

Prometno-tehničke značajke željezničkih pruga za velike brzine u Francuskoj

Cvitanović, Bartol

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:307207>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-28**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**Prometno-tehničke značajke željezničkih pruga za velike
brzine u Francuskoj**
**Traffic and Technical Characteristics of High-Speed
Railways in France**

MENTOR: izv. prof. dr. sc. Dubravka Hozjan

STUDENT: Bartol Cvitanović 0135219812

Zagreb, ožujak 2023

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 6. travnja 2022.

Zavod: **Zavod za željeznički promet**
Predmet: **Željeznička infrastruktura I**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6911

Pristupnik: **Bartol Cvitanović (0135219812)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Željeznički promet**

Zadatak: **Prometno-tehničke značajke željezničkih pruga za velike brzine u Francuskoj**

Opis zadatka:

U završnom radu treba navesti osnovne značajke brzih željeznica, te specifičnosti i razvoj željezničkih pruga velikih brzina u Francuskoj. Posebno treba obraditi prometno-tehničke značajke i vozni park brzih željeznica u Francuskoj.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



izv. prof. dr. sc. Dubravka Hozjan

SAŽETAK

Cilj ovog rada je opisati razvoj željeznice za brze vlakove u Francuskoj, prometne i tehničke karakteristike te željeznice, njezinu infrastrukturu i različite karakteristike koje je obilježavaju. Rad je nastao metodološkim pristupom analize literature o relevantnoj temi. Mreža željeznica za brze vlakove započela je svoj razvoj u Francuskoj 1970-ih godina. Uvođenje željeznice za brze vlakove u Francuskoj odmah je predstavilo ogroman uspjeh, te je konkuriralo mnogim vrstama prometa, od kojih je jedan bio i zračni promet. Željeznica za brze vlakove u Francuskoj postigla je velik uspjeh tijekom 1980-ih i 1990-ih godina, pogotovo od strane javnih vlasti koje su je smatrale pokretačem ekonomskog razvoja. Vlakovi koji prometuju LGV željeznicom u Francuskoj svake godine prevezu oko 110 milijuna putnika, te je 2013. zabilježeno kako je TGV vlakovima putovalo 2 milijarde putnika od početka rada željeznice za brze vlakove u Francuskoj. Unaprjeđenja LGV željeznice mogu biti u obliku izgradnje novih kolosijeka, što predstavlja strogo standardizirani proces s točno određenim komponentama i koracima kako bi brzi vlakovi u Francuskoj prometovali na najsigurniji mogući način, ili u obliku novih modela TGV vlakova.

Ključne riječi: mreža brzih željeznica, vlakovi velikih brzina, željeznička infrastruktura

SUMMARY

The aim of this project is to describe the development of the high-speed railway in France, the traffic and technical characteristics of the railway, its infrastructure and the various characteristics that characterize it. The project was created with a methodological approach of literature analysis on the relevant topic. The high-speed rail network began its development in France in the 1970s. The introduction of high-speed railways in France was an immediate success, competing with many forms of transport, one of which was air transport. High-speed rail in France achieved great success during the 1980s and 1990s, especially by public authorities who saw it as an initiator of economic development. Trains operating on the LGV railway in France transport about 110 million passengers every year, and in 2013 it was recorded that 2 billion passengers traveled on TGV trains since the beginning of the operation of the high-speed railway in France. Improvements to the LGV railway can take the form of new track construction, which is a strictly standardized process with precisely defined components and steps to make high-speed trains in France run in the safest possible way, or in the form of new TGV train models.

Keywords: high-speed railway network, high-speed trains, railway infrastructure

SADRŽAJ:

1.	Uvod.....	1
2.	Osnovne značajke brzih željeznica	3
2.1.	Kolosijeci za velike brzine s kolosiječnim zastorom.....	5
2.2.	Kolosijeci za velike brzine bez kolosiječnog zastora.....	6
3.	Razvoj brzih željeznica u Francuskoj.....	9
3.1.	Povijest razvoja mreže brzih željeznica u svijetu.....	9
3.2.	Razvoj mreže željeznica za brze vlakove u Francuskoj.....	11
4.	Prometno-tehničke značajke željezničkih pruga u Francuskoj.....	15
4.1.	Kolosijek LGV mreže i kolosiječne konstrukcije željeznica za brze vlakove u Francuskoj.....	15
4.2.	Mreža pruga za velike brzine u Francuskoj.....	22
4.3.	Željezničke stanice na LGV mreži.....	24
4.4.	Prometno-upravljački sustav željeznice za brze vlakove u Francuskoj.....	28
4.5.	Učinci željeznice za brze vlakove u Francuskoj.....	29
5.	Vozni park brzih željeznica u Francuskoj.....	31
6.	Zaključak.....	36
	Literatura.....	37
	Popis slika.....	41

1. UVOD

Razvoj željezničkog sustava pokrenuo je razvoj svjetskog gospodarstva i omogućio industrijalizaciju u cijelom svijetu. Izvedene kao jedan od prvih mehaničkih načina prijevoza, željeznice su omogućile prevaživanje velikih udaljenosti za mnogo manje vremena nego što je to do tada bilo moguće. Željeznice su pozitivno utjecale na nastanak suvremenog prometovanja, ali i gospodarstva upravo zbog toga što su omogućile olakšano prevoženje različitih tereta i dobara uz puno manji trošak nego prije, a također su omogućile i lakšu pokretljivost ljudi, što je dovelo do urbanizacije i različitih gospodarskih promjena u vrijeme razvoja željeznice. Njihovoj iznimnoj koristi i pozitivnom utjecaju na promet može se pripisati što se koriste i danas, no u nešto izmijenjenom obliku. Naime, osamdesetih godina dvadesetog stoljeća pokrenuta je modernizacija i poboljšanje tadašnjeg sustava željeznica u Europi te je izvedena prva brza željeznica, u Francuskoj.

Cilj ovog rada je prikazati razvoj željeznice za brze vlakove u Francuskoj, njene prometne i tehničke karakteristike te infrastrukturu. Rad je nastao metodološkim pristupom analize literature o relevantnoj temi.

Rad se sastoji od šest poglavlja:

1. Uvod
2. Osnovne značajke brzih željeznica
3. Razvoj brzih željeznica u Francuskoj
4. Prometno-tehničke značajke željezničkih pruga u Francuskoj
5. Vozni park brzih željeznica u Francuskoj
6. Zaključak

U drugom poglavlju navedene su osnovne značajke brzih željeznica, te kriteriji koje željeznica mora zadovoljiti, što se tiče infrastrukture i načina upravljanja, da bi po njoj prometovali vlakovi

velikih brzina. Također su objašnjene izvedbe željeznica za brze vlakove, kolosijeci za velike brzine s kolosiječnim zastorom i kolosijeci za velike brzine bez kolosiječnog zastora.

U trećem poglavlju iznesena je kratka povijest razvoja brzih željeznica u svijetu i Europi te detaljno obrađen njen razvitak u Francuskoj. U četvrtom se poglavlju iznose činjenice o prometno-tehničkim značajkama željeznice za brze vlakove u Francuskoj, te se opisuju kolosijeci i kolosiječne konstrukcije LGV (Lignes a Grande Vitasse-pruga za velike brzine) mreže, željezničke stanice LGV mreže, mreža pruga za velike brzine, prometno-upravljajući sustav i učinci željeznice za brze vlakove u Francuskoj. U petom se poglavlju obrađuje vozni park brzih željeznica u Francuskoj.

2. OSNOVNE ZNAČAJKE BRZIH ŽELJEZNICA

Željeznice predstavljaju prizemljeni i navođeni sustav prijevoza i prometovanja koji zahtijeva specifičnu infrastrukturu. Klasične željeznice su proširene cijelim svijetom, te vlakovi koji prometuju klasičnim željeznicama mogu doseći maksimalnu brzinu od 200 km/h (u posebnim slučajevima 220 km/h). Većina je klasičnih željeznica sagrađena u devetnaestom stoljeću, te se kao takve više ne mogu mjeriti s ostalim načinima prijevoza poput automobila i zrakoplova koji su u recentnim godinama unijeli mnoga poboljšanja karakteristična za modernizaciju [1]. To je dovelo do smanjenja korištenja željeznica od strane putnika, te je rezultiralo uvođenjem novog tipa željeznice kako bi se privuklo što više putnika. Novi tip željeznice zove se brza željeznica ili željeznica za brze vlakove, te ju je prvi u svijetu izgradio Japan, a potom Francuska.

Brze željeznice i dalje predstavljaju prizemljeni i navođeni sustav prijevoza te se zapravo mogu smatrati sistemom klasičnih željeznica jer je njihova glavna promijenjena i poboljšana karakteristika maksimalna brzina koju vlakovi mogu postići. Glavni fokus ove vrste željeznice je na brzinu zbog želje da se smanji ukupno vrijeme putovanja kako bi željeznica bila što privlačnija za putnike.

Glavni kriterij za definiranje je li neka željeznica brza ili nije je mogu li vlakovi na njoj postići brzinu od 250 km/h. No, ponekad je dovoljno i da vlakovi postižu brzine od 230 km/h ili 220 km/h kako bi se neka željeznica mogla smatrati željeznicom za brze vlakove. Kriteriji brzine za željeznice velikih brzina vidljivi su na slici 1.

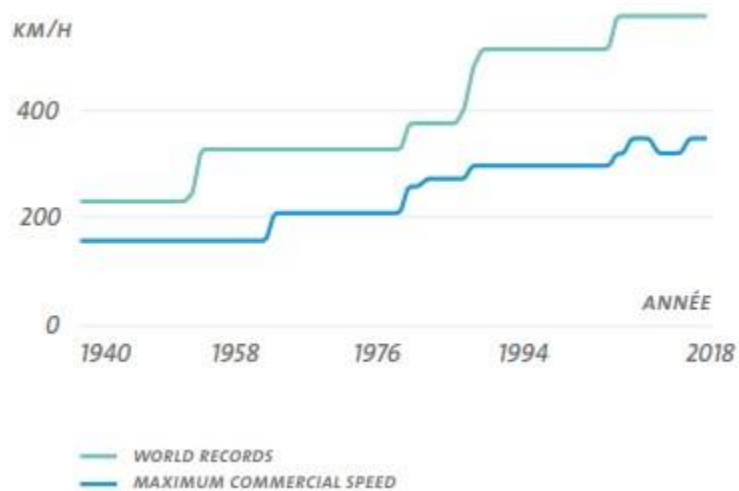
Kako bi bilo moguće da se vlakovi na željeznici kreću navedenim brzinama, potrebna su značajna infrastrukturna poboljšanja i uvjeti, poput:

- odgovarajućeg gornjeg ustroja
- odgovarajućeg voznog parka

- novog sistema signaliziranja što znači napuštanje zastarjelog sistema signala pored tračnica
- geografsko ili vremensko odvajanje teretnog i putničkog prometa [2].

Iako je nastankom željeznice za brze vlakove došlo do raznih promjena u infrastrukturi i upravljanju, važno je napomenuti da su najvažniji aspekti željezničkog prometa ostali isti kod ove vrste željeznice. Željeznica za brze vlakove mora zadovoljavati iste uvjete kao i klasična željeznica, te su ti uvjeti:

- interoperabilnost
- adekvatni kapaciteti
- pouzdanost
- sigurnost i
- održivost [1].



Slika 1. Svjetski rekordi brzine željeznica i maksimalne brzine putničkih željeznica od 1940. do 2018.

Izvor: [1]

Željeznice za brze vlakove mogu biti izvedene: na kolosijeku za velike brzine s kolosiječnim zastorom te na kolosijeku bez kolosiječnog zastora. Navedene vrste kolosijeka objašnjene su u idućim poglavljima.

2.1. Kolosijeci za velike brzine s kolosiječnim zastorom

Kolosijeci koji koriste kolosiječni zastor predstavljaju klasičnu kolosiječnu konstrukciju [3]. Još se nazivaju i kolosijecima sa zastornom prizmom, te je primjer takvog kolosijeka prikazan na slici 2. Navedeni tip kolosijeka u svojem gornjem ustroju posjeduje sve elemente koje ima i klasični kolosijek:

- tračnice tipa 60 E1 koje su zavarene u dugi trak
- elastičan kolosiječni pričvrsni pribor
- prednapete betonske pragove koji su dugi 2,60 metara i razmaknuti 60 centimetara
- kolosiječni zastor od tučenca debljine 30 centimetara ispod praga
- tampon ili zaštitni sloj ravnika
- sloj za zaštitu od smrzavanja [4].

Najvažnija razlika između ovog klasičnog tipa kolosijeka i modernog tipa kolosijeka bez kolosiječnog zastora jest način prenošenja opterećenja na podlogu. Kolosiječni se zastor može definirati kao „dio gornjega ustroja željezničke pruge koji osigurava ispravan položaj kolosijeka po smjeru i visini, ravnomjeran prijenos opterećenja s pragova na donji ustroj, brzu i trajnu odvodnju gornjega ustroja te sprečava uzdužno i poprečno pomicanje kolosijeka” [5].

Kolosiječni zastori na kolosijecima služe osiguravanju vertikalne i horizontalne stabilnosti kolosiječne rešetke, jer je ta stabilnost konstantno narušena dinamičkim opterećenjem zbog prolaska tračničkih vozila i naprezanja koje je uzrokovano promjenama temperature.



Slika 2. Primjer kolosijeka sa kolosiječnim zastorom

Izvor: [52]

Kolosijeci s kolosiječnim zastorom pri prolazu tračničkih vozila pokazuju nejednake pojave slijeganja, greške u položaju kolosijeka, a također i oštećenja kolosiječnog zastora izrađenog od tučenca. Ove se pojave najviše mogu primijetiti na mjestima na kojima se dogodila pogreška na tračnicama, a također i na zavarenim i izolacijskim spojevima. Iz ovih su se razloga počeli primjenjivati kolosijeci bez kolosiječnog zastora, koji su pouzdaniji i sigurniji.

2.2. Kolosijeci za velike brzine bez kolosiječnog zastora

Kolosijeci za velike brzine bez kolosiječnog zastora još se nazivaju i kolosijecima na čvrstoj podlozi ili kolosijecima bez zastorne prizme. Kolosijeci bez kolosiječnog zastora mogu se podijeliti na kolosijeke s pojedinačnim ili kontinuiranim osloncima tračnica, a također i na novi NBT (New Ballastless Track) nova staza bez zastorne prizme, sustav koji se razvija u Francuskoj [6].

Kolosijeci bez kolosiječnog zastora koriste betonske i asfaltne nosive slojeve koji omogućuju smanjenje slijeganja i troškova održavanja kolosijeka, što je bio relevantan problem kod kolosijeka s kolosiječnim zastorom. Asfaltni i betonski nosivi slojevi imaju veliku krutost, te se elasticitet koji je potreban za nesmetano prometovanje dobiva putem postavljanja elastičnih elemenata ispod tračnica ili pragova [4]. Kod kolosijeka za velike brzine bez kolosiječnog zastora povećava se

debljina tamponskog, odnosno zaštitnih slojeva, koriste se tračnice veće mase, a također se moraju primjenjivati i kvalitetni elastični elementi pričvrstnog pribora.

Troškovi pri izgradnji kolosijeka bez kolosiječnog zastora su puno veći nego kod izgradnje onih s kolosiječnim zastorom, no pokazalo se kako su troškovi održavanja modernih kolosijeka smanjeni za 50% na otvorenim dijelovima pruge i do 80% u tunelima. Kolosijeci bez kolosiječnog zastora mogu se puno dulje koristiti, a također ne postoji problem „vrtložnog uzdizanja krutih sitnijih čestica zastora uzrokovanih pojavom zračnih turbulencija između podvozja tračničkog vozila i zastora” [3] koji se pojavljuje kod kolosijeka s kolosiječnim zastorom. Prikaz poprečnog presjeka kolosijeka bez kolosiječnog zastora nalazi se na slici 3.



Slika 3. Poprečni presjek kolosijeka bez kolosiječnog zastora

Izvor: [3]

Također, kod kolosijeka bez kolosiječnog zastora primijećena je mogućnost smanjenja poprečnog profila pruge u tunelima, čime se smanjuje cijena izgradnje tunela. Ovaj tip kolosijeka praktičan je pri elektrifikaciji i povećavanju slobodnog profila postojećih pruga [7].

Uz mnogostruke prednosti kolosijeci bez kolosiječnog zastora imaju i određene nedostatke. Prvi nedostatak ovog tipa kolosijeka je taj što je za njihovu izgradnju potrebna podloga sa strogo ograničenim vrijednostima slijeganja. Iz ovog se razloga ovaj tip kolosijeka ne može izgraditi na

određenim geološkim podlogama, kao na primjer u nasipima na mekim slojevima treseta, što je ograničavajuće za izgradnju infrastrukture željeznice za brze vlakove.

Također, kolosijeke bez kolosiječnog zastora teško je mijenjati jer svako poboljšanje koje se implementira zahtijeva velike materijalne resurse. Uz to, kolosijeci ove vrste su bučniji od kolosijeka s kolosiječnim zastorom jer klasični kolosijeci imaju drvene ili betonske pragove i zastornu prizmu. Pokušaji smanjenja buke kod kolosijeka bez kolosiječnog zastora dovode do dodatnih materijalnih troškova [3].

3. RAZVOJ BRZIH ŽELJEZNICA U FRANCUSKOJ

3.1. Povijest razvoja željeznica za brze vlakove u svijetu

Već od samog početka razvoja željeznice u devetnaestom stoljeću brzina je bila glavni čimbenik koji se uzimao u obzir kod njene izgradnje među različitim željezničarskim poduzećima. Prva željeznica koju se može smatrati brzom za svoje doba je ona kojom je vozila lokomotiva „Rocket“ Georgea Stephensona dostigavši brzinu od 50 km/h 1830. godine.

No, već se u idućih nekoliko godina najveća maksimalna brzina vlakova povećala na 100 km/h. 1854. godine dostignuta je brzina od 130 km/h, a početkom dvadesetog stoljeća maksimalna brzina kojom su vlakovi mogli voziti iznosila je 200 km/h. Iako su ove brzine bile zavidne u tome razdoblju, uskoro neće moći konkurirati cestovnom i zračnom prijevozu. Iz tog su razloga morale nastati promjene u sustavu željeznica.

Prvi sustav željeznice za brze vlakove uspostavljen je 1. listopada 1964. godine u Japanu od strane kompanije Japanese National Railways. Njihov sustav željeznice za brze vlakove temeljio se na željezničkoj liniji duljine 515 kilometara koja je koristila 1 435-milimetarske kolosijeke, za razliku od tadašnjih standardnih kolosijeka u Japanu širine od jednog metra [1].

Željeznička se linija zvala Tokaido Shinkansen, i protezala se od stanice Tokyo Central do stanice Shin Osaka. Tokaido Shinkansen željeznička linija prometovala je maksimalnom brzinom od 210 km/h te je imala automatsku kontrolu vlakova (ATC, eng. *Automatic Train Control*), kao i centraliziranu kontrolu prometa (CTC, eng. *Centralised Traffic Control*).



Slika 4. Prikaz vlaka na željeznici za brze vlakove Tokaido Shinkansen

Izvor: [8]

Japanska se željeznica od puštanja u promet 1964. godine trenutno prostire na 2 460 kilometara te povezuje većinu velikih gradova na japanskim otocima Honshu i Kyushu. Japanski brzi vlakovi mogu postići brzine do čak 300 km/h, te je za japansku željeznicu važno spomenuti kako se na njoj nikada nije dogodila niti jedna nesreća [9]. Na slici 4. prikazan je vlak na željeznici za brze vlakove Tokaido Shinkansen.

Nakon ekonomskog uspjeha koji je postigao Tokaido Shinkansen, i druge zemlje, a napose zemlje Europe poput Francuske, Njemačke i Italije također su željele izgraditi vlastite željeznice za brze vlakove. Prva željeznica za brze vlakove u Europi, SNCF, izgrađena je u Francuskoj 1981. godine, te je dosegala brzinu od 260 km/h.

Uz navedene europske zemlje, i druge su zemlje Europe bile potaknute uspjesima željeznice za brze vlakove u Japanu i Francuskoj, te se počelo izgrađivati sve više i više ovakvih željeznica zbog iznimnih prednosti koje su pružale. Italija i Njemačka grade željeznice za vlakove velikih brzina 1988. godine, a Španjolska 1992. godine. Nakon Španjolske pruge za vlakove velikih brzina grade Belgija 1997. godine, Ujedinjeno Kraljevstvo 2003. godine, te Nizozemska 2009. godine.

Od ostalih zemalja, važno je spomenuti Kinu koja je započela izgradnju željeznica za brze vlakove 2003. godine i koja trenutačno prednjači u duljini svojih željezničkih linija. Južna Koreja implementirala je brze željeznice 2004. godine, a Tajvan 2007. godine.

Trenutačno su željeznice za brze vlakove u svijetu u različitim fazama završenosti i izgradnje. Najveća se promjena u razvijenosti brzih željeznica u svijetu mogla osjetiti 2008. godine kada je Kina proširila svoju mrežu željezničkih pruga za velike brzine više od 20 000 kilometara i nabavila 1 200 novih brzih vlakova. Danas je, upravo zbog razvoja kineskih željeznica, više od polovice modernih brzih željeznica u Aziji.

Neke su zemlje poput Belgije, Nizozemske i Tajvana u potpunosti kompletirale svoju infrastrukturu, dok su neke zemlje izgradile većinu infrastrukture, poput Španjolske, Italije, Francuske i Njemačke. Neke zemlje, poput Ujedinjenog Kraljevstva, Južne Koreje i Kine, i dalje planiraju nove linije kojima će nadograditi postojeći sustav željeznica za brze vlakove na svojem teritoriju. Zemlje poput Maroka, Saudijske Arabije, Rusije i Sjedinjenih Američkih Država tek su počele graditi infrastrukturu za vlakove velikih brzina.

3.2. Razvoj mreže željeznica za brze vlakove u Francuskoj

Mreža željeznica za brze vlakove započela je svoj razvoj u Francuskoj 1970-ih godina [10]. Brze su željeznice sada uspostavljene diljem cijele Francuske, te je prometovanje njima ušlo u naviku ljudima. Postoji distinkcija između brzih vlakova, koji se nazivaju TGV (eng. *high speed train* ili na francuskom *Train a Grande Vitesse*), i željezničke mreže za brze vlakove, koja se naziva LGV ili na francuskom *Lignes a Grande Vitesse*. Brzu su željeznicu tijekom 1970-ih godina razvili GEC-Alsthom (*General Electric Company*) i SNCF, "National society of French railroads" koji i danas upravlja francuskom željeznicom za brze vlakove.

Francuska je bila prva europska zemlja koja je započela s razvojem brze željeznice. Prva je linija za brze vlakove bila odobrena 1975. godine, te je povezivala Pariz i Lyon. Duljina linije iznosi

450 kilometara, a puštena je u promet u rujnu 1981. godine. Na linijama vlakova velikih brzina Francuskih željeznica prometuje više od 150 vlakova dnevno, a prosječna brzina koju vlak može postići iznosi 320 km/h.

Uvođenje željeznice za brze vlakove u Francuskoj odmah je predstavilo ogroman uspjeh, te je konkuriralo mnogim vrstama prometa, od kojih je jedan bio i zračni promet [11]. Željeznica za brze vlakove u Francuskoj požnijela je velik uspjeh tijekom 1980-ih i 1990-ih godina, pogotovo od strane javnih vlasti koje su je smatrale pokretačem ekonomskog razvoja [10].

LGV mreža u Francuskoj oblikovana je u obliku zvijezde sa središtem u Parizu, kao što je vidljivo na slici 6. LGV mreža je elektrificirana putem napona od 25 kV, ali se također može napajati i naponom od 1,5 kV, što je slučaj na linijama južnije od Pariza. LGV mreža služi za prometovanje samo TGV vlakova. Osovinsko opterećenje na tračnicama iznosi maksimalno 17 tona po osovini na mjestima na kojima prometuju TGV-ovi kako bi se produžilo trajanje tračnica i one očuvale [12].



Slika 5. LGV mreža u Francuskoj

Izvor: [13]

Različite linije brze željeznice u Francuskoj koje su se gradile tijekom godina jesu:

- 1981. linija Paris-Lyon,
- 1989. linija Paris-Tours
- 1993. linija Paris-Lille, koja povezuje sjevernu Francusku, Belgiju (stajalište u Bruxellesu) i Ujedinjeno Kraljevstvo (stajalište u Londonu)
- 2001. linija Lyon-Marseille
- 2007. linija Paris-Est, koja povezuje francuske pokrajine Lorraine, Alsace, Luksemburg i Njemačku

- 2011.-2012. početak gradnje četiri nove linije: Tours-Bordeaux, Bretagne-Pays de Loire, ekstenzija koja se proteže do Strasbourga i Nimes-Montpellier. Ove linije su se trebale pustiti u promet 2017. godine. 2013. godine napuštaju se planovi o gradnji svih novih linija osim linije Tours-Bordeaux, koja bi trebala biti puštena u pogon do 2030. godine [13].

Ukupna duljina LGV mreže u Francuskoj je 2 734 kilometara, te je to čini četvrtom najduljom željeznicom za vlakove velikih brzina na svijetu. Od nje razvijenu mrežu imaju u Kini, Japanu i Španjolskoj [14]. Francuska željeznica također ima 1576 tunela ukupne duljine 656 kilometara, a najznačajniji od njih je Channel Tunnel dužine 50,5 kilometara koji povezuje Francusku s Ujedinjenim Kraljevstvom, a ujedno predstavlja i treći najdulji željeznički tunel na svijetu [15].

4. PROMETNO-TEHNIČKE ZNAČAJKE ŽELJEZNIČKIČIH PRUGA U FRANCUSKOJ

4.1. Kolosijek LGV mreže i kolosiječne konstrukcije željeznica za brze vlakove u Francuskoj

Trasiranje željezničke pruge ovisi o konfiguraciji terena te o geografskim, geološkim, geomehaničkim, hidrološkim i klimatskim svojstvima područja kroz koja pruga prolazi. Završna gornja ploha nasipa i usjeka, na koju se polaže gornji ustroj, naziva se ravnik pruge (*planum*). Širina ravnika obuhvaća prostor s obje strane osi kolosijeka do ruba pokosa. Kategorizacija pruge obavlja se u skladu s propisima, koji su obvezujući za sve članice Međunarodne željezničke unije (Union Internationale des Chemin de Fer, UIC). Temeljna podloga treba osigurati dugotrajnu nosivost i stabilnost. *Zaštitni sloj (tampon)* završni je i najviši sloj na koji se polaže gornji ustroj. Kao konstrukcijski dio gornjeg ustroja kolosiječni zastor treba elastično i što ravnomjernije prenijeti opterećenje vozila.

Kolosijek uporabom mijenja svoja svojstva i potrebno ga je održavati. Provjerom se utvrđuje stanje kolosijeka u cjelini, stanje pojedinih konstruktivnih dijelova gornjeg ustroja i geometrija kolosijeka. Provjera mjerenjem pojedinih vrijednosti može biti ručna ili pomoću mjernih vozila, koja u vožnji bilježe pokazatelje o stanju kolosijeka. (16)



Slika 6. Vozilo za polaganje kolosijeka

Izvor (17)

Polaganje kolosijeka standardiziran je proces koji se može primjenjivati i za željezničke linije za brze vlakove, te se u njemu koriste neprekinute zavarene tračnice. Kako je LGV mreža specijalizirana za brze vlakove, mora ispunjavati uvjete kako bi se što bolje očuvala, a također i kako bi vlakovi njome mogli nesmetano prolaziti. Za polaganje kolosijeka za izgradnju LGV željeznice koriste dizalice s gumenim kotačima koje polažu montažne rešetke u dva kolosijeka zbog specifikacije LGV željeznice da se uvijek sastoji od dva kolosijeka.

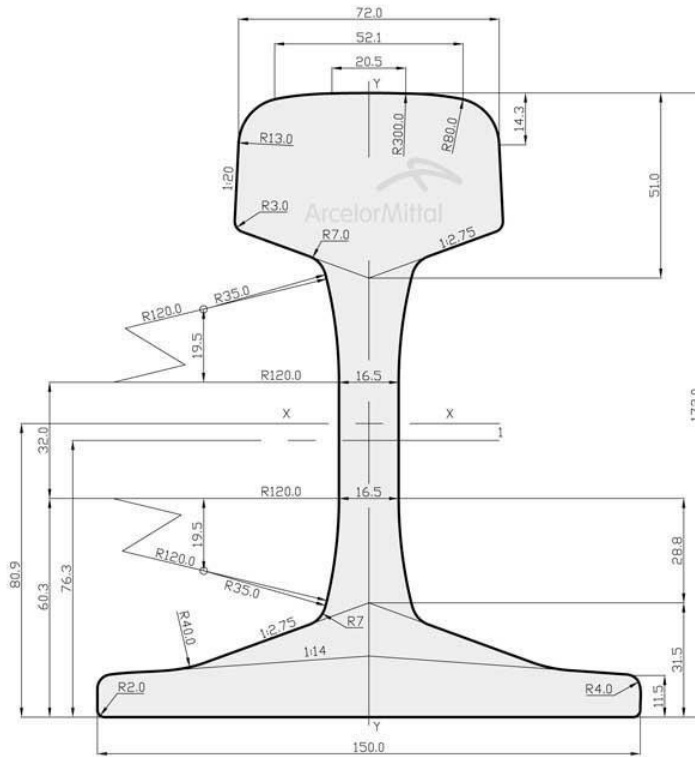
Rešetke koje se polažu dugačke su 18 metara, te su pričvršćene putem drvenih pragova. Nakon postavljanja montažne rešetke radni vlak kojeg vuče Diesel lokomotiva dovozi dijelove zavarenih tračnica koji se zatim ugrađuju na prvi kolosijek. Tračnice mogu biti duljine od 200 do 400 metara, te se dovoze putem nekoliko vozila (slika 6), a istovaruju ih posebne dizalice prikazane na slici 7.



Slika 7. Dizalice koje se koriste za postavljanje kolosječne rešetke za brze vlakove Izvor:

[19]

Tračnice su izrađene po UIC standardu mase od 60 kg/m, te su to zapravo tračnice tipa 60 E1 s vlačnom čvrstoćom od 800 N/mm. Ova vrsta tračnica prikazana je na slici 8.

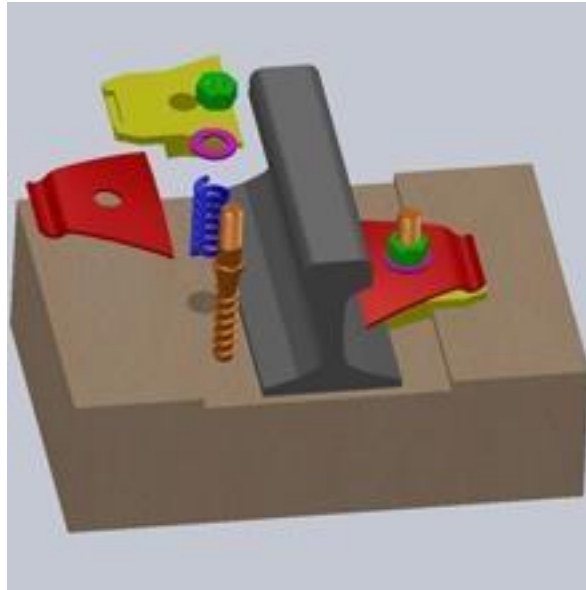


Slika 8. Tračnice tipa 60 E1

Izvor: [20]

Nakon istovara tračnica dizalice, koje se kreću putem dvaju privremenih tračnica, uklanjaju privremene kolosiječne rešetke koje su se bile postavile na privremenim pragovima. Nakon toga dolazi do pola napunjen teretni vlak koji nosi LGV kolosiječne elemente. Dizalice postavljaju privremene kolosiječne rešetke na praznu polovicu teretnog vlaka, a zatim uzimaju maksimalno 30 betonskih pragova koje postavljaju na razmak duljine 60 centimetara. U ovom se koraku također koristi zbijeni šljunčani sloj, na kojem se betonski pragovi postavljaju [16]

Betonski su pragovi dvostruko armirani, te teže do 245 kilograma, a imaju širinu 2,4 metra. Karakteristika ovih pragova je ta da su na njih ugrađeni gumeni slojevi debljine 9 milimetara, koji služe kao osiguranje od pucanja pragova, a također i smanjivanja vibracija koje se događaju kada vlakovi velike brzine prolaze tračnicama. Betonski pragovi također dolaze i s ugrađenim pričvrstnim priborom Nabla čiji je model prikazan na slici 9. Svrha ovog sistema elastično pričvršćivanje tračnica na pragove.



Slika 9. Sistem pričvršćivanja Nabla

Izvor: [21]

Tračnice se spuštaju pomoću stroja sličnog dizalici na gumene podloške, te se pričvršćuju na Nabla pričvršni pribor pomoću pneumatskog stroja. Nakon toga su tračnice LGV mreže fiksirane, na način da su nagnute prema unutra na nagibu od 1:20. Tračnice se zavaruju putem legure željeza i aluminija, koja se stvara miješanjem hrđe i praha aluminija, te se pokazao jednim od najboljih načina za spajanje dijelova željezničke linije [16]. Tračnice se zavaruju putem aluminotermnog stroja za zavarivanje. Nakon prvotnog zavarivanja spojevi se bruse do samog profila tračnice, što omogućuje najbolju moguću povezanost između dvaju dijelova tračnica.

Nakon zavarivanja tračnica potrebno je popuniti duboko ležište tučenca u zastornoj prizmi ispod postavljene nove kolosiječne rešetke. Zastorna prizma se izvodi od tučenca određene veličine, a služi za stabilnost tračnica i kolosijeka. Na slici 10. prikazan je kolosijek sa zastorom od tučenca. Tučenac se postavlja pomoću specificiranog vlaka kojeg također vuku Diesel motori, te je potrebno posebno pripaziti kako bi se ravnomjerno raspodijelio oko tračnica zbog njegove iznimno važne

funkcije stabilizacije kolosijeka. Prvi se sloj postavlja izravno na tračnice, te ga stroj za nabijanje i niveliranje potiskuje ispod pragova i tračnica.



Slika 10. Kolosijek sa zastorom od tučenca

Izvor: [22]

Važno je spomenuti kako stroj za nabijanje i niveliranje treba proći tračnicama barem četiri puta kako bi se postigla odgovarajuća zbijenost i debljina zastora od 32 centimetra ispod pragova. Tučenac se također polaže i s vanjske strane kolosijeka kako bi se postigla i bočna stabilnost, te se uravnoteženo raspoređuje pomoću regulatora. Kako bi se osigurala pravilno izvedena zastorna prizma kao krajnji korak koristi se dinamički vibrator koji do kraja nabija i poravnava kolosijek. Ovim je procesom završen je rad na prvom kolosijeku, te tada započinje rad na drugom kolosijeku koji je lakši zbog toga što se ne moraju postavljati privremene tračnice, nego se koristi već postavljeni kolosijek LGV mreže.

Kada se izgradi i drugi kolosijek, kako bi se kompletno završila LGV mreža trebaju se postaviti i električni vodovi te naponske žice koje omogućuju prolazak vlakova. Naponske se žice postavljaju

pomoću čeličnih greda postavljenih na betonske temelje koji su udaljeni jedan od drugoga 63 metra. Naponske se žice sastoje od bakra te imaju napetost 14 kN. Nakon postavljanja naponskih žica i električnih vodova kolosijek se još jednom poravnava s tolerancijom od 1 mm, a također se obavlja i propuhivanje zastora kako bi se uklonili svi manji kamenčići koji bi mogli predstavljati opasnost za vlak jer bi ga mogli izbaciti s tračnica. Kako bi se odobrio novi kolosijek, on mora biti testiran s TGV vlakovima, te se tek tada može pustiti u upotrebu [16]. Primjer kolosijeka LGV željeznice nalazi se na slici 11.



Slika 11. Kolosijek LGV željeznice na liniji Lyon-Marseille

Izvor: [23]

Kolosijeci koji se koriste na francuskoj željeznici za brze vlakove moraju ispunjavati određene tehničke uvjete koji moraju zadovoljiti europske standarde za fiksne instalacije na tračnicama, kao i Tehničke specifikacije za interoperabilnost ili TSI. Francuska željeznica za brze vlakove u svojem se kolosiječnom sustavu koristi kolosiječnim sustavom u sklopu kojeg se koristi kontaktna žica koja zadovoljava uvjete poput:

- visina kontakta treba biti 5,08 m
- nagib kontaktne žice treba biti 0% za područja gdje brzina vlakova prelazi 250 km/h i
- maksimalno bočno odstupanje zbog vjetra od 400 mm [24].

Kod trasiranja pruga velikih brzina primjenjuju se polumjeri zavoja veći od standardnih. Povijesno su se koristili zavoji s polumjerima većima od 4 kilometra, a kolosijeci koji su konstruirani recentno koriste zavoje s minimalnim polumjerom od 7 kilometara kako bi se omogućila buduća povećanja brzine. Također, LGV kolosijeci mogu imati veći uzdužni nagib od nagiba na željeznicama za sporije vlakove, kako bi se olakšalo njihovo planiranje, a također smanjila i cijena izgradnje. U usporedbi s drugim željeznicama, poravnanje kolosijeka na LGV željeznici je preciznije, a također se koristi i zastorna prizma veće debljine, što rezultira povećanom nosivošću i stabilnošću kolosijeka. LGV kolosijeci imaju više pragova po kilometru nego što je uobičajeno, te su svi pragovi izrađeni od betona kao što je opisano u ranijem tekstu. Također, zavarivanje tračnica u neprekinuti trak je nužno na prugama velikih brzina. Rezultira udobnijom vožnjom. Promjer tunela veći je od uobičajenog zbog veličine vlakova, osobito na ulazima. Time se ograničavaju učinci promjena tlaka zraka i onečišćenja bukom.

4.2. Mreža pruga za velike brzine u Francuskoj

LGV linija se proteže na više od 2 800 kilometara, te se može grupirati u četiri podskupine koje se granaju iz Pariza, kao i jednu koja je povezana s Parizom na klasičan način:

- Jugozapad: LGV Atlantique, LGV Sud Europe Atlantique i LGV Bretagne-Pays de la Loire do Bordeauxa i Rennesa.
- Sjever: LGV Nord za Bruxelles, spajanje na High Speed 1 do Londona i HSL 1 do Bruxellesa.
- Istok: LGV Est do Strasbourga i Njemačke.
- Jugoistok: LGV Sud-Est, LGV Rhône-Alpes i LGV Méditerranée do Marseillea, plus LGV Rhin-Rhône i LGV Perpignan–Figueres te

- Istok: LGV Rhin-Rhône povezuje Strasbourg i Lyon, još uvijek uglavnom na klasičan način, te Pariz s Besançonom i Mulhouseom.

Postojeće linije LGV željeznica u Francuskoj su:

- LGV Sud-Est (Pariz Gare de Lyon do Lyon-Perrache), prva LGV (otvorena 1981.)
- LGV Atlantique (Pariz Gare Montparnasse do Toursa i Le Mansa) (otvorena 1990.)
- LGV Rhône-Alpes (Lyon do Valencije) (otvorena 1992.)
- LGV Nord (Pariz Gare du Nord do Calais) (otvorena 1993.)
- LGV Interconnexion Est (LGV Sud-Est prema LGV Nord Europe, istočno od Pariza) (otvorena 1994.)
- LGV Méditerranée (proširenje LGV Rhône-Alpes: Valenxija do Marseille-SaintCharles) s ogrankom za Nîmes (otvorena 2001.)
- LGV Est (Gare de l'Est-Strasbourg) (prvi dio otvoren 2007., drugi dio otvoren 3. srpnja 2016.) [25]
- LGV Perpignan–Figueres (od Španjolske do Francuske) (gradnja završena 17. veljače 2009., TGV usluga od 19. prosinca 2010.) [26]
- LGV Rhin-Rhône (Lyon–Dijon–Mulhouse), otvorena 11. prosinca 2011.
- LGV Sud Europe Atlantique (Tours–Bordeaux), koja proširuje južni krak LGV Atlantique (koja se također naziva LGV Sud-Ouest) otvorena je 2. srpnja 2017. [27]
- LGV Bretagne-Pays de la Loire (Le Mans-Rennes), koji proširuje zapadni krak LGV Atlantique, otvoren je 2. srpnja 2017.
- obilaznica Nîmes-Montpellier koja se proteže jugozapadnim rubom LGV Méditerranée 60 km prema španjolskoj granici; otvorena 12. prosinca 2017. za teretni promet (srpanj 2018. za putnike).

LGV linija koja se trenutno izgrađuje prometovat će na relaciji Lyon-Torino, te će se povezivati s talijanskom željeznicom za brze vlakove. Linije željeznice za brze vlakove u Francuskoj koje se planiraju izgraditi su:

- LGV Montpellier–Perpignan,
- LGV Bordeaux–Toulouse
- LGV Provence-Alpes-Côte d'Azur (Marseille-Nice) smanjio bi vrijeme putovanja Pariz-Nica s 5 sati i 25 minuta na 3 sata i 50 minuta [28]
- LGV Sud Europe Atlantique Phase 3 (od Bordeauxa do španjolske granice) (Railway Gazette, 2012)
- LGV Rhin-Rhône(Lyon–Dijon–Mulhouse)
- Proširenje linije LGV Bordeaux–Toulouse do Narbonne
- LGV Picardie (Pariz–Amiens–Calais)
- LGV Normandie koja bi prometovala od Pariza do Rouena, Le Havrea, Caena i Cherbourga
- LGV Pariz–Orléans–Clermont-Ferrand–Lyon.

4.3. Željezničke stanice na LGV mreži

LGV mreža u Francuskoj sadrži ukupno 236 stanice koje primaju TGV vlakove, što također uključuje i stanice koje se nalaze u susjednim državama koje s Francuskom povezuje LGV, a to su Belgija, Njemačka, Luksemburg i Ujedinjeno Kraljevstvo.

LGV željeznica za brze vlakove u Francuskoj je koncipirana tako da se grana u obliku zvijezde iz Pariza. U Parizu se nalazi sedam glavnih željezničkih kolodvora na kojima prometuju brzi vlakovi koji s ovim gradom povezuju različite regije Francuske, kao i navedene europske zemlje. Također, važno je navesti i tri prigradske željezničke postaje koje primaju TGV vlakove: Marne la Vallée-Chessy koja dovodi putnike do francuskog Disneylanda, Roissy-Charles de Gaulle koja dovodi do aerodroma i Massy [29].

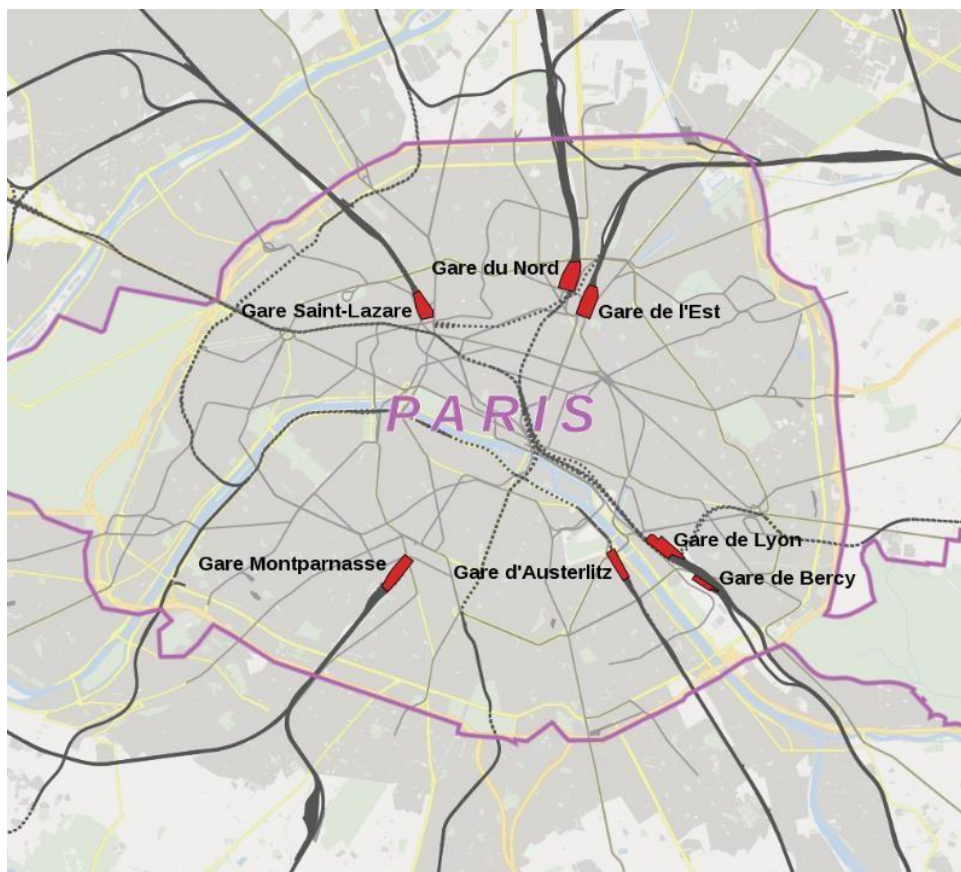
Željezničke postaje brze željeznice u Parizu su:

- Gare d'Austerlitz, koja povezuje Pariz s centralnom Francuskom, Toulouseom i Pirinejima
- Gare de Bercy, koja povezuje Pariz s jugoistočnom Francuskom

- Gare de l'Est, koja povezuje Pariz s istočnom Francuskom, kao i Njemačkom i Švicarskom
- Gare de Lyon, koja povezuje Pariz s jugoistočnom Francuskom i kroz koju prolazi vlak koji vozi linijom Sud-Est i Lyon-Marseille, također nazvana Mediterranee. Putem ove željezničke postaje Pariz je povezan i s Španjolskom, kao i sa Švicarskom.
- Gare Montparnasse, koja povezuje Pariz sa sjevernom i jugozapadnom Francuskom
- Gare du Nord, koja povezuje Pariz sa sjevernom Francuskom, a također i Belgijom, Nizozemskom i Njemačkom [30].
- Gare Saint-Lazare, koja povezuje Pariz s Normandijom.

Navedene pariške željezničke postaje prikazane su na slici 12.

Glavni gradovi s kojima je Pariz povezan putem TGV brzih vlakova su Lille, Calais, Reims, Metz, Strasbourg, Dijon, Grenoble, Lyon, Avignon, Perpignan, Nice, Bourdeaux, Biarritz, Lourdes, Toulouse i Nantes [31].



Slika 12. Željezničke stanice za brze vlakove u Parizu

Izvor: [30]

Najprometniju željezničku postaju u Parizu, kao i u Europi, a također i jednu od najprometnijih željezničkih postaja u svijetu predstavlja Gare du Nord, kroz koju godišnje prolazi više od 220 milijuna putnika. Gare du Nord Pariz povezuje sa sjevernim regijama Francuske, a također ga povezuje i s Londonom, kao i Belgijom i Nizozemskom. Gare du Nord otvoren je 1846. godine kada se otvorila linija Pariz-Amiens-Lille [32].

Ova željeznička postaja ima 44 perona, koji se upotrebljavaju na različite načine:

- peroni 1 i 2 nisu stavljeni u javnu uporabu
- peroni od 3 do 6 služe za prijem i otpremu Eurostar vlakova koji povezuju Pariz s Londonom
- peroni 7 i 8 služe za vlakove koji putuju do Bruxellesa, Amsterdama i Kolna
- peroni od 9 do 18 služe za prijem i otpremu TGV i TER (lokalni i regionalni vlakovi) vlakova koji putuju u smjeru Lillea i sjevera Francuske
- peroni od 19 do 36 koriste se za prometovanje vlakova TER tipa
- peroni od 41 do 44 se nalaze ispod razine terena zemlje te se koriste za prometovanje podzemnom željeznicom, to jest metroom.



Slika 13. Unutrašnjost željezničke postaje Gare du Nord Izvor:

[33]

Uz željezničke postaje u Parizu, važno je navesti i druge francuske željezničke postaje koje služe za prijem i otpremu TGV vlakova, kao što su Gare de Strasbourg i Lyon Saint- Exupery. Gare de Strasbourg predstavlja drugu najveću željezničku stanicu za brze vlakove u Francuskoj, te opslužuje TGV vlakove koji povezuju Strasbourg s ostalim regijama Francuske, kao i s Belgijom, Njemačkom, Nizozemskom i Švicarskom. Neke od TGV linija koje prometuju ovom željezničkom postajom su Frankfurt-Strasbourg-Marseille, Munchen-Stuttgart-Strasbourg-ParisEst, Strasbourg-Paris CDG Airport-Bruxelles, Strasbourg-Rennes, Strasbourg-Nantes, Strasbourg-Bordeaux i ostale [34]. Prikaz Gare de Strasbourg nalazi se na slici 14.



Slika 14. Željeznička postaja Gare de Strasbourg

Izvor: [35]

Lyon Saint- Exupery je željeznička postaja koja je pozicionirana na aerodromu u Lyonu, te se nalazi na liniji Marseille-Pariz kojom prometuju TGV vlakovi. Otvorena je 1944. godine te se originalno zvala Lyon Satolas. Konkurencija ovoj željezničkoj postaji je postaja Lyon Part Dieu,

no važno je napomenuti kako dva od tri TGV vlaka od Pariza do Milana i Torina prolaze postajom Lyon Saint- Exupery, te je zbog toga popularna [36].

4.4. Prometno-upravljački sustav željeznice za brze vlakove u Francuskoj

U Francuskoj, French National Railway Company (SNCF) sastoji se od dvije različite linije željeznica: nacionalne i međunarodne. U nacionalnim linijama, signalni sustavi odgovorni za vođenje i kontroliranje vlakova, zasnovani su na tehnologijama temeljenim na relejima koji su bazirani na električnim krugovima ili tehnologijama baziranim na računalom sistemu. Što se tiče međunarodnih linija, ovi sustavi su implementirani (ili će biti implementirani) u skladu sa Standardima europskog sustava upravljanja željezničkim prometom ili European Rail Traffic Management System standardima. ERTMS je razvijen za usklađivanje upravljanja željeznicom i sustava signalizacije kako bi se osigurala interoperabilnost željeznice diljem Europe. Uvođenje ERTMS-a obvezno je na željezničkim infrastrukturnim projektima za gradnju novih ili modernizaciju postojećih pruga koje primaju financijsku potporu od Europske unije. U tom kontekstu ERTMS zamjenjuje nacionalni konvencionalni električni sustav gdje je detekcija i kontrola vlakova temeljena na električnim relejima. Prednost ERTMS sustava je u tome što omogućuje:

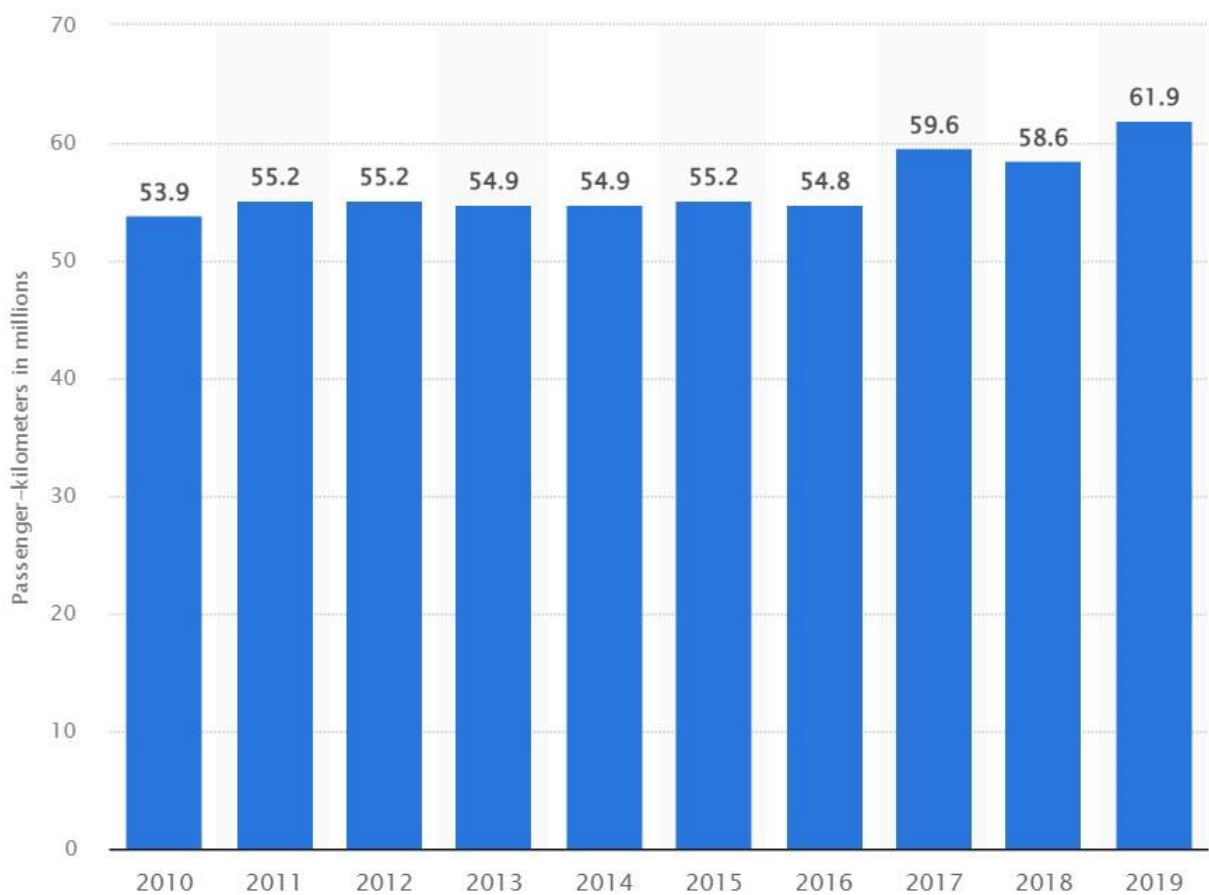
- detektiranje pozicije vlaka
- kontroliranje kretanja vlaka
- bežično prenošenje informacija o vlaku u već postojeći ETCS sustav [37].

ETCS (European Train Control System) sustav predstavlja temelj ERTMS-a, te se koristi za kontinuirano izračunavanje sigurne maksimalne brzine za svaki vlak, a također i za signalizaciju vozačima i različitim sistemima u vlaku koji obavještavaju kada se pređe maksimalna dozvoljena brzina [38]. ERTMS također koristi i GSM-R ili Global System for Mobile Communications tehnologiju koja predstavlja međunarodni bežični komunikacijski standard za željeznice. GSM-R se koristi za komunikaciju između vlakova i kontrolnih centara za upravljanje. Sustav se temelji

na GSM i EIRENE – MORANE specifikacijama koje jamče performanse pri brzinama do 500 km/h (310 mph), bez ikakvog gubitka komunikacije [39].

4.5. Učinci željeznice za brze vlakove u Francuskoj

Vlakovi koji prometuju LGV željeznicom u Francuskoj svake godine prevezu oko 110 milijuna putnika, te je 2013. zabilježeno kako je TGV vlakovima putovalo 2 milijarde putnika od početka rada željeznice za brze vlakove u Francuskoj [40]. Slika 15. prikazuje godišnji broj putničkih kilometara (jedinice koja mjeri transport jednog putnika putem odabranog načina prijevoza, u ovom slučaju vlakova, preko jednog kilometra) napravljenih od strane TGV vlakova u Francuskoj.



Slika 15. Godišnji broj putničkih kilometara željeznice za brze vlakove u Francuskoj Izvor:

[41]

U kontekstu brzina vlakova, Francuska drži rekord za najveću postignutu brzinu vlaka na pruzi za velike brzine u svijetu. Postigao ju je vlak Alstom V150 TGV 2007. godine, te iznosi 574,8 km/h (slika 16.) Ostali rekordi zabilježeni su 1981. godine (380 km/h) i 1990. godine (515,3 km/h) [14]. U svakodnevnoj uporabi TGV vlakovi putuju brzinom od 320 km/h.



Slika 16. Alstom V150 TGV

Izvor: [42]

5. VOZNI PARK BRZIH ŽELJEZNICA U FRANCUSKOJ

Željeznicom za brze vlakove u Francuskoj, to jest LGV mrežom prometuju brzi vlakovi koji su u Francuskoj nazvani TGV ili *Train a Grande Vitesse*. TGV vlakovi su originalno zamišljeni kao turbovlakovi, koji se pokreću putem plinskih turbina, no zbog naftne krize 1973. godine rekonstruirani su kao električni vlakovi, kakvi su i danas. TGV vlakovi se mogu smatrati najbržima na svijetu, jer je testni TGV vlak oborio svjetski rekord za najbržu brzinu postignutu vlakom od 574,8 km/h [43].

Trenutno LGV brzom željeznicom prometuje 5 različitih TGV vlakova:

- TGV Atlantique,
- TGV Réseau,
- TGV Duplex,
- TGV POS
- i TGV 2N2.

Modeli koji su „umirovljeni“, to jest koji se više ne koriste jesu TGV Sud-Est i TGV La Poste, a model koji je još u izradi te se planira buduće korištenje je Avelia Horizon.

Prvi model TGV brzih vlakova bio je TGV Sud-Est, također nazvan i TGV PSE. TGV Sud-Est konstruirao je Alstoma za francuskog željezničkog prijevoznika SNCF. Između 1978. i 1988. proizvedeno je 111 ovakvih vlakova, te je značajno spomenuti kako je ovaj vlak vozio na prvoj željezničkoj liniji za brze vlakove u Francuskoj, onoj koja je prometovala od Pariza do Lyona i koja je otvorena 1981. godine. TGV Sud-Est (slika 17.) sastojao se od dvije lokomotive i osam putničkih vagona, te je bio dužine 200 metara [44]. Ovi su se vlakovi kretali pomoću voltaže od 25 kV te električnih vodova spomenutim u ranijem tekstu.



Slika 17. TGV Sud-Est

Izvor: [45]

Model vlaka TGV Atlantique počeo se koristiti 1989. godine, te je u uporabi još i danas. Proizvedeno je 105 ovakvih vlakova. TGV Atlantique, skraćenog imena TGV-A, formiran je tako da ima ukupno 12 vagona, od kojih su dvije lokomotive, a 10 su putnički vagoni (Slika 18.). Ovaj je model bio obnavljan u periodu od 2005. godine do 2009. godine, te je prije 2005. godine imao kapacitet za 485 putnika, a nakon 2009. godine za 459 putnika.

TGV Atlantique vlakovi trenutno voze LGV željeznicom za brze vlakove do i od željezničke postaje Paris Montparnasse, a također i rutom između Pariza, La Rochelle, Le Croisic i Toursa.

Još neke od ruta kojima vozi brzi vlak TGV Atlantique su:

- Paris-Rennes-Quimper
- Paris-Rennes-St. Malo/Brest

- Paris-Nantes i
- Paris-Bordeaux [46].



Slika 18. TGV Atlantique

Izvor: [47]

Brzi vlak TGV Reseau, također zvan i TGV-R, konstruirala je tvrtka Alstom između 1992. godine i 1994. godine. TGV Reseau baziran je na prijašnjem modelu brzog vlaka u Francuskoj, TGV Atlantique. Glavna razlika između TGV Reseau i TGV Atlantique je u tome da TGV-R ima osam prikolica. Proizvedeno je 90 vlakova ovog modela, te je najveća brzina koju može postići 320 km/h, što je standardna brzina vožnje za brze vlakove. TGV Reseau je prikazan na slici 19. Vlak je duljine 200,19 metara i širine 2,904 metara, te se pokreće putem električnih vodova pod naponom od 25 kV. TGV Reseau vlakovi najčešće prometuju linijom ParizBruxelles-Amsterdam, te ih se nekada zbog te linije naziva i PBA [44].



Slika 19. TGV Reseau

Izvor: [48]

TGV Duplex je model brzog vlaka u Francuskoj koji je značajan zbog toga što su njegovi vagoni izgrađeni na dvije razine, te predstavlja treću generaciju TGV vlakova. TGV Duplex dizajniran je kako bi se povećao kapacitet putnika koji mogu putovati željeznicom za brze vlakove u Francuskoj. TGV Duplex linija vlakova sastoji se od tri modela:

- Duplex, kojih je proizvedeno 89
- Dasye, kojih je proizvedeno 52, i
- Reseau Duplex, kojih je proizvedeno 19.

TGV Duplex (slika 20.) je linija vlakova koja u odnosu na prijašnje linije ima značajna poboljšanja, kao što su poboljšani aluminijski trupovi, unaprijeđen sustav aerodinamike i tihi ventilatori na stropu vlaka. TGV Duplex je oborio svjetski rekord za brzinu vlaka spomenut u ranijem tekstu.



Slika 20. TGV Duplex

Izvor: [49]

TGV POS je model brzog vlaka u Francuskoj specifičan po tome da vozi najviše po LGV liniji Pariz-istočna Francuska-južna Njemačka, po čemu je i dobio ime (POS predstavlja kraticu za njem. *Paris-Ostfrankreich-Süddeuschlan*). TGV POS model prometuje od 2006. godine, a proizvedeno ih je svega 19. Sastoji se od 2 lokomotive i 8 putničkih vagona, te su još neke od LGV linija po kojima vozi LGV Est, LGV Rhin-Rhone, LGV Sud-Est i LGV Nord [50].

TGV 2N2, također poznat i kao Alstom Avelia Euroduplex, ili samo Euroduplex, predstavlja brzi vlak s vagonima konstruiranim s dvije razine sjedenja putnika, te se može smatrati poboljšanjem TGV Duplexa. TGV 2N2 pušten je u promet 2011. godine, te se sastoji od 2 lokomotive i osam putničkih vagona. Ovaj model brzog vlaka dugačak je 200,19 metara, a širok 2,904 metra.

Također se pokreće putem električnih vodova pod naponom od 25 kV [51].

6. ZAKLJUČAK

Željeznice su jedan od temeljnih načina prijevoza kako putnika, tako i tereta. No, tijekom svoje povijesti željeznički je promet neprestano trebao konkurirati drugim vrstama prometa, kao što je na primjer zrakoplovni promet. Kako bi željezničke kompanije postale što konkurentnije na tržištu, razvijen je sustav željeznice za brze vlakove koja je predstavljala poboljšani i unaprijeđeni sustav dotadašnje željeznice. Prva brza željeznica u Europi sagrađena je u Francuskoj.

Željeznica za brze vlakove u Francuskoj pokriva gotovo cjelokupni teritorij Francuske, a također povezuje Francusku sa susjednim zemljama. LGV sustav željeznice pokazao se kao iznimno popularan, te se cijelo vrijeme nadograđuje kako bi putnicima pružio što bolju uslugu i sigurnije ih doveo na njihovo odredište. Unaprijeđenja LGV željeznice mogu biti u obliku izgradnje novih kolosijeka, što predstavlja strogo standardizirani proces s točno određenim komponentama i koracima kako bi brzi vlakovi u Francuskoj prometovali na najsigurniji mogući način, ili u obliku novih modela TGV vlakova, koji se također mijenjaju kako bi se poboljšala udobnost putnika.

Željeznica za brze vlakove jedna je od najdužih u svijetu, te je na njoj postignut rekord u najvećoj brzini vlaka na svijetu. Također, različite postaje LGV brze željeznice u Parizu, ali i u cijeloj Francuskoj, akumuliraju i akomodiraju iznimno mnogo putnika, što ih svrstava među najprometnije na svjetskoj razini. Željeznički se promet brzim vlakovima može promatrati kao jedna od okosnica prometa Francuske, pa i kao jedan od temelja njezinog uspješnog gospodarstva.

LITERATURA

1. UIC. *High speed rail*. Pariz: UIC Passenger Department; 2018.
2. Direktiva 96/48/EC. *Council Directive 96/48/EC of 23 July 1996 on the interoperability of the trans-European high-speed rail system*; 1996.
3. Lakušić, S, Vajdić, M. Pregled suvremenih kolosiječnih konstrukcija na čvrstim podlogama. *Građevinar*. 2010; 63(2): 125-134.
4. Stipetić, A. *Gornji ustroj željezničkog kolosijeka*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2008.
5. Struna - Hrvatsko strukovno nazivlje. *Kolosiječni zastor*.
Preuzeto s : <http://struna.ihjj.hr/naziv/kolosijecni-zastor/12143/>
6. Gailiene, I, Laurinavičius, A. Potreba i prednost primjene kolosijeka na čvrstoj podlozi: primjer Litve. *Građevinar*. 2017;69(5): 387-396.
7. Knittel, S, Schreiber, C. Renovation of Railway Tunnels under Operation. RTR Special – Maintenance and Renewal, *Eurailpress*. 2007;51-55.
8. ASME. *Tokaido Shinkansen*. Preuzeto s: <https://www.asme.org/about-asme/engineeringhistory/landmarks/211-tokaido-shinkansen> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
9. Japan Guide. *Shinkansen*. Preuzeto s: <https://www.japan-guide.com/e/e2018.html> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
10. Zembri, P. New objectives of the French high-speed rail system within the framework of a highly centralized network: a substitute for the domestic air transport market? *ERSANECTAR special session on High-Speed Rail as a new transport network*; 2011.
11. Watson, I. High-Speed Railway. *Encyclopedia*. 2021;1:665–688.
12. SNCF. *The Railway Network*. Preuzeto s: <https://www.sncf-reseau.com/en/the-railwaynetwork> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
13. OECD. *High Speed Rail Performance in France: From Appraisal Methodologies to Expost Evaluation*. Pariz: International Transport Forum; 2013.
14. The Local. *9 things you might not know about the THV as France's high speed train turns 40*. Preuzeto s: <https://www.thelocal.fr/20210917/9-things-you-might-not-knowabout-the-tgv-as-frances-high-speed-train-turns-40/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]

15. Railway Technology. *TGV France High Speed Railway operated by SNCF*. Preuzeto s: <https://www.railway-technology.com/projects/frenchtgv/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
16. Preuzeto s: <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/zeljeznica.pdf>
17. Delta Railway. *Track Laying Gantry 18m up 36m Panels delivered to ALSTOM transport Thailand*. Preuzeto s; <https://pin.it/2fNAdL8> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
18. Ray Haber. *Što ne znamo o vlakovima. Što je balast?* Preuzeto s: <https://hr.rayhaber.com/2015/01/trenler-hakkinda-bilmediklerimiz-balast-nedir/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
19. Agico group. *Crane rail*. Preuzeto s: <https://railroadrails.com/railroad-rail-for-sale/cranerail/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
20. ArcelorMittal. *Rail 60E1/UIC 60*. Preuzeto s: <https://rails.arcelormittal.com/typesrails/transport-rails/european-standards/rail-uic60-60e1> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
21. Agico group. *Rail fastening system*. Preuzeto s: <http://www.railtrackfastener.com/railfastening/rail-fastening-system.html> (pristupljeno listopad 2022.)
22. Rail Fastener. *Comparison of ballasted track and non-ballasted track*. Preuzeto s: <http://www.rail-fastener.com/ballasted-and-non-ballasted-rail-track.html> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
23. Wikipedija. *LGV Mediterranee*. Preuzeto s: https://en.wikipedia.org/wiki/LGV_M%C3%A9diterran%C3%A9 [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
24. Rail Journal. *French embrace new system to equip high speed lines*. Preuzeto s; https://www.railjournal.com/in_depth/french-embrace-new-system-to-equip-high-speedlines/ [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
25. Railway Gazette. *LGV Est phase 2 opening completes Paris-Strasbourg high speed line*. Preuzeto s: <https://www.railwaygazette.com/high-speed/lgv-est-phase-2-openingcompletes-paris-strasbourg-high-speed-line/42754.article> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]

26. Railway Gazette. *TGV tickets to Figueres on sale*. Preuzeto s: <https://www.railwaygazette.com/home/tgv-tickets-to-figueres-on-sale/35484.article>
[Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
27. Railway Gazette. *Extra funds will speed up French investment*. Preuzeto s: <https://www.railwaygazette.com/news/extra-funds-will-speed-up-frenchinvestment/33784.article> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
28. The Transport Politic. *France approves route for Marseille-Nice TGV*. Preuzeto s: <https://www.thetransportpolitic.com/2009/07/01/france-approves-route-for-marseillenice-tgv/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
29. Trip Advisor. *Paris: Railway Stations*. Preuzeto s: <https://www.tripadvisor.com/Travelg187147-c51032/Paris:France:Railway.Stations.html>
[Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
30. Wikipedia. *List of Paris railways*. Preuzeto s: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Paris_railway_stations [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
31. Eurail. *TGV*. Preuzeto s: <https://www.eurail.com/en/get-inspired/trains-europe/highspeed-trains/tgv> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
32. Paris Info. *Gare du Nord*. Preuzeto s: <https://en.parisinfo.com/transport/73398/Gare-du-Nord> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
33. Seat 61. *Paris Gare du Nord*. Preuzeto s: <https://www.seat61.com/stations/paris-gare-dunord.htm> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
34. Rail Europe. *Strasbourg Gare Centrale*. Preuzeto s: https://www.raileurope.com/en/destinations/stations/strasbourg-garecentrale?from_cws=true [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
35. ACTU. *Commerces, terrasses, restaurant de luxe... la gare de Strasbourg va être transformée, on fait le point*. Preuzeto s: https://actu.fr/grand-est/strasbourg_67482/commerces-terrasses-restaurant-de-luxe-la-gare-de-strasbourg-vaetre-transformee-on-fait-le-point_41365315.html [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
36. Seat 61. *Lyon Part Dieu*. Preuzeto s: https://www.seat61.com/stations/lyon-partdieu.htm#Lyon_St_Exupery [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]

37. Pereira, D I A, Himrane, O, Bon, P, Beugin, J. From French National Signaling Systems to ERTMS: Considering the Evolution of Track-Side Systems. *International Journal of Signal Processing Systems*. 2021;9(2):11-16.
38. Thales. *European Train Control System (ETCS)*. Preuzeto s: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/transport/signalling/signalling-solutions-mainline-rail/european-train-control-system-etcs> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
39. Network Rail. *GSM-R. The railway's mobile communication system*. Preuzeto s: <https://www.networkrail.co.uk/running-the-railway/gsm-r-communicating-on-the-railway/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
40. UIC. *Two billion passengers have travelled on TGV*. Preuzeto s: https://www.uic.org/com/enews/nr/330/article/some-symbolic-thresholds-forhigh?page=thickbox_enews [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
41. Statista. *TGV rail passenger kilometers travelled in France*. Preuzeto s: <https://www.statista.com/statistics/612871/tgv-rail-passenger-kilometres-france/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
42. Wikipedija. *Project V150*. Preuzeto s: https://en.wikipedia.org/wiki/Project_V150#/media/File:TGV_World_Speed_Record_574_km_per_hour.jpg [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
43. Fox News. *French Train Hits 357 MPH Breaking World Speed Record*. Preuzeto s: <https://web.archive.org/web/20110504144012/http://www.foxnews.com/story/0,2933,263542,00.html> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
44. Wikipedija. *SNCF TGV Sud-Est*. Preuzeto s: https://en.wikipedia.org/wiki/SNCF_TGV_Sud-Est [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
45. Trainspo. *TGV Sud-Est*. Preuzeto s: <https://trainspo.com/model/172/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
46. Show Me the Journey. *TGV InOui (Atlantique)*. Preuzeto s: <https://showmethejourney.com/travel-on/train/3-tgv-inoui-atlantique/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
47. Wikipedija. *TGV Atlantique in Tours*. Preuzeto s: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TGV_Atlantique_in_Tours.jpg [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]

srpnja 2022.]

48. Steam Community. *TGV Reseau Carmillon*. Preuzeto s: <https://steamcommunity.com/sharedfiles/filedetails/?id=2616730910> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
49. Rail Pictures. *TGV Duplex Fotos*. Preuzeto s: <https://www.rail-pictures.com/name/gallery/France~High+speed+trains~TGV+Duplex.html> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
50. Wikipedija. *TGV POS*. Preuzeto s: https://en.wikipedia.org/wiki/TGV_POS [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
51. Wikipedija. *Euroduplex*. Preuzeto s: <https://en.wikipedia.org/wiki/Euroduplex> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]
52. Plasser Australia . Preuzeto s: <https://www.plasser.com.au/en/machines-systems/renewaland-laying-of-turnouts/renewal-and-laying-of-turnouts.html>

POPIS SLIKA

Slika 1. Svjetski rekordi brzine željeznica i maksimalne brzine putničkih željeznica od 1940. do 2018.....	3
Slika 2. Primjer kolosijeka sa kolosiječnim zastorom.....	5
Slika 3. Poprečni presjek kolosijeka bez kolosiječnog zastora.....	6
Slika 4. Prikaz vlaka na željeznici za brze vlakove Tokaido Shinkansen.....	9
Slika 5. LGV mreža u Francuskoj.....	12
Slika 6. Vozilo za polaganje kolosijeka.....	15
Slika 7. Dizalice koje se koriste za postavljanje željeznica za brze vlakove.....	16
Slika 8. Tračnice tipa 60 E1.....	17

Slika 9. Sistem pričvršćavanja Nabla	18
Slika10.Kolosijek sa zastorom od tučenca.....	19
Slika 11. Kolosijek LGV željeznice na liniji Lyon-Marseille.....	20
Slika12. Željezničke stanice za brze vlakove u Parizu.....	24
Slika13. Unutrašnjost željezničke postaje Gare du Nord.....	25
Slika14. Gare de Strasbourg.....	26
Slika 15. Godišnji broj putničkih kilometara željeznice za brze vlakove u Francuskoj.....	28
Slika 16. Alstom V150 TGV postiže svjetski brzinski rekord za brze željeznice.....	29
Slika17. TGV Sud-Est.....	31
Slika18. TGV Atlantique.....	32
Slika 19. TGV Reseau.....	33
Slika20. TGV Duplex.....	34

završeučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

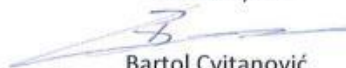
IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad
(vrsta rada)
isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Prometno-tehničke značajke željezničkih pruga za velike brzine u Francuskoj, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, velječa 2023

Student/ica:



Bartol Cvitanović

(ime i prezime, potpis)