

# Infrastrukturne značajke mreže brzih željeznica u Njemačkoj

---

Čulig, Mario

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:119:982847>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-04**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**Mario Čulig**

**Infrastrukturne značajke mreže brzih željeznica u Njemačkoj**

**Završni rad**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**Završni rad**

**Infrastrukturne značajke mreže brzih željeznica u Njemačkoj**

**Infrastructure Characteristics of High-Speed Rail Network in Germany**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Martin Starčević

Student: Mario Čulig, 0135240325

Zagreb, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI  
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 15. svibnja 2023.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 7243

Pristupnik: **Mario Čulig (0135240325)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Željeznički promet**

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

### 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 Njemačke, uključujući i sve infrastrukturne elemente kao i vozni park.

Mentor:



doc. dr. sc. Martin Starčević

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

## **Sažetak:**

U radu je opisan povijesni razvoj željeznica velikih brzina u Europi, dok je opširnije opisan razvoj u Njemačkoj. Opisan je razvoj željezničke infrastrukture, infrastrukturne značajke i vozni park u Njemačkoj. Na temelju istraživanja možemo zaključiti da su se brze željeznice prvo pojavile u Japanu 1930. godine. Francuska je bila prva europska zemlja koja je počela razvijati željeznice velikih brzina početkom osamdesetih, dok su se u Njemačkoj razvile u devedesetima. Zahvaljujući velikim prednostima vlakova velikih brzina mreža brzih željeznica u Njemačkoj se je razvijala jako brzo. Trenutno je jedna od vodećih sila u tom području. Zahvaljujući njezinom razvoju javila se velika potražnja za daljnjim unapređenjem vlakova i mreže kako bih se postigla što veća komocija putnika, broj prevezenih putnika, što lakši i učinkovitiji transport robe te što veća sigurnost.

Ključne riječi: vlakovi velikih brzina, željeznička infrastruktura, ICE

## **Summary:**

The paper describes the historical development of high-speed railways in Europe, while the development in Germany is described in more detail. The development of railway infrastructure, infrastructural features and rolling stock in Germany is described. Based on research, we can conclude that high-speed railways first appeared in Japan in 1930. France was the first European country to develop high-speed railways in the early 1980s, while Germany developed them in the 1990s. Thanks to the great advantages of high-speed trains, the high-speed rail network in Germany developed very quickly. It is currently one of the leading forces in the field. Thanks to its development, there was a great demand for further improvement of the trains and the network in order to achieve the greatest possible passenger comfort, the number of transported passengers, the easiest and most efficient transport of goods and the greatest possible safety.

Keywords: high-speed trains, railway infrastructure, ICE

# Sadržaj

1. UVOD.....	6
2. POVIJESNI RAZVOJ BRZIH ŽELJEZNICA U EUROPI.....	8
2.1. Razvoj brzih željeznica u Velikoj Britaniji .....	9
2.2. Razvoj brzih željeznica u Francuskoj .....	10
2.3. Razvoj mreže brzih željeznica u Italiji.....	12
2.4. Razvoj mreža brzih željeznica u Španjolskoj .....	14
3. RAZVOJ MREŽE BRZIH ŽELJEZNICA U NJEMAČKOJ DO DANAS .....	15
4. INFRASTRUKTURNE ZNAČAJKE BRZIH ŽELJEZNICA U NJEMAČKOJ .....	19
4.1 Kolosijeci za velike brzine s kolosiječnim zastorom .....	19
4.2. Kolosijek na čvrstoj podlozi.....	20
4.3 Tunel Katzenberg .....	21
4.4 Tunel Landrücken.....	24
4.5 Izgradnja podvodnog željezničkog tunela.....	25
4.6 Berlinski glavni kolodvor .....	26
5. VOZNI PARK BRZIH ŽELJEZNICA U NJEMAČKOJ.....	30
5.1 Intercity Express (ICE) .....	31
5.2 ICE 1 .....	32
5.3 ICE 2 .....	32
5.4 ICE 3 .....	34
5.5 ICE T.....	37
5.6 ICE Sprinter .....	38
5.7 ICE 4 .....	39
5.8 IC i EC vlakovi .....	41
5.9 InterCity vlakovi .....	41
5.10 InterCity 1.....	42
5.11 InterCity 2.....	44
6. ZAKLJUČAK .....	47
POPIS LITERATURE .....	48

## 1. UVOD

Brze željeznice predstavljaju ključni element modernog prijevoza tereta i putnika te imaju veliku ulogu u razvoju infrastrukture i povezanosti između gradova i regija. Njemačka, kao jedna od vodećih svjetskih gospodarskih sila, prepoznala je važnosti brzih željeznica kao vitalni dio svoje transportne mreže.

Prema Direktivi Vijeća Europske unije, infrastruktura transeuropske željeznice velikih brzina jest ona na prugama linijama transeuropske transportne mreže. Dijeli se na one posebno izgrađene željeznice za putovanje velikim brzinama i na one posebno nadograđene željeznice za putovanja velikim brzinama. Takve željeznice mogu uključivati povezane pruge, konkretnije raskrsnice (čvorove) novih pruga ili pruga moderniziranih za velike brzine koje su lokalizirane u gradskome središtu. Brzina vlakova mora se prilagoditi lokalnim uvjetima.[1]

Vlakovi koji spadaju u vlakove velikih brzina moraju biti konstruirani tako da pružaju sigurno i nesmetano putovanje pri brzinama jednakim ili većim od 250 km/h na prugama koje su specijalno izgrađene za velike brzine i koje omogućuju brzine iznad 300 km/h u odgovarajućim okolnostima te pri brzini od 200 km/h na postojećim prugama koje su nadograđene za te brzine. Nadograđene / poboljšane pruge imaju posebne značajke kao rezultat topografskih, reljefnih i urbanističkih ograničenja. Stoga se brzina vlakova mora takvim uvjetima svakako prilagoditi.

Željeznički sustav je cjeloviti sustav koji uključuje strukturne, funkcionalne, građevinske, elektroenergetske sustave, željezničke mreže i željeznička vozila koji omogućuju učinkovito i sigurno odvijanje željezničkog prometa. Prema Zakonu o željeznici, u željeznički sustav spada i željeznička infrastruktura. Željeznička infrastruktura sastoji se od infrastrukturnih podsustava i funkcionalnih dijelova, postrojenja i opreme željezničke infrastrukture, kao i zemljišta infrastrukturnog pojasa sa zračnim prostorom iznad njega, u visini do 14 metara.[2]

TEN- T ili transeuropska transportna mreža najvećim dijelom se odnosi na razvoj željezničkih pravaca velikih brzina, iako uključuje i razvoj mreže cesta, zračnih i morskih luka u Europskoj uniji. Ova prometna mreža razvija se kako bi mogla osigurati integraciju rubnih

područja u Europi. Brzi vlakovi nisu pogodni za kratke relacije, ali osjetno smanjuju brzinu putovanja te se zbog toga često uspoređuju sa zrakoplovnim prometom i smatraju se njegovom alternativom.

Željezničke pruge za velike brzine TEN-T-a namijenjene putničkom prometu dijele se na:

1. Novosagrađene željezničke pruge za velike brzine osposobljene za brzine od 250 km/h i veće;

2. Nadograđene i/ili rekonstruirane željezničke pruge za velike brzine osposobljene za brzinu od 200 km/h;

3. Nadograđene i/ili rekonstruirane željezničke pruge za velike brzine na kojima brzina ovisi o topografskim i urbanističkim uvjetima, uključujući i spojne željezničke pruge između željezničkih pruga za velike brzine i konvencionalnih željezničkih pruga;

4. Željezničke pruge na području kolodvora te priključne željezničke pruge terminala u putničkim čvorištima, a na kojima vlakovi za velike brzine voze brzinama konvencionalnih vlakova.

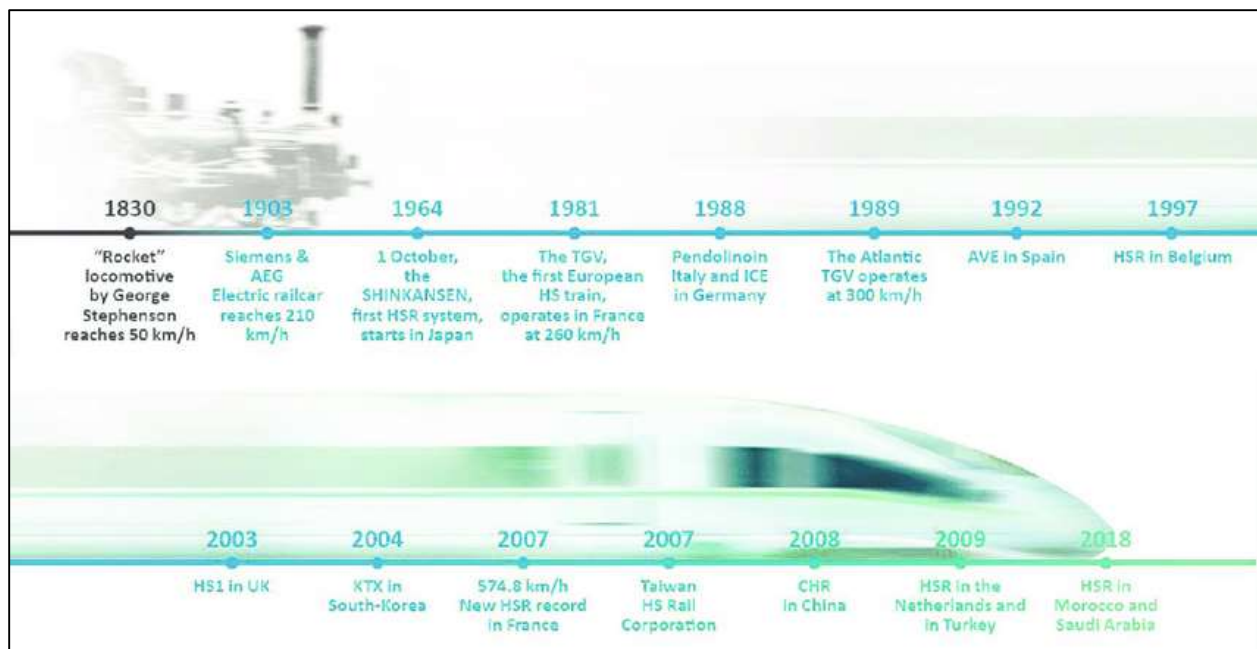
Pruge koje su namijenjene za prometovanje vlakova velikih brzina moraju imati zadovoljene vrlo visoke kriterije i specifikacije. Zbog visokih kriterija, projektiranje takvih pruga postiže vrlo visoku cijenu, a investicija mora biti opravdana na temelju stupnja iskoristivosti.



## 2. POVIJESNI RAZVOJ BRZIH ŽELJEZNICA U EUROPI

Tijekom 19. stoljeća, železnice su doživjele veliki tehnološki napredak. Nakon uvođenja parnog stroja kao izvora energije za vuču vlakova znatno se povećala brzina i kapacitet željeznica. George Stephenson je poznat kao izumitelj lokomotive 'Rocket' koja je puštena u promet 1829. godine te je postizala najveću brzinu od 48 km/h. Nije bila prva parna lokomotiva, ali je bila prva koja je spojila više inovativnih procesa što ju je učinilo najnaprednijom lokomotivom svojega doba. Revolucionarni dizajn njegove lokomotive će se koristiti kao model za buduće parne motore. Lokomotiva Rocket je prometovala na pruzi između Manchestera i Liverpoola koja je bila dugačka 50 km. Krajem 19. stoljeća željeznice postižu brzine do 130 km/h, a početkom 20. stoljeća postignuta je rekordna brzina od 200 km/h. Redovan promet je prometovao najvećom brzinom od 180 km/h, dok mu je prosječna brzina bila 135 km/h [3].

Japanski projekt Shinkansen, 1964. godine revolucionirao je željeznički promet. Vlakovi su prometovali brzinama preko 200 km/h. Vrijeme putovanja između Tokya i Osake drastično smanjeno. Ovaj poduhvat je potaknuo tehnički napredak u europskim zemljama, osobito u Velikoj Britaniji, Njemačkoj, Francuskoj, Italiji i Španjolskoj. Razvoj željeznica velikih brzina prikazan je na Slici 1.



Slika 1. Razvoj željeznica tijekom povijesti [3]

## 2.1. Razvoj brzih željeznica u Velikoj Britaniji

Prva željeznička linija za vlakove velikih brzina je otvorena 1899. godine pod nazivom 'Great Central Railway' (GCR). Linija je bila ambiciozan projekt poduzetnika Edwarda Watkina koji je imao ideju spajanja Pariza i Liverpoola putem podvodnog kanala. Njihov sustav je relativno mali, izgrađen je u dvije dionice. Prva dionica 'High speed 1' (HS1) spaja London i podvodni tunel la Manche. Dionica HS1 dugačka je 109,9 km, dok maksimalna brzina iznosi 300 km/h. Puštena je u promet 2007. godine te je dio međunarodnog putničkog prometnog puta između Velike Britanije i Europe.

Druga dionica 'High speed 2' (HS2) je započela s izgradnjom 2019. godine., te se planira završetak negdje između 2029. i 2033. godine. Najveća brzina prometovanja iznosi 360 km/h. Kada bude izgrađena u potpunosti povezivat će London i najsjeverniju točku Velike Britanije. [4,5]



Slika 2. Prikaz brzih željeznica u Velikoj Britaniji [4]

## 2.2. Razvoj brzih željeznica u Francuskoj

Ideja brzih vlakova 'Train à Grande Vitesse' (TGV) u Francuskoj se pojavila 1960. godine, nakon što je Japan započeo konstrukciju svoje mreže brzih željeznica 1959. godine. Francuski nacionalni željeznički operater 'Société Nationale des Chemins de Fer Français' (SNCF) je 1976. godine pristao podržati izgradnju prve linije za vlakove velikih brzina.

Nakon uvođenja linije između Pariza i Lyona 1981. godine, mreža TGV-a koja je do sada bila centrirana oko Pariza počela je svoje širenje prema drugim velikim gradovima Francuske kao što su Marseille, Lille i Bordeaux (Slika 3.). TGV mreža se u kratkom roku povezala sa susjednim mrežama Belgije, Velike Britanije, Njemačke, Nizozemske i Švicarske.

U početku je bilo zamišljeno da TGV vlakove pokreću plinske turbine. Prvi prototip TGV 001 je imao plinsku turbinu kao izvor energije, ona je bila odabrana zbog svoje male veličine, dobrog omjera težine i snage i dobre sposobnosti isporučivanja velike snage tokom dužeg

opterećenja. Prototip je postavio rekordnu brzinu za neelektrične vlakove od 318 km/h koji stoji i do danas rekordna brzina za neelektrične vlakove. Prototip TGV 001 je bio prvi i jedini prototip s plinskom turbinom, jer je ubrzo nakon njegovog testiranja došlo do energetske krize 1973. godine u kojoj je cijena nafte skočila na tada rekordne cijene te su se plinske turbine počele smatrati neekonomičnima. Zbog energetske krize bila je potrebna modifikacija lokomotiva s plinskim turbinama na električni pogon. Električnu energiju su mogli dobivati iz nuklearnih elektrana i drugih izvora što je bilo uvelike ekonomičnije u odnosu na fosilna goriva. Električni prototip 'Zebulon' je završen 1974. godine. Počeo je prometovati 1976. godine na prvoj liniji za vlakove velikih brzina 'LN1' između Pariza i Lyona. 3. travnja 2007. godine modificirani TGV testni vlak postavio je svijetski brzinski rekord od 574.8 km/h za konvencionalne vlakove. Rekord je postavljen na dionici između Pariza i Strassbourga koja je imala povišenu voltažu na 31kV tijekom tesne vožnje. [6]



Slika 3. Mreža pruga velikih brzina u Francuskoj[7]

### 2.3. Razvoj mreže brzih željeznica u Italiji

Prava linija za brze vlakove se otvorila 1977. godine i povezivala je Rim i Firencu. Vožnja je trajala 90 minuta, a najveća brzina je bila 250 km/h dok je prosječna iznosila 200 km/h. Nakon što je uvedena brza linija između Rima i Milana 1988. godine vrijeme putovanja je smanjeno sa malo više od 5 sati na 4 sata zahvaljujući najvišoj postignutoj brzini od 250 km/h.

Talijanska mreža brzih vlakova se sastoji dvije linije koje spajaju većinu velikih gradova. Prva linija povezuje Torino sa Salernom preko Milana, Bologne, Firence, Rima i Napulja. Druga linija povezuje Torino i Veneciju preko Milana i Verone. Na tim linijama vlakovi prometuju brzinama oko 300 km/h (slika 4).

Talijanskim brzim željeznicama upravljaju dvije organizacije. Trenitalia koja je u vlasništvu Taljanskih državnih željeznica kojima upravlja vlada. Druga kompanija je Italo koja je privatna organizacija koja je u vlasništvu četvorice poduzetnika od kojih je jedan Luca Cordero di Montezemolo koji je bio CEO u Ferrariju, luksuznoj marki sportskih automobila [8].



Slika 4. Prikaz mreže brzih vlakova u Italiji[9]

## 2.4. Razvoj mreža brzih željeznica u Španjolskoj

Sustav brzih željeznica u Španjolskoj 'Alta Velocidad Espanola' (AVE) je otvoren od 1992. godine, kada je prva linija otvorena, za razliku od ostalih mreža brzih željeznica koje su koristile različite širene tračnice ona je koristila standardnu širinu od 1,435mm. Prva linija povezuje Madrid, Cordobu i Sevillu. Njihovom mrežom (AVE) upravlja kompanija Adif, a uslugu prijevoza na linijama pruža kompanija Adif koja je nacionalna kompanija.

Prva linija je imala duljinu od 471 km, dok danas ima duljinu od 3100 km što ju čini najduljom prugom za brze vlakove u Europi (slika 5). Zbog pametnog zaobilaženja planina izgradnja željezničke infrastrukture je završena u relativno kratkom roku od četiri i pol godine. Brzine na kojima prometuju vlakovi se kreću između 250 km/h i 320 km/h [10].



Slika 5. Prikaz mreže brzih željeznica u Španjolskoj[11]

### 3. RAZVOJ MREŽE BRZIH ŽELJEZNICA U NJEMAČKOJ DO DANAS

Projekt brzih željeznica je predložila njemačka nacionalna željeznička kompanija 'Deutsche Bahn' (DB) krajem 1960. godine. 28. kolovoza 1970. godine predložen je željezničkom nacionalnom planu za transport i infrastrukturu u tadašnjoj Zapadnoj Njemačkoj. Vlada je usvojila DB-ov plan 1971. godine, kojim je dogovoreno da će se izgraditi 3.250 km novih ili poboljšanih pruga i time povećati nacionalna mreža. Provođenje plana počinje u kolovozu 1973. godine s ceremonijom koja označuje izgradnju prve dionice duge 12,8 km od ukupnih 327 km nove linije između Hannovera i Würzberga koja se spušta te dijelomično prolazi kroz istočni dio zemlje. Taj mali dio je završen 1973. godine, dok ostatak programa postaje kontraverzna tema. Ministar prometa Kurt Gscheidle 1976. godine odobrio je izgradnju rute od 99 km između Mannheima i Stuttgarda, a vlada je 1977. godine potvrdila da će ostatak izgradnje rute između Hannovera i Würzburga biti napravljen iz više stadija, dok su odluku o ruti između Colognea i Frankfurta odgodili. Tek 1985. godine relaciju između Kolna i Frankfurta vlada ubacuje u nacionalni plan prometa i infrastrukture. Njemačka vlada 19. srpnja 1989. godine pristaje na DB-ovu zamišljenu rutu, iako je bilo neizvjesno kako će se izvesti ili hoće li uopće izvedba biti moguća jer Keblenz spada u pokrajnu Falačko Porajnje. Dogovor je napokon postignut s DB-om 1991. godine da će se promet odvijati u cijelosti istočno od Rajne, ali zbog obećanja Koblenz nastavlja s primanjem InerCity vlakova. Projekt je izašao na natječaj 1995. godine tijekom seminara 'star of work'. Projekt je bio procjenjen na 7,75 milijardi njemačkih maraka.

Sljedile su duge odgode tijekom prelaska sa linija na kartama do izgradnje pruge. DB je zamislio da novim se novim prugama koriste teretni vlakovi i vlakovi velikih brzina. Što je značilo da se ne mogu graditi pruge na velikim nagibima nego su bili potrebni brojni tuneli i vijadukti, a pošto je njemačka pretežito brdovita zemlja to je značilo usporavanje izgradnje projekta. Međutim tehnički problemi nisu završili na tome, nego je bilo potrebno izgraditi dodatne kolosijeke na koje se teretni vlakovi mogu prebaciti dok propuštaju vlakove velikih brzina. Na liniji Cologne-Frankfurt odbačen je plan mješanog prometa jer je trošak izvedbe bio



preveliki zbog velikog broja potrebnih tunela i vijadukta te je odlučeno da linija prati teren na kojem je odlučeno graditi prugu.

Tek 1991. godine je odobren putnički promet na liniji između Mannheima i Stuttgarta. DB pušta u promet ICE 91 (Slika 6), na kojem su vlakovi prometovali brzinom od 250 km/h dok im je dano dopuštenje za povećanje brzine na 280 km/h kako bi nadoknadili izgubljeno vrijeme zbog mogućih zakašnjenja.



Slika 6. Prikaz DB-ova vlaka velikih brzina

Njihovom primjenom vrijeme putovanja između Hannovera i Frankfurta smanjeno je za skoro sat vremena te je iznosilo dva sata i dvadesetdvije minute, a putovanje između Hannovera i Stuttgarta je smanjeno sa pet sati i tridesetsedam minuta na tri sata i četrdesetpet minuta. Ovaj poduhvat je stavio Njemačku na treće mjesto na listi najbržih komercijalnih usluga, odmah iza Japana i Francuske (Slika 7). DB-ov vozni red je uništen tijekom ujedinjenja Njemačke 1990. godine. Ponovno pokretanje voznog reda nije prošlo glatko jer je DB imao 25 dostupnih ICE vlakova dok mu je bilo potrebno 60. Prvobitno je ICE imalo loš ugled zbog brojnih problema i nedostatka opreme na vlakovima koji su užurbano bili puštani u promet. DB-ovi zaposlenici su uspjeli brzo riješiti sve probleme te je ICE počeo dobivati ugled koji i zaslužuje.



Slika 7. Prikaz ICE mreže u Njemačkoj[12]

ICE 1 vlakove izradila je tvrtka Siemens koji je bio zadužen za izradu većine željezničkih vozila. Zbog dobre perspektive ICE 1 vlakova DB-ovi inženjeri su planirali drugu generaciju ICE vlakova koja bi se koristila za povezivanje drugih tržišta i za međunarodni transport. 1993. godine u proizvodnju kreće druga generacija brzih vlakova zvana ICE 2. Oni pružaju bolju fleksibilnost, lakši su zahvaljujući aluminijskoj izgradnji u odnosu na ICE 1 vlakove. Treća generacija ICE vlakova poznata kao ICE 2/2. Unatoč imenu koje slični na ICE 2 vlakove, nisu imali skoro nikakve sličnosti s ICE 1 i ICE 2 vlakovima. Glavni inženjer DB-ovog odjela za tehnički dizajn Heinz Kurz 1997. godine razvija novu generaciju brzih vlakova ICE 3. DB

tijekom 2008. godine počinje razmatrati uvođenje najnovije generacije ICE vlakova zvanu ICE  
4. Dogovor se postiže 2011. godine sa Simensom o izradi 130 vlakova do 2030. godine.[5]

## 4. INFRASTRUKTURNE ZNAČAJKE BRZIH ŽELJEZNICA U NJEMAČKOJ

### 4.1 Kolosijeci za velike brzine s kolosiječnim zastorom

Gornji ustroj kolosijeka za velike brzine sadrži sve elemente klasičnog kolosijeka. Kolosijeci se izvode standardne širine(1435mm), elektrificiraju se izmjeničnom strujom od 15kV i 16.7 Hz. Mogu biti izvedeni s kolosiječnim zastorom i bez kolosiječnog zastora. Kolosijeci s kolosiječnim zastorom sastoje se od tračnica veće mase (tip 60E1), prednapetih betonskih pragova širine 2.6m koji su postavljeni na razmaku od 0.5 m, koristi se elastičan kolosiječni pribor, kolosiječni zastor od tučenca, zaštitni sloj ravnika te imaju zaštitni sloj protiv smrzavanja(Slika 8).



Slika 8. Kolosijek sa kolosiječnim zastorom[13]

Tijekom prometa vlakova velikih brzina javljaju se velike sile kojima se odupire kolosijek te kako bih spriječili dugoročna oštećenja moramo pratiti stanje kolosijeka. Ako imamo neke pogreške na tračnicama, zavarenim i izolacijskim spojevima najprije ćemo primijetiti zbog pojave ulegnuća i oštećenja zastora. Do toga dolazi prilikom stalnih vibracija koje proizvode vlakovi velikih brzina. Kako bi se spriječila oštećenja kolosijeka trebamo se pridržavati konstrukcijskih zahtjeva. [13]

## 4.2. Kolosijek na čvrstoj podlozi

Na prugama velikih brzina najčešće se izgrađuje kolosijek na čvrstoj podlozi (Slika 9) . Kolosijek na čvrstoj podlozi (njem. „Feste Fahrbahn“) ima određene prednosti. Takvi kolosijeci produžuju životni vijek pruge, smanjuju troškove održavanja i zahtijevaju manje održavanja, visoko su iskoristivi, imaju nižu konstruktivnu visinu i manju težinu konstrukcije, osiguravaju visoku horizontalnu i vertikalnu stabilnost kolosijeka te s njima nema problema s uzdizanjem zastornih čestica kod velikih brzina.[14]



Slika 9. Kolosijek na čvrstoj podlozi[14]

Kod kolosijeka na čvrstoj podlozi zastor je zamjenjen čvršćim i stabilnijim materijalom kao što su beton ili asfalt. Na taj način se smanjuje visina i debljina konstrukcije i izbjegava se sila otpora u zastornoj prizmi prilikom prolaska brzih vlakova po pruzi. [15]

Razvoj ovakvog tipa kolosijeka započeo je u Njemačkoj krajem pedesetih godina prošloga stoljeća. Iduća dva desetljeća provodila su se iscrpna istraživanja na postojećim kolosijecima koji su služili za promet vlakova velikih brzina. Godine 1972. izgrađeno je početnih 60 metara kolosijeka na betonskoj podlozi na željezničkom kolodvoru Rheda u Njemačkoj. Posljedično je takav sustav dobio naziv „Rheda“ kolosiječni sustav (Slika 10).[15]



Slika 10. Izgradnja sustava „Rheda“ [15]

### 4.3 Tunel Katzenberg

Tunel Katzenberg je željeznički tunel koji je izgrađen na brznoj željeznici koja povezuje gradove Karlsruhe u Njemačkoj i Basel u Švicarskoj. Otvoren je u prosincu 2012. godine, a izgrađen je kako bi promet koji se proteže dolinom Rajne bio rasterećeniji. Dug je gotovo 10 kilometara (Slika 11).



Slika 11. Tunel Katzenberg[16]

Sustav nadzemnih kontaktnih vodova ovog tunela morao je biti prilagođen velikoj brzini putovanja, stoga je bilo potrebno provođenje snažnog sustava za prenošenje električne energije. RPS (Rail Power System) je tako uspio razviti modificiranu kontaktnu mrežu velike brzine za jednokolosiječne tunele. Provođenje sustava napajanja električnom energijom trajalo je od 2009. do 2011. godine. Osim kontaktne mreže, RPS je uspio razviti i njezin način pričvršćivanja. Zato konzolne komponente nisu pričvršćene na već ugrađene sidrene tračnice, već su pričvršćene za tunelske prstenove pomoću sidra. Prilikom izgradnje moralo se paziti na razmak od 48 metara između potpornih točaka, a vanjski kamen nije se smio bušiti. Kako bi se bušile ostale komponente izgradnje sustava tunela Katzenberg, osmišljeno je ukupno devet šablona za bušenje (Slika 12) s ciljem izbjegavanja skupljanja prašine.



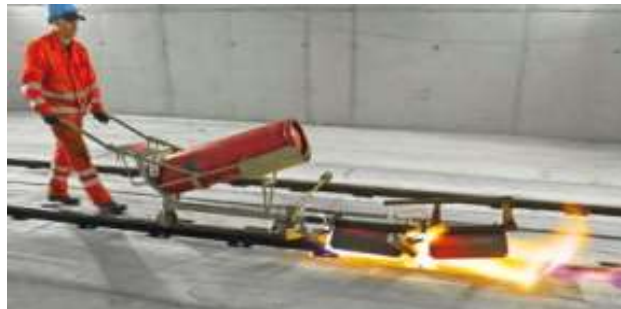
Slika 12. Primjer jedne od šablona za bušenje[16]

Prilikom izgradnje ovoga tunela, tvrtka RPS bila je odgovorna i za provođenje signalizacije. Tako su ugradili najnoviju generaciju sigurnosnih svjetala (Slika 13) i instalirali su inovativne višestruke utičnice unutar tunela. Instalirano je njih čak 150 samo u ovome tunelu kako ne bi uopće došlo do prekida električne energije.



Slika 13. Sigurnosna svjetla[16]

Tvrtka Max Bögl isporučila je i montirala 180 metara zavarenih tračnica na ranije postavljene montažne ploče. Zavarene su glave tračnice, a stare tračnice zamijenjene su dugim zavarenim tračnicama (Slika 14,15).



Slika 14. Instalacija modularnih i dugih zavarenih tračnica[16]



Slika 15. Tunel Katzenberg izvana[16]



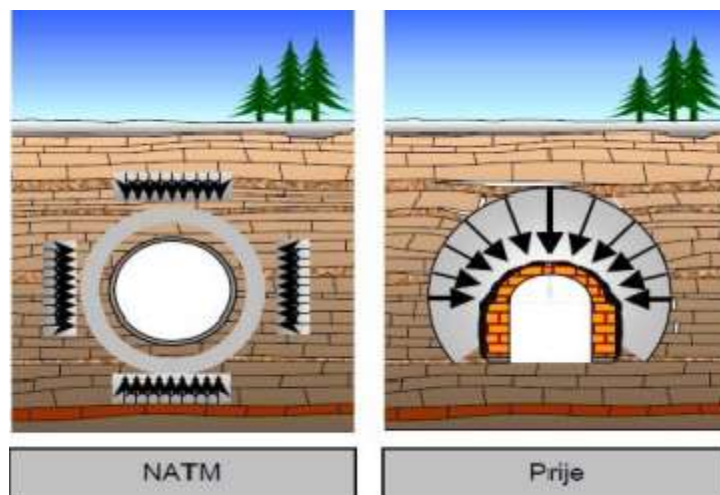
#### 4.4 Tunel Landrücken

Tunel Landrücken (Slika 16) stariji je od tunela Katzenberg i izgrađen je još 1988. godine. Nalazi se na brznoj željeznici koja povezuje njemačke gradove Hannover i Würzburg. Tunel se proteže na 10 779 metara i za sada je najduži tunel u Njemačkoj.



Slika 16. Tunel Landrücken[17]

Ovaj dvokolosiječni tunel izgrađen je na temelju tzv. nove austrijske tunelske metode (NATM) čije je glavno obilježje aktiviranje prstena ili luka mobiliziranjem nosivog kapaciteta stijenske mase ili tla koliko god je to moguće (Slika 17). [18]



Slika 17. Nova metoda izgradnje tunela[18]

Najduži željeznički tunel u Njemačkoj ima postavljena tri okna za ventilaciju, njegov ukupni poprečni presjek je između 100 i 110 kvadratnih metara, a maksimalni nagib mu je čak 1,25%.

#### 4.5 Izgradnja podvodnog željezničkog tunela

Željeznički tunel je podzemna pružna građevina cjevaste konstrukcije kojoj jedan ili oba kraja završavaju na površini zemlje, a namijenjena je za prolaz željezničke pruge. Ovakvim tunelom svladavaju se prirodne prepreke i skraćuje se duljina puta.[15] Željeznički tuneli razvrstavaju se na temelju broja kolosijeka u tunelu i broju tunelskih cijevi koje su namijenjene za odvijanje željezničkoga prometa. Vrste željezničkih tunela su jednocjevni tuneli s jednim kolosijekom, jednocjevni tuneli s dva kolosijeka, jednocjevni tuneli s više od dva kolosijeka, dvocijevni tuneli s po jednim kolosijekom u tunelskoj cijevi i ostali tuneli. [19]

U Njemačkoj je trenutno u tijeku izgradnja najdužeg podvodnog cestovno-željezničkog tunela na svijetu, a zamišljeno je da povezuje Njemačku i Dansku. Ime tunela je Fehmarn Belt Fixed Link, a trebao bi biti dugačak oko 18 kilometara. Budući da se željeznički tuneli razvrstavaju i na temelju duljine tunelske cijevi, ovaj bi tunel spadao u duge tunele građene do 20 000 metara. Ovaj tunel spuštati će se čak do 40 metar ispod razine Baltičkog mora. Fehmarn Belt Fixed Link postat će glavna veza između srednje Europe i Skandinavije (Slika 18), a vrijeme putovanja od Lollanda do Fehmarna skratit će se s 45 minuta putovanja trajektom na 10 minuta putovanja autom, a 7 minuta brzom željeznicom. [20]



Slika 18. Povezanost tunela Fehmarn Belt Fixed Link[21]

Lolloland je inače povezan s Fehmarnom od 1963. godine s kojim dijeli trajektnu liniju. Od tada se razmišlja i razgovara o boljem i trajnijem rješenju povezanosti. Prvo je planirana izgradnja mosta koja je trebala biti gotova do 2018. godine. Iako je prvotna ideja bila da se izgradi most, danska tvrtka Femern A/S 2010. godine predlaže izgradnju tunela kao bolje rješenje za povezanost Njemačke i Danske. Godinu dana poslije projekt je prihvaćen, godine 2022. započela je izgradnja, a kraj projekta predviđa se za 2029. godinu. [22]

#### 4.6 Berlinski glavni kolodvor

Berlinski glavni kolodvor (Berlin Hauptbahnhof) je središnji željeznički kolodvor smješten u Berlinu, u istome gradu u kojem se nalazi središte tvrtke BD Fernverkehr AG. Izgrađen je na mjestu „bivšeg“ kolodvora Lehrter. Novi berlinski kolodvor otvoren je 2006. godine, a izgradio ga je arhitekt Meinherd von Gerkan, poznat i kao arhitekt berlinske zračne luke Tegel. [23] Izgradnja ovog kolodvora stajala je oko 700 milijuna eura, ako se ne računa infrastruktura, tunel za cestu i povezivanje s podzemnom željeznicom.

Preuređenje starog kolodvora trajalo je između 2002. i 2006. godine, a rasprave i dogovori oko njegove izgradnje počele su još nakon pada Berlinskoga zida 1989. godine. Godine 1995. počela je gradnja tunela Tiergarten koji je dovršen 2005. godine. Godine 2001. započinje

izgradnja mostova za novi smjer gradske željeznice. Radovi na izgradnji krova novog kolodvora krenuli su 2002. godine (Slika 19).



Slika 19. Izgradnja glavnog kolodvora u Berlinu, autor Albrecht Konz[24]

Izgradnja hale i mostova završena je 2003. godine te je omogućeno uspostavljanje prometa na novom prometnome pravcu. Promet se odvija na sveukupno pet razina. Dva kolosijeka gradske željeznice na mostovima postavljeni su kao dvije glavne platforme koji se nalaze 10 metara od razine ulica. Četiri kolosijeka protežu se 15 metara iznad površine. Peroni u tunelu Tiergarten nalaze se ispod rijeke Spree i vode prema jugu, Postdamer Platzu.

Mostovi gradske željeznice dugi su 450 metara, a na tlocrtu prate smjer linija gradske željeznice i granaju se s četiri na šest platformi, kao i dodatni kolosijeci. Mostovi se protežu nad riječnom lukom, a građeni su od lukova s čeličnim cijevima i vijencem betonskih greda. Glavna hala duga je 3, 21 km i proteže se u smjeru istok-zapad. Izgrađena je kao staklena konstrukcija bez potpornih stupova (Slika 20).



Slika 20. Berlinski glavni kolodvor[25]

Berlinski glavni kolodvor je čvorište ICE, IC i EC željezničkih linija. ICE linije spajaju Berlin s Kielom, Hamburgom, Leipzicom, Nürnbergom, Münchenom, Trierom, Hannoverom, Kölnom, Bonnom, Baselom, Meinhammom, Frankfurtom na Majni, Innsbruckom i Stuttgartom. IC linije povezuju Berlin s Westerlandom, Hamburgom, Pragom u Češkoj, Bečom u Austriji, Budimpeštom u Mađarskoj i Bratislavom u Slovačkoj. Berlin je tako povezan s gradovima kao što su Stralsund, Erfurt, Düsseldorf i Magdeburg. EuroCity linije povezuju Berlin s Varšavom, Krakovom, Hamburgom i Cottbusom (Slika 21).



Slika 21. ICE mreža povezana s Berlinom[26]

## 5. VOZNI PARK BRZIH ŽELJEZNICA U NJEMAČKOJ

Prije nego se detaljnije osvrnemo na brze željeznice u Njemačkoj, potrebno je odrediti definiciju voznoga parka. Vozni park podrazumijeva skup svih transportnih sredstava autotransportne organizacije (automobili, autobusi, teretna motorna vozila, tegljači, prikolice i poluprikolice). Formacija voznog parka izvodi se prema teritorijalnim i organizacijskim potrebama. Organizacijski vozni park može se formirati za djelatnosti javnog prijevoza ili za djelatnosti prijevoza za osobne potrebe. Osim toga, vozni parkovi mogu se razlikovati sa djelovanjem na fiksnim ili promjenjivim rutama, a to ovisi o potražnji. Ustroj voznog parka prema teritorijalnim potrebama podrazumijeva sve navedene oblike organizacijskoga voznog parka, ali s ograničenim teritorijalnim djelovanjem. [27]

Kada se govori o sastavu voznoga parka, vozni park sastoji se od motornih vozila i priključnih vozila koja posjeduju određena tehničko-eksploatacijska obilježja. Ova obilježja podrazumijevaju dimenzije vozila, razmak osovina, razmak kotača, promjer okretanja, dinamička svojstva vozila, masa praznog vozila, korisna nosivost vozila, zapremnina teretnoga vozila, ekonomičnost i ostalo.

Vozni park može se podijeliti na homogeni i heterogeni vozni park. Homogeni vozni park sastavljen je od vozila istoga tipa i marke koji imaju ista tehničko-eksploatacijska obilježja. Međutim, najčešće se pojavljuje heterogeni vozni park koji je sastavljen od vozila različitih tipova i marki s isto tako različitim tehničko-eksploatacijskim obilježjima. Kako bi vozni park bio efikasan u svojem izvođenju, potrebno je pokušati „tipizirati“ vozila prilikom formiranja voznih parkova.

Što se tiče upravljanja voznim parkom *fleet management*, to je složen sustav planskih aktivnosti koji podrazumijeva organizacijsku i logističku platformu i druge nužne specijalizirane resurse za praćenje i planiranje. Ono uključuje i potpuni nadzor događaja unutar ciklusa korištenja vozila u poslovne svrhe. Neki od elemenata upravljanja voznim parkom su nabava i izbor vozila, financiranje, osiguranje, *accident management*, usmjeravanje vozila, praćenje vozila, održavanje vozila, *conflict management* i ljudski potencijali. Zaključno, upravljanje

voznim parkom zapravo je skup aktivnosti kojima organizacijska jedinica određene tvrtke upravlja i skrbi o voznome parku. [28]

Vozni park brzih željeznica u Njemačkoj ima poprilično bogatu strukturu. Deutsche Bahn Fernverkehr AG je nacionalna željeznička tvrtka kojom upravlja njemačka vlada, a sjedište joj je u Berlinu. DB je druga najveća transportna tvrtka na svijetu (nakon poštanske i logističke tvrtke Deutsche Post). DB je najveći željeznički operater i vlasnik infrastrukture u Europi. Grupa je podijeljena na nekoliko tvrtki: DB Fernverkehr (putnički prijevoz za duge udaljenosti), DB Regio (lokalne putničke usluge) i DB Cargo (željeznički teretni prijevoz). [29]

Budući da je glavna tema ovoga rada brza željeznica u Njemačkoj, zadržat ćemo se na tvrtki DB Fernverkehr koja upravlja putničkim vlakovima na duge udaljenosti. Ova tvrtka osnovana je 1999. godine, a upravlja svim InterCity Express i InterCity vlakovima u Njemačkoj. Isto tako, razgranata je i u susjednim zemljama te upravlja i s određenim EuroCity i Eurocity Express vlakovima. Za DB Fernverkehr možemo reći da drži monopol nad njemačkom željeznicom budući da na dnevnoj bazi upravlja s više od stotinu vlakova, dok sestrinske tvrtke upravljaju s njih petnaestak.

U nastavku slijedi detaljniji prikaz njemačke brze željeznice: IC Express te IC i EC.

## 5.1 Intercity Express (ICE)

Intercity Express, poznat i kao skraćena ICE, jest njemački sustav željeznice koji prometuje u Njemačkoj i okolnim zemljama (Belgija, Francuska, Nizozemska, Švicarska, Austrija). Taj sustav nastao je unutar tvrtke DB Fernverkehr i smatra se velikom uspješnicom njemačke državne željeznice (Deutsche Bahn). Vrijeme brzih vlakova u Njemačkoj dolazi 1991. godine, a ICE se smatra zaštitnim znakom njemačkog željezničkog prometa.

Trenutno postoje četiri varijante, to jest generacije ICE vlakova: ICE 1, ICE 2, ICE 3 i ICE T (ICE T/TD, ICE T2. ICE vlakovi lakirani su svijetlo sivom bojom s crvenom linijom koja se proteže cijelom duljinom vlaka.[30]



Prva generacija ICE vlakova puštena je u promet 2. lipnja 1991. godine. Od tada ICE postaje sinonim za brzinu, kratko vrijeme putovanja, maksimalnu udobnost i modernu opremu vozila. Idućih godina, ICE je postao omiljeno prijevozno sredstvo sa skoro šezdeset vlakova, a razlog tome jest značajno smanjenje vremena putovanja s točke A do točke B u usporedbi s osobnim automobilom i avionom. [31]

## 5.2 ICE 1

ICE 1 vlakovi opremljeni su visokim tehnologijama kao što su klima uređaji i podno grijanje. ICE 1 (klasa 401) ima dvije pogonske glave, dvanaest vagona i dug je 358 metara. Njegova najveća dozvoljena brzina je 280 km/h, a postiže ju električnim pogonom sa snagom od otprilike 9600kW. Osim dvanaest vagona, vlak ima vagon-restoran i bistro-vagon s povišenim krovom (Slika 22). [32]



Slika 22. Kupe sa šest sjedala u ICE 1[33]

Od 2020. godine ICE 1 prolazi kroz modernizaciju. Uvode se nove tehnologije i mjere udobnosti. Vlakovi imaju više prostora za prtljagu, ugrađeni su dodatni i veći zasloni za putnike i nadograđen je toalet. Kupe za djecu opremljen je šarenim tepisima i dječjim motivima i postavljen je dodatni podizni stol za korisnike invalidskih kolica. Modernizirani ICE 1 dug je 279 metara, ima devet običnih vagona i jednu pogonsku glavu.

## 5.3 ICE 2

Druga generacija brzih vlakova u Njemačkoj počela je prometovati 1996. godine. Za razliku od ICE 1, ICE 2 ima jednu pogonsku glavu i upravljački vagon (Slika 23). Njemačka željeznica realizirala je isti koncept i kod budućih ICE vlakova 4. ICE vlakovi druge generacije obično voze na liniji istok-zapad. Put počinje u Berlinu i prolazi kroz regiju Rhein Ruhr, tu prolaze obje glavne linije. Druga generacija ICE vlakova vozi od Hamma preko Dortmundu, Essena i Düsseldorfa kao i preko Hagena, Wuppertala i Kölna. [5]



Slika 23. ICE 2[34]

Koncept ICE 2 vlaka omogućuje fleksibilnost-dva vlaka mogu biti zajedno spojena. Tako je omogućeno lakše i jednostavnije prometovanje, vlakovi se prilagođavaju raznim prijevoznim opterećenjima.<sup>4</sup> Za ICE 2 vlakove karakteristične su prednje kape koje pokrivaju kvačilo. Time se smanjuje otpor zraka pri velikim brzinama. ICE 2 ima jednu pogonsku glavu i jedan vagon upravljačnica s odjeljkom za putnike. Tu su i vagon-restoran i bistro-vagon koji, za razliku od ICE 1, imaju istu visinu krova kao i ostali odjeljci.<sup>3</sup> Vlak je dug 205 metara, težak 418 tona i postiže brzinu do 280k/h.[5]

## 5.4 ICE 3

ICE 3 pušten je u promet 2000. godine, a poznat je kao „onaj brzi“. Ovaj najbrži vlak koji prometuje u Njemačkoj i u inozemstvu postavio je nove tehničke standarde. ICE 3 postiže brzinu čak do 300 km/h. Za razliku od svojih prethodnika (ICE 1, ICE 2), ovaj vlak nema konvencionalnu pogonsku glavu, već se radi o vlaku s pogonskim vagonima. To znači da je pogon ravnomjerno raspoređen po cijeloj dužini vlaka (Slika 24).



Slika 24. ICE 3[35]

ICE 3 vlakovi dijele fleksibilnost s ICE 3 vlakovima, odnosno dva vlaka mogu biti zajedno spojena. Treća generacija ICE vlakova podijeljena je na četiri serije: 403, 406, 407 i 408, a poznate su još kao ICE 3, ICE 3M, New ICE 3 i ICE 3neo. Serija 403 namijenjena je za uporabu unutar granica Njemačke. Ti vlakovi dugački su 200 m, imaju osam vagona, a svojim električnim pogonom postiže snagu od 8000 kW. Njegova najveća dozvoljena brzina je čak 330 km/h, stoga bez poteškoća svladava uspone od 40 promila. Serija 406 dizajnirana je za međunarodnu upotrebu i uglavnom prometuju prema Bruxellesu i Amsterdamu.

Vlakovi serija 403 i 406 doživljavaju modernizaciju od 2017. godine, a završetak je planiran početkom 2024. Radi se na dobivanju većeg prostora kako bi komfor bio bolji i

elegantno dizajniran restoran s 20 sjedećih mjesta. Program redizajna uključuje i nova sjedala i stolove, nove police za prtljagu i novi sustav informiranja putnika. Na početku i na kraju vlaka nalaze se posebni odjeljci prvoga razreda koji su staklenim zidom odvojeni od strojovođe (Slika 25). [36]



Slika 25. Stakleni zid između putnika i strojovođe, redizajn ICE 3 serije[37]

ICE 3neo razvijen je zajedno s DB partnerom, tvrtkom Siemens, a pušten je u promet 22. prosinca 2022. godine (Slika 26). Do 2030. godine planira se pustiti u promet čak 74 novih vlakova, a time će se kapacitet dnevnog prostora za putnike povećati za oko 32 000 sjedećih mjesta.



Slika 26. ICE 3neo (Velaro MS)[38]

Ovaj vlak opremljen je novim LED statusnim svjetlom, a rezervirana i slobodna mjesta označena su određenom bojom. Crvena LED dioda označava da postoji rezervacija koja je važeća za ukrcaj, žuta označava da postoji rezervacija tek kasnije na ruti, a slobodna mjesta nisu označena, odnosno nema teksta i LED ne svijetli (Slika 27).



Slika 27. Način funkcioniranja LED svjetala[39]

ICE 3neo dugačak je 201 m, ima osam vagona, 439 sjedećih mjesta i težak je gotovo 500 tona. Kao i drugi ICE vlakovi, dostiže brzinu do 320 km/h i prometuje prema Belgiji i Nizozemskoj.[40]

## 5.5 ICE T

ICE T, poznat i kao „specijalist za nagibe“, prometuje od 1999. godine. Ovaj vlak ima posebnu tehniku naginjanja, drugim riječima radi se o nagibnome vlaku velikih brzina koji se može nagnuti u zavoju do 8° (Slika 28). ICE T je do 30% brži na zavojitim dionicama nego drugi, konvencionalni vlakovi. Na to ukazuje i slovo „T“ u nazivu vlaka kao engleska kratica za „tilt-technology“. ICE T dostupan je u dvije serije: kao vlak s 5 i sa 7 vagona. Te dvije serije vlakova mogu se spojiti i voziti kao dvostruki vlak.



Slika 28. ICE T u nagibu[41]

ICE T vlak serija 415 pušten je u promet 1999. godine, a ima pet vagona, dug je 133 m, težak 273 t i postiže brzinu do 230km/h. ICE T vlak serije 411 (prva serija) prometuje od 2000. godine, a druga serija vlaka 411 prometuje od 2004. godine. Obje serije imaju sedam vagona, teški su 386 t, dugi 185 m i također postižu brzinu do 230 km/h. Ovi vlakovi imaju električni pogon između 3 000 i 4 000 kW. Na početku i na kraju ICE T vlakova postoje vagoni za prvi

razred koji su, kao i u ICE 3, od strojovođe odvojeni staklenom pregradom što omogućuje poseban doživljaj vožnje, pogotovo zbog nagiba.[42]

## 5.6 ICE Sprinter

ICE Sprinter je njemačka najbrža izravna veza bez zaustavljanja između velikih njemačkih gradova. Ovu liniju najčešće koriste poslovni ljudi kojima je u cilju najbrže stići do određenog odredišta. Ovakvom vožnjom za otprilike 3 i pol sata može se stići od Frankfurta ili Mainza do Berlina ili u suprotnome smjeru, isto kao i od Hamburga do Frankfurta (Slika 29).



Slika 29. Prikaz svih ICE Sprinter linija[43]

ICE Sprinter nudi dva razreda. U prvome razredu poslužuju se doručak i večera zajedno s toplim i hladnim napitcima. U drugome razredu osoblje izravno poslužuje putnike pomoću kolica za „catering“.<sup>2</sup>

## 5.7 ICE 4

Novi ICE 4 prošao je probni rok s dva vlaka u listopadu 2016. godine, a službeno je pušten u promet 2017. godine. Ovaj vlak je moderan i prilagođen različitim tehničkim nadogradnjama kako bi mogao parirati u brzom njemačkom prometu (Slika 30). Nova pogonska tehnologija štedi resurse i korišten je aerodinamični dizajn, čime je do izražaja došla ekološka osviještenost.



Slika 30. ICE 4, 2021.[44]

Kao što je spomenuto, ICE 4 je naravno vrlo moderan i svojim novim značajkama osigurava visoku razinu udobnosti putnicima. U vlaku je ugrađen novi sustav informiranja putnika koji ih obavještava o njihovom putovanju u stvarnome vremenu preko šest monitora u svakome vagonu (Slika 30). ICE 4 je isto tako prvi vlak koji sadrži parkirna mjesta za bicikle, inovativni sustav osvjetljenja koji ovisi o dobu dana te ima ugrađenu najnoviju WiFi tehnologiju (WLAN) i telekomunikacijsku tehnologiju.





Slika 31. ICE 4 interijer, prva klasa[45]

Nova sjedala u ICE 4 vlakovima imaju naslone koji se pri podešavanju ne pomiču unatrag, već ulaze u okvir sjedala i tako ne smetaju osobi koja sjedi iza. ICE 4 nudi i veliki prostor za pohranu: široke police za prtljagu u svakom vagonu pružaju dovoljno prostora za pohranu i omogućuju spremanje velike i teške prtljage, čak i u razini poda. Osim toga, ICE 4 ima i četiri mjesta za invalidska kolica (Slika 32), dvije rampe za podizanje i sustav taktilnog navođenja čime se osigurava visok standard pristupačnosti. [46]



Slika 32. Mjesta za invalidska kolica u ICE 4[47]

ICE 4 broji tri serije vlakova: 7-Teiler (vlak sa sedam vagona), 12-Teiler (12 vagona) i 13-Teiler (13 vagona). ICE 4 12-Teiler prva je serija koja je puštena u promet 2017. godine. Ima 830 sjedećih mjesta, dug je 346 m, a težak 670 tona. ICE 4 7-Teiler pušten je u promet 2020. godine, ima 444 sjedećih mjesta, dug je 202 m, a težak 389 tona. ICE 4 13-Teiler prometuje od 2021. godine, ima čak 918 sjedećih mjesta, dug je 374 m i teži 731 tonu. Sve tri serije postižu brzinu do 250 km/h, a njihov električni pogon ima snagu između 4 950 kW i 11 550 kW. ICE 4 vlakova danas ima sveukupno 137.

## 5.8 IC i EC vlakovi

Osim ICE vlakova, Njemačka posjeduje InterCity i EuroCity vlakove. IC-om upravlja Fernverkehr DB, a radi se o domaćoj ekspresnoj usluzi koja je namijenjena za duga putovanja po cijeloj Njemačkoj. Ovi vlakovi voze u vremenskom intervalu od dva sata, a oni koji prolaze glavnim rutama imaju češći raspored vožnje. EC vlakovi su vlakovi koji prometuju izvan granica Njemačke i povezuju velike europske gradove. Europske i Švicarske željeznice su multilateralne, odnosno višestranne kako bi EC vlakovi mogli prometovati kroz njihove gradove. Ovi međunarodni vlakovi moraju zadovoljavati određene standarde, kao što su udobnost, brzina, ugostiteljske usluge i čistoća. [48] Važno je naglasiti da su EuroCity usluge dio InterCity mreže. To znači da veliki broj IC vlakova prometuje do drugih europskih zemalja, a smatraju se EC vlakovima jer prolaze i kroz druge države, ali na kratkoj relaciji.

## 5.9 InterCity vlakovi

IC je uveden 1971. godine kako bi zamijenio stare „F-zug“ vlakove. IC je do devedesetih godina prošloga stoljeća bio glavni način prijevoza u Njemačkoj, sve do pojave ICE vlakova. Iako se IC vlakovi manje koriste, ipak su i dalje učinkoviti i pružaju udobnost. IC jesu niže

kvalificirani vlakovi, međutim svaki vlak osigurava udoban smještaj i obroke. Neki IC vlakovi imaju kafiće, a neki restorane. [48]

IC broji dvije vrste vlakova: InterCity 1 i InterCity 2. Iako su nešto manje luksuzni od ICE vlakova, i dalje su poprilično brzi pa tako postižu brzinu do 200 km/h. Ovi vlakovi prometuju na brojnim njemačkim rutama, uključujući rutu Köln-Hamburg i rutu Köln-Mainz koja prolazi kroz dolinu rijeke Rajne. IC vlakovi voze i na međunarodnim rutama, na primjer između Amsterdama i Berlina, ali i na rutama prema Luksemburgu, Švicarskoj i Austriji.

### 5.10 InterCity 1

IC 1, poznat i kao klasični putnički vlak (der Reisezugklassiker), bio je glavno međugradsko prijevozno sredstvo njemačke željeznice otprilike dvadeset godina, prije pojave ICE vlakova (Slika 11). Ovaj klasični putnički vlak sastoji se od lokomotive i ima između 6 i 11 putničkih vagona, stoga je njegova dužina ovisna o broju vagona. Ako se broji svih jedanaest vagona, ukupna dužina IC 1 vlaka je 310 metara, a svaki vagon pojedinačno ima otprilike 26 metara. Za razliku od ICE vlakova, IC vlakovi sastavljaju se pojedinačno i ono ovisi o broju putnika (Slika 33).



Slika 33. IC 1[49]

Lokomotiva klase 101 pokreće se na električni pogon. Za neke relacije, na primjer do mjesta Allgäu ili Sylt, koriste se dizel lokomotive. Dizel lokomotive koriste se uglavnom za relativno kratke dionice bez elektrifikacije. [50] Lokomotiva je lako zamjenjiva, zato se može omogućiti nesmetana vožnja bez presjedanja. Putnički vagoni IC 1 vlakova kupljeni su između 1970. i 1980. godine, a do danas su u nekoliko navrata modernizirani i dorađeni. Prva detaljna modernizacija unutrašnjosti vagona provedena je devedesetih godina prošloga stoljeća, a početkom novoga tisućljeća većina vagona opremljena je elektroničkim sustavom za informiranje putnika te je osposobljena elektronička rezervacija sjedala. Između 2012. i 2014. godine vagoni su opremljeni novim sjedalima, tepisima i stolovima (Slika 34).



Slika 34. Unutrašnjost jednog od vagona IC 1[51]

Modernizacija IC 1 vlakova nastavila se i 2018. godine, kada su nanovo presvučena sva sjedala u otprilike dvjesto vlakova. Novim sustavom snalaženja u vlaku poboljšana je i olakšana orijentacija za putnike, a u dječjem i obiteljskom prostoru unutar vlaka djeca mogu uživati u raznim stolnim igrama. Do kraja 2021. godine modernizirano je više od 800 toaleta u svakome vagonu (Slika 35), a između 2019. i 2021. godine svi IC 1 vlakovi opremljeni su besplatnim WiFi-jem.



Slika 35. Moderniziran i uređen toalet u IC 1 vlaku[52]

IC 1 vlakovi koriste se na mnogobrojnim rutama unutar Njemačke, a voze i prema Nizozemskoj i Austriji. IC 1 povezuje urbane sredine, ali prometuje i do Allgäua, Berchtesgadena, Bodenskog jezera, Sjevernog i Baltičkog mora, do otoka Sylt i Rügen, kao i do Amsterdama, Salzburga, Graza i Klagenfurta. Ovi vlakovi također omogućavaju i prijenos bicikala.

### 5.11 InterCity 2

InterCity 2 je nova generacija vlakova na kat (vlak na dvije razine). InterCity vozni park 2015. godine predstavlja ove IC dvokatne vlakove kojima se postupno proširuje prometna mreža u Njemačkoj. Cilj uvođenja ovakve vrste vlakova jest stvaranje oko 190 novih putničkih veza koje će prolaziti kroz pedesetak velikih gradova. Planira se da u bližoj budućnosti svakome gradu koji broji više od 100 000 stanovnika bude omogućen vlak koji vozi na dugu udaljenost u vremenskom intervalu od dva sata. Na taj će način više od 5 milijuna stanovnika imati novu ili značajno poboljšanu međugradsku vezu. U ožujku 2020. godine uvedena je nova međugradska linija Dresden-Berlin-Rostock. [53]

IC 2 pruža komfor na dvije etaže (Slika 36) i omogućuje jedinstven pogled s gornjeg kata, dovoljno prostora za stvari i vagone namijenjene za obiteljska putovanja koji su prilagođeni i

najmanjima, djeci. Osim toga, ovi vlakovi izrađeni su kako bi bili ekološki prihvatljiviji pa tako troše petinu manje struje od IC 1.



Slika 36. IC 2 raspodjela katova[54]

IC 2 broji tri serije vlakova: 146/147, 4110 (4-Teiler) i 4010 (6-Teiler). Vlak 146/147 prometuje od 2015. godine, a ma četiri putnička vagona i jedan kontrolni vagon (Slika 37, 38). Broji 461 sjedeće mjesto, dug je 135 metara i težak 270 tona. Postiže brzinu do 160 km/h.



Slika 37. IC 2 146[55]



Slika 38. IC 2 147[55]

IC 2 4110 (Slika 32) vlakovi pušteni su u promet 2020. godine. Ima četiri vagona, 295 sjedećih mjesta, dug je „samo“ 100 metara (u odnosu na druge vlakove), teži 218 tona i postiže brzinu do 200 km/h. [55]



Slika 39. IC 2 4110[55]

IC 2 4010 prometuje na željeznici od 2022. godine. Sveukupno ima šest vagona i dug je 150 metara. Ima 486 sjedećih mjesta, težak je 354 tone i kao njegov „brat“, IC 2 4110, može voziti brzinom do 200 km/h.[55].

## 6. ZAKLJUČAK

Pojavom vlakova velikih brzina dolazi do velike promjene u načinu kretanja robe i putnika. Olakšan je prijevoz raznih roba preko većih udaljenosti što je doprinijelo većem razvoju zemalja, i olakšano je kretanje ljudi koji žive van gradova a putuju prema poslu ili iz drugih razloga. Milijunski gradovi su imali probleme s prenaseljenosti ali sada uz pomoć brzih željeznica nije potrebna centralizacija građanstva u uskom području grada jer je poboljšana međugradska povezanost i znatno je smanjeno vrijeme putovanja.

Njemačka mreža brzih željeznica se počela razvijati krajem 1970. godine i razvija se još dan danas. Danas je mreža dobro razvijena unatoč tome što je Njemačka pretežito planinska zemlja pa joj je potrebno više vremena i pažljivog planiranja prilikom izgradnje mreže u usporedbi s nekim susjednim zemljama. Brzi vlakovi su zaslužni za ekološki u učinkovit prijevoz putnika diljem Njemačke. Brzim vlakovima 2022. godine u Njemačkoj je prevezeno 98.1 milijun putnika.

Uz pomoć brzih vlakova Njemačka je uspjela ojačati svoje gospodarstvo i trenutno je jedna od vodećih sila u Europi. Zbog ovako velikih povrata na ulaganja u brze željeznice Njemačka nastavlja s ulaganjem u nove tehnologije i izgradnju infrastrukture s ciljem poboljšanja usluge, poboljšanjem ekolozičnosti i ekonomičnosti te povećanjem sigurnosti prometa.

Željeznica je jedan od najefikasnijih oblika transporta ljudi i dobara. Zemlje koje još nisu uvele sustave željeznica velikih brzina bih se trebale ugledati u gospodarski razvitak zemalja s razvijenim mrežama brzih vlakova.



## POPIS LITERATURE

- [1.] The Council of the European Union (1996.), Council Directive 96/48/EC of 23 July 1996 on the interoperability of the trans-European high-speed rail system, Official Journal L 235, 17/09/1996 P. 0006 – 0024
- [2.] Blašković Zavada Jasna, Osnove prometne infrastrukture; Sveučilište u Zagrebu; Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2019
- [3.] <https://uic.org/passenger/highspeed/article/high-speed-rail-history>
- [4.] [https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed\\_rail\\_in\\_the\\_United\\_Kingdom](https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail_in_the_United_Kingdom)
- [5.] The second age of rail-A history of high-speed trains, Murray Hughes
- [6.] [TGV France High Speed Railways operated by SNCF - Railway Technology \(railway-technology.com\)](https://www.railway-technology.com)
- [7.] [https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed\\_rail\\_in\\_France#/media/File:France\\_TGV.png](https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail_in_France#/media/File:France_TGV.png)
- [8.] [High Speed Rail in Italy – Engineering Rome](https://www.researchgate.net/publication/312511102)
- [9.] [https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed\\_rail\\_in\\_Italy#/media/File:Italy\\_TAV.png](https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail_in_Italy#/media/File:Italy_TAV.png)
- [10.] [25 years of high speed in Spain | ITRANSPORTE \(revistaitransporte.com\)](https://www.revistaitransporte.com)
- [11.] [https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed\\_rail\\_in\\_Spain#/media/File:Spain\\_High\\_Speed\\_Rail.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail_in_Spain#/media/File:Spain_High_Speed_Rail.svg)
- [12.] [https://www.researchgate.net/figure/Main-German-High-Speed-Rail-Corridors-until-2009\\_fig1\\_281102460](https://www.researchgate.net/figure/Main-German-High-Speed-Rail-Corridors-until-2009_fig1_281102460)
- [13.] <https://www.railway-technology.com/projects/ice-high-speed-rail/>
- [14.] Lakušić Stjepan, Vajdić Marko, Kolosijeci na čvrstoj podlozi, Tehnički, ekonomski i ekološki aspekti prometnica, Dani prometnica 2008., ur. S. Lakušić, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2008., str. 259-308

- [15.] [https://www.railone.de/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/broschueren/de/Rheda\\_City\\_D\\_2011\\_ebook.pdf](https://www.railone.de/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/broschueren/de/Rheda_City_D_2011_ebook.pdf)
- [16.] [https://www.railps.com/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/Katzenbergtunnel/RPS\\_EN\\_202\\_PR-Katzenbergtunnel.pdf](https://www.railps.com/fileadmin/user_upload/Referenzen/Katzenbergtunnel/RPS_EN_202_PR-Katzenbergtunnel.pdf)
- [17.] <https://www.wikidata.org/wiki/Q318228>
- 18.] <https://moodle.srce.hr/2017-2018/course/view.php?id=21269>
- [19.] Narodne novine. Pravilnik o tehničkim uvjetima za sigurnost željezničkoga prometa kojima moraju udovoljavati željezničke pruge (NN128/08). Preuzeto sa:  
[https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008\\_11\\_128\\_3670.html](https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_11_128_3670.html); 2008.
- [20.] <https://www.railway-technology.com/features/fehmarbelt-tunnel-european-link/?cf-view>
- 21.] <https://bmdv.bund.de/EN/Topics/EU-Policy/EU-Transport-Policy/Fehmarbelt/fehmarbelt-fixed-link.html>
- [22.] <https://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/fehmar-belt-tunnel-streit-ueber-ostsee-querung-nach-daenemark-kommt-vor-gericht-a-bda38feb-12bb-4cd5-a426-fa6c241bd350>
- [23.] <https://arquitecturaviva.com/articles/meinhard-von-gerkan-1935-2022>
- [24.] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Train\\_station\\_Berlin\\_Lehrter\\_Bahnhof\\_4.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Train_station_Berlin_Lehrter_Bahnhof_4.jpg)
- [25.] <https://www.deutschebahn.com/de/presse/presse-regional/pr-berlin-de/hintergrund/Berlin-Hauptbahnhof-Markantes-Eingangstor-zur-Stadt-8860186>
- [26.] <https://www.pinterest.com.au/pin/11470174029950478/>
- [27.] Topenčarević Ljubomir: Organizacija i tehnologija drumskog transporta, Građevinska knjiga, Beograd, 1987.
- [28.] Penava Žarko: Mogućnosti optimiranja upravljanja voznim parkom, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016.
- [29.] <https://www.deutschebahn.com/en/group>

[30.] A.-M. Poličnjak, D. Šego, M. Ljubić-Hinić: ICE MREŽA VLAKOVA NJEMAČKIH ŽELJEZNICA (ICE NETWORK OF TRAINS IN GERMAN RAILWAYS) November 2016

[31.] Deutsche Bahn AG (2014.), Daten & Fakten 2014., DB Mobility Logistics AG

[32.] [http://www.bahn.de/p/view/service/zug/fahrzeuge/ice\\_1.shtml](http://www.bahn.de/p/view/service/zug/fahrzeuge/ice_1.shtml)

[33.] [http://www.bahn.de/p/view/service/zug/fahrzeuge/ice\\_1.shtml](http://www.bahn.de/p/view/service/zug/fahrzeuge/ice_1.shtml)

[34.] [https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice\\_2](https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice_2)

[35.] [https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice\\_3](https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice_3)

[36.] [http://www.bahn.de/p/view/service/zug/fahrzeuge/ice\\_3.shtml](http://www.bahn.de/p/view/service/zug/fahrzeuge/ice_3.shtml)

[37.] <http://galerie.ice-fansite.com/picture.php?/478/category/12>

[38.] [https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice\\_3neo](https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice_3neo)

[39.] [https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice\\_3neo](https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice_3neo)

[40.] [https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice\\_3neo](https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice_3neo)

[41.]

<https://tse2.mm.bing.net/th?id=OIP.6bSyjlyw14hf0uBqcuVbNwHaEK&pid=Api&P=0&h=180>

[42.] [https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice\\_t](https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice_t)

[43.] [https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice\\_sprinter](https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice_sprinter)

[44.] [https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice\\_4#Zahlen](https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice_4#Zahlen)

[45.] [https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice\\_4#Zahlen](https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice_4#Zahlen)

[46.] [https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice\\_4#Zahlen](https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ice_4#Zahlen)

[47.] <https://ecm-mediathek->

<cdn.deutschebahn.com/cdnecmamination/db121508/445991/animation/index.html>

[48.] <https://news.g2rail.com/en/ultimate-guide-to-germany-railway/>

- [49.] <https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ic1>
- [50.] <https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ic1>
- [51.] <https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ic1>
- [52.] <https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ic1>
- [53.] [https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ic\\_2](https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ic_2)
- [54.] <http://1689228297.rsc.cdn77.org/mdstest/360/rundgangIC2/tour.html>
- [55.] [https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ic\\_2](https://www.bahn.de/service/ueber-uns/zugtypen/ic_2)

Sveučilište 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 Infrastrukturne značajke mreže brzih željeznica, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR. u Njemačkoj

Student/ica:

U Zagrebu, 6.9.2023.

Mario Čulig, Čulig  
(ime i prezime, potpis)

