

Primljen / Received: 2.8.2016.

Ispravljen / Corrected: 9.12.2016.

Prihvaćen / Accepted: 11.1.2017.

Dostupno online / Available online: 10.6.2017.

Potreba i prednost primjene kolosijeka na čvrstoj podlozi: primjer Litve

Autori:



Dr.sc. **Inesa Gailienė**, dipl.ing.građ
Tehničko sveučilište Vilnius Gediminas
Vilnius, Litva
inesa.gailiene@vgtu.lt



Prof.dr.sc. **Alfredas Laurinavičius**, dipl.ing.građ
Tehničko sveučilište Vilnius Gediminas
Vilnius, Litva
alfredas.laurinavicius@vgtu.lt

Stručni rad

Inesa Gailienė, Alfredas Laurinavičius

Potreba i prednost primjene kolosijeka na čvrstoj podlozi: primjer Litve

Kolosijeci na čvrstoj podlozi se već nekoliko desetljeća koriste u svijetu. No kolosijeci sa zastornom prizmom su još uvijek mnogo popularniji, prije svega je to predodređeno nižim cijenama. U radu su dani pregled i analiza razvoja kolosijeka na čvrstoj podlozi, uključujući njihove prednosti i nedostatke. Rad također ističe i slučajeve, temeljene na zahtjevima Litvanskih željeznica, u kojima bi primjena kolosijeka na čvrstim podlogama mogla donijeti ekonomske i tehničke prednosti. Prikazan je i sustav odlučivanja koji bi pomogao u ispravnom odabiru konstrukcije u početnoj fazi projektiranja.

Ključne riječi:

kolosijek na čvrstoj podlozi, kolosijek sa zastornom prizmom, nova konstrukcija, obnova kolosijeka

Professional paper

Inesa Gailienė, Alfredas Laurinavičius

The need and benefit of slab track: case of Lithuania

Slab track structures have been used in the world for several decades now. However, the ballasted track is still much more popular compared to slab track structures, which is primarily due to its lower price. This article reviews and analyses development of slab tracks, with their advantages and disadvantages. Based on conditions prevailing on Lithuanian railways, the paper also distinguishes cases in which slab track structures could be of benefit, both economically and technologically. The decision-making system that would help make the right choice at the initial stage of structural design is also presented.

Key words:

slab track, ballasted track, new structure, track renewal, decision-making system

Fachbericht

Inesa Gailienė, Alfredas Laurinavičius

Bedarf und Vorteile der Anwendung fester Schienenfahrbahnen: Beispiel Litauen

Feste Schienenfahrbahnen kommen weltweit bereits seit einigen Jahrzehnten zur Anwendung. Gleise mit Bettungskörper sind dennoch bedeutend stärker verbreitet, insbesondere aufgrund der niedrigeren Kosten. In dieser Arbeit werden eine Übersicht und Analyse der Entwicklung fester Schienenfahrbahnen einschließlich ihrer Vor- und Nachteile gegeben. Ebenso werden basierend auf den Anforderungen litauischer Eisenbahnen Fälle erläutert, für die eine Anwendung fester Schienenfahrbahnen finanzielle und technische Vorteile erbringen könnte. Ein Entscheidungssystem zur Unterstützung der Auswahl entsprechender Konstruktionen in der anfänglichen Projektierungsphase wird dargestellt.

Schlüsselwörter:

feste Schienenfahrbahn, Schienen mit Bettungskörper, neue Konstruktion, Schienenerneuerung, Entscheidungssystem

1. Uvod

U proteklih 50 godina različite su vrste kolosijeka na čvrstoj podlozi tj. kolosijeci bez zastorne prizme (eng. *slab track or ballastless track*) razvijene i realizirane u različitim državama širom svijeta. Donošenje odluke o projektiranju i ugradnji kolosijeka bez zastorne prizme češće je na prugama za velike brzine, pogotovo u Kini, Japanu i Južnoj Koreji. Međutim, čak i nakon odluke o ugradnji ih kolosijeka, s obzirom na to da je izbor između takvih konstrukcija velik, već u početku postaje određeni problem projektantu, upraviteljima pruge i prijevoznicima, jer je teško odabrati najprikladniju konstrukciju. Nadalje, troškovi izgradnje kolosijeka na čvrstoj podlozi su znatno veći nego troškovi izgradnje kolosijeka sa zastornom prizmom. Zbog toga je prije donošenje odluke o izgradnji takve kolosiječne konstrukcije nužno procijeniti prednosti, nedostatke, uvjete i ograničenja u upotrebi, operativne uvjete, mogućnosti popravka i mnoge druge čimbenike. Također je važno uzeti u obzir i troškove tijekom uporabe (LCC) jer, primjerice, ako se uzmu u obzir samo troškovi ugradnje, kolosijeci na čvrstoj podlozi uvijek će biti skuplji od kolosijeka sa zastornom prizmom. Nakon provedene procjene i usporedbe troškova održavanja kolosijeka na čvrstoj podlozi i kolosijeka sa zastornom prizmom, situacija se može u potpunosti promijeniti jer je održavanje kolosijeka na čvrstoj podlozi jeftinije. Osim toga, na željezničkim prugama s velikim prometnim opterećenjem zahtjevno je planirati i organizirati radove na održavanju pruge. Zatvaranje pruge, koje je potrebno kako bi se obavio popravak, teško je predvidjeti u gustom rasporedu odvijanja prometa. Unatoč tome, trenutačno se provodi istraživanje modela LCC analize koji bi olakšao izbor između kolosijeka bez zastorne prizme i kolosijeka sa zastornom prizmom [1, 2]. Prema S. Tayabji [3], za ugradnju kolosijeka na čvrstoj podlozi u novu prugu ili pri obnovi postojećih pruga, trebaju biti zadovoljeni sljedeći kriteriji:

- konstrukcija kolosijeka na čvrstoj podlozi mora biti izgrađena kombinirajući postojeće građevinske tehnologije za betonske kolnike
- sustav pričvršćenja mora biti ekonomičan za ugradnju, imati adekvatnu čvrstoću i dugotrajnu uporabljivost; kolosijek na čvrstoj podlozi mora biti praktičan za održavanje i popravak;
- troškovi tijekom uporabe takve konstrukcije moraju biti isti ili manji od takvih troškova konvencionalnog kolosijeka sa zastornom prizmom.

Dakle, u pokušaju projektiranja konstrukcije kolosijeka na čvrstoj podlozi važno je odrediti uvjete za podlogu, elemente kolosijeka na čvrstoj podlozi, razinu buke i mnogo drugih. Za ostvarenje spomenutih ciljeva često se primjenjuje metoda kalkulacije, kao što je metoda konačnih elemenata (eng. *Finite Element Method* – FEM) [4-6]. Fröidh [7] je u svom istraživanju koristio model HSLdim kao okvir za optimiziranje projektirane brzine pruge. Da bi se izračunala optimalna projektirana brzina, treba odrediti model na temelju troškova ugradnje, operativnih troškova i dostižnih prednosti. Ponekad istraživači ispituju sposobnost specifične konstrukcije [8], ponekad sposobnost u specifičnom području [7, 9, 10] ili na specifičnim konstrukcijama, primjerice na mostovima [5, 11].

Na temelju istraživanja provedenih u ovom području i iskustva određenih zemalja u primjeni kolosijeka na čvrstoj podlozi, utvrđeno je da se kolosijeci na čvrstoj podlozi mogu učinkovito koristiti u određenim slučajevima, u određenim projektima, pod određenim uvjetima, te za ispunjavanje određenih zahtjeva. Provedeno je također nekoliko zanimljivih i važnih istraživanja koja se odnose na primjenu kolosijeka na čvrstoj podlozi. Neka od njih su sljedeća [12-15]:

- UIC je 2002. godine proveo istraživanje mogućnosti primjene kolosijeka na čvrstoj podlozi. U istraživanju se navode razlike između kolosijeka na čvrstoj podlozi i kolosijeka sa zastornom prizmom, kao i koncepti projektiranja i specifični problemi koji se pojavljuju prilikom upotrebe kolosijeka na čvrstoj podlozi na nasipima, mostovima te u tunelima. Ispitane su različite konstrukcije kolosijeka na čvrstoj podlozi.
- UIC je iste godine pripremio preporuke za projektiranje i procjenu troškova kolosijeka na čvrstoj podlozi. Glavni cilj tih preporuka bila je pomoć u procjeni i projektiranju konstrukcija primjenom različitih europskih i drugih normi, naznačujući područja primjene i veze između različitih pravila. U preporukama su također navedeni elementi koji nisu dovoljno opisani u normama.
- Projekt "Innotrack" (inovativni kolosiječni sustavi) osmišljen je kako bi se omogućila izgradnja ekonomski isplative i visokokvalitetne željezničke infrastrukture. Projekt je također usmjeren na pružanje inovativnih rješenja i smanjenje troškova investicije i održavanja infrastrukture. Projekt se sastoji od nekoliko dijelova:
 - održavanje nosive konstrukcije gornjeg ustroja
 - križanja i priključci kolosijeka
 - tračnice i zavarivanje
 - logistika održavanja i rekonstrukcije kolosijeka. Projekt analizira BB ERS i dvoslojnu metalnu konstrukciju kolosijeka koja je spomenuta u ovom poglavlju (www.innotrack.net).

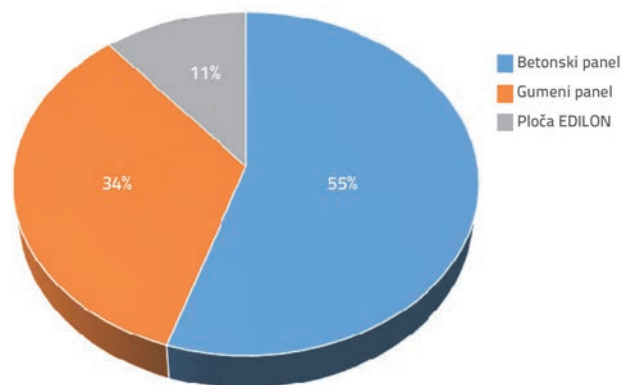
Međutim, uzimajući u obzir činjenicu da mnoge države nemaju iskustava u primjeni kolosijeka na čvrstoj podlozi, trenutačno ne postoji ni norma ni pravna osnova za projektiranje, gradnju i održavanje ovakvih kolosijeka, niti su definirani zahtjevi koje ovakve konstrukcije moraju zadovoljiti tijekom uporabe. Donošenje odluka za građenje i upotrebu kolosijeka na čvrstoj podlozi često se odgađa ili se uopće ne razmatra kao mogućnost. Stoga takvi kolosijeci uopće nisu jedno od potencijalnih tehnoloških rješenja. Zemlje u kojima se već primjenjuju kolosijeci na čvrstoj podlozi provode različite projekte koji se odnose na istraživanje sposobnosti tih konstrukcija. Na probnim dionicama izvedenima često uz primjenu različitih kolosijeka na čvrstoj podlozi ocjenjuju se njihove prednosti, nedostaci i operativni uvjeti. Takve probne dionice su do danas izvedene u Njemačkoj, Francuskoj, Rusiji i SAD-u. Stoga, može se zaključiti da najprije treba odrediti sustav odlučivanja koji bi dao preporuku o upotrebi određenog tipa konstrukcije i utvrdio mogućnost primjene konstrukcija na čvrstoj podlozi, bez detaljnije analize. Dakako,

daljnji koraci su potrebni kako bi se potvrdila početna procjena, tj. potvrdila pogodnost upotrebe konstrukcija na čvrstoj podlozi u specifičnim situacijama. Na primjer, u Njemačkoj je osmišljen sustav odlučivanja koji olakšava poduzimanje koraka koji vode "ili izravno jasnim odlukama ili preporukama za provođenje detaljnije analize" [15].

Na Litvanskim željeznicama u primjeni su razni standardi za širokotračne (ruske) kolosijeke, zbijene i upletene kolosijeke, mostove, nadvožnjake, tunele, željezničke postaje različitih namjena te za kolosijeke pomorske luke Klaipėda. Intermodalni terminali u Vilnui i Kaunau su se razvijaju, što će osigurati bolje mogućnosti budućeg razvoja intermodalnog transporta ne samo u Litvi nego i u cijeloj baltičkoj regiji. Mogućnost alternative za kolosijeke sa zastornom prizmom također je tražena u takvoj infrastrukturi, kako bi se osigurali manji troškovi održavanja te odgovarajuća trajnost, stabilnost i čvrstoća konstrukcije. U planu je izgradnja europska željeznice za velike brzine Baltica 2 u Litvi. Planirano je da se kolosijekom normalne širine povežu gradovi Tallin, Riga, Kaunas, Varšava i Berlin. Na slici 1. prikazana je sadašnja željeznička infrastruktura u Litvi i planirana željeznička ruta Baltica 2. Upravo se na kolosijecima za velike brzine sve češće ugrađuju kolosijeci na čvrstoj podlozi, i to cijelom duljinom pruge (ne samo u tunnelima, na mostovima, križanjima u razinama itd.), prije svega u Japanu, Kini, Njemačkoj i drugim zemljama koje intenzivno razvijaju mrežu pruga velikih brzina. Važno je stoga pravilno procijeniti mogućnosti korištenja takvih konstrukcija u Litvi. Sadašnji su glavni ciljevi razvoja infrastrukture ovi:

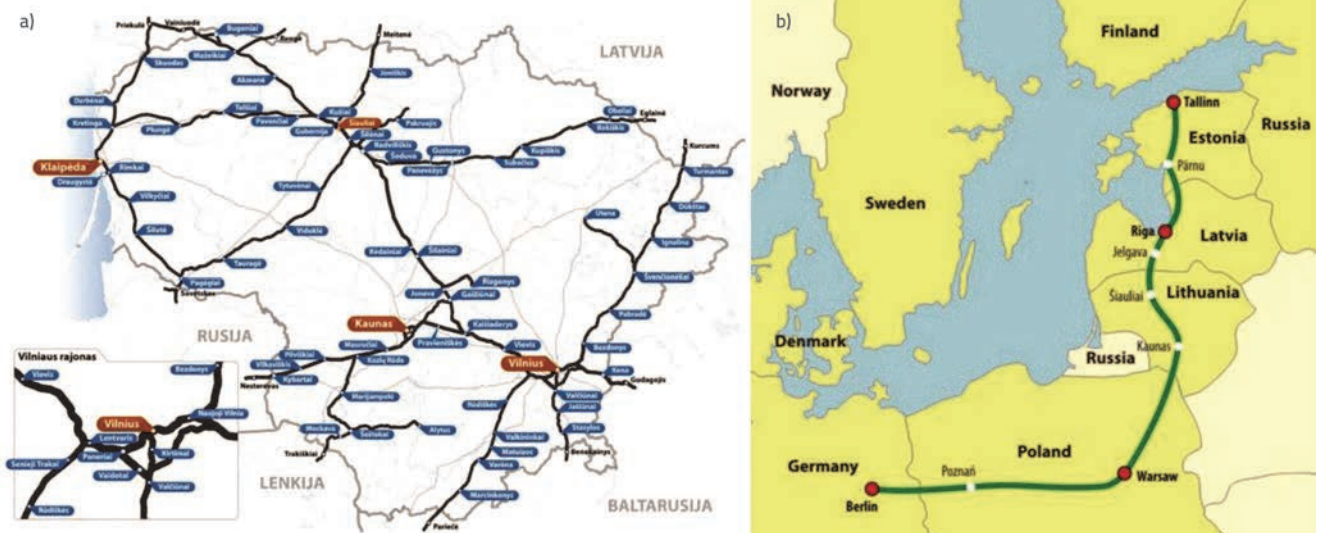
- povećanje brzine, prometnog opterećenja i najveće dopuštene mase teretnih vlakova
- ojačanje kolosiječne konstrukcije i poboljšanje parametara za projektiranje
- povećanje osovinskog opterećenja
- smanjenje uzdužnog nagiba pruge i povećanje polumjera krivina
- elektrifikacija pruge i optimalizacija telekomunikacijskog sustava i sustava za upravljanje prometom.

Kolosijeci na čvrstoj podlozi mogli bi biti prikladni za ostvarivanje većine ili dijela postavljenih ciljeva. Prije nekoliko godina Litvanske željeznice donijele su odluku da se na tri raskrižja (željezničko-cestovna prijelaza) u razini ugrade i kolosijeci s kontinuiranim pričvršćenjem. Prijelazi se nalaze u Okrugu Šiauliai, a konstrukcija je sastavljena od kolosijeka na čvrstoj podlozi tipa Edilon LC-L. Tehničko stanje prijelaza je praćeno kako bi se ispitala i procijenila šira upotrebljivost tih konstrukcija, troškovi održavanja, ponašanje itd. Usporedba troškova izgradnje prijelaza u razini izvedenih s različitim konstrukcijama prikazana je na slici 2. Dijagram prikazuje da se više od polovice ukupnih troškova održavanja prijelaza u razinama odnosi na prijelaze s betonskim opločnjima. S druge strane, na troškove održavanja kolosijeka na čvrstoj podlozi otpada 11 % ukupnih troškova održavanja.



Slika 2. Raspodjela troškova održavanja raskrižja u razinama

Ovaj rad prije svega analizira razvoj kolosijeka na čvrstoj podlozi, njihove prednosti i nedostatke i daje njihovo vrednovanje. Nadalje, povedena je analiza i vrednovanje na objektima na kojima bi korištenje tih kolosijeka donijelo prednosti. U radu je također predstavljen sustav odlučivanja za prvu fazu donošenja odluka, tj. prije detaljne analize, koji bi mogao dati početni



Slika 1. a) Litvanska željeznička mreža; b) shema željezničke pruge Baltica 2 [16]

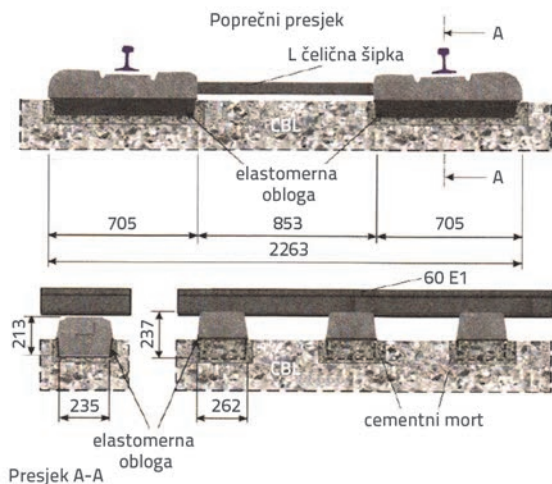
odgovor na pitanje je li prikladno provoditi detaljniju analizu primjene kolosijeka na čvrstoj podlozi na specifičnom objektu.

2. Razvoj kolosijeka na čvrstoj podlozi: ocjena njihovih prednosti i nedostataka

Postoji mnogo klasifikacija kolosijeka na čvrstoj podlozi. Međutim, osnovni principi konstrukcije su isti- razlikuju se neznatno, iako postoji mogućnost da će se izgradnjom novih konstrukcija klasifikacija u potpunosti proširiti ili promijeniti. U načelu se svi kolosijeci na čvrstoj podlozi dijele na kolosijeka s pojedinačnim ili kontinuiranim osloncima tračnica [1, 6, 9, 10, 15]. Ta klasifikacija može biti proširena dodavanjem treće grupe konstrukcija koje su upravo u fazi projektiranja i izvedbe. Primjer za to je sustav NBT koji se razvija u Francuskoj. Klasifikacija kolosijeka prema sustavu pričvršćenja tračnice je samo jedna od brojnih vrsta klasifikacije.

2.1. Pojedinačni oslonci (s pragovima ili bez njih)

Konstrukcije koje imaju pragove mogu jednostavno biti položene i učvršćene na betonsku ili asfaltnu podlogu. Pragovi mogu biti položeni na kontinuiranu betonsku ploču ili ugrađeni u nju. Primjer za takve konstrukcije su *Sonneville* ili *Stedef*, slika 3. Primjerice, konstrukcija *Stedef* je ugrađena u Francuskoj 1970. Poboljšana verzija prve konstrukcije, *Sateba S3 12*, ugrađena je u tunel u Marseillesu 2001. na liniji TGV. Vlakovi su na toj liniji dosegali brzinu od 230 km/h, a osovinsko opterećenje je bilo 175 kN/o. Konstrukcija *Sonneville* upotrebljava se u Eurotunelu još od 1996. Na njoj vlakovi dostižu brzinu od 160 km/h, a osovinsko opterećenje iznosi 225 kN/o. Takve su konstrukcije primjenjivane u Austriji (1992., 230 km/h, 250 km/h) te u Švicarskoj od 1995. godine (160 km/h, 225 kN/o) [1]. Zadnje poboljšanje te konstrukcije provedeno je na probnom dijelu dionice pruge duljine 2 km "TGV Istočna Europa" u Francuskoj.



Slika 3. *Stedef* konstrukcija kolosijeka na čvrstoj podlozi, dimenzije u [mm]

Tijekom razvojne faze kolosijeci su građeni s pragovima ili blokovima ugrađenima u kontinuiranu betonsku ploču, a projektirana geometrija pruge se osiguravala sustavom pričvršćenja. Primjenom tog principa, buka i vibracije u konstrukciji su smanjene ugradnjom odgovarajućeg sustava masa i opruga (elastičnih elemenata za ublažavanje buke i vibracija). Takve konstrukcije ih kolosijeka se ponekad nazivaju kompaktnima zbog svoje male visine (472 mm od donje površine ploče do glave tračnice). Na temelju ovog principa osmišljena je konstrukcija *Rheda*, kasnije nazvana *Rheda 2000* (slika 4.). Druge konstrukcije takvog tipa su *Züblin* konstrukcije (pojedinačni pragovi ugrađeni izravno na svježi beton).



Slika 4. Kolosijek na čvrstoj podlozi *Rheda 2000*

Optimizacija spomenutih konstrukcija je napredovala razvojem ideje koja podrazumijeva primjenu predgotovljenih betonskih ploča. Ideja je atraktivnija od kontinuirane ugradnje betona za potrebe izvedbe kolosijeka. Povijesno gledano, prvo je u Japanu osmišljena *JSLAB* konstrukcija (sustav *Shinkansen*). *JSLAB* je ugrađen na japanskim prugama duljine veće od 1000 km te u Južnoj Koreji i Tajvanu (2007.).

Druge predgotovljene konstrukcije kolosijeka na čvrstoj podlozi su "*OBB-Porr*" (napravljene u Austriji) te "*Bögl*" (napravljene u Njemačkoj, prikazane na slici 5.).



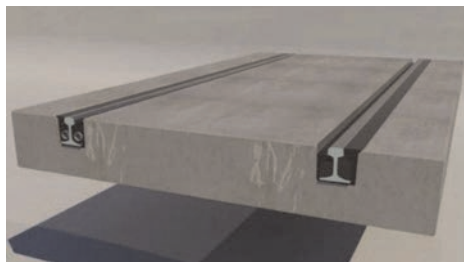
Slika 5. Kolosijek na čvrstoj podlozi *Bögl* (željeznička linija Nürnberg-Ingolstadt, 2006.)

Prva Bögl konstrukcija izvedena je 1992. na probnoj dionici, a od 1996. na operativnim dionicama, uglavnom u tunelima, kasnije na željezničkom kolodvoru Lehrter u Berlinu (Lehrter Bahnhof). Konstrukcija "Bögl" je 2006. godine primijenjena na željezničkoj pruzi Nürnberg - Ingolstadt (slika 5.). Ta je konstrukcija također ugrađena u Kini 2008. godine na liniji Peking-Tianjin (duljine 120 km).

Daljnje promjene i razvoj kolosijeka na čvrstoj podlozi provedene su u Kini i Koreji. Dvije montažne konstrukcije kolosijeka na čvrstoj podlozi su razvijene u Koreji, a nakon ispitivanja na zamor materijala, ugrađene su na dvije dionice.

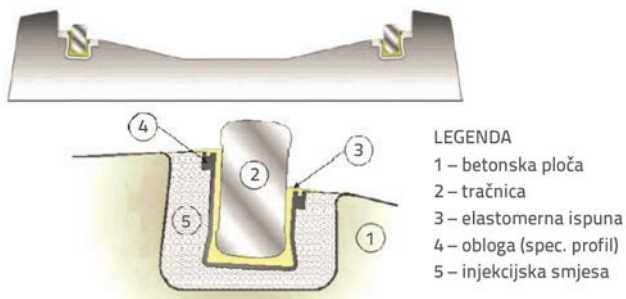
2.2. Kontinuirano oslanjanje tračnica

Ovo tehničko rješenje je u principu drugačije rješenje za konstrukcije kolosijeka na čvrstoj podlozi slično rješenjima konstrukcije tramvajskih kolosijeka. U tim konstrukcijama tračnica je ugrađena (učvršćena) u elastomernom sloju. Primjer takvih konstrukcija je sustav obložene tračnice koji je proizveo Edilon (Sedra, ugrađen u Nizozemskoj, na betonskim (1976. do 2005.) i metalnim mostovima (1994. do 2004.). Operativne brzine na takvim prugama iznose 140 km/h, a osovinsko opterećenje 225 kN/o. Kasnije su takve konstrukcije korištene u tunelima u Španjolskoj i na brzim željezničkim prugama u Madridu između postaja Chamartín i Atocha (slika 6.).



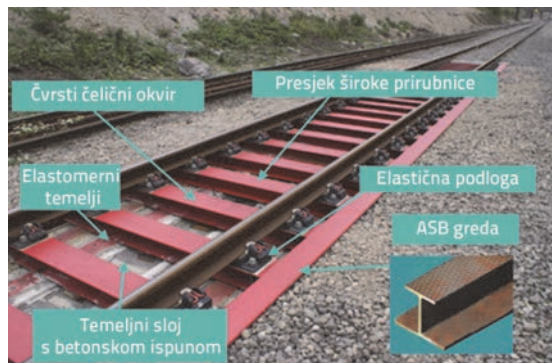
Slika 6. ERS (eng. *Embedded rail system*) kolosiječna konstrukcija

Takav koncept obloženih tračnica je još temeljitije razvio Balfour Beatty (Međunarodna grupacija za infrastrukturu koja financira, razvija, promovira i nadgleda infrastrukturne konstrukcije). Koncept je nazvan BB ERS. U toj konstrukciji poprečni je presjek obložene tračnice pojednostavljen na oblik pravokutnika [17] (slika 7.).



Slika 7. BB ERS (Balfour Beatty željeznički sustav) kolosijek na čvrstoj podlozi

Na kraju treba spomenuti još jednu konstrukciju, tj. sustav dvoslojnog čeličnog kolosijeka [13], u kojemu su metalni pragovi položeni na metalnu gredu, a cijeli taj sustav leži na nosivom sloju betona na pojedinačnim osloncima. Na taj je način smanjena količina naprezanja koje se prenosi na donje slojeve konstrukcije i prisutne su manje vibracije nego kod kolosijeka sa zastorom. Zbog visoke cijene, preporuka je da se ta vrsta konstrukcije koristi samo u zonama skretnica (slika 8.).



Slika 8. Dvoslojni metalni sustav kolosijeka

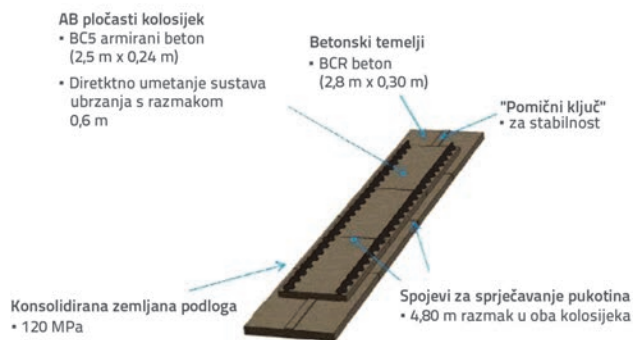
2.3. Najnoviji smjer u razvoju kolosijeka na čvrstoj podlozi

Projekt *Novi kolosijeci bez zastorne prizme* (eng. *New Ballastless Track - NBT*) proveden je u Francuskoj (2007. - 2013.). U projektu je sudjelovalo šest francuskih kompanija: *VCSA, RFF, Ifsttar, Railtech, CEF, Alstom Transport*. Organizator projekta postavio je nekoliko zahtjeva za kolosijek bez zastorne prizme [18]:

- Dugi niz godina većina negativnih recenzija o kolosijeku bez zastorne prizme odnosila se na krutost takvih konstrukcija. Kolosijek je posebno osjetljiv na mjestima izraženijih slijeganja (primjerice, na visokom nasipu) ili na mjestima promjene slijeganja (mjesto gdje kolosijeci sa zastornom prizmom prelaze u kolosijeka na čvrstoj podlozi i obrnuto). Zbog toga se, uzevši u obzir spomenute nedostatke, pokušalo izraditi konstrukciju koja bi trajala 100 godina, s glavnim ciljem izbjegavanja bilo kakvih popravaka kroz sve vrijeme uporabljivosti.
- NTB je projektiran za operativne brzine vlakova do 360 km/h te za mješovit promet s osovinskim opterećenjem do 250 kN/o.
- Stvorena je konstrukcija koja se može koristiti na skretnicama i križištima.
- Brzina ugradnje kolosijeka mora biti 1000 m' po danu.
- Povratak investicije treba biti između 10 i 25 godina.

Konstrukcija je ugrađena u probnu dionicu na kojoj se provodi monitoring i analiza pomaka na mjestu spoja kolosijeka bez zastorne prizme i kolosijeka na zastornoj prizmi. Budući da je konstrukcija tek nedavno puštena u upotrebu, ovo su glavna istraživanja njenih parametara, stanja i indikatora. Monitoring će se nastaviti i dalje.

Shema konstrukcije projektirane i izvedene tijekom ovog projekta prikazana je na slici 9.



Slika 9. Shema NBT - novog kolosijeka bez zastorne prizme

Kao što je vidljivo iz analize razvoja, postoje široke varijacije u konstrukcijama kolosijeka na čvrstoj podlozi. Stoga je projektantima i upraviteljima teško razumjeti razlike između konstrukcija te analizirati njihove prednosti i nedostatke. Naravno, to je nemoguće bez detaljnije LCC analize koja je potrebna kako bi se odlučilo hoće li se konstrukcija koristiti ili ne. Kao što je spomenuto, LCC analiza je odvojeni i složeni zadatak. Međutim, ponekad je važno odgovoriti na pitanje koje bi trebalo biti postavljeno u početnoj fazi: Može li upotreba kolosijeka bez zastorne prizme biti povoljnija za određenu željezničku prugu pod određenim uvjetima? U

slučaju da je odgovor negativan, novčana sredstva ostaju sačuvana, a također ostaje dovoljno vremena za provođenje detaljnije analize.

Kako bi se pronašlo rješenje za postavljeno pitanje, prije svega treba navesti sve prednosti i nedostatke konstrukcija kolosijeka na čvrstoj podlozi. Nakon što su analizirani rezultati brojnih objavljenih istraživanja [6, 10, 19, 20], provedena je komparativna analiza konstrukcija kolosijeka sa zastornom prizmom i bez nje, na temelju različitih karakteristika i indikatora konstrukcije, tablica 1. U skladu s podacima prikazanim u tablici 1. i na temelju različitih istraživanja i iskustava drugih država, za uspostavljanje sustava kolosijeka na čvrstoj podlozi u Litvanskim željeznicama dane su sljedeće preporuke:

1. Brzina vlakova ne smije biti manja od dopuštene brzine na pojedinom kolosijeku (na kolosijecima s mješovitim prometom ne smije biti manja od 160 km/h, a na brzim prugama ne smije biti manja od 250 km/h).
2. Treba osigurati da konstrukcija može podnijeti osovinsko opterećenje do 250 kN/o na prugama za mješoviti promet i do 225 kN/o na prugama za velike brzine.
3. Mora se osigurati održavanje uspostavljene širine kolosijeka.
4. Ako se kolosijek na čvrstoj podlozi upotrebljava u tunelu, mora biti osiguran prijelaz cestovnih vozila.
5. Trebaju se osigurati mjere vezane za emisiju buke i vibracija te se, po potrebi, trebaju provesti odgovarajuće mjere za njihovo smanjenje.

Tablica 1. Komparativna analiza kolosiječnih konstrukcija

Svojstva konstrukcije / pokazatelji	Kolosijek sa zastornom prizmom (klasična kolosiječna konstrukcija)	Kolosijek bez zastorne prizme (kolosijek na čvrstoj podlozi)
Dulje vrijeme potrebno za popravak oštećenja	+	
Manji troškovi za izvođenje građevinskih radova	+	
Manji troškovi održavanja kolosijeka i jednostavnije održavanje		+
Mogućnost prilagodbe geometrijskih parametara	+	
Brzina obnove kolosijeka nakon iskliznuća vlaka ili nesreće	+	
Emisija buke i vibracije	+	
Ujednačavanje različitih operativnih uvjeta	+	
Veća trajnost		+
Mogućnost prelaska vozila na pneumaticima preko pruge		+
Uništavanje vegetacije i prašina		+
Ugradnja kolosijeka na slabo nosivom temeljnom tlu i s visokim razinama podzemne vode	+	
Zadovoljavajuća stručnost u upravljanju prugom, svjesnost njenog propadanja	+	
Mogućnost projektiranja krivina manjeg polumjera, većih uspona i kraće duljine kolosijeka (ako se trasa kolosijeka može prilagoditi)		+
Stabilnost konstrukcije		+

Napomena: oznaka + znači da je ta konstrukcija bolja u odnosu na drugu

6. Konstrukcija može biti najviše 30 do 50% skuplja od kolosijeka sa zastornom prizmom.
7. Učinkovitost izgradnje mora iznositi najmanje 500 do 800 m' kolosijeka na dan.
8. Treba osigurati metodologiju za procjenu tehničkog stanja s odgovarajućom periodičnošću povođenja aktivnosti za procjenu, kao i tehnologiju, mjere i opremu za izvođenje radova na održavanju i obnovi pruge.
9. Moraju se osigurati zahtjevi za pripremu posteljice na koju će se postavljati kolosijek.
10. Mora se osigurati povrat investicije za manje od 20 godina.

3. Analiza i procjena mogućnosti primjene kolosijeka na čvrstoj podlozi u Litvi

Provedene analize i rezultati prethodnih istraživanja pokazali su da su objekti na kojima se može osigurati ekonomska, tehnološka i na druge načine učinkovita ugradnja konstrukcija kolosijeka na čvrstoj podlozi sljedeći:

- tuneli
- mostovi
- željezničko-cestovni prijelazi u razini
- nadvožnjaci
- određene dionice na nasipu ili kolodvorima, terminali logističkih centara
- željezničke pruge za velike brzine

S druge strane, rezultati brojnih istraživanja i procjena su pokazali da ugradnja kolosijeka na čvrstoj podlozi na prugu za mješovit promet na nasipu nije ekonomično rješenje.

S obzirom na prethodno spomenute objekte, analizirana je infrastruktura Litvanskih željeznica. Ukupna duljina željezničke mreže u Litvi iznosi 1676 km. Sastoji se od jednog tunela, 385 mostova (140 su prosječne duljine ili veliki mostovi duljine manje od 25 m), 532 prijelaza i 43 nadvožnjaka (slika 10.). Tu je i morska luka Klaipeda na kojoj se izvode veliki utovari i radovi na

rukovanju teretom. Postoji također više od stotinu željezničkih kolodvora različite namjene (komercijalne, distribucijske, granični, itd.). Planirana je i gradnja pruge za velike brzine – željeznica Baltica 2 (s približno 300 km pruge na području Litve). Kako bi se poboljšali tehnički parametri litvanskih kolosijeka te osigurali sigurni uvjeti putovanja na godišnjoj razini izvode se različiti radovi na obnovi pruga. Primjerice, 2014. godine rekonstruiran je jedan most, jedan je most obnovljen, kao i 11 raskrižja, 71,5 km željezničke pruge, a 27,5 km postojeće pruge je rekonstruirano.

Dodatno, postoje određeni objekti na prugama sa zastornom prizmom u Litvi, na kojima se tijekom uporabne konstrukcije javljaju problemi s održavanjem. Nakon provođenja nadzora s upraviteljima Litvanskih željeznica, utvrđeno je da s obzirom na predviđeno trajanje pruga javljaju problemi tijekom uporabe:

- *prijelaza u razinama*: zbog habanja opločnika, čestog asfaltiranja cesta u blizini prijelaza, očiglednih slijeganja kolosijeka ispod opločnika na prijelazima
- *mostova*: ako su na području gdje je njihovo uklanjanje zabranjeno te ako su mostovi stari, a njihova širina nije dovoljna da se ugradi zastorna prizma koja je u skladu sa službenim propisima
- *tunela*: uz kolosijeke ruske širine, također su planirani kolosijeci standardne širine, koji bi koristili e kolosijeke kako bi se zadovoljili zahtjevi za manjim održavanjem i omogućio cestovni promet
- *kolosijeka u pomorskim lukama*: koji onemogućuju odvijanje cestovnog prometa.

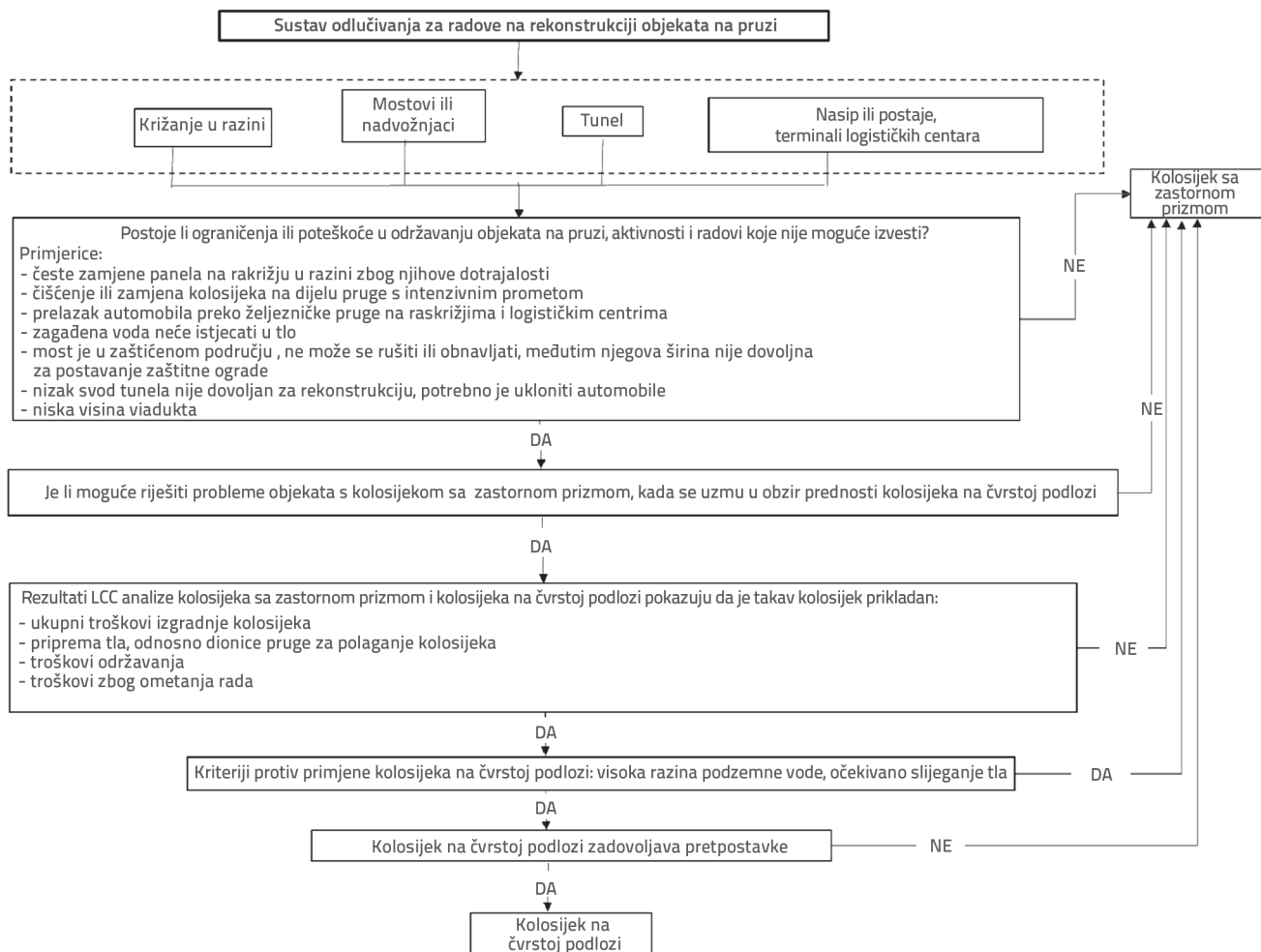
Za vrijeme uporabe takvih različitih konstrukcija i, također, za vrijeme planiranja izgradnje kolosijeka za velike brzine važno je poznavati i adekvatno procijeniti rješenja alternativna kolosijeku sa zastornom prizmom – kolosijeke na čvrstim podlogama. Važno je također shvatiti kojim objektima može pridonijeti primjena takve vrste konstrukcija.

Prije svega, potrebno je provesti početnu analizu koja koristi sustav odlučivanja za procjenu prednosti i nedostataka ih kolosijeka, zadovoljavanje preduvjeta, kriterija isključenja itd. Nakon toga bi trebalo odrediti način provođenja preciznije LCC analize. Na taj bi se način stvorili preduvjeti za izradu pravne dokumentacije za normative kojima bi se legaliziralo projektiranje, izgradnja, tehničke specifikacije, održavanje i uvjeti popravka konstrukcija kolosijeka na čvrstoj podlozi u Litvi.

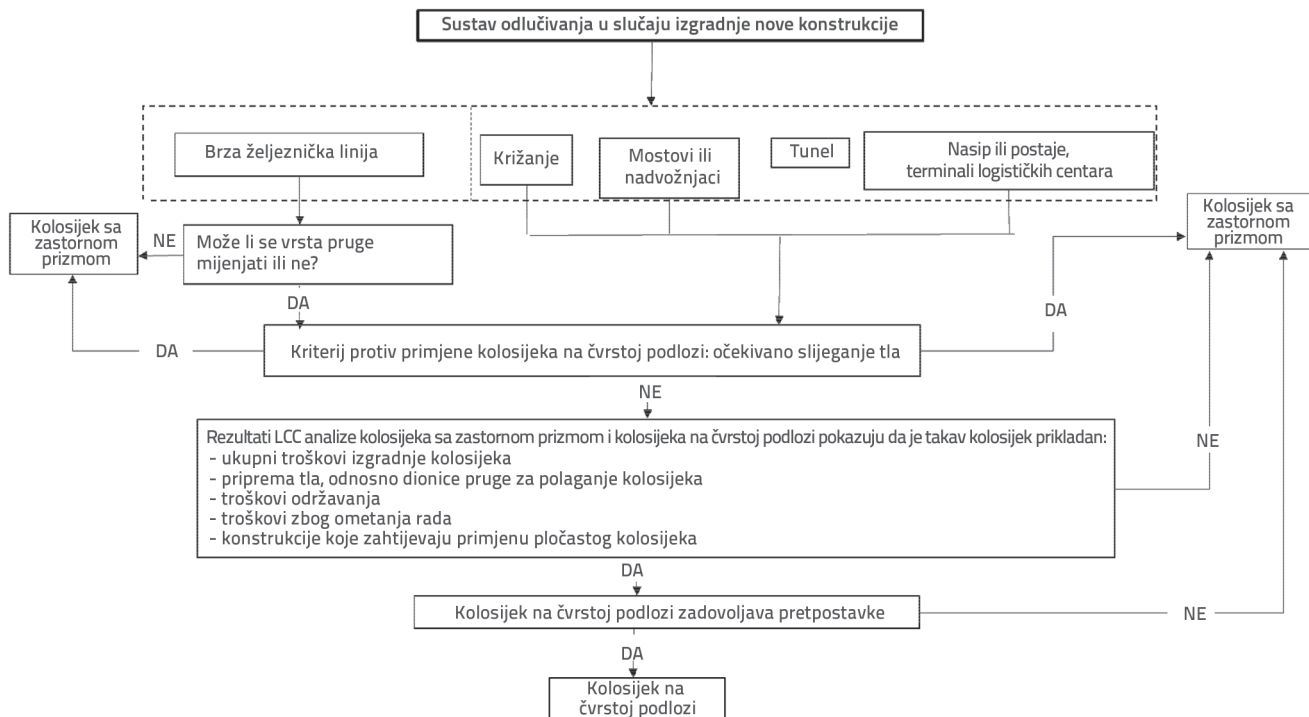
Na temelju analiza provedenih proučavanjem navedenih objekata kod kojih bi ugradnja ih kolosiječnih konstrukcija bila izvediva i donijela mnoge prednosti, izrađena su dva sustava odlučivanja – SP-1 i SP-2 (slike 11. i 12.). Prije faze detaljne analize, ti bi sustavi mogli pomoći



Slika 10. Mogućnost uvođenja kolosijeka na čvrstoj podlozi u infrastrukturu Litvanskih željeznica



Slika 11. Sustav odlučivanja SP 1



Slika 12. Sustav odlučivanja SP-2

odgovariti na pitanje je li isplativo projektirati konstrukciju kolosijeka kolosijeka na čvrstoj podlozi u određenom slučaju.

Pretpostavka pri izradi sustava odlučivanja SP-1 i SP-2 jest ta da bi projektiranje nove linijske konstrukcije kolosijeka na čvrstoj podlozi bilo učinkovito na prugama za velike brzine i na posebnim objektima gdje bi one bile djelotvornije od kolosijeka sa zastornom prizmom. Kod obnavljanja ili rekonstrukcije objekata, mogućnost ugradnje ih kolosijeka trebala bi se uzeti u obzir samo ako kolosijek sa zastornom prizmom ili njegovi uporabni uvjeti (intenzitet napredovanja oštećenja, potreba za održavanjem itd.) ne zadovoljavaju.

Sustav odlučivanja SP-1 prikazan na slici 11. osmišljen je kako bi se odgovorilo na pitanje: Je li opravdano primijeniti kolosijek na čvrstoj podlozi na popravljenim objektima na željezničkoj pruzi s mješovitim prometom?

Sustav odlučivanja SP-2 prikazan na slici 12. osmišljen je kako bi dao odgovor na sljedeće pitanje: Je li prikladno projektirati kolosijek na čvrstoj podlozi za nove pruge za velike brzine i/ili nove objekte na željezničkim linijama za mješoviti promet?

4. Zaključak

Provedena istraživanja najčešće se odnose na određena kvalitativna svojstva ili uporabne uvjete kolosijeka na čvrstoj podlozi ili njegovih elemenata te na usko područje proučavanja, npr. projektiranje ih kolosijeka na metalnim mostovima. Nakon provedenog istraživanja, otkriveno je da postoji nedostatak informacija o mogućnostima razmatranja primjene konstrukcija

kolosijeka na čvrstoj podlozi u početnoj fazi projektiranja. Učinkovita metoda koja pomaže pri odabiru konstrukcije kolosijekana čvrstoj podlozi u početnoj fazi projektiranja je primjena sustava odlučivanja, koji pomažu u davanju odgovora na pitanje je li opravdano primjenjivati konstrukcije na čvrstoj podlozi ili je potrebno provesti detaljniju analizu kako bi se donijela odluka. Autori smatraju da su takvi sustavi odlučivanja korisni, pogotovo kada se primjenjuju na specifičnoj željezničkoj mreži sa specifičnim tehničkim i operativnim parametrima.

Nakon analize utvrđeno je da bi na Litvanskim željeznicama primjena kolosijeka na čvrstoj podlozi bila učinkovita u tunelima, na mostovima, cestovnim prijelazima, nadvožnjacima, nasipima ili u željezničkim kolodvorima te terminalima logističkih centara. Nakon provedene analize mreže Litvanskih željeznica ustanovljeno je da bi se i kolosijeci mogli ugraditi i na planiranoj pruzi normalne širine za velike brzine Rail Baltica 2.

Kako bi se donijela odluka o primjeni kolosijeka na čvrstoj podlozi, predlaže se započeti s donošenjem odluka uz definiranje i razlikovanje: radi li se o novoj konstrukciji ili popravljenom (ili rekonstruiranom) objektu. Zbog toga su izrađena dva sustava odlučivanja – SP-1 i SP-2 – koji na temelju nekoliko jednostavnih pitanja trebaju dati odgovor o prikladnosti konstrukcija ih kolosijeka pri određenim uvjetima, te da je li nužno i u kojim slučajevima provesti detaljnije analize. Daljnja istraživanja usmjerit će se na izradu dubinske analize koja bi trebala voditi do točne procjene troškova uporabljivost konstrukcije, koja bi poslužila kao temelj za odluku o provedbi ekonomski najisplativijih rješenja.

LITERATURA

- [1] Gautier, P.E.: Slab Track: Review of existing systems and optimization potentials including very high speed, *Construction and Building Material*, 92 (2015) 12, pp. 9–15, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.102>
- [2] Zoeteman, A.: Life cycle cost analysis for managing rail infrastructure, *EJTIR*, 1 (2001) 4, pp. 391–413,
- [3] Tayabji, S.: Concrete slab track for freight and high speed service applications, A survey of practice, 2000,
- [4] Blanco-Lorenzo, J., Santamaria, J., Vadillo, E.G., Oyarzabal, O.: Dynamic comparison of different types of slab tracks and ballasted track using a flexible track model, *Proc. IMechE Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 225 (2011), pp. 574–592, <https://doi.org/10.1177/0954409711401516>
- [5] Gillet, G.: Simply supported composite railway bridge: a comparison of ballasted and ballastless track alternatives, Sweden, KTH Architecture and the Built Environment, Master of Science Thesis, 2010,
- [6] Michas, G.: Slab Track systems for high-speed railways, Master degree project, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, pp. 95, 2012.
- [7] Fröidh, O.: Design speed for new high-speed lines, *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 4 (2014) 3, pp. 59–69, <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2014.09.002>
- [8] Freudenstein, S.: RHEDA 2000: ballastless track systems for high-speed rail applications, *International Journal of Pavement Engineering*, 11 (2010) 4, pp. 293–300, <https://doi.org/10.1080/10298431003749774>
- [9] Pichler, D., Fenskem, J.: Ballastless track systems experiences gained in Austria and Germany, *Railway interchange 2013*, AREMA annual conference, Indianapolis, pp. 81–100, 2013.
- [10] Ižvolt, L., Šmaló, M.: Historical development and applications of unconventional structure of railway superstructure of the railway infrastructure of the Slovak Republic, 10 (2014) 1, pp. 78–93, <https://doi.org/10.2478/cee-2014-0010>
- [11] Serdelova, K., Vican, J.: Analysis and design of steel bridges with ballastless track, XXIV R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering, *Procedia Engineering*, 111 (2015), pp. 702 – 708, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.135>
- [12] UIC recommendations for Design and calculation of ballastless track, 2008.

- [13] <http://www.transport-research.info/project/innovative-track-systems>
- [14] Feasibility study "Ballastless track", UIC infrastructure Commission Civil Engineering Support Group (13), 2002.
- [15] Koriath, H., Hamprecht A., Huesmann, H., Ablinger, P.: Bringing Objectivity into system decisions between ballasted track and slab track at Deutsche Bahn, http://www.plassertheurer.com/pdf/publications/rtr_0302.pdf,
- [16] <http://www.baltictransportjournal.com/overland-rail-road/rail-baltica-joint-venture-in-place,1804.html>
- [17] Esveld, C.: Recent developments in high-speed track, keynote lecture on 1st International Conference on Road and Rail Infrastructure - CETRA 2010 (ed. Lakusic, S.), pp. 19-28, 17-18 May 2010, Opatija, Croatia, <http://www.esveld.com/Download/RAILPROF/Papers/Esveld%20RECENT%20DEVELOPMENTS%20IN%20HIGH.pdf>
- [18] Robetson, I., Masson, C., Sedran, T., Barresi, F., Caillau, J., Keseljevic, C., Vanzenberg, J.M.: Advantages of a new ballastless trackform, *Construction and building material*, 92 (2015), pp. 16-22.
- [19] Sugrue, W.: Permanent way for high speed lines, 9th Training on high speed systems, UIC-Paris, 2013.
- [20] Lechner, B.: Railway concrete pavements, 2nd international conference of best practices for concrete pavements, Florianapolis, 5 (2011).