

Društvo građevinskih konstruktora Srbije

SIMPOZIJUM 2020

13-15. maj 2021- ARANĐELOVAC

ZBORNIK RADOVA SA NACIONALNOG SIMPOZIJUMA DGKS



U SARADNJI SA



Република Србија
Министарство
просвете, науке и
технолошког развоја

POKROVITELJ



PLATINASTI SPONZORI

Metal **ink** ara

ŠIRBEGOVIĆ®
INŽENJERING

DELTA
REAL ESTATE

baldini
studio

INTERNATIONAL

STRABAG
TEAMS WORK.

PUT INŽENJERING

ZLATNI SPONZORI



ARMONT
LICA ZGRADA

MORAVACEM
A CRH COMPANY

PERI®

ProClub

MG
PRECAST D.O.O.

DNEC

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

624(082)(0.034.2)
69(082)(0.034.2)

ДРУШТВО грађевинских конструктора Србије. Симпозијум 2020 (2021 ; Аранђеловац)
Zbornik radova sa Nacionalnog simpozijuma DGKS [Elektronski izvor] / Društvo
građevinskih konstruktera Srbije, Simpozijum 2020, 13-15. maj 2021, Arandelovac ; [urednici
Zlatko Marković, Ivan Ignjatović, Boško Stevanović]. - Beograd : Univerzitet, Građevinski
fakultet : Društvo građevinskih konstruktera Srbije, 2021 (Arandelovac : Grafopak). - 1 USB
fleš memorija ; 5 x 2 x 1 cm

Sistemska zahtevi: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Radovi na srp. i
engl. jeziku. - Tiraž 200. - Bibliografija uz svaki rad. - Summaries.

ISBN 978-86-7518-211-5 (GF)

a) Грађевинарство -- Зборници
COBISS.SR-ID 37696777

Izdavač: Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet
Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/I

Suizdvač: Društvo građevinskih konstruktera Srbije
Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

Urednici: prof. dr Zlatko Marković
v.prof. dr Ivan Ignjatović
prof. dr Boško Stevanović

Tehnički urednik: v.prof. dr Jelena Dobrić

Tehnička priprema: doc. dr Nina Gluhović
doc. dr Marija Todorović
Isidora Jakovljević

Gafički dizajn: Tijana Stevanović

Dizajn korica: Tijana Stevanović

Štampa: Grafopak, Arandelovac

Tiraž: 200 primeraka

Beograd, maj 2021.

POVODOM TRIDESETOGODIŠNJICE POSTOJANJA
A ZA NAROČITE ZASLUGE I USPEHE POSTIGNUTE
U RAZVIJANJU I UNAPREĐENJU GRAĐEVINSKOG
KONSTRUKTERSTVA I DOPRINOS UZDIZANJU
STRUČNIH KADROVA

ukazom broj 38 od 29. aprila 1983. godine

PREDSEDNIŠTVO SFRJ

ODLIKOVALO JE

SAVEZ DRUŠTAVA GRAĐEVINSKIH
KONSTRUKTERA JUGOSLAVIJE

ORDENOM RADA SA SREBRNIM VENCEM

Organizacioni odbor Simpozijuma:

prof. dr Zlatko MARKOVIĆ, predsednik,
Lazar MARKOVIĆ, potpredsednik,
v.prof. dr Ivan IGNJATOVIĆ, generalni sekretar,
prof. dr Boško STEVANOVIĆ, sekretar,
prof. dr Đorđe LAĐINOVIĆ, član Predsedništva,
prof. dr Dragoslav STOJIC, član Predsedništva,
v.prof. dr Danijel KUKARAS, član Predsedništva,
v.prof. dr Marija NEFOVSKA-DANILOVIĆ, član Predsedništva,
v.prof. dr Branko MILOSAVLJEVIĆ, član Predsedništva,
v.prof. dr Jelena DOBRIĆ,
doc. dr Selimir LELOVIĆ, član Predsedništva,
doc. dr Milan SPREMIĆ,
doc. dr Nenad FRIC,
doc. dr Marija TODOROVIĆ,
doc. dr Nina GLUHOVIĆ,
doc. dr Igor DŽOLEV,
Dimitrije ALEKSIĆ, član Predsedništva,
Milan GRČIĆ, član Predsedništva,
Branko KNEŽEVIĆ, član Predsedništva,
Miroslav MIHAJLOVIĆ, član Predsedništva,
Đorđe PAVKOV, član Predsedništva,
Darko POPOVIĆ, član Predsedništva,
Duško TOMIĆ, član Predsedništva,
Vedran CAREVIĆ,
Nikola RAJIĆ,
Vladimir ŽIVALJEVIĆ,
Dragan MANOJLOVIĆ.

Naučni odbor Simpozijuma:

prof. dr Mark ALEXANDER (Južnoafrička Republika),
prof. dr Dubravka BJEGOVIĆ (Hrvatska),
prof. dr Svetlana BRZEV (Kanada),
prof. dr Meri CVETKOVSKA (Severna Makedonija),
v. prof. dr Jelena DOBRIĆ (Srbija),
prof. dr Radomir FOLIĆ (Srbija),
prof. dr Leroy GARDNER (Engleska),
dr Dick HORDIJK (Holandija),
v. prof. dr Ivan IGNJATOVIĆ (Srbija),
prof. dr Tatjana ISAKOVIĆ (Slovenija),
prof. dr Miloš KNEŽEVIĆ (Crna Gora),
prof. dr Đorđe LAĐINOVIĆ (Srbija),
prof. dr Jože LOPATIČ (Slovenija),
prof. dr Duško LUČIĆ (Crna Gora),
prof. dr Snežana MARINKOVIĆ (Srbija),
prof. dr Zlatko MARKOVIĆ (Srbija),
prof. dr Goran MARKOVSKI (Severna Makedonija),
v. prof. dr Branko MILOSAVLJEVIĆ (Srbija),
prof. dr Primož MOŽE (Slovenija),
v. prof. dr Marija NEFOVSKA-DANILOVIĆ (Srbija),
prof. dr Radenko PEJOVIĆ (Crna Gora),
prof. dr Mira PETRONIJEVIĆ (Srbija),
prof. dr Vlastimir RADONJANIN (Srbija),
prof. dr Boško STEVANOVIĆ (Srbija),
prof. dr Dragoslav STOJIĆ (Srbija),
prof. dr Milan VELJKOVIĆ (Holandija),
prof. dr Mirjana VUKIĆEVIĆ (Srbija),
v. prof. dr Zlatko ZAFIROVSKI (Severna Makedonija),
prof. dr František WALD (Češka Republika),

Andela Jašović¹, Zlatko Zafirovski²

VREDNOVANJE VARIJANTNIH RJEŠENJA I METODE OPTIMIZACIJE ŽELJEZNIČKE TRASE

Rezime:

U ovom radu je objašnjen pojam vrednovanja varijantnog rješenja i kratak prikaz metoda optimizacija. Detaljno su objašnjene kriterijumske funkcije vrednovanja: minimalna investiciona ulaganja, minimalni troškovi održavanja i ulaganja, maksimalan kvalitet usluge i minimalan uticaja na životnu sredinu.

Ključne reči: vrednovanje varijantnih rješenja, metode optimizacije, kriterijumske funkcije vrednovanja varijantnog rješenja.

EVALUATION OF VARIANT SOLUTIONS AND METHODS OF RAILWAY ROUTE OPTIMIZATION

Summary:

In this research, the concept of evaluation of a variant solution is explained and a brief overview of optimization methods. The evaluation criteria are explained in detail: minimum investment, minimum maintenance and investment costs, maximum quality of service and minimum environmental impact.

Key words: evaluation of variant solutions, optimization methods, criterion functions for evaluating a variant solution.

¹ *Spec. Sci građevinarstva, Građevinski fakultet Podgorica, jasovic.andjela22@gmail.com*

² *PhD, Civ. Eng., Associate Professor, University „Ss. Cyril and Methodius“, Faculty of Civil Engineering – Skopje, zafirovski@gf.ukim.edu.mk*

1. UVOD

Željeznička pruga je složeni tehničko-tehnološki sistem. Savremenim sistemskim pristupom u rješavanju problema izbora trase željezničke pruge koji podrazumijeva sveobuhvatnu analizu mogu se sagledati odnosi i veze između svih tehničkih, saobraćajnih i eksploatacionih parametara pruge.

Varijantna rješenja trase se formiraju variranjem njenih osnovnih tehničkih elemenata, a problem koji treba riješiti u toku optimizacije je izbor i donošenje odluke o najpovoljnijoj varijanti trase iz skupa konkurentnih rješenja. Izbor i odlučivanje zasniva se na unaprijed utvrđenim ciljevima, kriterijumima i ograničenjima za građenje i eksploataciju nove ili rekonstruisane trase.

Najpovoljnije je ono rješenje trase koje na najbolji način ispunjava savremene tehničke, saobraćajne, ekonomske i ekološke zahtjeve.

Primjenom metoda optimizacije može se dobiti najpovoljnije varijantno rješenje trase željezničke pruge.

Izbor najpovoljnijeg varijantnog rješenja vrši se na osnovu opšte važećeg kriterijuma, a to je da se do željenog cilja dođe sa najmanjim utroškom sredstava i energije, uz maksimalnu društvenu korist i minimalni uticaj na životnu sredinu, što znači da je najpovoljnija ona varijanta koja ostvaruje najveću dobit u odnosu na troškove građenja i eksploatacije.

U periodu velikih ulaganja u saobraćajnu infrastrukturu, definisana je procedura koja je morala biti ispunjena da bi se dobila potrebna sredstva za izgradnju, te se uvode nove preciznije metodološki postupci vrednovanja varijantnih rješenja.

Najpovoljnije varijantno rješenje nije ono koje ima najmanje troškove građenja i eksploatacije ili najkraće vrijeme putovanja, već ono koje ispunjava i dovoljan kapacitet, pruža najveću bezbjednost i komfor i ima najmanje posledice po okolinu.

2. VREDNOVANJE VARIJANTNIH RJEŠENJA

Vrednovanje – procjena u kojoj mjeri je ostvaren zadati cilj sistema svakog dopustivog varijantnog rješenja vrši se prema svim definisanim kriterijumima posebno. Vrijednosti kriterijumskih funkcija mogu biti izražene preko dolje navedenih kriterijuma.

Ekonomske kriterijumi su kriterijumi određeni pokazateljima koji se dobijaju ekonomskim analizama, a prvenstveno se odnose na troškove izgradnje i rada sistema i na dobiti korisnika.

Kvantitativni tehnički kriterijumi su oni kriterijumi čiji se pokazatelji dobijaju tehničkim ili statističkim analizama i mjerenjima.

Kvalitativni kriterijumi (ocjena ili bodovi) su oni kriterijumi kod kojih se pokazatelji ne mogu dobiti ni ekonomskim ni tehničkim analizama.

Vrednovanje efekata i uticaja vrši se od strane odgovarajućih eksperata i to davanjem ocjena iz ordinirane skale za vrednovanje sa sledećim gradacijama: ne zadovoljava, slabo zadovoljava, dobro, vrlo dobro, odlično. Ovim opisnim ocenama se dodjeljuju i brožane vrijednosti od 0 do 10 ili bodovi od 0 do 100.

Jedan kriterijum može biti određen sa više pokazatelja. Tada se vrijednost tog kriterijuma dobija sumiranjem numeričkih vrijednosti tih pokazatelja. U slučaju da su to nezavisni

pokazatelji, različitih dimenzija, tada se oni mogu kao podkriterijumi uključiti u dalji proces vrednovanja. Za pojedine pokazatelje su propisane i granične vrijednosti.

3. METODE OPTIMIZACIJE

Metode za optimizaciju možemo grupisati u dvije osnovne grupe:

- Prvu grupu čine metode matematičkog programiranja (optimizacije), odnosno metode za rješavanje zadataka sa kontinualnim matematičkim modelom;
- Drugu grupu čine metode kombinatorne optimizacije, odnosno metode rješavanja zadataka analize i izbora najboljeg rješenja iz formiranog skupa (dopustivih) varijantnih rješenja kod diskretnih sistema.

Druga grupa metoda se često proširuje i na metode za rješavanje zadataka rangiranja varijantnih rješenja, odnosno određivanje njihovog redosleda (rang liste).

Na osnovu utvrđenog postupka rangiranja, nakon vrednovanja svih varijantnih rješenja (V_1, V_2, \dots, V_m) sa stanovišta usvojenih kriterijuma i kriterijumskih funkcija (f_1, f_2, \dots, f_n), utvrđuje se redosled varijantnih rješenja (varijanta V_j je bolja od varijante V_k prema i -tom kriterijumu samo ako je $f_{ij} > f_{ik}$, odnosno $V_j > V_k$). Rješenje zadatka rangiranja, u zavisnosti od izabrane i primijenjene metode, može biti:

- rang varijantnih rješenja, redosled od najboljeg do najlošijeg;
- najbolje varijantno rješenje;
- skup varijantnih rješenja koja ispunjavaju unaprijed zadate uslove.

Postojanje više varijantnih rješenja, većeg broja kriterijuma za vrednovanje koji su često konfliktni i sa različitim mjernim jedinicama, znači da se rješavanje višekriterijumskog zadatka ne mogu koristiti klasične optimizacione metode (metode iz prve grupe), nego se moraju koristiti metode iz druge grupe – metode za višekriterijsku optimizaciju (odlučivanje) i rangiranje (MCDM – Multi-Criteria Decision Making). S obzirom na prirodu informacija višekriterijskih problema, ove metode se mogu svrstati u sledeće grupe:

1. Višeatributivno odlučivanje (MADM – Multi-Attribute Decision Making) ili kako se sve više naziva višekriterijumska analiza (MCA- Multi-Criteria Analysis). Ova grupa metoda rješava višekriterijumske probleme izborom najbolje alternative iz skupa prethodno definisanih.

2. Višeciljno odlučivanje (MODM – Multi-Objective Decision Making). Ova grupa metoda rješava višekriterijumske probleme projektovanja najbolje alternative.

Metode višeatributivnog odlučivanja, odnosno višekriterijumske analize se mogu podijeliti na:

1. Metode korisnosti: Kod ovih metoda se varijantna rješenja vrednuju i rangiraju prema korisnosti u odnosu na sve kriterijume. Predstavnici ove grupe metode su: aditivni metod (SWA - Simple Additive Weighting), višeatributna teorija korisnosti – (MAUT– Multi-Attribute Utility Theory) i analitički hijerarhijski proces – (AHP - Analytic Hierarchy Process).

2. Metode zasnovane na kompromisu: Kod ovih metoda se bira varijantno rješenje koje je najbliže idealnom rješenju i to na osnovu usvojene mjere rastojanja. Glavni predstavnik ove grupe metoda je: kompromisno programiranje (CP - Compromise Programming). Iz elemenata kompromisnog programiranja razvijene su: metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) i metoda VIKOR (VIšekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje).

3. Metode višeg ranga (Qutranking metode): Kod ovih metoda se rangiranje, odnosno redosled varijantnih rješenja generiše po prioritetu. Predstavnik ove grupe je skup metoda:

ELECTRE I, II, III i IV (ELEmination Et Choice Translating Reality), PROMETHEE I, II, III i IV (Preference Ranking Organization METHod of Enrichment Evaluations).

4. KRITERIJUMSKE FUNKCIJE VREDNOVANJA VARIJANTNOG RJEŠENJA

Postupak vrednovanja se vrši tako što se svakom varijantnom rješenju dodijeli određena vrijednost svake kriterijumske funkcije.

Kriterijumske funkcije vrednovanja su: minimalna investiciona ulaganja, minimalni troškovi održavanja i ulaganja, maksimalni kvalitet usluge i minimum uticaja na životnu sredinu.

4.1. MODEL ZA ODREĐIVANJE KRITERIJUMA – INVESTICIONA ULAGANJA

Investiciona ulaganja obuhvataju investicije za:

- izgradnju dionica otvorene pruge (K11),
- izgradnju stanica i ostalih službenih mjesta (K12),
- nabavku i ugradnju postrojenja električne vuče (K13),
- nabavku i ugradnju SS i TK uređaja i opreme (K14).

Kriterijumska funkcija f_1 iznosi:

$$f_1 = \sum_i K_{1i} = \sum_k I_k = I_{op} + I_{st} + I_{ev} + I_{ss-tk}$$

K_{1i} - kriterijumi za definisanje kriterijumske funkcije f_1 ,

I_k - pojedinačne vrednosti investicionih ulaganja potrebne za stabilna postrojenja železničke pruge,

I_{op} - investiciona ulaganja za izgradnju dionica otvorene pruge,

I_{st} - investiciona ulaganja za izgradnju stanica i ostalih službenih mesta,

I_{ev} - investiciona ulaganja za postrojenja električne vuče,

I_{ss-tk} - investiciona ulaganja za SS i TK uređaje i opremu.

Teži se ostvarenju što manjih investicionih ulaganja.

Investiciona ulaganja za izgradnju dionica otvorene pruge K_{11}

$$I_{op} = I_{gs} + I_{ds} + I_{m-t} + I_e + I_r = \sum_i Q_{opi} C_{opi}$$

I_{gs} - investiciona ulaganja u gornji stroj železničke pruge,

I_{ds} - investiciona ulaganja u donji stroj železničke pruge,

I_{m-t} - investiciona ulaganja u mostovske i tunnelske konstrukcije,

I_e - investiciona ulaganja za eksproprijaciju zemljišta,

I_r - investiciona ulaganja za rekonstrukciju saobraćajne infrastrukture i uređenje rečnih tokova,

Q_{opi} - obim i -te pozicije građevinskih radova za izgradnju dionica otvorene pruge,

C_{opi} - jedinična cena i -te pozicije građevinskih radova za izgradnju dionica otvorene pruge

Investiciona ulaganja za izgradnju stanica i ostalih službenih mjesta K_{12} :

$$I_{st} = I_{gs} + I_{ds} + I_{ost} + I_{pp} + I_e = \sum_i Q_{sti} C_{sti}$$

I_{gs} - investiciona ulaganja u gornji stroj službenih mesta,

I_{ds} - investiciona ulaganja u donji stroj službenih mesta,

Iost - investiciona ulaganja za izgradnju (rekonstrukciju) objekata u stanici (zgrade, magacini, peroni, rampe, platoi i dr.),

Ipp - investiciona ulaganja za kolosečne veze sa priključnim prugama,

Ie - investiciona ulaganja za eksproprijaciju zemljišta,

Qsti - obim i-te pozicije građevinskih radova za izgradnju (rekonstrukciju) službenih mesta,

Csti - jedinična cena i-te pozicije građevinskih radova za izgradnju (rekonstrukciju) službenih mesta.

Investiciona ulaganja za postrojenja električne vuče K_{13} :

$$I_{ev} = I_{spev} + I_{peep} + I_{ospev} = \sum_i Q_{evi} C_{evi}$$

I_{spev} - investiciona ulaganja za stabilna postrojenja električne vuče,

I_{peep} - investiciona ulaganja za elektroenergetska postrojenja,

I_{ospev} - investiciona ulaganja za objekte za održavanje ovih postrojenja,

Q_{evi} - obim i-te pozicije radova na izgradnji postrojenja za električnu vuču,

C_{evi} - jedinična cena i-te pozicije radova na izgradnji postrojenja za električnu vuču.

Investiciona ulaganja za signalno sigurnosne i telekomunikacione uređaje i opremu K_{14} :

$$I_{ss-tk} = I_{ss} + I_{tk} = \sum_i Q_{ss-tk} C_{ss-tk}$$

I_{ss} - investiciona ulaganja za nabavku i ugradnju SS uređaja i opreme (unutrašnji i spoljni relejni uređaji),

I_{tk} - investiciona ulaganja za nabavku i ugradnju TK uređaja i opreme (kablovska postrojenja, sistemi radio veza, radio veze),

Q_{ss-tk} - obim i-te pozicije radova na ugradnji SS i TK uređaja i opreme,

C_{ss-tk} - jedinična cena i-te pozicije radova na ugradnji SS i TK uređaja i opreme.

4.2. MODEL ZA ODREĐIVANJE KRITERIJUMA – TROŠKOVI ODRŽAVANJA I UPRAVLJANJA

Troškovi održavanja i upravljanja trase železničke pruge dijele se na fiksne i promjenljive troškove.

U ovom modelu se troškovi održavanja i upravljanja definišu preko kriterijuma K_{2i} i obuhvataju troškove:

- za održavanje pruga, stanica i ostalih službenih mesta (K_{21}),
- za održavanje postrojenja za električnu vuču (K_{22}),
- za održavanje signalno-sigurnosnih i telekomunikacionih uređaja i opreme (K_{23}),
- organizacije saobraćaja i upravljanja (K_{24}).

Kriterijumska funkcija f_2 iznosi:

$$f_2 = \sum_i K_{2i} = \sum_k T_k = T_{ops} + T_{oev} + T_{oss-tk} + T_{osu}$$

K_{2i} - kriterijumi za određivanje kriterijumske funkcije troškova održavanja i upravljanja f_2 ,

T_k - pojedinačne vrijednosti troškova za održavanje stabilnih postrojenja i pratećih sadržaja železničke pruge,

T_{ops} - troškovi za održavanje pruge, stanica i ostalih službenih mesta,

T_{oev} - troškovi za održavanje postrojenja električne vuče,

T_{oss-tk} - troškovi za održavanje signalno-sigurnosnih i telekomunikacionih uređaja i opreme,

Tosu - troškovi organizacije saobraćaja i upravljanja.
 Teži se ostvarenju što manjih troškova održavanja
 Troškovi održavanja pruge, stanica i ostalih službenih mesta K_{21} :

$$Tops = Triogs + Triods = \sum_i QopsiCopsi$$

Triogs - troškovi za redovno i investiciono održavanje gornjeg stroja,
Triods - troškovi za redovno i investiciono održavanje donjeg stroja (zemljani trup, inženjerske konstrukcije, objekti u stanicama),
Qopsi - obim i-te pozicije radova na održavanju pruge, stanica i ostalih službenih mesta,
Copsi - jedinična cena i-te pozicije radova na održavanju pruge, stanica i službenih mesta.
 Troškovi održavanja postrojenja električne vuče K_{22} :

$$Toev = Triospev + Triodpeed = \sum_i QoeviCoevi$$

Triospev - redovno i investiciono održavanje stabilnih postrojenja električne vuče,
Triodpeed – redovno i investiciono održavanje pogonskih elektroenergetskih postrojenja,
Qoevi - obim i-te pozicije radova na održavanju postrojenja električne vuče,
Coevi - jedinična cena i-te pozicije radova na održavanju postrojenja.
 Troškovi održavanja signalno-sigurnosnih i telekomunikacionih uređaja i opreme K_{23} :

$$Toss-tk = Trioss + Triotk = \sum_i Qoss - tkiCoss - tki$$

Trioss - redovno i investiciono održavanje signalno-sigurnosnih uređaja i opreme,
Triotk - redovno i investiciono održavanje telekomunikacionih uređaja i opreme,
Qoss-tki - obim i-te pozicije radova na održavanju signalno-sigurnosnih i telekomunikacionih uređaja i opreme,
Coss-tki - jedinična cena i-te pozicije radova na održavanju signalno-sigurnosnih i telekomunikacionih uređaja i opreme.
 Troškovi za organizaciju saobraćaja i upravljanje K_{24} :

$$Tosu = Tro + Tru + Tpem = \sum_i NroiCroi + \sum_i NruiCru i + \sum_i NpemiCpemi$$

Tro - troškovi rada osoblja (lokomotivsko, vozopratno, kontrola i održavanje),
Tru - troškovi uprave (sekcije, radne jedinice, zajedničke službe preduzeća),
Tpem - troškovi potrošnje pogonske energije i maziva,
Nroi - efektivno vreme rada i-te, kategorije osoblja u realizaciji saobraćaja,
Croi - jedinična cena rada i-te kategorije osoblja u realizaciji saobraćaja,
Nrui - efektivno vreme rada i-te kategorije osoblja uprave,
Cru i - jedinična cena rada i-te kategorije osoblja uprave,
Npemi - količina utrošene pogonske energije (i=1), odnosno maziva (i=2),
Cpemi - jedinična cena pogonske energije (i=1), kao i maziva (i=2).

4.3. MODEL ZA ODREĐIVANJE KRITERIJUMA -KVALITET SAOBRAĆAJNE USLUGE

Kvalitet saobraćajne usluge definiše preko vremena putovanja i kapaciteta trase železničke pruge. Kako ovi kriterijumi imaju različite dimenzije, oni u proces optimizacije uključuju kao nezavisni kriterijumi sa odgovarajućim funkcijama.

4.3.1. Model za određivanje kriterijuma – Vrijeme putovanja

Vrijeme putovanja se definiše preko kriterijuma K_{3i} koji obuhvataju:

- ukupno vrijeme vožnje vozova između službenih mesta (K_{31}),
- ukupno vrijeme bavljenja vozova u službenim mestima (K_{32}).

Kriterijumska funkcija f_3 :

$$F_3 = \sum_i K_{3i} = \sum_i T_i = tvv + tvb$$

K_{3i} - kriterijumi za određivanje kriterijumske funkcije vremena putovanja f_3 ,

T_i - pojedinačne vrednosti vremena koje određuju vreme putovanja vozova ($i=1, 2$),

tvv - ukupno vreme vožnje između službenih mjesta za sve kategorije vozova,

tvb - ukupno vreme bavljenja svih kategorija vozova u službenim mestima.

Ukupno vrijeme vožnje između službenih mesta K_{31} :

$$Tv v = \sum_i \sum_j Li / Vij + tpij + tzij$$

N - broj službenih mesta ($i=1, 2, \dots, n$),

M - kategorije vozova ($j=1, 2, \dots, m$),

$n-1$ - broj međustaničnih rastojanja,

Li - dužina i -te deonice trase železničke pruge između službenih mesta,

Vij - odgovarajuća brzina j -te kategorije voza na i -toj deonici trase železničke pruge između službenih mesta,

$tpij$ - dopunsko vreme za polazak j -te kategorije voza na i -toj deonici trase železničke pruge između službenih mesta,

$tzij$ - dopunsko vreme za zaustavljanje j -te kategorije voza na i -toj deonici trase železničke pruge između službenih mesta.

Ukupno vrijeme bavljenja vozova u službenim mestima K_{32} :

$$Tvb = \sum_i \sum_j tvbsij + tvbki j$$

N - broj službenih mesta ($i=1, 2, \dots, n$),

M - kategorije vozova ($j=1, 2, \dots, m$),

$tvbsij$ - vrijeme bavljenja j -te kategorije voza u i -tom usputnom službenom mestu iz saobraćajnih potreba,

$tvbkij$ - vrijeme bavljenja j -te kategorije voza u i -tom usputnom službenom mestu iz komercijalnih potreba.

4.3.2. Model za određivanje kriterijuma - Kapacitet trase železničke pruge

Kapacitet trase železničke pruge određuje propusna moć trase, a to je maksimalan broj pari vozova ili broj vozova koji se propusti u jedinici vremena.

Za proračun propusne moći koristi se metodologija UIC-a. Kapacitet trase železničke pruge, odnosno propusna moć trase se u ovom poretku definiše preko kriterijuma K^{*3i} , kao i preko kriterijumske funkcije f^{*3} :

$$F^{*3} = K^{*3i} = N$$

K^{*3i} - kriterijum za određivanje kriterijumske funkcije propusne moći trase železničke pruge f^{*3} ,

N - propusna moć trase železničke pruge, odnosno broj pari vozova ili broj vozova u jedinici vremena.

Teži se da propusna moć trase železničke pruge bude maksimalna.

4.4. MODEL ZA ODREĐIVANJE KRITERIJUMA – POSLEDICE NA PROSTORNI RAZVOJ

Posledice trase željezničke pruge na prostorni razvoj definišu se preko kriterijuma K_{4i} , a oni procijenjuju sledeće posledice:

- Očuvanje prostornih cjelina (K_{41}),
- Zauzimanje površina (K_{42}),
- Kulturno – istorijski nasleđe (K_{43}),
- Razdvajanje centra aktivnosti (K_{44}).

$$F_4 = \sum_i K_{4i} = \sum_k P_k = Popc + Pzp + Pkipn + Ppr$$

K_{4i} - kriterijumi za određivanje kriterijumske funkcije posledica na prostorni razvoj f_4 ,

P_k - pojedinačne vrednosti posledica trase železničke pruge na prostorni razvoj ($k=1, \dots, 4$),

$Popc$ - očuvanje prostornih celina (stanovanje, privredne aktivnosti i odmor i rekreacija),

Pzp - zauzimanje površina (poljoprivredno i građevinsko zemljište),

$Pkipn$ - očuvanje kulturno-istorijskog i prirodnog nasleđa (spomenici, prirodna dobra pod zaštitom),

Ppr - posledice razdvajanja centara aktivnosti.

Očuvanje prostornih cjelina K_{41} definiše odnos trase željezničke pruge prema:

- urbanim područjima (za stanovanje, za privredne aktivnosti, za odmor i rekreaciju),
- saobraćajnoj i drugoj infrastrukturi (postojeće železničke pruge, putevi, naftovodi i gasovodi).

Dobija se sumiranjem dužina trase koja će presijecati urbana područja kao i dužina infrastrukture za rekonstrukciju.

Zauzimanje površina K_{42} definiše odnos trase prema :

- poljoprivrednom zemljištu sa jednogod. kulturama (po bonitetu I, II, III, IV),
- zemljištu sa višegodišnjim kulturama (šume, voćnjaci, vinogradi),
- građevinskom zemljištu (izgrađeno, planirano).

Dobija se sumiranjem navedenih površina zemljišta koje će zauzeti pružni pojas izgradnjom trase železničke pruge.

Očuvanje kulturno-istorijskog i prirodnog nasleđa K_{43} definiše odnos trase železničke pruge prema:

- zaštićenim istorijskim spomenicima i spomenicima kulturne baštine,
- prirodnim dobrima (nacionalni park, park prirode, rezervati prirode) koji su pod zaštitom).

Dobija se sumiranjem udaljenosti trase od zaštićenih kompleksa, kao i površine kompleksa koje zauzima pružni pojas.

Posledice razdvajanja K_{44} definiše stepen razdvajanja područja i cjelina, koji će nastati izgradnjom trase železničke pruge, kao što su:

- centri aktivnosti - gravitaciona područja (područje stanovanja od privrednih aktivnosti, poljoprivredna područja kao i područja za odmor i rekreaciju od naseljenih mjesta),
- prostorno – funkcionalne cjeline (jedinствeni kompleksi obradivih površina ili pod šumom).

Na osnovu sintezne karte ograničenja, utvrđuju se dionice trase gdje dolazi do narušavanja već formiranih i ustaljenih veza između gore navedenih područja, što ima za posledicu smanjenja pristupačnosti tim sadržajima, kao i dionice trase gdje ona presijeca jedinstvene komplekse površina. Tada se uspostavlja odnos između ukinutih i novoformiranih veza između područja, kao i odnos površina celina koje se presijecaju.

4.5. MODEL ZA ODREĐIVANJE KRITERIJUMA – UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU

Svaka izgradnja željezničke pruge kao građevinskog objekta i njena dalja eksploatacija, ima za posledicu pojavu poremećaja u nizu već definisanih odnosa i zakonitosti za elemente životne sredine, a to su: tlo, voda, vazduh, flora, fauna, klima i pejzaž.

Potrebno je definisati uticaj trase željezničke pruge u odnosu na svaki od navedenih elemenata i to se vrši preko kriterijuma K_{5i} ($i=1, \dots, 6$), a oni obuhvataju sledeće uticaje:

- buke i vibracija od saobraćaja (K51),
- na zemljište (zagađenje i degradacija) (K52),
- na vode (zagađenje i promjene u režimu) (K53),
- na floru i faunu (ugroženost i biodiverzitet) (K54),
- na klimu i mikroklimu (K55),
- narušavanje ambijentalnih celina-pejzaža (K56).

Kriterijumska funkcija f_5 iznosi:

$$F_5 = \sum_i K_{5i} = \sum_k U_k = U_{b-v} + U_z + U_v + U_{ff} + U_{kmk} + U_{ac}$$

K_{5i} - kriterijumi za određivanje kriterijumske funkcije uticaja trase željezničke pruge na životnu sredinu f_5 ,

U_k - pojedinačne vrednosti uticaja trase na životnu sredinu ($k = 1, \dots, 6$),

U_{b-v} - uticaj buke i vibracija od saobraćaja,

U_z - uticaj trase željezničke pruge na zemljište,

U_v - uticaj trase željezničke pruge na vode,

U_{ff} - uticaj trase željezničke pruge na floru i faunu,

U_{kmk} - uticaj trase željezničke pruge na klimu i mikroklimu,

U_{ac} - uticaj trase željezničke pruge na ambijentalne celine.

Uticaj buke i vibracija od saobraćaja K51 definiše se preko stepena ugroženosti, iskazanog površinom ili brojem osoba koji su pod mjerodavnim nivoom buke i vibracija u naseljenim područjima. Na dionicama trase željezničke pruge koje prolaze kroz naseljena područja procijenjuje se intezitet buke i vibracija preko srednjeg ekvivalentnog nivoa kao i njen uticaj u pojasu od 25 m do 100 m od osovine pruge. Stepenu ugroženosti bukom i vibracijama iskazuje se ukupnim brojem, sumom površina ili brojem osoba koje su izložene mjerodavnom nivou buke u toku dana/noći u naseljenim područjima. Ove numeričke vrijednosti se pretvaraju u bodove i sabiraju.

Uticaj trase željezničke pruge na zemljište K52 (zagađenje i degradacija tla) se definiše preko:

- stepena zagađenja tla kao posledica tečnih ili čvrstih zagađivača od željezničkog saobraćajnog sistema,
- stepena degradacije tla kao posledica erozije ili klizanja usled izgradnje trase željezničke pruge,

- stepena promjene permeabiliteta tla.

Uticao trase željezničke pruge na vode K53 se definiše preko:

- stepena zagađenja zona za vodosnadbijevanje,
- stepena ugroženosti zona duž obala površinskih tokova,
- stepena promene u režimu površinskih i podzemnih voda.

Uticao trase željezničke pruge na floru i faunu K54 se definiše preko:

- stepena ugroženosti zaštićenih biljnih vrsta od uticaja trase željezničke pruge,
- stepena ugroženosti zaštićenih životinjskih vrsta od uticaja trase željezničke pruge,
- biodiverzitet - smanjivanja broja biljnih i životinjskih vrsta.

Uticao trase željezničke pruge na klimu i mikroklimu K55 se definiše preko:

- stepena promjene klimatskih uslova usled uticaja trase željezničke pruge,
- stepena promjene mikroklimatskih uslova usled uticaja trase željezničke pruge.

Uticao trase željezničke pruge na ambijentalne cjeline - pejzaž K56 se definiše preko:

- stepena promjene morfologije terena usled uticaja trase željezničke pruge,
- stepena promjene sastava vegetacije usled uticaja trase željezničke pruge.

Određuju se dionice trase odnosno površine koje bi mogle biti izložene uticaju trase i izazvati određene promjene. Ove površine se pretvaju u bodove i sabiraju.

5. ZAKLJUČAK

Optimizacija trase i izbor njenog najpovoljnijeg varijantnog rešenja željezničke pruge je kompleksan problem u oblasti željezničke infrastrukture.

Najpovoljnije varijantno rešenje trase, kao rezultat optimizacionog izbora, je ona trasa koja na najbolji način ispunjava tehničke, saobraćajne, ekonomske i ekološke zahtjeve koji se postavljaju savremenoj željezničkoj infrastrukturi. Izabrano rešenje trase najuspješnije usklađuje sva ulaganja i troškove, obezbeđuje brz, bezbjedan, efikasan, komforan, pouzdan, ekonomičan, rentabilan, konkurentan i ekološki prihvatljiv željeznički saobraćaj.

LITERATURA

- [1] Ivić M.: Željezničke pruge, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2005.
- [2] Kosijer M., Ivić M., Marković M., Belošević I.: Višekriterijsko odlučivanje u planiranju i projektovanju trase željezničke pruge, Građevinar 64 (2012) 3, 195-205.
- [3] Kosijer M.: Optimizacija trase željezničke pruge, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2013.