

NAUČNO-STRUČNI ČASOPIS ŽELEZNICA SRBIJE • UDK 656.2 (05) • ISSN 0350-5138

ŽELEZNICE

VOL. 62 • BROJ 4 • STRANA 197-264 • BEOGRAD • DECEMBAR 2017. GODINE



138 GODINA POVERENJA.



SAOBRAĆAJNI INSTITUT

CIP

Saobraćajni institut CIP d.o.o.
Generalni direktor

Milutin Ignjatović, dipl.inž.
11000 Beograd, Nemanjina 6/IV
Tel: 011/361-69-29, 361-82-87
Faks: 011/361-67-57
E-mail: office@sicip.co.rs
www.sicip.co.rs



Kroz dugu tradiciju svog postojanja, rada i razvoja Saobraćajni institut CIP d.o.o. je izrastao u jednu od najvećih istraživačko-projektnih kompanija u regionu. Osnovan za projektovanje prve železničke pruge u Kneževini Srbiji, projektovao je sve pruge u Srbiji i bivšoj Jugoslaviji. Danas, Saobraćajni institut CIP d.o.o. pokriva kompletne usluge od izvođenja geodetskih radova, geoloških istraživanja, laboratorijskih ispitivanja iz oblasti zaštite životne sredine, izrade studijske, planske i tehničke dokumentacije, stručne i tehničke kontrole tehničke dokumentacije, ispitivanja konstrukcija, stručnog nadzora u toku izgradnje objekata, tehničkog pregleda objekata, inženjering - konsalting usluga. Projekti železničke i drumske infrastrukture, gradskih saobraćajnih sistema, objekata visokogradnje, sportskih i specijalnih objekata, stalne su aktivnosti na kojima se dokazuje visokim kvalitetom i kratkim rokovima. Navedene aktivnosti se odvijaju u okviru 13 organizacionih jedinica, a izvode u skladu sa odgovarajućim dokumentima Integrisanog sistema menadžmenta /ISO standarda, zakonom o planiranju i izgradnji, ostalim referentnim zakonima i podzakonskim aktima, kao i opštim aktima Saobraćajnog instituta CIP d.o.o.



IZDAJE



Društvo diplomiranih inženjera
železničkog saobraćaja Srbije (DIŽS)
Beograd, Nemanjina 6

Odgovorno lice izdavača

Danko Trninić, dipl. inž. saob.
predsednik

REDAKCIJA

Glavni urednik

Prof. dr Milan Marković, dipl. inž. saob.

Odgovorni urednik

Vesna Gojić Vučićević, dipl. nov.

Tehnički urednik

Miodrag Ivanović, dipl. inž. saob.

Lektor

Ksenija Petrović, dipl. filol.

Dizajn korica

mr Nenad Vojičić, akad. slik.

PERIODIČNOST

Tromesečno

TIRAŽ

300 primeraka

ŠTAMPA

Instant system d.o.o.
Beograd, Čarlija Čaplina 33

KONTAKT

tel. +381 11 3613 219
E-mail: casopis-zeleznice@dizs.org.rs
www.dizs.org.rs
www.zeleznicesrbije.com

ORIGINALNI NAUČNI RAD

*Aleksandar Blagojević, Gordan Stojić, Mladen Kuravica,
Sanja Simić, Života Đorđević*

**Definisanje i vrednovanje kriterijuma za ocjenu
efikasnosti željezničkih operatera 201**

PREGLEDNI RAD

Ranko Babić

Energetska efikasnost vozova velikih brzina 211

PRETHODNO SAOPŠTENJE

Dušan Vujović, Norbert Pavlović

**Analitičke metode za proračun dužine zaustavnog puta
vozova kod uređaja Siemens I60 228**

Aleksandra Gojić

**Analiza evropskog tržišta transporta robe i efikasnosti
željezničkih operatera 242**

STRUČNI RADOVI

Ivan Jugović, Mia Viduka Milas

**Korišćenje mjerno-dijagnostičkih sustava za povećanje
sigurnosti željezničkog prijevoza i smanjivanje troškova
održavanja infrastrukture 250**

Uroš Stanimirović, Miroslav Prokić

Integrirani granični prelaz 257

REDAKCIONI ODBOR

Miroslav Stojčić, dipl. inž. saob. (predsednik)

Danko Trninić, dipl. inž. saob.

Dušan Garibović, dipl. ekon.

Josip Ujčić, dipl. inž. saob.

Jugoslav Jović, dipl. inž. maš.

mr Ljubomir Bečejac, dipl. inž. maš.

Milutin Ignjatović, dipl. inž. geol.

Milutin Milošević, dipl. inž. saob.

mr Miodrag Poledica, dipl. inž. saob.

Momčilo Tunić, dipl. inž. saob.

Nenad Kecman, dipl. inž. saob.

Nikola Tomić, dipl. soc.

mr Petar Odorović, dipl. prav.

mr Rajko Ković, dipl. ekon.

UREĐIVAČKI ODBOR

Prof. dr Milan Marković, dipl. inž. saob. (predsednik)

dr Aleksandar Radosavljević, dipl. inž. maš.

Prof. dr Bojan Ilić, dipl. ekon.

Doc. dr Borna Abramović, dipl. inž. saob.

Prof. dr Božidar Radenković, dipl. inž. org.

Prof. dr Branislav Bošković, dipl. inž. saob.

Akademik Branislav Mitrović, dipl. inž. arh.

Doc. dr Danijela Barić, dipl. inž. saob.

Prof. dr Dragomir Mandić, dipl. inž. saob.

Prof. dr Dragutin Kostić, dipl. inž. elek.

Prof. dr Dušan Stamenković, dipl. inž. maš.

dr Ešref Gačanin, dipl. inž. maš.

Prof. dr Goran Marković, dipl. inž. saob.

Prof. dr Goran Simić, dipl. inž. maš.

Prof. dr Gordan Stojić, dipl. inž. saob.

Prof. dr Ilija Tanackov, dipl. inž. saob.

dr Kire Dimanoski, dipl. inž. saob.

Prof. dr Marko Vasiljević, dipl. inž. saob.

Prof. dr Milorad Kilibarda, dipl. inž. saob.

Prof. dr Miloš Ivić, dipl. inž. saob.

Prof. dr Nebojša Bojović, dipl. inž. saob.

dr Peter Verlič, dipl. inž. građ.

dr Rešad Nuhodžić, dipl. inž. saob.

Prof. dr Slavko Vesković, dipl. inž. saob.

Prof. dr Snežana Mladenović, dipl. mat.

Doc. dr Stanislav Jovanović, dipl. inž. građ.

dr Vesna Pavelkić, dipl. fiz. hem, prof. str. st.

Prof. dr Vojkan Lučanin, dipl. inž. maš.

Prof. dr Zdenka Popović, dipl. inž. građ.

Prof. dr Zoran Avramović, dipl. inž. elek.

dr Zoran Bundalo, dipl. inž. saob, prof. str. st.

dr Zoran Milićević, dipl. inž. elek.

dr Zorica Milanović, dipl. inž. saob, prof. str. st.

dr Života Đorđević, dipl. inž. maš.

UPUTSTVO AUTORIMA I SARADNICIMA ČASOPISA „ŽELEZNICE“

1. OPŠTE ODREDBE

Autori su obavezni da radove pripreme i dostave Redakciji časopisa prihvatajući i poštujući sva pravila navedena u ovom uputstvu i odgovorni su za originalnost i kvalitet radova, kao i verodostojnost rezultata.

Svi radovi podležu recenziji. Autorima se neće saopštavati imena i prezimena recenzenata.

Radovi mogu biti na minimalno 10 strana A4 formata uključujući i sve priloge, a preporuka je da nisu duži od 15 strana. Pisati ih u programu Microsoft Word fontom Cambria sa proredom „single” i vrednostima „0” u opcijama „before” i „after”. Između svakog naslova, podnaslova i pasusa ostaviti po jedan prazan red. Koristiti mod „justify”. Gornja i donja margina treba da su 3 cm, a leva i desna 2,2 cm.

Radove pripremiti u dve verzije: crno-beloj za štampano i kolor za elektronsko izdanje. Za obe verzije slike i fotografije napraviti u JPG, TIFF ili PNG formatu minimalne rezolucije 300 dpi.

Radove, sa svim priložima, dostaviti Redakciji časopisa na sledeći način:

- dva odštampana crno-bela primerka na belom papiru formata A4 predati na adresu „Društvo diplomiranih inženjera železničkog saobraćaja Srbije, Beograd, Nemanjina 6”,
- obe verzije (crno-belu i kolor) poslati na e-mail „casopis-zeleznice@dizs.org.rs” ili predati na navedenu adresu snimljene na elektronskom mediju.

Autori su obavezni i da za svaki rad posebno Redakciji časopisa dostave u štampanom obliku potpisanu „Izjavu o autorstvu i originalnosti rada”.

2. TEHNIČKA PRIPREMA

Puna imena i prezimena autora i koautora, sa fusnotom, napisati velikim „bold” slovima uz desnu marginu.

Naslov rada može biti najviše u dva reda. Napisati ga velikim „bold” slovima veličine 18 na sredini stranice. Naslov se mora dati i na engleskom jeziku.

Rezime rada (kratak pregled istraživanja i ostvarenih rezultata) obima 100–200 reči, napisati malim slovima veličine 11, a potom u novom redu navesti do 7 **ključnih reči**. Oba dela moraju se dati i na engleskom jeziku.

U **fusnoti** za svakog autora i koautora navesti akademsku titulu, ime, prezime i zvanje, naziv i adresu institucije u kojoj je zaposlen (za penzionere i nezaposlena lica adresu stanovanja) i e-mail adresu.

Poglavlja i potpoglavlja pisati u dve kolone (stupca) razmaka 8 mm. Naslove pisati slovima veličine 12: velikim „bold” ako su sa jednim, malim „bold” ako su sa dva i malim „bold italic” ako su sa tri arapska broja. Tekstove poglavlja i potpoglavlja pisati slovima veličine 11. U svakom pasusu dozvoljeno je po jedno nabranje i podnabranje formatizovano u alineje.

Jednačine po pravilu pisati u jednoj koloni, a one duže mogu da budu i preko obe kolone. Numerisati ih uz desnu marginu u malim (okruglim) zagradama i na te brojeve se pozivati u tekstu. Simboli koji se koriste u jednačinama moraju da budu definisani pre ili neposredno posle njih. Promenljive se pišu „italic” slovima.

Tabele, grafikone, crteže i fotografije ubaciti na mesta gde se o njima govori u tekstu. Mogu da budu u jednoj koloni ili preko obe kolone. Numerišu se redom kako se pojavljuju i pišu „italic” slovima. Njihovi nazivi treba da su uz levu marginu iznad tabela, a na sredini ispod grafikona, crteža i fotografija.

Upotrebljavati **osnovne jedinice SI (MKS)** mernog sistema. Ako se moraju koristiti neke druge, obavezno ih naznačiti.

Skraćenice i akronime definisati kada se prvi put upotrebe u tekstu, čak i ako su već dati u rezimeu. Opšte poznate skraćenice ne treba da se obrazlažu.

U **zaključku** ne ponavljati deo opisan u rezimeu. U njemu objasniti značaj rada ili predložiti moguću primenu ostvarenih rezultata i navesti preporuke za dalja istraživanja na određenoj problematici.

Ako je predviđena „**ZAHVALNICA**” za pomoć u radu, napisati je kao posebno poglavlje pre literature.

Literatura se u tekstu navodi u srednjim [uglastim] zagradama po redosledu citiranja. Spisak se daje u poslednjem poglavlju rada, pod nazivom „**LITERATURA**”. Sve navedene relevantne reference iz posmatrane oblasti treba da budu tačne i kompletne, t.j. da potpuno opisuju izvore podataka.

3. PRIMER FORMATIZOVANJA RADA

JOVAN JOVANOVIĆ*, PETAR PETROVIĆ**

NASLOV RADA

NASLOV RADA NA ENGLISKOM JEZIKU

Rezime: tekst obima 100–200 reči

Ključne reči: vreme, transformacija, koncentracija

Summary: prevod rezimea na engleski jezik

Key words: time, transformation, concentration

1. POGLAVLJE

1.1. Potpoglavlje

1.1.1. Potpoglavlje

Primer za formulu:

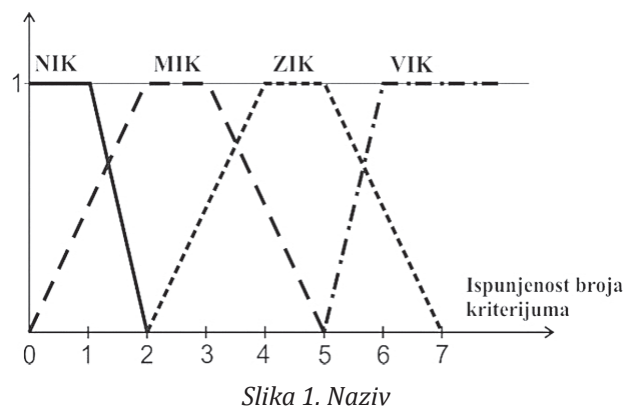
$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

Primer za tabelu:

Tabela 1. Naziv

Period dana	Srednji inter. sl. (min)	Iskoriš. kapac. (%)	Broj vozova		
			putnički	teretni	Σ
05-23	12,5	84	28	8	36
23-05	10,7	62	4	10	14
Ukupno			32	18	50

Primer za grafikon, crtež i fotografiju:



Primer navođenja literature za rad objavljen u časopisu [1], knjigu [2], poglavlje u monografiji (knjizi) sa više autora [3], rad objavljen u zborniku radova sa konferencije [4] i članak preuzet sa veb sajta [5]:

LITERATURA

- [1] Rongrong L, Yee L: *Multi-objective route planning for dangerous goods using compromise programming*, Journal of Geographical Systems, Vol. 13. No. 3, pp. 249-271, 2011.
- [2] Law A: *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill Inc, New York, 2007.
- [3] Stojić G; Tanackov I; Vesković S; Milinković S: *Modeling Evaluation of Railway Reform Level Using Fuzzy Logic*, Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Data Engineering And Automated Learning, Ideal '09, Burgos, Spain, Springer-Verlag Berlin, Germany, 5788: pp. 695-702, 2009.
- [4] Mladenović S, Čangalović M, Bečejski-Vujaklija D, Marković M: *Constraint programming approach to train scheduling on railway network supported by heuristics*, 10th World Conference on Transport Research, CD of Selected and Revised Papers, Paper number 807, Abstract book I, pp. 642-643, Istanbul, Turkey, 2004,
- [5] Tod L, Tom R: *Evaluating Public Transit Accessibility "Inclusive Design" Performance Indicators For Public Transportation In Developing*, <http://www.vtpi.org/tranacc.pdf>, 2005.

* Prof. dr Jovan Jovanović, dipl. inž. saob, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, j.jovanovic@sf.bg.ac.rs

** Mr Petar Petrovic, dipl. ekon, Infrastruktura železnice Srbije, Beograd, Nemanjina 6, petar.petrovic@srbrail.rs

ALEKSANDAR BLAGOJEVIĆ*, GORDAN STOJIC**, MLADEN KURAVICA***, SANJA SIMIĆ****, ŽIVOTA ĐORĐEVIĆ*****

**DEFINISANJE I VREDNOVANJE KRITERIJUMA ZA OCJENU EFIKASNOSTI
ŽELJEZNIČKIH OPERATERA¹****DEFINING AND ASSESSMENT OF CRITERIA FOR THE EVALUATION OF
EFFICIENCY AND EFFECTIVENESS OF RAILWAY UNDERTAKING**Datum prijema rada: 1.12.2017. god.
UDK: 656.1/.2(082)(0.034.4)**REZIME**

Osnovni cilj evropske politike željezničkog transporta je osnivanje jedinstvenog željezničkog prostora. Otvaranjem željezničkog sektora tržišnoj konkurenciji željeznički operateri primorani su da se ponašaju kao i sva druga savremena preduzeća na drugim tržištima i u drugim industrijama, što znači da moraju konstantno razvijati i održavati konkurentske prednosti, odnosno da budu bolja od drugih. U današnjim konkurentski vrlo intenzivnim uslovima to je i najteže postići. Pred željezničkim operaterima je postavljen izazov koji podrazumijeva pronalaženje optimalnih rješenja da posluju efikasno i efektivno, da bi na transportnom tržištu ne samo opstali već i da razviju i održavaju svoje konkurentske prednosti. Širok je spektar kriterijuma koji mogu biti proučavani kada je u pitanju efikasnost željezničkih operatera. Cilj ovog istraživanja je da se definišu i vrednuju kriterijumi koji utiču na efikasnost željezničkih operatera i povećanje njihove konkurentske sposobnosti.

Ključne riječi: željeznički operater, efikasnost, kriterijum, fazi AHP

SUMMARY

The main objective of the European policy of rail transport is the development of a single railway area. The opening of railway sector to market competition impose that railway undertakings behave like any other modern enterprises in other markets and in other industries. It means, they must constantly develop and maintain competitive advantages, and be better than others. In today's very intense competition conditions this is the most difficult to achieve. The railway undertakings are challenged to find optimal solutions to operate efficiently and effectively, in order not only to survive on the transport market, but also to develop and maintain a competitive advantage. A wide range of criteria can be studied when it comes to the efficiency of railway undertakings. The aim of this study is to define and evaluate the criteria that influence the efficiency of railway undertakings and increasing of their competitive ability and to propose a model for the evaluation of the effectiveness and efficiency of railway undertakings in order to increase the competitive ability.

Key words: Railway undertaking, efficiency, criteria, fuzzy AHP

* Dr Aleksandar Blagojević, dipl. inž. saob, Visoka škola za primijenjene i pravne nauke „Prometej“, Banja Luka, Knjaza Miloša 10a, aleksandar.blagojevic23@gmail.com

** Prof. dr Gordan Stojić, dipl. inž. saob, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, gordan_st@yahoo.com

*** Mladen Kuravica, Željeznice Republike Srpske, Doboj, Svetog Save 71, kuravicam@gmail.com

**** Sanja Simić, Saobraćajni fakultet, Doboj, Vojvode Mišića 52, sanja_88_simic@yahoo.com

***** Dr Života Đorđević, dipl. inž. maš, Željeznice Srbije, Beograd, Nemanjina 6, zivota.djordjevic@srbrail.rs

¹ Ovaj rad je u skraćenoj verziji prezentovan na VI međunarodnom simpozijumu Novi Horizonti saobraćaja i komunikacija 2017. koji je održan 17. i 18. novembra 2017. godine na Saobraćajnom fakultetu u Doboju Univerziteta u Istočnom Sarajevu.

1. UVOD

Danas, savremeno poslovanje prvenstveno podrazumijeva izrazito zahtjevnu tržišnu borbu, bez obzira na to da li se radi o proizvodnji ili pružanju transportnih usluga. Oštra konkurencija zahtijeva da organizovanost kompanija postane centralna determinanta poslovanja, a aktivnosti koje se sprovode budu potpuno usklađene i finansijski isplative kako za nosioca, tako i korisnika usluga. U cilju opstanka na tržištu, kompanije nastoje da pronađu optimalan odnos između uložених resursa i ostvarenih ciljeva.

Željeznički sistem u Evropi nalazi se u ciklusu velikih promjena. Promjene se događaju u svim dijelovima saobraćajnog sistema, a najveći je u željezničkom sektoru i to na području organizacije preduzeća i položaja željeznice u saobraćajnom sistemu država. Imajući u vidu da je većina željezničkih uprava bila organizovana na nacionalnom nivou, a da su pri tome imali monopolski položaj na nacionalnom željezničkom tržištu, kao logično rješenje nametnulo se uvođenje jedinstvenog željezničkog tržišta i konkurencije na njemu. Evropska unija želi efikasniju željeznicu, koja nije sputana granicama država i koja će poslovati po principima tržišne ekonomije. Otvaranjem željezničkog sektora tržišnoj konkurenciji, željeznički operateri primorani su da se ponašaju kao i sva druga savremena preduzeća na drugim tržištima i u drugim industrijama, što znači da moraju konstantno razvijati i održavati konkurentske prednosti, odnosno da budu bolji od drugih. U današnjim konkurentski vrlo intenzivnim uslovima to je i najteže postići. Pred željezničkim operaterima je postavljen izazov koji podrazumijeva pronalaženje optimalnih rješenja da posluju efikasno i efektivno, da bi na transportnom tržištu ne samo opstali, već i da razviju i održavaju svoje konkurentske prednosti. Da bi se ocijenilo pravilno izvođenje operacija u prevozu putnika i robe željeznicom, odnosno efikasnost željezničkih operacija, neophodno je definisati i odreditи odgovarajuće indikatore. Imajući u vidu da efektivnost u željezničkom saobraćaju čini broj usluga u ponudi i sadržaji usluga koje su realizovane, neophodno je da se odrede kriterijumi koji mogu da definišu efikasnost.

Donošenje odluke o izboru kriterijuma za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera je veoma složen proces i spada u domen strateških odluka. Donošenje ove odluke je u funkciji upravljanja željezničkim operaterom i kao takva, ova aktivnost je složena, kreativna i permanentna. Da bi donijeli odluku o izboru kriterijuma za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera, neophodno je vrednovanje predloženih varijantnih rješenja različitih kriterijuma. Kako ih vrednovati ključno je pitanje kod opredjeljenja metode. Širok je spektar kriterijuma koji mogu biti proučavani kada je u pitanju efikasnost i efektivnost željezničkih operatera. U većini slučajeva postoji više kriterijuma koji su vrlo često međusobno konfliktни. Za izbor najbolje metode vrednovanja ili odlučivanja kod izbora kriterijuma dosadašnja iskustva i literatura iz ove oblasti ukazuju da problem treba rješavati metodama višekriterijumskog odlučivanja. U ovom radu je eksperimentisano sa jednom od najpopularnijih metoda za donošenje odluka danas – Fazi analitičko-hijerarhijski proces (FAHP).

2. FAZI ANALITIČKO-HIJERARHIJSKI PROCES (FAHP)

Metoda Analitičko-hijerarhijski proces (AHP) koju je razvio Tomas Saaty je vrlo raširena, u upotrebi je već preko 25 godina i razvijen je veći broj softvera za njenu podršku u primjeni. Ova metoda predstavlja alat u analizi odlučivanja, kreiran da pruži pomoć donosiocima odluke u rješavanju kompleksnih problema odlučivanja u kojima učestvuje veći broj donosilaca odluke, veći broj kriterijuma i u višestrukim vremenskim periodima. Detaljna objašnjenja ove metode su data u mnogim literaturama koja tretiraju teoriju odlučivanja. U tom smislu u radu se prikazuje novi pristup metode AHP primjenom intervalnih fuzzy brojeva i primjena modifikovane metode fuzzy AHP u definisanju i vrednovanju kriterijuma koji utiču na ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera.

Različite metode za prevođenje prethodno pomenute AHP metode u njen fazi oblik date su u literaturi (Bottani, 2005; Mikhailov, 2002). Dalje, u radu (Van Laarhoven i Pedrcyz, 1983) predlaže se prva studija koja uvodi principe fazi logike u AHP metod, u kojoj se koriste trouglasti fazi brojevi. Istovremeno, istraživanje iz Buckley (1985) inicira

da se trapezoidnim fazi brojevima izražavaju procjene donosilaca odluka dok su autori studije (Boender i sar. 1989) predstavili modifikaciju fazi višekriterijumske metode koja je predložena u radu Chang (1996). U istraživanju iz rada (Chang, 1996) težine kriterijuma se izračunavaju kao minimizacija logaritamske regresione funkcije. Na taj način, težine alternativa se računaju po svakom kriterijumu ponaosob, dok se agregacijom izračunatih težina može odrediti fazi konačan rezultat alternativa. Studija (Cebi i Bayraktar, 2003) predstavlja jedan novi pristup za rješavanje fazi AHP (FAHP) koji koristi trouglaste fazi brojeve. Ovaj pristup nazvan je prošireni analitički metod koji se može sumirati na sljedeći način: definisati funkciju pripadnosti za svaki atribut i pod-atribut, zatim izračunati njihov stepen pripadnosti i na kraju primijeniti fazi AHP za agregaciju težina. Takođe, Vesković S., i dr. (2015) primjenjuju FAHP za vrednovanje kriterijuma obaveza javnog prevoza.

Fazi skupovi generalno koriste trouglaste, trapezoidne i Gausove fazi brojeve, koji konvertuju neizvjesne brojeve u fazi brojeve. Korišćenje komplikovanijih fazi brojeva, kao što su trapezoidni ili Gausovi, omogućava precizniji opis problema odlučivanja. Međutim, trouglasti fazi brojevi se takođe dosta primjenjuju i to naročito u sljedećim okolnostima:

- kada postoji veća kompleksnost izračunavanja kao posljedica složenosti funkcija,
- kada se pojednostavljaju fazi matematičke operacije usljed korišćenja trouglastih fazi brojeva,
- kada se teže definišu funkcije pripadnosti kao posljedica složenosti fazi brojeva i
- kada trouglasti fazi brojevi efikasno reprezentuju procjene koje su donijete od strane većeg broja donosilaca odluka.

Za rješavanje problema definisanja i vrednovanja kriterijuma za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera u ovom radu korišćeni su trouglasti fazi brojevi (Chang, 1996).

3. KRITERIJUMI ZA OCJENU EFIKASNOSTI I EFEKTIVNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATERA ZA TRANSPORT PUTNIKA

U svrhu definisanja i vrednovanje kriterijuma izvršeno je istraživanje najčešće korišćenih kriterijuma za efikasnost i efektivnost željezničkih

preduzeća iz dostupne literature. Na osnovu sprovedenog istraživanja zaključeno je da se koristi veći broj kriterijuma. Grupisanje kriterijuma u željezničkom sistemu se može izvršiti na različite načine. Sa aspekta nivoa mjerenja moguće je definisati kriterijume na strateškom, taktičkom i operativnom nivou. Željeznički sistemi predstavljaju kompleksne sisteme sa brojnim, međusobno uslovljenim podsistemima, procesima i aktivnostima. Svaki podsistem, proces ili aktivnost karakterišu određeni kriterijumi. Na osnovu literature i određenih saznanja definisani su sljedeći kriterijumi za operatere za transport putnika koji su prikazani u tabeli 1, a po sličnom principu se mogu definisati i kriterijumi za operatere za transport robe.

Detaljna obrazloženja, suština i značenje svih grupa kriterijuma dati su u nastavku rada. Svi kriterijumu su sa linearnom preferencijom i ocjenjuju se prema lingvističkoj skali značaja date u tabeli 2.

3.1. Kriterijumi grupe resursa (kapaciteta)

Prva grupa kriterijuma je razmatrana na osnovu dužine mreže, ukupnog broja zaposlenih i raspoloživog broja vozničkih sredstava željezničkih operatera. Efikasnost i efektivnost koju željeznički operateri postižu obavljajući svoju djelatnost, zavisi od rezultata rada koji su postignuti korišćenjem resursa (kapaciteta). Postoji potreba da se zna stanje resursa i u kojoj mjeri su resursi korišćeni. Kriterijum dužina mreže se odnosi na karakteristike mreže i uveliko utiče na efikasnost željezničkog operatera, odnosno za operatere je bitno da željeznička mreže bude razgranata i dobro povezana, a osim toga bitno je da je dobro povezana i sa međunarodnim linijama. Raspoloživi broj vozničkih sredstava je jedan od ključnih kriterijuma konkurentnosti željezničkih operatera na otvorenom transportnom tržištu. Osnovna sredstva željezničkih operatera koja imaju funkciju sredstava rada u procesu proizvodnje transportnih usluga su vozna sredstva. Vozna sredstva obuhvataju vučna sredstva, odnosno lokomotive i druga sredstva sa sopstvenim pogonom i vučena sredstva, odnosno sve vrste kola za transport putnika. Za željezničkog operatera od posebnog je značaja postići optimalan kapacitet koji podrazumijeva takvo korišćenje vozničkih sredstava

Tabela 1. Kriterijumi za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkog operatera za transport putnika

Grupa	Kriterijumi
Kriterijumi resursa (kapaciteta)	Dužina mreže Raspoloživi broj voznih sredstava Broj zaposlenih
Operativni kriterijumi	Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika Broj prevezenih putnika Putnički kilometri Vozni kilometri Realizacija reda vožnje – broj otkazanih vozova
Finansijski kriterijumi	Ukupan prihod Dobit po zaposlenom Troškovi električne energije Troškovi goriva Troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture
Kriterijumi kvaliteta usluga	Raspoloživost usluge Pogodnost - sposobnost ponuđenih usluga Stabilnost usluga Pouzdanost usluga
Kriterijumi bezbjednosti	Broj ozbiljnih nesreća po voznom kilometru Broj nesreća po voznom kilometru Broj incidenata po voznom kilometru

kojim će se postići relativno najpovoljniji odnos između trošenja njihovih upotrebnih svojstava, s jedne, i njihovog proizvodnog učinka, s druge strane. Liberalizacijom tržišta dolazi do sve jače konkurencije između operatera kako po obimu tako i po kvalitetu transportne usluge pa je veoma važno raspolagati sa savremenim voznim sredstvima. Broj zaposlenih jedan je od najosjetljivijih segmenata procesa restrukturiranja željezničkog sektora. Sistemi željezničkih preduzeća opterećeni su znatnim viškom broja zaposlenih koji je sve više izražen zbog negativnog trenda željezničkog saobraćaja, dok se s druge strane javlja deficit radne snage koja posjeduje znanja i iskustva potrebna za zadovoljavanje novih zahtjeva tržišta. Broj zaposlenih je važna komponenta efikasnog poslovanja željezničkih operatera jer u današnje vrijeme osnovu postizanja konkurentskih prednosti čine niski troškovi. Fiksni i operativni troškovi poslovanja pod sve većim su pritiskom i uglavnom bilježe trendove rasta. Željeznički operateri su po svojoj prirodi radno intenzivno industrija, što znači da jedan od glavnih pokretača troškova predstavlja trošak zaposlenih. Navedena tvrdnja poprima još veću težinu, ako se uzme u obzir činjenica da gotovo sve tranzicijske države, odnosno sistemi njihovih željeznica, imaju vrlo nepovoljnu produktivnost broja zaposlenih.

3.2. Kriterijumi operativne grupe

Druga grupa kriterijuma je razmatrana na osnovu komercijalne brzine vozova za prevoz putnika, broja prevezenih putnika, realizovanih putničkih i voznih kilometara, ali i realizacije reda vožnje-broj otkazanih vozova. Komercijalna brzina se može posmatrati kao operativni i kao kriterijum kvaliteta usluge. Efikasnost i efektivnost željezničkih operatera indirektno zavise od komercijalne brzine i vremena zadržavanja u željezničkim stanicama. Ako se uzme u obzir da organizacione mjere ne mogu značajno uticati na brzinu i vrijeme puta u toku obrta kola, može se zaključiti da, prema tom kriterijumu, odvijanje željezničkog saobraćaja zavisi od vremena zadržavanja, odnosno kriterijuma koji mogu biti pod uticajem organizacionih mjera. Drugim riječima, manje vrijeme zadržavanja, znači manji obrt kola i efikasniji transport. U uslovima daljeg razvoja željezničkog saobraćaja i uslovima sve većih zahtjeva koje privreda i stanovništvo postavljaju u pogledu brzine putovanja, odnosno transporta putnika, brzina saobraćajnih sredstava igraće sve značajniju ulogu u odlučivanju korisnika transporta pri izboru saobraćajnog puta. Zato će brzina transporta svakako biti jedan od najvažnijih faktora, koji se mora imati u vidu kada se vrše uporedne analize efikasnosti željezničkih operatera. Kriterijumi proizvodnog zadatka, transporta putnika, kao osnovne

djelatnosti željezničkog operatera, izražavaju se kroz broj prevezenih putnika. Željeznički operater transportom putnika ubire određene prihode preko kriterijuma koji daju mogućnost sagledavanja količine izvršenog rada. U transportu putnika to su putnički kilometri (proizvod broja prevezenih putnika i daljine prevoza). Željeznički operater izvršavajući transport izvršava određeni rad u putničkim kilometrima, što se smatra ostvarenom transportnom uslugom za koje se naplaćuje cijena za putnički kilometar. U kvantitativne kriterijume spadaju: broj otpremljenih i prispjelih putnika, kao i broj putnika koji tranzitiraju posmatranu prugu ili područje, ostvareni, odnosno planirani, putnički kilometri. Za svaku stanicu utvrđuje se broj otpremljenih putnika na osnovu računa o prodatim voznim kartama ili potrebnim službenim kartama. Broj prispjelih putnika posebno se ne evidentira, nego se obično uzima uslovno da je jednak broju otpremljenih putnika. *Putnički kilometri* određuju se po formuli: $\sum AL = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n A_j l_j)_i$, gdje je $j=1,2,\dots,n$ - broj različitih struktura putnika sa veličinom toka „ A_j ” prema dužinama relacija njihovog putovanja „ l_j ” na posmatranom pravcu, odnosno dionici „ j ”. *Vozni kilometri* karakterišu rad lokomotiva i kola (elektro ili dizel motornih garnitura) na jednoj mreži ili po pojedinim prugama i određuju se na sljedeći način: $\sum NL = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n N_j l_j)_i$, gdje je: „ N_j ” - broj putničkih vozova na posmatranoj relaciji „ j ”, dužine „ l_j ” kilometara, na pruži, dionici ili željezničkom transportnom preduzeću. Analogno se mogu odrediti *kolski kilometri* putničkih vozova ako se u prethodnom obrascu umjesto $\sum_{j=1}^n N_j l_j$ uzme $\sum_{j=1}^n N_j l_j m_j$, gdje je „ m_j ” srednji broj kola u sastavu voza na relaciji „ j ”. Realizacija reda vožnje (broj, odnosno procenat otkazanih vozova) označava odvijanje prevoza po tačno predviđenom redu vožnje. Organizacija saobraćaja predviđena redom vožnje uslovljena je u transportu putnika da zadovolji potrebe putnika te su polasci i dolasci vozova opredijeljeni ovim ciljevima. Održavanje reda vožnje posebno je važno u međunarodnom i međugradskom saobraćaju jer se na te prevoze nadovezuju brojne priključne veze istih i drugih saobraćajnih sredstava. Broj otkazanih vozova u velikoj mjeri utiče na efikasnost željezničkog saobraćaja i opredjeljenje putnika za izbor i vrstu transportne usluge.

3.3. Kriterijumi finansijske grupe

Treća grupa kriterijuma je razmatrana na osnovu ukupnog prihoda, dobiti po zaposlenom, troškovima električne energije, troškovima goriva i troškovima naknada za korišćenje željezničke infrastrukture. Prihod željezničkog operatera se ostvaruje prodajom proizvoda i usluga. Osnovna djelatnost željezničkog operatera je transport putnika i transport robe, a prihodi iz ove djelatnosti utvrđuju se kao transportni prihodi. U tom smislu, prihod predstavlja pouzdan kriterijum efikasnosti, ali i preduslov opstanka preduzeća. Ukoliko ne ostvari prihod, preduzeće ne može da opstane na tržištu. Otuda i obaveza željezničkih operatera da dobro spoznaju funkciju tražnje za njihovim uslugom, jer na taj način mogu da procjenjuju kojem nivou prihoda treba da teže odnosno da ga ostvare. Ukupan prihod preduzeća se realizuje kao proizvod transportne usluge i cijene usluge. Za transportnu uslugu, kao specifičan proizvod, odnos utrošenih proizvodnih faktora (troškova proizvodnje, usluge) i ostvarenih prihoda je utoliko značajniji jer se istovremeno sa proizvodnjom ostvaruje i njena konačna potrošnja, realizuju efekti ulaganja u proces transporta i ostvaruju proizvodni ciljevi (finansijski rezultat poslovanja željezničkog operatera). Transportni troškovi se definišu kao vrijednost činilaca utrošenih u procesu proizvodnje transportnih usluga, odnosno u procesu transporta putnika. U tom smislu, prema ekonomskoj suštini procesa proizvodnje transportnih usluga, osnovna struktura transportnih troškova obuhvata troškove predmeta rada koji su vrlo heterogena grupa ulaganja u proces transporta, a čine ih troškovi električne energije i troškovi goriva. Visina ovih troškova za određeni obim proizvodnje i tehnološki proces rada, uslovljena je objektivno normiranim utrošcima prema količini, strukturi i vrijednosti u određenom realnom vremenu i u velikoj mjeri utiče na ocjenu efikasnosti i efektivnosti operatera. Troškovima naknada za korišćenje željezničke infrastrukture se direktno utiče na stanje na transportnom tržištu. Novouvedene naknade utiču na mjesto i ulogu domaćeg/domaćih operatera na tržištu. U zavisnosti od stanja u kome se nalazi domaći operater (stanje tehničkih sredstava, tehnologije, organizacije, komercijalnog sektora i dr.) zavisice i njegov opstanak. Kada je domaći operater/operateri u stanju da pruži odgovarajući nivo kvaliteta transportne usluge,

visokim naknadama se destimuliše konkurencija na željezničkom tržištu. Ukoliko su naknade visoke neće postojati interes privatnog sektora za uvođenje novih operatera. Takođe ni strani operateri neće dolaziti u države i na željeznice gdje su ove naknade visoke. Sa druge strane, niske naknade povećavaju broj operatera i na slobodnom tržištu pobjeđuju bolje opremljeni, sposobniji, konkurentniji prevoznici. Ovo posebno važi za zemlje u tranziciji i zemlje u kojima su tek uvedene naknade. U zemljama i na željezničkim tržištima koja su nerazvijena i gdje domaći operater/operateri ne može da pruži odgovarajući nivo kvaliteta usluge, situacija je upravo obrnuta. Tamo visoke naknade može da podnese samo bolji, a to je obično strani operater, tako da se „guši” domaći. Niskim naknadama se stimuliše konkurencija pa će opet u ravnopravnim uslovima teško biti „odbraniti” domaćeg operatera. Iz ovoga se može izvući veoma važan zaključak, a to je da naknade direktno utiču na ocjenu efikasnosti operatera.

3.4. Kriterijum grupe kvaliteta usluge

Četvrta grupa kriterijuma je razmatrana na osnovu raspoloživosti usluge, pogodnosti-sposobnosti ponuđenih usluga, stabilnosti usluga i pouzdanosti usluga. Kvalitet usluge je ono što predstavlja ogledalo željezničkih operatera, ono što kupac vidi kao njihovu sliku. Kupac ne vidi poslovne prostore, opremu, tehnologiju, sistem upravljanja ili organizacionu strukturu. Sve što vidi jeste kvalitet usluge transporta. Kvalitet usluge željezničkih operatera predstavljaju ključne kompetencije, odnosno održive konkurentne prednosti u odnosu na druge operatere i značajno utiču na ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. Pogodnost-sposobnost ponuđenih usluga jeste kriterijum čiji je cilj da se željeznički operater prilagodi zahtjevima korisnika usluge u pogledu potrebnih kapaciteta, pokretljivosti i elastičnosti kako bi zadovoljili traženu uslugu. Pouzdanost je srž kvaliteta usluge željezničkog operatera imajući u vidu da se pouzdanost javlja kao najznačajnija kvalitativna karakteristika sa aspekta korisnika. Istraživanja pokazuju da je značajno veći efekat pouzdanosti kao mjere kvaliteta, na zadovoljstvo korisnika usluga nego korisnika proizvoda. Ovo proizilazi, prvenstveno, iz specifičnosti transportne usluge: involviranost korisnika u procesu proizvodnje, te sinhronizovanost procesa

proizvodnje i potrošnje, što ujedno otežava mjerenje i održavanje zadanog ranga pouzdanosti usluge. S toga je nivo pouzdanosti željezničke usluge veoma važan za željezničkog operatera.

3.5. Kriterijum grupe bezbjednosti

Četvrta grupa kriterijuma je razmatrana na osnovu broja ozbiljnih nesreća, nesreća i incidenata po voznom kilometru. Bezbjednost je bitan činilac u opredjeljenju korisnika transporta za pojedine saobraćajne grane, a time i značajan faktor veličine transporta i prihoda. Pored uticaja na veličinu transporta i prihoda, bezbjednost saobraćaja utiče na efikasnost operatera, tim što se željezničkim nesrećama oštećuju i uništavaju sredstva rada velike vrijednosti, prouzrokuju velike materijalne štete i prekidi saobraćaja koji takođe predstavljaju trošak željezničkom operateru. Ozbiljna nesreća označava svaki sudar ili iskliznuće vozova iz šina koje rezultira smrću najmanje jedne osobe ili ozbiljnim povredama pet ili više osoba ili veliko oštećenje vozničkih sredstava (označava oštećenje koje odmah može biti procijenjeno od strane željezničkog istražnog organa na ukupnu vrijednost od najmanje 2 miliona evra), infrastrukture ili čovjekove okoline, kao i svaku drugu sličnu nesreću sa očiglednim uticajem na regulisanje bezbjednosti na željeznici ili upravljanje bezbjednosti. Nesreća označava neželjeni ili nenamjerni iznenadni događaj ili poseban lanac takvih događaja koji imaju teške posljedice. Nesreće se dijele u sljedeće kategorije: sudari, iskliznuće iz šina, nesreće na pružnim prelazima, nesreće prema osobama prouzrokovane od strane vozničkih sredstava u pokretu, požari i ostalo. Incident označava svaki događaj, koji nije nesreća ili ozbiljna nesreća, a koji je povezan sa saobraćajem vozova i utiče na bezbjednost funkcionisanja. U cilju održavanja bezbjednosti na visokom nivou Evropska unija je u svojim dokumentima propisala granicu zajedničkih bezbjednosnih ciljeva.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Ocjena kriterijuma izvršena je na osnovu Fuzzy AHP metode. U ocjenjivanju relativne važnosti pojedinih kriterijuma za svaku grupu učestvovali su eksperti iz željezničkog sektora u BiH. Oni su popunili anketu u kojoj su ocijenili važnost svakog kriterijuma prema lingvističkoj skali preferencije

za svaku grupu. U tabeli 2. prikazana je konverzija lingvističkih varijabli u trouglaste fazi brojeve (Kilincici i Onal, 2011).

U daljem radu primjenjuju se standardni koraci FAHP metode (Stević, Ž. i dr. 2015). Relativne fazi težine svakog kriterijuma prikazane su u tabeli 5.

Tabela 2. Lingvistička skala značaja

Lingvistička skala značaja	Trouglasti fazi brojevi	Recipročna vrednost trouglastih fazi brojeva
Jednako	(1,1,1)	(1,1,1)
Umjereno	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)
Snažno	(3/2,2,5/2)	(2/5,1/2,2/3)
Veoma snažno	(5/2,3,7/2)	(2/7,1/3,2/5)
Izrazito	(7/2,4,9/2)	(2/9,1/4,2/7)

Rješavanju problema izbora kriterijuma najvišeg značaja za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera između naprijed pomenutih grupa, pristupilo se primjenom FAHP pristupa. Radi ilustrovanog primjera izbora kriterijuma najvišeg značaja u ovom radu prikazan je primjer izbora kriterijuma za grupu resursa. U tabeli 3. predstavljena je fazi matrica poređenja kriterijuma iz grupe kriterijuma resursa (Dužina mreže – A1, Raspoloživa vozna sredstva – A2, Broj zaposlenih – A3).

Izvršena komparativna analiza primjenom metode FAHP pokazala je da poređenjem tri kriterijuma iz grupe resursa, koji utiču na ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera, najveću težinu po ocjeni eksperata ima kriterijum „Raspoloživa vozna sredstva” sa relativnom težinom 0.683. Takođe, analogno po istom principu izvršeno je poređenje kriterijuma po parovima za svaku grupu. Relativni rang važnosti pojedinih kriterijuma na osnovnu poređenja kriterijuma po parovima za sve grupe u transportu putnika dat je u tabeli 6.

Tabela 3. Komparaciona matrica za grupu kriterijuma resursa za transport putnika

		A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	E1	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
	E2	(1,1,1)	(2/7,1/3,2/5)	(2/5,1/2,2/3)
	E3	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
	E4	(1,1,1)	(2/7,1/3,2/5)	(2/3,1,2)
	E5	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)
A ₂	E1	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E2	(5/2,3,7/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)
	E3	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
	E4	(5/2,3,7/2)	(1,1,1)	(1,1,1)
	E5	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)
A ₃	E1	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E2	(3/2,2,5/2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)
	E3	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)	(1,1,1)
	E4	(1/2,1,3/2)	(1,1,1)	(1,1,1)
	E5	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)

Fuzzy težina kriterijuma izračunava se uzimanjem geometrijske sredine odgovora stručnjaka (Lee, 2009), ovo je prikazano u tabeli 4.

Iz tabele se može zaključiti da za grupu Kriterijuma resursa najveću relativnu težinu ima Raspoloživi broj voznih sredstava (0.683), za grupu Operativnih

kriterijuma Broj prevezenih putnika (0.228), za grupu Finansijskih kriterijuma Troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture (0.221), za grupu Kriterijumi kvaliteta usluga Pogodnost –

sposobnost ponuđenih usluga (0.367) i za grupu Kriterijum bezbjednosti najveću relativnu težinu ima kriterijum Broj ozbiljnih nesreća (0.571) na osnovu ankete eksperata željezničkog sektora.

Tabela 4. Fazi komparaciona matrica za kriterijume grupe resursa

	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	(1,1,1)	(0.350, 0.425, 0.543)	(0.602, 0.870, 1.605)
A ₂	(1.840, 2.352, 2.860)	(1,1,1)	(0.891, 1.319, 1.697)
A ₃	(0.623, 1.149, 1.661)	(0.589, 0.758, 1.122)	(1,1,1)

Tabela 5. Prosječne i normalizovane relativne težine kriterijuma za grupu resursa

Kriterijumi	W'	W
Dužina mreže – A1	0.094	0.064
Raspoloživa vozna sredstva-A2	1	0.683
Broj zaposlenih – A3	0.370	0.253

Tabela 6. Relativni rang važnosti pojedinih kriterijuma na osnovu poređenja po parovima za sve grupe u transportu putnika

Grupa	Kriterijumi	W'	W
Kriterijumi resursa (kapaciteta)	Dužina mreže	0.094	0.064
	Raspoloživi broj voznih sredstava	1	0.683
	Broj zaposlenih	0.370	0.253
Operativni kriterijumi	Komercijalna brzina vozova za prevoz putnika	0.739	0.168
	Broj prevezenih putnika	1	0.228
	Putnički kilometri	0.881	0.201
	Vozni kilometri	0.925	0.211
	Realizacija reda vožnje – broj otkazanih vozova	0.843	0.192
Finansijski kriterijumi	Ukupan prihod	0.973	0.215
	Dobit po zaposlenom	0.968	0.214
	Troškovi električne energije	0.880	0.195
	Troškovi goriva	0.702	0.155
	Troškovi naknada za korišćenje željezničke infrastrukture	1	0.221
Kriterijumi kvaliteta usluga	Raspoloživost usluge	0.595	0.219
	Pogodnost - sposobnost ponuđenih usluga	1	0.367
	Stabilnost usluga	0.641	0.235
	Pouzdanost usluga	0.487	0.179
Kriterijumi bezbjednosti	Broj ozbiljnih nesreća po voznom km	1	0.571
	Broj nesreća po voznom km	0.567	0.324
	Broj incidenata po voznom km	0.183	0.105

5. ZAKLJUČAK

Efikanan željeznički transport je veoma bitna komponenta ekonomskog razvoja na globalnom i nacionalnom nivou. S toga je od posebne važnosti restrukturirati željeznice i razviti njihove konkurentske sposobnosti. Da bi na transportnom tržištu ne samo opstali, već i da bi mogli da razvijaju i održavaju konkurentske prednosti, moraju da posluju efikasno i efektivno. Efektivnost i efikasnost transportnih aktivnosti značajno utiču na profitabilnost poslovanja svih subjekata uključenih u proces, ali se ne mogu obezbijediti bez velikih napora u cilju procesa upravljanja kvalitetom i transportnim aktivnostima. Na osnovu analize željezničkih operatera i pregleda literature iz ove oblasti identifikovani su kriterijumi za transport putnika koji utiču na ocjenu efikasnosti i efektivnosti (ukupno 20 kriterijuma), a koji su razvrstani u grupe. Korišćena metoda FAHP, pokazala je iz svake grupe kriterijume koji su prioritetni za ocjenu efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera. Pomoću ovih kriterijuma menadžment željezničkih operatera može pratiti proces upravljanja kvalitetom i transportnim aktivnostima, a takođe i definisati odgovarajuće korektivne akcije. Na taj način bi se prevazišla određena ograničenja i unaprijedio proces ocjene efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera.

Ovaj rad otvara mogućnost daljih pravaca istraživanja, koji mogu da budu identifikovanje novih kriterijuma koji se odnose na efikasnost i efektivnost željezničkih operatera, i istraživanje drugih metoda za vrednovanja kriterijuma primjenom različitih tehnika višekriterijumske analize.

ZAHVALNICA

Rad je proistekao iz istraživanja na Projektu 36030 koji je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Azadeh, A., & Salehi, V. (2014). *Modeling and optimizing efficiency gap between managers and operators in integrated resilient systems*, Process Safety and Environmental Protection 92, 766–778.
- [2] Blagojević, A. (2016). *Modeliranje efikasnosti i efektivnosti željezničkih operatera*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija.
- [3] Blagojević, A., Okolić, S., & Sarić, Z. (2010). *Simulacija uticaja naknada za korišćenje željezničke infrastrukture na poslovanje Željeznica Republike Srpske*, Zbornik radova naučno-stručne konferencije o železnici „ŽELKON'10“, 227–230.
- [4] Boender, C.G.E., De Graan, J.G., & Lootsma, F.A. (1989). *Multiple-criteria decision analysis with fuzzy pairwise comparisons*, Fuzzy Sets and Systems 29, 133–143.
- [5] Bottani, E., & Rizzi, A. (2005). *A fuzzy multi-attribute framework for supplier selection in an e-procurement environment*. International Journal of Logistics Research and Applications, 8(3), 249–266.
- [6] Buckley, J. (1985). *Fuzzy hierarchical analysis*, Fuzzy Sets and Systems, 17(3), 233–247.
- [7] Cantos, P., Pastor, J.M., & Serrano, L. (2010). *Vertical and Horizontal Separation in the European Railway Sector and its Effects on Productivity*, Journal of Transport Economics and Policy 44, Part 2, 139–160.
- [8] Cebi, F., & Bayraktar, D. (2003). *An integrated approach for supplier selection*, Logistics Information Management, 16(6), 395–400.
- [9] Chang, D.A.Y. (1996). *Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP*, European Journal of Operational Research, 95(3), 649–655.
- [10] Jianjun, Wang. (2012). *The Research on Efficiency and Effectiveness of Rail Transport*, IERI Procedia 3, 126–130.
- [11] Kilincci, O., & Onal, S. (2011). *Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company*, Expert Systems with Applications 38, 9656–9664.
- [12] Mikhailov, L. (2002). *Fuzzy analytical approach to partnership selection in formation of virtual enterprises*, Omega, International Journal of Management Science Vol. 30 No. 5, 393–401.

- [13] Stević, Ž., Tanackov, I., Ćosić, I., Veskovčić, S., & Vasiljević, M. (2015). *Poređenje AHP i fuzzy AHP za procenu težine kriterijuma*, Zbornik radova V Međunarodnog simpozijuma „NOVI HORIZONTI'15”, 198–202.
- [14] Stojić, G. (2010). *Razvoj modela za vrednovanje načina upravljanja železničkom infrastrukturuom*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija.
- [15] Stojić, G., Tanackov, I., Veskovčić, S., Milinković, S., & Simić, D. (2009). *Modeling and evaluation of railway reform using fuzzy logic*, „IDEAL'09” Proceedings of the 10th international conference on Intelligent data engineering and automated learning, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 695–702.
- [16] Van Laarhoven, P.J.M., & Pedrcyz, W. (1983) *A fuzzy extension of Saaty's priority theory*, Fuzzy Sets and Systems 11, 229–241.
- [17] Veskovčić, S., Stević, Ž., Stojić, G., Rajilić, S., & Vasiljević, M. (2015). *Application of fuzzy AHP method for profit analysis of railway operators with PSO*, Zbornik radova naučno-stručne konferencije o železnici „ŽELKON'15”, 105–108.
- [18] Zadeh, L. A. (1965). *Fuzzy sets*. Information and control, 8(3), 338–353.

ENERGETSKA EFIKASNOST VOZOVA VISOKIH BRZINA¹

ENERGY EFFICIENCY OF HIGH SPEED TRAINS

Datum prijema rada: 25.11.2017. god.
UDK: 656.1/.2(082)(0.034.4)

REZIME

U kontekstu generalne strategije smanjenja potrošnje energije razmotren je udeo sektora transporta, posebno železnice. Data je uporedna analiza energetske efikasnosti (EE) raznih modova transporta, u tom okviru posebna pažnja je posvećena železnici visokih brzina (ŽVB). Sistematizovani su pravci poboljšanja EE u pojedinim podsistemima ŽVB, pri čemu se detaljno razmatraju mobilni deo, u interakciji sa sistemom napajanja, pruga sa stanovišta njene geometrije i EE, kao i metode optimalne eksploatacije. Posebna pažnja je posvećena aerodinamici vozova kao jednog od glavnih činilaca EE vozova visokih brzina (VVB). Sve te dimenzije EE se posmatraju kroz njihovu sinergiju, uz obilje konkretnih analiza i podataka. Značajni činioci ekološkog aspektu EE, izraženom preko emisije CO₂, buke i uklapanja ŽVB u okruženje, takođe su detaljno razmotreni. **Ključne reči:** potrošnja energije, komfor, avio-transport, aerodinamički otpor, geometrija koloseka, emisija CO₂

SUMMARY

In the frame of general policy of energy consumption we consider share of transport sector, particularly railways. It is presented a comparative analysis of energy efficiency (EE) in versatile transport modes and means, among which a particular attention is devoted to high speed railways (HSR). Methods of improving EE in main subsystems of HSR are systematically clustered, where the rolling stock is widely considered, in its interaction with power supply subsystem, and the track geometry in regard to its influence on EE. Particular attention is given to aerodynamics of high speed trains (HST), as a very influential factor of EE in HST. All these dimensions of EE are considered through their synergic interrelations, described by many actual analyses and illustrating data. Important factors of environmental aspect of EE, regarded through CO₂ emissions, noise and incorporation of HSR in environment, are considered in detail as well. **Key words:** Energy consumption, Comfort, Air transport, Drag, Track geometry, CO₂ Emission

1. UVOD

Ubrzani rast svetske populacije, tranzicija mnogih nerazvijenih država u države u razvoju kao i u razvijene [1], izaziva rast potrošnje energije širom sveta, čak uz određeni pad njene proizvodnje. Emisija CO₂ iz fosilnih goriva sledi ovakve trendove,

tako da svi ovi faktori čine urgentnim stvaranje strategija ušteda energije i njene efikasnije potrošnje [2], [3], [13], [14].

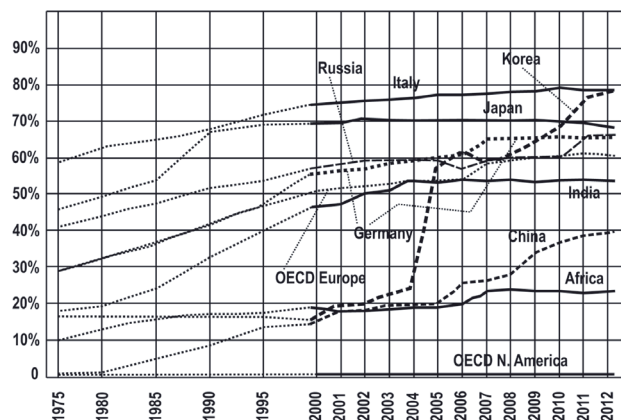
Elektrifikovana železnička mreža predstavlja praktično isključivu infrastrukturu za VVB. Samo električna vuča može obezbediti količinu energije

* Prof. dr Ranko Babić, dipl. inž. elek, Visoka železnička škola strukovnih studija, Beograd, Zdravka Čelara 14, babic57@mts.rs

¹ Ovaj rad je u skraćenoj verziji prezentovan na VI međunarodnom simpozijumu Novi Horizonti saobraćaja i komunikacija 2017. koji je održan 17. i 18. novembra 2017. godine na Saobraćajnom fakultetu u Doboju Univerziteta u Istočnom Sarajevu pod naslovom: Methods of improving energy efficiency in High speed trains

dovoljnu za tu svrhu. Takođe, ona poseduje mnoge neupitne prednosti, pre svega energetske efikasnost: parne lokomotive (5–7%), električne lokomotive (EL) sa gasnom turbinom (10%), dizel-EL (26–30%), EL napajane iz termoelektrana (34–36%), EL napajane iz hidroelektrana (40–42%) [4], [5]. Jednostavno rečeno, ne postoje dizel VVB. Dizel-električne mašine kao pokretači VVB nisu pogodno ekološko rešenje, a posebne probleme stvara težina i skladištenje goriva, kao i sigurnost od požara [6], [7], [8], [9].

Stanje elektrifikovanosti železnica u EU je ilustrovano sledećim podacima (avgust 2012.): EU27 (52,3%), Francuska (52,4%), Nemačka (58,8), Španija (59,6), Poljska (60,2), Austrija (68,0), Italija (70,7), Švedska (71,4), Holandija (76,1), Belgija (85,5), Švajcarska (99,3) [10], dok je na železnicama Srbije 62,5% [11]. Udeo elektrifikovanih železničkih pruga u vodećim industrijskim zemljama u svetu, od 1975. prikazan je na Sl. 1 [12], [13]



Slika 1. Tok elektrifikacije železnica u vodećim industrijskim državama od 1975. do 2012.

Udeo transportnih usluga za različite vidove transporta, koji se odnosi na putnički/teretni (drumski: 82,7/8,8%, avionski: 10,6/0,7%, vodni: 0,3/81,5%, železnički: 6,3/9%), jasno pokazuje sadašnje stanje u transportu [12], [27]. Termin „vodni” se odnosi na transport brodovima (okeanski/morski i vodnim putevima unutar kopna: kanali, reke, jezera itd.).

Tabela 1. daje podatke o udelu finalne potrošnje energije u sektorima vodećih industrijskih zemalja [12]. Tabela 1 takođe pokazuje koliki se delovi energije u sektoru transporta troše u raznim vidovima transporta, među njima i železnica

(skraćenice označavaju: RF – Ruska Federacija, NRK – Narodna Republika Kina, In./Gr. – Industrija/ Građevinarstvo, Dom. – Domaćinstva, Cev. – Cevovodi).

Tabela 1. Ukupna utrošena energija, po sektoru i po transportnom vidu (%)

	Svet	Evropa	SAD	Japan	Rusija	Indija	Kina
Udeo po sektorima							
In./Gr.	36,9	29,3	23,8	37,3	44,9	39,4	54,0
Dom.	23,1	23,6	17,3	14,7	23,4	35,2	21,6
Ostalo	11,9	14,8	15,5	21,2	10,0	10,0	9,2
Trans.	28,1	32,3	43,4	26,8	21,7	15,3	15,2
Udeo po transportnim sektorima							
Žel.	2,1	1,3	2,0	2,1	5,7	5,0	4,7
Drum.	74,7	72,2	79,9	77,2	46,8	85,3	73,7
Avio	10,3	12,4	10,9	11,3	12,9	7,2	7,2
Voda	9,5	12,7	4,1	8,5	2,6	2,4	10,7
Cev.	2,4	/	/	/	28,8	/	/
Drugo	1,0	1,4	3,1	0,9	3,2	0,1	3,7

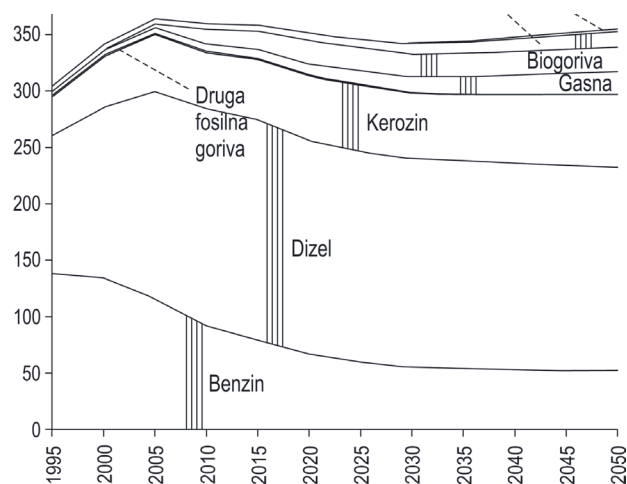
Pri tome se udeo pojedinih modova u ukupnom teretnom kontinentalnom saobraćaju u EU-28, u periodu 2009–2014, praktično ne menja: železnice 16,9–18,4 %, kontinentalni vodni saobraćaj (reke, kanali i jezera) 6,1–6,7 % i drumski 77,1–74,9 % [14].

Ako se prethodne brojke uklope u strateške planove i trendove postaje jasan opseg zahvata u pravcu energetske efikasnosti (EE) i CO₂ emisija (tabela 2, sl. 2, sl. 3). [13], u kom kontekstu i treba posmatrati energetske efikasnosti železnice, a u njenom okviru i brze železnice. U tabeli 2. sektor „Tercijarno” predstavlja uglavnom uređaje i opremu

Tabela 2. Potrošnja krajnje energije po tipu i sektoru (%)

Potrošnja krajnje energije po tipu				
	2010.	2020.	2030.	2050.
Elektricitet	21	22	25	28
Nafta	39	36	35	32
Gas	24	23	22	22
Termo	5	5	5	5
Čvrsto	4	4	3	1
Ostalo	7	10	10	11
Potrošnja krajnje energije po sektoru				
Transport	31	31	32	33
Industrija	9	9	10	10
Rezidenti	27	26	27	27
Tercijarno	17	16	17	17
Ener. int. ind.	16	17	15	13

za IT, razonodu, domaćinstvo itd. Primećuje se značajan udeo energetske intenzivne industrije (Ener. int. ind.).



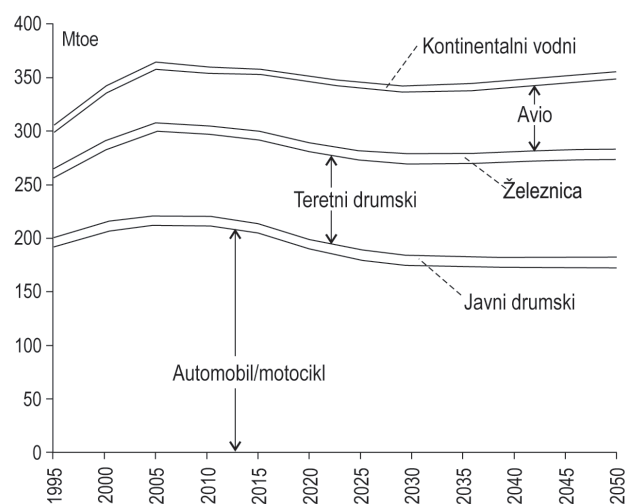
Slika 2. Potrebe krajnje energije u transportu po tipu goriva (Mtoe – Megatona naftnog ekvivalenta (eng. oil equivalent))

Glavni pokretač trenda opadanja ukupnih potreba/zahteva za primarnom energijom je napredak u smanjenju potreba za krajnjom energijom - kod krajnjih korisnika. Oni su utkani npr. u politike energetske efikasnosti EU, među njima i u Direktivi za energetske efikasnosti (eng. Energy Efficiency Directive - EED), Direktivi o energetske efikasnosti objekata (eng. Energy Performance of Buildings Directive - EPBD) itd. [13], da ne spominjemo tzv. Zelenu inicijativu Evropske investicione banke, između ostalog i u sektoru transporta [15].

Električne lokomotive su veoma moćne mašine te time i zahtevni potrošači energije. Njihova snaga ide i do 13120 kW (4E5K, jednočasovno opterećenje, od 2014 do danas) [16], [17]. Uobičajene vrednosti su oko 4000 kW (npr. klasična 441 (ASEA), B'o B'o konfiguracije, 80 t težine (mase), permanentne/1h snage 3860/4080 kW [18]). Električna struja napajanja za jedan pogonski motor je 1180/1250/1700 A (premanentna/1h/3min) [18], ili za sva četiri električna motora 4720/5000/6800 A.

Lokomotivska vuča kod tradicionalnih vozova znači upotrebu jedne ili dve lokomotive u kojima se nalaze svi vučni motori. U modernim VVB, međutim, vučni motori se postavljaju u skoro svakom vozilu radi boljeg raporeda vučne sile, a time i udobnije vožnje. Raspoređivanjem vučne snage u više osovina omogućava vozovima da brže ubrzavaju/

usporavaju. Koncentrisanje vučne snage u samo dve ili tri osovine, posebno pri polascima, može izazvati proklizavanje točkova tj. obrtanje u mestu.



Slika 3. Potrebe krajnje energije u transportu po vrsti transporta

Uzevši generalno, železnice visokih brzina zahtevaju i pruge i vozove posebnih odlika. Zato se u odnosu na klasične železnice ne govori o konvencionalnim vozovima (lokomotiva i vagoni) nego o voznim sastavima (zbog posebnog odnosa snaga/težina a i drugih tehničkih razloga), koji se kreću brzinama iznad 250 km/h po namenskim prugama, sa potpuno drugačijom signalizacijom, jer je ona klasična neupotrebljiva pri visokim brzinama. Pri tome. treba istaći da konvencionalne pruge, čak i posle suštinske nadogradnje, nisu sposobne da podrže brzine veće od 200 do 220 km/h.

Prema tome, brze železnice uz tehničke i terminološke novine, ako se sveobuhvatno posmatraju, predstavljaju suštinski novu dimenziju železnice.

Tako npr. V(ultra)VB Zefiro, konfigurisan kao sastav (kompozicija-garnitura) sa 16 kola, obično ima 32 vučna motora, tako da je polovina ukupnog broja osovina pogonjena (svako od kola se kreće na dva dvoosovinska obrtna postolja – kolišta (eng. two-axle bogies)). Svaki vučni motor razvije snagu od 600 kW, tako da je instalisana snaga čitavog voza preko 19 MW. U ovim VUVB više se koriste motori sa permanentnim magnetima nego asinhroni motori [19], [20].

2. OSNOVNI FAKTORI EE ŽELEZNIČKOG TRANSPORTA

Poboljšanja u EE ne tiču se samo (brzih) željeznica već imaju generalni zahvat, koji se odnosi na čitavu ekonomiju i društvo, a u okviru toga i na transport uopšte. Strateške projekcije, ali i razrađeni operativni dugoročni ciljevi, govore o važnosti takvih nastojanja [13]. Daćemo samo one koji se odnose na oblast transporta, a iz toga se može sagledati širina zahvata uopšte.

EE železničkog transporta, upoređena sa ostalim vidovima transporta, data je u tabeli 3, koja predstavlja sažetak podataka iz nekoliko izvora [21–35]. Date vrednosti su zasnovane na prosečnoj statistici javnog prevoza, a u slučaju auta se odnose na jednu osobu (oznaka eqlg predstavlja ekvivalent litara benzina). „Coach” je britanski izraz za putnički vagon.

Tabela 3. Energija za 100 km po putniku

Tip trans.	Hod	Trčanje	Bičikl	Avion	Auto	Motocikl	Velomobil
kWh	7.5	8.5	2.50	51.8	62.8	51.2	0.50
eqlg	0.8	0.9	0.25	5.3	6.4	5.2	0.05
Tip trans.	Putnički vagon	Reg. voz	Voz	VVB	Tramvaj	Autobus	El. auto
kWh	20.9	19.8	15.1	14.0	5.80	47.7	50.8
eqlg	2.1	2.0	1.5	1.4	0.6	4.8	5.2

Kao pozadinu tabele 3. uputno je konsultovati sliku [15, str. 6], (*Veličina i struktura tzv. spoljašnjih troškova kod osnovnih vidova transporta, u EUR po 1000 putnika-km*) koja pokazuje ukupne eksterne troškove pojedinih oblika transporta ali, sa strukturom njihove raspodele po pojedinim komponentama njihovog uticaja na okolinu. Iako nema neposredne veze sa utroškom energije jasno je da se ovi troškovi prelivaju i na energetske inpute doprinoseći ceni transporta. Rečeno na drugi način, u tabeli 4. vidimo efikasnost osnovnih vidova transporta po jedinici uložene energije. Izraz „Commuter train” preveden je kao „Lokalni voz”.

Ovako povoljni pokazatelji za vozove ne predstavljaju poslednju reč kada se radi o potrošnji energije. Postoji još mnogo prostora da se oni još poboljšaju. Kada su u pitanju putnički vozovi to

Tabela 4. Energetska efikasnost modova transporta po jedinici energije (putnik-km/1 kWh)

Tip transporta	VVB	Brzi voz	Lokal. voz	Reg. voz	Autobus	Automobil	Avion
p-km/1 kWh	170	106	90	54	54	39	20

uključuje dva dominantna faktora: otpor vazduha i energiju potrebnu za ubrzavanje do konstantne putne brzine. Pored ova dva faktora i otpor (trenje) kotrljanja ima određeni uticaj, a takođe određeni udeo ima i energija za komfor (grejanje putničkog prostora, osvetljenje, naganjanje tela vagona itd.). Avio-prevoz ovde nije razmatran pošto umnogome nadmašuje vrednosti drugih vidova prevoza (transporta) [24].

Mada sa povećanjem brzine raste i potrošnja energije, čak do 63 %, stalnim poboljšanjima, u modernim putničkim vozovima, uvedenim u eksploataciju 2002-2005, ona je smanjena za tipično 25-30 % po sedište-km ili po putnik-km, kada se uporedi sa starijim vozovima sa lokomotivskom vučom iz 1994. To je ostvareno kroz strategije smanjenja potrošnje energije [36], objedinjene u tri područja: vozila, eksploatacija/osoblje, zahtevi korisnika/komfor ili taksativno:

Vozila – efikasniji koncepti vuče, povećana elektrifikacija železničke mreže, redukcija mase (manja masa voza po sedištu), poboljšanje aerodinamike i redukcija trenja (uključujući otpor vazduha); smanjenje gubitaka konverzije, regenerativno kočenje i akumuliranje energije; smanjenje tzv. „hotelske” potrošnje

Eksploatacija/osoblje – redukcija „praznih” putovanja, fleksibilni sastavi vozova, energetske efikasno upravljanje vozom, energetske efikasan red vožnje, viša svest o energetske efikasnosti kod osoblja

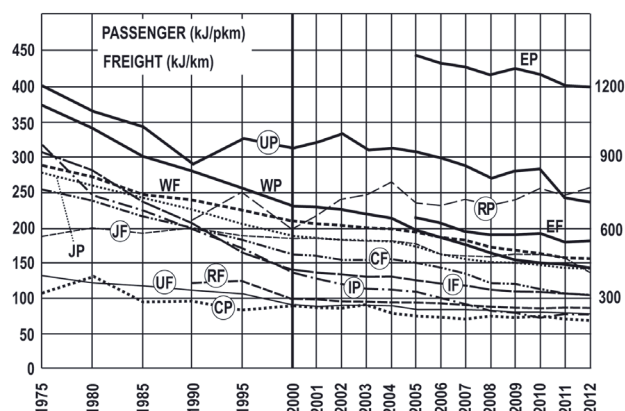
Zahtevi korisnika železničkih usluga – povećanje faktora transportnog opterećenja (eng. load factor), marketinške strategije za povećanje zahteva.

Rezultat ovih napora je označen negativnim nagibom kriva na sl. 4. Radi poređenja vrednosti iz tabele 4. i sl. 4. korišćena je konverzija 1 kJ = 0,0002778 kWh or 1 kWh = 3600 kJ.

Novi tipovi električnih mašina mogu da poboljšaju efikasnost (eliminiraju potrebu za rashladnim

ventilatorima) do 3 %. Da bi se smanjila potrošnja energije koriste se motori sa permanentnim magnetima, kojima treba 4 % manje energije nego asihronim motorima [6].

To su ekoaktivni proizvodi i tehnologije koji povećavaju održivost železničkog prevoza pri čemu ispunjavaju potrebe železničkih operatora. Tzv. Mitrac tehnologija štedi energiju kroz povećanje efikasnosti samog motora, a indirektno kroz smanjenje njegovog volumena i mase. Dodatne ekološke pogodnosti su postignute time što se veći deo kočenja ostvaruje elektronski, doprinoseći tako smanjenju buke i kvalitetu vazduha u tunelima [37]. Pomenimo ovde i snažne vučne motore od 1,2 MW za teretne lokomotive i VVB [38].



Slika 4. Specifična potrošnja energije na železnicama vodećih industrijskih zemalja sveta od 1975. godine²

Novi materijali, među njima posebno kompozitni, sve se više koriste u konstrukciji komponenata voza, redukujući masu voza, a sledstveno i energiju potrebnu za vuču do 4%. Razvijena su jedinstvena aluminijumska kućišta kola sa redukovanom težinom pri čemu su u potpunosti očuvani zahtevi bezbednosti [39].

Moderni vozovi imaju kola veće širine i dužine (3,45 m spoljne širine) omogućavajući povećanje sedišnog kapaciteta za oko 25 % u odnosu na kola standardne veličine. Ovo znači sastav od npr. troje kola umesto klasičnog voza sa 4 vagona, plus lokomotiva, i manju masu voza kao i manji aerodinamički otpor. Zahvaljujući ovom faktoru

potrošnja energije je smanjena za 26%, gledano po putniku ili po toni tereta.

Poboljšanjem aerodinamike železničkih kola, u odnosu na ranije vozove, može se smanjiti potrošnja energije do 8 % kod regionalnih vozova i do 15 % kod VVB. Savremeni vozovi imaju glatkiju spoljašnjost (krovovi, zidovi), koja uključuje aerodinamičke prelaze na spojevima vagona, a posebno su pokriveni prostori ispod donjeg postroja kola gde je smeštena većina opreme koja bi izazivala vrtloženja, a time i veliki otpor. Oni takođe imaju duže i profilisane nosove na prednjem i zadnjem kraju. Samo ovaj faktor redukuje potrošnju za daljih 22%.

Električni moderni vozovi i VVB odlikuju se regenerativnim kočenjem ili rekuperacijom. Ova energija može biti korišćena kako interno u samom vozu, za funkcionisanje pomoćnih sistema (npr. za osvetljenje, za klimatizaciju, otvaranje i zatvaranje vrata, ili uopšte za punjenje baterija radi kasnijeg korišćenja kada je to moguće) tako i spolja – slanjem nazad u mrežu elektrovođe preko pantografa da napaja druge vozove na istoj deonici napojnog voda. Ukoliko ne postoji posebna oprema za efikasan prihvrat rekuperovane električne energije u samom vozilu, deo te povraćene energije se gubi kroz disipaciju - troši se u kočionim otpornicima (reostatsko kočenje) montiranim na krovu vozila ili voz prelazi na frikciono kočenje. Povraćena energija predstavlja i do 17 % od one dobijene preko pantografa [36], [39].

Današnji vozovi stvaraju manje gubitaka energije u visećem napojnom kablju, kao i u stabilnim postrojenjima elektrovođe, zahvaljujući sistemu napajanja pogonskih električnih (indukcionih) motora pomoću usavršenih poluprovodničkih konvertora. Ovi konvertori omogućavaju naizmeničnoj struji napajanja da bude potpuno u fazi sa linijskim naponom, što, sa svoje strane, minimizuje struju koja se vuče sa napojnog voda te se time minimalizuju gubici energije, koji rastu sa kvadratom struje.

Pasivan utrošak energije (stajanje na polazištu/odredištu, pre polaska i po prispeću, na stajalištima) procenjuje se na oko 2 % od ukupne utrošene energije, u proseku.

Utrošak energije varira sa godišnjim dobom. Niske temperature povećavaju potrebu za grejanjem

² Oznake XY na dijagramu sa X označavaju zemlju (E – EU(28), U – USA, J – Japan, R – Ruska Federacija, I – Indija, C – Kina, W – svet) a sa Y jedinice transporta (P – putnik, F – teret). Skala na desnoj strani se odnosi samo na USA, i izražava jedinice P i F.

u vozovima (vrata se često otvaraju, posebno u regionalnim i lokalnim vozovima). Gustina vazduha je veća na niskim temperaturama te prouzrokuje veći otpor vazduha. Pri istom vazдушnom pritisku gustina vazduha je oko 10 % veća na -7°C nego na $+20^{\circ}\text{C}$, prouzrokujući time 10% veći otpor vazduha. Ovo poslednje je posebno važno za VVB koji se kreću brzinama oko 200 km/h i većim, pošto ovi vozovi više od 50 % primljene energije troše na otpor vazduha [36].

Transportni kapacitet ili faktor transporta (eng. load factor) veoma je važan parametar kada se razmatra utrošak energije. On se izražava u t-km, voz-km, kola-km, sedište-km ili putnik-km. Za putničke vozove obično se definiše kao odnos između aktuelnog broja putnika i broja postojećih sedišta-km, koji je proporcionalan broju sedišta u vozu.

Stvarni faktor transporta značajno varira u zavisnosti od vrste voza i uslova njegove eksploatacije (dan, nedelja ili godišnje doba, različitost deonica linije, veća ili manja nastanjenost područja). Vozovi u područjima velikih gradova (lokalni ili tzv. **komuteri (commuter trains)**, regionalni vozovi, aerodromski vozovi) obično imaju vrlo izražene špiceve u krivoj faktora transporta (udarni časovi).

Prosečni faktor transporta je obično sasvim umeren: od 20 do 40%. Savremeni VVB, sa konkurentnim vremenom putovanja i cenama karata, imaju prosečan faktor od 50 do 70 %, uporediv sa većinom nacionalnih avionskih linija. Sporiji konvencionalni vozovi na dugim linijama obično imaju skroman faktor transporta.

Tako, više putnika rezultovaće u većoj potrošnji energije. Ovo je najvažnije za vozove sa čestim zaustavljanjima i sledstvenim ubrzavanjima do visoke brzine.

Povećana potrošnja energije kao rezultat povećane mase voza zbog dodatnih putnika je, međutim, mala. Za voz sa maksimalnim brojem putnika koji sede (320 putnika je oko 26 tona) potrošnja energije poraste tek za 3%.

Razmotrimo detaljnije pitanje transportnog kapaciteta železnice kada je u pitanju običan teret i „teret“ u vidu putnika.

Čelik-čelik kontakt između točka i šine omogućava vrlo mali otpor kotrljanja i veliku nosivost, osovinsko opterećenje do 35 t, obično 22,5 za opšti teretni transport [40], [41], [42]. Ukupna masa vagona, postignuta sa dvo- ili troosovinskim kolištima [43], je $60+25=85$ t. Korišćenje tone kao ne-SI jedinice doprinosi stvaranju bolje predstave o veličini.

Efekt vođenja sistema točkovi/šine omogućava ređanje šinskih vozila u vozove, dajući ogroman transportni kapacitet, npr. 11.845 t (137 kola, 2,7 km dužine) [44], ili čak do 82.000/99.734 t (teret/voz), sa 682 kola, (7,3 km dužine), vučen sa 8 lokomotiva [45].

Korisno je napraviti poređenje sa maksimalnim kapacitetom drumskih teretnih vozila. Tako npr. troosovinski šleper strukture [(1-3)-(3)], sa osovinskim opterećenjima od 9,1 t (duple gume), pri čemu je opterećenje upravljačke osovine 5,5 t, za različite razmake osovina (2,4–3,7 m) ima ukupnu težinu 37,5–54,3t. Kod duplog šlepera konfiguracije [(1-2)-(3)-(2)] težina ide do 62,5 t [46].

Transportni kapacitet putničkih vozova je sasvim drugo pitanje, zato što „teret“ traži udobno putovanje. Ako platforma vagona nosi 60 t u teretnom modu, u putničkom modu sa 72 mesta nosi tek 6 t putnika. To je dobra ilustracija koliko je putnik zahtevna „transportna jedinica“, što posebno dolazi do izražaja kod VVB.

To znači da je potrošnja energije, sa stanovišta vuče i otpora vazduha, skoro nezavisna od aktuelnog broja putnika, tj. od faktora transporta. Ali ako se izrazi po putniku ili po putnik-km onda je utrošak energije veoma zavistan od aktuelnog faktora, približno obrnuto srazmeran njegovoj veličini.

Za dugolinijski saobraćaj VVB faktor transporta je dosta visok, tipično 55–60 % u Skandinaviji, i u ovom segmentu tržišta potrošnja energije je oko 0,08 kWh po putnik-km. Za brze regionalne vozove faktor transporta varira od tipičnih 20 % do 40 %, pri čemu potrošnja energije varira od 0,07 kWh po putnik-km (za najviši faktor) do 0,18 kWh/putnik-km [39]. Međutim, smatramo da je u navedenim referencama potrošnja shvaćena u užem smislu, samo sa stanovišta energije za vuču, a ne i energije za pomoćnu opremu i tzv. HVAC potrebe.

U razmatranju prirode faktora transporta (load factor) vrlo je zanimljivo uzeti u obzir i njegove dimenzije koje stoje u pozadini. U tom smislu je značajan dijagram [47] koji pokazuje promenu broja putnika (tj. putnik-milja) u SAD, u periodu 1960-2005, sa strukturom po modovima transporta (auto, avion, autobus i železnica). U vezi s tim takođe je zanimljiv dijagram koji pokazuje intenzitet putovanja po kopnu (auto, autobus, voz), u putnik-km po glavi stanovnika u najrazvijenijim državama sveta: Japan (10.000 pkm/capita), Nemačka (12.000), Velika Britanija i Francuska (po 13.000), Australija (14.000), Kanada (16.000) i SAD (preko 24.000) [47]. Još je instruktivnija modalna struktura putovanja, gde se vidi da u SAD putnici praktično koriste samo automobile, dok u Japanu skoro 30 % putnika koristi železnice. U tome vidimo odraz mentaliteta ali ne manje i geografsko-socijalnih faktora.

Što se tiče prethodno pomenute HVAC (eng. heating, ventilation and air conditioning) potrošnje, jasno je da ne ide čitava preuzeta energija u vuču, već oko 20–25 % ide u pomoćnu opremu (ventilacija i hlađenje pogonske opreme, snabdevanje kočnica komprimovanim vazduhom, tzv. „hotelsko opterećenje” (tj. HVAC), osvetljenje, utičnice za napajanje, informacioni displeji, otvaranje/zatvaranje vrata itd.). Hotelska potrošnja iznosi 10-15 %. Inženjeri su uspeali da za HVAC postignu do 80% obnovljivosti energije. Ukupno, naporu su rezultovali u padu od 25 % energije koju godišnje troši taj sistem [6].

3. EE PROJEKTNI KRITERIJUMI ZA VVB

VUVB (npr. Zefiro) kombinuje najviši kapacitet i ekskluzivni komfor. Sa vršnom brzinom od 380 km/h on je konkurentan avio-prevozu na distancama do 700 km. Sa kapacitetom do 1300 mesta po vozu, oni mogu prevesti dvostruko više putnika nego najveći putnički avion na svetu, Erbas A380 [48].

Treba napomenuti da i konstruktori putničkih aviona prate trendove energetske efikasnosti. Tako se npr. za koncept Silent Aircraft eXperimental ili SAX-40, koji je u početku bio zamišljen da ostvari suštinsku redukciju buke, ispostavilo da se odlikuje značajno smanjenom potrošnjom, čak do 25 % u odnosu na sadašnje putničke avione. U odnosu na 124 PM/G kod Boinga 777, SAX-40 ima 101, što

znači smanjenje od 23 %. Radi poređenja, Toyota Prius hibridni automobil na gradskom autoputu ima 96 PM/G (putnik-milja po US galonu, (3,785 l.) koji se razlikuje od britanskog (4.55 l)). Predviđa se dodatno poboljšanje efikasnosti ako se projektovanje usmeri u pravcu minimizacije potrošnje i emisije [49].

Efikasan oblik avionskog trupa, širokog sa blagim prelazima u krila, pruža dodatni uzgon, povoljan u uslovima krstarenja, poboljšavajući parametar odnosa $[(\text{Mahov broj}) \times (\text{uzgon}/\text{otpor})]$ za čitavih 15 % u odnosu na postojeće avione mešovite konstrukcije krila-trup, te time poboljšava letne osobine na niskim brzinama graničnog uzgona, čak do 25 % u odnosu na današnje avione. Procenjuje se da nivo buke u naseljima neće prelaziti 63 dBA za tipične letove, što je uporedivo sa ambijentalnom bukom u urbanom okruženju tokom dana [49].

Za vozove čije brzine prelaze u područje iznad 300 km/h neki drugi aspekti energetske efikasnosti dolaze do izražaja. Oni su uglavnom povezani sa geometrijom pruge i otporom vazduha.

U ovom smislu, VUVB predstavlja avion na zemlji, a po komforu i više od toga. Svojim superiornim komforom VUVB upravo kompenzuje razliku u brzini u odnosu na avion. Tako npr. krstareća brzina aviona iz serije Erbas A320 je Mach 0,78 (829 km/h), a MMO (eng. Maximum operation Mach number) Mach 0,82 (871 km/h) [50] dok je kod serije Erbas A380 MMO M0,89 (945 km/h) [51]. Za razmatranje pitanja komfora konsultovati [52] i [53]. Naravno da ove odnose brzina ne bi trebalo posmatrati linearno. Činjenica da su aerodromi najčešće prilično udaljeni od šireg jezgra grada i da je potreban dodatni prevoz, često upravo železnicom, pomera ove odnose u korist V(U)VB.

Saobraćajna efikasnost VVB se posebno ispoljava kroz poređenje sa drugim sredstvima transporta – tabela 5.

Tabela 5. Udeo modova putničkog transporta pre i posle uvođenja VVB (%)³

(%)	VVB	Automobil	Autobus	Avion
P-B	24/50	61/43	8/5	7/2
M-S	33/84	67/16	///	///

³ na relacijama Pariz–Brisel (320 km/1,25 h) i Madrid–Sevilja (471 km / 2,15 h) [15]

3.1. Geometrija pruge i efikasnost

Trajektorija pruge predstavlja kompromis između topografije terena i transportnih osobnosti železnice. Osnovne značajke tog kompromisa su: gradijent (nagib), horizontalna i vertikalna krivina, kant (nadvišenje), kao jednodimenzionalne veličine, i komfor putnika [54] kao veoma kompleksna veličina, koja se u smislu veze se ovim parametrima i svodi na svoj mehanički aspekt - ubrzanje. Treba istaći da su svi ovi parametri međusobno tesno povezani. Posredno sa tim u vezi je i energetska efikasnost kretanja voza. Ubrzanje, posmatrano po svim stepenima slobode pomeranja putnika, jedan je od osnovnih parametara komfora putnika.

Avion navedenom brzinom može da leti pravolinijski i da leteći u slobodnom prostoru pravi zaokrete vrlo male krivine tako da putnici ne osećaju praktično nikakvo ubrzanje (isključujući ono pri poletanju i pri turbulencijama). Ostvariti pravolinijsku prugu je praktično nemoguće zbog neravnomernosti u reljefu.

VVB mora da održava brzinu što konstantnijom, posebno na krivim sekcijama trajektorije pruge. Da bi dostigao komfor koji prevazilazi avionski, VVB mora da se kreće vrlo glatko, sa podnošljivim ubrzanjima. Zato se železnička trasa mora vrlo pažljivo planirati i graditi.

Drugi razlog održavanja što konstantnije brzine VVB je minimizovanje potrošnje energije na ubrzavanja voza posle krivih sekcija trajektorije pruge između destinacija, na kojoj je predviđeno tek nekoliko zaustavljanja [55].

Zato pruga mora imati odgovarajuće vrednosti kako nagiba, bilo pozitivnog ili negativnog, tako i krivine, kako horizontalne tako i vertikalne. To se najbolje može predstaviti poređenjem trase pruga za različite brzine (Sl. 5) [54]. Trasa sporije pruge doslednije prati konfiguraciju terena idući za dozvoljenim minimumom krivina radi smanjenja troškova izgradnje. Brza pruga ima svoje vrednosti krivina, određene komforom putnika, i ona, figurativno rečeno, mora da prilagodi teren svojoj geometriji.

Idealan slučaj ravne i prave pruge se retko kad može postići usled terenskih uslova. Drugim rečima, na neravnom terenu takva dispozicija

pruge je veoma skupa i predstavlja niz mostova i tunela. Kompromis je trajektorija sastavljena od pravolinijskih i krivih sekcija, pri čemu radijusi krivina moraju da imaju pogodne vrednosti, što zavisi od maksimalne brzine planirane za pojedine sekcije [56].

Dobar primer za to je brza pruga (250 km/h) između Ankare i Istanbula, čija deonica od 158 km je izvedena na veoma kompleksnom terenu, sa 33 vijadukta (ukupne dužine 10,3 km) i 39 tunela (ukupne dužine 39 km), i troškovima izgradnje od 2,27 milijardi USD [57-60].

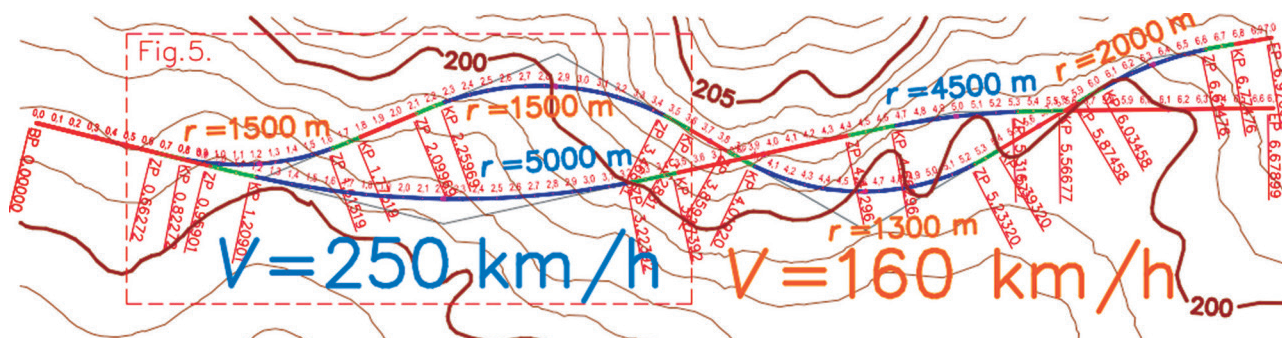
Cene gradnje sistema brzih pruga u Evropi prosečno iznose 12-30 M EUR po 1 km nove pruge, bolje rečeno trase, a njenog održavanja 70.000 EUR po 1 km godišnje. Naravno da sistem brze pruge uključuje i VVB, kao pokretni deo linije VB, koji predstavlja skupi deo sistema, sa prosečnom cenom 20-25 M EUR (vozni sastav sa 350 mesta), a njegovo održavanje košta 2 EUR/km, pa uzimajući prosečno pređenih 500.000 km godišnje dolazimo do 1M EUR [15].

Radijus krivine, koja izaziva lateralno ubrzanje, kompleksan je faktor u vezi sa komforom putnika, mogućim pomeranjem tereta u vagonima, rizikom od prevrtanja i iskliznuća ili sa labavljenjem spojeva šina-prag, što se sve može umanjiti pravilnim kombinovanjem krivine i kanta. Ukoliko je saobraćaj mešoviti (VVB i teretni), što je čest slučaj zbog ekonomičnosti, parametri koloseka nisu optimalni što prouzrokuje narušavanje komfora putnika na zastojima i pri niskim brzinama, ali i rizik od iskliznuća teretnih vozova zbog visokog kanta.

Različiti su uslovi za projektovanje koloseka u slučaju (a) vozova svih tipova (uključujući teške teretne vozove), (b) VVB i lake teretne vozove i (c) samo VVB (putnički, laki ekspresni za prevoz robe i pošiljaka).

Što je viša brzina to su stroži projektantski kriterijumi za geometriju koloseka, a takođe i za deformacionu otpornost donjeg postroja [54].

Velike brzine, a sa njima i velike mase, uz poštovanje putnicima tolerantnog ubrzanja/usporenja, donose sasvim nove vrednostu u eksploataciji. Tako VVB treba 10-20 km puta da bi ubrzao od 0 do 300



Slika 5. Izgled trajektorija pruge za brzine od 160 km/h i 250 km/h na istom koridoru jasno pokazuje potrebne radijuse krivina radi održavanja što konstantnije brzine [54].

km/h. Uobičajene dužine kočenja su: 1900 m za 200 km/h, 3100 za 250 km/h, 4700 m za 300 km/h, 5800 m za 330 km/h, 6700 m za 350 km/h [15].

Za teške teretne vozove najveći dozvoljeni gradijent je 10‰, ili 12,5‰ ukoliko srednja vrednost gradijenta ne prelazi 10‰ duž svakog kilometra.

Sledeći parametar, blizak gradijentu, jeste vertikalna krivina, kojom se ostvaruje postepeni prelaz između sukcesivnih gradijenata u profilu pruge. Pri većoj krivini (manjem poluprečniku) vertikalno ubrzanje na temenu krive može postati preveliko, posebno kod VVB, te izazvati iskliznuće, smanjiti marginu prema prevrtanju vozila pod dejstvom bočnog vetra ili pogoršati komfor putnika. Preporuke za horizontalne i vertikalne krivine su date u tabeli 6 [55], [61]. U ovim referencama se takođe mogu naći preporuke koje se primenjuju u Nemačkoj i Japanu. Dalje preporuke u vezi sa geometrijom koloseka se mogu naći u [62], [63]. Kant takođe zavisi od toga kakav se sistem vešanja primenjuje u železničkim vozilima: elastični ili sa pasivnim ili aktivnim naginjanjem.

Tabela 6. Preporučene i minimalne vrednosti za radijuse horizontalne i vertikalne krivine (u km)

Brzina [km/h]	200	250	280	300	330	350
Prep. hor. rad.	3,2	5,0	6,3	7,2	9,7	9,8
Min. hor. rad.	1,9	3,0	3,7	4,3	5,2	5,8
Prep. vert. rad.	17	26,5	33	38	46	52
Min. vert. rad.	6,4	10	12,5	14,5	17,5	19,6

Sistem naginjanja kola u krivinama umnogome može da nadomesti određenu veličinu krivine i kanta pruge te da time pruži isti osećaj komfora putniku pri kretanju voza većom brzinom po postojećim pragama, dakle onim koje su pravljene

za niže brzine. Pri tome se sistem naginjanja izvodi kao sistem sa uštedom energije.

Ukratko, VVB, figurativno posmatran kao avion koji „leti” po tlu, da bi konkurisao avionu koji leti konstantnom brzinom pravolinijski kroz prostor, mora takođe da se kreće što konstantnijom brzinom. S obzirom da konfiguracija terena redovno zahteva zakrivljene deonice, to se krivine moraju kombinovati sa kantom da bi se uticaj centrifugalne sile (tj. lateralnog ubrzanja) smanjio do podnošljivosti tako da putnik nema osećaj da tolikom brzinom putuje po krivini. Ovoj efekat se dodatno redukuje vagonima sa aktivnim naginjanjem. Osim što se sam sistem aktivnog naginjanja izvodi kao sistem sa uštedom energije ne treba izgubiti iz glavni faktor smanjenja potrošnje energije koji stoji u pozadini ovog sistema. Sa ovakvim sistemom VVB manje menja brzinu i time manje troši energiju na ubrzavanja posle prilagodnih usporenja pred krivinama.

Prediktivni sistem upravljanja aktivira naginjanje na određenoj daljini pre ulaska u krivinu, na osnovu podataka o trasi koji su prethodno smešteni u memoriji računara u vozilu, čime se eliminišu kašnjenja u reakciji sistema naginjanja tako da se vozilo naginje lagano i glatko.

Poređenjem prirodnog i kontrolisanog naginjanja jasno se uočava prednost ovog drugog jer se njime rešava pojava kašnjenja u naginjanju pri ulasku u krivinu tako da se vozilo može kretati većom brzinom u krivinama. To su potvrdila i ispitivanja izvedena u Japanskim železnicama pri čemu je ustanovljena vrednost indeksa komfora vožnje od 5 °/sec kao granice za prihvatljivi komfor putnika [64].

Kada se govori o brzjoj pruži, odnosno njoj trasi, posebno u smislu sl. 5, mora se uzeti u obzir i smanjenje dužine pruge zbog smanjenja faktora meandriranja trajektorije u odnosu na dužinu koridora kojim ona ide. Kao pogodan pokazatelj može se upotrebiti tzv. sinusoidnost, koja se najčešće koristi u opisivanju meandriranja reka, ali i svih ostalih slučajeva sa sličnom geometrijom, kao odnos dužina stvarne putanje i najkraćeg rastojanja između dve tačke [65, 66].

Što je brzina pruge viša to je njena sinusoidnost manja. Građenjem novih, brzih, pruga uz postojeće, znatno se skraćuje dužina pruge, te time i cena njene izgradnje. Procenti skraćivanja se kreću u širokom rasponu (15–70 %), što zavisi od mnogih faktora. U tome ne treba prevideti faktor smanjenja potrošnje energije, i to u mnogim aspektima eksploatacije brzih železnica.

Promena geometrije pruge usled njenog ubrzanja skriva još jedan značajan faktor uštede, koji možda nema toliko izraženu neposrednu vezu sa energetsom efikasnošću ali i te kako ima sa ekologijom i ukupnim uštedama pri izgradnji brzih pruga. To je tzv. građevinski zahvat zemljišta. Poređenje se auto-putem jasno pokazuje prednosti brzih pruga tabela 7 [15].

Tabela 7. Upporedni parametri auto-puta i dvokolosečne pruge

	Auto-put 2x3 trake	Brza pruga 2 koloseka
Širina saobraćajnice	75 m	25 m
Kapacitet prevoznog sredstva	1,7 putnika/auto	666 putnika/voz
Intenzitet prometa	4500 auto/h	12 voz/h
Transportni kapacitet	2x7650 putnika/h	2x8000 putnika/h

3.2 Aerodinamika VVB i efikasnost

Čak do 60 % od vučne sile može se potrošiti na otpor vazduha i trenje. Aerodinamičnost voza mora takođe pružiti i stabilnost na bočni vetar, koja se smanjuje kako brzina raste.

Današnji inženjeri (npr. Bombardier) svoje napore koncentrišu na četiri osnovna područja: čeonu vozilo sa aerodinamičnim nosom; gornji i donji spojleri na vagonima; vetrobrani za pantografe; aerodinamički štitnici oko kolišta, između kola

i prostor ispod kola. Smanjenje otpora za 25 % rezultovalo je padom potrošnje energije za 15 %, ali i redukovalo opterećenje vetrom na čeonu vozilo toliko da je omogućilo izbacivanje 5 do 7 tona tereta koji je služio samo kao balast za stabilnost. Aerodinamičko pokrivanje opreme montirane na krovu ne samo da smanjuje ukupni otpor već takođe ublažava „sonične praskove“, koje otkrivena krovna oprema može izazvati kada vozovi ulaze u tunele. Glatkiji krovovi vozila takođe smanjuju celokupnu spoljašnju buku i šum (npr. VVB na 300 km/h stvara 91 dB(A) buke). U unutrašnjosti, putnici su izloženi buci od samo 72 dB(A) zahvaljujući apsorpcionim oblogama [6]. Buci koju stvaraju VVB posvećuje se velika pažnja u istraživanjima [67, 68].

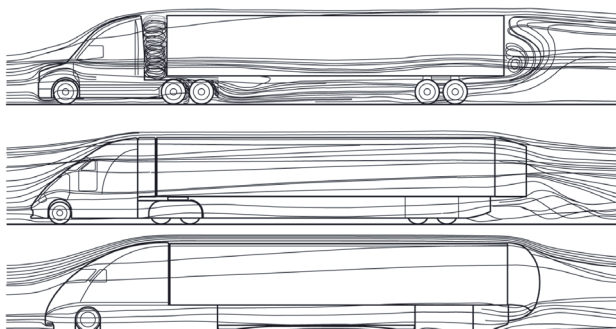
Dugogodišnja istraživanja (Hitači) rezultovala su u efikasnim aerodinamičkim rešenjima produženog nosa vodećih kola koji svojim oblikom redukuje talase pritiska u tunelima (npr. VVB Fastech 360S). Kolišta su potpuno pokrivena aerodinamičkim panelima, dok je buka voza smanjena glatkim stranicama voza sa apsorberima zvuka. Posebna pažnja je posvećena pantografima koji se smeštaju u aerodinamičke kontejnere ili se ispred njih stavljaju štitnici, čime se smanjuje ne samo otpor vazduha već se značajno snižava nivo buke [69].

Ne samo veliki proizvođači kamiona, nego, zahvaljujući izvanrednim softverskim 3D vizualizacionim alatima, čak i mali proizvođači aerodinamičkih dodataka za postojeće kamione, veliku pažnju posvećuju poboljšanju aerodinamike teških kamiona, što ima direktne povoljne posledice na smanjenje potrošnje, efikasnost i pozitivan ekološki efekat (sl. 6) [70]. U tome ne možemo a da ne vidimo uticaj oblikovanja VVB.

Da bi se redukovao transfer energije vazduh/vetar na VVB moraju se rešiti tri fundamentalna problema aerodinamike V(U)VB.

Kretanje na otvorenom – VVB pri kretanju stvaraju osnovni otpor prekidima između kola i prekidom na kraju voza. Ne/linearni kovitlaci koji udaraju u kola stvaraju prelivanje vrtloga i nestabilnost oscilatornim povećavanjem pritiska u kontaktu točak-šina, kao i otpor kotrljanja.

Uticaj nadvožnjaka/podvožnjaka – VVB koji prilazi ili odlazi od nadvožnjaka/podvožnjaka



Slika 6. Oblačenje klasičnog teškog šlepera strukture [(1-2)-(2)] (gore) u aerodinamičke oplata⁴

stvara izraziti porast i pad pritiska. Formira se svojevrsni impuls pritiska, aerodinamički udar (sonični prasak) koji se prenosi na različite zahvatne tačke (aerodinamičke diskontinuitete) duž kompozicije (npr. razmake između kola) kako ova prolazi. Ovaj impuls inicira vibracije i oscilovanja koja se pronose čitavom dužinom voza preko spojeva među kolima.

Ulazi/izlazi tunela – Sličan prethodnom, aerodinamički impuls će se formirati i pri prilaženju voza ulazu u tunel, kao i pri izlasku iz njega. Međutim, pri ulasku voza u tunel pritisak vazduha ograničenog zidovima tunela naglo poraste, slično efektu klipa u cilindru. Pritisak u ovom talasu nastavlja da raste kao funkcija brzine, dužine tunela i njegovih ventilacionih mogućnosti sve dok njegova brzina ne opadne pri približavanju izlasku iz tunela a sa njom naglo opadne i pritisak [71]. Tom značajnom efektu koji izaziva i aerodinamički poremećaj i nagli porast otpora vazduha (u tunelu) istraživači i inženjeri posvećuju veliku pažnju [72–74].

4. DISKUSIJA

Brzi, sigurni, pouzdani i komforni VVB i VUVB danas konkurišu avio-prevozu kao jedan efikasan vid transporta na velikim distancama. VUVB sa brzinama sve do 380 km/h postaju uobičajena pojava.

Čak i velikom vučnom silom, pa bila ona raspodeljena na mnogo osovin, ne može se pokrenuti veliki voz uz nagib ukoliko nema potrebnog trenja (led, mokro lišće itd.). Zato VVB nose suv pesak da bi se u takvim slučajevima

prosuo ispred pogonskih točkova i time povećao sile trenja, baš kao kod njihovih starih prethodnika.

Sastav VVB sadrži sva putnička kola kao i vodeća/upravljačka kola, koja imaju aerodinamički nos kao vetrobran za malu kabinu mašinovođe. Ostatak prostora vodećih kola je uređen za putnike.

Redukovanje potrošnje energije implicira optimizaciju aerodinamičkog oblika vozila, čime se neizbežno susrećemo sa dva glavna suprotstavljena zahteva: najbolji oblici po pitanju otpora vazduha nemaju dobru stabilnost na bočni vetar i obrnuto. Takođe, veliki putnički kapacitet je u konfliktu sa optimalnim aerodinamičkim oblikom, pri čemu elegancija i funkcionalnost ne idu uvek ruku pod ruku. Korišćenjem multidisciplinarne i višekriterijumske optimizacione platforme za simulaciju, za VUVB klase 380 km/h, redukcijom otpora vazduha za 20 % ostvarilo se umanjeње potrošnje od oko 10 % [75], [77].

Železnički transport predstavlja konkretno rešenje za održivu mobilnost koja je ekološki povoljna. Smanjivanje aerodinamičkog otpora vozova znači povećanje energetske efikasnosti i dalju redukciju emisije CO₂.

Udeo pojedinih vidova transporta u ukupnoj emisiji CO₂ u tom sektoru u SAD 2005. godine, u iznosu od 6,5 t ekvivalenta/stanovnik ide potpuno na stranu drumskog saobraćaja: 5,70 drumska vozila (automobili, motocikli i laki kamioni), 0,07 autobusi, 0,02 železnica, 0,70 avio saobraćaj. Zanimljivi su i uporedni podaci o intenzitetu CO₂ emisije za pojedina sredstva transporta, data u gramima CO₂ ekvivalenta po putnik-km: velika kola (šleperi, kamioni) (15 MpG) 312, dugi letovi (poslovna klasa) 296, srednja kola (25 MpG) 191, prosečni lokalni autobus (SAD) 185, motocikl (50 MpG) 153, dugi letovi (ekonomska klasa) 139, mala kola (automobil, manji kamion) (35 MpG) 138, električni auto (mreža SAD) 123, kratki letovi (ekonomik) 120, teška železnica (SAD) 119, hibridni auto (45 MpG) 118, skuter (80 MpG) 101, linijski autobus (SAD) 85, metro (Njujork) 50, električni auto (solarni) 43, školski autobus (SAD) 23, VVB Eurostar (Francuska) 20 [76]. Ovi podaci uključuju direktnu emisiju od sagorevanja goriva, indirektnu emisiju od proizvodnje goriva i emisiju od proizvodnje samih vozila. Pretpostavljeno je

⁴ smanjuje otpor vazduha na 55% (sredina), a dodavanje zaobljenog zadnjeg kraja i potpuno pokrivanje prostora sa točkovima smanjuje silu otpora čak na 37 %. Simulacioni 3D softver jasno pokazuje generatore vrtloženja [70]

prosečno putničko opterećenje vozila za svaku vrstu, 1,6 za automobile i 1 za motocikle. Potrošnja je, prema izvornoj referenci, data u MpG, miljama po US galonu. VVB Eurostar (E300) putuje od Pariza do Londona (492 km) za 2 h 15 min (300 km/h).

Ako ove podatke pogledamo s druge strane imamo: VVB 4, automobil 14 i avion 17 kg CO₂ na 100 putnik-km [15].

Vozila V(U)VB već tradicionalno se odlikuju linearnim formama radi smanjenja aerodinamičkog otpora, što je stil koji je pozajmljen iz projektovanja aviona. Ali VVB upravo jesu „avioni” koji „lete” po tlu. Uz to, postoji velika razlika u gustini vazduha na 10.000 m i pri tlu. Kretanje VVB, ili njegov prolazak, izaziva otpor i vrtloženje vazduha, uveliko pojačano samim prisustvom tla, sa velikim poremećajima oko nadvožnjaka i tunela, ali i ostalih objekata u blizini brzih pruga. Tome treba dodati vetar kao nelinearno opterećenje koje povećava nestabilnost vozila, uz povećanje otpora kotrljanja, potrošnju goriva i oštećenje/habanje točkova i šina. Kod VVB (>200 km/h) ovakva nestabilnost izaziva pojavu periodičnog prijanjanja oboda točkova na šine, prouzrokujući njihova skupa oštećenja u vidu neravnina.

Jedno od rešenja predstavlja postavljanje generatora vrtloga (GV) nepravilnog oblika, sa slučajnim rasporedom duž voza, kojima se redukuju sile otpora, formiranje štetnih harmonika, rezonancija i oštećenja prouzrokovanih naglim podizanjima pritiska od tunela [71]. Izduženi nos vodećeg vozila zahteva posebnu pažnju.

Nasumični rasporedi manjih GV na vrhu lokomotive (čeonog vozila) praćeni su progresivno većim GV sve do najvećeg preseka lokomotive. Manji GV-ovi remete početno stvaranje vrtložnog toka vazduha omogućavajući većim GV, montiranim niz struju, da nastave da podižu i odbijaju vrtloge. Dodatni GV, postavljeni nasumično duž krovova i strana kola, redukujuće bočne vrtloge i time smanjiti aerodinamički otpor. Ako uporedimo glatku aerodinamiku aviona sa opisanim rešenjima, postaje nam jasna veličina aerodinamičkog uticaja tla po kojem se VVB kreće.

Najveći izazov kod korišćenja pantografa za preuzimanje snage sa napojnog voda je održavanje njegovog kontakta u datom opsegu, bez prevelikog

trenja, ali sa dovoljnom silom kontakta kako bi se omogućio pouzdan električni spoj.

Drugo pitanje koje se tiče napojnog voda je situacija kada se zbog vremenskih uslova stvori led na voodovima. U tom slučaju voz angažuje dva pantografa (najčešće na vozu postoji njih nekoliko) gde vodeći skida led sa voda.

Suština VVB, a posebno VUVB, jeste njihova brzina, tj. trajanje putovanja. Neke od evropskih zemalja se razlikuju po razmaku šina od 1435 mm (iberijski 1668 mm, ruski 1520 mm) i po naponu napajanja EVP (1,5kVdc, 3 kVdc 15 kV 16,7 Hzac, 25 kV 50 Hzac) [78]. Gubljenje vremena na granicama država radi promene lokomotive (čeonog vozila) na drugi razmak i napon jednostavno anulira prednosti brze železnice. Međufunkcionalnost kroz granicu se postiže kompletima opreme za napajanje podešenim za različite napone i kolištima za različite razmake, postavljenim na istom vozu.

Ne postoji opšteprihvaćena definicija visoke brzine. Npr. Siemens koristi definicije Savezne železničke agencije SAD (U.S. Federal Railway Agency - FRA), koje predviđaju tri kategorije VVB: (1) <145 km/h; (2) 145–200 km/h; i (3) 200–350 km/h.

Za putovanje velikim brzinama, pruga mora biti u takvom stanju da prihvati veća opterećenja, a da pri tome omogući visoko ravnomernu i glatku vožnju uz eliminaciju vibracija.

Izvrstan komfor putnika je ključan faktor u projektovanju i proizvodnji ukoliko se hoće da VVB konkurišu avionima. Ubrzanja predstavljaju pri tome veoma bitan faktor: longitudinalno (oko 0,5 m/s², u toku vožnje, do 1 m/s², što je gornja granica u pogledu komfora putnika; kočiono usporenje je takođe oko 1 m/s²) i lateralno, na VB krivinama (200 km/h znači radijus krivine > 4,5 km, 350 km/h > 6,9 km, sa kantom od 150 mm).

Vozu VB sa dužinom od 428 m, ili 16 kola, sa masom od oko 1000 tona, koja uključuje 1200 putnika i njihov prtljag [17], koji se kreće brzinom od 320 km/h, potrebno je 3,86 km da bi se zaustavio (uz preporučeno usporenje u pogledu komfora putnika) (uporediti sa [15]). Vibracije i buka takođe predstavljaju značajne komponente komfora.

Služba za generalnu kontrolu i istragu Vlade SAD (U.S. Government Accountability Office) procenila je

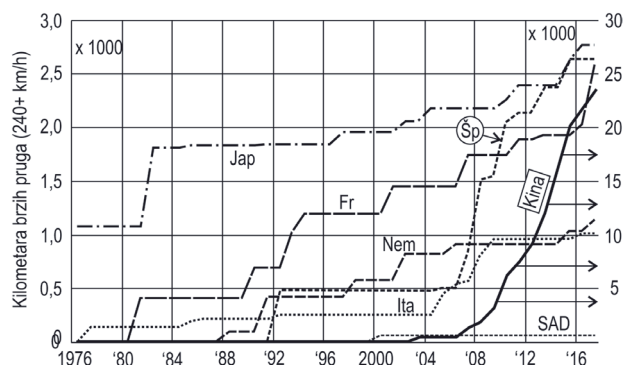
troškove izgradnje dvokolosečne brze pruge, takve da dopušta simultano kretanje vozova najvišom brzinom u oba smera, na 50 miliona USD po milji, koja varira u zavisnosti od vrste voza, terena (i drumske mreže).

Godišnji troškovi održavanja brzih pruga u jednoj studiji EU su procenjeni na 140.000 USD po milji, pri čemu u britanskoj studiji ta cifra iznosi 493.000 USD po milji. Sume su toliko visoke zato što se sa brzinom pruge inspekcija koloseka mora češće sprovoditi, uz uže tolerancije njegove geometrije. Ponovimo podatak o ceni održavanja brzih pruga u EU: 70.000 EUR po 1 km godišnje. Očigledno da i u ovom delu sistema ŽVB ima dosta prostora za optimizaciju, a time i uštede. Automatizacijom nadzora stanja svih najaktivnijih elemenata pruge VB (točkovi, šine/kolosek, zastor/postroj) omogućavaju se znatne uštede, a time i pravovremenska kontrola i intervencije. U tu svrhu služe tzv. Ground Penetrating Radar (GPR), Electrical Resistivity Tomography (ERT) za snimanje sastava i svojstava postroja pruge, ali i metode prepoznavanja oblika putem digitalne obrade slika, čime se može vršiti provera stanja zastora/koloseka i šina, zatim termooptičke metode provere stanja točkova itd. Svi ovi postupci podrazumevaju pokretne platforme na kojima se nalazi dotične oprema što omogućava brz pregled pruge [79–81].

5. ZAKLJUČAK

Vozovi (ultra)visoke brzine, zapravo brza železnica, predstavljaju veoma kompleksan sistem i tehnologiju usmerenu ka ostvarenju efikasnog transporta, u smislu vremena, koštanja (potrošnje energije i angažovanja infrastrukture) i komfora putnika, kako bi bila konkurentna avio-transportu, ali da pri tome očuva sve prednosti železničkog transporta (masovnosti i težine), a da prevlada u komforu. Konstantni naponi u prethodne dve decenije rezultovali su u sadašnjoj situaciji – pravoj eri brzih železnica. O tome svedoči i eksponencijalni porast dužine izgrađenih pruga VB (Sl. 7) [82].

Iako brze želenice obuhvataju mnoge podsisteme: infrastrukturu (građevinske radove, prugu, EVP), stanice (lokacija, funkcionalnost, oprema), vozni park (tehnologija, komfor, konstrukcija), upravljanje-eksploatacija (projektovanje i planiranje, kontrola, upravljanje), SS sisteme,



Slika 7. Tok rasta ukupne dužine pruga VB u svetu u navedenom periodu⁵

održavanje, marketing (korisnici, javnost), rukovođenje, pravnu regulativu, potrebno ih je tretirati kao jedinstven i celovit sistem, bez obzira koliko on bio kompleksan.

Suštinski je važno ne zanemariti bilo koju od ovih komponenata, uzeti ih istovremeno u razmatranje i osigurati da je svaka ispravno povezana sa ostalima, sve do naizgled takvih „sitnica“ poput npr. vremena koje korisnici njenih usluga troše pri kupovanju karata, načina na koji ulaze u stanicu ili koliko čekaju taksi po prispeću voza. Jer to vreme mora biti u potpunoj konzistenciji sa onim „glavnim“ vremenom koje je uštedela upravo osnovna odlika ovih železnica – njena brzina – koja je postignuta upotrebom visoke tehnologije i velikih ulaganja. Uštedeti čak i jedan minut doprinosi konkurentnosti.

Dalja istraživanja i eksploatacija ŽVB podrazumevaju detaljno poznavanje svih faktora koji određuju optimalna rešenja u svim njihovim aspektima. Faktori ne utiču na performanse ŽVB i VVB na poseban način već pre kombinovano, sinergično i korelativno. Zbog toga se moraju poznavati takve međurelacije između pomenutih faktora da bi se pronašla i osmislila još bolja rešenja. U tome vidimo značaj ovog rada.

Kao država, mi se ne pripremamo za projektovanje i proizvodnju VVB, mada za kooperaciju sa zemljama koje to uveliko rade svakako imamo potencijale, već pre svega za planiranje i učestvovanje u gradnji ŽVB, što uključuje topografiju naše zemlje. Zbog toga je neophodno dobro poznavanje sistema ŽVB,

⁵ Jap–Japan, Fr–Francuska, Šp–Španija, Nem–Nemačka, Ita–Italija i SAD, za koje važi leva skala. Za Kinu važi desna skala. Uzete su u obzir samo pruge sa brzinama većim od 240 km/h [82]

svakako ne na nivou razvojno-istraživačkih timova svetski vodećih proizvođača VVB, ali i da se ne bude mnogo iza njih u razumevanju svih faktora, kako kao posebnih elemenata tako i kao korelacionih kombinacija, a i načina na koji oni utiču i određuju funkcionisanje sistema ŽVB.

LITERATURA

- [1] *UNDP Human Development Report 2014, Sustaining Human Progress*
- [2] *ENERGY SAVINGS 2020 – How to triple the impact of energy saving policies in Europe*, September 2010.
- [3] *EU ENERGY IN FIGURES 2016*, Statistical pocketbook 2016
- [4] Hay, William W (1982). „*The economics of electrification*”. Railroad engineering. 1. New York: Wiley. p. 137.
- [5] <http://www.slideshare.net/utkarshsrivastav3/electric-traction-45321013>
- [6] <http://www.machinedesign.com/news/latest-high-speed-train-technology>
- [7] Krug A., Steam vs. Diesel (<http://www.railway-technical.com/trains/steam-vs-diesel.html>)
- [8] Rhodes J., Steam vs. Diesel: *A comparison of modern steam and diesel in the Class I railroad environment* (<http://www.internationalsteam.co.uk/trains/newsteam/modern50.htm>)
- [9] Takaishi T. et al., *Approach to High Efficiency Diesel and Gas Engines*, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review. March 2008, 45 (1).
- [10] <https://www.allianz-pro-schiene.de/en/press/press-releases/2012-19-electric-transport-federal-government-still-has-homework-to-do/>
- [11] *Стратегија развоја железничког, друмског, водног, vazдушног и интермодалног транспорта у Републици Србији од 2008. до 2015. ГОДИНЕ*, „Службени гласник РС”, бр. 4/2008
- [12] *Energy consumption and CO2 emissions*, International Energy Agency, Paris 2015
- [13] *EU Reference Scenario 2016 - Energy, transport and GHG emissions - Trends to 2050*, European Commission, Publications Office of EU, July 2016
- [14] *Eurostat – Energy, transport and environment indicators*, Publications Office of EU, Luxembourg, 2016, Web ISBN 978-92-79-60137-8
- [15] *Green Initiative*, European Investment Bank, (<http://www.eib.org/projects/sectors/transport/index.htm>)
- [16] Кудинов И.А., Бондарев Н.Н., *Электровоз 4ЭС5К и эффект от его применения*, Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения, Но:1 (69), Год: 2015 Стр: 3–13. (Kudinov I.A., Bondarev N.N., *4ES5K electric locomotive and its exploitation effect*, OJSC VELNII)
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_locomotives
- [18] <https://www.scribd.com/doc/250463959/Elektricne-Lokomotive-Serije-441-1-Deo>
- [19] <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-vehicles/high-speed-trains.html>
- [20] <http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/038fce86fdc0a3bcc12578730053b5>
- [21] *UK Department for Transport, Transport appraisal and strategic modelling (TASM) research reports and Rail network*, <https://www.gov.uk/government/publications/rail-demand-forecasting-estimation-study-phase-reports>, 21 April 2017
- [22] *Real Prospects for Energy Efficiency in the United States*, Chapter: 3 Energy Efficiency in Transportation, NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING, NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES, Washington, D.C. 2010 (<https://www.nap.edu/read/12621/chapter/1>)

- [23] Stodolsky, F., Gaines, L., *Railroad and locomotive technology roadmap*, (<https://www.osti.gov/scitech/biblio/925067>)
- [24] Peeters P.M., Middel J., Hoolhorst A., *Fuel efficiency of commercial aircraft: An overview of historical and future trends*, National Aerospace Laboratory NLR, November 2005
- [25] Mangan J., *Future of the Sea: Trends in the Transport of Goods by Sea*, UK Government Office for Science, August 2017
- [26] Gellings C. W., Parmenter K. E., *Energy Efficiency in Freight Transportation, EFFICIENT USE AND CONSERVATION OF ENERGY – Vol. II* - Encyclopedia of Life Support Systems
- [27] Rodrigue J-P., Comtois C., *Transportation and Energy* (<https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch8en/conc8en/ch8c2en.html>)
- [28] Takaishi, Tatsuo; Numata, Akira; Nakano, Ryouji; Sakaguchi, Katsuhiko (March 2008). „*Approach to High Efficiency Diesel and Gas Engines*” (PDF). Mitsubishi Heavy Industries Technical Review. 45 (1). Retrieved 2011-02-04.
- [29] Kondo K., *Recent Energy Saving Technologies on Railway Traction Systems*, IEEJ Trans. 2010; vol. 5, p. 298–303
- [30] 30/28. <https://truecostblog.com/2010/05/27/fuel-efficiency-modes-of-transportation-ranked-by-mpg/>
- [31] <http://sia.planning.unc.edu/pages/courses/EnergyTransportationLandUse/Plan547fall14/TransportationEnergy/>
- [32] Molinski D., *How to Transport Oil More Safely – Each method – pipeline, rail, boat or truck – has its pros and cons*, Wall Street Journal, September 13, 2015
- [33] 33/31. <http://shrinkthatfootprint.com/shrink-your-travel-footprint> (CO2)
- [34] Bouwman, Mirjan E *An environmental assessment of the bicycle and other transport systems*, University of Groningen, Netherlands, 2000
- [35] https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_efficiency_in_transportation#Trains
- [36] Andersson, E., Lukaszewitz, P., *Energy consumption and related air pollution for Scandinavian electric passenger trains*, Report KTH/AVE 2006, Stockholm
- [37] <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/propulsion-controls/products/traction-drives.html>
- [38] <http://new.abb.com/motors-generators/traction-motors-and-generators/traction-motors>
- [39] <http://www.justmeans.com/blogs/energy-efficient-train-travels-over-230-mph-wins-german-design-award>
- [40] https://ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/railways_toolkit/ch1_3.html
- [41] http://www.railway-research.org/IMG/pdf/c1_kalay_semih.pdf
- [42] <https://www.ihha.net/articles/the-35-tonne-heavy-axle-load-testing-continues-at-fast>
- [43] https://nl.dbcargo.com/file/rail-nederland-nl/8380580/VO43wppuWQelgyat3Ob5M_43YPg/5509816/data/freight_wagon_catalog_v2011.pdf
- [44] <http://www.bst-tsb.gc.ca/eng/rapports-reports/rail/2009/r09t0092/r09t0092.asp>
- [45] https://en.wikipedia.org/wiki/Longest_trains
- [46] <https://novascotia.ca/just/regulations/regs/mvwd.htm>)
- [47] <http://shrinkthatfootprint.com/shrink-your-travel-footprint>
- [48] <http://www.bombardier.com/en/media/newsList/details.40976-bombardier-highlights-high-speed-expertise-at-seminar-in-china.bombardiercom.html>
- [49] Dowling, A., Greitzer, E., Hynes, T., Hileman, J., Spakovszky, Z., *The Silent Aircraft*, Aero-Astro, the annual report/magazine, 2006–2007 issue, MIT Aeronautics and Astronautics Department. © 2007 Massachusetts Institute of Technology

- (<http://web.mit.edu/aeroastro/news/magazine/aeroastro-no4/silentaircraft.html>)
- [50] <http://www.aircraft.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a320family/>
- [51] <http://www.aircraft.airbus.com/comfort/>
- [52] <http://www.aircraft.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a380family/>
- [53] Ed. M. Kingsley-Jones, M. Pilling, *A FLIGHT GROUP SPECIAL REPORT*, Reed Business Information Ltd, Quadrant House, Sutton, June 2005, (<https://www.flightglobal.com/assets/getasset.aspx?itemid=9139>)
- [54] Hodas, S., *Design of Railway Track for Speed and High-speed Railways*, Procedia Engineering, Vol. 91, 2014, pp. 256–261
- [55] M. Lindal, *Track geometry for high-speed railways*, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2001
- [56] Vermeij, D. J., *Design of high speed track*, <http://heronjournal.nl/45-1/3.pdf>
- [57] Ankara-Istanbul High-Speed Train Project, Railway Technology (<http://www.railway-technology.com/projects/ankara-istanbul/>)
- [58] <http://turinsaat.com.tr/en/portfolio-item/ankara-istanbul-high-speed-rail-line-2nd-phase-displacement-works-of-conventional-rail-lines-line-8-between-vezirhan-inonu-section-2-karakoy-bozuyuk-stations/>
- [59] https://www.researchgate.net/publication/26541314_Evaluation_of_Ankara_-_Istanbul_high_speed_train_project
- [60] Akgungor, A., A., Demirel, A., *Evaluation of Ankara – Istanbul high speed train project*, TRANSPORT – 2007, Vol XXII, No 1, I a–I c, January 2007.
- [61] Banverket, *Spargeometrihandboken (Track geometry handbook)*, BVH 586.40, Banverket, Borlänge, 1996.
- [62] Bugarín, M., Orro, A., Novales, M., *Geometry of High-Speed Turnouts*, <http://trrjournalonline.trb.org/doi/pdf/10.3141/2261-08>
- [63] Lautala, P., Dick, T., *Railway Alignment Design and Geometry*, <http://www.engr.uky.edu/~jrose/RailwayIntro/Modules/Module%206%20Railway%20Alignment%20Design%20and%20Geometry%20REES%202010.pdf>
- [64] http://www.hitachi-rail.com/products/rolling_stock/tilting/index.html
- [65] Esther C. E. et al, *Coevolution of width and sinuosity in meandering rivers*, Journal of Fluid Mechanics, 760, 127–174.
- [66] Dey, S., *Fluvial Hydrodynamics – Hydrodynamic and Sediment Transport Phenomena*, Ch. 9 Fluvial Processes: Meandering and Braiding, p. 529-562, Springer 2014.
- [67] Ed. Krylov, V. V., *Noise and Vibration from High-speed Trains*, Tomas Telford Publ., London 2001.
- [68] *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems: Proceedings of the 9th International Workshop on Railway Noise*, Munich, Germany, September 2007, Burkhard Schulte-Werning et al (Eds.), Springer Science & Business Media, 2008
- [69] Iwayama, T., *Innovation and Advanced Technology - High Speed Train – („Shinkansen“)*, Presented at XIV Brazil-Japan Joint Economic Committee Meeting, Salvador, Brazil, August 2011 (<https://www.slideshare.net/SistemaFIEB/innovation-and-advanced-technology-high-speed-train-hitachi-brasil-ltda>)
- [70] http://www.solidworks.com/sw/183_ENU_HTML.htm
- [71] <https://contest.techbriefs.com/2014/entries/automotive-transportation/4537>
- [72] Iida, M., Kikuchi, K., Fukuda, T., *Analysis and Experiment of Compression Wave Generated by Train Entering Tunnel Entrance Hood* (https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmeb/49/3/49_3_761/_pdf)
- [73] Howe, M.S., *Design of a tunnel-entrance hood with multiple windows and variable cross-section*, Journal of Fluids and Structures,

Volume 17, Issue 8, July 2003, Pages 1111-1121

- [74] Joong-Keun Choi, Kyu-Hong Kim, *Effects of nose shape and tunnel cross-sectional area on aerodynamic drag of train traveling in tunnels*, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 41, March 2014, Pages 62–73
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S088677981300196X>)
- [75] www.esteco.com
- [76] <http://shrinkthatfootprint.com/shrink-your-travel-footprint>
- [77] <http://www.esteco.com/modelfrontier/bombardier-uses-modelfrontier-optimize-high-speed-trains>
- [78] https://en.wikipedia.org/wiki/Railway_electrification_system
- [79] <https://www.zetica.com/rail/index.htm>
- [80] <https://www.groundpenetratingradar.co.uk/methods.html>
- [81] Guerriera, M., Parlab, G., Celaurob, C., *Digital image analysis technique for measuring railway track defects and ballast gradation*, Measurement, Vol. 113, Jan. 2017, pp. 137–147.
- [82] <https://www.thetransportpolitic.com/2017/07/01/a-generational-failure-as-the-u-s-fantasizes-the-rest-of-the-world-builds-a-new-transport-system/>

(pristup do svih navedenih web adresa ostvaren u periodu 10.11.–8.12.2017.)

DUŠAN VUJOVIĆ*, NORBERT PAVLOVIĆ**

ANALITIČKE METODE ZA PROPRAČUN DUŽINE ZAUSTAVNOG PUTA VOZOVA KOD UREĐAJA SIEMENS I60¹

ANALYTICAL METHODS FOR THE COMPUTING TRAIN BRAKING DISTANCE IN THE SIEMENS I60 DEVICES

Datum prijema rada: 26.11.2017. god.

UDK: 656.1/.2(082)(0.034.4)

REZIME

Bezbednost u železničkom saobraćaju spada u najveće prioritete svakog modernog društva i veliki naponi se ulažu kako bi se nivo bezbednosti na železnici podigao na još viši nivo. Prioritet svakog društva je da obezbedi kvalitetnu prevoznu uslugu uz što bezbedniji saobraćaj. Ljudski faktor se pokazao kao najslabija karika i veliki broj železničkih nezgoda je nastao kao posledica propusta ljudskog faktora. Kod upravljanja vozovima, savremene tehnike nastoje da mogućnost greške mašinovođe svedu na minimum tako što se neke od aktivnosti prenose na savremene uređaje koji ih obavljaju umesto njega. Jedan takav uređaj je sigurnosni uređaj Siemens I60 koji ima ulogu da zaustavi voz u slučaju kada mašinovođa prođe pored signala sa određenim pojmom, a ne postupi prema predviđenoj proceduri. U radu su izračunati i konstruisani dijagrami kočenja vozova za usvojenu kategoriju voza i različite brzine i date su empirijske metode koje se koriste za izračunavanje zaustavnih puteva vožnji vozova, sa naznačenim prednostima i ograničenjima u njihovoj primeni. Prikupljeni podaci i prikazi na dijagramima ukazuju na opasne situacije i brojne nepravilnosti do kojih dolazi pri kočenju vozova. Navedeni su uzroci nastanka opasnih situacija i sagledane moguće posledice kod prekoračenja propisane dužine zaustavnog puta. Izvedeni su zaključci za nekoliko karakterističnih opasnih situacija prilikom kočenja i predložene mere za ublažavanje i izbegavanje tih situacija u budućnosti.

Ključne reči: dijagrami kočenja, zaustavni put voza, SS uređaji Indusi I60, auto-stop uređaj

SUMMARY

Security in railway transport belongs to the highest priorities of every modern society and great efforts are being made to raise the level of railway safety on a higher level. The priority of every society is to provide quality transport service with safer traffic. The human factor proved to be the weakest point and a large number of railway accidents were occurred as a result of the failure of the human factor. In train controlling, modern techniques try to minimize the possibility of failure making by an engine driver. It has been done in a way of overtaking some of the activities that should engine driver has to do during the process of train controlling to modern devices that perform them instead. One such device is Siemens I60, which has the role of stopping the train in a case when engine driver passes the signal with a certain sign, and does not act according to the intended procedure. In this paper, the train braking diagrams for the adopted train category and different speeds are calculated and constructed and empirical methods are used to calculate the train distance with emphasized its advantages and limitations in their application. The collected data and the diagram illustrations indicating dangerous situations and numerous irregularities which occur during braking of trains. These are the causes of hazardous situations and discussed possible consequences of exceeding the prescribed train stopping distance. Conclusions were made for several characteristic hazardous situation during braking and suggested measures for mitigation and avoid of these situations in the future.

Key words: braking diagrams, train stopping distance, SS devices Indusi I60, train autostop device

* Dušan Vujović, mast. inž. saob, Visoka železnička škola strukovnih studija, Beograd, Zdravka Čelara 14, dulevoz@gmail.com

** Doc. dr Norbert Pavlović, dipl. inž. saob, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, norbert@sf.bg.ac.rs

¹ Ovaj rad je u skraćenoj verziji prezentovan na VI međunarodnom simpozijumu Novi Horizonti saobraćaja i komunikacija 2017. koji je održan 17. i 18. novembra 2017. godine na Saobraćajnom fakultetu u Doboju Univerziteta u Istočnom Sarajevu pod naslovom: Put kočenja voza u zavisnosti od načina kočenja pri primenjenom sistemu osiguranja Siemens I60 (Train braking distance depending on the breaking methods at applied safety system Siemens I60S)

1. UVOD

Kako bi se obezbedila veća bezbednost u železničkom saobraćaju, rukovanje vožnjom voza ne treba prepustiti u potpunosti mašinovođi. Razvojem različitih sistema signalno-sigurnosnih uređaja, mašinovođama je ograničena sloboda u samostalnom odlučivanju o načinu vožnje voza. Kod modernih sistema mašinovođa je u obavezi da stalno prati signale duž pruge ili signale kabinske signalizacije. Ukoliko ne postupi prema pravilima, u skladu sa pokazivanjima signalno-sigurnosnih uređaja, ovi uređaji mogu da zaustave voz nezavisno od volje mašinovođe.

Vremenom su razvijeni mnogobrojni tipovi signalno-sigurnosnih uređaja i sistema za automatsko zaustavljanje voza. Noviji tipovi uređaja rade na principu kontinualnog praćenja brojnih parametara kretanja voza. U pitanju je neprestano praćenje brzine kretanja voza u skladu sa postavljenim uslovima od strane signalno-sigurnosnih uređaja ili situacije na pruzi. Kod nekih sistema svako prekoračenje maksimalne dopuštene brzine kretanja voza u trajanju dužem od nekoliko sekundi automatski dovodi do kočenja voza.

Na klasičnim prugama stariji sistemi, koji su i dalje u upotrebi i široko rasprostranjeni, nemaju mogućnost kontinualnog praćenja brzine kretanja voza. Neki tipovi uređaja služe za kontrolu brzine kretanja samo onda kada je određenim signalnim znakom mašinovođi preneto naređenje da brzina voza mora da se smanji ili da se voz u potpunosti zaustavi. Kod tih sistema uređaji će omogućiti da se voz prinudno zaustavi onda kada to mašinovođa iz nekog razloga nije učinio.

Kod nas, najpoznatiji i najčešće korišćen tip signalno-sigurnosnih uređaja za automatsko zaustavljanje vozova je "Siemens Indusi 60". Neki od ovih uređaja rade na principu induktivnosti između različitih delova uređaja. Čine ih nepokretni, pružni delovi uređaja (balize pružnih signala) i pokretni delovi, lokomotivski prijemni delovi uređaja (lokomotivski prijemni deo „auto-stop“ uređaja). U daljem delu rada biće govora samo o ovakvoj vrsti uređaja.

2. PRINCIP RADA SISTEMA ZA AUTOMATSKO ZAUSTAVLJANJE VOZA UREĐAJA TIP A SIEMENS I60

Prilikom prolaska lokomotivskog prijemnog dela autostop uređaja (lokomotivska prijemna glava)

iznad pružnog dela auto-stop uređaja (u daljem tekstu pružna baliza ili baliza), strujno kolo lokomotivskog prijemnog dela autostop uređaja u nekim slučajevima stupa u interakciju sa strujnim kolom balize. Da li će da dođe do međusobne interakcije i kakva interakcija će da bude ostvarena između ova dva uređaja zavisi od signalnog znaka koji je dat signalom ili od ispravnosti delova pružnog signala, balize i lokomotivskog prijemnog dela auto-stop uređaja.

Ukoliko dođe do interakcije lokomotivske prijemne glave i pružne balize inicira se logički proces u auto-stop uređaju na lokomotivi. Taj proces može da se odvija u tri pravca:

- prenošenje upozorenja mašinovođi da smanji brzinu kretanja voza;
- zaustavljanje voza brzim kočenjem, ako mašinovođa ne postupi po proceduri;
- brzo kočenje voza ako voz prođe pored balize signala sa crvenim pojmom (signalni znak „Stoj“).

Sistem za automatsko zaustavljanje voza obuhvata:

- lokomotivski uključni uređaj;
- pneumatski kočioni sistem;
- lokomotivske prijemne glave;
- pružnu balizu;
- brzinomerni uređaj.

Ovakav tip sistema za automatsko zaustavljanje voza i signalno-sigurnosnih uređaja primenjuje se za brzine kretanja do 160km/h.

Lokomotivska prijemna glava je sklop autostop uređaja u kome se induktivnim putem ostvaruje prenos informacija sa pružne balize na vozilo u pokretu. Sastoji se od tri namotaja sa fero-magnetnim jezgrom koji sa odgovarajućim kondenzatorima obrazuju tri redna oscilatorna kola podešena na učestalost odgovarajućih tranzistorskih generatora (500Hz, 1000Hz, 2000Hz). U slučaju prelaska lokomotivske prijemne glave preko aktivne pružne balize (signalni kontakt u pružnoj balizi je otvoren) dolazi do induktivne sprege oscilatornog kola lokomotivske prijemne glave, podešenog na istu učestalost kao aktivno kolo pružne balize, odnosno do prenošenja energije iz strujnog kola lokomotivskog pružnog uređaja u strujno kolo pružne balize. U kolu lokomotivske prijemne glave dolazi do smanjenja struje što izaziva aktiviranje prijelnika impulsa u relejnoj

grupi, koja je posebni deo lokomotivskog auto-stop uređaja.

Relejna grupa predstavlja deo logičkog kola lokomotivskog autostop uređaja. Uređaj prenosi informaciju o svom režimu rada na deo pulta u upravljačnici mašinovođe, koji služi za rukovanje auto-stop uređajem. U upravljačnici se informacije prikazuju kao svetlosna indikacija. Plava indikacija predstavlja režim rada autostop uređaja. Žuta indikacija govori o tome da je uključen režim provere brzine od strane auto-stop uređaja. Kada se mašinovođa prenosi opomena zvučnim signalom auto-stop uređaja i kada dođe do zavođenja brzog kočenja od strane uređaja, tada je upaljena crvena indikacija.

Pružne balize su drugi osnovni deo uređaja za indukcijsku automatsku kontrolu vozova, koje služe za prenos informacija sa pružnih signala na voz induktivnim putem, na bazi rezonantnih strujnih kola. Dakle, svrha pružne balize je da inicira logički proces u auto-stop uređaju, koji će dalje da upozorava mašinovođu da smanji brzinu voza, zaustavi voz ako mašinovođa ne postupi po proceduri i zavede brzo kočenje voza ukoliko je to potrebno.

Učestalost rada od 500 Hz koristi se na kontrolnim pružnim balizama. Ova pružna baliza ugrađuje se na rastojanju od 250m ispred glavnog signala (zaštitnog, ulaznog). Uloga joj je da se na tom mestu kontroliše brzina kretanja voza, ukoliko je signalnim znacima prethodnog signala definisano da brzina voza mora da se smanjuje do narednog signala (radi zaustavljanja voza ispred narednog signala ili zbog vožnje ograničenom brzinom posle narednog glavnog signala). Lokomotivska prijemna glava autostop uređaja, kada je auto-stop uređaj aktiviran prelaskom iznad prethodne pružne balize, po prelasku iznad kontrolne pružne balize vrši kontrolu brzine i ukoliko je bilo potrebno da se brzina kretanja smanji, a to nije učinjeno, auto-stop uređaj zavodi brzo kočenje voza.

Učestalost rada od 1000 Hz koristi se na pružnim balizama kada je na signalu neki od signalnih znakova za očekivanje ograničene brzine kretanja ili signalni znak za opreznu dalju vožnju.

Dakle, pružna baliza radi na učestalosti od 1000 Hz onda kada se na signalu dvoznačne signalizacije

nađe neki od sledećih signalnih znakova:

- „Oprezno, očekuj stoj“;
- „Slobodno, očekuj ograničenje brzine“;
- „Ograničena brzina, očekuj stoj“;
- „Ograničena brzina, očekuj ograničenje brzine“;
- „Ograničena brzina, očekuj slobodno ili oprezno“;
- „Oprezan ulazak u stanicu sa 10 km/h“ (i „Oprezan prelazak preko rasputnice sa 10 km/h“);

Odnosno, na signalu jednoznačne signalizacije:

- „Očekuj stoj“;
- „Očekuj ograničenje brzine“;
- „Ograničena brzina“.

Prelazak lokomotivske prijemne glave autostop uređaja iznad pružne balize u ovom slučaju inicira rad logičkog kola auto-stop uređaja za kontrolu brzine kretanja voza.

Kada je na signalu signalni znak: „Stoj“ ili kada je signal u mraku (neosvetljen), pružna baliza je aktivna za učestalost od 2000 Hz. Tada se prilikom prolaska lokomotivske prijemne glave auto-stop uređaja iznad pružne balize automatski inicira zavođenje brzog kočenja voza.

Kada je dozvoljena vožnja pored signala koji pokazuje signalni znak za zabranjenu dalju vožnju, onda mašinovođa „posluhuje“ auto-stop uređaj korišćenjem tastera „vožnja pod nalogom“. Upotreba tog tastera sprečava da lokomotivski auto-stop uređaj aktivira proces brzog kočenja voza, kada lokomotivska prijemna glava auto-stop uređaja pređe iznad pružne balize, koja je aktivna na učestalosti od 2000 Hz.

U zavisnosti od vrste voza lokomotivski auto-stop uređaj radi u jednom od tri režima. Režimi rada auto-stop uređaja su 1, 2 i 3. Na Železnicama Srbije režim 1 rada auto-stop uređaja koristi se kod brzih i intercity vozova (ima nekoliko izuzetaka). Režim 2 koristi se u saobraćaju putničkih vozova. Ovaj režim rada koristi se i za brze vozove koji saobraćaju na pruzi Beograd–Bar. Režim 3 rada auto-stop uređaja koristi se za lokomotivske i teretne vozove.

Nezavisno od toga u kom režimu radi auto-stop uređaj, prilikom prolaska lokomotivske prijemne glave autostop uređaja iznad pružne balize, aktivne

na učestalosti od 1000 Hz, mašinovođa je dužan da u roku od 4 sekunde pritisne taster „Budnost“ i time spreči zavođenje kočenja voza. Pritiskom na taj taster, mašinovođa potvrđuje auto-stop uređaju da je svestan signalnog znaka na signalu. Iz bezbednosnih razloga auto-stop uređaj bi inicirao brzo kočenje voza, kada mašinovođa ne bi reagovao i pritisnuo taster „Budnost“ u roku od 4 sekunde od trenutka prolaska iznad aktivne pružne balize.

2.1. Režim 1 rada auto-stop uređaja:

U režimu 1 auto-stop uređaja maksimalna dopuštena brzina vozova je 120 km/h (na Železnicama Srbije), a inače do 160 km/h. U trenutku prolaska lokomotivske prijemne glave iznad aktivne pružne balize u logičkom kolu auto-stop uređaja započinje merenje proteklog vremena. U 20. sekundi uređaj vrši kontrolu brzine kretanja voza i ukoliko je ona veća od 90km/h, uređaj inicira zavođenje brzog kočenja voza. Ukoliko je brzina kretanja voza u 20. sekundi manja od 90km/h, prestaje vremenska kontrola brzine od strane auto-stop uređaja.

2.2. Režim 2 rada auto-stop uređaja:

U režimu 2 auto-stop uređaja maksimalna dopuštena brzina vozova je 100km/h. U trenutku prolaska lokomotivske prijemne glave iznad aktivne pružne balize u logičkom kolu auto-stop uređaja započinje merenje proteklog vremena. U 26. sekundi uređaj vrši kontrolu brzine kretanja voza i ukoliko je ona veća od 65km/h, uređaj inicira zavođenje brzog kočenja voza. Ukoliko je brzina kretanja voza u 26. sekundi manja od 65km/h, prestaje vremenska kontrola brzine od strane auto-stop uređaja.

2.3. Režim 3 rada auto-stop uređaja:

U režimu 3 auto-stop uređaja maksimalna dopuštena brzina vozova je 80km/h. U trenutku prolaska lokomotivske prijemne glave iznad aktivne pružne balize u logičkom kolu auto-stop uređaja započinje merenje proteklog vremena. U 34. sekundi uređaj vrši kontrolu brzine kretanja voza i ukoliko je ona veća od 50km/h, uređaj inicira zavođenje brzog kočenja voza. Ukoliko je brzina kretanja voza u 34. sekundi manja od 50km/h, prestaje vremenska kontrola brzine od strane auto-stop uređaja.

3. PRESTANAK RADA AUTO-STOP UREĐAJA KAO SIGURNOSNOG UREĐAJA

Kada dođe do zavođenja brzog kočenja voza, koje je inicirano od strane auto-stop uređaja, prestanak dejstva auto-stop uređaja nastupiće 7 sekundi posle praznjenja glavnog vazdušnog voda. Tek tada može da se uspostavi proces otkočivanja voza.

Jasno je da u svakom režimu rada auto-stop uređaja po isteku vremenske kontrole brzine kretanja voza, kada je ona manja od predviđene, prestaje njegova sigurnosna uloga. Takođe, zadavanje komande brzog kočenja voza prestaje posle 7 sekundi od trenutka skoro potpunog praznjenja glavnog vazdušnog voda. To može da predstavlja problem kod nekih vozova, koji se ne bi zaustavili, bez obzira što je glavni vazdušni vod ispražnjen.

Primer za to su lokomotivski vozovi i kratki vozovi za prevoz putnika, kod kojih značajan deo kočne mase pripada vučnom vozilu. Zapravo, većina vučnih vozila opremljena je tasterom za otkočivanje lokomotivske kočnice. Korišćenje tog tastera predviđeno je prilikom kočenja voza kočnikom produžne kočnice, kada je dovoljna kočna sila uspostavljena kočnicama vučenih vozila, kako bi se rasteretile kočnice vučnog vozila. Upotrebom tastera „otkočivanje lokomotivske kočnice“ ispušta se vazduh iz svih kočnih cilindara na lokomotivi.

Upotreba otkočnika na vučnim vozilima predviđena je kako bi se izvršilo delimično ili potpuno otkočivanje točkova, da ne bi došlo do proklizavanja ili klizanja točkova po šinama prilikom energičnog kočenja. Takođe, upotreba otkočnika masovno je prisutna i zbog manjeg trošenja venaca bandaža točkova vučnog vozila, koje je opremljeno klasičnim kočionim papučama, koje naležu na kotrljajuću površinu točka.

U slučajevima kada znatan deo kočne mase voza pripada vučnom vozilu, prilikom zavođenja brzog kočenja od strane auto-stop uređaja i istovremenom upotrebom otkočnika lokomotivske kočnice, voz nema dovoljnu kočnu masu da se zaustavi na potrebnoj dužini zaustavnog puta. Razlog tome je brzo praznjenje glavnog vazdušnog voda, koje dovodi do kočenja kočnica samo na vučenim vozilima. Tako kočen voz u nekim slučajevima neće se zaustaviti ni po isteku 7 sekundi od trenutka potpunog praznjenja glavnog vazdušnog voda. Tada

prestaje dejstvo autostop uređaja i do ponovne aktivacije auto-stop uređaja može da dođe samo prilikom nailaska na sledeću pružnu balizu. Do tada kontrola brzine kretanja voza prepuštena je mašinovođi.

Dovođenje voza u nebezbednu situaciju, kretanjem prekoračenom brzinom, od strane mašinovođe, onda kada je signalni znak zadao smanjivanje brzine kretanja, a auto-stop uređaj ispravno radi, može da se postigne na još jedan način. Mašinovođa je u obavezi da prilagodi brzinu kretanja voza, tako što će u određenom vremenu da je smanji ispod određene vrednosti, zavisno od režima rada autostop uređaja.

Kada se završi vremenska kontrola brzine kretanja voza od strane autostop uređaja, to se često postigne na velikoj udaljenosti od sledećeg signala (ulaznog signala) i na još većoj udaljenosti od mesta na kojem bi trebalo da se vozi ograničenom brzinom (skretničko područje iza ulaznog signala). U praksi mašinovođe neretko pribegavaju povećavanju brzine kretanja voza kada istekne vremenska kontrola brzine kretanja. Ukoliko je rastojanje do sledećeg signala veliko, brzina kretanja voza može toliko da se poveća da prvim sledećim kočenjem voz ne može da se zaustavi ili dovoljno uspori do mesta predviđenog za zaustavljanje ili vožnju ograničenom brzinom. Tada ni zavođenje brzog kočenja od strane auto-stop uređaja ne može da spreči mogući nastanak vanrednog događaja (na primer preletanje sledećeg signala, koji pokazuje signalni znak „Stoj“).

4. PUT KOČENJA I ZAUSTAVLJANJA VOZA

Na osnovu vremenske podele procesa kočenja odgovarajući put kočenja i put zaustavljanja voza se sastoji od:

- pripremnog puta kočenja ili puta reagovanja i
- puta kočenja voza.

$$L_K = L_{pk} + L_{kv} \quad (1)$$

Dužina pripremnog puta kočenja zavisi od brzine kretanja i pripremnog vremena kočenja. Približno izračunavanje dužine puta kočenja voza može da se sprovede pomoću sledećeg empirijskog obrasca:

$$L_K = \frac{4,13 * (V_1^2 - V_2^2)}{f_k + \omega_o + i} \quad (2)$$

V_1 – brzina kretanja voza prilikom otpočinjanja procesa kočenja, V_2 – brzina kretanja voza po završenom procesu kočenja (posle otkočivanja), f_k – svedena sila kočenja, predstavljena odnosom ukupne kočne sile i mase koja se koči, ω_o – osnovni srednji otpori kretanja na putu kočenja, i – nagib dela trase na kome se koči.

Ovaj obrazac može da se prikaže i u sledećem obliku:

$$L_K = \frac{4,13 * (V_1^2 - V_2^2)}{\mu + \delta + p_k + \omega_o + i} \quad (3)$$

μ – koeficijent trenja između kočnih papuča i točkova, δ – odnos sile pritiska kočne papuče i athezije mase po točku, p_k – procenat kočenja.

Prilikom zaustavljanja $V_2=0$, pa je put kočenja do zaustavljanja:

$$L_K = \frac{4,13 * V^2}{\mu + \delta + p_k + \omega_o + i} \quad (4)$$

Tokom određivanja ove empirijske jednačine za određivanje dužine zaustavnog puta korišćene su mnogobrojne aproksimacije i samim tim i određene pretpostavke, tako da ta jednačina nije dovoljno precizna i ima određene nedostatke. Osnovni nedostatak ogleda se u tome što se za određivanje puta preporučuje korišćenje malih vrednosti priraštaja brzine kretanja, ne većih od 10km/h. Prilikom uzimanja većih vrednosti priraštaja brzine račun dosta odstupa od stvarnih vrednosti zaustavnih puteva. Pored toga, kočna sila u posmatranom periodu između dve krajnje brzine mora da bude približno kontinualna, odnosno da nema nagle promene vrednosti. To se u uslovima normalne eksploatacije i proračuna zaustavnog puta u takvim uslovima veoma teško postiže. Promene vrednosti kočne sile su teorijski moguće samo na krajevima računskih intervala brzine.

Ovaj obrazac je samo jedan od mnogo upotrebljivanih obrazaca za izračunavanje dužine zaustavnog puta. Mnogobrojni autori su se bavili ovom problematikom i rezultati dobijeni različitim obrascima za iste uslove tokom kočenja su često različiti. Te razlike variraju oko neke srednje vrednosti, pa je potrebno odraditi mnogo proračuna na različite načine, kako bi se došlo do zadovoljavajućeg rešenja.

Prema objavi UIC – 546, zaustavni put može da se izračuna na osnovu sledeće jednačine:

$$L_z = \frac{k \cdot V^2}{1,09375 \cdot p + 0,127 - 0,235 \cdot i \cdot k} (m) \quad (5)$$

k – koeficijent zavisen od brzine, V – brzina kretanja voza u trenutku zavođenja kočenja do zaustavljanja, u km/h, p – procenat kočne mase, i – nagib trase na kojoj se koči (u promilima).

Sve aproksimacije izvedene tokom određivanja ove jednačine objedinjene su koeficijentom (k) zavisnim od brzine i njegove vrednosti date su u tabeli 1:

Tabela 1. Zavisnost koeficijenta (k) od brzine kretanja voza u početku kočenja

V(km/h)	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
k(*100)	6,11	6,28	6,36	6,48	6,67	6,69	7,21	7,31	7,42	7,55

U literaturi se pored navedenih obrazaca sreće mnoštvo sličnih obrazaca za izračunavanje dužine zaustavnog puta. Različite železničke uprave su modifikovale postojeće ili izvodile nove obrasce, uglavnom prema svojim potrebama. U nekim obrascima se koristi koeficijent adhezije, u nekim procenat kočenja, a u nekima su oba koeficijenta svrstana pod zajedničku veličinu, specifičnu kočnu silu. Zavisno od ulaznih podataka kojima se raspolaže mogu da se primene različiti obrasci.

Empirijski obrasci za proračun dužine zaustavnog puta koje preporučuju određeni autori su empirijski obrasci autora Maison, Pedeluck i Minden. Prema autoru Maison zaustavni put se može dobiti na sledeći način:

$$L(m) = \frac{4,24 \cdot V^2 \left(\frac{km}{h}\right)}{1000 \cdot \varphi \cdot p + 0,0006 \cdot V^2 + 3 - i} \quad (6)$$

φ – koeficijent adhezije zavisen od nagiba dela trase na kojem se sprovodi kočenje ($\varphi=0,10$ za $i<15\%$; $\varphi=0,10$ do $0,00133(i-15)$ za $i>15\%$, V – brzina kretanja voza u trenutku zavođenja kočenja do zaustavljanja, u km/h, p – procenat kočenja, definisan kao odnos kočene mase i ukupne mase svih kočenih vozila, i – nagib trase na kojoj se koči (u promilima), koji se koristi kao pozitivan broj pri kočenju na padu i negativan broj kada se kočenje obavlja na usponu.

Autor je napomenuo da je u ovom obrascu pomoću procenta kočenja izražena kočna sila neophodna za kočenje jedne tone. To je slično ranije pomenutim svedenim (specifičnim) vrednostima kočne sile voza, koje su se upotrebljavale u drugim obrascima. Jasno je da je procenat kočenja kritični faktor za dobijanje određene vrednosti zaustavnog puta. Ovaj obrazac takođe daje mogućnost da odredi procenat kočenja u zavisnosti od zahtevane dužine zaustavnog puta i brzine kretanja voza, na određenom nagibu i pri određenom koeficijentu adhezije.

Pedeluck daje empirijski obrazac prilagođen za izračunavanje dužine zaustavnog puta putničkih

vozova, brzina kretanja od 70km/h do 140km/h:

$$L(m) = \frac{\varphi \cdot V^2 \left(\frac{km}{h}\right)}{1,09375 \cdot p + 0,127 - 0,235 \cdot i \cdot \varphi} \quad (7)$$

Prethodna dva obrasca razvijana su od strane francuskih železnica i koriste se u nekim UIC objavama. Za potrebe izračunavanja dužine zaustavnog puta Nemačke železnice razvile su takozvani Mindenski obrazac i to posebno za putničke vozove i posebno za teretne vozove:

$$L(m) = \frac{3,85 \cdot V^2 \left(\frac{km}{h}\right)}{\left(6,1 \cdot \varphi \cdot \left(1 + \frac{p}{10}\right)\right) + i} \quad (8)$$

za putničke vozove,

$$L(m) = \frac{3,85 \cdot V^2 \left(\frac{km}{h}\right)}{5,1 \cdot \varphi \cdot \sqrt{p - 5} + i} \quad (9)$$

za teretne vozove.

Parametar φ uzima vrednosti od 0,5 do 1,25 u zavisnosti od karakteristika primenjenog tipa kočnica (Profillidis, 2014).

Korekcija ulaznih parametarta vrši se prema potrebi, biranjem odgovarajuće vrednosti i prilagođavajući ih posmatranom obrascu. Na taj način je za nekoliko različitih vozni sastava (prosečni putnički i prosečni teretni voz koji se

sreću u saobraćaju na prugama Železnica Srbije i susednim železničkim upravama) izvršeno prilagođavanje ulaznih parametara i izvršeno je proračunavanje dužine zaustavnog puta. Pomoću mnoštva različitih dobijenih rezultata, za potrebe ovog rada, sa dovoljnom tačnošću uzeto je nekoliko prosečnih vrednosti za dužinu zaustavnog puta. To je izvršeno aproksimacijom dobijenih rezultata. Tako dobijene vrednosti kasnije su korišćene pri izradi dijagrama kočenja voza za brzinu kretanja od 75km/h.

5. KRETANJE VOZA U RAZLIČITIM SITUACIJAMA KADA JE POTREBNO ZAUSTAVITI VOZ ILI SMANJITI BRZINU KRETANJA

Prilikom neregularnog kočenja voza, a u skladu sa pravilima definisanim signalnim znacima signala i pravilima rada auto-stop uređaja, dolazi do promene vremena kočenja voza. Takođe, te neregularnosti dovode i do nebezbednog produžavanja puta kočenja i zaustavnog puta voza.

Da bi se lakše stekao uvid u ovu problematiku, potrebno je grafički prikazati problem. Dijagramima kretanja može da se predstavi grafička interpretacija promene brzine voza u vremenu. Dijagrami kočenja su pogodni za prikazivanje ponašanja dužine zaustavnog puta u odnosu na brzinu kretanja voza. Ovi dijagrami mogu da sadrže podatke o nagibu trase na kojem se koči, kao i podatke o proteklom vremenu tokom kočenja.

Primer dijagrama kočenja za brzinu od 75km/h, za vrednosti nagiba trase od 10‰ uspona do 25‰ pada, pri jednoj vrednosti kočne sile dat je na slici 1.

U daljem tekstu biće razmatran slučaj kočenja voza na pravcu i horizontali, sa početnom brzinom kretanja od 75km/h. Sa ovog dijagrama za početak će biti iskorišćena kriva brzine kretanja u odnosu na zaustavni put za nagib trase od 0‰. Na osnovu unesenih parametara vremena sa gornjeg dijagrama kočenja, biće određena kriva brzine kretanja voza prilikom kočenja u odnosu na vreme. Ova kriva predstavljena je na slici 2.

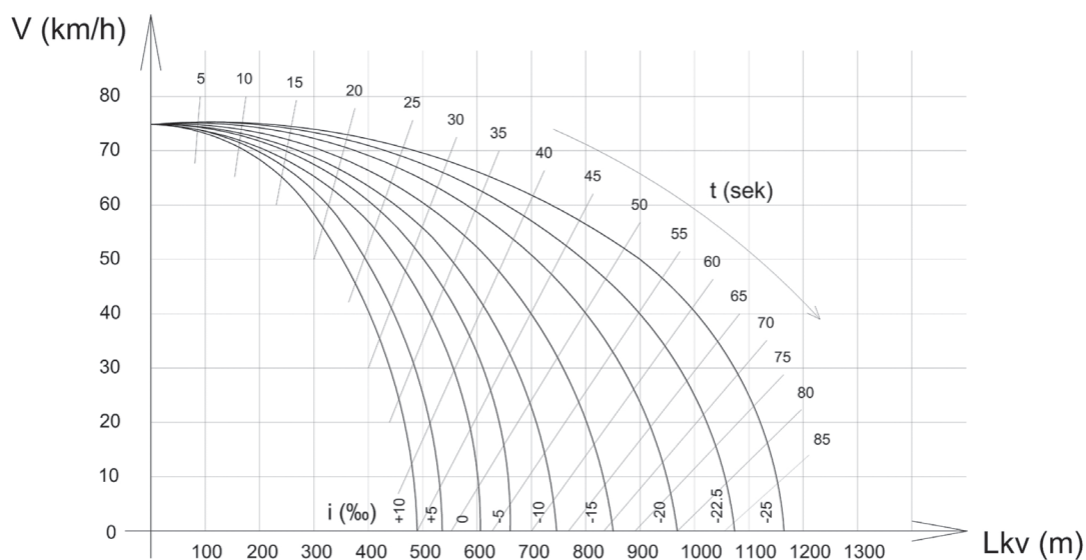
Na osnovu ovog dijagrama u sledećem delu rada biće predstavljeni dijagrami promene brzine prilikom kočenja u različitim uslovima eksploatacije, pri upotrebi različitih vrsta kočnika i različitog načina opsluge kočnika.

Na sledećem dijagramu (slika 3) predstavljen je spektar krivih funkcija brzine u vremenu, u zavisnosti od toga da li se koči prosečnom kočnom silom, normalnim postepenim kočenjem određenog intenziteta, potpunim kočenjem, brzim kočenjem ili početnim stepenom kočenja (smanjivanje pritiska za 0,5 bara u kočnim cilindrima i održavanje pritiska od 4,5 bara u glavnom vazdušnom vodu tokom kočenja, sve do zaustavljanja).

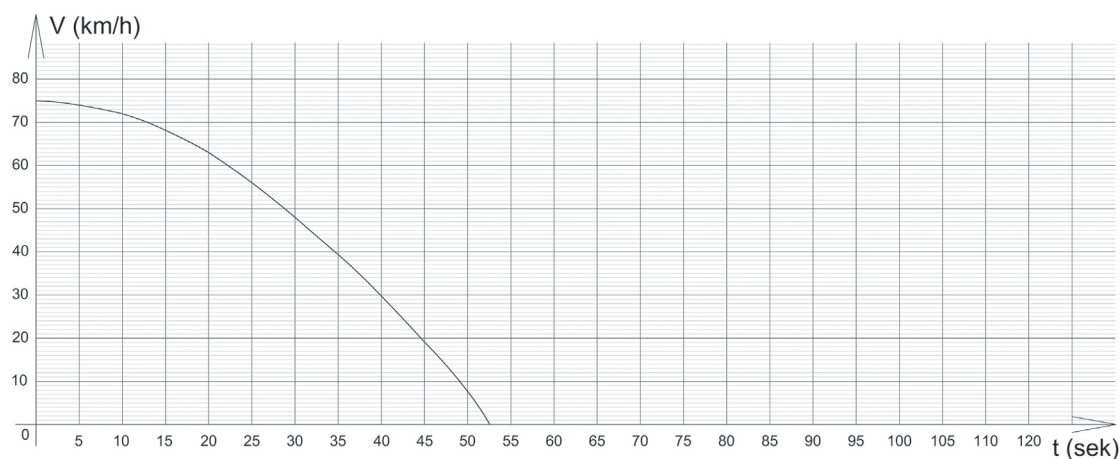
Ovaj dijagram je nastao izvođenjem velikog broja ponavljanja različitog načina kočenja različitih vozova u praksi, različitim tipovima kočnika koji se primenjuju na našoj železnici. Vrednosti dobijene u svakom uzastopnom kočenju međusobno su uprosečene i predstavljene na dijagramu. Kako se svaki vozni sastav drugačije ponaša prilikom kočenja, a različiti tipovi vozova (teretni i putnički) se međusobno veoma razlikuju u procesu kočenja, podaci predstavljeni na ovom dijagramu nisu precizni i samo okvirno prikazuju promenu brzine kretanja i odnos vremena potrebnih za zaustavljanje.

U praksi se za normalno zaustavljanje vozova uglavnom koristi prosečna vrednost kočne sile u kombinaciji sa početnim stepenom kočenja. Sa gornjeg dijagrama jasno se vidi da kada bi se kočnik zadržao u položaju početnog stepena kočenja, u kome se iz glavnog vazdušnog voda ispušta 0,5 bara, da bi se zaustavno vreme znatno produžilo, a time bi se znatno produžio i zaustavni put. Lako se uočava i razlika između kočenja brzim i potpunim kočenjem. Stavljanjem kočnika u položaj brzog kočenja postiže se znatno brže opadanje pritiska u glavnom vazdušnom vodu i samim tim brz rast pritiska u kočnim cilindrima. Kod potpunog kočenja protekne znatno duže vreme do uspostavljanja maksimalnog pritiska u kočnim cilindrima jer se sporije smanjuje pritisak iz glavnog vazdušnog voda.

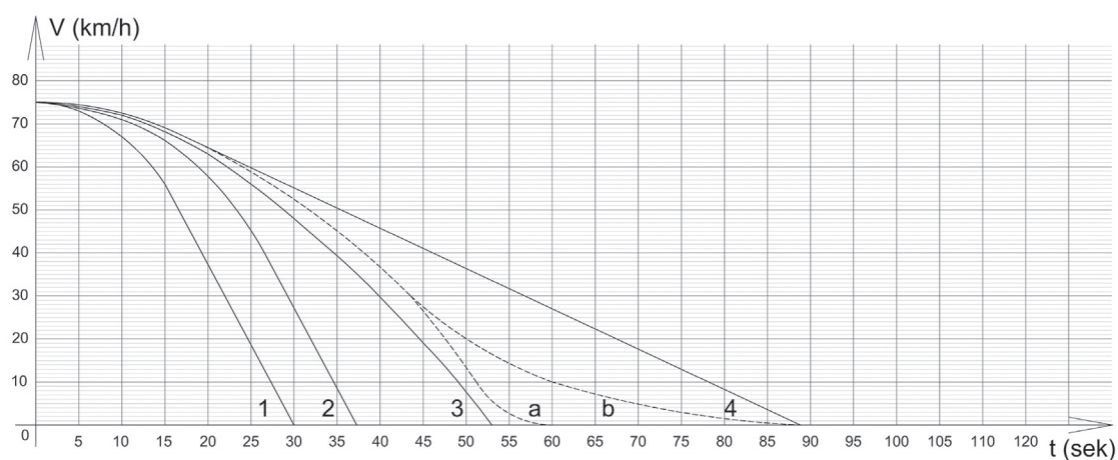
Maksimalni dopušteni pritisak u kočnim cilindrima isti je kod brzog i potpunog kočenja, a on je određen u zavisnosti od različitih uslova eksploatacije i ne prekoračuje se kako ne bi došlo do blokiranja osovine prilikom kočenja. Zaustavno vreme kod potpunog kočenja malo je duže nego zaustavno vreme kod brzog kočenja, ali se zaustavni put produžava za oko 20%, jer je u početku kočenja velika brzina kretanja znatno duže prisutna nego kod brzog kočenja.



Slika 1. Dijagram kočenja voza za brzinu kretanja od 75 km/h



Slika 2. Dijagram promene brzine kretanja voza u vremenu prilikom kočenja uz upotrebu srednje vrednosti koćne sile



Slika 3. Dijagram promene brzine kretanja voza u vremenu prilikom kočenja uz upotrebu različite koćne sile¹

¹ 1 – brzo kočenje, 2 – potpuno kočenje, 3 – normalno kočenje prosečnom koćnom silom, 4 – kočenje početnim stepenom kočenja, a – pravilno kočenje radi smanjivanja zaustavnog vremena i zaustavnog puta, b – pravilno kočenje radi smanjivanja zaustavnog puta i izbegavanja trzaja prilikom zaustavljanja

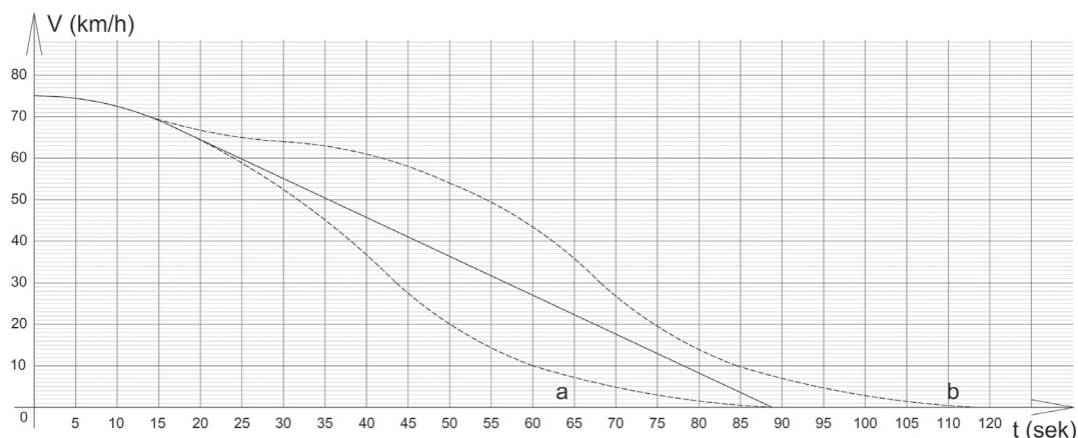
Pravilno kočenje, odnosno pravilno rukovanje kočnikom, podrazumeva da se voz prvo zakoči početnim stepenom kočenja, ispuštanjem 0,5 bara pritiska iz glavnog vazdušnog voda. Kada se pad pritiska prenese do kraja voza, odnosno kada voz počne da koči ustaljenom kočnom silom, pristupa se daljem smanjivanju vazdušnog pritiska u zavisnosti od potrebe.

U odnosu na nastavak kočenja početnim stepenom kočenja, daljim smanjivanjem pritiska postiže se povećanje kočne sile, što omogućava znatno skraćivanje zaustavnog puta ili i zaustavnog puta i zaustavnog vremena zajedno. Primer kočenja (a) sa dijagrama pokazuje skraćivanje zaustavnog puta i vremena. Potpuno otkočivanje je kočnikom započeto pri brzini od oko 15 km/h, ali zbog tromosti vazdušne struje i sporijeg povećanja pritiska u glavnom vazdušnom vodu celog voza, efekat otkočivanja se primećuje pri nešto manjoj brzini kretanja. Kako je pred otkočivanje bila postignuta velika vrednost kočne sile, voz nije stigao u potpunosti da otkoči, što dovodi do manjeg trzaja prilikom zaustavljanja. Primer kočenja (b) sa dijagrama razlikuje se u tome što je kočnikom otpočeto postepeno otkočivanje voza pri brzini od oko 35 km/h. Kod postepenog otkočivanja još je više prisutna tromost vazdušne struje, jer se otkočivanje vrši blagim i postepenim povećavanjem vazdušnog pritiska u glavnom vazdušnom vodu. Neposredno pred zaustavljanje, voz je skoro u potpunosti otkočio i krajnje zaustavljanje postignuto je pod inercijom voza, savlađivanjem

samo osnovnih otpora kretanja. Time je postignuto potpuno bestrzajno, mirno zaustavljanje, na dužini zaustavnog puta kraćoj od dužine zaustavnog puta pri početnom stepenu kočenja, ali je zauzvrat zaustavno vreme ostalo nepomenjeno u odnosu na nastavak kočenja početnim stepenom kočenja.

Nestručno i nepravilno rukovanje kočnicama veoma lako može da dovede do neželjenog produžavanja zaustavnog puta, što za posledicu može da ima prolazak mesta predviđenog za zaustavljanje i ugrožavanje bezbednosti saobraćaja. Veoma često se u normalnoj eksploataciji koristi kombinovanje postepenog kočenja i otkočivanja tokom zaustavljanja voza ili smanjivanja brzine kretanja voza. Uzastopno kočenje i otkočivanje nekoliko puta zaredom može da dovede do efekta "iscrpljenosti" kočnica, bez obzira što se radi o neiscrpnim kočnicama sa višestepenim otkočivanjem. Višestepeno otkočivanje omogućava da se kočna sila proizvoljno smanjuje tokom kočenja, a neiscrpane kočnice omogućavaju da se posle otkočivanja ponovo sprovede proces kočenja sa velikom vrednošću kočne sile.

Problem kod pneumatskih kočnica ogleda se u tome što prilikom prekida procesa otkočivanja pre potpunog otkočivanja, ponovnim zavođenjem kočenja, pre nego što je ceo voz otkočio, uspostavljanje velike vrednosti kočne sile traje znatno duže nego prilikom zavođenja kočenja kada je pritisak u glavnom vazdušnom vodu 5 bara i kada je ceo voz otkočen. To se jednostavno može prikazati na dijagramu sličnom prethodnom (slika 4).



Slika 4. Dijagram promene brzine kretanja voza u vremenu²

² (a) prilikom kočenja bez zadavanja komande otkočivanja i ponovnog kočenja tokom otkočivanja i (b) prilikom kočenja sa zadavanjem komande otkočivanja i ponovnog kočenja tokom otkočivanja

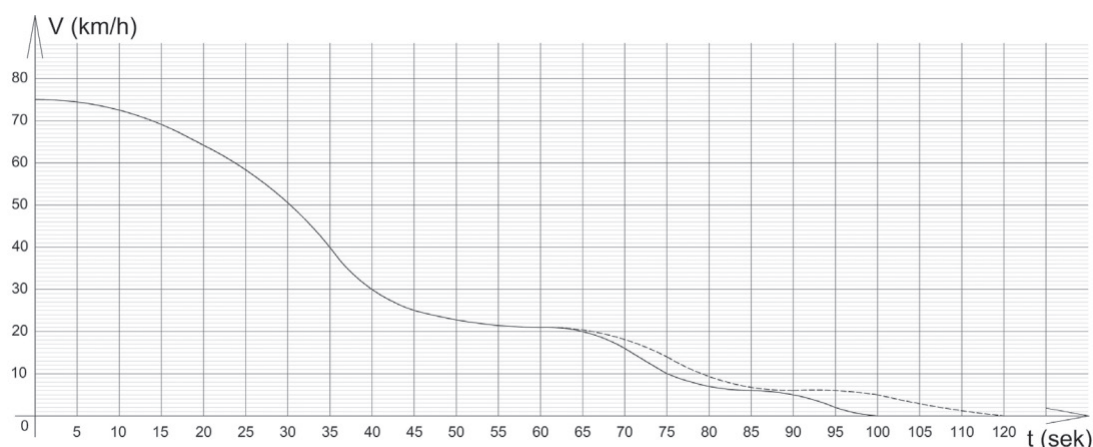
Za isto vreme zadržavanja kočnika u položaju kočenja, prvim zadatim kočenjem i kočenjem zadatim tokom procesa otkočivanja, postiže se različito vreme uspostavljanja željene kočne sile. Na gornjem dijagramu dat je primer postepenog zavođenja kočenja, u početku sa 0,5 bara pritiska u kočnim cilindrima. Radi smanjivanja zaustavnog puta (slučaj a), oko dvadesete sekunde, pristupa se povećavanju kočne sile, a kako bi se postiglo beztrajno zaustavljanje, blagovremeno se sprovodi postepeno i na kraju potpuno otkočivanje. Drugi slučaj (b) prikazuje situaciju u kojoj se umesto povećavanja kočne sile, posle postizanja pritiska od 0,5 bara u kočnim cilindrima, pristupilo otkočivanju stavljanjem kočnika u položaj vožnje, odnosno u položaj potpunog otkočivanja. Pre nego što je postignuto potpuno otkočivanje, kočnikom je ponovo započet proces kočenja početnim stepenom kočenja. Kočna sila od 0,5 bara u kočnim cilindrima postići će se posle dužeg vremena nego što je bio slučaj kod prvog sprovedenog kočenja. Zatim se proces kočenja dalje sprovodi kao u prvom opisanom slučaju (a). Ovakvo rukovanje kočnikom dovodi do znatnog produžavanja zaustavnog puta u odnosu na prvi slučaj.

Do sada opisani načini kočenja odnose se na kraći teretni voz ili na duži voz za prevoz putnika, uz upotrebu isključivo pneumatskog kočenja voza. Vreme na vremenskoj skali na prikazanim grafikonima čini vreme reagovanja opreme i vreme kočenja voza. Uzeto je prosečno vreme reagovanja opreme, za kočnice brzog dejstva i u slučaju voza za prevoz tereta i u slučaju voza za prevoz putnika.

Kod upotrebe različitih vrsta kočnika na kočnice istog voza (Knor, Erlikon, Vestinghauz i drugi), u slučaju regularnog kočenja, bez otkočivanja i ponovnog zavođenja kočenja, postoje male razlike u karakteristikama promene brzine u vremenu. Prilikom otkočivanja i ponovnog kočenja razlike u upotrebi različitih vrsta kočnika su dosta izraženije. Radi pojednostavljenja prikazanih šema i opisa delovanja kočnika na kočnice istog voza, biće predstavljene razlike u upotrebi dva kočnika, Erlikon FV4a i Knor D2, pri tri uzastopna kočenja i otkočivanja (slika 5).

Prilikom upotrebe kočnika Erlikon, nema specijalno izraženih problema. U pitanju je tipičan primer neiscrpnog kočnika, kod koga prilikom uzastopnog kočenja i otkočivanja dolazi do beznačajnog slabljenja kočne sile u početku odmah ponovljenog procesa kočenja.

Bez obzira što je opisani kočnik Knor neiscrpan, kod njega se ipak primećuje razlika u procesu ponovljenog zavođenja kočenja. To produženo vreme uspostavljanja iste kočne sile, koja je bila postignuta za malo kraće vreme u prvom procesu kočenja, nije mnogo značajno pri manjim brzinama kretanja, kao što je maksimalna početna brzina u opisanom primeru. Ukoliko se radi o većim početnim brzinama kretanja i uzastopnom kočenju i otkočivanju, razlika u odnosu na potpuno neiscrpan kočnik je veoma izražena i može biti veoma opasna tokom eksploatacije. Ovaj problem je najviše prisutan kod kraćih i lakših vozova, kao što su putnički vozovi, kod kojih značajan deo kočne mase pripada vučnom vozilu.



Slika 5. Dijagram promene brzine kretanja voza pri uzastopnom kočenju i otkočivanju

————— za kočnik Erlikon FV4a
 - - - - - za kočnik Knor D2

Postoje mnogobrojni slučajevi lošeg, nedozvoljenog ili nepravilnog rukovanja kočnicama voza od strane mašinovođe. U slučajevima propisanog načina rukovanja kočnicama u skladu sa signalnim znacima na signalima i u skladu sa režimima rada auto-stop uređaja, mogu da nastanu brojne nepravilnosti u radu. Postoji mnogo kombinacija rukovanja uređajima auto-stop i kočnicama voza, koje spadaju u neregularnosti u radu. Iz praktičnih razloga biće prikazane samo neke od situacija nastalih tokom nepravilnog i neregularnog rada. Uz njih biće prikazan i pravilan način rada. Neka su za sve razmatrane slučajeve sledeći uslovi:

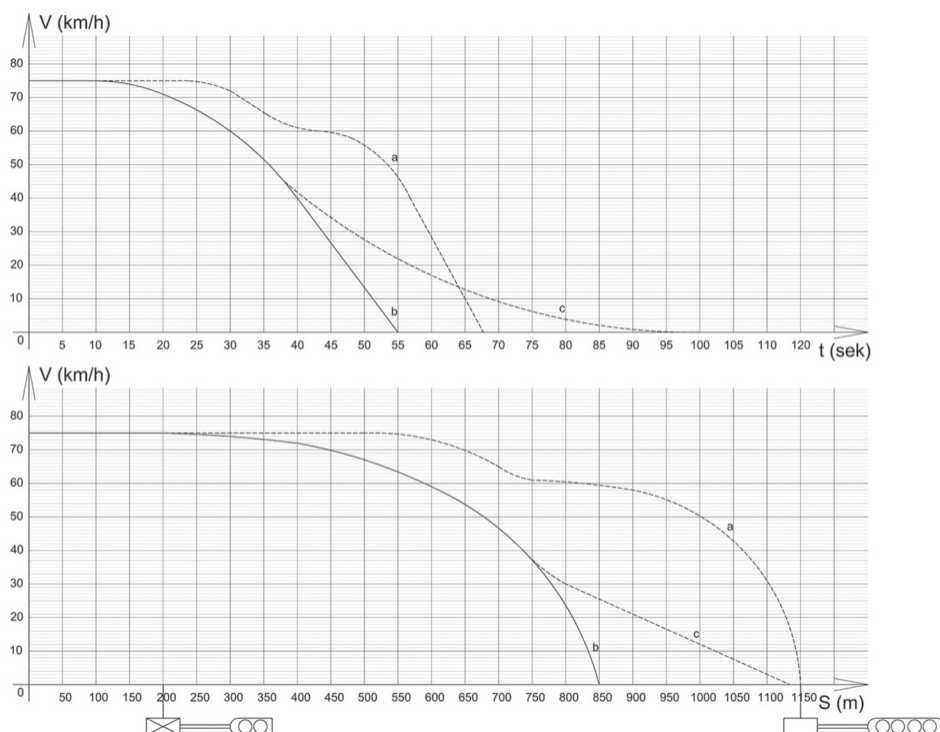
- na predsignalu ulaznog signala je signalni znak: „Očekuj stoj“;
- na ulaznom signalu je signalni znak: „Stoj“;
- brzina kretanja voza do predsignala je 75km/h;
- režim rada auto-stop uređaja je 2;
- rastojanje predsignala od ulaznog signala iznosi 950m;
- posmatrani deo trase je u pravcu i horizontali;
- u pitanju je prosečni vozni sastav (Vujović, 2015.).

Dužina zaustavnog puta i vreme potrebno za zaustavljanje, za potrebe izrade ovog dela rada, biće usvojeni kao prosečne vrednosti, dobijene na osnovu krive 3 normalnog kočenja i krive 1 brzog kočenja, sa dijagrama kočenja prikazanog na slici 1. ovog rada.

Dužina zaustavnog puta voznog sastava, na delu trase bez nagiba, pri brzini od 75 km/h i uz prosečnu kočnu silu, pri zaustavljanju iznosi 650m, a zaustavno vreme 55 sekundi. Prilikom brzog kočenja moguće je zaustavljanje voznog sastava na kraćem rastojanju i ono iznosi 450 m, uz zaustavno vreme od 30 sekundi.

5.1. Slučaj regularnog kretanja voza pri datim uslovima i oblast dopustivih vrednosti

Oblast dopustivih vrednosti nalazi se u prostoru ispod isprekidane krive funkcije brzine od vremena, odnosno krive funkcije brzine od pređenog puta (slika 6). Isprekidana linija predstavlja krivu promene brzine prilikom simulacije brzog kočenja sa jednim kratkotrajnim otkočivanjem.



Slika 6. Dijagrami promene brzine po vremenu i po pređenom putu, pri pravilnoj upotrebi auto-stop uređaja³

³ Kriva a – kriva maksimalne brzine pri dva uzastopna brza kočenja;
 Kriva b – kriva promene brzine prilikom potpunog kočenja bez otkočivanja;
 Kriva c – kriva promene brzine prilikom postepenog otkočivanja do zaustavljanja

Isprekidana linija krive funkcije „a“ predstavlja brzinu koja u periodu od 26 sekundi posle prolaska pružne balize predsignala, pri jednostepenom kočenju ne sme da bude prekoračena jer bi došlo ili do brzog kočenja od strane auto-stop uređaja ili do preletanja ulaznog signala.

Prva situacija brzog kočenja prikazuje promenu brzine kada ona treba da bude svedena za 26 sekundi na brzinu od 64,5 km/h, a druga situacija kada voz mora da bude zaustavljen tačno na mestu ulaznog signala.

Puna linija krive funkcije „b“ predstavlja vrednost brzine, prilikom potpunog kočenja do zaustavljanja. Kriva isprekidana linija „c“ predstavlja nastavak na funkciju „b“, kada je nastupilo postepeno otkočivanje do zaustavljanja.

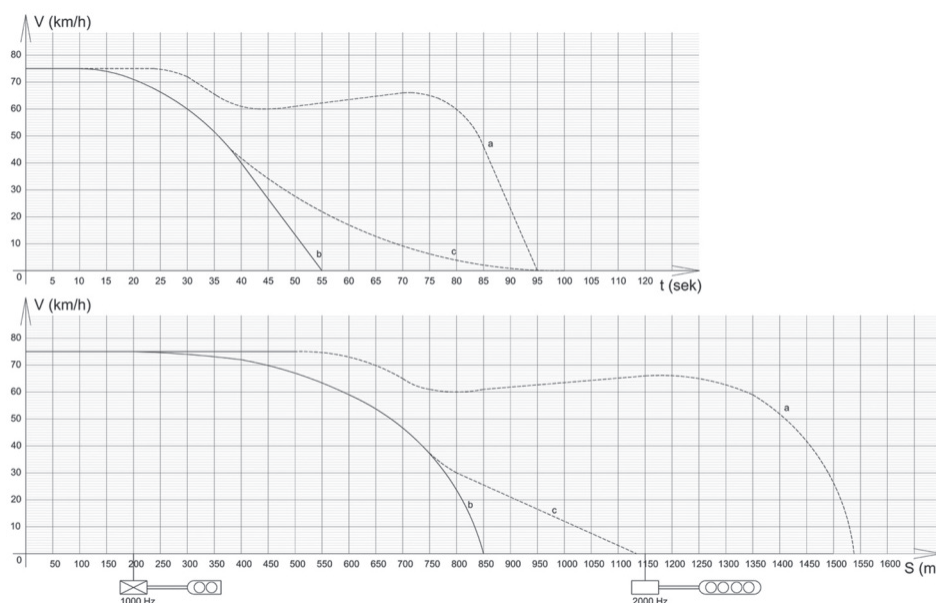
5.2. Slučaj nepravilnog kretanja voza pri datim uslovima (naknadno povećavanje brzine kretanja voza posle isteka vremenske kontrole od strane autostop uređaja), bez kontrolne pružne balize

Pri načinu kretanja, koji je opisan krivom „a“ (slika 7), primećuje se povećavanje brzine posle isteka vremenske kontrole brzine. Takav slučaj je veoma čest u praksi i može da bude veoma opasan. Zapravo, na mestima gde je udaljenost između predsignala

i ulaznog signala (zaštitnog signala) dosta velika, mašinovođe često pribegavaju povećanju brzine kretanja, kako bi nadoknadili kašnjenje ili skratili vozno vreme. To rade obično na onim mestima gde po iskustvu očekuju promenu signalnog znaka na sledećem signalu, u periodu dok mu se približavaju. Ako ne nastupi promena signalnog znaka na signalu, uobičajeno je da se ponovnim zavođenjem procesa kočenja voz bezbedno zaustavi na za to predviđenom mestu (ispred signala). Ukoliko se ne sprovede proces kočenja voza na odgovarajući način ili ukoliko mašinovođa bude sprečen da posle povećanja brzine ponovo sprovede kočenje, može da dođe do nedozvoljenog prolaska signala.

Pravilna procedura je da se od trenutka prolaska pored signalnog znaka na signalu, koji čini pružnu balizu aktivnom za učestalost od 1000 Hz, opsluži auto-stop uređaj u roku od 4 sekunde i da se brzina kretanja, u ovom režimu rada auto-stop uređaja, smanji ispod 65 km/h u roku od 26 sekundi. Ne postupajući po bilo kom od ova dva pravila, nastupa automatsko brzo kočenje voza. Postupanjem po pravilima, dužnost mašinovođe je da posle smanjivanja brzine kretanja ispod 65 km/h dalju brzinu kretanja voza prilagodi preostaloj dužini zaustavnog puta do sledećeg signala.

Ukoliko mašinovođa to ne učini, nastupa prinudno zaustavljanje voza, prolaskom pored sledećeg



Slika 7. Dijagrami promene brzine po vremenu i po pređenom putu, kod nepravilne upotrebe auto-stop uređaja⁴

⁴ Kriva a – kriva maksimalne brzine kretanja i nepoštovanja pravila rada as uređaja;
Kriva b – kriva promene brzine prilikom potpunog kočenja bez otkočivanja;
Kriva c – kriva promene brzine prilikom postepenog otkočivanja do zaustavljanja

signala, čija je baliza aktivna na učestanosti od 2000Hz. Zaustavni put kočenja voza u ovom slučaju počinje pored signala, a završava se nekoliko stotina metara dalje. Ako je zaštićeno područje iza signala (najčešće skretničko područje) na udaljenosti manjoj od kraja zaustavnog puta, dolazi do ugrožavanja bezbednosti rada na zaštićenom području. Zaštićeno područje u stanicama počinje mnogo bliže signalu koji ga štiti, jer tu spada i deo pružnog koloseka namenjen obavljanju manevarskih radnji do signalnog znaka „granica manevrisanja“. Taj signalni znak nalazi se neretko na udaljenosti manjoj od 100m od ulaznog signala, jer je za mogući „put preletanja“ namenjen deo pružnog koloseka u dužini od oko 50m iza signala. U primeru predstavljenom na dijagramu vidi se da je zaustavni put voza iza signala u dužini od nepunih 400m, što bi ozbiljno moglo da ugrozi kompletno, signalom zaštićeno područje.

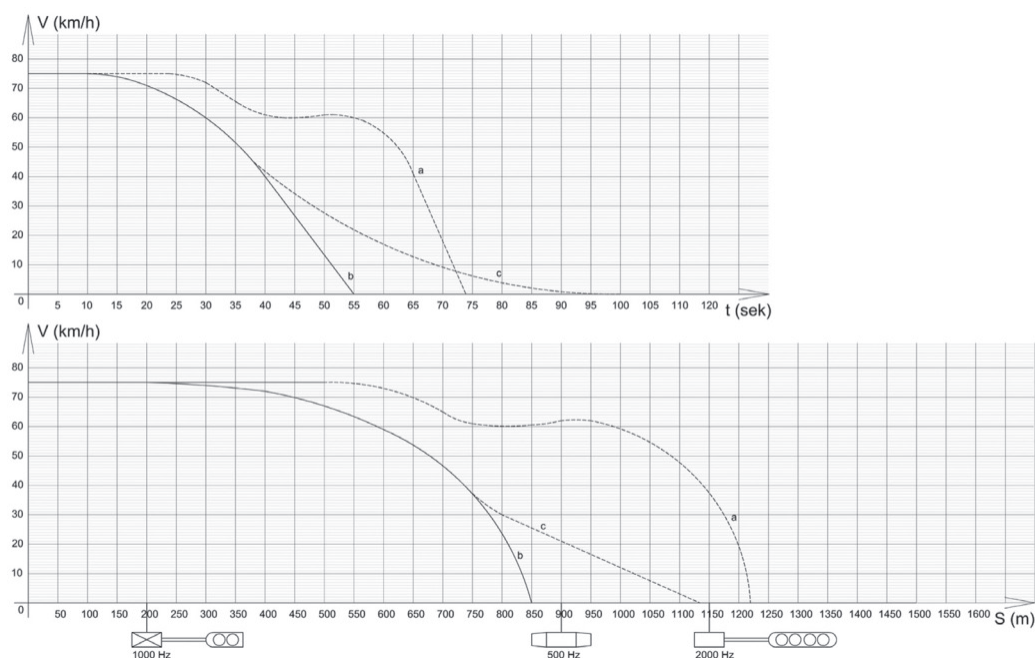
5.3. Slučaj nepravilnog kretanja voza pri datim uslovima (naknadno povećavanje brzine kretanja voza posle isteka vremenske kontrole od strane auto-stop uređaja) sa kontrolnom pružnom balizom

Da bi se sprečilo moguće nesavesno ponašanje mašinovođe, kontrolna pružna baliza je jedini način

da se voz automatski zaustavi, onda kada se kreće neprilagođenom brzinom. Kontrolna pružna baliza u ovom primeru postavljena je na udaljenosti 250m od pružne balize ulaznog signala (slika 8).

Naknadno ubrzavanje voza prekida se u trenutku nailaska lokomotivske prijemne glave iznad kontrolne pružne balize jer nastupa prinudno brzo kočenje voza. Zaustavni put u ovom slučaju završava se neposredno iza ulaznog signala, tako da nema ugrožavanja bezbednosti na širem području iza signala, uključujući skretničko područje, koje je udaljeno 100m ili više od ulaznog signala.

Ugrađivanjem kontrolne pružne balize postiže se veća bezbednost saobraćaja, ali ne može u potpunosti da se spreči moguće nesavesno ponašanje mašinovođe. Kada se voz kreće propisanom brzinom i manjom od one koju definišu signalno- sigurnosni i auto-stop uređaji, prolazak pored signala koji pokazuje signalni znak „Stoj“ i dalje je moguć uz upotrebu tastera „Vožnja pod nalogom“. Iz tog i drugih opisanih razloga jasno je da primenjeni sistem sigurnosnih uređaja na našoj železnici i većini železnica u okruženju nije dovoljan da svede ljudski faktor, u odlučivanju pri upravljanju kretanjem voza, na zanemarljivu vrednost ili da ga u potpunosti eliminiše.



Slika 8. Dijagrami promene brzine po vremenu i po pređenom putu, kod nepravilne upotrebe auto-stop uređaja i ugrađene kontrolne pružne balize

6. ZAKLJUČAK

U radu su navedene neke posledice do kojih dovodi nepoštovanje pravila rada u skladu sa primenjenim sistemom signalno – sigurnosnih i auto-stop uređaja. Uređaji treba da budu tako osmišljeni i konstruisani da spreče negativno dejstvo ili radnju lica koje njima rukuje. To se ogleda u smislu ograničavanja slobode prilikom izvršenja nekih radnji. Kako je kod klasičnih vozova veliki deo upravljanja i rukovanja vožnjom i samim procesom kočenja prepušten određenim licima, mogućnost nastanka ljudske greške je uvek prisutna i iz tog razloga neophodan je dodatni uticaj kontrole od strane pojedinih uređaja. Što je stepen sigurnosti određenog voznog sredstva viši, potreban je i viši nivo osiguranja bezbednog i sigurnog rada tokom upravljanja. To se kod klasičnih vozova postiže raznim sigurnosnim i bezbednosnim merama i uređajima, kao što su vremenska kontrola i kontrola brzine kretanja od strane auto-stop uređaja i kontrola budnosti. Na savremenijim železnicama prisutna je i kontrola brzine kretanja, kako tokom vožnje tako i prilikom kočenja.

Nepravilnosti u načinu rukovanja kočnim uređajima i signalno – sigurnosnim i auto-stop uređajima često dovode do nastanka vanrednih događaja. Da bi se utvrdio uzrok nastanka vanrednog događaja potrebno je dobro poznavanje rada ovih uređaja. Ovaj rad može da bude koristan zato što su u njemu izložene različite neželjene posledice usled nepravilnosti u načinu postupanja u skladu sa primenjenim sistemom osiguranja, kao i neke mogućnosti za njihovo sprečavanje.

PRIZNANJE

Rad je nastao kao rezultat istraživanja u okviru Projekta broj 36012 koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije i kao rezultat istraživanja u

okviru bilateralnog Projekta između Republike Srbije i Republike Slovačke, broj SK-SRB-2016-024: "Increasing of effectiveness of the railway transport services using the decision support systems"

LITERATURA

- [1] Pajić D, Beograd (1970). *Kočnice i sistemi uređaja za zbijeni vazduh na železničkim vozilima*
- [2] Vainhal V, *Kočnice i kočenje vozova*, Beograd (1991). Zavod za novinsko-izdavačku i propagandnu delatnost JŽ,
- [3] Vujović D, *Princip rada kočnica na železničkim vozilima i faktori koji utiču na dužinu zaustavnog puta*, Saobraćajni fakultet Beograd (2015). Master rad,
- [4] Profillidis, V. A. 2014. *Railway Management and Engineering*, UK, Ashgate Publishing, Ltd., 2014.
- [5] UIC CODE (UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER), *Brakes – Air brakes for freight trains and passenger trains*, 4th edition, June 2002, Printed by the International Union of Railways (UIC), Paris, France, May 2003.
- [6] Vukšić M, "Effect of Response Time on Stopping Distance", Institute "Kirilo Savić", Belgrade, Research accessory, Vol. 32(1), (Serbia), (2014)
- [7] RSSB, "Braking System and Performance for Freight Trains", Torrens Street, London, (England), (2011)
- [8] UIC CODE 544-1, "Brakes – Braking power", 4th edition, Paris, (France), (2014)
- [9] D. Barney, D. Haley and G. Nikandros, "Calculating Train Braking Distance", Queensland Rail, Brisbane, (Australia), (2002)

ANALIZA EVROPSKOG TRŽIŠTA TRANSPORTA ROBE I EFIKASNOSTI ŽELJEZNIČKIH OPERATORA¹

ANALYSIS OF EUROPEAN TRANSPORTATION OF GOODS MARKET AND EFFICIENCY OF RAILWAY OPERATORS

Datum prijema rada: 26.11.2017. god.
UDK: 656.1/.2(082)(0.034.4)

REZIME

Udio transporta željeznicom, kao jednim od tradicionalnih vidova kopnenog transporta robe, počeo je da bilježi pad šezdesetih godina dvadesetog vijeka. Ovaj trend je nastavljen sve do početka 21. vijeka, kada počinju da se vide rezultati manje ili više uspješnih mjera, sprovedenih u cilju povećanja udjela željeznice na otvorenom tržištu transporta robe. Željeznički operatori kao nezaobilazni akteri funkcionisanja željezničkog transporta, u uslovima otvorenog tržišta posluju u konkurentnom okruženju. Shodno tome operatori moraju kontinuirano da se prilagođavaju dinamičnim uslovima na tržištu, kako bi ostvarili opstanak na istom. Položaj operatora na tržištu transporta u velikoj mjeri zavisi od njegovih performansi. Mjerenje kvaliteta performansi vrši se na osnovu pokazatelja učinka željezničkih operatora. Pokazatelji učinka predstavljaju mjerljive vrijednosti pojedinačnih performansi koji u cjelini odražavaju kvalitet rada operatora. Jedan od najvažnijih pokazatelja učinka operatora je efikasnost. U ovom radu je izvršena analiza tržišta transporta robe na području EU, sa osvrtom na položaj željeznice na ovom tržištu. Izvršena je analiza efikasnosti odabranih željezničkih operatora u transportu robe iz zemalja EU, metodom DEA analize. Dobijeni rezultati mogu biti iskorišćeni kao smjernice za unapređenje efikasnosti drugih željezničkih operatora. **Ključne riječi:** željeznički operatori, pokazatelji učinka, tržište transporta robe, efikasnost, DEA analiza.

SUMMARY

The share of rail transport, as one of the traditional forms of land transport, began to record a decline in the sixties of the twentieth century. This trend continued until the beginning of the 21st century, when the results of more or less successful measures, undertaken in order to increase the share of railways in the open transport market, began to appear. Railways operators as unavoidable actors of rail transportation functioning, in conditions of open market do their business in competitive surrounding. Consequently operators have to continuously adjust to dynamic market conditions, in order to achieve survival on it. Position of operators on transportation market to a great extent depends of their performances. Measure of quality of performances is done in accordance with performance indicators of railway operators. Performance indicators represent measurable values of individual performances which as a whole reflect operator's quality of work. One of the most important operator performance indicators is efficiency. In this paper it is performed analysis of transportation of goods market in EU area, with review of railways position on this market. It is performed analysis of efficiency of selected railway operators in transportation of goods from EU countries by DEA analysis method. Obtained results can be used as directions for improvement of efficiency of railway operators. **Key words:** railway operators, performance indicators, transportation of goods market, efficiency, DEA analysis.

* Aleksandra Gojić, mast. inž. saob, Saobraćajni fakultet Beograd, Vojvode Stepe 305, gojic.aleksandra@gmail.com

¹ Ovaj rad je u skraćenoj verziji prezentovan na VI međunarodnom simpozijumu Novi Horizonti saobraćaja i komunikacija 2017. koji je održan 17. i 18. novembra 2017. godine na Saobraćajnom fakultetu u Doboju Univerziteta u Istočnom Sarajevu pod naslovom: Efikasnost – ključni pokazatelj operatora u prevozu robe (Efficiency – Key performance indicator in transportation of goods)

1. UVOD

U većini evropskih zemalja, najveći operatori su ili pod državnom ingerencijom ili su nekad bili. U većini slučajeva na osnovu ove činjenice se može sagledati i učešće operatora kako na nacionalnom tržištu tako i na evropskom tržištu. Operatori koji su nastali iz tradicionalnih preduzeća, u najvećem broju zemalja imaju značajan kolski i lokomotivski park, ljudske resurse i drugo pa su samim tim i u prednosti u odnosu na druge učesnike na tržištu.

Položaj operatora na tržištu transporta u velikoj mjeri zavisi od njegovih performansi. Mjerenje kvaliteta performansi se vrši na osnovu pokazatelja rada željezničkih operatora. Pokazatelji rada upravo i predstavljaju mjerljive indikatore pojedinačnih performansi, koji u cjelini odražavaju kvalitet rada operatora. Pokazatelji rada operatora su od velikog značaja kako bi se kroz praćenje performansi sagledalo stanje na liberalizovanom tržištu. Implementacija smjernica datih kroz EU regulativu omogućava da se formira konkurencija među željezničkim operatorima, što utiče na poboljšanje njihovih performansi a samim tim i na poboljšanje transportne usluge [2]. Jedan od pokazatelja otvorenosti tržišta je udio novih učesnika na tržištu i udio istorijskih željezničkih operatora na istom [9].

Pokazatelji rada nisu važni samo za operatore, nego i za ostale zainteresovane učesnike (stakeholder) na željezničkom tržištu. Tako na primjer regulatorna tijela prikupljaju pokazatelje učinka od operatora kako bi imala cjelovit uvid u stanje cjelokupnog željezničkog sistema zemlje. Kako bi se na zadovoljavajući način moglo pratiti i procjenjivati stanje na tržištu, neophodno je definisati univerzalne pokazatelje rada, koji bi bili mjerljivi i reprezentativni za sva regulatorna tijela u Evropi i sva nacionalna tržišta. Univerzalni pokazatelji rada predstavljaju bitan element praćenja stanja tržišta za regulatorna tijela. Na osnovu ovih pokazatelja moguće je mjeriti efikasnost, efektivnost i produktivnost učesnika na tržištu. DEA analiza kao optimizacioni alat predstavlja pogodnu tehniku za procjenu relativne efikasnosti učesnika na tržištu.

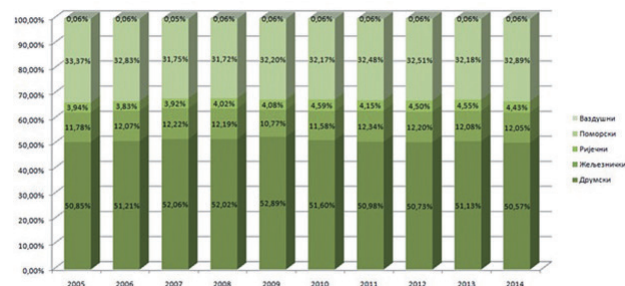
2. ANALIZA EVROPSKOG TRŽIŠTA TRANSPORTA ROBE

Od kraja šezdesetih godina dvadesetog vijeka, evropske željeznice su počele da bilježe pad u

transportu kako putnika tako i robe. Rastuća popularnost drumskog i vazdušnog transporta za željeznicu je bila novonastala okolnost, kojoj se željezničke kompanije širom Evrope nisu najbolje prilagodile. S obzirom da je udio transporta robe željeznicom u narednim godinama dvadesetog vijeka padao, javljale su se brojne inicijative da se željeznički sektor modernizuje i da se u većoj mjeri iskoristi njegov potencijal.

Željeznički transport robe u Evropi je u poslednjim decenijama bio u padu, što je posebno bilo uočljivo u transportu robe. Udio transporta robe željeznicom u Evropi je pao sa 32,6% u 1970. godini na samo 16,7% u 2006. godini [1]. U istom periodu se drumski transport robe utrostručio. Pad transporta robe željeznicom je u poslednjih deset godina zaustavljen.

Od značaja je analizirati procentualna učešća različitih vidova transporta robe u periodu od 2005 – 2014, kako bi se uočile njihove oscilacije. Na slici 1. prikazani su procenti ukupnih neto-tonskih kilometara ostvarenih u različitim vidovima transporta za navedeni period.



Slika 1. Procent ostvarenih neto-tonskih kilometara u željezničkom, riječnom i drumskom transport [4]

Ukupna aktivnost u smislu transporta robe unutar EU u 2014. godini iznosila je približno 3524 milijardi tonskih kilometara [3]. Učešće željezničkog transporta u ukupnom transportu robe unutar EU je 12,05% ili 411 milijardi tonskih kilometara.

Drumski transport robe u EU dominira kroz cijeli posmatrani period, gdje je otprilike ostvareno oko 1/2 ukupnog transporta po posmatranim vidovima. Ipak kroz posmatrani period uočava se blagi pad drumskog transporta. Željeznički transport sa druge strane kroz posmatrani period bilježi blagi rast uz značajniji pad u 2009. Može se primjetiti da je udio željezničkog transporta na nivou između 10% i 12%. Vidljivo je da je udio

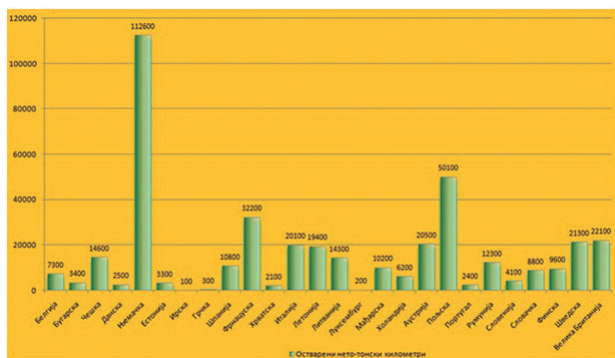
riječnog transporta robe u EU za posmatrani period relativno stabilan, iako se primjećuje neznatan rast.

Evropska unija kroz svoju legislativu nastoji da smanji emisiju ugljen dioksida. Riječni i uopšte vodni transport predstavlja jednu od ekološki prihvatljivih alternativa. Povećanje učešća vodnog transporta u ukupnom transportu robe takođe je moguće ostvariti kroz kombinovani transport, u kojem se koriste prednosti svih vidova transporta koji učestvuju u transportnom lancu.

Transport robe željeznicom u zemljama članicama EU nije ujednačen. Razlozi su mnogobrojni: geografski položaj, razvijenost privrede posmatrane zemlje, površina zemlje itd. Tržište transporta robe željeznicom moguće je sagledati kroz više različitih pokazatelja.

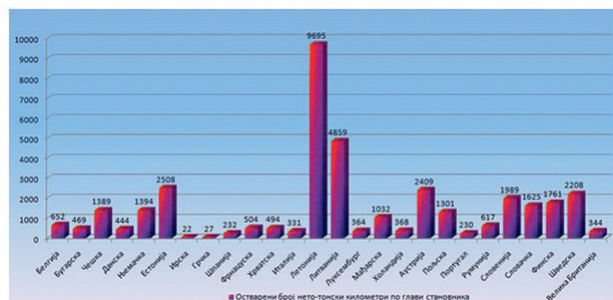
Na slici 2. prikazani su podaci o ostvarenim neto-tonskim kilometrima po zemljama članicama EU za 2014. godinu, pri čemu su prikazani podaci u milionima neto-tonskih kilometara. Ovaj pokazatelj najbolje odražava ostvareni obim prevoza robe, jer na osnovu njega operator ubire prihode za svoje poslovanje.

Sa slike 2. se uočava da je najveći obim transporta u 2014. godini ostvaren u Njemačkoj, Poljskoj, Francuskoj i Velikoj Britaniji. Ovo je na neki način i logično s obzirom da su pobrojane zemlje najveće u Evropi i sa najrazvijenijim privredama. Takođe u ovim zemljama rade i najveći operatori u transportu robe. Te kroz tri od četiri nabrojane zemlje prolaze neki od glavnih koridora za teretni transport.



Slika 2. Ostvareni neto-tonski kilometri u željezničkom transportu [4]

Kako bi se na najbolji način prikazala situacija u vezi sa transportom robe željeznicom po zemljama dat je pregled ostvarenih tonskih kilometara po glavi stanovnika na slici 3.



Slika 3. Ostvareni neto-tonski kilometri po glavi stanovnika

Najveći ostvareni broj neto-tonskih kilometara po glavi stanovnika imaju Letonija, Litvanija, Estonija i Austrija, respektivno. Pribaltičke zemlje imaju visok intenzitet transporta robe najviše zbog toga što kroz njih prolazi Rail Baltica koridor. Ovaj koridor predstavlja jedinu željezničku vezu ovih zemalja sa skandinavskim zemljama i centralnom Evropom. Rail Baltica takođe povezuje tri glavne baltičke morske luke i to Helsinki u Finskoj, Talin u Letoniji i Rigu u Estoniji. Takođe se uočava da je Austrija zemlja sa vrlo visokim ostvarenim tonskim kilometrima po glavi stanovnika [8]. Jedan od razloga je taj što kroz ovu zemlju prolaze tri od devet glavnih evropskih koridora za transport robe.

Tabela 1. prikazuje podatke o učešćima operatora nastalih od tradicionalnih željezničkih preduzeća u ukupnom teretnom transportu željeznicom za 2014. godinu. Uzeti su u razmatranje operatori iz deset zemalja članica EU koje se razlikuju po veličini i stepenu privrednog razvoja, kako bi se uočile razlike u udjelima na tržištu.

Uočava se da velika većina država i dalje favorizuje tradicionalne operatore, (nastale iz tradicionalnih

Tabela 1. Učešće nekih teretnih operatora na nacionalnom tržištu

Red. br.	Država	Operatori u transportu robe	Ostvareni broj ntkm u 2014. godini	Učešće na nacionalnom tržištu u %
1	Bugarska	BDZ	1778	52,29%
2	Češka Republika	CD Cargo	9871	67,61%
3	Španija	RENFE	7557	69,97%
4	Italija	Trenitalia S.P.A Cargo	10322	51,35%
5	Rumunija	CFR Marfa	5327	40,31%
6	Letonija	LDZ	15257	78,64%
7	Poljska	PKP Cargo	32017	63,91%
8	Slovenija	SZ	3847	43,31%
9	Slovačka	ZSSK Cargo	6888	78,28%
10	Francuska	SNCF	21896	68,00%

željezničkih preduzeća) i oni i dalje imaju najveći obim poslovanja. Stoga će u nastavku biti razmatrana efikasnost operatora navedenih u tabeli 1.

3. ANALIZA OBAVIJANJA PODATAKA (DEA)

DEA (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS) je tehnika matematičkog programiranja kojom se utvrđuje relativna efikasnost jedinica uključenih u analizu. Jedinice odlučivanja DMU (Decision Making Units) su organizacione jedinice o kojima se odlučuje, čiju efikasnost treba procijeniti [9]. Jedinice odlučivanja u ovom radu su željeznički operatori. Na osnovu rezultata ovakve analize može se odrediti koliko su pojedine jedinice o kojima se odlučuje – DMU neefikasne u odnosu na jedinice koje su efikasne. Efikasnost jedinice odlučivanja mjeri se kao odnos izlaza prema ulazu, odnosno količine ostvarenog rezultata u odnosu na uložene resurse. S tim u vezi jasno je da ulazi predstavljaju resurse željezničkog operatora koje on mora uložiti da bi ostvario željeni rad. To mogu biti, dužina kolosjeka, broj radnika, veličina transportne mreže pruga, troškovi poslovanja, osnovna i obrtna sredstva i sl. S druge strane izlazi predstavljaju veličine na osnovu kojih kompanije ostvaruju dobit. To mogu biti ostvaren koristan rad, bruto prihod, neto dobit, ostvareni neto-tonski kilometri, ostvareni putnički kilometri itd.

DEA analiza polazi od formulacije matematičkih modela nelinearnog (frakcionog) programiranja za svaku jedinicu odlučivanja. Cilj svakog od modela jeste odrediti težinske koeficijente ulaza i izlaza koji omogućavaju da se maksimizira efikasnost razmatrane jedinice odlučivanja. Efikasnost svake jedinice odlučivanja se određuje kao odnos težinske sume izlaza i težinske sume ulaza.

$$Efikasnost = \frac{težinska_suma_izlaza}{težinska_suma_ulaza} \quad (1)$$

Označimo sa θ_i efikasnost i -te jedinice odlučivanja, pri čemu je $i=1...n$. Ako sa u_j označimo težinske koeficijente ulaza, a sa v_k težinske koeficijente izlaza, pri čemu j označava broj ulaza koji se razmatraju, a k označava broj izlaza koji se razmatraju, te ako sa μ_{ij} označimo vrijednosti ulaza koje su poznate, a sa η_{ik} vrijednosti izlaza koje su poznate, tada se efikasnost za i -tu jedinicu odlučivanja dobija kao

$$\theta_i = \frac{\eta_{i1}v_1 + \eta_{i2}v_2 + \dots + \eta_{ik}v_k}{\mu_{i1}u_1 + \mu_{i2}u_2 + \dots + \mu_{ij}u_j} \quad (2)$$

Matematički model frakcionog programiranja kojim se maksimizira efikasnost razmatrane jedinice odlučivanja je u tom slučaju

$$\max \theta_i = \frac{\eta_{i1}v_1 + \eta_{i2}v_2 + \dots + \eta_{ik}v_k}{\mu_{i1}u_1 + \mu_{i2}u_2 + \dots + \mu_{ij}u_j}, \quad (3)$$

$$i = 1 \dots n$$

pri ograničenjima

$$\frac{\eta_{l1}v_1 + \eta_{l2}v_2 + \dots + \eta_{lk}v_k}{\mu_{l1}u_1 + \mu_{l2}u_2 + \dots + \mu_{lj}u_j} \leq 1 \quad (4)$$

$$(l = 1 \dots n)$$

$$u_1, u_2 \dots u_j \geq 0 \quad (5)$$

$$v_1, v_2 \dots v_k \geq 0 \quad (6)$$

Modele frakcionog programiranja nije jednostavno rješavati. Stoga se, kako bi se modeli pojednostavili i sveli na jednostavnije modele linearnog programiranja, pri čemu se ne gubi na opštosti, uvodi pretpostavka da je težinska suma ulaza razmatrane jedinice odlučivanja jednaka 1. To praktično znači da se uvodi novo ograničenje u model

$$\mu_{i1}u_1 + \mu_{i2}u_2 + \dots + \mu_{ij}u_j = 1 \quad (7)$$

Funkcija cilja uvođenjem novog ograničenja postaje

$$\max \theta_i = \eta_{i1}v_1 + \eta_{i2}v_2 + \dots + \eta_{ik}v_k \quad (8)$$

$$i = 1 \dots n$$

Osim toga, skup ograničenja je takođe potrebno prevesti sa frakcionog na linearni oblik, što se postiže množenjem odgovarajućih nejednačina imeniocima. Transformisani skup ograničenja postaje

$$\begin{aligned} \eta_{l1}v_1 + \eta_{l2}v_2 + \dots + \eta_{lk}v_k \\ \leq \mu_{l1}u_1 + \mu_{l2}u_2 + \dots + \mu_{lj}u_j \end{aligned} \quad (9)$$

$$(l = 1 \dots n)$$

odnosno

$$\begin{aligned} \eta_{l1}v_1 + \eta_{l2}v_2 + \dots + \eta_{lk}v_k - \mu_{l1}u_1 - \mu_{l2}u_2 \\ - \dots - \mu_{lj}u_j \\ \leq 0 \quad (l = 1 \dots n) \end{aligned} \quad (10)$$

Konačno, transformisani model frakcionog programiranja moguće je zapisati u obliku linearnog programiranja na sledeći način

$$\max \theta_i = \eta_{i1}v_1 + \eta_{i2}v_2 + \dots + \eta_{ik}v_k \quad (11)$$

$$i = 1 \dots n$$

pri ograničenjima

$$\mu_{i1}u_1 + \mu_{i2}u_2 + \dots + \mu_{ij}u_j = 1 \quad (12)$$

$$\eta_{l1}v_1 + \eta_{l2}v_2 + \dots + \eta_{lk}v_k - \mu_{l1}u_1 - \mu_{l2}u_2 - \dots - \mu_{lj}u_j \leq 0 \quad (13)$$

$$(l = 1 \dots n)$$

odnosno, ako pomnožimo gornji izraz sa (-1) dobijamo:

$$\mu_{l1}u_1 + \mu_{l2}u_2 + \dots + \mu_{lj}u_j - \eta_{l1}v_1 - \eta_{l2}v_2 - \dots - \eta_{lk}v_k \geq 0 \quad (14)$$

$$(l = 1 \dots n)$$

$$u_1, u_2 \dots u_j \geq 0 \quad (15)$$

$$v_1, v_2 \dots v_k \geq 0 \quad (16)$$

Optimizacijom dobijenih modela linearnog programiranja za svaku jedinicu odlučivanja dobijaju se njihove relativne efikasnosti. Analizom relativnih efikasnosti mogu se dobiti inputi za benchmarking analizu jedinica odlučivanja, kako bi se odredile mjere za unaprijeđenje neefikasnih jedinica odlučivanja. Za više detalja o benchmarking analizi efikasnosti, vidjeti [6].

4. ANALIZA EFIKASNOSTI TERETNIH OPERATORA

Efikan željeznički sistem između ostalog karakterišu efikasni željeznički operatori. Efikasnost željezničkih operatora moguće je sagledati kroz finansijske pokazatelje, pokazatelje učinka/rada i sl. Vrlo često su statistički podaci o željezničkom sektoru veliki problem za dubinsku analizu efikasnosti [7]. Stoga je neophodno birati i adekvatan pristup i adekvatne pokazatelje, kako bi se na kvalitetan način analizirala efikasnost. Bez obzira na pristup u mjerenju efikasnosti, jasno je da su najefikasniji oni operatori koji sa što manje uloženi sredstava ostvaruju što je moguće veće rezultate. Najefikasniji željeznički operatori u transportu robe mogu poslužiti drugim željezničkim preduzećima kao „zlatni standard“, na osnovu kojeg bi trebalo izvršiti reorganizaciju.

U nastavku su dati rezultati analize efikasnosti odabranih evropskih državnih operatora u transportu robe. Državni željeznički operatori su uzeti u razmatranje zbog vodećih pozicija koje još uvijek imaju na većini nacionalnih tržišta.

4.1. Matematički modeli za analizu efikasnosti željezničkih operatora

U razmatranje su uzeti sljedeći državni operatori u transportu tereta: BDZ Cargo, CD Cargo, RENFE, Trenitalia S.P.A. Cargo, CFR Marfa, LDZ, PKP Cargo, SZ, ZSSK Cargo, SNCF. Ovi operatori su odabrani za analizu kako bi se ispitala efikasnost rada operatora iz zemalja različite veličine i razvijenosti tržišta. Tabela 2. prikazuje podatke za operatore u teretnom transportu koji su predmet ispitivanja. Podaci su preuzeti iz godišnjih izvještaja ovih operatora.

Tabela 2. Podaci o teretnim operatorima

Red. broj	N a z i v operatora	Broj zaposlenih	Kolski park	Ostvareni broj neto-tonskih kilometara
1	BDZ	3253	4800	1778000000
2	CD Cargo	7998	27000	9871000000
3	RENFE	14785	12200	7557000000
4	Trenitalia S.P.A Cargo	69425	40000	10322000000
5	LDZ	2797	7011	15257000000
6	SZ	7740	3142	3847000000
7	PKP Cargo	23290	67000	32017000000
8	CFR Marfa	6400	36821	5327000000
9	ZSSK Cargo	6332	13442	6888000000
10	SNCF	7000	10000	21896000000

Efikasnost je mjerena u odnosu na dva ulaza i jedan izlaz, pri čemu su ulazi broj radnika i broj kola u vlasništvu ovih operatora, a izlaz je godišnji broj ostvarenih neto-tonskih kilometara.

Za analizu je potrebno postaviti matematičke modele za svakog od operatora (jedinica odlučivanja).

U_1 – Prvi ulaz (broj radnika)

U_2 – Drugi ulaz (broj teretnih kola)

I_1 – Izlaz (ostvareni broj neto-tonskih kilometara).

Matematički modeli za razmatrane operatore:

CFL Cargo

Funkcija cilja

$$\max F = 913000000 \cdot I_1 \quad (17)$$

pri ograničenju

$$1180U_1 + 4000U_2 = 1 \quad (18)$$

te grupom ograničenja zajedničkih za sve modele:

$$\begin{aligned}
 1180U_1 + 4000U_2 - 913000000I_1 &\geq 0 \\
 7998U_1 + 27000U_2 - 9871000000I_1 &\geq 0 \\
 14785U_1 + 12200U_2 - 7557000000I_1 &\geq 0 \\
 69425U_1 + 40000U_2 - 10322000000I_1 &\geq 0 \\
 10646U_1 + 9202U_2 - 14307000000I_1 &\geq 0 \\
 230U_1 + 92U_2 - 4330000000I_1 &\geq 0 \\
 23290U_1 + 67000U_2 - 32017000000I_1 &\geq 0 \\
 6400U_1 + 36821U_2 - 5327000000I_1 &\geq 0 \\
 6332U_1 + 13442U_2 - 2503000000I_1 &\geq 0 \\
 2000U_1 + 5000U_2 - 108000000I_1 &\geq 0 \\
 U_1 \geq 0,001 \\
 U_2 \geq 0,001 \\
 I_1 \geq 0,001
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Grupa ograničenja (19) je istovjetna za matematičke modele za sve operatore, te će u nastavku zbog uštede prostora biti izostavljena.

CD Cargo

Funkcija cilja

$$maxF = 9871000000 \cdot I_1 \tag{20}$$

pri ograničenju

$$7998U_1 + 27000U_2 = 1 \tag{21}$$

i grupi ograničenja (19).

RENFE

Funkcija cilja

$$maxF = 7557000000 \cdot I_1 \tag{22}$$

pri ograničenju

$$14785U_1 + 12200U_2 = 1 \tag{23}$$

i grupi ograničenja (19).

Trenitalia S.P.A Cargo

Funkcija cilja

$$maxF = 10322000000 \cdot I_1 \tag{24}$$

pri ograničenju

$$69425U_1 + 40000U_2 = 1 \tag{25}$$

i grupi ograničenja (19).

LG

Funkcija cilja

$$maxF = 14307000000 \cdot I_1 \tag{26}$$

pri ograničenju

$$10646U_1 + 9202U_2 = 1 \tag{27}$$

i grupi ograničenja (19).

Gysev Cargo

Funkcija cilja

$$maxF = 4330000000 \cdot I_1 \tag{28}$$

pri ograničenju

$$230U_1 + 92U_2 = 1 \tag{29}$$

i grupi ograničenja (19).

PKP Cargo

funkcija cilja

$$maxF = 32017000000 \cdot I_1 \tag{30}$$

pri ograničenju

$$23290U_1 + 67000U_2 = 1 \tag{31}$$

i grupi ograničenja (19).

CFR Marfa

Funkcija cilja

$$maxF = 5327000000 \cdot I_1 \tag{32}$$

pri ograničenju

$$6400U_1 + 36821U_2 = 1 \tag{33}$$

i grupi ograničenja (19).

ZSSK Cargo

Funkcija cilja

$$maxF = 2503000000 \cdot I_1 \tag{34}$$

pri ograničenju

$$6332U_1 + 13442U_2 = 1 \quad (35)$$

i grupi ograničenja (19).

Green Cargo AB

Funkcija cilja

$$\max F = 10800000 \cdot I_1 \quad (36)$$

pri ograničenju

$$2000U_1 + 5000U_2 = 1 \quad (37)$$

i grupi ograničenja (19).

5. REZULTATI ANALIZE

Za sprovođenje DEA analize korišćen je „Add-on“ softverskog paketa MS Excell – Excel Solver.

Nakon formulisanja i optimizacije matematičkih modela za svakog operatora (jedinicu odlučivanja), dobijeni su rezultati koji su prikazani u tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati DEA analize

Redni broj	Operatori	Relativna efikasnost
1	BDZ Cargo	0,1002
2	CD Cargo	0,22626
3	RENFE	0,28289
4	Trenitalia S.P.A Cargo	0,11785
5	LDZ	1
6	SZ	0,55918
7	PKP Cargo	0,25202
8	CFR Marfa	0,15259
9	ZSSK Cargo	0,19942
10	SNCF	0,57344

6. DISKUSIJA

Prema rezultatima DEA analize najveću efikasnost (1 ili 100%) ostvaruje letonski državni operator LDZ, a nakon njega francuski nacionalni operator SNCF sa efikasnošću od 0,57 ili 57%. Poznato je da kroz pribaltičke zemlje prolazi željeznički koridor Rail Baltica koji predstavlja jedinu željezničku vezu skandinavskih zemalja sa Rusijom i Centralnom Evropom [8]. Takođe, Letonija je zemlja koja je u 2014. godini imala najveći broj ostvarenih neto tonskih kilometara po glavi stanovnika i to 9695 [3]. Efikasnost francuskog željezničkog operatora

može se objasniti dugom istorijom ulaganja u željeznički sistem, koji je jedan od najrazvijenijih u svijetu. Takođe, Francuska je treća zemlja po obimu transporta robe željeznicom u Evropi, nakon Njemačke i Poljske [3]. Neosporna je činjenica da na dobar rezultat ima uticaj racionalno korišćenje voznog parka i radne snage koji su bili ulazi za analizu efikasnosti.

7. ZAKLJUČAK

Ključni pokazatelji performansi mogu biti upotrijebljeni za različite vrste analiza. Jedna od primjena je analiza relativne efikasnosti u odnosu na druge posmatrane operatore. Primjer analize efikasnosti metodom DEA uzeo je u obzir veličinu kolskog parka i broj radnika kao ulaze i godišnji broj ostvarenih neto-tonskih kilometara kao izlaze. Na osnovu DEA analize izvršeno je poređenje deset nacionalnih željezničkih operatora u transportu robe. Rezultati DEA analize pokazali su da je najefikasniji letonski nacionalni operator LDZ. Ovaj operator sa 2797 radnika i 7011 željezničkih kola je ostvario čak 15257 milijardi neto-tonskih kilometara u 2014. godini. Cilj izvršene analize bio je pokazati kako se sa relativno malim brojem pokazatelja mogu dobiti korisne informacije, koje mogu usmjeriti poslovnu politiku operatora, u cilju poboljšanja vlastitih performansi.

Prednost ovakve analize je u tome da ulazi i izlazi ne moraju biti direktno funkcionalno zavisni, pri čemu se kroz DEA analizu može utvrditi i indirektna zavisnost ulaza i izlaza. Takođe kod DEA analize ne postoji ograničenje u broju ulaza i izlaza, što omogućava i širu analizu u zavisnosti od potreba.

Sa druge strane najveći nedostatak DEA analize je činjenica da se ovom metodom razmatra relativna efikasnost jedinica odlučivanja jednih u odnosu na druge. U tom smislu treba posmatrati i prezentovane rezultate za deset državnih operatora. Širim uzorkom operatora moguće je dobiti nešto drugačije rezultate. Pored toga, efikasnost zavisi i od kvantitativnih vrijednosti ulaza i izlaza. S tim u vezi treba razmotriti vrijednosti ulaza „kolski park“. Operatori imaju određeni broj kola koja nisu u funkciji, a vode se kao dio voznog parka. Veći broj ovakvih kola negativno utiče na relativnu efikasnost operatora. Posljedično se nameće zaključak da u cilju veće efikasnosti treba težiti minimizaciji broja neaktivnih kola.

LITERATURA

- [1] ALSTOM: Rail in Europe: *In varietate concordia*, ALSTOM, Saint-Ouen Cedex, France, 2009.
- [2] Bošković B, *Regulatorni sistem željezničkog transporta*, Saobraćajni fakultet Beograd, 2014.
- [3] European Commission: *EU transport in figures– STATISTICAL POCKETBOOK*, Publications Office of the European Union, 2015.
- [4] European Commission: *EU transport in figures– STATISTICAL POCKETBOOK*, Publications Office of the European Union, 2016.
- [5] Ledbury M, *Rail Transport and Environment Fact & Figures UIC*, CER, 2015 .
- [6] Savić G, *Benčmarking komparativna analiza efikasnosti*, Fakultet organizacionih nauka Beograd, 2014
- [7] Casullo L, *The efficiency impact of open access competition in rail markets*, International Transport Forum Paris, France, 2016.
- [8] Telička P, *Priority Project 27, Rail Baltic/Rail Baltica*, Annual Report, Publications Office of the European Union, 2013.
- [9] Urząd Transportu Kolejowego, *An assessment of Rail Market Operations and Rail Traffic Safety in 2014*, Warszawa, Poland, 2014
- [10] Vukadinović K, *Predavanja iz predmeta Deterministički modeli operacionih istraživanja*, Saobraćajni fakultet Beograd, 2015.

IVAN JUGOVIĆ*, MIA VIDUKA MILAS**

KORIŠTENJE MJERNO-DIJAGNOSTIČKIH SUSTAVA ZA POVEĆANJE SIGURNOSTI ŽELJEZNIČKOG PRIJEVOZA I SMANJIVANJE TROŠKOVA ODRŽAVANJA INFRASTRUKTURE¹

USE OF WAYSIDE MONITORING SYSTEMS IN ORDER TO INCREASE SAFETY OF THE RAILWAY TRANSPORT AND REDUCE MAINTAINANCE COSTS ON THE INFRASTRUCTURE

Datum prijema rada: 15.12.2017. god.

UDK: 656.1/.2(082)(0.034.4)

REZIME

Važnost pouzdanog i sigurnog željezničkog prometa povećava se zajedno s ekonomskim napretkom pojedine zemlje. Pritom se velika važnost daje ekološkom aspektu svih oblika prometa. U tom pogledu željeznički se promet smatra jednim od najpogodnijih oblika. Međutim, unatoč tome, ekstenzivna eksploatacija infrastrukture i vozila te opasan teret koji se prevozi, može dovesti do vrlo ozbiljnih nesreća koje mogu ugroziti ljudske živote i okolinu. Još neke od posljedica nesreća u željezničkom prometu su velike štete na infrastrukturi i vozilima te privremeni zatvori pruga koji u svakom slučaju dovode do velikih troškova. Kako bi spriječili takve nesreće, važno je pravilno održavati željezničku infrastrukturu i vozila a vlakove ravnomjerno opterećivati pri utovaru. Dosadašnji propisi propisuju vizualni pregled željezničkih vozila koji se zasniva na subjektivnoj procjeni stanja vozila, i takva praksa nije dovoljno pouzdana. Upotreba mjerno-dijagnostičkih sustava nameće se kao ključno rješenje za pouzdan i siguran željeznički promet. **Ključne riječi:** pouzdan i siguran željeznički promet, željezničke nesreće, održavanje željezničkih vozila i infrastrukture, mjerno dijagnostički sustavi.

SUMMARY

Importance of reliable and safe railway traffic is increasing together with the economic progress of each country. Big importance is also given to the environmental perspective of each form of transport. Although railways are among the safest and environmental friendliest forms of transport, great asset exploitation and dangerous goods which are being transported, can lead to dangerous accidents. These accidents can jeopardize human life and surroundings. Another outcome of a railway accident is a big damage on the infrastructure and temporary closure of the track which, in each case, lead to more expenses. In order to prevent these accidents, it is necessary to keep the railway vehicles well maintained and trains properly loaded. Old regulations, which include visual inspections and subjective evaluation of the vehicle state, aren't sufficient. Use of wayside monitoring systems is imposed as a key solution for a safe and reliable railway transport. **Key words:** reliable and safe railway traffic, railway accidents, vehicles and infrastructure maintenance, wayside monitoring systems

* Ivan Jugović, dipl. inž. saob, Altpro, Zagreb, Velika Cesta 41, i.jugovic@altpro.hr

** Dr Mia Viduka Milas, dipl. inž. elek, Altpro, Zagreb, Velika Cesta 41, mia.viduka@altpro.hr

¹ Ovaj rad je u skraćenoj verziji prezentovan na VI međunarodnom simpozijumu Novi Horizonti saobraćaja i komunikacija 2017. koji je održan 17. i 18. novembra 2017. godine na Saobraćajnom fakultetu u Doboju Univerziteta u Istočnom Sarajevu pod naslovom: Povećanje sigurnosti željezničkog prometa upotrebom mjerno-dijagnostičkih sustava (Use of wayside monitoring systems in order to increase safety of railway transport and reduce maintainance costs of the infrastructure).

1. UVOD

Jedan od glavnih uzroka željezničkih nesreća je nepravilno utovaren teret ili kvar na nekoj od vitalnih mehaničkih komponenti željezničkog vozila: osovini, željezničkom kotaču, kočnicama. Trenutni pristup u ispitivanju i nadzoru ispravnosti vitalnih komponenti željezničkog vozila oslanja se na ručni pregled u početnom i završnom kolodvoru. Ručni pregled podrazumijeva da pregledači vagona koriste vlastita osjetila (vid, dodir, procjena temperature) što krajnji rezultat postavlja u ovisnost o subjektivnoj procjeni pregledača. Također, ne pregledavaju se nužno sve vitalne komponente (osovine, kotači, kočioni elementi...) svih vagona. Takav pristup neminovno dovodi do rizika od pojave željezničkih nesreća s većim ili manjim posljedicama po okolinu, koje ponekad ovise i o faktoru slučajnosti. Na taj način, nemoguće je predvidjeti ili utjecati na broj nesreća i, posljedično, na trošak koji je neka nesreća prouzročila. Željezničke nesreće utječu istovremeno na upravitelja infrastrukture i na prijevoznika, pa se ove negativne posljedice tiču obje strane, a rješenje problema je zajedničko pitanje.

Uvođenje mjerno-dijagnostičkih sustava u redovitu upotrebu ključna je metoda u prevenciji željezničkih nesreća i smanjenju troškova štete koju neispravna vozila naprave na infrastrukturi. Glavni faktori rizika za većinu željezničkih nesreća, mogu se podijeliti u dvije grupe:

- faktori uzrokovani kvarom na vozilu i
- faktori uzrokovani nepravilno tovarnim teretom.

Faktori uzrokovani kvarom na vozilu uglavnom se odnose na dodirne točke između vozila i infrastrukture. To su dijelovi vozila podložni trošenju:

- kotači i osovine
- pantograf.

Nepravilno utovaren teret može dovesti do oštećenja na vozilima i infrastrukturi, a time i do potencijalne nesreće, u slučaju:

- neravnomjernog rasporeda tereta u vagonu
- prekoračenja dozvoljenog osovinskog opterećenja
- nepravilno pričvršćenog tereta
- nepoštivanja statičkog (utovarnog) profila.

2. MJERNO-DIJAGNOSTIČKI SUSTAVI

Objekte grupe faktora rizika odnose se na status željezničkog vozila. Automatiziran i pouzdan nadzor stanja željezničkih vozila nameće se kao ključno rješenje za siguran i pouzdan željeznički promet. Kako bi se poništili spomenuti faktori rizika, potrebno je ugraditi odgovarajuće mjerno-dijagnostičke sustave na određenim točkama na željezničkoj mreži ili mjerno-dijagnostičke stanice s više kombiniranih sustava na jednom mjestu. Neki od najvažnijih mjerno-dijagnostičkih sustava opisani su u nastavku. S obzirom na važnost, naglasak će biti na sustavu za nadzor temperature osovinskih ležajeva, kočionih diskova i papuča te oboda kotača željezničkih vozila (tzv. „hot box“ sustav).

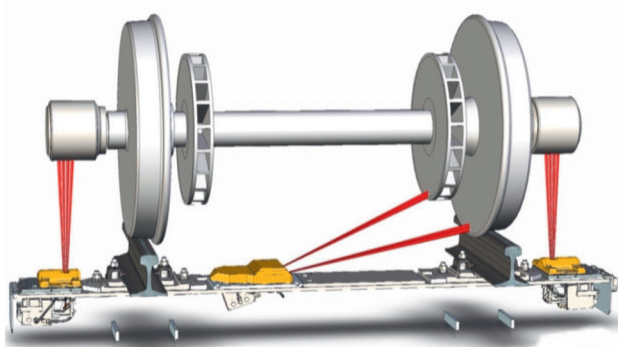
2.1. Sustav za nadzor temperature osovinskih ležajeva, kočionih diskova i papuča te oboda kotača željezničkih vozila (tzv. „hot box“ sustav“)

Pregrijani osovinski ležajevi i kočnice predstavljaju veliki sigurnosni rizik u željezničkom prometu. U slučaju kvara, tj. ispada iz rada osovinskog ležaja, dok je željezničko vozilo u prometu, postoji mogućnost iskliznuća vozila ili kompozicije što može dovesti do ozbiljne željezničke nesreće s katastrofalnim posljedicama. Takva nesreća može rezultirati ljudskim žrtvama i ozbiljnim štetama na vozilima i/ili infrastrukturi te okolini. Jedna od indikacija skorog ispada iz rada osovinskog ležaja je povećanje temperature kućišta osovinskog ležaja. Jedan od načina detekcije takvog osovinskog ležaja jest nadzor temperature svih osovinskih ležajeva željezničkog vozila/kompozicije, kako bi se detektiralo svako neprihvatljivo povećanje temperature. U slučaju da se takve „vruće osovine“ ne detektiraju na vrijeme, može doći do puknuća osovine a posljedično i do iskliznuća.

Blokirane kočnice također mogu dovesti do oštećenja vozila i infrastrukture. Detektirati se mogu, kao i kod osovinskih ležajeva, nadzorom temperature, u ovom slučaju oboda kotača željezničkog vozila s obzirom da blokirane kočnice rezultiraju porastom temperature željezničkog kotača.

Sustav za nadzor temperature osovinskih ležajeva, kočionih diskova i papuča te oboda kotača

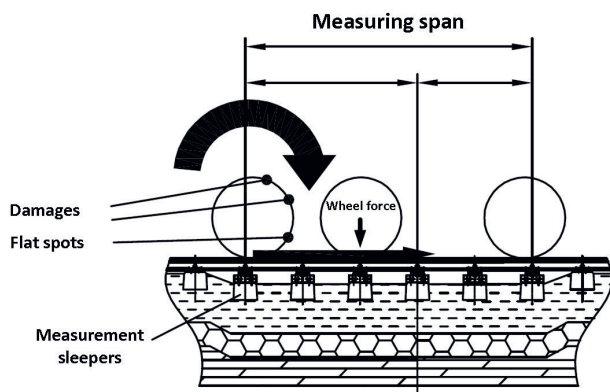
željezničkih vozila sastoji se od posebnog, čeličnog mjernog praga s ugrađenim mjernim modulima (za mjerenje temperature osovinskih ležajeva, kočioni diskova i oboda kotača pomoći infracrvenih senzora).



Slika 1: Osnovna konfiguracija sustava za nadzor temperature osovinskih ležajeva, kočioni diskova i papuča te oboda kotača željezničkih vozila

2.2. Dinamička vaga

Dinamička vaga je sustav koji omogućava mjerenje dinamičkih sila koje vozilo vrši na infrastrukturu. Ti se podaci mogu iskoristiti za određivanje težine pojedine osovine, vagona pa i cijele kompozicije, te za detekciju nepravilnosti na željezničkim kotačima, npr. ravnim mjestima na obodu kotača (tzv. „flat spots“).

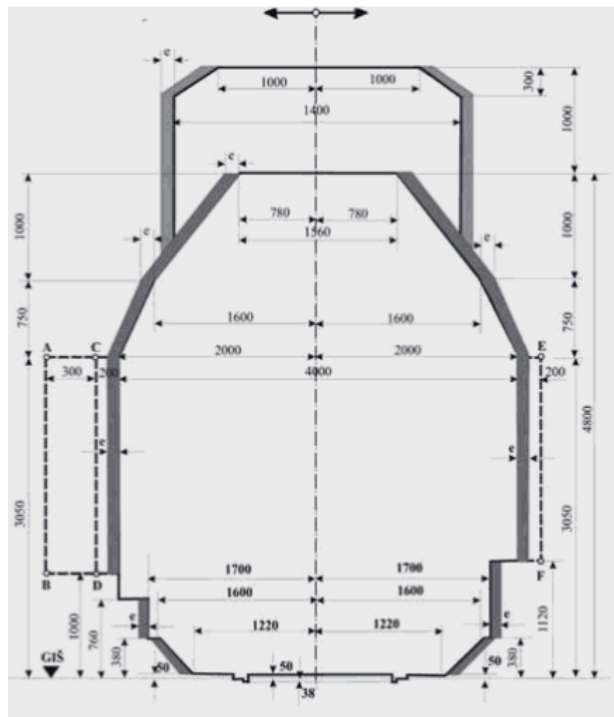


Slika 2: Principijelna shema dinamičke vage

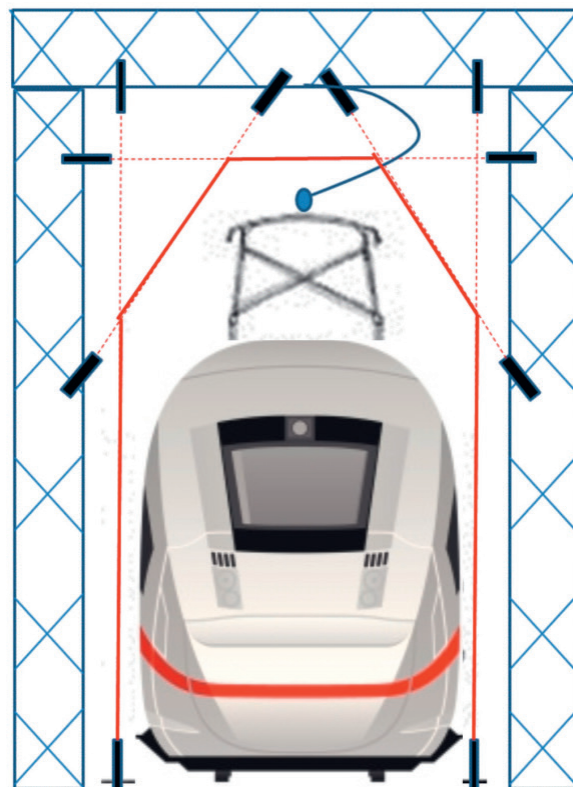
2.3. Nadzor slobodnog profila

Svako bi se vozilo, nakon utovara, trebalo pridržavati dimenzija statičkog (utovarnog) profila. Svako nepoštivanje statičkog profila predstavlja velik rizik, posebno na dionicama s posebnim infrastrukturnim objektima poput mostova i tunela. Statički (utovarni) profil je poprečni presjek vozila

koje miruje na ravnom kolosijeku. S druge strane, imamo slobodni profil, koji predstavlja presjek prostora koji mora ostati slobodan iznad i pokraj kolosijeka da bi vozila koja se kreću kolosijekom mogla prolaziti istim bez smetnji (slika 3).



Slika 3: Slobodni profil



Slika 4: Sustav za nadzor slobodnog profila

Sustav za nadzor slobodnog profila („high-wide load detector“) sastavljen je od niza infracrvenih setova senzora. Svaki set sastoji se od odašiljača i prijemnika. Setovi su montirani na posebnom portalu na pruži. Pozicija senzora na portalu mora se definirati na osnovu slobodnog profila pripadajuće dionice pruge. Prema tome, detekcijski profil sustava je vrlo prilagodljiv te isključivo ovisi o specifičnim zahtjevima krajnjeg korisnika.

2.4. Sustav za detekciju viseće opreme

Sustav za detekciju viseće opreme („dragging equipment detector“) koristi akcelerometar (mjerac ubrzanja) za detekciju sila udara tereta ili dijelova koji vise s podvozja željezničkog vozila. Sustav upozorava korisnika kada neki predmet udari obložne panele sustava silom većom od postavljenog praga. Orijentacija mjeraca ubrzanja isključuje mogućnost „lažne uzbune“ zbog ravnog kotača.



Slika 5: Vanjska oprema sustava za detekciju viseće opreme

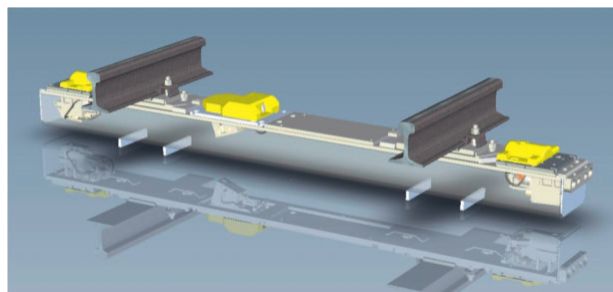
2.5. Sustav za nadzor stanja pantografa i kontaktnog voda

Pantograf koristi grafitnu traku za provođenje električne energije između kontaktnog voda i pantografa. U slučaju da je ova traka oštećena ili potrošena, pantograf može oštetiti kontaktni vod. Sustav za nadzor stanja pantografa i kontaktnog voda koristi lasersku tehnologiju za nadzor debljine grafitne trake. Sustav također kontinuirano prati silu kojom pantograf pritišće kontaktni vod. Ukoliko je ta sila manja od dozvoljene, može doći do gubitka kontakta.

2.6. Održavanje mjerno-dijagnostičkih sustava

Kao i kod većine modernih elektroničkih željezničkih uređaja, i mjerno dijagnostičke sustave

karakterizira modularni dizajn s niskim troškom održavanja. Tek manji dio opreme nalazi se na samoj pruži, pod utjecajem okoline. Najbolji primjer za to je tzv. „hot box“ sustav, čiji se jedini aktivni dijelovi, infracrveni mjerni moduli, nalaze zaštićeni u posebnom čeličnom pragu (slika 6), dok se sva ostala elektronika nalazi u kućici pored pruge. Time se smanjuje utjecaj okoline na pouzdanost i raspoloživost uređaja.



Slika 6: Prikaz dizajna vanjske opreme „hot box“ sustava

Dizajn vanjskih modula vrlo je robustan i najčešće je zadužen ispunjenje osnovnog cilja, a to je prikupljanje informacija koje kasnije obrađuje elektronika smještena u kontroliranu okolinu (npr. zatvorena kućica pored pruge) kojoj je lako pristupiti bez utjecaja na raspoloživost pruge. Drugi dobar primjer su senzori za mjerenje naprezanja kod dinamičke vage (slika 7). Senzori su robusni, hermetički zatvoreni i lako zamjenjivi.



Slika 7: Prikaz dizajna vanjske opreme dinamičke vage

Održavanje ovakvih sustava svodi se na godišnji vizualni pregled cijelog sustava te mjerenje preciznosti, npr. kod „hot box“ sustava se to odnosi na mjerenje temperature pomoću posebnog umjerenog grijača. Moderni mjerno-dijagnostički sustavi također imaju vlastitu dijagnostiku pomoću koje javljaju operateru sve nepravilnosti i greške u realnom vremenu.

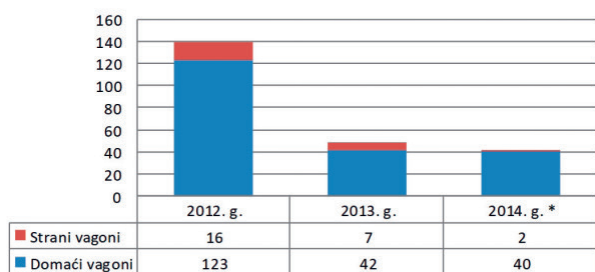
3. ISTRAŽIVANJE U HRVATSKOJ

Tvrtka Altpro d.o.o. izradila je opsežnu analizu o važnosti i razlozima za uvođenje sustava za nadzor temperature osovinskih ležajeva, kočionih diskova i papuča te oboda kotača željezničkih vozila (tzv. „hot box“ sustavi) na željezničku mrežu HŽ Infrastrukture. Na temelju raspoloživih podataka napravljena je usporedba troškova šteta uzrokovanih iskliznućima vlakova (u Hrvatskoj za zadani vremenski period) i troška ugradnje jednog „hot box“ sustava (slika 8). Rezultati te usporedbe potpuno opravdavaju ugradnju takvog sustava. U periodu od 2010. do 2013. godine, kompletna željeznička mreža HŽ Infrastrukture mogla se opremiti „hot box“ sustavima samo od troška nastalog iskliznućima vlakova.



Slika 8: Usporedba troškova šteta uzrokovanih iskliznućima vlakova (u Hrvatskoj za zadani vremenski period) i troška ugradnje jednog „hot box“ sustava

Vagoni s ručno detektiranim pregrijanim osovinskim ležajevima ili kotačima



Slika 9: Ručno detektirani pregrijani osovinski ležajevi i kotači (* rezultat samo za prvih 5 mjeseci)

Također je napravljena i analiza ručno detektiranih pregrijanih osovinskih ležajeva i kotača za period

od 2012. do 2014. godine. Ova se analiza može usporediti s kasnijim rezultatima ugrađenog „hot box“ sustava.

4. PROBNA UGRADNJA ALTPRO HOT BOX SUSTAVA U HRVATSKOJ

Nakon početne analize, „hot box“ sustav ugrađen je od strane tvrtke Altpro d.o.o. u Hrvatskoj tijekom srpnja 2014. godine na željezničkoj pruzi M202 (Zagreb – Rijeka) između stanica Meja i Škrlevo. Ta je željeznička pruga dio Mediteranskog TEN-T koridora i vrlo je važna njena uloga u povezivanju luke Rijeka s ostatkom zemlje i Europe. Radi se o pruzi s velikom gustoćom prometa što predstavlja idealnu lokaciju za ugradnju mjerno-dijagnostičkih sustava.

Unutrašnji dio opreme ugrađen je u obližnjoj kućici željezničko-cestovnog prijelaza Milja (ŽCP Milja). Udaljenu terminal za dojavu ugrađen je u kolodvoru Škrlevo, 6,5 km udaljenom od ŽCP-a Milja u smjeru Rijeke.

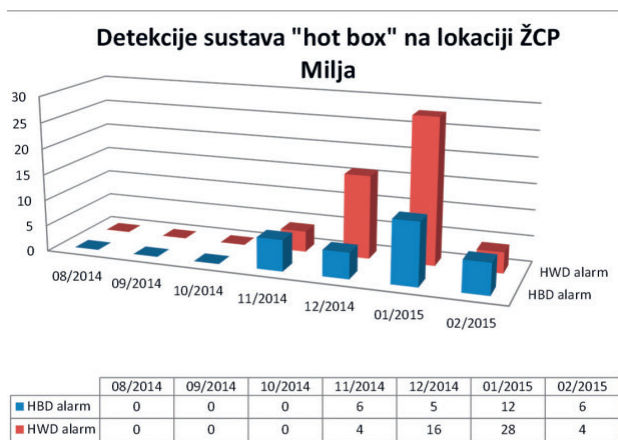


Slika 10: „Hot box“ sustav ugrađen na lokaciji ŽCP Milja

Tijekom sedam mjeseci rada, sustav je detektirao 81 pregrijani osovinski ležaj ili kotač. Rezultat je tim bolji, ako se uzme u obzir da je tijekom prva tri mjeseca promet bio smanjenog obujma i usporen zbog radova na infrastrukturi te u tom periodu nije bilo detekcija.

Rezultati korištenja „hot box“ sustava definitivno opravdavaju njegovu ugradnju. Ukupno, alarm na 81 osovini potvrđen je od strane sustava za period od kolovoza 2014. do veljače 2015. godine. Alarmi se mogu podijeliti u dvije skupine:

- pregrijani osovinski ležaj (HBD)
- pregrijani obod željezničkog kotača (HWD)



Slika 11: Detekcije sustava „hot box“ na lokaciji ŽCP Milja

Ovi se rezultati mogu usporediti s tablicom ručno detektiranih pregrijanih osovinskih ležajeva i kotača (slika 9). U 2012. godini, ukupno je ručno detektirano 139 vagona s pregrijanim osovinskim ležajem ili kotačem. Ali ta se informacija odnosi na cijelu željezničku mrežu HŽ Infrastrukture i period od godine dana, usporedivši s periodom od sedam mjeseci rada „hot box“ sustava na ŽCP Milja.

5. PROBNA UGRADNJA ALTPRO HOT BOX SUSTAVA U BIH

U mjestu Doboju (pruga Šamac – Doboje) ugrađen je u svibnju 2017. godine „hot box“ sustav. Vanjska oprema sustava ugrađena je na desnom kolosijeku (smjer Doboje), dok je unutrašnji dio opreme ugrađen u staru APB kućicu. Udaljeni terminal za dojavu rezultata mjerenja ugrađen je u uredu prometnika kolodvora Doboje.



Slika 12: „Hot box“ sustav ugrađen na lokaciji Doboje

Sustav je trenutno u probnom radu, tijekom kojeg će se rezultati aktivno pratiti kako bi se opravdala investicija u mjerno-dijagnostičke sustave na prugama Željeznica Republike Srpske.

U nastavku možete vidjeti primjer dojave pregrijanih osovinskih ležajeva i oboda željezničkih kotača, iz Doboja, registriran 23.08.2017. Uređaj je konfiguriran tako iznad 70°C „alarmira“ operatera u slučaju pregrijanih osovinskih ležajeva (stupci HOAL i HOAR), a iznad 300°C u slučaju pregrijanih oboda željezničkih kotača (stupac FBOA1).

Train Details - Hot Box Detector

General | Details - HBD | Hot box values | Hot brake values | Measurement values

Train number: 000001408
Location: Doboje

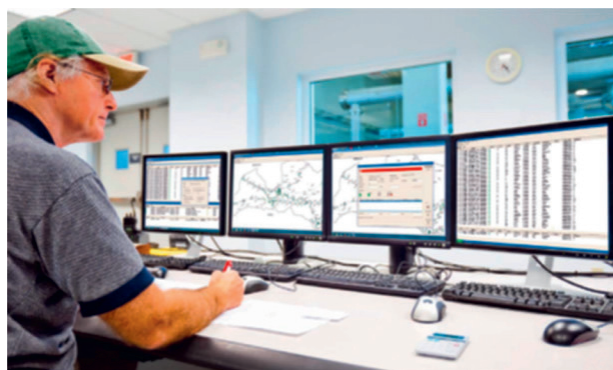
From: 1
To: 64

Asle /	Waggon	Asle (Waggon)	HOAL	HOAR	FBOA1	Waggon type
1	?	1	37	38	74	?
2	?	2	35	40	76	?
3	?	3	37	41	82	?
4	?	4	36	40	76	?
5	?	5	83	63	380	?
6	?	6	81	66	396	?
7	?	7	69	47	352	?
8	?	8	81	57	360	?
9	?	9	33	33	48	?
10	?	10	35	33	78	?
11	?	11	34	33	76	?
12	?	12	35	34	74	?
13	?	13	33	33	70	?
14	?	14	33	35	70	?
15	?	15	34	33	72	?
16	?	16	34	35	76	?

Slika 13: Primjer dojave pregrijanih osovinskih ležajeva i oboda željezničkih kotača; Doboje, 23.08.2017.

6. ZAKLJUČAK

Cilj probnih ugradnji u Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini je ukazivanje na potrebu ugradnje ovakvih sustava i na njihovu korist u svakodnevnom odvijanju željezničkog prometa. S obzirom da je u slučaju detekcije neispravnog željezničkog vozila potrebna brza reakcija, mjerno dijagnostičke sustave bi trebalo dodijeliti odjelu koja će njihov rad pratiti 24 sata dnevno.



Slika 14: Primjer radnog mjesta službe za praćenje rada mjerno-dijagnostičkih sustava

Najvažnije je naglasiti kako rad ovih sustava ne ugrožava radna mjesta, npr. odjela pregledača vagona. Dodjeljivanje mjerno-dijagnostičkih sustava odjelu pregledača vagona predstavlja

možda i najlogičniji put, koji bi modernizirao taj odjel te poslužio kao sredstvo za kvalitetniji i pouzdaniji pregled željezničkih vozila.

Opremanjem čitave željezničke mreže s odgovarajućim brojem mjerno dijagnostičkih sustava, omogućavaju se, pored već spomenutog kvalitetnog i pouzdanog pregleda željezničkih vozila, i mnoge druge analize u svrhu kvalitetnijeg održavanja vozila i infrastrukture. S podacima dobivenim iz rezultata mjerenja mjerno-dijagnostičkih sustava, moguće je promijeniti pristup u nadzoru ispravnosti i održavanju željezničkih vozila. Time bi se promijenila praksa koja se već desetljećima prakticira u našim krajevima, a to je ručni pregled vozila i ne vođenje adekvatne analitike stanja željezničkih vozila što nam onemogućuje

preventivno održavanje i posljedično, ima loš utjecaj na sigurnost željezničkog prometa.

LITERATURA

- [1] *Tehnički opis sustava za nadzor temperature osovinskih ležajeva, kočionih diskova i papuča te oboda željezničkih kotača*, ALTPRO d.o.o. Zagreb (2014.)
- [2] *Railway applications – Axlebox condition monitoring – Part 1: Track side equipment and rolling stock axlebox*, CENELEC EN 15437-1:2009 (2009.).
- [3] Stipetić, A. *Gornji ustroj željezničkog kolosijeka*, (2008.)

UROŠ STANIMIROVIĆ*, MIROSLAV PROKIĆ**

INTEGRISANI GRANIČNI PRELAZI¹

INTEGRATED BORDER CROSSING

Datum prijema rada: 18.11.2017. god.
UDK: 656.1/.2(082)(0.034.4)

REZIME

Nedostatak interoperabilnosti, imigracione politike i carinske procedure su neki od glavnih razloga koji ometaju efikasan transport ljudi i robe između država. Ovaj problem može biti prevaziđen bilateralnim ili multilateralnim sporazumom između država koji bi omogućio da se skрати vreme zadržavanja na graničnom prelazu primenom integrisanih (zajedničkih) graničnih procedura. Realizacija integrisane granične procedure znatno će uticati na brži "protok" vozova, pojednostavljenje i skraćivanje procedura prelaska granica čime se povećava kvalitet železničkog saobraćaja. U ovom radu je prikazan koncept integrisanog upravljanja granicama, način funkcionisanja železničkih graničnih prelaza i mehanizmi za skraćivanje vremena koji vozovi provode na graničnim prelazima sa ciljem povećanja konkurentnosti ovog vida prevoza na evropskom transportnom tržištu.

Ključne reči: železnica, interoperabilnost, granične procedure

SUMMARY

Lack of interoperability, immigration policy and customs procedures are some of the main reasons that impede the efficient transport of people and goods between countries. This problem can be overcome by bilateral or multilateral agreements between countries which would enable reduction of dwell time at border crossing by using the integrated (joint) border procedures. Implementation of the integrated border procedures will significantly contribute to faster "flow" of trains, simplifying and shortening the procedure of border crossing which increases the quality of rail transport. This paper presents a concept of integrated border management, the functioning of railway border crossings and mechanisms for shortening the time that trains spend at border crossings in order to increase the competitiveness of this form of transport in the European transport market.

Key words: railway, interoperability, border procedures

1. UVOD

Međudržavne granice predstavljaju osnovnu smetnju za razvoj jedinstvenog železničkog sistema. Železnički sistem treba da obezbedi transport ljudi i robe iz jednog mesta u drugo, brzo i efikasno, uz uspostavljanje koncepta interoperabilnosti. Svako zaustavljanje donosi ogromne troškove

železničkim operaterima. Ova zaustavljanja proističu iz tehničkih i netehničkih „uskih grla“ koja onemogućuju tzv. neprekinut saobraćaj vozova.

Liberalizacija železničkog sektora u EU dovela je do potrebe da se istorijske železničke kompanije adaptiraju uslovima otvorenog tržišta. Ulazak novih/privatnih železničkih kompanija na tržište,

* Uroš Stanimirović, dipl. inž. saob, uros.stanimirovic1@gmail.com

** Miroslav Prokić, dipl. inž. saob, miroslav.miki22@gmail.com

¹ Ovaj rad je u skraćenoj verziji prezentovan na VI međunarodnom simpozijumu Novi Horizonti saobraćaja i komunikacija 2017. koji je održan 17. i 18. novembra 2017. godine na Saobraćajnom fakultetu u Doboju Univerziteta u Istočnom Sarajevu.

pokazao je da železnički transport robe može biti profitabilan u određenom segmentu tržišta i na koridorima. Usled neusklađenosti propisa, koji rezultuju komplikovanim i dugim pograničnim procedurama, saradnja između železničkih preduzeća zbog toga je znatno otežana, što ometa uspešan razvoj međunarodnog železničkog putničkog i teretnog saobraćaja.

Pored svih razloga zbog kojih bi železnički prevoz trebalo da bude dominantan u međunarodnom prevozu robe i putnika na srednjim i dužim relacijama, on još uvek nije dovoljno konkurentan drumskom saobraćaju. Ovo se ogleda pre svega u njegovoj nemogućnosti da pruži uslugu „od vrata do vrata” i dugim vremenima prevoza. Nemogućnost pružanja usluge „od vrata do vrata” predstavlja tehničko-eksploatacionu karakteristiku železničkog prevoza (neelastičnost), dok je dugo vreme prevoza uslovljeno uglavnom ogromnim vremenom koje vozovi provode u pograničnim stanicama. Prema nekim istraživanjima, vreme provedeno na granicama ima udeo od 5% do 35% ukupnog vremena putovanja voza. Činjenica je da postoji ogroman potencijal za smanjenje vremena putovanja samo ubrzanjem procedura u ovim stanicama. Jedno od rešenja za ovaj problem jeste sprovođenje integrisanog upravljanja granicama.

Osnovu integrisanog upravljanja granicama predstavlja sporazum između dve susedne države o uspostavljanju jedne pogranične stanice u kojoj će relevantni državni organi (policija, carina, fitosanitarna i veterinarska inspekcija) i železničko osoblje obavljati zajedničku pograničnu kontrolu. Ovim se ukida dvostruko zaustavljanje vozova sa obe strane granice i omogućava da se ukupno vreme bavljenja na granici smanji i do 50%.

U radu predstavljeni su značaj zajedničkih pograničnih stanica, stanje pograničnih stanica i potpisanih sporazuma o integrisanom upravljanju granicama u Republici Srbiji, opis pograničnih procedura, kao i zaključna diskusija.

2. ZNAČAJ ZAJEDNIČKIH ŽELEZNIČKIH POGRANIČNIH STANICA

Efikasnost, produktivnost i konkurentnost železničkog saobraćaja, u današnjem kontekstu jedinstvenog evropskog železničkog sistema, zavise od nivoa ostvarene interoperabilnosti

železničkih sistema. Prema Direktivi 2008/57/EZ interoperabilnost definiše se kao sposobnost sistema da omogući bezbedan i neprekinut saobraćaj vozova, koji ispunjavaju potrebne zahteve za određenu mrežu. Ta sposobnost zavisi od svih regulatornih, tehničkih i eksploatacionih uslova koji moraju biti ispunjeni da bi se zadovoljili osnovni zahtevi za interoperabilnost. U praksi, to predstavlja smanjenje svih tehničkih i netehničkih „uskih grla”, koja utiču na neprekinut saobraćaj vozova, odnosno obezbeđivanje što kraćeg vremena prevoza putnika i robe.

U nameri da se privuče veći obim robe i putnika, i da železnički saobraćaj postane konkurentniji, potrebno je ukloniti uska grla, ili bar smanjiti njihov uticaj na železnički saobraćaj tamo gde je to neophodno i finansijski izvodljivo.

Tehnička ograničenja uglavnom se rešavaju velikim investicionim ulaganjima u železničku infrastrukturu u cilju podizanja njenog kvaliteta i nabavkom modernih višesistemskih lokomotiva zbog smanjenja vremena koje vozovi provode u pograničnim stanicama.

Netehnička ograničenja rešavaju se harmonizacijom propisa, obučavanjem mašinovođa da upravljaju lokomotivom na više železničkih mreža i uvođenjem novih organizacija rada, u koje spada i pružanje integrisane pogranične usluge.

Integrisane pogranične usluge podrazumevaju uvođenje jedne pogranične stanice u kojoj se nalaze sve relevantne službe za pograničnu kontrolu obe zemlje i kombinovanje njihovih aktivnosti. Prema Strategiji za integrisano upravljanje granicom, integrisano upravljanje granicom podrazumeva uređenu saradnju svih službi prisutnih na graničnim prelazima (unutar, između i međunarodnu saradnju), kao i drugih državnih organa i institucija u cilju postizanja otvorenosti granice za kretanje lica i robe, a zatvorenosti za sve kriminalne i druge nedozvoljene aktivnosti.

Opšti cilj (ovakvih?) pograničnih stanica jeste smanjenje kašnjenja vozova optimizacijom neophodnih procedura, koje se ostvaruju primenom koncepta „one stop” i „single window”, istovremeno održavanje zahtevanog nivoa bezbednosti uz poštovanje nacionalnih zakona obe države i zakonodavstva EU.

Primenom koncepta „one stop” i „single window” omogućuje se korišćenje standardizovanih informacija i dokumenata kako bi se jednim zaustavljanjem voza sprovele sve procedure i regulatorni zahtevi vozova u tranzitu tranzita, dok će se fizički pregled robe i kontrola putnika, koliko god je to moguće, vršiti u isto vreme i na jednom mestu. Ovi koncepti omogućuju brži protok saobraćaja, pojednostavljaju i skraćuju procedure prelaska granica, čime se povećava konkurentnost železničkog saobraćaja u odnosu na druge vidove prevoza.

Koncept zajedničke kontrole na zajedničkom pograničnom prostoru zahteva od zemalja da prilagode postojeće objekte na graničnim prelazima, kako bi zajedničke operacije mogle biti sprovedene, što zapravo predstavlja ograničenje u pogledu infrastrukture. Ne postoje neka značajnija operativna ograničenja ako se ima u vidu da se sve procedure sprovode na istovetan način i da efikasno sprovođenje kontrole pre svega zavisi od stepena saradnje svih relevantnih službi.

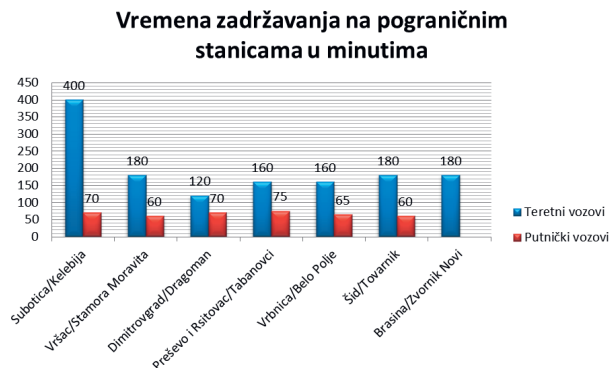
3. STANJE POGRANIČNIH STANICA U REPUBLICI SRBIJI

Republika Srbija ima teritoriju od 88.361 km² i graniči se sa osam država: Mađarskom, Rumunijom, Bugarskom, BJR Makedonijom, Albanijom, Crnom Gorom, Bosnom i Hercegovinom i Hrvatskom. Ukupna dužina državne granice Republike Srbije iznosi 2.351,7 km (Izjava o mreži za Red vožnje 2016-2017. godine).

Mreža železničkih pruga Republike Srbije povezana je sa železničkim mrežama sedam država (osim sa Republikom Albanijom). Granice železničke mreže „Infrastruktura železnice Srbije” a.d. sa susednim železničkim mrežama jesu granične stanice: Subotica, Horgoš, Preševo, Đeneral Janković, Vrbnica, Bogojevo, Šid, Brasina, Kikinda, Vršac i Dimitrovgrad. Promena sistema vuče postoji samo na graničnom prelazu sa Republikom Bugarskom u stanici Dimitrovgrad na pruži Niš-Dimitrovgrad-državna granica sa Bugarskom (Izjava o mreži za Red vožnje 2016-2017. godine).

Na dijagramu u nastavku prikazano je prosečno realizovano vreme zadržavanja na pograničnim stanicama, koje se nalaze na Osnovnoj i Sveobu-

hvatnoj mreži železničkih ruta za zapadni Balkan u Republici Srbiji (Slika 1).

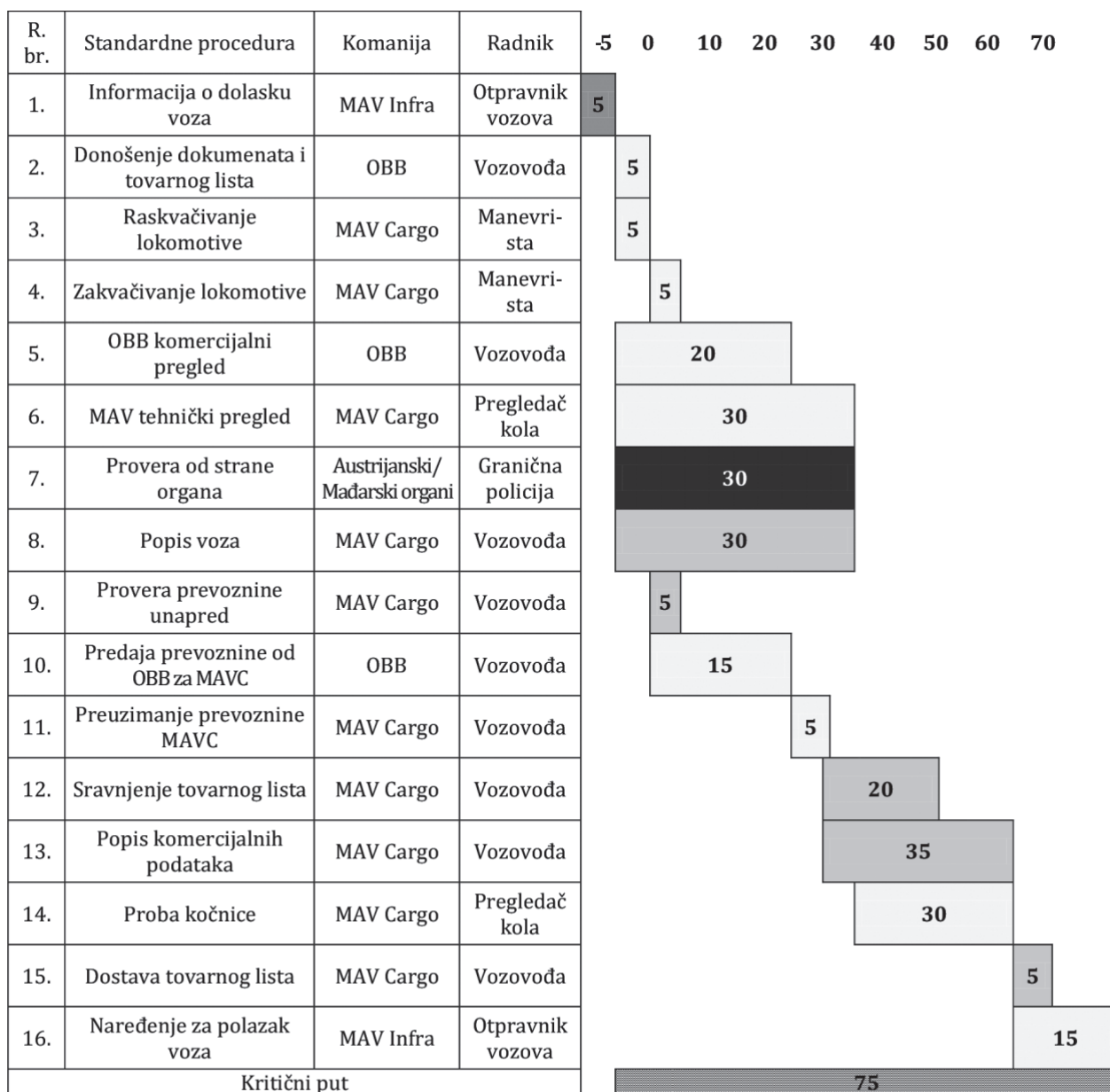


Slika1: Vreme zadržavanja

Radi isticanja značaja zajedničkih pograničnih stranica, mogu se uzeti u obzir rezultati projekta Cream – Customer-driven Rail-freight services on a European mega-corridor based on Advanced business and operating Models, prema kome minimalno vreme zadržavanja teretnog voza u jednoj zajedničkoj pograničnoj stanici iznosi 75 minuta. Na gantogramu aktivnosti (slika 2) su dati su svi zadaci koje je potrebno sprovesti za obradu jednog teretnog voza na zajedničkoj pograničnoj stanici Hegyeshalom između Austrije i Mađarske, sa izuzetkom sporadičnih događaja, kao što su isključivanje kola ili tehnički defekti lokomotive.

Očigledno je da zadržavanje teretnih vozova na pograničnim stanicama u Republici Srbiji traje skoro dva puta duže, nego na primer u austrijsko-mađarskoj pograničnoj stanici, dok je u pograničnoj stanici Kelebija čak šest puta veće. Razlog za ovakvo stanje na granici sa Mađarskom jesu pokušaji migranata da ilegalno pređu iz Srbije u Mađarsku u teretnim vozovima, te su kontrole znatno veće i pregled traje duže.

Pogranične procedure, kao što se može videti na gantogramu, mogu biti podeljene na železničke i neželezničke (one koje sprovode organi železnice i na one koje sprovode organi države). Procedure koje sprovode železnički radnici uglavnom su aktivnosti koje se odnose na standardne procedure u vezi sa vozovima i pratećom dokumentacijom, dok su aktivnosti organa države nešto složeniji, što dovodi do toga da su procedure koje sprovode granična policija, carina, fitosanitarna i veterinarska kontrola često nedovoljno jasne ljudima van ovih službi i zbog toga je u nastavku dat opis tih aktivnosti.



Slika 2: Gantogram aktivnosti

3.1. Poslovi organa države u pograničnim stanicama

Postoje, četiri glavne službe nadležnosti u vezi sa granicom i graničnim prelazima, i to:

- Uprava granične policije pri Ministarstvu unutrašnjih poslova;
- Uprava carine pri Ministarstvu finansija;

- Granična fitosanitarna inspekcija pri Ministarstvu poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede;
- Granična veterinarska inspekcija pri Ministarstvu poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede.

Ove četiri granične službe, svojim zajedničkim radom na granici, treba da obezbede osnovne

preduslove za efikasan sistem kontrole i nadzor granice. Složenost zadataka, koji se obavljaju na granici, zahteva, pored četiri glavne, podršku i drugih državnih organa i institucija u radu graničnih službi.

Redovni poslovi kontrole državne granice odnose se na lica, transportna sredstva i robu i podrazumevaju provere na graničnim prelazima, sprečavanje nekontrolisanog ulaza, što uključuje i pitanja u vezi sa traženjem azila i postupanje prema uhapšenim osobama bez dokumenata u skladu s međunarodnim poveljama i konvencijama (Zakon o zaštiti državne granice, 2015).

U poslove kontrole državne granice spadaju i poslovi u vezi sa raznim vidovima bezbednosnih povreda granica, uključujući sprečavanje krijumčarenja, opasnost od unošenja bolesti koje su zarazne za ljude, životinje i biljke, pojačanom kontrolom zbog pretnje koju predstavlja međunarodni terorizam. Njihovo suzbijanje zahteva širok spektar mera i stroge mehanizme kontrole. S druge strane, povećanje obima međunarodne trgovine, turizma, kulturne i obrazovne razmene zahteva otvorenije granice. Iz tog razloga granične službe moraju da stvore ravnotežu između strogih kontrola i sasvim otvorenih granica, a bliska saradnja različitih službi, sa obe strane granice, može doprineti stvaranju takve ravnoteže.

Deo ovih zadataka može jasno da se dodeli određenoj službi, ali uočljiva je i značajna zona preklapanja nadležnosti, naročito carinske službe i granične policije.

Osnovni principi efikasnog upravljanja granicama, u kontekstu evropskih standard, jesu otvorenost granica za trgovinu i kretanje lica, a zatvorenost granica za sve kriminalne aktivnosti. Pored toga, glavni oslonci integrisanog upravljanja granicom su saradnja unutar službi, koja podrazumeva saradnju u okviru ministarstava i službi nadležnih za pojedine zadatke, zatim saradnja između službi, što obuhvata svakodnevne operativne kontakte na prelazima, i međunarodna saradnja, koja podrazumeva koordinaciju procedura i sprovođenja aktivnosti radi efikasnijeg i kvalitetnijeg upravljanja i kontrole granice.

Najbitnija služba koja obavlja kontrolu granice sprovođenjem procedura je granična policija. Njen zadatak je da kontroliše državnu granicu

u cilju obezbeđenja nepovredivosti državne granice, otkrivanja i sprečavanja kažnjivih dela i počinitelaca tih dela, zaštite života i zdravlja ljudi i životne sredine, kao i sprečavanje ilegalne migracije. Granična policija poslove zaštite državne granice obavlja u skladu sa nadležnostima utvrđenim Zakonom o zaštiti državne granice. Granična policija dužna je da vodi evidenciju o licima nad kojima je izvršena granična kontrola.

Osnovni zadatak i svrha carine je zaštita ekonomskih, fiskalnih i finansijskih interesa države, zaštita od nezakonite i ilegalne trgovine, bezbednost i zaštita ljudi i životne sredine i olakšavanje međunarodne trgovine. Carinski organ kontroliše međunarodni promet robe, doprinoseći slobodnoj trgovini, sprovođenju spoljašnjih aspekata domaćeg tržišta i principa koji se odnose na trgovinu, kao i opštoj bezbednosti u lancu trgovine. Radnje i aktivnosti koje sprovodi carina mogu se obavljati van carinskog područja samo ako je to utvrđeno međunarodnim sporazumom. Carinsko područje obuhvata teritoriju i teritorijalne vode, kao i vazdušni prostor iznad Republike Srbije i ograničeno je carinskom linijom koja je istovetna s granicom Republike Srbije. Kada drugi nadležni organi, nad istom robom, sprovode kontrolu, carinski organ će, u saradnji sa tim organom, da nastoji da se ta kontrola obavlja gde god je to moguće, u isto vreme i na istom mestu, kao i carinska kontrola, uz koordinirajuću ulogu carinskog organa (Carinski zakon, 2016).

Fitosanitarna inspekcija pregleda pošiljake bilja koje se uvoze ili tranzitiraju kroz državu da bi se sprečilo pojavljivanje i širenje štetnih organizama za biljke ili druge biljne proizvode. Pošiljka bilja određena je količina bilja ili biljnih proizvoda koji se transportuju i koje prati fitosanitarni sertifikat ili drugi jedinstveni dokument ili oznaka, potrebni za sprovođenje carinskih ili drugih postupaka. Fitosanitarni pregled pošiljke bilja obavlja se na graničnom prelazu preko koga se, u skladu sa posebnim propisom, može uvoziti, izvoziti i prevoziti pošiljka bilja. Fitosanitarni pregled pošiljke bilja obavlja se pregledom dokumentacije koja prati pošiljku bilja, prevoznog sredstva, ambalaže i bilja.

Veterinarsko-sanitarna kontrola obavlja se na određenim vrstama pošiljaka, na propisan način na graničnim prelazima na kojima postoji

organizovana veterinarsko-sanitarna kontrola. Pošiljkama smatraju se pošiljke životinja, proizvoda životinjskog porekla, hrane životinjskog porekla, sporednih proizvoda životinjskog porekla ili hrane za životinje, kao i pošiljke mešovite hrane koja u svom sastavu sadrži proizvode životinjskog porekla, obuhvaćene istim propisanim dokumentom, koje se nalaze u istom prevoznom sredstvu, a koje potiču iz istog mesta porekla i namenjene su istom mestu krajnjeg odredišta. Veterinarsko-sanitarna kontrola na graničnom prelazu sastoji se od pregleda dokumentacije, identifikacije pošiljke i fizičkog pregleda pošiljke, u skladu sa zakonom kojim se uređuje veterinarstvo. Ovo se ne odnosi na pošiljke kućnih ljubimaca koji se kreću u pratnji vlasnika.

4. BILATERALNI SPORAZUM INTEGRISANOG UPRAVLJANJA ZAJEDNIČKOM POGRANIČNIM STANICOM

Osnovni razlog, zbog kojeg države treba da sprovedu koncept integrisanog upravljanja granicama jeste njegov ogroman potencijal za smanjenje vremena putovanja - čak do 35% samo „ubrzanjem“ procedura u pograničnim stanicama (The Cream project, 2012). Ovo „ubrzanje“ rezultat je aktivnosti graničnih organa dveju država na jednoj zajedničkoj lokaciji, uz eliminaciju dupliranja istih procedura.

Pored ovoga, navedeni koncept utiče i na smanjenje troškova infrastrukture i operativnih troškova, ali i povećanje konkurentnosti železničkog prevoza.

Naravno, postoje i ograničenja ovog koncepta i postavlja se pitanje: ako integrisano upravljanje ima toliko prednosti, zašto nema integrisanih prelaza u regionu? Odgovor na ovo pitanje sastoji se iz:

- nerazumevanja integrisanog upravljanja;
- jasnijeg razumevanja potencijalnih ograničenja implementacije;
- potrebe da se svi granični organi posvete ovom konceptu kako bi on bio uspešan;
- neodgovarajuća ili neodrživa infrastruktura.

Da bi se ovaj koncept sproveo u delo, neophodno je da se na odgovarajući način uđe u regulative. Sporazumom o utvrđivanju granične procedure propisuju se nadležnosti, prava i obaveze ugovornih strana. Ovim ugovorom najpre se definiše pojam

zone, koji je neophodan za efikasno funkcionisanje graničnog prelaza. On predstavlja prostor (zajedno sa kolosecima i ostalim objektima neophodnim za rad) na teritoriji jedne od ugovornih strana gde granični organi obe strane sprovode granične procedure, pri čemu se garantuje slobodan pristup železničkim preduzećima, koja žele da uđu u zonu po fer i nediskriminatornoj osnovi. U sklopu zone, pored navedenih procedura, pruža se usluga jednog prodajnog šaltera („One Stop Shop“). Takođe, da bi prelaz bio efikasniji za putnički saobraćaj, neophodno je da se kontrola sprovodi dok je voz u pokretu između definisanih pograničnih stanica.

Sporazumom treba predvideti formiranje komisije, koja se sastoji od predstavnika obe ugovorne strane, koja bi imala ulogu nadzornog organa. Zadaci komisije su da prati primenu pomenutog sporazuma, da obezbedi nediskriminatorni pristup, omogući fer konkurenciju, da rešava potencijalne probleme ili poteškoće u toku primene sporazuma. Komisija treba redovno da se sastaje (najmanje jednom godišnje) radi evaluacije primene sporazuma.

Bliže definisanje načina sprovođenja granične kontrole propisuje se protokolima koji se potpisuju između relevantnih državnih organa obe ugovorne strane. Protokoli se donose nakon potpisivanja sporazuma između graničnih policija, carinskih organa, fitosanitarnih i veterinarskih organa i protokola između upravljača infrastrukture. Postoji mogućnost za potpisivanje dodatnih protokola između drugih organa ukoliko postoji potreba za tim.

U tabeli u nastavku date su prednosti i mane integrisanog upravljanja granicama (Joint Border Processing at Regional Border-Crossings, 2003):

Vrlo je važno istaći da je nakon potpisivanja sporazuma i definisanja jedne pogranične stanice, potrebno uraditi analizu i projekciju obima saobraćaja, kako bi se utvrdili potrebni kapaciteti takve stanice. Verovatno će da bude potrebno da se investira u proširenje kapaciteta objekata koji će da služe za smeštaj državnih organa i železničkog osoblja, fitosanitarnih i veterinarskih laboratorija, kuhinja i konačišta. Neophodno je obezbediti funkcionalne veze između objekata

Tabela 1. Prednosti i mane koncepta zajedničke pogranične stanice

PREDNOSTI	Smanjene vremena prevoza za korisnike graničnog prelaza realizacijom koncepta "one stop" za kontrolu teretnog saobraćaja i putničkog saobraćaja
	Unapređenje saradnje pograničnih službi
	Smanjenje dupliranja podataka i evidencija
	Potencijal zajedničkih istraživanja i inspekcija
	Smanjenje investicionih ulaganja
	Usklađenost sa međunarodnim konvencijama
MANE	Gubitak nadležnosti u pogledu rada na nesuverenoj teritoriji, osim ukoliko nije potpisan bilateralni sporazum
	Neki granični službenici moraju da putuju na posao u drugu državu
	Ako objekti u kojima se vrši granična kontrola u obe države nisu sličnog kaliteta, zvaničnici iz jedne države mogu biti u lošijim objektima od onih u kojima trenutno posluju
	Potencijalni gubitak nacionalnog identiteta u pograničnoj zajedničkoj stanici

različitih organa i na taj način omogućiti slobodno kretanje ljudi i robe preko granica i istovremeno održavanje granica bezbednim. Takođe, potrebno je investirati u izgradnju novih i rekonstrukciju i produženje postojećih staničnih koloseka, kako zbog nedostatka kapaciteta ne bi došlo do prekida saobraćaja. Pored ovih koloseka potrebno je izgraditi i pomoćne koloseke (carinski kolosek za sporna kola, izvlačnjake, obilazni kolosek i kolosek za gariranje lokomotiva).

Shodno navedenim karakteristikama integrisanog upravljanja pograničnim stanicama i značaju međunarodnog železničkog teretnog saobraćaja za domaću privredu, u proteklih nekoliko godina Republika Srbija pokrenula je inicijativu prema svojim susedima za potpisivanje Sporazuma o utvrđivanju granične procedure. Republika Srbija, u periodu od 2005. godine do danas, potpisala je tri takva sporazuma, sa Crnom Gorom, BJR Makedonijom i Bugarskom (tabela 2).

Iako su sporazumi potpisani, u praksi se nijedan od njih ne sprovodi. Zaključna diskusija posvećena je razlozima zbog kojih se sporazumi ne sprovode radi ukazivanja na probleme i ograničenja, koji mogu da se pojave.

Tabela 2. Potpisani Sporazumi o utvrđivanju granične procedure

Država	Sporazum	Definisana pogranična stanica	Prime-njivanje sporazuma
Mađarska	-	/	/
Hrvatska	-	/	/
BiH	-	/	/
Crna Gora	+	Belo Polje	-
Makeonija	+	Tabanovci	-
Bugarska	+	Dimitrovgrad	-
Rumunija	-	/	/
+ potpisan, - nije potpisan, / nije definisana			

5. ZAKLJUČAK

Republika Srbija preduzela je i još uvek preduzima aktivnosti u cilju sprovođenja tzv. „mekih mera“ koje su premijeri regiona zapadnog Balkana prihvatili na Samitu „Western Balkans“ 6 (WB 6) u Beču 2015. godine. U saradnji sa Sekretarijatom SEETO, DG Move i DG Near izrađen je plan „mekih mera“ koje treba sprovesti.

Jedna od pomenutih nacionalnih „mekih mera“ jeste revizija Sporazuma između Vlade Republike Srbije i Vlade Republike Bugarske o prekograničnom železničkom saobraćaju. Postojeći sporazum između dveju vlada potpisan je aprila 2005. godine. U skladu sa preduzetim obavezama Republika Srbija, na osnovu ovog sporazuma, izvršila je adaptaciju stanice, kako bi omogućila nesmetano funkcionisanje svih službi. Službenici granične policije i carine bugarske strane su se 2010. godine povukli su se iz zajedničke stanice Dimitrovgrad i od tada praktično ne postoji integrisan granični prelaz. Razlog je ulazak Republike Bugarske u Evropsku uniju gde navodno nije moguće da se granična kontrola EU obavlja van njene teritorije. Povodom ovog slučaja, potrebno je naglasiti da zakonodavni okvir EU ostavlja mogućnost sklapanja sporazuma sa trećim državama radi skraćivanja zadržavanja vozova na graničnim prelazima i to Uredbom (EU) 2016/399 o kodeksu Unije o pravilima kojima se uređuje kretanje osoba preko granica (Kodeks o šengenskim granicama). Ovom uredbom definisano je pod kojim uslovima i na koji način može da se zaključi sporazum sa trećom državom, što je bliže određeno Prilogom 6, tačkom 1.1.4. koja se tiče

zajedničkog graničnog prelaza i tačkom 1.2. koja bliže propisuje prelaze u železničkom saobraćaju.

Sporazum između Vlade Republike Srbije i Vlade Crne Gore, o graničnoj kontroli u železničkom saobraćaju, sačinjen je 9. marta 2009. godine u Beogradu. Iako je potpisan pre osam godina, predmetni sporazum još uvek se ne sprovodi. Razlog za ovakvo stanje jeste obaveza koja je pripala Crnog Gori da adaptira kapacitete stanice Bijelo Polje kako bi koncept integrisanog upravljanja granicama efikasno funkcionisao koja još uvek nije realizovana. Ista situacija je i sa pograničnom stanicom Tabanovci, koja je definisana Sporazumom između Vlade Republike Srbije i Vlade BJR Makedonije 14. novembra 2014. godine. Kao što je u samom radu navedeno, vrlo je bitno definisati odgovarajuće kapacitete stanice, kako sama pogranična stanica ne bi u budućnosti postala „usko grlo”.

LITERATURA

- [1] *Carinski zakon*, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br.18/2010, 111/2012, 29/2015. i 108/2016.
- [2] *Handbook of Best Practice at Border Crossing – A trade and transport Facilitation Perspective*, Organization for Security and Co-operation in Europe (OSCE) and United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), 2012
- [3] *Izjava o mreži za Red vožnje 2016-2017. godine*, „Infrastruktura Železnica Srbije“ a.d, Beograd, decembar 2016. godine.
- [4] *Joint Border Processing at Regional Border-Crossings, Governance, Finance and Trade Division East and Central Asia Department and Asian Development Bank*, Tashkent, 2003.
- [5] *Pravilnik o fitosanitarnoj kontroli bilja, biljnih proizvoda i propisanih objekata u međunarodnom prometu*, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 32/2010.
- [6] *Pravilnik o vrstama pošiljki koje podležu veterinarsko-sanitarnoj kontroli i načinu obavljanja veterinarsko-sanitarnog pregleda pošiljki na graničnim prelazima*, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 56/10.
- [7] *Strategija integrisanog upravljanja granicom u Republici Srbiji*, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 111/2012.
- [8] *Zakon o zaštiti državne granice*, „Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 97/2008. i 20/2015. - drugi zakoni.
- [9] *The CREAM Project, Customer driven Rail-freight services on a European mega-corridor based on Advanced business and operating Models*, Sixth Framework Programme for Research and Technological Development (FP6), Jul 2012.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

656.2(497.11)

ŽELEZNICE : naučno-stručni časopis Železnica Srbije / glavni urednik Milan Marković ; odgovorni urednik Vesna Gojić Vučićević. - 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

Tromesečno.

- Je nastavak: Саобраћај (Београд. 1945) = ISSN 2560-3566
ISSN 0350-5138 = Железнице
COBISS.SR-ID 959492



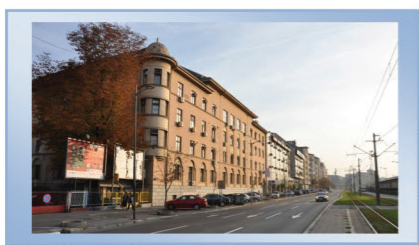
ЗАВОД ЗА ЗДРАВСТВЕНУ ЗАШТИТУ РАДНИКА „ЖЕЛЕЗНИЦЕ СРБИЈЕ“

Београд, ул. Савска 23, тел: 011 2686 155



Током 133. године успешног рада, железничко здравство развијало се упоредо са развојем железнице. Данас Завод има 25 амбуланти у 16 градова у којима се дневно прегледа око 4000 пацијената. Овај одговоран посао обавља 750 запослених у амбулантама Завода широм Србије где се на једном месту обављају квалитетни прегледи и брза дијагностика и лечење. Циљ менаџмента Завода је континуирано усавршавање стручног кадра и набавка савремених дијагностичких апарата.

Завод је део система „Железница Србије“ и тиме има безрезервну помоћ и подршку железнице, како би и даље био успешна и значајна друштвено одговорна здравствена институција.



133 године железничког здравства у Србији 1886 – 2019

ЗАВОД ЗА ЗДРАВСТВЕНУ ЗАШТИТУ РАДНИКА
„ЖЕЛЕЗНИЦЕ СРБИЈЕ“

БЕОГРАД, Савска 23 ☎ 011 2686 155
НИШ, Димитрија Туцовића 12 ☎ 018 560 071
НОВИ САД, Трг царице Милице 10 ☎ 021 422 699

ЗА ЗДРАВ ОСМЕХ

www.zavod-zs.rs

Једно од најопремљенијих одељења Завода су стоматолошке ординације које се налазе у Београду, Новом Саду, Нишу, Чачку, Краљеву, Лајковцу, Суботици и Сомбору. Отворене су за све грађане, у којима се обављају комплетне стоматолошке услуге, од стоматолошких прегледа, преко систематских прегледа (у Железничком образовном центру у Београду се налази амбуланта дечије и превентивне стоматологије). У пријатном амбијенту води се брига о здрављу зуба бројних пацијената, који излазе са широким и задовољним осмехом.

При раду се користе најквалитетнији материјали и најсавременији инструменти којима рукују специјалисти стоматологије и протетике.

Услуге које се обављају:

- конзервативна стоматологија
- пародонтологија
- стоматолошка протетика
- орална хирургија
- ортопедија вилице (протезе за децу)

Посебност у раду Одељења стоматологије је могућност плаћања на рате.

Преко Фонда за здравствено осигурање обављају се услуге за следеће категорије грађана: незапослени, труднице и породиље, деца до 18 година, студенти до 26 година и пензионери.