

doc. dr. sc. Dragana Macura, dipl. ing. prom.
 doc. dr. sc. Milica Šelmić, dipl. ing. prom. prof.
 dr. sc. Nebojša Bojović, dipl. ing. prom.

MODEL ZA RANGIRANJE ŽELJEZNIČKIH INFRASTRUKTURNIH PROJEKATA

1. Uvod

Modeli za selekciju i rangiranje prometnih projekata vrlo su složeni jer pored velikog broja važnih ekonomskih i tehnoloških kriterija postoje i interesne skupine, ali i brojni vanjski čimbenici.

Željeznički infrastrukturni projekti vrlo su važni za ekonomski i socijalni razvoj zemlje. Može se reći da su posebno važni za jačanje konkurentnosti željezničkog sustava na prometnom tržištu. U tom smislu interesne su skupine brojne, heterogene i s različitim ciljevima, a najčešće se razmatraju Vlada, željeznička poduzeća, željeznički operatori, korisnici usluga itd.

Vanjske je čimbenike također poželjno uzeti u razmatranje, ali je taj proces vrlo složen. Potrebno je izdvojiti skupinu relevantnih vanjskih čimbenika, a potom definirati intenzitet i smjer njihova djelovanja. U nekim primjerima možemo razmatrati i vjerojatnost njihove pojave, intenzitet utjecaja i sl.

U evaluaciji prometnih projekata postoji mnogo korektivnih čimbenika koji su sve češće u vezi s okruženjem i promjenama na tržištu. U cilju održiva razvoja menadžeri prijevoznih tvrtki trebali bi redovito pratiti promjene u zahtjevima aktualnih i potencijalnih korisnika, kao i tehnološke inovacije i trend konkurentnih tvrtki. Prometna udruženja trebaju pratiti te promjene te moraju biti fleksibilna u uvođenju promjena. Zbog toga je u radu istaknuta važnost vanjskih čimbenika za rangiranje alternative, odnosno važnost utjecaja relevantnih vanjskih projekata. Relevantni vanjski projekti mogu biti međunarodni ili nacionalni, infrastrukturni, ekološki ili socijalni i dr. Relevantni vanjski projekti zapravo su vanjski čimbenici koji imaju određeni utjecaj na problem koji se razmatra. Važno je istaknuti da su to projekti koji se ne rangiraju, ali utječu na rangiranje alternativa u modelu. Vanjski projekti mogu biti u pripremnoj ili završnoj fazi, zbog čega je jako zanimljivo razviti dinamički model kao što je to prikazano u [Macura i Šelmić, 2015]. Dakle, vanjski projekti imaju različit stupanj važnosti odnosno intenzitet utjecaja na

alternative modela. Također, njihov utjecaj može imati različit smjer – pozitivan ili negativan, odnosno ponekad provedbom određenoga vanjskog projekta podupire-mo jednu alternativu više nego što bismo to činili bez provedbe toga vanjskog projekta. Na primjer, izgradnja autobusnog stajališta na lokaciji A postaje prioritet u odnosu na lokaciju B i C ako se u neposrednoj blizini lokacije A izgradi trgovački centar (izgradnja trgovačkog centra relevantan je vanjski projekt u ovom primjeru). U slučaju da se trgovački centar ne izgradi, lokacija A gubi svoju poziciju na popisu prioriteta. Ovo je dobar primjer kada možemo uzeti u razmatranje i vjerojatnost provedbe definiranoga relevantnog vanjskog projekta. Dakle, i to može biti promjenljivo u modelu.

U ovom radu razmatrani su projekti rekonstrukcije i obnove X. željezničkog koridora, kao i projekti izgradnje drugog kolosijeka na jednokolosječnim prugama.

Autori ovog rada predlažu primjenu analitičkoga mrežnog procesa (*Analytic Network Process – ANP*) kao višekriterijskog pristupa koji je pogodan za mrežne strukture modela. ANP jest pristup koji je našao široku primjenu u rješavanju problema čiju strukturu čine elementi koji su u jednosmjernim i/ili dvosmjernim korelacijama. Predstavljeni model ima četiri skupine: alternative, kriterije, interesne skupine i relevantne vanjske projekte.

Rad je organiziran na sljedeći način. Nakon uvoda dan je kraći pregled relevantne literature. U trećem poglavlju prikazani su razvijeni model, elementi modela kao i konačni rezultati primjene ANP pristupa. Posljednje poglavlje posvećeno je zaključnim razmatranjima i budućim smjerovima istraživanja.

2. Kratki pregled relevantne literature

Postoje različiti pristupi i metode za ocjenjivanje prometnih projekata kao što su analiza troška i koristi (*Cost Benefit Analysis – CBA*) [Berechman i Paaswell, 2010; Wee, 2007], višeatributna teorija korisnosti (*Multi Attribute Utility Theory*) [Tsamboulas, 2007], ciljno programiranje (*Goal Programming*) [Ahern i Anandarajah, 2007], analitički hijerarhijski proces (*Analytic Hierarchy Process*) [Tudela et al., 2006; Caliskan, 2006; Gercek et al., 2004; Yedla i Shrestha, 2003; Ferrari, 2003; Lee, 1998] i analitički mrežni proces (*Analytic Network Process*) [Macura et al., 2011; Chang et al., 2009; Longo et al., 2009; Wey i Wu, 2007; Shang et al., 2005; Piantanakulchai, 2005; Cheng i Li, 2005].

Analiza troška i koristi tradicionalna je metoda za ocjenjivanje projekata. U prometnom sektoru ta poznata metoda često je primjenjivana u praksi i u znanosti. Prema istraživanju (<http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/hd1final.pdf>), u željezničkom prometnom sektoru CBA

je primijenjen u 60 posto slučajeva, višekriterijski pristup (*Multi-criteria Approach* – MCA) u 14 posto slučajeva, a u ostalih 26 posto slučajeva primijenjene su druge metode. U cestovnom prometu CBA je primijenjen u 54 posto slučajeva, a MCA u 20 posto slučajeva. U vodnom prometu također prednjači CBA sa 32 posto, dok je MCA primijenjen u šest posto slučajeva.

Znanstvenici i menadžeri smatraju da je CBA pogodan za selekciju projekata, u cilju bolje preraspodjele raspoloživih financija. Međutim, posljednjih desetljeća priznati znanstvenici i stručnjaci ističu neophodnost primjene višekriterijskih pristupa za odgovarajuću evaluaciju prijevoznih projekata. Glavni su razlozi karakteristike prometnih projekata, i to utjecaj interesnih skupina, neizvjesnost, utjecaj mnogobrojnih vanjskih čimbenika itd.

Različiti višekriterijski pristupi primjenjuju se za evaluaciju željezničkih prometnih projekata [Macura i Šelmić, 2015; Montesinos-Valera et al., 2011; Macura et al., 2011; Longo et al., 2009; Mateus et al., 2008; Tsamboulas, 2007; Wee, 2007; Gercek et al., 2004]. Ovisno o strukturi modela i odnosu elemenata razmatranog sustava određuje se pristup pogodan za evaluaciju projekata. U našem radu predložena je primjena analitičkoga mrežnog procesa kao pristupa analizi mrežnih struktura sustava, odnosno kada u modelu postoji međuovisnost elemenata.

3. Model za rangiranje prometnih projekata

Model prikazan u ovom radu sadrži izvjesne modifikacije u odnosu na [Macura et al., 2011]. Zapravo, modifikacija se odnosi na proširenje modela uvođenjem dviju novih skupina, i to interesne skupine i relevantnih vanjskih projekata. Razmatrana je mreža X. željezničkog koridora kroz Republiku Srbiju.

Autori predlažu primjenu ANP pristupa kao suvremenoga višekriterijskog pristupa [Saaty, 1996]. ANP je posebno pogodan za modele koji imaju mrežnu strukturu, odnosno kada relevantne elemente sustava možemo grupirati u skupine (tzv. klastere). Dakle, mrežu čine skupine, a njih čine elementi. Svi oni mogu biti u korelaciji, uz utjecaje različitih intenziteta i smjerova. Prednosti ANP pristupa jesu usporedba elemenata po parovima, primjena metode jediničnog vektora za provjeru postojanosti mišljenja stručnjaka, postojanje komercijalnog softvera za razvoj modela, mogućnost analize povratnih veza među elementima sustava i dr. Neki autori ističu i nedostatke tog pristupa kao što su složenost definiranja svih relacija u modelu, previše detaljna Satijeva skala itd.

3.1. Osnove ANP pristupa

Nakon što se definiraju problem, relevantni elementi i njihovi odnosi, oblikuju se matrice usporedbe elemenata sustava po parovima. Stručnjak popunjava matrice usporedbe elemenata tako što definira ulogu jednog elementa u odnosu na drugi. Prednosti se ocjenjuju primjenom osnovne Satijeve skale ocjenama od 1 do 9 (tablica 1).

Tablica 1: Satijeva skala

Važnost	Definicija
1	Iste važnosti
3	Slaba dominantnost
5	Jaka dominantnost
7	Vrlo jaka dominantnost
9	Apsolutna dominantnost
2,4,6,8	Međuvrijednost

Sljedeći je korak provjera postojanosti mišljenja stručnjaka pri definiranju važnosti i međusobnog utjecaja elemenata sustava. To je posebno važna prednost ANP pristupa. Izračunavanjem koeficijenta postojanosti, kao što sam naziv kaže, moguće je provjeriti postojanost mišljenja stručnjaka koji je popunjavao matrice usporedbe elemenata sustava. Dakle, ako nismo zadovoljni stupnjem postojanosti, od stručnjaka možemo tražiti da ponovo definira određene relacije elemenata.

Za proračun konačnog ranga alternativa preporučuje se primjena softvera *SuperDecisions* (www.superdecisions.com).

3.2. Elementi modela za rangiranje prometnih projekata

Struktura razvijenog modela predstavljena je na slici 1. Model ima četiri skupine: alternative, kriterije, relevantne vanjske projekte i interesne skupine. Relevantni vanjski projekti koji imaju određeni utjecaj na razmatrane prometne projekte jesu most Vidin-Kalafat, tunel Marmaray, revitalizacija željezničkog IV. koridora i privatizacija luke Bar. Interesne skupine razmatrane u ovom modelu jesu vlada, upravitelj infrastrukture, operatori i korisnici prijevoznih usluga.

U ovom su modelu razmatrani vanjski projekti:

- X – most Vidin-Kalafat – provedbom tog projekta opseg prijevoza robe i putnika je smanjen, a kvaliteta prijevozne usluge na IV. koridoru vidljivo je povećana. Taj projekt završen je u lipnju 2013. godine.
- Y – rehabilitacija IV. koridora – tim projektom IV. koridor postaje jači konkurent X. koridoru. Ako

bismo željeli zadržati opseg prijevoza na X. kori-doru, trebalo bismo povećati kvalitetu prijevoznih usluga. Planiran završetak projekta Y je 2020. godina.

- Z – privatizacija luke Bar – provedbom tog projek-ta očekuje se povećanje opsega teretnog prijevo-za iz Crne Gore kroz Srbiju prema Mađarskoj. Taj projekt trebao bi biti završen u sljedećih nekoliko godina.

Svi razmatrani projekti, alternative u modelu (tablica 2), dio su Strategije razvoja za željeznički, drumski, vod-ni, vazdušni i intermodalni transport Republike Srbije od 2008. do 2015. godine (www.mi.gov.rs).

Tablica 2: Alternative

Razmatrane dionice X. koridora	
A ₁	Šid – Stara Pazova
A ₂	Subotica – Stara Pazova
A ₃	Resnik – Mladenovac – Velika Plana
A ₄	Velika Plana – Stalać
A ₅	Stalać – Đunis
A ₆	Đunis – Trupale (Niš)
A ₇	Niš – Preševo
A ₈	Niš – Dimitrovgrad

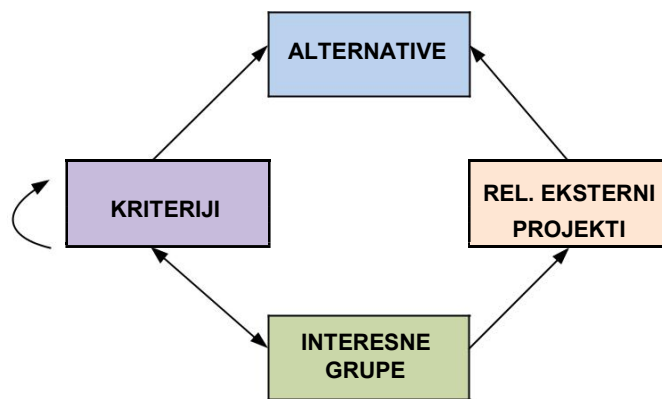
Definirano je sedam relevantnih kriterija (tablica 3). Prvih pet kriterija iz tablice 3 detaljno je objašnjeno u radu [Macura et al., 2011], a posljednja dva kriterija dodana su u kasnijim modifikacijama modela.

Tablica 3: Relevantni kriteriji

Kriteriji i njihove mjerne jedinice	
cost-benefit	/
kriterij tzv. laganih vožnji	izgubljeno vozno vrije-me [vozni sati/km]
kriterij iskoristivosti kapaciteta	postotak iskoristivosti kapaciteta dionica [%]
ispunjavanje obveza prema sporazumima AGC ¹ i AGTC ²	[%]
opseg rada	[vlak/dan]
važnost interesne skupine	/
vjerojatnost provedbe relevantnih vanjskih projekata	/

¹ European Agreement on Main International Railway Lines

² European Agreement on Important International Combined Transport Lines and Related Installations



Slika 1. Mrežna struktura modela

3.3. Rezultati modela

Nakon primjene softvera *SuperDecisions* dobiveni su konačni rezultati modela (tablica 4). U tablici su prikazani relativni prioriteta željezničkih infrastrukturnih projekata. Prvorangirani projekt je Resnik – Mladeno-vac – Velika Plana.

Tablica 4: Konačan popis po rangju alternativa

Razmatrane dionice X. koridora		Rang	
A ₁	Šid – Stara Pazova	0,064	5
A ₂	Subotica – Stara Pazova	0,163	3
A ₃	Resnik – Mladenovac – Velika Plana	0,226	1
A ₄	Velika Plana – Stalać	0,097	4
A ₅	Stalać – Đunis	0,163	3
A ₆	Đunis – Trupale (Niš)	0,033	7
A ₇	Niš – Preševo	0,055	6
A ₈	Niš – Dimitrovgrad	0,198	2

4. Zaključak

U mnogim znanstveno-stručnim radovima sve češće se kritički pristupa do sada najčešće korištenom pristupu evaluaciji prometnih projekata – analizi troška i koristi. Glavni razlozi takvih kritika karakteristike su prometnih projekata kao što su postojanje interesnih skupina, neizvjesnost, utjecaj vanjskih čimbenika i druge te se predlaže primjena suvremenih višekrite-rijskih pristupa. U ovome radu prikazana je primjena ANP pristupa za rangiranje željezničkih infrastrukturnih projekata. Model ima mrežnu strukturu i čine ga četiri skupine: alternative, kriteriji, interesne skupine i rele-vantni vanjski projekti. Model je primijenjen na primjeru rangiranja željezničkih projekata na X. koridoru kroz Republiku Srbiju. Buduća istraživanja treba usmjeriti ka razvoju dinamičkog modela koji bi uzeo u razmatra-nje neizvjesnost i promjene u okružju kao relevantne vanjske čimbenike i sastavni dio prometnog tržišta.

Literatura:

- [1] AHERN, A.; ANANDARAJAH, G.: *Railway projects prioritization for investment: Application of goal programming*, Transport Policy, 14, 70-80, 2007.
- [2] BERECHMAN, J.; PAASWELL, R. E.: *Evaluation, prioritization and selection of transportation investment projects in New York City*. Transportation, Vol. 32, No. 3, 223-249, 2010.
- [3] CALISKAN, N.: *A decision support approach for the evaluation of transport investment alternatives*, European Journal of Operational Research, Vol. 175 No. 3, 1696-704, 2006.
- [4] CHANG, Y-H.; WEY, W-M.; TSENG, H-Y.: *Using ANP priorities with goal programming for revitalization strategies in historic transport: A case study of the Alishan Forest Railway*, Expert Systems with Applications, Vol. 36, Issue 4, 8682-8690, 2009.
- [5] CHENG, E.; LI, H.: *Analytic network process applied to project selection*, Journal of Construction Engineering and Management, 131/4, 459-466, 2005.
- [6] FERRARI, P.: *A method for choosing from among alternative transportation projects*, European Journal of Operational Research, 150, 194-203, 2003.
- [7] GERCEK, H.; KARPAK, B.; KILINCASLAN, T.: *A multiple criteria approach for the evaluation of the rail transit networks in Istanbul*, Transportation, 31, 203-228, 2004.
- [8] LEE, S-M.: *Analytic Hierarchy Process for Transport Project Appraisal – An application to Korea*. Ph.D. Dissertation, University of Leeds, 1998.
- [9] LONGO, G.; PADOANO, E.; ROSATO, P.; STRAMI, S.: *Considerations on the application of AHP/ANP methodologies to decisions concerning a railway infrastructure*, Proceedings of the International Symposium on the AHP, 2009.
- [10] MACURA, D.; BOŠKOVIĆ, B.; BOJOVIĆ, N.; MILENKOVIĆ, M.: *A model for prioritization of rail infrastructure projects using ANP*, International Journal of Transport Economics, Vol XXXVIII, No. 3, 265-289, 2011.
- [11] MACURA, D.; ŠELMIĆ, M.: *Railway projects evaluation with dynamic priorities - Serbia case study*, International Journal of the Analytic Hierarchy Process, <http://dx.doi.org/10.13033/ijahp.v7i1.292>, Vol. 7, No. 1, 2015.
- [12] Mateus R., Ferreira J.A., Carreira J.: *Multicriteria decision analysis (MCDA): Central Porto high-speed railway station*, European Journal of Operational Research 187, 1-18, 2008.
- [13] Montesinos-Valera J., Aragonés-Beltrán P., Pastor-Ferrando J.P.: *Selection of rail improvement projects using the analytic network process (ANP)*, Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, 1-6, 2011
- [14] PIANTANAKULCHAI, M.: *Analytic network process model for highway corridor planning*, ISAHP 2005, Honolulu, Hawaii, 2005.
- [15] SAATY, Th. L.: *Decision making with dependence and feedback: The Analytic Network Process*. RWS Publications, Pittsburgh, 1996.
- [16] SHANG, J. S.; TJADER, Y.; DING, Y.: *A unified framework for multicriteria evaluation of transportation projects*, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 51, No. 3, 300-313, 2004.
- [17] TSAMBOULAS, D.: *A tool for prioritizing multinational transport infrastructure investments*, Transport Policy, 14, 11-26, 2007.
- [18] 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, 40, 414-423, 2006.
- [19] WEE, B. V.: *Rail infrastructure: Challenges for Cost-benefit analysis and other ex ante evaluations*, Transportation Planning and Technology, Vol. 30, No. 1, 31-48, 2007.
- [20] WEY, W-M.; WU, K-Y.: *Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation*, Mathematical and Computer Modeling, 46, 985-1000, 2007.
- [21] YEDLA, S.; SHRESTHA, R.: *Multi-criteria Approach for the Selection of Alternative Options for Environmentally Sustainable Transport System in Delhi*, Transportation Research - Part A: Policies and Practice, Vol. 37 (8), 717 – 729, 2003.

UDK: 625.1

Adresa autora:

Doc. dr. sc. Dragana Macura, dipl. ing. prom.

d.macura@sf.bg.ac.rs

Doc. dr. sc. Milica Šelmić, dipl. ing. prom.,

m.selmic@sf.bg.ac.rs

Prof. dr. sc. Nebojša Bojović, dipl. ing. prom.

nb.bojovic@sf.bg.ac.rs

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Vojvode Stepe 305, Beograd, Republika Srbija

SAŽETAK

Realizacija prometnih projekata složen je investicijski poduhvat, koji je poseban izazov i za menadžere i za inženjere. Prometni projekti, kao projekti u javnom sektoru, uključuju veći broj interesnih skupina, čije želje treba uzeti u razmatranje prilikom njihove evaluacije. Zbog raznovrsnih kriterija i postavljenih ciljeva interesnih skupina predlaže se primjena višekriterijskih pristupa za selekciju i rangiranje prometnih projekata. U ovom su radu pored definiranih relevantnih interesnih skupina predloženi i određeni kriteriji za rangiranje željezničkih infrastrukturnih projekata. Poseban je doprinos rada analiza utjecaja relevantnih vanjskih projekata na rangiranje. Kao višekriterijski pristup pogodan za analizu problema s mrežnom strukturom primijenjen je analitički mrežni proces. Model sadrži četiri klastera: alternative, kriterije, interesne skupine i relevantne eksterne projekte. Klasteri, kao i njihovi elementi, su u korelaciji, što strukturu modela čini mrežom. Model je primijenjen na primjeru željezničkih pruga Republike Srbije.

Ključne riječi: željeznički infrastrukturni projekti, višekriterijski pristup, analitički mrežni proces

SUMMARY

A MODEL FOR RANKING RAILWAY INFRASTRUCTURE PROJECTS

Realizing transport projects is a complex investment endeavour, which is a special challenge for both managers and engineers. Transport projects, as projects within the public sector, include a larger number of interest groups, whose wishes should be considered during their evaluation. Due to multiple criteria and set goals of interest groups, an application of multi-criteria approaches for the selection and ranking of transport projects is proposed. This paper, together with defined relevant interest groups, also proposes certain criteria for ranking railway infrastructure projects. A special contribution of this paper is the analysis of influences, which relevant external projects make on ranking. As a multiple-criteria approach, suitable for analysis of problems with network structure, an analytical network process was applied. The model contains four clusters: alternatives, criteria, interest groups and relevant external projects. Clusters, as well as their elements, are correlated, which makes the structure of the model into a network. The model has been applied on the example of the railway lines in the Republic of Serbia.

Key words: railway infrastructure projects, multiple-criteria approach, analytical network process