stanišić, Egis d.o.o. Beograd, Resavska 31, 11000 Beograd, Srbija, jasmina.stanisis@egis-group.com

1. UVOD

Modernizacija železničke pruge Beograd–Niš predstavlja jedan od najznačajnijih infrastrukturnih projekata u Srbiji, usmeren na omogućavanje saobraćaja vozova velikih brzina do 200 km/h. Iako je Prostorni plan iz 2020. godine prvobitno predvideo unapređenje za brzine do 160 km/h na deonici Velika Plana–Niš [1], strateška odluka o unapređenju celog koridora za brzine do 200 km/h zahtevala je izmene prostornog plana i obimniju rekonstrukciju, uključujući izgradnju drugog koloseka, korekcije trasiranja krivina i preprojektovanje objekata[2].

Centralna tačka pažnje bio je grad Jagodina, određen kao jedina međustanica između Beograda i Niša za zaustavljanje brzih vozova. Planirano je da stanica ostane na svojoj sadašnjoj lokaciji, u skladu sa nacionalnim planskim dokumentima što je i potvrđeno kroz Prethodnu studiju opravdanosti iz 2022. godine [3]. Međutim, javne konsultacije su otkrile veliku zabrinutost grupe građana iz Jagodine, posebno u vezi sa razdvajanjem urbanog tkiva zajednice, bezbednosnim rizicima, bukom i zatvaranjem pružnog prelaza koji povezuje gradsko područje južno od pruge sa industrijskom zonom i severnim naseljima [4]. Ova pitanja su pokrenula debatu o promenama trase i alternativnim saobraćajnim rešenjima.

Da bi se rešili ovi problemi, analizirani su alternativne trase kroz Jagodinu i opcije u vezi sa zatvorenim putnim prelazom. Pripremljen je detaljan izveštaj, u kojem se analiziraju različita projektna rešenja, a ključni nalazi su sumirani u sledećem odeljku.

2. ANALIZA TRASE IDEJNOG PROJEKTA U POREĐENJU SA ALTERNATIVAMA

Nakon zabrinutosti koju su izrazili građani Jagodine, analiza je uporedila varijantu trase prema Idejnom projektu (IDP) sa alternativnim varijantama izmeštanja železničke pruge i stanice. IDP zadržava postojeći koridor kroz grad i stanicu na njenoj trenutnoj centralnoj lokaciji pored autobuske stanice, što obezbeđuje dobru pristupačnost za putnike i funkcionalnu integraciju sa stambenim područjem i industrijskom zonom. Nasuprot tome, alternativna trasa zaobilazi

gradsko jezgro sa severne strane, idući paralelno sa autoputem unutar uskog koridora koji je već delimično razvijen kao industrijska zona. Ova ruta izbegava direktne uticaje na gusto naseljene stambene zone, ali postavlja železnicu i stanicu na urbanu periferiju, smanjujući pogodnost za svakodnevne korisnike i zahtevajući dodatne veze sa mrežama javnog i drumskog saobraćaja. Poređenje dodatno ističe praktične i strateške kompromise. Iako bi alternativna trasa smanjila razdvajanje urbanog prostora i omogućila snažnije povezivanje sa regionalnom putnom infrastrukturom, ona takođe uvodi značajne izazove, uključujući otkup zemljišta, sukobe sa planiranim razvojem terminala u Jagodini i CT Parka, kao i potrebu za premeštanjem delova infrastrukture autoputa. Štaviše, premeštanje stanice povećalo bi vreme putovanja za putnike i oslabilo integraciju sa gradskim uslugama. IDP, stoga, nudi snažniju povezanost putnika i manje planske konflikte, dok alternative pružaju prednosti kao što su smanjena izloženost buci, manji bezbednosni rizici u naseljenim područjima i potencijal za oslobađanje centralnog gradskog prostora za budući razvoj.

3. VIŠEKITERIJUMSKA ANALIZA

Strateška orijentacija Infrastrukture železnica Srbije (IŽS) čvrsto je usmerena ka optimizaciji i modernizaciji postojećeg železničkog koridora Beograd–Niš. Ovaj pristup teži da održi dvostruku funkciju pruge, kako za putnički tako i za teretni prevoz, uz omogućavanje brzih putničkih vozova za brzine do 200 km/h.

Opšti cilj je postizanje vremena putovanja od približno 90 minuta između dva grada, što je usko usklađeno sa nacionalnom politikom razvoja transporta Srbije i posvećenošću zemlje jačanju Koridora 10 kao dela šire transevropske transportne mreže.

Da bi se testirala kompatibilnost IDP-a sa ovim strateškim ciljevima, sprovedena je višekriterijumska analiza (VKA). VKA je služila kao strukturirani alat za evaluaciju, kroz poređenje trase IDP-a prema sa tri alternativne opcije (varijante A, B i C) i procenjujući svaku u odnosu na širok spektar tehničkih, društvenih, ekoloških i operativnih faktora [5]. Poseban naglasak je stavljen na minimiziranje otkupa zemljišta, izbegavanje nepotrebnog raseljavanja i

preseljenja i smanjenje konflikata sa postojećom urbanom i industrijskom infrastrukturom.

3.1. Definicija početnih kriterijuma i podkriterijuma

Za poređenje varijanti, prvobitno je definisano osam glavnih kriterijuma i trideset osam podkriterijuma, koji obuhvataju tehničke, ekonomske, društvene, ekološke i institucionalne aspekte. Primenjen je proces selekcije kako bi se eliminisali suvišni elementi, preklasifikovala preklapanja i zadržali samo oni podkriterijumi koji omogućavaju smisleno razlikovanje između varijanti..

Na osnovu ovog unapređenja, uspostavljen je revidirani okvir sa sedam glavnih kriterijuma i osam podkriterijuma. Faktori težine dodeljeni su i glavnim kriterijumima i podkriterijumima, a relativne težine su izračunate kako bi se odrazio njihov kombinovani značaj. Konačan skup kriterijuma i podkriterijuma, sa odgovarajućim relativnim težinama, prikazan je u Tabeli 1 u nastavku.

Tabela 1. Konačna lista odabranih podkriterijuma

Glavni kriterijumi	Oznaka	Podkriterijumi	Relativni težinski faktor podkriterijuma
Pristupačnost	K1	Pristupačnost i integracija stanice (pristup železničkoj stanici, pristup javnim sadržajima, atraktivnost lokacije stanice, alternativni pristupni pravci stanici)	10%
Tehnologija	K2	Uticaj drumskog saobraćaja tokom izgradnje	10%
Finansije	K3	Ukupni troškovi projekta (troškovi izgradnje i rekonstrukcije, troškovi otkupa zemljišta i raseljavanja domaćinstava, troškovi preseljenja preduzeća, troškovi održavanja)	20%
Uticaj na životnu sredinu	K4	Buka i vibracije	15%
Društveni uticaj	K5	Uticaji raseljavanja i preseljenja (fizičko raseljavanje domaćinstava, ekonomsko raseljavanje)	10%
	K6	Razdvajanje zajednice	10%
Bezbednost	K7	Potencijalne nezgode i incidenti	20%
Rizici	K8	Kašnjenje (nedostatak planske i projektne dokumentacije, vreme izgradnje, ukupni uticaj na Deonicu 3 i koridor)	5%

osnovu vremena putovanja, čime je obezbeđena uporedivost između putničke i teretne perspektive.

K2 – Uticaj na drumski saobraćaj tokom izgradnje
Ovaj kriterijum je procenio potencijalne poremećaje drumskog saobraćaja tokom izgradnje pruge. Za projektovanu varijantu, uticaji su ocenjivani ko-

3.2. Kvantifikacija predloženih kriterijuma

Određivanje numeričkih vrednosti za svaki izabrani podkriterijum zasniva se na njegovoj specifičnoj prirodi i osnovnim principima definisanim u narednom tekstu. Ovi principi uključuju primenu odgovarajućih metoda ponderisanja, normalizacije i evaluacije, pri čemu je svaka od njih prilagođena karakteristikama odgovarajućeg podkriterijuma [6].

K1 – Pristupačnost i integracija stanica

Kriterijum je procenjivao pristupačnost predloženih lokacija železničkih stanica za putnički i teretni saobraćaj. Za putnički saobraćaj, pristupačnost je procenjena kroz vreme putovanja i udaljenost unutar pet gradskih zona, blizinu javnih, komercijalnih i rekreativnih sadržaja (u radijusu od 1.500 m) i integraciju sa autobuskom stanicom i lokalnim linijama javnog prevoza. Za teretni saobraćaj, analiza je fokusirana na drumske veze, pristupne tačke i vreme putovanja duž primarnih i alternativnih ruta. Numeričke vrednosti su izvedene prvenstveno na

rišćenjem preliminarne planova upravljanja saobraćajem i pretpostavki o tehnologiji izgradnje. Za alternative, fokus je bio na efektima na autoput Beograd–Niš, posebno u zoni petlje Jagodina, uključujući mogućnost stvaranja zastoja i preusmeravanja saobraćaja između petlje Batočina i Čuprija. Analiza je zasnovana na javno dostupnim podacima o bro-

janju saobraćaja iz baze „Puteva Srbije“, pri čemu su korišćene matrice saobraćajne potražnje iz perioda 2017–2019. godine, zbog ograničene dostupnosti novijih podataka [7].

K3 – Ukupni troškovi projekta

Finansijska procena zasnovana je na detaljnim procenama troškova za trasu predviđenu IDP-om i indikativnim pretpostavkama za alternative, uz oslanjanje na informacije od zainteresovanih strana i najbolje prakse EU. Razmatrani troškovi obuhvatali su železničku infrastrukturu, stanice, petlju Jagodina, glavne objekte (podvožnjake, nadvožnjake, vijadukte), pristupne saobraćajnice, industrijske koloseke, premeštanje industrijskih objekata, otkup zemljišta i raseljavanje domaćinstava.

K4 – Buka i vibracije

Pošto je učestalost saobraćanja vozova identična u svim varijantama, procena se fokusirala isključivo na uticaj buke. Efekti vibracija su isključeni kao zanemarljivi, uz predviđene mere ublažavanja kroz postavljanje antivibracionih podloga u zonama stanica. Uticaji buke procenjeni su brojanjem stambenih i industrijskih zgrada koje se nalaze u krugu od 200 metara od predložene trase.

K5 – Fizičko i ekonomsko raseljavanje

Ovaj kriterijum je analizirao obim preseljenja stanovništva i premeštanja industrijskih objekata i za trasu IDP-a i za alternative. Podaci za IDP prikupljeni su putem terenskih obilazaka, dok su alternative procenjene na osnovu projektnih koncepata. Analiza je napravila razliku između stambenog i industrijskog raseljavanja, kao i između malih i velikih industrijskih objekata, kako bi se obuhvatili socio-ekonomski uticaji i složenost procesa preseljenja.

K6 – Razdvajanje zajednice

Ovaj kriterijum je procenio potencijalnu fragmentaciju zajednica i uticaje na mobilnost, pristup i društvenu koheziju [8]. Razmatrana su dva ključna elementa:

- Premeštanje železnice van centralne zone Jagodine: Iako ne postoje formalni planski dokumenti za ovu opciju, ona je uključena kako bi se uvažila zabrinutost građana. Trasa definisana IDP-om nosi relativno veći rizik od prekida povezanosti zajednice, iako su uticaji delimično ublaženi planiranim podvožnjacima i nadvožnjacima.

Širi prostorni kontekst pokazuje ograničen potencijal za urbano širenje severno od postojeće pruge zbog industrijske zone i autoputa.

- Zatvaranje putno-pružnog prelaza u ulici Kapetana Koče: Potencijalni uticaji na povezanost procenjeni su kroz analizu nivoa usluge i brojanje saobraćaja, pri čemu su kašnjenja usled preusmeravanja izražena u vozilo-minutima.

K7 – Bezbednost

Bezbednosni rizici su procenjeni u smislu potencijalne štete u slučaju nezgoda ili incidenata. Iako je verovatnoća nastanka nesreće jednaka u svim varijantama zbog primene savremenih bezbednosnih standarda, razlike u korišćenju okolnog zemljišta i gustini naseljenosti utiču na težinu mogućih posledica. Primenjen je odnos 60:40 da bi se razlikovali stambeni i ekonomski objekti, pružajući jasniju sliku o nivou izloženosti riziku i potrebi za planiranjem vanrednih intervencija.

K8 – Rizici

Ovaj kriterijum fokusirao se na rizike vezane za rokove realizacije projekta, mereno kao dodatno vreme potrebno za završetak planske, tehničke i tenderske dokumentacije, kao i za sprovođenje pripremih i administrativnih procedura pre potpisivanja ugovora.

3.3. Rezultati višekriterijumske analize (VKA)

Na osnovu gore definisanih principa, numerička vrednost dodeljena je svakom usvojenom kriterijumu za svaku analiziranu varijantu. Nakon usklađivanja kriterijuma korišćenjem metode linearne normalizacije, dobijene su vrednosti za sve kriterijume, koje su zatim korišćene u modelu. Poređenje svih predloženih varijanti, na osnovu definisanih konačnih kriterijuma, sprovedeno je korišćenjem metode VKA. TOPSIS metoda je izabrana kao najprikkladniji pristup. Ova metoda omogućava da varijanta koja nema najviši rezultat ni u jednom kriterijumu i dalje bude rangirana kao najpovoljnija u ukupnom zbiru [9]. Za implementaciju metode korišćen je programski jezik Python zajedno sa njegovim modulom za višekriterijumsko odlučivanje „pymcdm“. Rezultati primenjene metode VKA prikazani su u Tabeli 2.

Tabela 2. Rezultat VKA korišćenjem TOPSIS metode u osnovnom scenariju

	Varijanta IDP	Alternativa Varijanta A	Alternativa Varijanta B	Alternativa Varijanta C
Rezultat	0.65112	0.26431	0.43489	0.45116
Rang	1	4	3	2

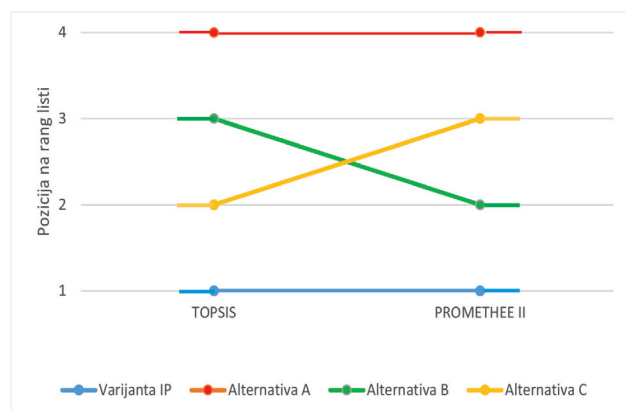
Da bi se verifikovali dobijeni rezultati, sprovedena je dodatna VKA koristeći iste definisane kriterijume i njihove numeričke vrednosti, ali ovog puta primenom PROMETHEE II metode, metode za rangiranje

i izbor među konačnim skupom alternativnih opcija prema kriterijumima koji su često međusobno suprotstavljeni. Rezultati ove analize prikazani su u Tabeli 3.

Tabela 3. Rezultat VKA korišćenjem PROMETHEE II metode u osnovnom scenariju

	Varijanta IDP	Alternativa Varijanta A	Alternativa Varijanta B	Alternativa Varijanta C
Rezultat	0.53333	-0.38333	-0.06667	-0.08333
Rang	1	4	2	3

Grafički prikaz rangiranja svih varijanti prema obe metode dat je na slici 1.



Slika 1 Rangiranje varijantnih rešenja

Nakon dobijanja rezultata na osnovu početno definisanih faktora težine, razvijeno je šest dodatnih scenarija za testiranje robusnosti VKA i njene osetljivosti na promene parametara. Ovi scenariji izmenili su relativnu težinu kriterijuma, pri čemu su povećanja kompenzovana proporcionalnim smanjenjima kod drugih kako bi se sačuvala ukupna vrednost pondera od 100%. Ove izmene su naglasile kriterijume koji se smatraju posebno važnim za građane Jagodine, kako bi se procenilo kako bi njihov veći uticaj mogao uticati na ishod rangiranja.

Rezultati analize, potkrepljeni metodama TOPSIS i PROMETHEE II i validirani testiranjem osetljivosti, potvrđuju robusnost rezultata. IDP varijanta dosledno se rangira kao najpovoljnija opcija, pri čemu je samo marginalno osporena pod ekstremnim ponderisanjem kriterijuma društvenog uticaja u jednom scenariju osetljivosti. Generalno, rezultati se smatraju pouzdanim.

4. ZAKLJUČAK I PREPORUKE VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE

Na osnovu VKA, koja je ispitala širok spektar tehničkih, finansijskih, ekoloških, društvenih i aspekata vezanih za rizik, IDP varijanta je identifikovana kao preferirana opcija za definisanje železničkog koridora i lokacije stanice u Jagodini. Rezultati su konzistentni u različitim metodološkim pristupima (TOPSIS i PROMETHEE II) i ostaju stabilni kroz više scenarija osetljivosti, čime se dodatno potvrđuje pouzdanost procene.

U celini, nalazi VKA potkrepljuju izbor trase i lokacije stanice u Jagodini, istovremeno naglašavajući širu ulogu projekta u unapređenju regionalne mobilnosti, povezanosti i društveno-ekonomskog razvoja u okviru modernizacije Koridora 10.

Iako nije namenjena da služi kao jedina osnova za donošenje odluka, VKA pruža ključni alat za podršku i argumentaciju procesa evaluacije. Ona osigurava da je izabrana opcija usklađena sa ciljevima strateškog planiranja i doprinosi dugoročnoj funkcionalnosti, integraciji i koherentnosti železničke mreže.

LITERATURA

- [1] Regulation on the establishment of the Spatial Plan for the Area of Special Purpose of the Infrastructure Corridor of the Belgrade–Niš Railway Line (“Official Gazette of the Republic of Serbia”, No. 117/2020).
- [2] Regulation on the establishment of the Spatial Plan for the Area of Special Purpose of the Infrastructure Corridor of the Belgrade–Niš Railway Line, (“Official Gazette of the Republic of Serbia”, No. 91/2024).
- [3] Preliminary Feasibility Study, PPF9: Reconstruction and modernization of the railway line Belgrade – Niš, Final Report, (2022).
- [4] Report on the conducted public inspection of the draft amendments and supplements to the spatial plan for the area of special purpose of the infrastructure corridor of the Belgrade–Niš railway line, Agency for Spatial Planning and Urbanism of the Republic of Serbia (2024).
- [5] Macharis, C., & Bernardini, A., Reviewing the use of Multi-Criteria Decision Analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transport Policy*, Volume 37, 177–186, (2015).
- [6] Broniewicz, E., & Ogrodnik, K., Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, 102351, (2020).
- [7] <https://www.putevi-srbije.rs/index.php/brojanje-saobrahaja>
- [8] P. R. Anciaes, Measuring community severance for transport policy and project appraisal, *Urban Transport XIX*, 559-569, (2013).
- [9] Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J., A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051–13069, (2012).
- [10] Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J., PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200, 198–215, (2010).

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

656.2(497.11)

ŽELEZNICE : naučno-stručni časopis Železnica Srbije
/ glavni urednik Slavko Vesković ; odgovorni urednik
Danko Trninić. - god. 5, br. 7 (1949) - god. 61, br. 5/6
(maj/jun 2005) ; god. 62, br. 1 (2017) - . - Beograd :
Društvo diplomiranih inženjera železničkog saobraćaja Srbije
(DIŽS), 1949-2005; 2017 - (Beograd : Instant system). - 29 cm

Polugodišnje. - Je nastavak: Саобраћај (Београд. 1945) = ISSN 2560-3566.
- Drugo izdanje na drugom medijumu : Železnice (Online) = ISSN 2956-140X
ISSN 0350-5138 = Железнице
COBISS.SR-ID 959492