Infrastrukturne značajke mreže brzih željeznica u Francuskoj

Milas, Valentin

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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:119:570466

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Valentin Milas

INFRASTRUKTURNE ZNAČAJKE MREŽE BRZIH ŽELJEZNICA U FRANCUSKOJ

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 30. ožujka 2018.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4799

Pristupnik: **Valentin Milas (0248038369)**
Studij: Promet
Smjer: Željeznički promet

Zadatak: **Infrastrukturne značajke mreže brzih željeznica u Francuskoj**

Opis zadatka:

U radu je potrebno istražiti povijesni razvoj brzih željeznica u Europi i svijetu te opisati opće karakteristike kolosijeka za velike brzine. Nadalje, potrebno je detaljno analizirati i prikazati razvoj mreže brzih željeznica na području Francuske, uključujući i sve infrastrukturne elemente kao i vozni park.

Mentor:

Doc. dr. sc. Martin Starčević

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

INFRASTRUKTURNE ZNAČAJKE MREŽE BRZIH ŽELJEZNICA U FRANCUSKOJ

Mentor: Doc. dr. sc. Martin Starčević

Student: Valentin Milas, 0248038369

Zagreb, 2018.

Sažetak

INFRASTRUKTURNE ZNAČAJKE MREŽE BRZIH ŽELJEZNICA U FRANCUSKOJ

Cilj rada je utvrditi temeljne značajke, nastanak i razvoj brzih željeznica u Europi i svijetu te opisati razvoj mreže, infrastrukturne značajke i vozni park brzih željeznica u Francuskoj. Na temelju prikupljenih podataka može se zaključiti da su se brze željeznice u Europi razvile početkom osamdesetih godina u Francuskoj. Mreža brzih željeznica u Francuskoj je dobro razvijena i nalazi se na drugom mjestu u Europi iza Španjolske po broju kilometara pruge velikih brzina. Razvojem vlakova velikih brzina javila se potreba za nadogradnjom i razvojem željezničke infrastrukture te je Francuska mreža u stanju trajne promjene i redovito se modernizira i nadograđuje kako bi se poboljšala mobilnost putnika i prijevoza robe te kako bi se povećala sigurnost prometovanja. Francuski operator za prijevoz putnika danas posjeduje najviše vlakova velikih brzina te posjeduje vlak koji je postavio svjetski brzinski rekord.

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

Summary

INFRASTRUCTURE CHARACTERISTICS OF THE HIGH-SPEED RAIL NETWORK IN FRANCE

The main goal of this paper is to identify basic characteristics, and development of high-speed railway in Europe and in the world, and to describe the development of the network, infrastructure and high-speed train network in France. Based on the collected data it can be concluded that the high-speed railways in Europe were developed in the early 1980s in France. The high-speed network in France is well developed and is second in Europe, behind Spain, with the number of kilometres of high-speed rail. With the development of high-speed trains, the need for upgrading and development of the railway infrastructure has emerged. The French network is in a state of permanent change and is constantly upgraded and modernized to enhance the mobility of passengers and freight transport and to increase traffic safety. The French passenger operator today owns the highest speed trains and has a train that has set the world record in speed.

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

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. TEMELJNE ZNAČAJKE BRZE ŽELJEZNICE 3
   2.1. Značajke kolosijeka velikih brzina 3
   2.2. Kolosijeci za velike brzine s kolosiječnim zastorom 5
   2.3. Kolosijeci za velike brzine bez kolosiječnog zastora 6
3. POVIJESNI RAZVOJ BRZIH ŽELJEZNICA U EUROPI I SVIJETU 8
   3.1. Razvoj brzih željeznica u Japanu 10
   3.2. Razvoj brzih željeznica u Njemačkoj 11
   3.3. Razvoj brzih željeznica u Italiji 12
   3.4. Razvoj brzih željeznica u Španjolskoj 13
   3.5. Razvoj brzih željeznica u Velikoj Britaniji 14
4. RAZVOJ MREŽE BRZIH ŽELJEZNICA U FRANCUSKOJ 15
5. INFRASTRUKTURNE ZNAČAJKE BRZIH ŽELJEZNICA U FRANCUSKOJ 20
   5.1. Izgradnja kolosijeka LGV mreže 20
   5.2. Željezničke stanice na LGV mreži 24
6. VOZNI PARK BRZIH ŽELJEZNICA U FRANCUSKOJ 29
7. ZAKLJUČAK 36
8. POPIS LITERATURE 37
9. POPIS SLIKA 40

1. UVOD

Veliki zamah gospodarskoga razvoja u prvoj polovici 19. stoljeća može se zahvaliti željeznici. Pojava željeznice dovela je do pojačanja pokretljivosti ljudi i razmjene materijalnih dobara u do tada nezamislivim razmjerima. Gdje god je neka pruga bila sagrađena, udaljenosti među naseljima postajale su lakše savladive, gospodarski resursi bolje iskoristivi, kulturološke barijere premostive, a cirkulacija ljudi i ideja intenzivnija. Željeznica se s vremenom neizbrisivo utkala u gospodarski razvoj te postala dio gospodarskog sustava svake zemlje. Ona je postala krvotok gospodarstva i nezaobilazno sredstvo za prijevoz putnika i prijevoz robe. Početkom osamdesetih godina razvila se šira rasprava o potrebi revitalizacije željeznice u Europi i tada se pojavljuje prva brza željeznica na zapadu Europe u Francuskoj.

Upravo zbog toga cilj ovog rada je utvrditi temeljne značajke, nastanak i razvoj brzih željeznica u Europi i svijetu te opisati razvoj mreže, infrastrukturne značajke i vozni park brzih željeznica u Francuskoj. U izradi rada korišteni su sekundarni izvori podataka prikupljeni deskriptivnom analizom internetskih izvora i relevantne stručne te znanstvene literature. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Temeljne značajke brze željeznice
3. Povijesni razvoj brzih željeznica u Europi i svijetu
4. Razvoj mreže brzih željeznica u Francuskoj
5. Infrastrukturne značajke brzih željeznica u Francuskoj
6. Vozni park brzih željeznica u Francuskoj
7. Zaključak

U drugom poglavlju navedeni su kriteriji koje željeznica mora zadovoljiti kako bi po njoj mogli prometovati vlakovi velikih brzina. Objašnjene su značajke kolosijeka velikih brzina i mogućnost izvedbe kolosijeka za vlakove velikih brzina. Konstrukcije se odnose na kolosijeke sa kolosiječnim zastorom i konstrukcije kolosijeka na tvrdoj podlozi odnosno bez kolosiječnog zastora.

U trećem poglavlju ukratko je opisan nastanak prve željezničke pruge, objašnjen je povijesni nastanak brzih željeznica kao i razvoj vlakova velikih brzina u Japanu, Njemačkoj, Italiji,

Španjolskoj i Velikoj Britaniji. Prikazane su i nacionalne mreže brzih željeznica pojedine države.

Četvrto poglavlje rada odnosi se na razvoj mreže brze željeznice u Francuskoj te je opisan način rada željeznice i pojedinosti francuskog željezničkog sustava. Također su navedene linije kojima prometuju vlakovi velikih brzina. U poglavlju su opisani i drugi vlakovi koji prometuju na francuskim mrežama te su dani podaci koliko takvih vlakova dnevno prometuje na mreži.

Kod infrastrukturnih značajki mreže brzih željeznica u Francuskoj navedene su vrste tračnica, pragova i kolosiječnog pričvrsnog pribora koji se koriste za izgradnju kolosijeka za mrežu velikih brzina. Također su navedene karakteristike određenih željezničkih stanica.

U šestom poglavlju opisani su vlakovi koji prometuju na francuskoj željezničkoj mreži i njihove maksimalne brzine prometovanja. Također je opisani prvi francuski vlak velikih brzina i vlak koji je postavio brzinski rekord za tračnička vozila. U poglavlju su navedeni i vlakovi koji prometuju između Francuske i drugih željezničkih uprava te njihova obilježja i karakteristike.

2. TEMELJNE ZNAČAJKE BRZE ŽELJEZNICE

Željeznicu velikih brzina, prema međunarodnoj željezničkoj organizaciji (*Union Internationale des Chemins de fer* – UIC), obilježava prometovanje brzinom većom od 250 km/h, odnosno to je jedan od važnijih kriterija za dobivanje statusa željeznice velikih brzina. Da bi se željeznica mogla nazivati željeznicom velikih brzina (*High Speed Rail* – HSR) potrebno je zadovoljiti još neke kriterije [1]. Ti kriteriji su:

1. Posebne vrste vlakova

Prometovanje velikim brzinama zahtjeva posebne vrste vlakova koji se razlikuju od uobičajenih konvencionalnih vlakova. Vlakovi moraju imati povoljan omjer snage i težine i druge odgovarajuće tehničke uvjete kao što su aerodinamički uvjeti, pouzdanost i sigurnost [1].

2. Posebno izgrađene linije

Linije na kojima prometuju samo vlakovi velikih brzina za prijevoz putnika, odnosno po njima se ne kreću teretni vlakovi. Konvencionalne linije, čak i kod većih nadogradnji, ne mogu osigurati prometovanje pri brzinama većim od 220 km/h. Parametri slojeva, poprečni presjeci, kvaliteta kolosijeka, kablovi i opskrba električnom energijom te posebni okolišni uvjeti moraju biti u stanju održati visoke radne brzine [1].

3. Posebni sustav signalizacije

Posebnost signalnog sustava je u tome da pri brzini većoj od 200 km/h nema jamstva da će standardni signal biti uočen na vrijeme te je stoga neophodna kabinska signalizacija za rad pri velikim brzinama [1].

2.1. Značajke kolosijeka velikih brzina

Razvojem vlakova velikih brzina javila se potreba za nadogradnjom i razvojem željezničke infrastrukture. Zbog povećanja brzine koja stvara veće sile i otpore bilo je potrebno uvesti nove standarde u izgradnji infrastrukture. Razvoj kolosijeka za velike brzine temeljen je na sljedećim zahtjevima:

- Projektna brzina
- Duljina kolosijeka
- Osovinsko opterećenje
- Namjena kolosijeka (mješoviti promet ili samo putnički) [2].

Ti zahtjevi određuju konstrukciju kolosijeka odnosno oblikovanje trase. U svrhu postignuća sigurnosti vožnje, kolosijek za velike brzine, ovisi o pravilno odabranim i izvedenim elementima, a to su:

- Veličina polumjera horizontalnih lukova
- Oblik i duljina prijelaznih lukova
- Oblik prijelaznih rampi
- Veličina vertikalnih polumjera (promjena nagiba i razine kolosijeka) [2].

Zbog smanjenja utjecaja prometa na okoliš i rješavanja problema oko trasiranja kolosijeka, europsko iskustvo govori da se, u gusto naseljenim područjima, kolosijeke treba voditi u blizini postojećih autocesta jer se tako smanjuje zauzeće prostora, smanjuje utjecaj na prirodu, smanjuje broj poprečnih konstrukcijskih građevina i utjecaj buke na okoliš [2].

Postoje dva osnovna načina vođenja trase kolosijeka:

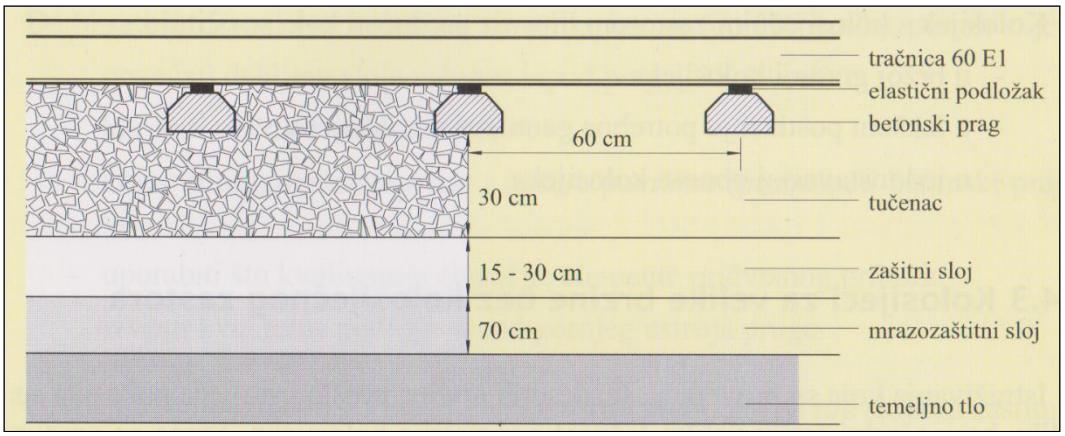
- Vođenje trase kolosijeka uz maksimalno praćenje konfiguracije terena (uporaba maksimalnih dopuštenih uzdužnih nagiba 35‰ ili 40‰)
- Vođenje trase kolosijeka s malim uzdužnim nagibima (korištenje velikih pružnih građevina) [2].

Trasiranje željezničkog kolosijeka određuje se u skladu s parametrima za projektiranje željezničkog kolosijeka velikih brzina utvrđenih na temelju europskih normi. Minimalni polumjer lukova utvrđuje se temeljem dopuštenih vrijednosti neponištenog bočnog ubrzanja i u pravilu je karakterističan za svaku zemlju posebno, a za Francusku se on kreće u granicama od 0,85 – 1,00 m/s^2. U pojedinim zemljama korišteni su i različiti minimalni polumjeri lukova, a za Francusku oni iznose 4000 metara za brzine od 300 km/h. Najveće dopušteno nadvišenje vanjske tračnice kolosijeka u luku iznosi h = 180 mm [2].

2.2. Kolosijeci za velike brzine s kolosiječnim zastorom

Gornji ustroj kolosijeka za velike brzine s kolosiječnim zastorom (slika 2.1.) ima sve elemente klasičnog kolosijeka:

- Tračnice tipa 60 E1 zavarene u dugi trak
- Prednapete betonske pragove duljine 2,60 m i razmaka 60 cm
- Elastični kolosiječni pričvrsni pribor
- Kolosiječni zastor od tučenca debljine 30 cm ispod praga
- Zaštitni sloj ravnika (tampon)
- Sloj za zaštitu od smrzavanja [2].



Slika 2.1. Konstrukcija kolosijeka sa zastorom od tučenca [2]

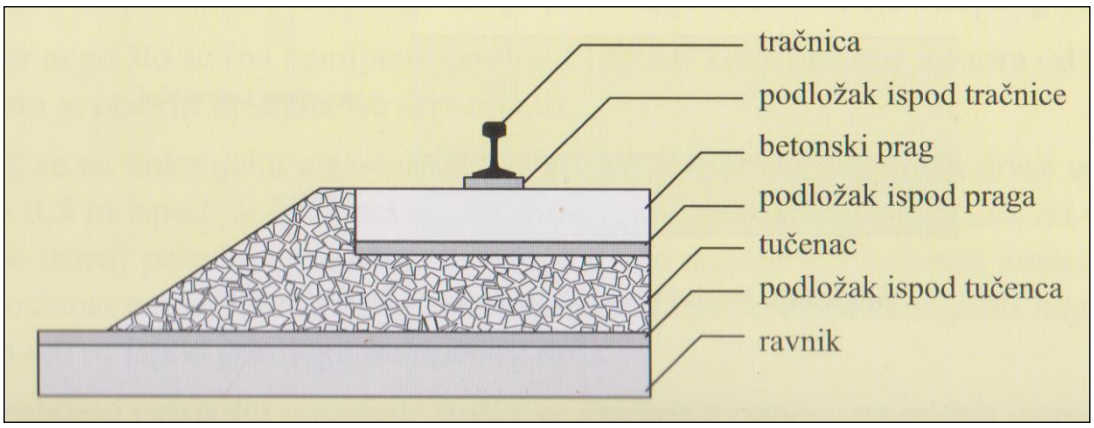
Iako kolosijek za velike brzine sa zastorom od tučenca ima sve elemente klasičnog kolosijeka, ponašanje toga kolosijeka pod prometom vlakova velikih brzina nije jednako pri prometu klasičnih vlakova manjih brzina [2].

Praćenjem ponašanja kolosijeka uočavaju se nejednake pojave slijeganja, pogreške u položaju kolosijeka, veća oštećenja zastora od tučenca. To se posebno primjećuje na mjestima pogreške na tračnicama, zavarenim i izolacijskim spojevima [2].

Takvo ponašanje kolosijeka pripisuje se visokofrekventnim vibracijama koje proizvodi promet velikih brzina. Kako bi se spriječila oštećenja kolosijeka, treba tražiti optimizaciju konstrukcije kolosijeka na kolosiječnom zastoru od tučenca sljedećim konstrukcijskim zahtjevima:

- Naprezanje u nožici tračnice $\leq$ 60 N/mm^2
- Dopušteno utonuće tračnice $>$ od 1,2 mm
- Modul kolosiječnog zastora od tučenca $\leq$ 0,1 N/mm^2 [2].

Tražena elastičnost može se postići ugradnjom elastičnih elemenata ispod tračnice , praga ili kolosiječnog zastora od tučenca (slika 2.2) [2].



Slika 2.2. Ugradnja elastičnih elemenata [2]

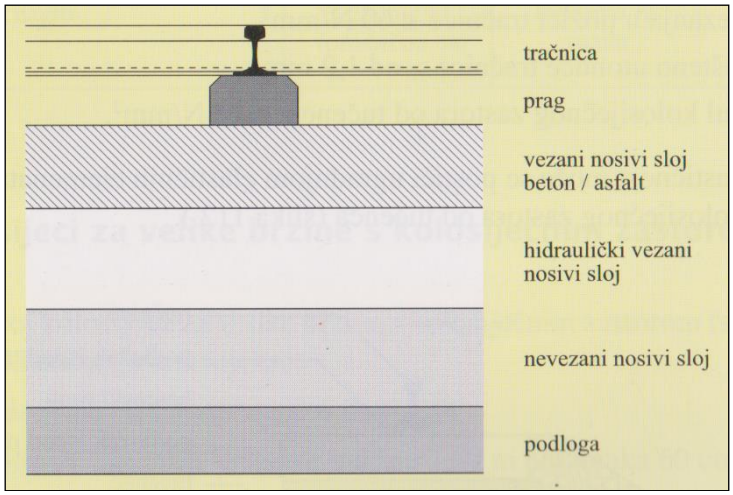
Prednosti kolosijeka sa kolosiječnim zastorom su:

- Brža gradnja kolosijeka
- Lakše postizanje potrebne geometrije kolosijeka
- Jednostavna obnova kolosijeka [2].

2.3. Kolosijeci za velike brzine bez kolosiječnog zastora

Kako na klasičnom kolosijeku s kolosiječnom rešetkom dolazi do slijeganja kolosiječne rešetke, prilikom prolaska vlaka, traženi su materijali i rješenja kojima bi se smanjila ta slijeganja i troškovi održavanja kolosijeka. U uporabu se stavljaju betonski i asfaltni nosivi slojevi koji pri reguliranim uvjetima pokazuju samo neznatne plastične deformacije (slika 2.3). Kako ti slojevi imaju veliku krutost, potrebni elasticitet ostvaruje se postavljanjem elastičnih elemenata ispod tračnica ili pragova [2].

Kolosijek na čvrstoj podlozi zahtjeva višeslojnu gradnju nosivog sustava kako bi se izbjegla naprezanja i jamčila dugoročna postojanost kolosijeka [2].



Slika 2.3. Konstrukcija kolosijeka na čvrstoj podlozi [2]

Da bi se osigurao dobar kolosijek za velike brzine potrebno je:

- Povećati debljinu sloja tučenca ispod praga (35 – 40 cm)
- Koristiti tračnice veće mase (60E1)
- Koristiti pragove veće mase i nosive površine
- Primijeniti što kvalitetnije elastične elemente pričvrsnog pribora
- Izvesti kvalitetne podloge ispod gornjeg ustroja pruge [2].

3. POVIJESNI RAZVOJ BRZIH ŽELJEZNICA U EUROPI I SVIJETU

Početak željezničkog prijevoza započinje puštanjem u promet prve željezničke pruge na svijetu (Stockton – Darlington, 1825. godine) dugačke 41 km s brzinom teretnog vlaka od 15 km/h. Senzacionalno konstrukcijsko rješenje lokomotive „Rocket“, inženjera Georga Stephensona, 1829. godine dostiže najveću brzinu od 50 km/h. Lokomotiva Rocket prometuje na drugoj pruzi u povijesti između Manchestera i Liverpoola dugačkoj 50 km. Inženjer Stephenson postavio je temelje napretka i usavršavanja željeznice što je omogućilo da krajem 19. stoljeća u Velikoj Britaniji i Njemačkoj vlakovi u redovnom prometu voze brzinom od 90 do 100 km/h [3]. U vrlo kratkom periodu su postignute još veće brzine. 1854. godine postignuta je brzina od 130 km/h dok je brzina od 200 km/h postignuta već početkom 20. stoljeća. To su bile rekordne brzine dok je redovan promet bio organiziran za brzinu od 180 km/h (najveća brzina) odnosno za 135 km/h komercijalne brzine (prosječna brzina) [4].

Sredinom 20. stoljeća, točnije 1955. godine, u europskim gospodarskim silama poput Italije, Njemačke, Ujedinjenog Kraljevstva i Francuske postignute su brzine od nevjerojatnih 331 km/h. Te države ujedno su bile i začetnice željeznica velikih brzina, međutim nije trebalo dugo čekati kako bi i druge svjetske sile počele razvijati svoje sustave i tehnologiju koja bi im omogućila globalno natjecanje u ovom području. Tako je 1964. godine u Japanu otvorena nova željeznička pruga koja i danas povezuje Tokyo Central i Shin Osaku sa brzinom prometovanja od 210 km/h (*eng. Shinkansen railway*). Bila je to prva željeznička pruga na svijetu koja je imala vlastitu tehnologiju i koja je počela graditi brzu željeznicu kao buduću okosnicu putničkog prometa u Japanu. Japanci su svojim brzim vlakom započeli eru brze željeznice (*eng. High Speed Railway – HSR*) [4].

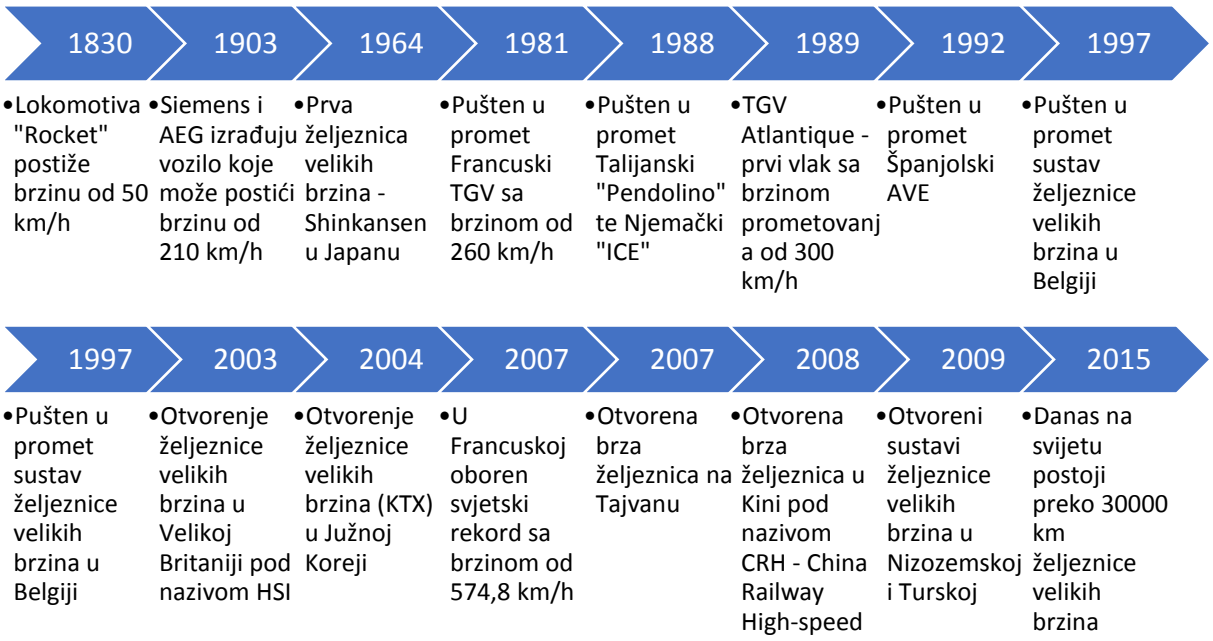
Ubrzo nakon otvaranja Shinkansen-a i ostale Europske velesile poput Italije, Njemačke, Francuske i Ujedinjenog Kraljevstva započele su sa ubrzanim razvojem tehnologije za željeznicu velikih brzina. Francuska je prva država koja je nakon Japanskog Shinkansena izgradila i u promet pustila prvu prugu za velike brzine koja povezuje Pariz i Lyon pod nazivom *Train à Grande Vitesse* (TGV). Pruga je otvorena 1981. godine sa maksimalnom brzinom od 260 km/h, a od Japanskog sustava razlikovala se po tome što je kompatibilna sa

ostatkom željezničkog sustava. To je ujedno i službeni početak željeznice velikih brzina na Europskom kontinentu [4].

Nakon otvorenja TGV linije u Francuskoj uslijedilo je otvaranje željeznica velikih brzina u Njemačkoj (1988.), Španjolskoj (1992.), Belgiji (1997.), Ujedinjenom Kraljevstvu (2003.) te Nizozemskoj (2009.). Osim Europskih željeznica, sustavi željeznice velikih brzina otvarani su i diljem svijeta, uglavnom u Aziji i to u Kini 2003. godine, Južnoj Koreji 2004. godine, Tajvanu 2007. i Turskoj 2009. godine. Godinu prije puštanja u promet brze željeznice u Turskoj, u Kini je započeta nova era svjetske željeznice velikih brzina. Danas je Kineska mreža dulja od 20.000 km na kojoj prometuje flota od preko 1.200 vlakova koji godišnje prevezu preko 800 milijuna putnika (podaci za 2014. godinu) [4].

Danas se željeznica velikih brzina razvija i dalje pri čemu je potrebno istaknuti Sjedinjene Američke Države, Saudijsku Arabiju i Maroko kao države koje su najbliže otvaranju sustava velikih brzina [4]. Povijesni razvoj brzih željeznica u Europi i svijetu prikazan je u Grafikonu 1.

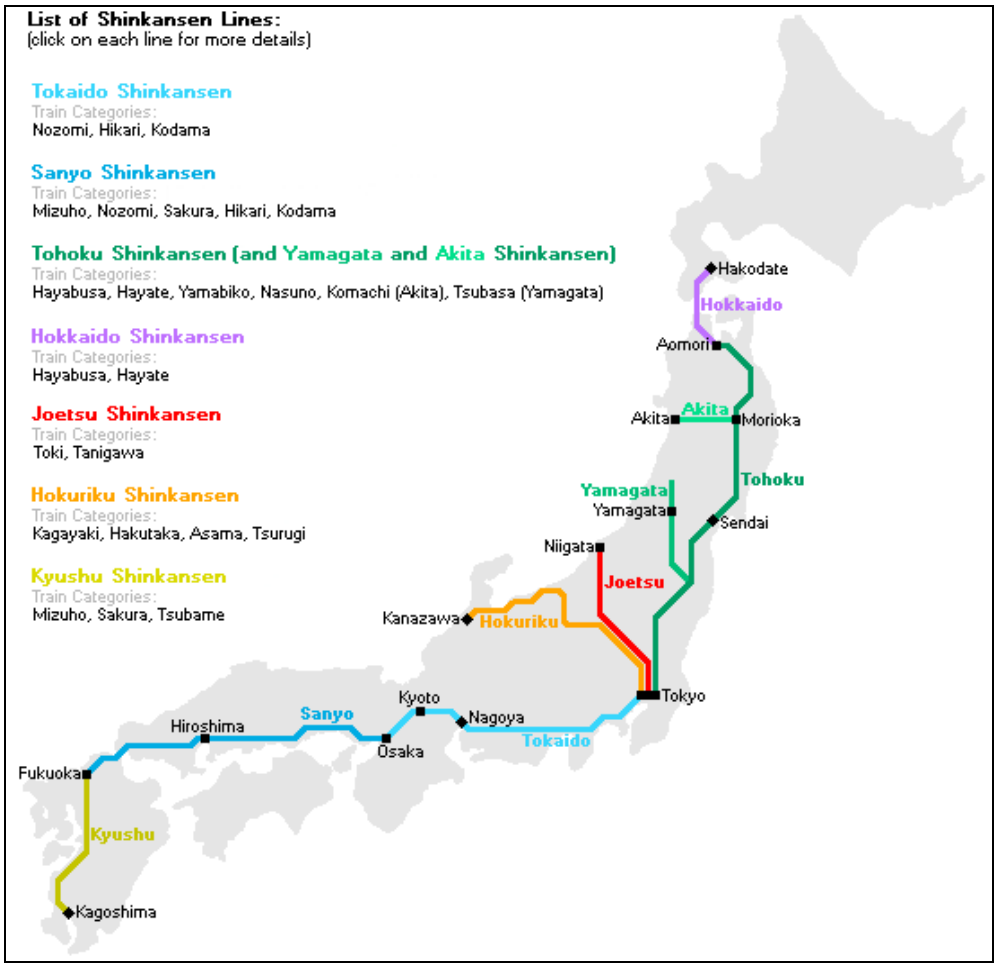
Grafikon 1. Povijesni razvoj željeznice velikih brzina [4]



3.1. Razvoj brzih željeznica u Japanu

Shinkansen (doslovno značenje je "nova magistrala") je mreža vlakova velikih brzina u Japanu čiji su operator četiri kompanije Grupe japanskih željeznica (*Japan Railways*, JR). Mreža se od puštanja u promet 1964. godine proširila na oko 2460 km i povezuje gotovo sve velike gradove na otocima Honshu i Kyushu, a vlakovi postižu brzine i do 300 km/h. Mreža je izgrađena po najvišim sigurnosnim standardima te u skladu s tim korišten je poseban tip tračnica, kolosijeka bez kolosiječnog zastora i ostali dijelovi infrastrukture koji se koriste za željeznice velikih brzina. Posebnost ove mreže je ta što u 54 godina prometovanja nije bilo niti jedne nesreće [5].

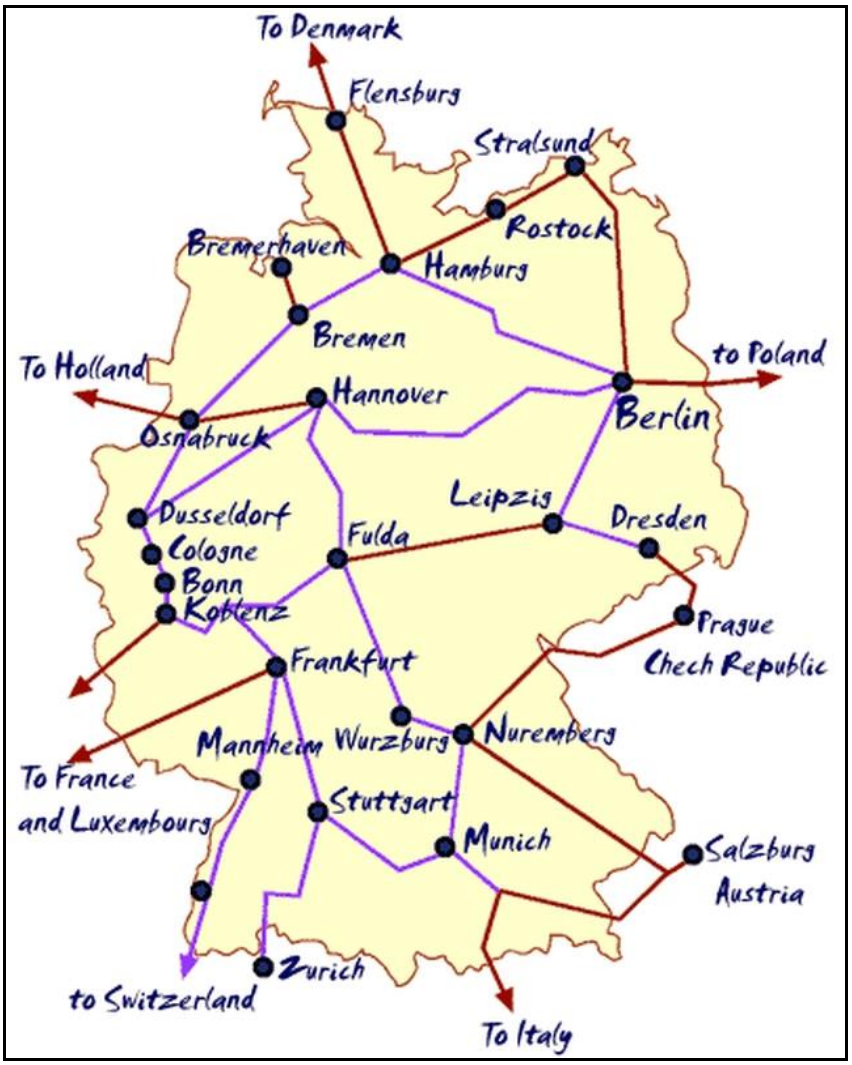
Sve željezničke linije (slika 3.1) pravljene su isključivo za Shinkansen vlakove (osim Akita i Yamagata Shinkansen).



Slika 3.1. Mreža pruga Shinkansen [6]

3.2. Razvoj brzih željeznica u Njemačkoj

Njemački sustav vlakova velikih brzina (eng. Intercity Express - ICE) pušten je u promet 1991. godine i spaja najveće Njemačke gradove (slika 3.2). Na razvoju sustava njemačkih brzih željeznica započeto je 1985. godine dok se na samoj infrastrukturi krenulo raditi 1973. godine. Prva otvorena pruga velikih brzina povezivala je Hannover i Würzburg duljine 327 km te je to ujedno i najduža pruga velikih brzina u Njemačkoj. Na njemačkim prugama prometuje nekoliko vrsta brzih vlakova, a to su ICE1, ICE2, ICE3 te posljednja generacija ICE4 s maksimalnom brzinom od 250 km/h. Ti vlakovi rade na sustavu napajanja 15 kilovolti (kV) i 16,6 herca (Hz) [7].



Slika 3.2. Pruge velikih brzina u Njemačkoj [8]

3.3. Razvoj brzih željeznica u Italiji

Željezničkim sustavom u Italiji upravlja Trenitalia zajedno s nekoliko drugih privatnih željezničkih tvrtki. Željeznička mreža je dobro razvijena i široko rasprostranjena posebno između većih urbanih centara i turističkih područja (slika 3.3). Najbrže usluge prijevoza vlakom djeluju između većih gradova dok je usluga prijevoza između manjih gradova nešto sporija [9].

Prva pruga velikih brzina u Italiji otvorena je 1989. godine povezujući gradove Milano i Rim vlakom *Pendolino* koji dostiže najveću brzinu od 250 km/h. Talijanska mreža brzih željeznica sastoji se od dvije linije koje povezuju većinu glavnih gradova. Prva linija povezuje Torino sa gradom Salernom preko Milana, Bologne, Firenze, Rima i Napulja dok druga spaja Torino s Venecijom preko Milana [10].

Slika 3.3. Pruge velikih brzina u Italiji [11]

3.4. Razvoj brzih željeznica u Španjolskoj

Španjolski sustav vlakova velikih brzina (*Alta Velocidad Espańola – AVE*) pušten je u promet 20. travnja 1992. godine. Prva linija velikih brzina povezuje gradove Madrid i Sevillu, a duljina linije iznosi 471 km. Danas linije mreže brzih željeznica u Španjolskoj obuhvaćaju preko 3100 km pruge što je čini najduljom u Europi (slika 3.4). Vlakovi voze između svih većih gradova brzinama između 250 i 300 km/h. Željezničkom infrastrukturom vlakova velikih brzina u Španjolskoj upravlja nacionalna tvrtka *Adif* (*španj. Administrador de Infraestructuras Ferroviarias*) dok usluge prijevoza na AVE linijama pruža kompanija *Renfe* (*španj. ed Nacional de Ferrocarriles Españoles*) [12].

Slika 3.4. Pruge velikih brzina u Španjolskoj [13]

3.5. Razvoj brzih željeznica u Velikoj Britaniji

Britanski sustav vlakova velikih brzina (*High Speed 1* – HS1) jedan je od manjih sustava, a izgrađen je u dvije dionice. Prva dionica od 74 kilometra otvorena je 2003. godine od tunela Channel do čvorišta Fawkhaw, dok je druga dionica duljine 39,4 kilometra otvorena 2007. godine i povezuje Kent s Londonom. Maksimalna brzina na prvoj dionici je 300 km/h dok se na drugoj dionici prometuje brzinom od 230 km/h. Britanska vlada donijela je odluku kojom se odlučila povezati London i Glasgow novom brzom linijom HS2 (*High Speed 2*), ali trase tih linija nisu još potpuno definirane. Nova mreža bi trebala bit gotova 2030. godine i povezivati gradove Manchester, Birmingham i Liverpool (slika 3.5) [14, 15].

Slika 3.5. Pruge velikih brzina u Velikoj Britaniji [16]

4. RAZVOJ MREŽE BRZIH ŽELJEZNICA U FRANCUSKOJ

Francuska željeznička mreža u stanju je trajne promjene te se redovito modernizira i nadograđuje kako bi se poboljšala mobilnost putnika i prijevoza robe te kako bi se povećala sigurnost prometovanja. Na mreži vlakovi prometuju na više od 30000 kilometara željezničkih linija uključujući i preko 2600 kilometara mreže za vlakove velikih brzina (slika 4.1). U Francuskoj je elektrificirano 15687 kilometara željezničke pruge koje rade na sustavu napajanja od 25 kV, 50 Hz i 1,5 kV. Na željezničkim linijama južno od Pariza, 5863 kilometara pruge radi na napajanju od 1,5 kV. Taj sustav je u povijesti bio još raširenijі, ali se postepeno uvodio jednofazni strujni sustav od 25 kV koji je moderniji i jeftiniji [17].

Slika 4.1. Kolosijeci za vlakove velikih brzina [18]

Na mreži se nalazi 1576 tunela (slika 4.2) čija je ukupna duljina 656 km, 1201 pješačkih prijelaza i 2200 signalnih kutija. Na tradicionalnim linijama vlakovi prometuju brzinom od 160 km/h po međunarodnim standardima i 200 km/h na nekoliko moderniziranih dionica bez prijelaza u istoj razini [17].

Slika 4.2. Kolosijek za vlakove velikih brzina u tunelu [19]

Za neke TGV dionice prometuje se brzinom od 220 km/h dok na većini linija vlakovi voze brzinom od 300 km/h. Na istočnoj liniji te na liniji Pariz- Bordeaux vlakovi prometuju brzinom od 320 km/h [17].

Francuska se smatra pionirom u javnom prijevozu putnika, posebno u prijevozu putnika vlakovima velikih brzina. Sa više od 2600 km pruge za vlakove velikih brzina Francuska se nalazi na drugom mjestu u Europi iza Španjolske (slika 4.3). Brzi vlakovi u Francuskoj poznati su kao TGV (*Train a Grande Vittesse*) dok se željeznička mreža za velike brzine naziva LGV (*Lignes a Grande Vitasse*). Na prvom putovanju, 1981. godine kada je i otvorena prva pruga velikih brzina u Francuskoj, prometovalo se brzinom od 260 km/h između Pariza i Lyona. Brzina je u proteklim desetljećima rasla te sada iznosi 320 km/h [17, 20].

Slika 4.3. Pruge velikih brzina u Francuskoj [21]

Standardna LGV mreža elektrificirana je naponom od 25 kV, ali postoji i 1,5 kV napajanje južno od Pariza. Svi TGV kompleti su najmanje dvosustavni što znači da mogu raditi na napajanju od 25 kV i od 1,5 kV. Većina LGV mreže koristi se samo za promet TGV vlakova. Vlakovi mogu koristiti postojeće linije, osobito za pristup gradovima i utvrđenim postajama s brojnim klasičnim rutama koje se bitno preuređuju kako bi se omogućilo redovito korištenje TGV- a. Kako bi se produžio životni vijek tračnica, odnosno kolosijeka, propisi dozvoljavaju osovinsko opterećenje od 17 tona po osovini tamo gdje voze TGV- ovi [17, 22].

Od otvorenja prve pruge 1981. do 2008. izgrađene linije LGV- a su:

- LGV Sud – Est (Pariz – Lyon) - 1981. godina
- LGV Atlantique (Pariz – Le Mans i Tours) - 1990. godina
- LGV Rhone – Alpes (Lyon – Valence) - 1992. godina
- LGV Nord (Pariz – Lille/ Channel Tunnel) – 1993. godina
- LGV Méditerranée (Valence – Marseille) - 2001. godina
- LGV Est (Pariz - Baudrecourt) – 2007. godina [23].

Channel Tunnel je 50,5 km dug željeznički tunel koji povezuje Francusku i Ujedinjeno Kraljevstvo te je to treći najduži željeznički tunel na svijetu [23].

Francuska je prva zemlja u Europi po broju prevezenih putničkih kilometara ostvarenih u vožnji vlakovima velikih brzina sa 53 milijarde putničkih kilometara, a ukupno 92,4 milijarde putničkih kilometara u 2013. godini računajući i ostale vlakove koji prometuju u Francuskoj u službi nacionalnih željeznica. Po broju tona kilometara Francuska je treća u Eurpi sa 32 milijarde tona kilometara iza Njemačke i Poljske (112 i 40 milijardi tona kilometara u 2013.godini) [24].

Vlakovi koji svakodnevno prometuju Francuskom nacionalnom mrežom su:

- TER- regionalni ekspres vlakovi
- TGV- vlakovi velikih brzina
- Ile- de- France- Transilien vlakovi
- Intercites vlakovi
- Teretni vlakovi [17].

TER (Regionalni ekspres vlakovi) su vlakovi koji prevezu više od milijun putnika dnevno u 20 francuskih regija što čini putnike mobilnijima i pojednostavljuje veze s glavnim linijama Francuskih nacionalnih željeznica (SNCF-a). Na mreži, gdje prometuju TER vlakovi, nalazi se 5000 kolodvora i stanica [25].

Ile- de- France Transilien vlakovi su vlakovi koji prometuju na 1280 km mreže i prevezu više od 3 miliona putnika. *Transilien* vlakovima uprvljaju radnici *Ile- de- Francea* kako bi osigurali mobilnost putnika u cijelom Parizu te unutar i između još 200 gradova u Francuskoj. Na mreži gdje prometuju *Transilien* Vlakovi nalazi se 385 kolodvora i stanica [26].

Intercités vlakovi su vlakovi koje su uvele Francuske nacionalne željeznice (SNCF) kako bi označili usluge prijevoza koje se razlikuju odnosno ne odnose na usluge prijevoza velikim brzinama. Ovi vlakovi prometuju na „klasičnoj“ mreži u Francuskoj [27].

Na mreži dnevno prometuje oko 7000 TER vlakova, 1070 vlakova velikih brzina, oko 5000 Ile-de- France (Transilien) vlakova te oko 800 teretnih vlakova. Kako bi SNCF (upravitelj francuskih nacionalnih željeznica) mogao regulirati velikim brojem vlakova na mreži od ukupno 30000 km koriste se signalni i sigurnosni sustavi:

- 15000 prijelaza u razini koji se redovito nadograđuju i osiguravaju
- 2200 signalnih kutija uključujući 1250 električnih stanica [17].

Rad na TGV-u započeo je u rujnu 1975. godine, a pruga je otvorena u rujnu 1981. godine između Pariza i Lyona. Linija prema jugozapadu (LGV Atlantique) otvorena je 1990. godine, a 1993. prema sjeveru (LGV Nord). U 2017. godini Francuska ima više od 2600 kilometara pruge za velike brzine. Francuski parlament usvojio je zakon o nacionalnoj prometnoj infrastrukturi kojim se obvezao da će do 2030. godine Francuska imati 4000 kilometara željezničke pruge za velike brzine [28].

Kada se govori o brzim željeznicama valja spomenuti da su Francuzi postavili svjetski rekord u brzini vlakova, adhezijskim prijenosom, koji iznosi 574,8 km/h. Rekord je postignut tijekom testiranja prototipa vlaka AGV tvrtke Alstom, odnosno modificiranog, skraćenog TGV Duplex vlaka (slika 4.4). Rekord je postavljen na dionici između Pariza i Baudrecourta [29].

Slika 4.4. AGV vlak tvrtke Alstom [30]

5. INFRASTRUKTURNE ZNAČAJKE BRZIH ŽELJEZNICA U FRANCUSKOJ

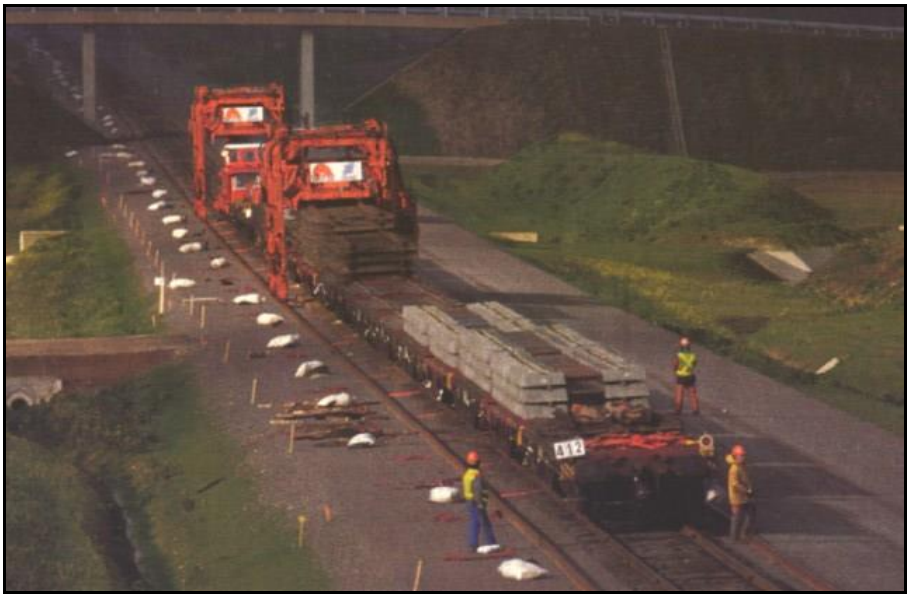
5.1. Izgradnja kolosijeka LGV mreže

Rad na liniji brze željeznice LGV započeo je uklanjanjem gornjeg sloja zemlje. Temelji za kolosijeke ugrađeni su u krajolik pomoću različitih teških strojeva poput buldožera. Izgrađene su sve fiksne konstrukcije koje uključuju mostove, nadvožnjake, podvožnjake, tunele i slično. Konstruirana su postrojenja za odvodnju oborinskih voda, a posebno su značajni veliki kanali na obje strane kolosijeka. Postavljen je sloj kompaktnog šljunka na kolosijeku koji je zbijen valjcima te pruža odgovarajuću površinu za vozila s gumama (slika 5.1). Postupak polaganja kolosijeka nije osobito specijaliziran za brze linije već se primjenjuju opće tehnike za kolosijek koji koristi neprekinute zavarene tračnice. Međutim, LGV mreža treba odgovoriti na stroge zahtjeve koje diktiraju materijali, njihove dimenzije i mjerne tolerancije koje se koriste. Kako bi se pruga mogla položiti koriste se dizalice koje imaju gumene kotače, a služe za polaganje montažnih rešetki koje se polažu u dva kolosijeka jer su sve LGV pruge dvokolosiječne [31].

Slika 5.1. Polaganje kolosijeka na zbijeni šljunak [31]

Svaka rešetka je duga 18 metara i pričvršćena je drvenim pragovima. U toj fazi ne koristi se balast (kamen tučenac između tračnica koji pruža stabilnost tračnicama) jer je pruga privremena. Nakon što se postavi montažna rešetka, radni vlak vučen Diesel lokomotivom dovozi dijelove zavarene tračnice koji se ugrađuje na prvi kolosijek. Tračnice dolaze iz tvornice u različitim duljinama od 200 do 400 metara. Tračnice se dovoze na nekoliko vozila

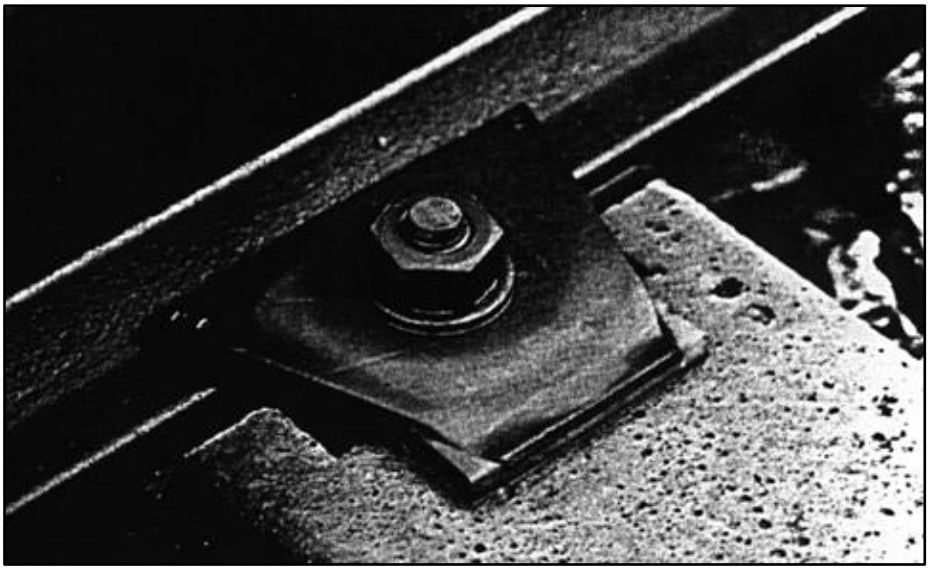
koje se istovaruju posebnim dizalicama, a radnja se obično vrši noću zbog toplinskih razloga (slika 5.2). Sama tračnica je prema UIC standardu mase od 60 kg/m odnosno tračnica tipa 60 E1 s vlačnom čvrstoćom od 800 N/mm [31].



Slika 5.2. Istovar tračnica [31]

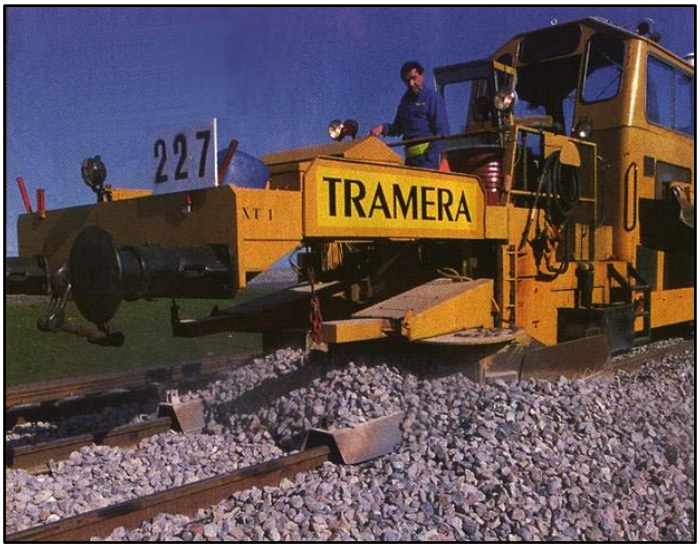
Za sljedeći korak ponovno se koriste dizalice koje se kreću po dvije privremene tračnice te na gradilište dolazi teretni vlak napola napunjen LGV kolosiječnim rešetkama. Dizalice uklanjaju privremene kolosiječne rešetke na drvenim pragovima i stavljaju ih na praznu polovicu vlaka. Zatim se uzima do 30 betonskih pragova koji se postavljaju na odgovarajući razmak od 60 cm. Pragovi se postavljaju na zbijeni šljunčani sloj gdje se nalazila privremena kolosiječna rešetka [31].

Pragovi su dvostruko armirani, širine 2,4 metra i mase od 245 kg. Na pragove su tvornički ugrađeni gumeni slojevi od 9 mm koji se koriste kako bi se izbjeglo pucanje pragova i smanjile vibracije prilikom vožnje vlaka. Također je tvornički ugrađen pričvrsni pribor tipa Nabla RNTC (slika 5.3) koji spaja tračnice i pragove. Za podizanje tračnica koristi se stroj koji vozi po tračnicama baš kao i dizalice kako bi u svakom prolasku pomaknuo tračnice prema unutra preko krajeva pragova do odgovarajuće mjere. Tračnice se zatim spuštaju na gumene podloške, a radnici pomoću pneumatskog stroja sa unaprijed određenim zakretnim momentom pritežu pričvrsni pribor i fiksiraju tračnice. Tračnice su nagnute prema unutra na nagibu od 1:20 [31].



Slika 5.3. Pričvrsni pribor tipa Nabla RNTC [31]

Tračnice su zavarene pomoću legure aluminija i željeza, a to je mješavina praha aluminija i hrđe te je idealan za spajanje željezničkih dijelova u jednu cjelinu. Spajanje se provodi aluminotermnim strojem za zavarivanje i nakon toga se varovi bruse do profila tračnice što rezultira dobrom vezom između zavarenih dijelova. Sljedeći korak se sastoji od popunjavanja dubokog ležišta balasta ispod novog kolosijeka. Balast se širiti ravnomjerno oko tračnica pomoću posebnog vlaka koji je vučen s jednim ili dva Diesel motora. Ako se vlak zaustavi balast se može gomilati preko tračnica. Prvi sloj balasta baca se izravno na tračnice, a stroj za nabijanje i niveliranje koji vozi po tračnicama tjera kamenje ispod pragova (slika 5.4). Svaki prolaz ovog stroja može podići razinu kolosijeka za 8 cm pa je potrebno nekoliko prolazaka kako bi se osigurao sloj od najmanje 32 cm ispod praga. Balast se također nagomilava na svaku stranu kolosijeka radi bočne stabilnosti. Stroj provodi početno poravnavanje tračnica, a zatim regulator balasta ravnomjerno distribuira balast. Na kraju dinamički vibrator trese tračnice i posljednji put nabija i poravnava kolosijek [31].



Slika 5.4. Stroj za nabijanje i niveliranje [31]

Kada je prvi kolosijek dovršen započinje rad na drugom kolosijeku. Nije potrebno položiti privremeni kolosijek jer se vlakovi voze po prvom kolosijeku te dovoze betonske pragove i postavljaju se tračnice istim postupkom kao i za prvi kolosijek (slika 5.5) [31].

Slika 5.5. Izgradnja drugog kolosijeka [31]

Nakon izgradnje oba kolosijeka potrebno je podignuti električne vodove i postaviti naponske žice. Čelične grede koje nose naponske žice postavljaju se na betonske temelje na udaljenosti od 63 metra. Kontaktne bakrene naponske žice moraju bit napetosti od 14 kN. Kada su električne instalacije postavljene vrši se konačno poravnavanje kolosijeka s tolerancijom od milimetra te se balast propuhuje kako bi se uklonili manji dijelovi šljunka i

prašine koji bi mogli izbaciti vlak. Ovaj korak je osobito važan kod brze željeznice jer nalet prethodnog vlaka može izbaciti balast na tračnice. Na kraju TGV vlakovi se testiraju na liniji prije nego što pruga bude otvorena za komercijalnu upotrebu [31].

5.2. Željezničke stanice na LGV mreži

Na LGV mreži nalazi se 236 stanica koje mogu primiti TGV vlakove velikih brzina uključujući i stanice u susjednim državama gdje prometuju TGV vlakovi [32].

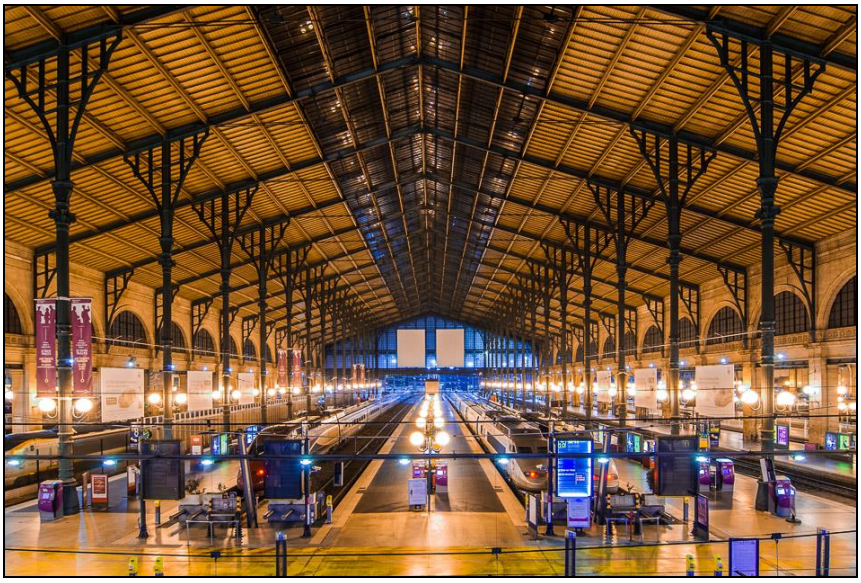
Kao najvažnije prometno čvorište i glavni grad Francuske, Pariz treba izdvojiti kao jedno od najvažnijih Europskih sjedišta. Pariz je grad sa šest glavnih željezničkih kolodvora u središtu grada, a svaki opslužuje različite regije Francuske i određene europske države. TGV vlakovi također se zaustavljaju i na tri pariške prigradske stanice: Marne la Vallée – Chessy (pored Disneylanda Pariz), Zračna luka Roissy – Charles de Gaulle (Terminal 2) i Gare de Massy (za turističku upotrebu) [33].

Željezničke stanice u Parizu su:

- Gare de l'Est (povezuje Pariz i istočnu Francusku te Njemačku)
- Gare du Nord (povezuje Pariz i sjevernu Francusku te Veliku Britaniju, Belgiju, Njemačku i Nizozemsku)
- Gare Saint – Lazare (povezuje Pariz i sjeverozapadnu Francusku)
- Gare d'Austerlitz (povezuje Pariz sa središnjom i jugozapadnom Francuskom te Španjolskom i Portugalom)
- Gare de Lyon (povezuje Pariz i južnu Francusku te Italiju i Švicarsku)
- Gare Montparnasse (povezuje Pariz i zapadnu, sjeverozapadnu te jugozapadnu Francusku) [33].

Gare du Nord je najprometnija željeznička postaja u Europi te prihvaća i otprema vlakove koji putuju sjeverno od Pariza odnosno do Lillea, Londona, Bruxellesa, Amsterdama i Kölna. Stanica je prvi put otvorena 1846. godine, ali zgrada postaje premala te se seli u Lille. Sadašnji Gare du Nord izgrađen je između 1861. i 1864. godine i ima 36 perona. Peroni 1 i 2

nisu za javnu upotrebu dok se peroni od 3 do 6 koriste za prijem i otpremu Eurostar vlakova. Vlakovi za Bruxelles, Amsterdam i Köln obično koriste perone 7 i 8 dok TGV i TER vlakovi koji prometuju prema Lilleu i sjeveru Francuske koriste perone od 9 do 18. Prigradski i drugi Ter vlakovi koriste perone od 19 do 36 dok su peroni od 41 do 44 smješteni pod zemljom te na njima prometuje podzemna željeznica odnosno metro (slika 5.6) [34].

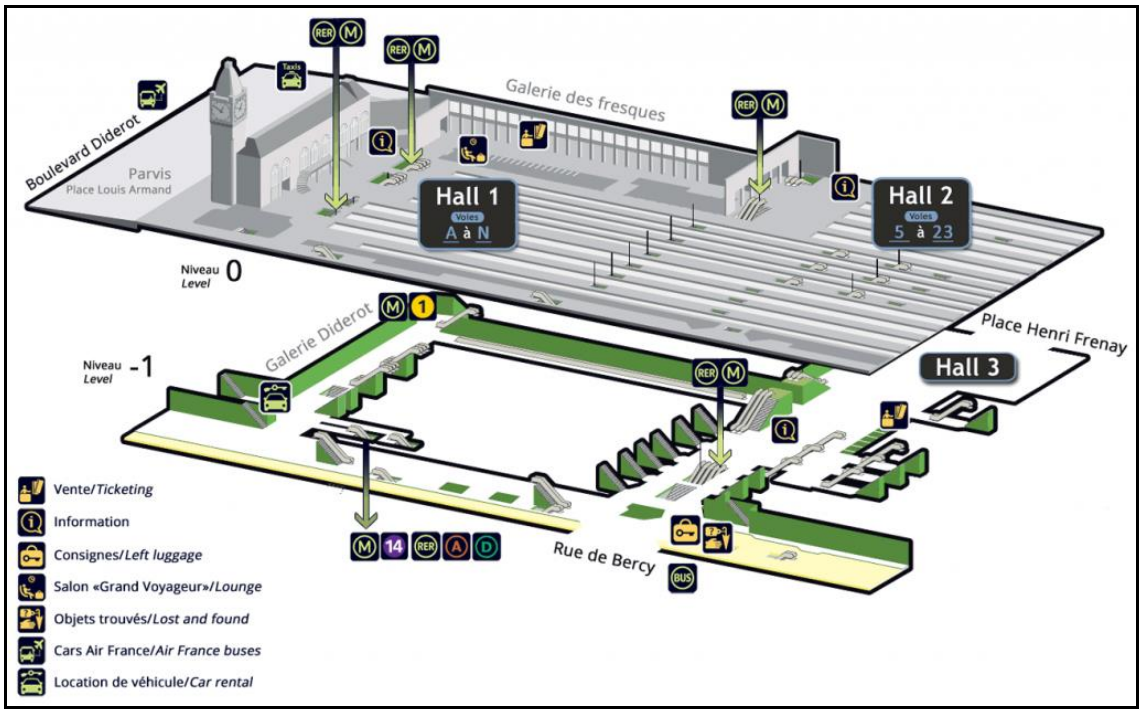


Slika 5.6. Unutrašnjost Gare du Nord- a [35]

Gare du Nord još je poznat i po lijepom vanjskom pročelju na kojem se nalaze kipovi koji predstavljaju europske gradove koje Gare du Nord opslužuje vlakovima. Najveći i središnji kip predstavlja Pariz (slika 5.7) [34].

Slika 5.7. Vanjsko pročelje Gare du Nord- a [36]

Željeznička postaja Gare de Lyon smještena je na istoku centralnog Pariza. Postaja prihvaća i otprema regionalne vlakove, TGV vlakove velikih brzina prema jugu i istoku Francuske i brojnim destinacijama u Švicarskoj, Italiji i Španjolskoj. Gare de Lyon jedna je od najprometnijih željezničkih postaja u Europi. Sadrži dvije grupe kolosijeka koji su podijeljeni u dvoranu jedan i dvoranu dva. Dvorana jedan sadrži kolosijeke od A do N dok dvorana dva sadrži kolosijeke od 5 do 23, odnosno 32 kolosijeka ukupno. Specifičnost ove postaje je podzemna dvorana tri koja se nalazi ispod dvorane jedan i dva na koje dolaze vlakovi, a omogućuje pristup svim peronima u dvorani jedan i dva preko stubišta i pokretnih stepenica (slika 5.8). Informacije o dolascima i odlascima vlakova redovito se prikazuju na monitorima diljem stanica, a putne karte mogu se kupiti u podzemnoj dvorani tri. Željeznička stanica dobro je povezana sa metroom, autobusom i taksijem koji omogućuju daljnje kretanje gradom [37].



Slika 5.8. Tlocrt Gare de Lyon- a [37]

U Marseilleu, drugom najvećem francuskom gradu, nalazi se željeznička stanica *Saint Charles* (slika 5.9) koja je dobro povezana s drugim francuskim gradovima. Željeznička stanica izgrađena je 1848. godine, nalazi se u centru grada i ima 14 natkrivenih perona. Zgrada kolodvora *Saint Charles* smještena je na brdu te do nje vode stepenice [38].

Slika 5.9. TGV stanica Saint Charles u Marseilleu [39]

Lyon Saint- Exupery (slika 5.10) prva je željeznička stanica koja povezuje zračnu luku s europskim sustavom vlakova velikih brzina i nalazi se 24 km južno od Lyona. Građevina od gotovo 40 metara visine podsjeća na pticu koja pruža svoja krila i tako štiti željeznicu. Pristup glavnom predvorju je s ulice dok na podzemne, natkrivene željezničke perone vode stepenice i dizala. Željeznička stanica i zračna luka izgrađene su 1994. godine [40].

Slika 5.10. TGV stanica Lyon Saint- Exupery [40]

Gare de Strasbourg je druga najveća željeznička stanica (slika 5.11) u Francuskoj i povezuje Strasbourg sa drugim francuskim regijama kao i sa susjednim zemljama poput Belgije,

Njemačke, Nizozemske i Švicarske. Nalazi se 1 km od samog centra grada te je u potpunosti natkrivena i obložena staklenom konstrukcijom koja ima futuristički izgled, a stara zgrada datira iz 1883. godine. S TGV vlakovima velikih brzina se iz Pariza do Strasbourga dođe za nešto više od dva sata [41].

Slika 5.11. TGV stanica Gare de Strasbourg [41]

Glavna željeznička stanica u Nimesu (slika 5.12) nalazi se u samom centru grada i povezuje Nimes sa Parizom i Marseilleom. Dnevno Nimes opslužuje trinaest TGV vlakova iz Pariza. Željeznička stanica je otvorena 1845. godine i peroni na koje dolaze vlakovi su natkriveni i nalaze se na gornjoj etaži na koju se dolazi stepenicama [42].

Slika 5.12. TGV stanica u Nimesu [42]

6. VOZNI PARK BRZIH ŽELJEZNICA U FRANCUSKOJ

SNCF je francuski operator za prijevoz putnika i danas posjeduje najviše vlakova velikih brzina. Prevoze više od 270 000 putnika svaki dan, a SNCF kao vodeći operator u Europi preveze oko 100 miliona putnika TGV rutama godišnje. Danas ima gotovo 600 super brzih TGV vlakova. Sve TGV vrste brzih vlakova razvrstavaju se prema izgledu i voznim karakteristikama. Kao i u većini drugih zemalja, razvoj vlakova velikih brzina trajao je desetljećima. Tako je prvi tip TGV- 001 testiran sedamdesetih godina te je to bio prototip koji je koristio plinsku turbinu. Zbog krize i nestašice nafte 1973. godine ovaj tip vlaka TGV- 001 je proglašen kao neekonomičan pa se kreće u razvoj vozila na električnu energiju. Kod većine novih modela ostaje isti aerodinamičan izgled koji je dizajnirao Jack Cooper [43].

Svaki veliki uspjeh na željezničkim vozilima temelji se na mnogo istraživanja, inovativnosti i upornosti glede dostizanja najboljih rješenja. Za to je uvijek potrebno mnogo kapitala. Dugo se sanjalo da će budući TGV vlakovi koristiti plinsku turbinu kako bi se izbjegla gradnja opsežne električne i skupe infrastrukture. TGV- 001 izašao je iz poznate tvrtke Alstom te je izgrađen samo jedan (slika 6.1). Duljina vlaka je 92,9 m, širina 2,8 m, dok je visina 3,4 m. Masa vlaka iznosi 192 tone dok vlak ima motore s plinskom turbinom od 3760 kilovata (kW) i 4400 kW. TGV- 001, na testnim vožnjama, prešao je više od 500000 km s brzinom od 300 km/h, [43].

Slika 6.1. Vlak TGV- 001 [43]

TGV- PSE je prva vrsta legendarnih Alstom TGV vlakova (slika 6.2). Izvorno su bili svijetlo narančaste, plave i crvene boje, a tek su oko 2000. godine poprimili danas prepoznatljivu sivu i plavu boju te su ujedno i obnovljeni. Izrađeno je ukupno 109 vlakova između 1978. i 1985. godine. Maksimalna dopuštena brzina iznosi 300 km/h, prije obnove maksimalna dopuštena brzina bila je 270 km/h. TGV- PSE radi na dva sustava napajanja 25 kV, 50 Hz i jednosmjernom naponu od 1,5 kV. Koriste se lokomotive na oba kraja vlaka, a snaga motora ovisi o vrsti napajanja. Za 25 kV, 50 Hz snaga je 6450 kW, dok je za 1,5 kV snaga motora 3100 kW. Vlak ima šest pogonskih okretnih postolja, masa vlaka iznosi 418 tona i duljina je 200,2 metra [43].

Slika 6.2. Vlak TGV- PSE [43]

TGV- Atlantique (TGV- A) je druga generacija TGV vlakova. Dizajniran je nedugo nakon što su se uvidjela izvrsna iskustva u radu TGV- PSE (slika 6.3). Izvorno je izrađeno 95 vlakova, a još ih je kasnije naručeno 10, izgrađeni su između 1988. i 1991. godine. Maksimalna brzina iznosi 320 km/h i rade na sustavu napajanja od 25 kV, 50 Hz i jednosmjernog 1,5 kV napajanja. Ovi vlakovi prometuju na linijama jugozapadno od Pariza i imaju aerodinamičniji izgled od prethodnika s ukupno 8800 kW snage. Povećan je broj vučenih modula (prikolica) sa osam na

deset. Kapacitet vlaka je 458 putnika, a ukupna duljina vlaka iznosi 237,5 metara. Bruto masa vlaka je 484 tone [43].

Slika 6.3. Vlak TGV- Atlantique [43]

TGV Réseau (TGV- R) je drugi tip druge serije vlaka (slika 6.4). Razlika između TGV Réseau i TGV Atlantique je u tome da TGV- R ima osam prikolica. Izrađeno je 90 vlakova između 1993. i 1995. godine, a maksimalna brzina iznosi 320 km/h. Rade na sustavu napajanja od 25 kV, 50 Hz i 1,5 kV napajanja. Može prevesti 377 putnika, a duljina vlaka iznosi 200,2 metara. Ukupna snaga vlaka iznosi 8800 (kW), a na jednosmjernom sustavu napajanja od 1,5 kV snaga iznosi 3680 kW. Također postoji devet TGV Réseau vlakova koji su u vlasništvu zasebne tvrtke Thalys, a vlakovi povezuju Bruxelles sa Parizom, Kölnom i drugim njemačkim gradovima te Amsterdamom. Thalys je u suvlasništvu francuskog SNCF-a, belgijskih i njemačkih željeznica [43].

Slika 6.4. Vlak TGV Réseau (lijevo), vrsta vlaka Thalys (desno) [43]

TGV Duplex je prva serija vlakova treće generacije TGV-a i prvi tip vlaka na dvije razine (slika 6.5). Dvostruka konstrukcija izvedena je tako da je vlak zadržao istu masu kao i prethodnik. Izrađeno je 89 vlakova u razdoblju od 1996. do 2006. godine. Maksimalna brzina vlaka iznosi 320 km/h, a vlak može raditi na dva sustava napajanja 25 kV, 50 Hz i 1,5 kV. Ukupan kapacitet vlaka je 526 putnika, a duljina iznosi 200,2 metra. Ukupna snaga obje lokomotive iznosi 8800 kW te ima 4 pogonska okretna postolja na lokomotivama. Također TGV Duplex jedinice proizvedene su za Thalysu kao dopuna kapaciteta. Ukupno je izrađeno 17 takvih vlakova, a maksimalna brzina im je 300 km/h. Postoje ješ neke serije modela TGV Duplex kao na primjer TGV Hybrid i TGV Dasye. Dvostruki TGV Dasye je najčešći tip vlaka koji prometuje u Francuskoj, a maksimalna brzina mu je 320 km/h. Proizvedena su 54 vlaka u razdoblju od 2007. do 2012. godine. TGV Dasye ima veću snagu od uobičajenog TGV Duplexa, a snaga iznosi 9280 kW [43].

Slika 6.5. Vlak TGV Duplex [43]

TGV- 2N2 najnoviji je dodatak velikoj TGV floti (slika 6.6). Alstomovi TGV- 2N2 vlakovi uključuju najnovije asinkrone lokomotive s više- električnim sustavima i preuređenim dvostrukim vučnim modelima (prikolicama). Izrađeno je ukupno 55 vlakova od kojih je 30 namijenjeno za međunarodni promet između Francuske, Njemačke, Švicarske i Luxemburga

dok je ostalih 25 vlakova proizvedeno za domaće potrebe. Brzina vlaka iznosi 320 km/h, a mogu raditi na električnim sustavima napajanja od 1,5 kV, 25 kV, 50 Hz i 15 kV, 16,6 Hz. Duljina vlaka iznosi 200,2 metra i ima 4 asinkrona okretna postolja na obje lokomotive. Snaga motora ovisi o vrsti napajanja te iznosi 9280 za 25 kV, 6800 za 15 kV i 3680 za 1,5 kV napona [43].

Slika 6.6. Vlak TGV- 2N2 [43]

TGV V150 je vlak koji je 3. travnja 2007. godine postavio svijetski rekord, za tračnička vozila, od 574,8 km/h. Vlak je izgradila tvrtka Alstom (slika 6.7), a sastoji se od dvije lokomotive TGV- POS i tri prikolice (vagona) tipa TGV- Duplex. Kako bi oborili svijetski rekord bilo je potrebno izvršiti određene modifikacije na sustavu. Stoga je povećan napon napajanja s 25 kV na 31 kV te su pojačani vučni motori na vlaku. Također su pojačane tračnice, montirani veći kotači i modificirana je konstrukcija pantografa [43].

Slika 6.7. Vlak TGV V150 [43]

TGV- POS je vlak koji je nastao zbog nedostatka kapaciteta operatora (slika 6.8). Tu se zapravo radi o vlaku koji je dobio potpuno nove, snažne lokomotive i 19 starih TGV Réseau kompleta prikolica. Ovi vlakovi danas prometuju između Francuske i Švicarske s maksimalnom brzinom od 320 km/h [43].

Slika 6.8. Vlak TGV- POS [43]

Eurostar je zajednički projekt britanske tvrtke Eurostar, belgijskih i francuskih željeznica. Prva vožnja (putovanje) od Pariza do Londona kroz tunel ispod kanala La Manche bila je „davne“ 1994. godine. Eurostar je sagrađen na bazi francuskog TGV vlaka koji prometuje 300 km/h, ali sa znatnim razlikama (slika 6.9). Eurostar se na polovici kompozicije može razdvojiti u dva dijela zbog sigurnosnih razloga putovanja kroz tunel. Razlike između TGV-a i Eurostara su i u motoru. Kod Eurostara se koristi britanski asinkroni prijenos, za razliku od sinkronog prijenosa koji koriste francuski TGV vlakovi. Upravo zbog toga Eurostar ima mogućnost prilagođavanja trima različitim sustavima napajanja koji postoje u Engleskoj, Belgiji i Francuskoj [44].

Novije verzije Eurostar vlaka čiji je proizvođač Njemačka firma Siemens mogu prevesti 900 putnika. Iz Londona do centra Pariza vlaku je potrebno oko dva sata i petnaest minuta za udaljenost od 495 km, a godišnje se preveze oko osam miliona putnika [45].

Slika 6.9. Eurostar [43]

7. ZAKLJUČAK

Od prve pojave vlakova velikih brzina dolazi do promjene u načinu kretanja ljudi. Ti vlakovi su doveli do toga da korisnici napuštaju ostale vidove prometa i prelaze na željeznicu te ju svakodnevno koriste. Sigurnost, kvaliteta i niska cijena prijevozne usluge čine željeznicu vrlo konkurentnom u odnosu na druge načine prijevoza. Vlakovi velikih brzina također su najučinkovitiji način prijevoza velike količine putnika i omogućuju im prijevoz do samog centra grada ili zračne luke.

Brze željeznice u Francuskoj razvile su se početkom osamdesetih godina. Francuski TGV dnevno preveze više od 270000 putnika i prvi je u Europi po broju prevezenih putničkih kilometara sa 53 milijarde putničkih kilometara u 2013. godini.

Mreža brzih željeznica u Francuskoj je dobro razvijena i nalazi se na drugom mjestu u Europi iza Španjolske po broju kilometara pruge velikih brzina. Francuska željeznička mreže redovito se modernizira i nadograđuje kako bi povećala mobilnost putnika i prijevoza robe te kako bi povećala sigurnost prometovanja. Francuski operator za prijevoz putnika danas posjeduje najviše vlakova velikih brzina te posjeduje vlak koji je postavio svjetski brzinski rekord. Na TGV linijama vlakovi prometuju brzinom od oko 300 km/h te se ti sustavi moderniziraju te uskoro možemo očekivati i veće brzine prometovanja. Francuzi dosta ulažu u željeznicu te su se tako obvezali da će u budućnosti izgraditi još linija za vlakove velikih brzina te na taj način omogućiti bolju povezanost između gradova.

Zemlja koja ima razvijenu željeznicu ima i jako gospodarstvo te se može reći da je željeznica pokazatelj razvijenosti neke zemlje.

8. POPIS LITERATURE

[1.] URL:https://uic.org/cdrom/2008/07_UIC_HIGHSPEED08/docs/brochure_Highspeedrail.pdf

[2.] Stipetić, A., Gornji ustroj željezničkog kolosijeka, Zagreb, 2008.

[3.] Baričević, H.: Tehnologija kopnenog prometa, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2001

[4.] URL:https://uic.org/High-Speed-History#t19th-20th-CENTURY-From-birth-of-railways-to-HSR (pristupljeno: svibanj, 2018.)

[5.] URL: https://www.japan-guide.com/e/e2018.html (pristupljeno: svibanj, 2018.)

[6.] URL: http://www.japan-guide.com/g2/2018_04.gif (pristupljeno: svibanj, 2018.)

[7.] URL: https://www.railway-technology.com/projects/ice-high-speed-rail/

[8.] URL: http://asperia.org/map-of-german-train-routes/map-of-german-train-routes-9-bayern-railway-rail-network-germany-with-map-of-german-train-routes/ [image] (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[9.] URL: https://www.italiarail.com/trenitalia-network (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[10.] URL: https://www.florenceinferno.com/the-frecciargento-train/

[11.] URL:https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Italian_high_speed_rail_network-fr.svg [image] (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[12.] URL:http://www.revistaitransporte.com/25-years-of-high-speed-in-spain/ (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[13.] URL:https://www.bonjourlafrance.com/carrier/train/alta-velocidad-espanola-ave-spain/ [image] (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[14.] URL:https://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/building-britains-first-high-speed-line.html (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[15.] URL:https://www.theguardian.com/uk/2009/aug/26/high-speed-rail-report (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[16.] URL:http://www.wikiwand.com/en/High-speed_rail_in_the_United_Kingdom (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[17.] URL:https://www.sncf-reseau.fr/en/the-railway-network (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[18.] URL:https://www.123rf.com/photo_13960994_many-of-the-french-railway-tracks-in-front-of-a-train-station-in-paris-france.html [image] (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[19.] URL:https://www.railwaygazette.com/news/policy/single-view/view/brexit-will-not-affect-channel-tunnel-says-eurotunnel.html [image] (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[20.] URL:https://www.railway-technology.com/projects/frenchtgv/ (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[21.] URL:https://www.economist.com/europe/2017/06/29/france-launches-its-last-high-speed-rail-lines [image] (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[22.] URL:https://www.railway-technology.com/projects/frenchtgv/ (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[23.] URL:https://www.railway-technology.com/projects/frenchtgv/ (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[24.] URL:https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/bonnafous-crozet_0.pdf (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[25.] URL:https://www.sncf.com/sncv1/en/trains/ter (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[26.] URL:https://www.sncf.com/sncv1/en/trains/transilien (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[27.] URL:https://www.sncf.com/sncv1/en/trains/intercites (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[28.] URL:https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/bonnafous-crozet_0.pdf (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[29.] URL:https://library.e.abb.com/public/0cb79bfba760c310c12578f7005f6aee/ABB-powers-rail-traffic-in-France.pdf (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[30.] URL:https://www.consolis.com/focus-these-famous-trains-are-running-on-consolis-sleepers/ (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[31.] URL:http://www.railfaneurope.net/tgv/track.html (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[32.] URL:https://www.thelocal.fr/20171017/france-could-cut-number-of-stations-served-by-high-speed-tgv-trains (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[33.] URL:https://www.tripadvisor.com/Travel-g187147-c51032/Paris:France:Railway.Stations.html (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[34.] URL:https://www.seat61.com/stations/paris-gare-du-nord.htm (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[35.] URL:https://vanfransebodem.nl/2015/04/30/stille-disco-in-gare-du-nord-parijs/ [image] (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[36.] URL:https://en.parisinfo.com/transport/73398/Gare-du-Nord [image] (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[37.] URL: http://www.garedelyon.fr/tourists/ (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[38.] URL: https://www.bonjourlafrance.com/stations/train/marseille-saint-charles-train-station/

[39.] URL: https://www.alamy.com/stock-photo-france-sncf-tgv-high-speed-trains-at-marseille-saint-charles-french-87899902.html

[40.] URL: https://en.wikiarquitectura.com/building/tgv-station-lyon-saint-exupery/

[41.] URL: http://www.raileurope-world.com/place/strasbourg-gare-centrale

[42.] URL: https://www.bonjourlafrance.com/stations/train/nimes-train-station/

[43.] URL: http://www.4rail.net/fast_tgv1.php (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[44.] URL:https://www.jutarnji.hr/arhiva/najduzi-vlak-na-svijetu-ima-novi-dom.-i-jos-je-brzi/3855420/ (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

[45.] URL:http://www.poslovni.hr/strane-kompanije/galerija-eurostar-povodom-20-obljetnice-predstavio-novi-vlak-283607 (pristupljeno: kolovoz, 2018.)

9. POPIS SLIKA

Slika 2.1. Konstrukcija kolosijeka sa zastorom od tučenca [2] 5
Slika 2.2. Ugradnja elastičnih elemenata [2] 6
Slika 2.3. Konstrukcija kolosijeka na čvrstoj podlozi [2] 7
Slika 3.1. Mreža pruga Shinkansen [6] 10
Slika 3.2. Pruge velikih brzina u Njemačkoj [8] 11
Slika 3.3. Pruge velikih brzina u Italiji [11] 13
Slika 3.4. Pruge velikih brzina u Španjolskoj [13] 13
Slika 3.5. Pruge velikih brzina u Velikoj Britaniji [16] 14
Slika 4.1. Kolosijeci za vlakove velikih brzina [18] 15
Slika 4.2. Kolosijek za vlakove velikih brzina u tunelu [19] 16
Slika 4.3. Pruge velikih brzina u Francuskoj [21] 17
Slika 4.4. AGV vlak tvrtke Alstom [30] 19
Slika 5.1. Polaganje kolosijeka na zbijeni šljunak [31] 20
Slika 5.2. Istovar tračnica [31] 21
Slika 5.3. Pričvrsni pribor tipa Nabla RNTC [31] 22
Slika 5.4. Stroj za nabijanje i niveliranje [31] 23
Slika 5.5. Izgradnja drugog kolosijeka [31] 23
Slika 5.6. Unutrašnjost Gare du Nord- a [35] 25
Slika 5.7. Vanjsko pročelje Gare du Nord- a [36] 25
Slika 5.8. Tlocrt Gare de Lyon- a [37] 26
Slika 5.9. TGV stanica Saint Charles u Marseilleu [39] 27
Slika 5.10. TGV stanica Lyon Saint- Exupery [40] 27
Slika 5.11. TGV stanica Gare de Strasbourg [41] 28
Slika 5.12. TGV stanica u Nimesu [42] 29
Slika 6.1. Vlak TGV- 001 [43] 30
Slika 6.2. Vlak TGV- PSE [43] 30
Slika 6.3. Vlak TGV- Atlantique [43] 31

Slika 6.4. Vlak TGV Réseau (lijevo), vrsta vlaka Thalys (desno) [43] 32
Slika 6.5. Vlak TGV Duplex [43] 32
Slika 6.6. Vlak TGV- 2N2 [43] 33
Slika 6.7. Vlak TGV V150 [43] 34
Slika 6.8. Vlak TGV- POS [43] 34
Slika 6.9. Eurostar [43] 35

METAPODACI

Naslov rada: Infrastrukturne značajke mreže brzih željeznica u Francuskoj

Autor: Valentin Milas

Mentor: Doc. dr. sc. Martin Starčević

Naslov na drugom jeziku (engleski):
Infrastructure characteristics of the high-speed rail network in France

Povjerenstvo za obranu:

- Izv. prof. dr. sc. Mladen Nikšić predsjednik
- Doc. dr. sc. Martin Starčević mentor
- Ivica Ljubaj, mag. ing. traff. član
- Izv. prof. dr. sc. Borna Abramović zamjena

Ustanova koja je dodjelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Željeznički promet

Vrsta studija: Predipplomski

Naziv studijskog programa: Promet

Stupanj:_____

Akademski naziv: _____

Datum obrane završnog rada:_____

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je ovaj _____**završni rad**_____ isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen 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 rada pod naslovom ***INFRASTRUKTURNE ZNAČAJKE MREŽE BRZIH ŽELJEZNICA U FRANCUSKOJ***

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student:

U Zagrebu, 10.09.2018. _____

(*potpis*)