

L. Puzavac¹
Z. Popović²

UDK:625.1

Rezime: Kolosek na čvrstoj podlozi primenjuje se više od sto godina, najpre u metroima i tunelima, a danas kao standardno rešenje za šinske sisteme u gradskom okruženju i kao ravnopravno alternativno rešenje na prugama za velike brzine.

U radu se definišu kriterijumske funkcije za ocenu nekih od priznatih evropskih varijantnih rešenja konstrukcije koloseka po stručnom izboru autora. Primenom postupka višekriterijumske optimizacije prikazuju se rezultati rangiranja varijanata za različita scenarija donošenja odluke.

Ključne reči: Železnica, kolosek na čvrstoj podlozi, višekriterijumska optimizacija

1. UVOD

Kod svih tipova konstrukcije koloseka na čvrstoj podlozi tucanički zastor je, kao najslabiji element, zamenjen materijalima kao što su beton ili asfalt, koji dugoročno obezbeđuju stabilnost geometrije koloseka i dug vek trajanja kolosečne konstrukcije (do 60 godina). Konstrukcije koloseka na čvrstoj podlozi stalno se unapređuju. Troškovi građenja još uvek su veliki, međutim, u postupku optimizacije treba posmatrati ukupne troškove u toku eksploatacionog veka koloseka, koji pored znatnih početnih investicionih troškova uključuju i niske troškove održavanja.

Moguće su različite podele konstrukcija koloseka na čvrstoj podlozi i jedna od uobičajenih podela je sledeća:

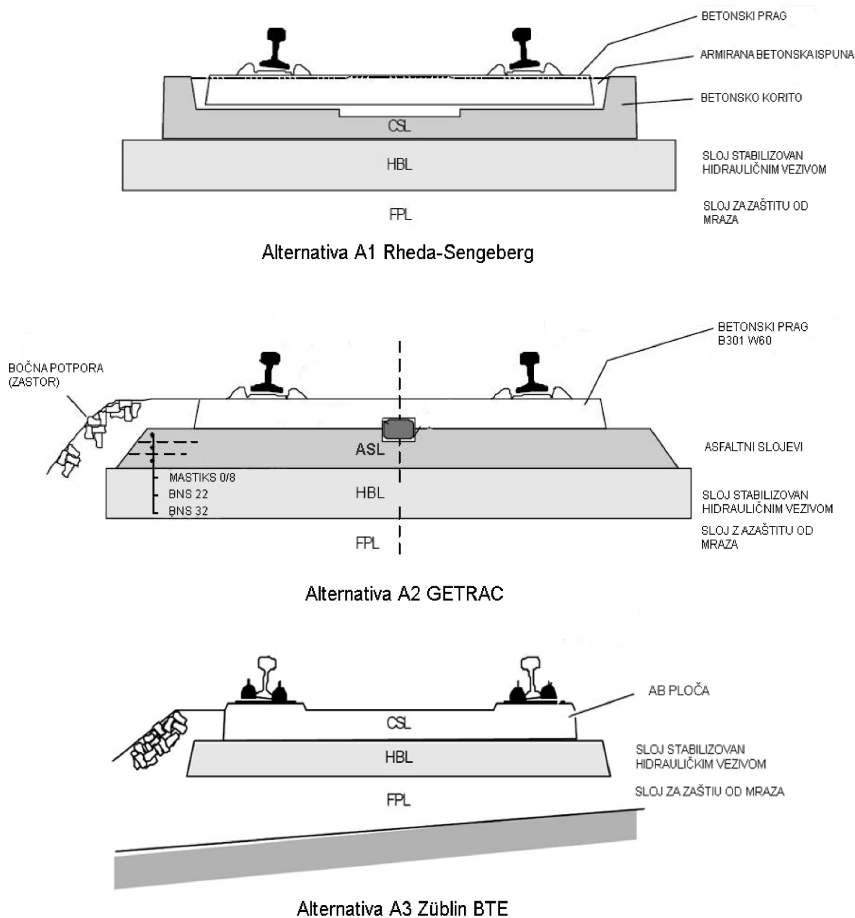
- kompaktna (monolitna) rešenja sa pragovima integrisanim u čvrstu podlogu,
- rešenja sa kolosečnom rešetkom sa pragovima, položenom na višeslojnu čvrstu podlogu od betona ili asfalta,
- monolitne konstrukcije koloseka bez pragova, sa šinama položenim direktno na betonsku podlogu,

¹ Leposava Puzavac, dipl inž. građ., Građevinski fakultet Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73, tel: 011 3218 564, e-mail: leposava@grf.bg.ac.yu

² Dr. Zdenka J. Popović, dipl inž. građ., Građevinski fakultet Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73, tel: 011 3218 564, e-mail: zdenka@grf.bg.ac.yu

- specijalna rešenja (npr. rešenje sa zalivenom šinom - ne razmatraju se u ovom radu).

U radu je prikazana višekriterijumska optimizacija priznatih varijantnih rešenja konstrukcije koloseka na čvrstoj podlozi po stručnom izboru autora. Za svaki od osnovnih tipova konstrukcija izabran je po jedan predstavnik. Iz grupe monolitnih rešenja sa integrisanim pragovima izabran je sistem Rheda-Sengeberg (videti sliku 1). Iz grupe rešenja sa kolosečnom rešetkom sa pragovima, položenom na višeslojnu čvrstu podlogu izabran je sistem GETRAC, dok je iz grupe monolitnih konstrukcija koloseka bez pragova izabran sistem Züblin BTE (videti sliku 1).



Slika 1. Shematski prikaz poprečnih preseka vrednovanih sistema konstrukcija koloseka na čvrstoj podlozi

2. KRITERIJUMSKE FUNKCIJE

Polazeći od osnovnih ciljeva, definišu se kriterijumske funkcije za višekriterijumsku optimizaciju. Neke kriterijumske funkcije su ekonomske prirode i mogu se izraziti novčanim jedinicama, što je najpogodniji način za poređenje. Druga grupa kriterijumskih funkcija može se izraziti samo u tehničkim jedinicama mera. Treća grupa kriterijuma ne može da se kvantifikuje i tada se dopušta vrednovanje na osnovu subjektivnih ocena kvaliteta.

Za višekriterijumsku optimizaciju sistema konstrukcije koloseka na čvrstoj podlozi usvojena je sledeća lista kriterijuma:

- troškovi građenja - f_1 ,
- brzina građenja – f_2 ,
- postojanost geometrije – f_3 ,
- visina konstrukcije – f_4 ,
- nivo buke – f_5 ,
- obnova nakon teške havarije – f_6 .

3. VREDNOVANJE ALTERNATIVA

• Troškovi građenja

Troškovi građenja se ovde odnose samo na izradu gornjeg stoja i utvrđuju se na osnovu predmera i predračuna radova. Definišu se pozicije radova i određuje njihov obim. Na osnovu jediničnih cena pojedinih radova dolazi se do ukupne vrednosti investicije. Troškovi građenja gornjeg stroja dati su u hiljadama dinara po metru koloseka, za svaki tip konstrukcije i preuzeti su iz merodavnog stručnog izvora. Cilj je minimum troškova građenja.

	VARIJANTA		
	A1	A2	A3
Troškovi građenja – f_1 (1000 din/m)	101.83	106.25	80.75

Tabela 1. Troškovi građenja

• Brzina građenja

Brzina građenja pojedinih varijanti preuzeta je takođe iz relevantnog stručnog izvora i data je u metrima izgrađenog koloseka po smeni, gde smena podrazumeva osmočasovni neprekidni rad. Odnosi se na vreme potrebno za izradu gornjeg stroja konstrukcija. Cilj je minimalna brzina građenja.

	VARIJANTA		
	A1	A2	A3
Brzina građenja – f_2 (m/smeni)	280	270	200

Tabela 2. Brzina građenja

- **Postojanost geometrije koloseka**

Kontrola geometrije koloseka na čvrstoj podlozi vrši se pomoću mernih kola koja registruju parametre geometrije kao što su nadvišenje, širina, vitopernost, stabilnost i smer koloseka i koja kao izlazni podatak daju indeks kvaliteta geometrije koloseka Q. Sa stanovišta održavanja bitna je postojanost geometrije ΔQ , izražena promenom indeksa Q tokom vremena. Cilj je minimalna vrednost promene indeksa kvaliteta geometrije koloseka.

	VARIJANTA		
	A1	A2	A3
Postojanost geometrije $\Delta Q - f_3$	0	1	4

Tabela 3. Postojanost geometrije

- **Visina konstrukcije**

Visina konstrukcije je bitan kriterijum u uslovima rekonstrukcije i elektrifikacije koloseka u tunelu ili koloseka ispod nadvožnjaka. Vrednosti u tabeli 4 odnose se na visinu od gornje površine sloja stabilizovanog hidrauličkim vezivom do gornje ivice šine.

	VARIJANTA		
	A1	A2	A3
Visina konstrukcije – f_4 (cm)	58.4	72.1	44.0

Tabela 4. Visina konstrukcije

- **Nivo buke**

Tipovi konstrukcija koje se razmatraju u ovom radu sve imaju mogućnost primene apsorbujućih elemenata. Vrednosti u dB(A), preuzete iz literature [1], odnose se na nivo buke uz korišćenje apsorbera.

	VARIJANTA		
	A1	A2	A3
Nivo buke – f_5 (dB(A))	56.0	51.6	53.0

Tabela 5. Nivo buke

- **Obnova nakon teške havarije**

Na sreću, praktična iskustva vezana za obnovu nakon teške havarije ne postoje. Svim alternativama se može pripisati ista ocena tako da ovaj kriterijum nije potrebno koristiti u vrednovanju.

Vrednosti kriterijumskih funkcija prikazane su u tabeli 6.

Kriterijumska funkcija		J.m.	Ekst.	VARIJANTA		
				A1 Rheda- Sengeberg	A2 GETRA C	A3 Züblin BTE
TROŠKOVI GRADENJA	f_1	1000 din/m	min	101.83	106.25	80.75
BRZINA GRADENJA	f_2	m/smeni	min	280	270	200
POSTOJANOST GEOMETRIJE ΔQ	f_3		min	0	1	4
VISINA KONSTRUKCIJE	f_4	cm	min	58.4	72.1	44.0
NIVO BUKE	f_5	dB(A)	min	56.0	51.6	53.0

Tabela 6. Vrednosti kriterijumskih funkcija

4. NUMERIČKI REZULTATI

Vrednovanje je vršeno prema metodi VIKOR za Višekriterijumsko KOMPromisno Rangiranje (ili Višekriterijumsko KOMPromisno Rešenje) (videti lit. [3]). Kao što je poznato, zadavanje vrednosti težina kriterijuma je poseban problem u višekriterijumskoj optimizaciji i njegovo rešavanje zavisi od strukture preferencije donosioca odluke i načina njenog iskazivanja i formulisanja. Problem se obično rešava ili analizom strukture preferencije (na primer metodom „Delfi“) ili simulacijom strukture preferencije zadavanjem različitih vrednosti težina kriterijuma za nekoliko „scenarija“.

U radu su urađena četiri „scenarija“. Prvi „scenario“ (I) označava jednak značaj kriterijuma. Drugi „scenario“ (II) daje veći značaj troškovima što odgovara preferenciji investitora. Treći „scenario“ (III) favorizuje zahteve rekonstrukcije. Četvrti „scenario“ (IV) je ekološki i veću težinu zadaje kriterijumu vezanom za zaštitu životne sredine.

Rangiranje alternativa vršeno je za data „scenarija“ i korišćenjem programskog paketa VIKOR dobijene su sledeće rang liste:

I **A3 A2 A1**

II **A3 A2 A1**

III **A1 A3 A2** (prednost A1 je 11.7%, a A3 je 51.0%)

IV **A3 A2 (A1)** (prednost A3 je 17.3%, a A2 je 82.7%)

Alternativa A3 Züblin BTE se izdvaja kao kompromisno rešenje za I i II kombinaciju vrednosti težina, dok se za III i IV kombinaciju vrednosti težina nalazi u skupu kompromisnih rešenja. Po scenariju IV alternativa A1 je zapravo favorit jer se odnosi na kolosek u tunelu.

Analizirajući rešenja dobijena VIKOR-om može se izvesti sledeći zaključak:

Donosiocu odluke se predlaže da usvoji alternativu A3 tj. sistem Züblin BTE. Sistem Züblin BTE ima dovoljnu prednost da bude sam kompromisno rešenje ako se daje podjednak značaj svim kriterijumima, ili ako se veći značaj da kriterijumima vezanim za troškove investitora. Ako se da veći značaj kriterijumu koji se odnosi na nivo buke, ovaj sistem ostaje na prvom mestu u skupu kompromisnih rešenja, dok je osetljiv na promene značaja kriterijuma vezanih za zahteve rekonstrukcije.

Predloženo optimalno rešenje ima veliku šansu da bude prihvaćeno kao dobar kompromis između različitih konfliktnih interesa učesnika u odlučivanju, jer je prihvatljivo od većine u procesu odlučivanja i ima prihvatljive kriterijumske pokazatelje i za eventualne „opponente“.

LITERATURA

[1] Becker S., Lier K.: Bewertung und Variantenvergleich von Bauarten der Festen Fahrbahn, Der Eisenbahningenieur 2/99, s.52-57, 1999

[2] Darr E., Fiebig W.: Feste Fahrbahn, Tetzlaff Verlag, Hamburg, 1999

[3] Opricović S.: Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu , Beograd, 1998

[4] Popović Z.: Održavanje koloseka na čvrstoj podlozi, Železnice, 3-4/02, str.108-114, Beograd, 2002

[5] Puzavac L.: Višekriterijumska optimizacija sistema konstrukcije koloseka na čvrstoj podlozi, seminarski rad, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2006

ASSESSMENT AND COMPARISON OF VARIANTS OF SLAB TRACK SYSTEMS

Summary: *Slab track systems have been in use for more than a hundred years; first as metro and tunnel systems, and today as standard solution to track systems in urban surroundings and alternative solution to high-speed lines. This paper defines criteria functions for assessment of some slab track systems used in Europe. Results of variants rank are obtained by applying procedure of Multiple Criteria Optimization and use of different decision making scenarios.*

Key words: *Railway, slab track, multiple criteria optimization*