Organizacija prometa u sustavu vlakova velikih brzina

Dokoza, Marin

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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:119:759583

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marin Dokoza

ORGANIZACIJA PROMETA U SUSTAVU VLAKOVA VELIKIH BRZINA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ORGANIZACIJA PROMETA U SUSTAVU VLAKOVA VELIKIH BRZINA
ORGANIZATION OF RAILWAY TRAFFIC IN THE HIGH-SPEED TRAIN SYSTEM

Mentor: doc. dr. sc. Borna Abramović

Student: Marin Dokoza, 0135228402

Zagreb, 2016.

SAŽETAK

ORGANIZACIJA PROMETA U SUSTAVU VLAKOVA VELIKIH BRZINA

Sustav vlakova velikih brzina predstavlja veliki iskorak naspram konvencionalnog željezničkog sustava. Razvoj sustava započeo je 1829. godine izgradnjom brze lokomotive „Rocket“. Danas sustavom vlakova velikih brzina prometuju moderna i udobna vozila brzinom od oko 300 km/h. Osim velike brzine, ovaj sustav ima i velike pozitivne organizacijske i eksploatacijske učinke. Sustav omogućava bolje iskorištenje vlakova, veći učinak radnog osoblja i bolju uslugu korisnicima. To je vidljivo u mnogim svjetskim sustavima velikih brzina jer ih danas koriste milijarde putnika. Sustav predstavlja velike financijske prednosti. U svim analiziranim eksploatacijskim troškovima ovaj sustav predstavlja financijski povoljniji sustav posebno u usporedbi sa konvencionalnim željezničkim sustavom.

KLJUČNE RIJEČI: željeznica velikih brzina; vlakovi velikih brzina; organizacija; troškovi; željeznički promet

SUMMARY

ORGANIZATION OF RAILWAY TRAFFIC IN THE HIGH-SPEED TRAIN SYSTEM

The high speed railway system presents big step comparing with conventional railway system. Development of this system started in 1829. with fast locomotive “Rocket”. Today, this system is operated by modern and comfortable vehicles which operates at 300 km/h. Except high speed, this system has positive organizational and exploitation characteristics. System allows better use of trains, higher performance of operating stuff and better service for the customers. That is obvious in many high speed train systems in the world which are used by billions of passengers. System present the big economic benefits. In all exploitation cost that are analyzed in this thesis, this system present financial benefits especially when is compared with conventional railway system.

KEY WORDS: high speed railway; high speed trains; organization; costs; railway transport

Sadržaj

1. UVOD 1
2. Povijest i nastanak željeznice velikih brzina 2
3. Infrastruktura željezničkih sustava vlakova velikih brzina 4
4. Signalizacija u sustavu vlakova velikih brzina 7
5. Sustavi željeznica velikih brzina u svijetu 10
5.1. Shinkansen, Japan 10
5.2. TGV - Train à Grande Vitesse, Francuska 11
5.3. ICE - Intercity Express, Njemačka 14
5.4. HS1 – High Speed 1, Velika Britanija 16
5.5. AVE - Alta Velocidad Española, Španjolska 18
6. Studija slučaja organizacije prometa u sustavu vlakova velikih brzina AVE 21
6.1. Dnevno korištenje vlakova 21
6.2. Vrijeme putovanja i vrijeme obrta 22
6.3. Godišnja prijeđena udaljenost po vlaku 23
6.4. Produktivnost vlakova 24
6.5. Operativni troškovi 24
6.6. Održavanje i troškovi čišćenja 26
6.7. Troškovi operativnog osoblja 27
6.8. Troškovi električne energije 28
6.9. Troškovi korištenja infrastrukture 29
6.10. Ukupni eksploatacijski troškovi 30
7. ZAKLJUČAK 32
LITERATURA 33
POPIS SLIKA 34
POPIS TABLICA 35
PRILOZI 36

1. UVOD

Kako to biva u svim područjima tehnike i u željezničkom se sustavu oduvijek nastojalo i pokušavalo postići veću brzinu i snagu. Tako su i nastali sustavi vlakova velikih brzina – iz težnje čovjeka da bude brži. Osim samog dostignuća brzine sustav vlakova velikih brzina pokrenuo je novu eru u cijelom željezničkom sustavu. Nova era zahtijevala je razvoj tehnike i tehnologije kako bi se promet vlakova velikih brzina mogao odvijati na siguran, brz, udoban i pouzdan način. Sve to dovelo je do razvoja posebne infrastrukture, signalno sigurnosnih uređaja poput ERTMS-a, razvoja sustava rekuperacije električne energije, organizacijskih poboljšanja i optimizacije te smanjenja troškova. Sustav vlakova velikih brzina u zadnjih 30 godina doživio je najveći uspon i danas se njime koriste milijarde putnika koristeći tako ekološki prihvatljivije prijevozno sredstvo. Velik dio trenutnih korisnika sustava vlakova velikih brzina prešao je upravo iz zrakoplova u vlak učinivši pritom pozitivan učinak i na ekologiju. U ovom završnom radu obrađena je tema organizacije prometa u sustavu vlakova velikih brzina u Španjolskoj. U prvim poglavljima ukratko je objašnjena povijest i nastanak vlakova velikih brzina te razvoj sustava do danas. Zatim su objašnjene osnovne infrastrukturne karakteristike ovog sustava i sustav signalizacije koji se danas koristi.

U sklopu ovog rada napravljena je *benchmarking* analiza četiri najveća europska sustava velikih brzina i jednog, za povijest ovog područja, jako bitnog sustava i to onog Japanskog. Nakon osnovnih karakteristika pojedinog sustava obrađena je glavna tema ovoga rada. Objašnjena je organizacija prometa, odnosno, glavni pokazatelji eksploatacije vlakova velikih brzina u Španjolskoj te su isti uspoređeni sa konvencionalnim željezničkim sustavom. Osim same organizacije opisani su i operativni troškovi koji se generiraju. Svaki trošak je objašnjen i njegove vrijednosti su uspoređene sa konvencionalnim željezničkim sustavom. Usporedbom eksploatacijskih pokazatelja i troškova pokušala se stvoriti jasna slika kako ovaj sustav radi i koji je njegov financijski utjecaj. Takav utjecaj bitan je za daljnje razvijanje kako bi se isti maksimalno reducirao i time ovaj, učinio još održivijim.

Na kraju rada dat je detaljan osvrt na sustav vlakova velikih brzina te je sustav uspoređen sa konvencionalnim željezničkim sustavom. Na taj se način dala jasna i konstruktivna usporedba ovih sustava temeljena na stvarnim karakteristikama i proračunima.

2. Povijest i nastanak željeznice velikih brzina

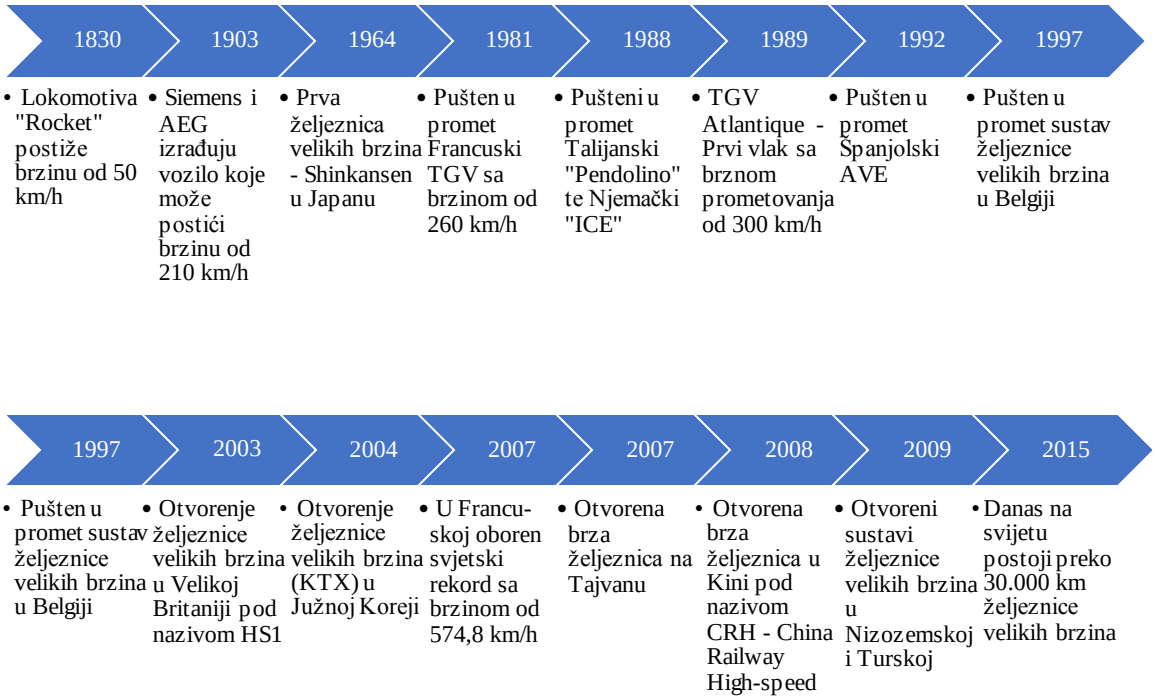
Kao što to biva u svim područjima kojima se čovječanstvo bavi i u željezničkom su se sustavu oduvijek pokušavale dostići bolje karakteristike i brzine vlakova. Tako je već 1829. godine izumitelj lokomotive "Rocket", George Stephenson, dostigao najveću brzinu u tadašnje vrijeme od 50 km/h. Tada je to zaista bila željeznica velikih brzina. Vrlo brzo na željeznicama se pojavljuju lokomotive sposobne dostići brzine od 100 km/h (1850. godine), 130 km/h (1854. godine) dok je brzina od 200 km/h postignuta već početkom 20. stoljeća. Te brzine bile su rekordi dok je redovan promet bio organiziran za brzinu od 180 km/h (najveća brzina) odnosno za 135 km/h komercijalne brzine (prosječna brzina).

Sredinom 20. stoljeća u europskim gospodarskim silama poput Italije, Njemačke, Ujedinjenog Kraljevstva i Francuske postignute su brzine od nevjerojatnih 331 km/h (1955. godine). Te države bile su ujedno 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*).[1]

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* (skraćeno 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.

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). Povijest razvoja željeznica velikih brzina u svijetu prikazana je na slici 1.

[1] http://www.uic.org/High-Speed-History#t19th-20th-CENTURY-From-birth-of-railways-to-HSR (pristupljeno: lipanj 2016.)



Slika 1. Povijest željeznice velikih brzina

Izvor: http://www.uic.org/, (pristupljeno: lipanj 2016.)

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.

3. Infrastruktura željezničkih sustava vlakova velikih brzina

Sustavi vlakova velikih brzina nastali su razvojem tehnologije, odnosno razvojem infrastrukture. U ovom sustavu ista se razlikuje od infrastrukture konvencionalne željeznice. Razlika je nastala zbog povećane brzine koja stvara veće sile i otpore što zahtjeva nove standarde u izgradnji temeljene na sljedećim postavkama:

- projektirana brzina,
- duljina kolosijeka,
- osovinsko opterećenje i
- namjena kolosijeka (samo za putnički ili za mješoviti promet).

Svi navedeni parametri određuju konstrukciju kolosijeka, a dopunjuju se i sa dodatnim postavkama koje, kao i osnovne postavke, mogu biti različite za svaku mrežu. Dodatne postavke su:

- veličina polumjera horizontalnih lukova,
- oblik i duljina prijelaznih lukova,
- oblik prijelaznih rampi i
- veličina vertikalnih polumjera (promjena nagiba kolosijeka).

Minimalni polumjeri horizontalnih lukova utvrđuju se temeljem dopuštenih vrijednosti neponištenog bočnog ubrzanja koje su karakteristične za standarde svake zemlje. U ovom radu opisuje se primjer na Španjolskim željeznicama te su stoga polumjeri, ali i ostali potrebni parametri prikazani u tablici 1. Iz tablice je vidljivo da su za parametre radijusa zavoja, udaljenosti između osi kolosijeka te površinu presjeka tunela date vrijednosti za brzine od 200 km/h, 300 km/h i 350 km/h. Za brzinu od 200 km/h određen je minimalan polumjer zavoja od 1.400 m, udaljenost između kolosijeka od 3,8 m te površine presjeka tunela od 48 m^2. Za veću brzinu od 300 km/h radijus iznosi 4.000 m sa osima kolosijeka udaljenima 4,5 m te površinom presjeka tunela od 83 m^2. Brzina od 350 km/h zahtjeva minimalan polumjer zavoja od 6.250 m, udaljenost od 4,8 m između osi kolosijeka te površinu presjeka tunela od 100 m^2.

Tablica 1. Prikaz karakterističnih parametara željezničke infrastrukture u Španjolskoj

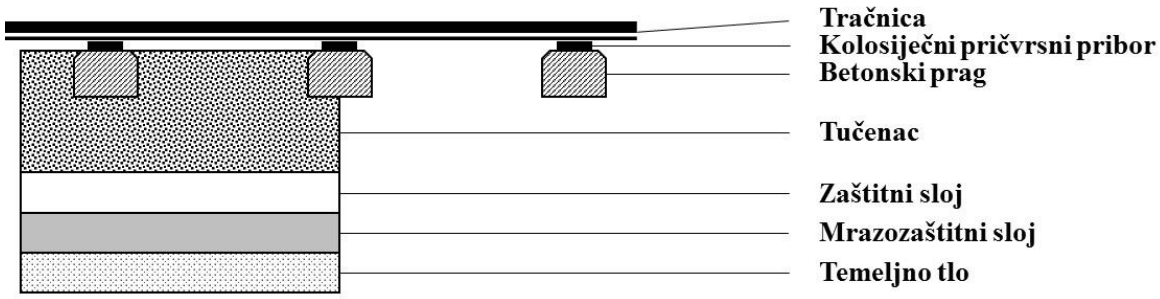
Brzina	**200 km/h**	**300 km/h**	**350 km/h**
Radijus zavoja	1.400 m	4.000 m	6.250 m
Udaljenost između kolosijeka	3,8 m	4,5 m	4,8 m
Površina presjeka tunela	48 m^2	83 m^2	100 m^2

Izvor: López Pita, A.: *Gestion de lineas de alta velocidad*, BarcelonaTech, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 2016.

Kolosijeci za velike brzine mogu biti izvedeni u dvije varijante – sa kolosiječnim zastorom i bez njega. Prva varijanta sastoji se od:

- tračnice zavarene u dugi trak,
- prenapetih betonskih pragova,
- elastičnog kolosiječnog pribora,
- kolosiječnog zastora od tučenca,
- zaštitnog sloja ravnika (tampon) i
- sloja zaštite od smrzavanja (mrazozaštitni sloj).

Presjek ove vrste kolosijeka prikazan je na slici 2.



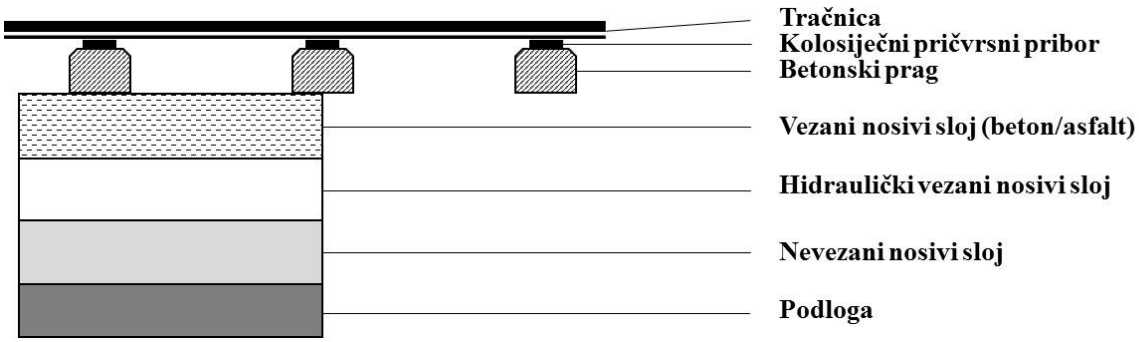
Slika 2. Presjek kolosijeka sa kolosiječnim zastorom
Izvor: izrada autora

Druga varijanta koja se u praksi koristi puno češće koristi kolosijek bez kolosiječnog zastora. Ova vrsta kolosijeka specifična je po drugačijem načinu izgradnje, dužim vijekom trajanja (50-60 godina u odnosu na klasičan kolosijek kojemu je vijek trajanja 30-40 godina), smanjenom troškovima održavanja i sl. Cjenovno, prva varijanta je jeftinija (oko 350€/m) od druge varijante (od 500 do 1000€/m)[2]. Kolosijek bez kolosiječnog zastora sastoji se od:

- tračnice zavarene u dugi trak,
- prednapetih betonskih pragova,
- vezanog nosivog sloja,
- hidrauličnog veznog sloja,
- nevezanog zaštitnog sloja i
- podloge.

Presjek ove vrste kolosijeka prikazan je na slici 3.

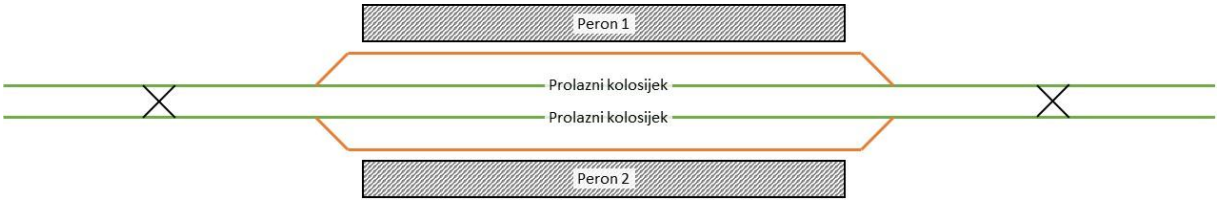
[2] Željeznička infrastruktura I, Kolosijeci za velike brzine, Predavanja, Fakultet prometnih znanosti, str.12



Slika 3. Presjek kolosijeka bez kolosiječnog zastora
Izvor: izrada autora

Osim kolosijeka koji se nalaze na tlu, posebnu pažnju potrebno je obratiti na izgradnju kolosijeka za velike brzine na mostovima i vijaduktima te u tunelima. U sustavu vlakova velikih brzina takva mjesta često su izvori povećanja buke posebice ulazi/izlazi iz tunela[3]. Na njima se događa zvuk sličan eksploziji zbog promjene tlaka zraka. Zbog toga, u takvim građevinama kolosijeci se konstruiraju ovisno o specifičnostima lokacije na kojima se izvode.

Izgradnja službenih mjesta (kolodvora i stajališta) u sustavu vlakova velikih brzina također ima drugačije standarde koji su ponajviše povezani sa sigurnosti. U tom pogledu takva su mjesta posebno zaštićena od neovlaštenog pristupa na prugu. Osim toga posebnost je ta da ukoliko se grade službena mjesta koja neće uvijek biti opsluživana vlakovima, prolazni kolosijeci trebaju biti fizički odvojeni na način prikazan na slici 4. Na taj način izbjegava se smanjenje brzine vlakova koji kroz službeno mjesto prolaze bez zaustavljanja. Sa sigurnosnog stajališta takva izgradnja povećava sigurnost putnika u službenim mjestima.



Slika 4. Primjer sheme službenog mjesta u sustavu vlakova velikih brzina
Izvor: autor

[3] Ekologija u prometu, Predavanja - željeznica, Fakultet prometnih znanosti, str.3

4. Signalizacija u sustavu vlakova velikih brzina

Razvojem sustava vlakova velikih brzina razvijeni su i sustavi signalizacije koji su, za razliku od sustava signalizacije za konvencionalne vlakove, univerzalniji. Povećanjem brzine vlakova mijenjaju se i sigurnosni standardi. Veća brzina direktno za posljedicu ima i povećanje zaustavnog puta vlaka što se direktno odražava na povećanje duljine prostornih odsjeka. Prema standardima španjolskih željeznica za brzinu od 200 km/h zaustavni put iznosi 3.000 m dok je za brzinu od 300 km/h ta udaljenost 6.000 m. Navedene vrijednosti predstavljaju i minimalnu duljinu prostornih odsjeka.

U europskim sustavima vlakova velikih brzina danas se najčešće koristi sustav ERTMS (*eng. The European Railway Traffic Management System*) koji se sastoji od dva sustava – ETCS (*eng. European Train Control System*) i GSM-R (*eng. Global System for Mobile Communications for Railways*). Sustav ERTMS sastoji se od tri razine:

- ERTMS razina 1 – sustav se nadograđuje na postojeći signalno sigurnosni sustav, kretanje se detektira pomoću Eurobaliza, sustav koristi detekciju vlaka pomoću zatvorenog strujnog kruga,
- ERTMS razina 2 – sustav ne zahtjeva izgradnju signala uz prugu, korištenje kabinske signalizacije, autorizacija se obavlja putem sustava GSM-R koji šalje informacije o stanju signala i ostale relevantne informacije, određivanje položaja vlaka korištenjem Eurobaliza i
- ERTMS razina 3 – sustav ne zahtjeva izgradnju signala uz prugu, korištenje kabinske signalizacije autorizacija se obavlja putem sustava GSM-R, određivanje položaja vlaka korištenjem Eurobaliza, korištenje dinamičkih prostornih odsjeka (*eng. Moving block*).[4]

Za brzine do 200 km/h moguće je koristiti sve razine ERTMS sustava dok je za brzine od 200-350 km/h potrebna minimalna razina 2 istoimenog sustava. To znači da je za brzine preko 200 km/h potrebna kabinska signalizacija. Slika 5 prikazuje dionice Španjolske mreže vlakova velikih brzina koje su opremljene pojedinim razinama ERTMS sustava. Dionice koje se ne nalaze na slici opremljene su ostalim signalno sigurnosnim sustavima.

Detaljan popis linija prikazanih na karti prikazan je u tablici 2. U tablici je vidljivo da je većina dionica opremljena razinom 1/2 što znači da je ugrađena razina 1 sa dodatnim sustavima iz razine 2 (nisu ugrađeni svi sustavi koji čine razinu 2).

[4] ERTMS Levels Factsheets, UNIFE, str.2



Slika 5. Opremljenost pruga ERTMS sustavom u Španjolskoj
Izvor: vlastita obrada na temelju http://www.ertms.net/, (pristupljeno: lipanj 2016.)

Osim infrastrukturnog dijela, ERTMS sustav sastoji se i od lokomotivskog dijela koji se nalazi na lokomotivi ili vlaku. Vlakovi koji prometuju prugama opremljenima ERTMS sustavom moraju biti opremljeni pripadajućom opremom. Primjer izgleda kabinskog prikaza ERTMS sustava prikazan je na slici 6.



Slika 6. Prikaz kabinskog dijela ERTMS-a
Izvor: http://www.humanefficiency.nl/, (pristupljeno: lipanj 2016.)

Kabinska signalizacija smanjuje mogućnost ljudske pogreške i optimizira proces prijevoza jer na jednostavan način nudi prikaz signalizacije (na ekranu), ograničenja brzine, pružne prijelaze i sl. Takve se informacije šalju strojovođi u kabinu te se prikazuju na ekranu što strojovođi omogućava planiranje radnji poput kočenja, ubrzavanja i sl., što je jako bitno

posebice kod teretnih vlakova.[5] Na taj se način uvelike smanjuje potrošnja električne energije i povećava održivost cijelog željezničkog sustava.

Tablica 2. Popis željezničkih dionica opremljenih sustavom ERTMS

Naziv projekta	ERTMS razina	Godina narudžbe	Godina puštanja u rad	Duljina dionice (km)
Albacete - Villar deChinchilla - La Encina	Razina 1/2	2010.	/	180
Barcelona - Figueres	Razina 1/2	2009.	/	300
Antequera - Granada	Razina 1/2	2014.	2015	252
Obilaznica Atocha – Sjever - Jug	Razina 1/2	2007.	/	12
AVE Valladolid - Venta de Baños - Burgos - Leon	Razina 2	2014.	/	359
Castellbisbal - Can Tunis	Razina 1	2010.	/	40
Cordoba - Malaga HSL	Razina 1/2	2004.	/	310
Figueres - Perpignan (Španjolski dio)	Razina 1/2	2006.	/	40
Girona - Figueres	Razina 1	2009.	/	82
La Robla - Pola de Lena	Razina 2	2014.	/	102
Lleida - Barcelona HSL	Razina 1/2	2003.	2007	380
Olmedo - Ourense	Razina 1	2014.	2020	590
Madrid - Lerida HSL	Razina 1/2	2000.	2011	920
Madrid - Segovia HSL	Razina 1/2	2006.	/	146
Madrid - Toledo HSL	Razina 1/2	2003.	/	42
Madrid - Valencia HSL	Razina 1/2	2008.	/	872
Madrid Suburban / Cercanias (Chamartin-Atocha)	Razina 1/2	2006.	2012	320
Orense - Santiago de Compostela	Razina 1/2	2010.	/	175
Plasencia - Cáceres and Cáceres – sekcija Badajoz	Razina 2	2015.	/	328
PPP / Albacete - La Encina - Alicante	Razina 2	2011.	/	330
Segovia - Valladolid HSL	Razina 1/2	2003.	/	220
Sevilla - Cadiz HSL (Utrera - Jerez de la Frontera)	Razina 2	2010.	/	216
Valencia - Vandellos	Razina 1	2014.	/	220
Vendellós - Tarragona	Razina 1/2	2014.	/	130
Zaragoza - Huesca	Razina 1	2003.	/	160

Izvor: http://www.ertms.net/, (pristupljeno: lipanj 2016.)

[5] ERTMS from the drivers' point of view – factsheets, UNIFE, str. 1

5. Sustavi željeznica velikih brzina u svijetu

Najznačajniji sustavi željeznica velikih brzina u svijetu poput Japanskog Shinkansena, Francuskog TGV-a, Njemačkog ICE-a, Britanskog HS1 i Španjolskog AVE-a analizirani su na način da su za svaki sustav opisane osnovne informacije poput duljine mreže, širine kolosijeka, maksimalne dopuštene brzine, brzine prometovanja i sl. Količina informacija ovisi o dostupnosti podataka.

5.1. Shinkansen, Japan

Shinkansen je prvi sustav željeznice velikih brzina na svijetu koji je započeo eru željeznice velikih brzina. Sustav je u promet pušten 1964. godine i od tada je prevezao više od 5,6 milijardi putnika. Promet se odvija na željezničkoj mreži koja povezuje Tokyo, Nagoyu i Osaku. Dnevno prometuje 342 vlaka koji prevezu 424 tisuće putnika. Na godišnjoj razini taj broj iznosi 155 milijuna putnika. Vlakovi prometuju brzinom od 285 km/h (na određenim dionicama i do 300 km/h).

U sustavu se koristi četiri tipa vlakova: Serija 300, Serija 700, Serija N700 te najnovija Serija N700A (Slika 7).



Serija 300



Serija 700



Serija N700



Serija N700A

Slika 7. Japanski vlakovi velikih brzina

Izvor: http://www.n-sharyo.co.jp/, (pristupljeno: lipanj 2016.)

Vlakovi prometuju na mreži ukupne duljine 2.388 km, a mreža se dijeli na 4 velika dijela:

- Tokaido Shinkansen,
- Sanyo Shinkansen,
- Tohoku, Joetsu i Hokuriki Shinkansen i
- Kyushu Shinkansen.

Dionice i cijela mreža prikazani su na slici 8. 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 50 godina prometovanja nije bilo niti jedne nesreće.



Slika 8. Karta mreže Shinkansen željeznice velikih brzina
Izvor: http://www.japan.go.jp/, (pristupljeno: srpanj 2016.)

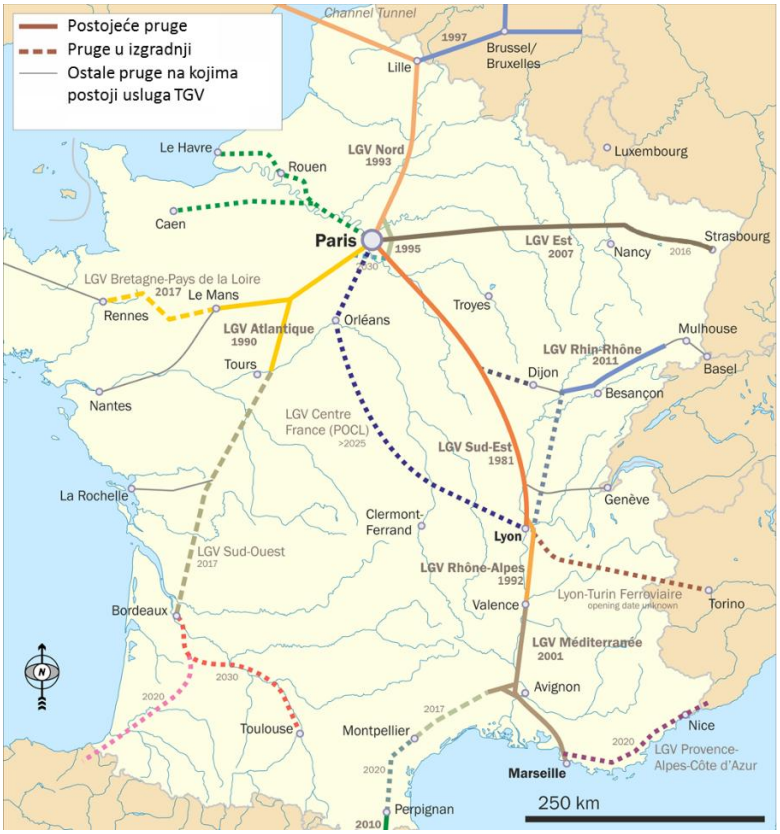
U vrijeme početka izgradnje ove mreže koristila se posebna tehnologija kako bi se smanjili troškovi izgradnje. Tako je primjerice površina presjeka tunela Shinkansen željeznice 30% manja od Francuskog TGV-a.

5.2. TGV - Train à Grande Vitesse, Francuska

Program razvoja sustava vlakova velikih brzina u Francuskoj započeo je 1960. godine. Ovaj sustav bio je prvi europski sustav ovakve vrste nakon Shinkansena. Prvi vlakovi prometovali su brzinom od 260 km/h i to 21 godinu nakon početka razvoja cijelog sustava. Posebnost ovog sustava je ta da su tijekom razvoja obarani razni rekordi koji još i dan danas, gotovo 60 godina nakon početka razvoja, nisu srušeni. Jedan od rekorda nastao je 8. prosinca 1972. godine kada je TGV serija 001 postigla brzinu od 318 km/h (sa termalnim vučnim motorima)[6].

[6] A chronology of high speed trains: past, present, future, Alstom, 2008., str. 1

Mreža TGV-a izgrađena je na način da bude kompatibilna sa postojećom mrežom. Na taj način vlakovi velikih brzina prometuju i po klasičnom kolosijeku (smanjenom brzinom). To je omogućilo da se mreža vlakova velikih brzina širi brže i dosegne područja koja još nemaju izgrađenu odgovarajuću infrastrukturu. Godine 1981. otvorena je linija LGV(*fr. Ligne à Grande Vitesse*) Sud - Est koja spaja Pariz i Lyon. Nakon nje otvorena je linija LGV Atlantique koja je spojila Pariz sa Le Mansom i Toursom (1990. godine). Zatim je 1992. godine u promet puštena linija LGV Rhône - Alpes spojivši Lyon sa Valence. Godine 1993. otvorena je linija LGV Nord nakon čega se Lille počinje koristiti kao poveznica sa Belgijom, Nizozemskom i Njemačkom[7]. Iste godine sa prometovanjem počinje Eurostar koji je London spojio sa Parizom, Lilleom i Bruxellesom. Nakon gotovo 10 godina otvorena je nova linija LGV Méditerranée koja je spojila Valence i Marseille (2001. godine) nakon koje je uslijedilo otvorenje linija LGV Est 2007. godine spojivši Pariz sa Baudricourtom. Zadnje otvorene LGV linije bile su LGV Rajna – Rhône (prva dionica duljine 140km od Villers-les-Potsa do Petit-Croixa) i drugi dio pruge LGV Est od grada Nancy do Strasbourga. Na slici 9 prikazana je današnja mreža LGV-a te nove dionice u izgradnji.

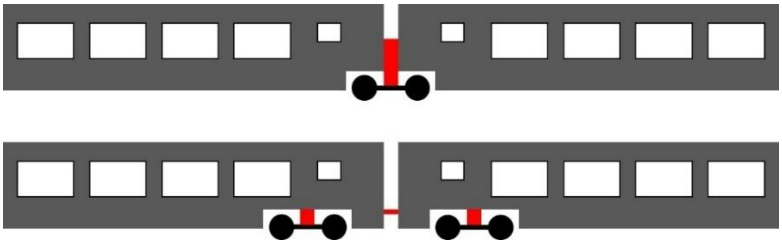


Slika 9. Mreža pruga velikih brzina u Francuskoj
Izvor: http://www.francetravelguide.com/, (pristupljeno: srpanj 2016.)

[7] http://www.railway-technology.com/projects/frenchtgv/, (pristupljeno: kolovoz 2016.)

Cijela mreža pruga velikih brzina napaja se sa 25 kV/50 Hz sustavom dok je ostatak mreže napajan sa 1.500V DC sustavom. Sustav je izgrađen na standardnom kolosijeku kao i ostatak mreže (1.435 mm). Ukupna duljina mreže danas iznosi gotovo 2000 km i povećava se.

Sustavom prometuju razni modeli vlakova od kojih je prvi TGV 001, dok danas postoje TGV Duplex (double-deck vlak) i klasični TGV. Glavna karakteristika TGV vlakova još od samih početaka je bila korištenje zajedničkih postolja na spojevima između vagona. Primjer korištenja zajedničkih postolja prikazan je na slici 10. Prva slika prikazuje zajednička postolja dok su na drugoj slici prikazana klasična okretna postolja.



Slika 10. Razlika između zajedničkih postolja i konvencionalnih postolja
Izvor: autor

Osim sustava sa zajedničkim postoljima TGV je poseban i po TGV Duplex vlakovima (Slika 11).



Slika 11. TGV Duplex u kolodvoru Girona
Izvor: autor

Broj putnika u TGV-u u stalnom je porastu i od početka prometovanja do 2013. godine ovim je sustavom prevezeno 2 milijarde putnika. Kako bi se to ostvarilo pojedini vlakovi dnevno odrade dva obrta od Pariza do Marseilla udaljenosti od oko 3.000 km.[8]

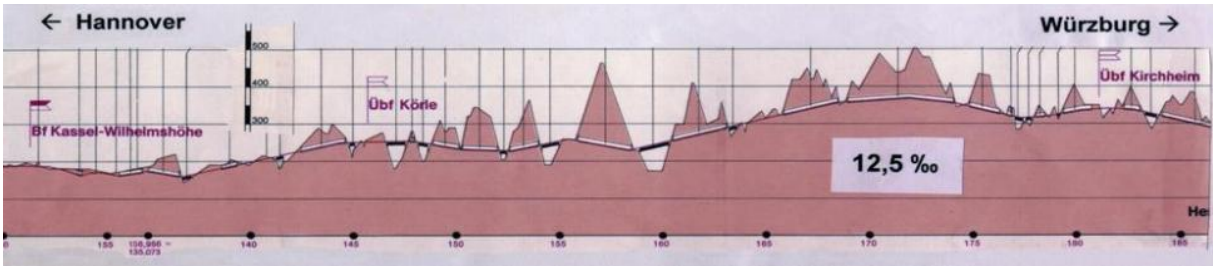
[8] http://electric-rly-society.org.uk/the-history-of-the-french-high-speed-rail-network-and-tgv/, (pristupljeno: kolovoz 2016.)

5.3. ICE - Intercity Express, Njemačka

Godine 1988. u promet je pušten Njemački ICE (*eng. Intercity Express*) – Njemački sustav vlakova velikih brzina. Kao i kod ostalih sustava velikih brzina ideja koja je i ostvarena bila je da brzi vlakovi spajaju glavne odnosno najveće Njemačke gradove. Danas mrežu čine pruge brzine 300 km/h spajajući 32 grada:

- Frankfurt – Hamburg,
- Frankfurt – München,
- Frankfurt – Köln,
- Frankfurt – Stuttgart,
- Hamburg – München,
- Berlin – Hamburg,
- Berlin – Frankfurt,
- Berlin – München,
- Köln – Berlin,
- Frankfurt – Aachen,
- Frankfurt – Bruxelles preko Bruxelles-Nord,
- Hamburg – Kopenhagen,
- Köln – Bruxelles preko Bruxelles-Nord,
- Frankfurt – Pariz,
- Frankfurt – Basel,
- Frankfurt – Amsterdam i
- Nürnberg – Beč.

Prva testiranja ovog sustava krenula su 1985. godine koristeći eksperimentalni vlak ICE-V (*njem. Intercity Versuch*). Uskoro je u promet puštena i prva novoizgrađena pruga (*njem. Neubaustrecke (NBS)*) Hannover – Würzburg duljine 327 km. To je ujedno i najdulja novoizgrađena pruga velikih brzina. Najveći nagib na pruzi iznosi 12,5 ‰, minimalni radijus 5100 m dok je maksimalna dopuštena brzina 280 km/h. Uzdužni profil kolosijeka ove pruge prikazan je na slici 12.



Slika 12. Uzdužni profil kolosijeka na pruzi velikih brzina Hannover – Würzburg
Izvor: Grein, O.: *Success Factors of the German High Speed Rail System*, DB International GmbH, 2014.

Željeznica velikih brzina u Njemačkoj, kao isti sustavi u ostalim državama, doživjela je procvat zbog smanjenja vremena putovanja što ponajviše konkurira zračnom prometu na

sličnim udaljenostima. Tako je primjerice putovanje od Frankfurta do Berlina devedesetih godina trajalo 7 sati i 40 minuta dok danas ono traje 3 sata i 59 minuta[9]. Takve brzine i vremena putovanja rezultirali su povećanom udjelu željezničkog prometa u ukupnom "*modal share-u*" na većini Njemačkih relacija. Primjerice, na relaciji Frankfurt – Stuttgart čak 55 % putnika koristi ICE uslugu[10]. Prugom prometuje nekoliko vrsta vlakova koji su bili razvijani tijekom godina. To su ICE1, ICE2, ICE3 te zadnja generacija njemačkih vlakova velikih brzina ICE4 (Slika 13).



ICE 1



ICE 2



ICE 3



ICE 4

Slika 13. Njemački vlakovi velikih brzina

Izvor: http://www.siemens.com/ (pristupljeno: lipanj 2016.)

Zadnja generacija ICE vlakova, ICE 4, planirana je za redovni promet početkom 2017. godine kada bih trebalo biti završeno prvih 130 vlakova. Ukupan broj naručenih vlakova iznosi 300 i određen je ugovorom potpisanim 2011. godine. Vlak će biti isporučen u dvije verzije – prva verzija sa 7 modula (vagona) za maksimalnu brzinu od 230 km/h te druga verzija sa 12 modula za maksimalnu brzinu od 250 km/h. Obe verzije radit će na 15 kV/16,67 Hz sustavu koristeći rekuperacijske kočnice. Prva verzija snage je 4,95 MW dok je druga snage 9,9 MW.

[9] Grein, O.: Success Factors of the German High Speed Rail System, DB International GmbH, 2014.
[10] Ibid., str. 6

5.4. HS1 – High Speed 1, Velika Britanija

Britanski sustav vlakova velikih brzina jedan je od manjih sustava, a njime upravlja kompanija High Speed 1 Ltd. Ta javna kompanija u većinskom je vlasništvu Britanske vlade i prugom velikih brzina upravlja putem 30 godišnje koncesije (do 2040. godine). Pruga je izgrađena u dvije dionice od kojih je prva dionica duljine 74 km otvorena 2003. godine (od tunela Channel do čvorišta Fawkham) dok je druga dionica duljine 39,4 km otvorena 2007. godine (od kolodvora Ebbsfleet u Kentu do kolodvora London St. Pancras). Prva dionica maksimalne je brzine 300 km/h, a druga 230 km/h (zbog karakteristične aerodinamike tunela.[11] Prugom prometuju i teretni vlakovi maksimalnom brzinom od 140 km/h. Zbog te mogućnosti minimalni radijusi zavoja iznose 4.000 m (dionica sa V_{max} 300 km/h). Na pruzi se nalaze 4 kolodvora:

- St. Pancras International Station,
- Stratford International Station,
- Ebbsfleet International Station i
- Ashford International Station.

Maksimalni uspon/pad na cijeloj dionici iznosi 2,50 ‰. Najveća dopuštena duljina međunarodnih vlakova iznosi 400 m (domaći vlakovi 276 m). Teretni vlakovi mogu biti maksimalne duljine 750 m. Pruga je opremljena sustavom GSM-R i ATCS-om (Automatic Train Control System) te Britanskim signalno sigurnosnim uređajem bez ETCS-a.[12]

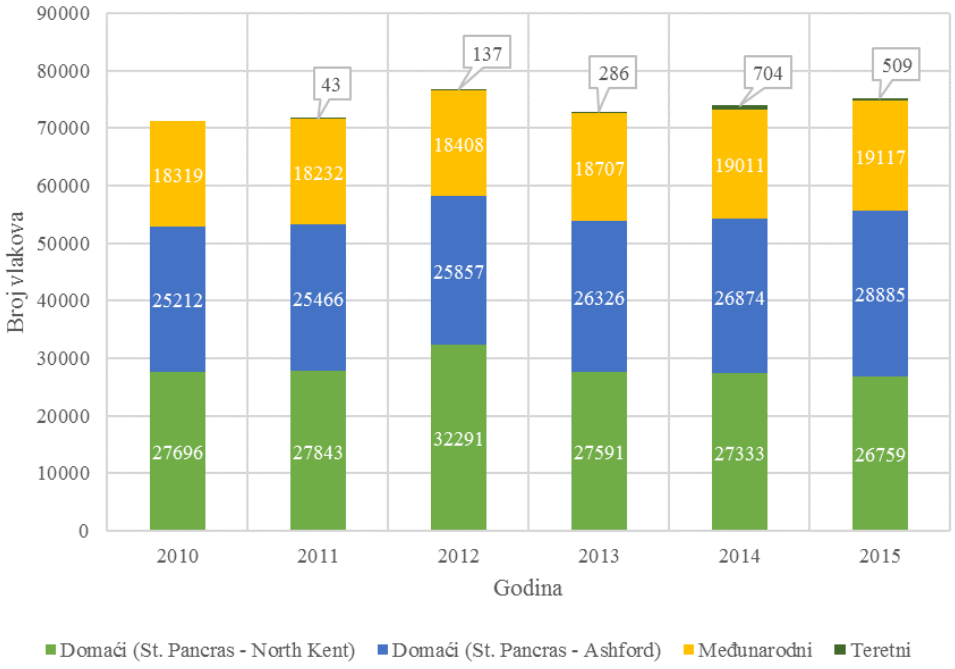
Britanska pruga velikih brzina spaja se preko Channel tunela na Francusku mrežu pruga velikih brzina spajajući tako London sa Parizom, Lillom, Bruxellesom i sličnim gradovima koji se nalaze na pruzi velikih brzina u Francuskoj, Belgiji ili Nizozemskoj. Proširenje mreže pruga velikih brzina u procesu je planiranja i izrade studija. Izrađen je transportni model u kojem su testirana četiri konceptualna rješenja – koncept A – "Shinkansen" koji spaja najveća gradska središta, koncept B – "LGV West" baziran na glavnoj ruti prema Greater Manchesteru i spojnim rutama prema manjim središtima, koncept C – "LGV East" baziran na glavnoj ruti prema West Yorkshireu sa spojnim rutama prema manjim središtima i posljednji koncept D – "Two lines" baziran na dvije rute koje bi opsluživale i istočni i zapadni dio Velike Britanije.[13] Za izgradnju koja je započela izabran je koncept D koji se službeno naziva HS2 (eng. *High Speed 2*). Koncept se sastoji od dvije faze. Prva faza uključuje izgradnju pruge za velike brzine od Londona do West Midlandsa (Birmingham). U drugoj fazi će se sagraditi produžetak do Manchestera na sjeverozapadu i Leedsa na sjeveroistoku. Karta pruga prikazana je na slici 14.

[11] http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/building-britains-first-high-speed-line.html, (pristupljeno: kolovoz 2016.)
[12] HS1 Network Statement Report, Ožujak 2016
[13] WS Atkins, High Speed Line Study, Milestone 3, Interim Report, Prosinac 2001.



Slika 14. Prikaz lokacije pruga velikih brzina u Velikoj Britaniji
Izvor: https://upload.wikimedia.org/, (pristupljeno: kolovoz 2016.)

Na pruzi prometuje mnoštvo operatera čiji promet raste. Tijekom 2010. godine prugom je prevezeno 71.227 vlakova, a tijekom 2015. godine taj broj iznosio je 75.270. Detaljan prikaz ilustriran je na slici 15.



Slika 15. Broj vlakova na pruzi HS1
Izvor: Office of Rail and Road, UK Government, Annual report on HS1 Ltd. 2015-16

5.5. AVE - Alta Velocidad Española, Španjolska

Španjolski sustav vlakova velikih brzina *Alta Velocidad Española* (AVE) u promet je pušten 1992. godine, a do danas je izgrađeno više od 3.100km pruga velikih brzina. Od početka prometovanja do 2011. godine sustav je koristilo više od 172 milijuna ljudi. Sustav je još uvijek u izgradnji dok se u budućnosti planira omogućiti da 9 od 10 stanovnika Španjolske ima dostupnu uslugu vlakova velikih brzina u krugu manjem od 30 km[14]. Do danas je izgrađeno 13 pruga velikih brzina:

- 1992. Madrid – Sevilla,
- 2003. Madrid – Zaragoza – Lleida (dionica na pruzi Madrid – Barcelona – granica sa Francuskom),
- 2005. Madrid – Toledo,
- 2006. Lleida - Camp de Tarragona (dionica na pruzi Madrid – Barcelona – granica sa Francuskom),
- 2006. Cordoba - Antequera (dionica na pruzi Cordoba - Malaga),
- 2007. Madrid – Valladolid,
- 2007. Antequera - Malaga (dionica na pruzi Cordoba - Malaga),
- 2008. Camp de Tarragona - Barcelona (dionica na pruzi Madrid – Barcelona - granica sa Francuskom),
- 2010. Figueres - Perthus Tunel i Nudo Mollet (čvorište) - Girona (dionice na pruzi Madrid – Barcelona - granica sa Francuskom),
- 2010. Madrid – Cuenca – Albacete - Valencia (dionica na pruzi Madrid – Castile-La Mancha – regija Valencija – regija Murcia),
- 2011. Ourense – Santiago – Coruña (dionica a pruzi Madrid - Galicia i Atlantski koridor),
- 2013. Barcelona – Figueres (dionica na pruzi Madrid – Barcelona – granica sa Francuskom) i
- 2013. Albacete - Alicante (dionica na pruzi Madrid – Castile-La Mancha – regija Valencija – regija Murcia).

Pruge su prikazane na slici 16.

[14] http://www.adif.es/en_US/infraestructuras/lineas_de_alta_velocidad/lineas_de_alta_velocidad.shtml, (pristupljeno: kolovoz 2016.)



Slika 16. Mreža pruga velikih brzina u Španjolskoj
Izvor: http://www.adif.es/en_US/infraestructuras/lineas_de_alta_velocidad/lineas_de_alta_velocidad.shtml, (pristupljeno: kolovoz2016.)

Ova, trenutno najveća, europska mreža vlakova velikih brzina i dalje se planira proširivati. U tijeku je izgradnja dodatnih 200 km pruge velikih brzina, a ukupno se planira izgraditi dodatnih 2.800 km. Projekti novih pruga su:

- Venta de Baños - Palencia - Léon – Asturias duljine 225 km (bez nove pruge "Pajares New Line"),
- Pajares New Line duljine 49,7 km,
- Venta de Baños - Burgos – Vitoria duljine 200,4 km,
- Vitoria - Bilbao - San Sebastián duljine 176,5 km(uključujući linkove prema gradovima),
- Dionice Madrid – Galicia i Olmedo - Zamora - Lubián – Ourense ukupne duljine 363 km,
- Madrid – Castile-La Mancha – regija Valencija – regija Murcia duljine 955 km (603 km u prometu, 352 km u izgradnji),
- Proširenje južne madridske spojne pruge - Torrejón de Velasco,
- Mediteranski koridor pruge velikih brzine, dionica Murcia – Almería duljine 184,4 km (ne uključujući mrežu Murcie),
- Antequera – Granada duljine 125,7 km,
- Madrid - Extremadura – granica sa Portugalom duljine 450 km i
- Spojna pruga Atocha – Chamartín u Madridu duljine 8.2 km.

Španjolski sustav vlakova velikih brzina opremljen je sustavom ERTMS i kao takav predstavlja najveću mrežu pruga opremljenu ERTMS sustavom na svijetu. Uvođenje sustava

započelo je 2005. godine, a više o njemu opisano je u poglavlju 4. Signalizacija u sustavu vlakova velikih brzina.

Željezničkom infrastrukturom vlakova velikih brzina u Španjolskoj upravlja nacionalna kompanija Adif (*španj. Administrador de Infraestructuras Ferroviarias*). Uslugom vlakova velikih brzina (brand AVE) upravlja također nacionalna putnička kompanija Renfe (*španj. ed Nacional de Ferrocarriles Españoles*). Uz Renfe, prugom prometuje i Francuski SNCF (vlak Madrid – Barcelona – Pariz). Renfe danas u vlasništvu ima 96 kompleta vlakova sastavljenih od 4 serije i to 24 vlaka serije S-100, 16 vlakova serije S-102, 26 vlakova serije S-103 te 30 vlakova serije S-112 (Slika 17).



S-100



S-102



S-103



S-112

Slika 17. Serije vlakova AVE

Izvor: www.railpictures.net, (pristupljeno: kolovoz 2016.)

Sustavom i prometom upravlja se iz 20 kontrolnih centara, 16 za konvencionalnu mrežu i 4 za mrežu vlakova velikih brzina. Sustav radi na DaVinci[15] platformi.[16]

[15] "International Rail System DaVinci" jedan je od najnaprednijih sustava upravljanja prometom na svijetu koji nudi upravljanje raznim tračničkim sustavima poput konvencionalnih željezničkih pruga, podzemnih željezničkih sustava, sustava vlakova velikih brzina i sl. Sustavomu Španjolskoj upravlja kompanija Adif.

[16] José de la Vega, J., Berrios, Luis Díez, A., Miguel Rubio, J.: Automatic railways traffic management in high speed lines; Adif, Indra: 2008.

6. Studija slučaja organizacije prometa u sustavu vlakova velikih brzina AVE

Sustavi vlakova velikih brzina kako u Španjolskoj tako i u cijelom svijetu razlikuju se organizacijski od konvencionalnih vlakova. U ovakvim sustavima najveću razliku predstavlja brzina koja za sobom povlači i promjenu ostalih organizacijskih i eksploatacijskih parametara. U idućim je poglavljima objašnjena organizacija prometa u sustavu vlakova velikih brzina u Španjolskoj i njene razliku u odnosu na konvencionalne željezničke sustave. Objašnjenje se temelji na izračunatim osnovnim eksploatacijskim pokazateljima poput dnevnog korištenja vlakova, vremena putovanja i vremena obrta, godišnje prijeđene udaljenosti i produktivnosti. Navedeni parametri koriste se prilikom evaluacije korištenja vlakova velikih brzina, njihove produktivnosti te prilikom određivanja potrebnog broja vlakova na određenoj dionici za određenu uslugu.

6.1. Dnevno korištenje vlakova

Broj sati dnevnog korištenja vlakova ovisi o brzini prometovanja vlakova, sezonskoj potražnji, frekvenciji odnosno učestalosti polazaka, broju polazaka u vršnom opterećenju i organizaciji procesa održavanja. Broj sati dnevnog korištenja vlakova direktno je povezan sa potrebnim brojem vlakova.

Vlakovi velikih brzina obično prometuju vrlo učestalo što stvara veću potrebu za vlakovima dok primjerice dizel vlakovi u španjolskoj imaju mnogo nižu učestalost pa u skladu s time stvaraju i manje sati korištenja.

Na dionici Madrid – Barcelona – Figueres dnevno prometuje 58 vlakova (AVE) odnosno po 29 vlakova u svakom smjeru. Prvi vlak na ovoj dionici kreće u 6:10 – Madrid – Barcelona odnosno u 5:50 – Barcelona – Madrid. Zadnji vlak kreće u 21:25 iz Madrida za Barcelonu dok iz Barcelone za Madrid zadnji vlak kreće u 21:15. Iz navedenih brojki vidljivo je da tijekom 24 sata u danu vlakovi prometuju nešto više od 15 sati (21:15 – 5:50 = 15:25) što znači da na toj dionici u svakom smjeru vlakovi imaju gotovo dva polaska u sat vremena. Prikaz izvoda iz voznog reda za sve vlakove velikih brzina na ovoj relaciji prikazan je u prilogu 1 i prilogu 2.

Ovisno o potražnji, svaki vlak ima drugačija zaustavljanja po usputnim kolodvorima.. Zbog toga nema univerzalnog pristupa kategoriziranju pojedinih vlakova.

Dnevni broj sati korištenja može se podijeliti u dvije skupine:

- kada je prometovanje vlakova prilagođeno vršnim opterećenjima i tada se nudi veći broj polazaka i
- kada se u prometovanju vlakova ne koriste dodatni vlakovi u vršnim opterećenjima.

Vrijeme za svaku kategoriju ovisno o vrsti vlaka prikazano je u tablici 3.

Tablica 3. Prikaz sati korištenja vlakova prema kategoriji vlaka

	Vlakovi velikih brzina	Poboljšani konvencionalni vlakovi	Konvencionalni elektromotorni vlakovi	Konvencionalni dizel vlakovi
Sa vršnim opterećenjem				
Reprezentativan broj sati korištenja (h)	7,0	6,7	6,4	5,9
Bez vršnog opterećenja				
Reprezentativan broj sati korištenja (h)	8,0	7,5	7,2	7,0

Izvor: García Álvarez. A.: Efecto de la alta velocidad ferroviaria en el consumo de energía y en los costes operativos; Barcelona 2011.

Vidljivo je da vlakovi orijentirani prema vršnim opterećenjima imaju manji broj sati prometovanja što proizlazi iz činjenice da je promet vlakova u takvom slučaju raspoređen ovisno o trenutnim potrebama dok to nije slučaj u drugom primjeru (bez vršnog opterećenja).

6.2. Vrijeme putovanja i vrijeme obrta

Vrijeme putovanja i vrijeme obrta u španjolskoj predstavlja važan pokazatelj na temelju kojeg se računa potreban broj vlakova potrebnih za prometovanje. Način računanja razlikuje se od metode koja se koristi na mreži željeznica u Hrvatskoj. Razlika je ponajprije u proračunu obrta koji kod nas predstavlja vrijeme između dva polaska vlaka iz domicilnog kolodvora. U slučaju proračuna obrta u Španjolskoj obrt se računa samo u jednom smjeru i on uključuje vrijeme putovanja i vrijeme bavljenja u odredišnom kolodvoru.

$$Vrijeme\ potrebno\ za\ putovanje\ i\ obrt \rightarrow O_p = \frac{D \times 60}{V_k} + R\ [min]$$

Pri čemu je:

- D [km] – udaljenost,
- V_k [km/h] – komercijalna brzina i
- R [min] – vrijeme obrta garniture tj. vrijeme zadržavanja garniture u obrtnom kolodvoru od dolaska do polaska vlaka.

Primjerice, regionalni vlak velikih brzina (Avant) koji prometuje između Madrida i Vallodolida (D = 179 km) komercijalnom brzinom od V_k = 175 km/h i vremenom obrta R = 30 minuta imat će vrijeme putovanja i vrijeme obrta od 91 minute.

Konvencionalni regionalni vlak koje prometuje između Madrida i Vallodolida (D = 249 km[17]), prosječnom komercijalnom brzinom od V_k = 95 km/h i vremenom obrta od R = 30 min potrošit će ukupno 187 minuta (3 h i 7 min) na vrijeme putovanja i obrt.

6.3. Godišnja prijeđena udaljenost po vlaku

Proračun prosječne godišnje prijeđene udaljenosti po vlaku temelji se na proračunu dnevnih putovanja koja se zatim koriste kako bi se izračunala godišnja prijeđena udaljenosti.

$$Putovanja\ po\ danu = \frac{H_t \times 60}{R + \frac{D \times 60}{V_k}}\ [putovanja/danu]$$

Pri čemu je:

- H_t [h]= dnevni broj sati korištenja,
- R [min] = vrijeme obrta i
- D [km] = udaljenost.

Iz navedene formule proizlazi da je godišnja prijeđena udaljenost jednaka:

$$Godišnja\ udaljenost = (365 \times 60) \times \frac{V_k \times H_t \times D}{(R \times V_k) + (D \times 60)}\ [km]$$

U slučaju gore navedenog primjera Avant vlaka od Madrida do Valladolida dnevno korištenje iznosi 7 sati. Godišnju udaljenosti koju vlak na ovoj relaciji prelazi iznosi 300.320 kilometara. U slučaju regionalnog vlaka dnevno korištenje iznosi također 7 sati dok je godišnja prijeđena udaljenosti 196.472 kilometara. Iz navedenih proračuna vidljivo je da se uz povećanje brzine od 84 % (Avant – regionalni vlak) na 28 % kraćoj relaciji (zbog korištenja pruge velikih brzina koja je kraća) u istom vremenu prometovanja od 7 sati povećao broj godišnjih kilometara i to za 52 % što znači da je vlak velikih brzina – Avant produktivniji od regionalnog vlaka. Iz formule je vidljivo da povećanjem prosječne brzine prometovanja vlaka gotovo proporcionalno raste i broj prijeđenih kilometara godišnje.

U tablici 4 prikazan je godišnji broj prijeđenih kilometara za četiri vrste vlakova. Kao što je i prethodni primjer pokazao, vidljivo je da vlakovi velikih brzina za razliku od konvencionalnih vlakova prelaze i duplo veću godišnju udaljenost.

[17] Udaljenost regionalnog vlaka je veća zbog ne korištenja pruge velikih brzina odnosno regionalni vlak putuje duljom rutom.

Tablica 4. Godišnji broj prijeđenih kilometara po vrstama vlakova

	Vlakovi velikih brzina	Poboljšani konvencionalni vlakovi	Konvencionalni elektromotorni vlakovi	Konvencionalni dizel vlakovi
Prosječna brzina bez zaustavljanja (km/h)	210	152	110	110
Komercijalna brzina (km/h)	200	141	102	102
Dnevni broj sati korištenja (h)	7,5	7,1	6,8	6,45
Udaljenost (km)	500	500	500	500
Trajanje obrta (min)	50	50	50	50
Godišnja udaljenost (km)	410.625	296.543	216.111	204.987

Izvor: García Álvarez. A.: Efecto de la alta velocidad ferroviaria en el consumo de energía y en los costes operativos; Barcelona 2011.

6.4. Produktivnost vlakova

Nakon proračuna godišnje prijeđene udaljenosti moguće je izračunati dostupan broj sjedala godišnje koristeći godišnju udaljenost i broj sjedala vlaka za kojeg je izračunata udaljenost. Taj pokazatelj u španjolskoj organizaciji prometa naziva se produktivnost (*španj. Producción*).

$$Produktivnost = RA \times (Su \times Dp) = RA \times p \ [sjedala \cdot km]$$

RA predstavlja godišnju udaljenost, a p predstavlja kapacitet odnosno broj sjedala. Vidljivo je da se produktivnost može računati i korištenjem gustoće sjedala (*Dp*) i korisne površine vlaka (*Su*). U tablici 5 prikazana je usporedba produktivnosti prema vrstama vlakova.

Vidljivo je da je najveća produktivnost (tablice 5.) u slučaju vlakova velikih brzina sa godišnjom produktivnosti od 158.912 sjedalo kilometara što je gotovo upola manje od godišnje produktivnosti konvencionalnih dizel vlakova.

6.5. Operativni troškovi

Prometovanje vlakova stvara i određene operativne troškove. Ova vrsta troškova predstavlja one troškove koji su nužni kako bi se vlak kretao, a to su troškovi najma ili kupnje vlaka, održavanja, potrošnje energije, osoblja i sl. Također, u ove troškove spadaju i troškovi koji se plaćaju drugim subjektima poput plaćanja korištenja infrastrukture, plaćanje poreza i sva ostala plaćanja koja se plaćaju vanjskim kompanijama. Ukratko, operativni troškovi su svi troškovi nužni za kreiranje usluge prijevoza putnika na siguran, ugodan, brz i učinkovit način. Troškovi se mogu svrstati u dvije skupine:

- Eksploatacijske troškove i
- Operativne troškove koji se ne smatraju eksploatacijskim troškovima.

Tablica 5. Prikaz produktivnosti prema vrsti vlakova

	Vlakovi velikih brzina	Poboljšani konvencionalni vlakovi	Konvencionalni elektromotorni vlakovi	Konvencionalni dizel vlakovi
Godišnja prijeđena udaljenost RA (km)	410.625	296.543	216.111	204.987
Gustoća sjedala Dp (sjedalo/m^2)	0,86	0,89	0,97	0,87
Korisna površina vlaka (450m^2)	387	401	437	392
Godišnja produktivnost (sjedalo·km)	158.912	118.765	94.332	80.253
Usporedba sa sustavom vlakova velikih brzina (indeks)	1,000	0,747	0,594	0,505

*Rezultati su izraženi u tisućama sjedalo kilometara godišnje za vlakove sa korisnom površinom 450m^2.
Izvor: García Álvarez. A.: Efecto de la alta velocidad ferroviaria en el consumo de energía y en los costes operativos; Barcelona 2011.

Prikaz svih troškova po vrstama prikazan je u tablici 6 i tablici 7. Jasno je vidljivo koje potkategorije imaju pojedine vrste troškova.

Tablica 6. Eksploatacijski troškovi

1. Eksploatacijski troškovi	1	Troškovi vlasništva vlaka	1.a	Amortizacija vlaka
			1.b	Kapitalni i vanjski troškovi
			1.c	Osiguranje vlaka
	2	Održavanje opreme i čišćenje	2.a	Fiksni troškovi održavanja
			2.b	Varijabilni troškovi održavanja
			2.c	Fiksni troškovi radionice
			2.d	Varijabilni troškovi radionice
			2.e	Troškovi unutarnjeg i vanjskog čišćenja
	3	Energija	3.a	Vučna energija
			3.b	Energija vraćena u mrežu
			3.c	Pomoćna energija
	4	Troškovi operativnog osoblja	4.a	Osoblje vlaka (strojovođa)
			4.b	Prateće osoblje
	5	Troškovi infrastrukture	5.a	Troškovi korištenja infrastrukture

Izvor: García Álvarez. A.: Efecto de la alta velocidad ferroviaria en el consumo de energía y en los costes operativos; Barcelona 2011.

Tablica 7. Operativni troškovi

2. Operativni troškovi koji se ne smatraju eksploatacijskim troškovima	6	Distribucija (prodaja) i kontrola	6.a	Distribucija i prodaja (fiksni dio)
			6.b	Distribucija i prodaja (varijabilni dio)
			6.c	Agencijske provizije
			6.d	Troškovi kontrole pristupa
	7	Putne informacije	7.a	Putne usluge (po putniku)
			7.b	Putne usluge (po vlaku)
			7.c	Pomoć pri putovanju
			7.d	Putno osiguranje
	8	Promocija	8.a	Troškovi promocije
	9	Glavni strukturni troškovi	9.a	Režije i strukturni troškovi
	10	Tekući troškovi	10.a	Obrtna sredstva
			10.b	Bankovne naknade
	11	Troškovi kolodvora i sigurnosni troškovi	11.a	Troškovi kolodvora
			11.b	Sigurnosna naknada
	12	Troškovi infrastrukture	12.a	Fiksna naknada za pristup infrastrukturi
			12.b	Naknada po putniku
			12.c	Naknada za sjedalo kilometar
			12.d	Naknada za korištenje depoa
			12.e	Naknada za korištenje kolodvora
	13	Porezi	13.a	Porezi i nagradne plaće

Izvor: García Álvarez. A.: Efecto de la alta velocidad ferroviaria en el consumo de energía y en los costes operativos; Barcelona 2011.

6.6. Održavanje i troškovi čišćenja

Održavanje željezničkih vozila čini općenito održavanje koje može biti preventivno i korektivno. Ti troškovi ne uključuju glavne popravke koji se obično obavljaju nakon prijeđenih 2-4 milijuna kilometara (Španjolski standardi). Preventivno održavanje sadrži sve preglede vlaka, dopunjavanje pijeska, dopuna ulja, punjenje goriva, punjenje vode i sve ostale "radove" koji ne zahtijevaju veće financijske izdatke. Korektivno održavanje sadrži unutarnje i vanjsko čišćenje vlaka, zamjena trošnih dijelova (kočne papuče, diskovi i sl.), uklanjanje štete do određene vrijednosti koja je nastala vandalizmom.

Troškovi zadržavanja na servisu – ova vrsta troškova podrazumijeva određene gubitke koje vozilo stvara zbog zadržavanja na redovitom održavanju. Ovakvi troškovi razlikuju se ovisno o operateru.

Varijabilno održavanje – podrazumijeva varijabilne troškove koji se temelje na ciklusu čišćenja vozila. To može biti nakon svake vožnje ili nakon određenog broja vožnji.

Načini provedbe održavanja – održavanje vozila može se obavljati u vlastitim radionicama operatera, unajmljenim radionicama, čišćenje mogu obavljati vanjske kompanije specijalizirane za čišćenje ili vlastite kompanije operatera. Svaki načina održavanja i čišćenja generira drugačije troškove.

Dio troškova održavanja sastoji se od troškova zamjene dijelova koji se troše. Takve troškove generiraju zamjene osovina, obrada površine kotača, zamjena kočnih papuča, kočnih diskova, trošnih dijelova pantografa i sl. Ova vrsta troškova manja je u sustavu vlakova velikih brzina prvenstveno zbog manjih radijusa zavoja kroz koje vlakovi prometuju (što za posljedicu ima sporije trošenje vijenca kotača), manjeg trošenja kočnica (veća je uporaba elektrodinamičkih i sličnih kočnica), sporije trošenje pantografa (zbog posebne izvedbe kontaktne mreže). S toga cijena održavanja vlakova pada sa povećanjem prosječne brzine vlaka.

Tablica 8 prikazuje sve troškove održavanja vlaka koji su raspoređeni u tri grupe – troškovi osoblja za održavanje, troškovi održavanja po vlak kilometru i troškovi održavanja po sjedalo kilometru.

Tablica 8. Troškovi održavanja vlaka

Vrsta vlaka i duljina	Troškovi osoblja za održavanje	Troškovi po vlak km	Troškovi po sjedalo km
Za velike udaljenosti (200m)	0,7 do 1,0 c€/milkm	1,40 do 2,00 €	0,40 do 0,57 c€/milkm
Regionalni elektromotorni (75m)	1,7 do 2,2 c€/milkm	1,30 do 1,70 €	0,56 do 0,73 c€/milkm
Regionalni dizel (75m)	2,0 do 2,6 c€/milkm	1,55 do 2,00 €	0,70 do 0,9 c€/milkm
Lokalni elektromotorni (75m)	1,3 do 1,6 c€/milkm	0,97 do 1,20 €	0,30 do 0,40 c€/milkm

Izvor: García Álvarez. A.: Efecto de la alta velocidad ferroviaria en el consumo de energía y en los costes operativos; Barcelona 2011.

Vidljivo je da su troškovi osoblja za održavanje najmanji za vlakove koji prometuju na velikim udaljenostima (duljine 200 m) i kreću se od 0,7 do 1,0 c€ na milijun kilometara. U pogledu troškova održavanja po vlak kilometru najmanje troškova generiraju lokalni elektromotorni vlakovi duljine 75 m čiji su troškovi od 0,97 do 1,20 € po vlak kilometru, a gdje su troškovi vlakova za velike udaljenosti najviši. Zadnja grupa troškova prikazuje da su troškovi održavanja najmanji za lokalne elektromotorne vlakove sa cijenom od 0,30 do 0,40 c€/milkm, a odmah iza njih najniže troškove imaju vlakovi za velike udaljenosti.

6.7. Troškovi operativnog osoblja

Operativno osoblje uključuje tim ljudi koji mogu raditi za prijevoznu kompaniju tj. operatera ili mogu biti unajmljeni od vanjske kompanije. To osoblje može se razvrstati u dvije skupine:

- Osoblje koje pruža usluge u službenim mjestima – ovo osoblje ne nalazi se u vlakovima nego se nalazi na info pultovima, recepciji, uredima za prodaju karata i sl.
- Osoblje koje pruža usluge u vlaku – uključuje svo osoblje koje se nalazi u vlaku kao što su strojovođe, kontrolori karata, vlakopratno osoblje.

Prema definiciji operativnih troškova, troškovi osoblja koje pruža usluge na zemlji ne ulazi u operativne troškove jer se bez njih vlak može pokrenuti. Kod osoblja koje pruža usluge u

vlaku postoji poveznica sa brzinom vlaka u kojemu osoblje vrši uslugu. Brzina vlaka direktno utječe na njihovu produktivnost i isplativost. Naime, svaki radnik u Španjolskom željezničkom sustavu ima fiksno vrijeme rada koje iznosi 40 sati tjedno ili 1.880 sati godišnje. Ukoliko vlak u kojemu osoblje radi putuje većom brzinom, tada to osoblje uslugom "pokriva" veći broj kilometara.
U tablici 9 prikazane su troškovi strojovođa, vlakopratnog osoblja te ukupni troškovi po sjedalo kilometru.

Tablica 9. Troškovi operativnog osoblja vlaka

	Vlakovi velikih brzina	Poboljšani konvencionalni vlakovi	Konvencionalni elektromotorni vlakovi	Konvencionalni dizel vlakovi
Troškovi strojovođa (c€/sjedalo kilometru)	0,081	0,111	0,142	0,158
Troškovi vlakopratnog osoblja (c€/sjedalo kilometru)	0,057	0,078	0,100	0,111
Ukupni troškovi (c€/sjedalo kilometru)	0,139	0,190	0,242	0,269

Izvor: García Álvarez. A.: Efecto de la alta velocidad ferroviaria en el consumo de energía y en los costes operativos; Barcelona 2011.

Iz tablice 9. vidljivo je da u usporedbi sa konvencionalnom željeznicom, troškovi operativnog osoblja mogu biti niži i do 50 %.

6.8. Troškovi električne energije

Troškovi električne energije nazivaju se još i troškovi vuče. To su troškovi nastali trošenjem određene količine električne energije ponajviše vučnim elektromotorima vlaka (ali i ostalih podsustava u vlaku). U Španjolskom sustavu vlakova velikih brzina kontaktna mreža osposobljena je za primanje rekuperirane električne energije. Zbog toga se troškovi električne energije mogu podijeliti na tri dijela:

- Troškovi potrošene električne energije (koja se mjeri na transformatorskim podstanicama).
- Troškovi generiranje električne energije – sustav rekuperacije električne energije omogućuje generiranje električne energije prilikom kočenja vlaka elektromotorima i povrat iste u mrežu. Pritom se ta energija "prodaje" operateru električne energije. Ovi troškovi oduzimaju se od troškova potrošene električne energije.
- Ugovoreni troškovi – razlika između potrošene i generirane električne energije.

U troškove električne energije ne ulaze troškovi održavanja električnih podstanica i ostale infrastrukture. Takvi troškovi dio su troškova infrastrukture. Svako vučno vozilo (električno)

za pogon treba maksimalnu kontinuiranu snagu. Za prometovanje se gotovo nikad ne koristi maksimalan iznos te snage. Obično se koristi između 30 i 70 % maksimalne kontinuirane snage i to ovisi o karakteristikama infrastrukture, udaljenosti između kolodvora u kojima se vlak zadržava i ostalim karakteristikama vožnje. Izračun potrošnje električne energije vrlo je kompleksan i nije tema ovog rada te s toga nije detaljno objašnjen.
Tablica 10 prikazuje troškove potrošnje električne energije u Španjolskoj. Vidljivo je da najmanje troškove električne energije generiraju vlakovi velikih brzina dok najveće troškove generiraju dizel vlakovi. U usporedbi sa konvencionalnim poboljšanim i elektromotornim vlakovima razlika je minimalna.

Tablica 10. Troškovi korištenja infrastrukture

	Vlakovi velikih brzina	Poboljšani konvencionalni vlakovi	Konvencionalni elektromotorni vlakovi	Konvencionalni dizel vlakovi
Troškovi električne energije (c€/sjedalo kilometru)	0,370	0,376	0,388	0,604*

*U proračunu su korišteni troškovi dizel vuče odnosno goriva i potrošnje dizel motora.

Izvor: García Álvarez. A.: Efecto de la alta velocidad ferroviaria en el consumo de energía y en los costes operativos; Barcelona 2011.

6.9. Troškovi korištenja infrastrukture

Troškovi korištenja željezničke infrastrukture (pruge, postrojenja i kolodvori) mogu se podijeliti u dvije grupe:

- Kapitalni troškovi – ovi troškovi nastaju financiranjem izgradnje infrastrukture i
- Tekući troškovi – nastaju upravljanjem infrastrukturom, održavanjem, pregledima i popravcima.

Tekući troškovi mogu se podijeliti i na fiksne troškove (neovisni o prometovanju vlakova tj. ne nastaju prometovanjem vlakova) te na varijabilne troškove (troškovi koji nastaju prometovanjem vlakova). Gledajući sa drugog stajališta u kojem se vlak kreće infrastrukturom, proizlaze sljedeći troškovi:

- Oportunitetni troškovi nastali korištenjem određenog kapaciteta željezničke pruge i
- Troškovi koji proizlaze iz trenutnog prolaska vlaka (npr. koji omogućuju kretanje vlaka kao što je npr. električna energija[18])

Troškovi korištenja infrastrukture u sustavu vlakova velikih brzina, gledajući visinu troškova, ne razlikuje se puno od konvencionalne željeznice. Tablica 11 prikazuje troškove korištenja infrastrukture za 4 vrste vlaka. Cijena po sjedalo kilometru kod vlakova velikih brzina iznosi

[18] Električna energija može se vrednovati kao zasebni trošak ili kao trošak korištenja infrastrukture što ovisi o modelu naplate korištenja infrastrukture.

0,153 c€. Ti troškovi gotovo su identični kao kod konvencionalnih dizel vlakova međutim poboljšani konvencionalni vlakovi i konvencionalni elektromotorni vlakovi stvaraju nešto veće troškove (0,182 c€/sjedalo kilometru).

Tablica 11. Troškovi korištenja infrastrukture

	Vlakovi velikih brzina	Poboljšani konvencionalni vlakovi	Konvencionalni elektromotorni vlakovi	Konvencionalni dizel vlakovi
Troškovi korištenja infrastrukture (c€/sjedalo kilometru)	0,153	0,182	0,182	0,154

Izvor: García Álvarez. A.: Efecto de la alta velocidad ferroviaria en el consumo de energía y en los costes operativos; Barcelona 2011.

6.10. Ukupni eksploatacijski troškovi

Ukupni eksploatacijski troškovi predstavljaju zbroj svih troškova koji su generiraju prilikom prometovanja vlaka. Tu se ubrajaju svi troškovi: operativni, troškovi održavanja i čišćenja, operativnog osoblja, električne energije i troškovi korištenja infrastrukture.

Tablica 12 prikazuje sumu svih troškova koji se generiraju u četiri vrste vlakova. Ukupni eksploatacijski troškovi vlakova velikih brzina iznose 2,480 €/sjedalo kilometru. Odmah iza vlakova velikih brzina nalaze se troškovi poboljšanih konvencionalnih vlakova i iznose 3,555 €/sjedalo kilometru te konvencionalni elektromotorni vlakovi sa 3,913 €/sjedalo kilometru. Konvencionalni dizel vlakovi imaju naviše eksploatacijske troškove od 4,586 €/sjedalo kilometru što je gotovo dvostruko više od troškova vlakova velikih brzina.

Analizirajući svaki trošak zasebno, u svim stavkama vlakovi velikih brzina imaju najmanje troškove. Troškovi konvencionalnih dizel vlakova dva puta su veći prilikom nabavke vozila, održavanja i čišćenja, potrošnje energije i prema troškovima operativnog osoblja. U pogledu troškova korištenja infrastrukture troškovi su gotovo isti kao i u sustavu vlakova velikih brzina.

Poboljšani konvencionalni vlakovi i konvencionalni elektromotorni vlakovi u prve se četiri vrste troškova nalaze u sredini. Gledajući trošak korištenja infrastrukture skuplji su od konvencionalnih dizel vlakova i vlakova velikih brzina.

Tablica 12. Ukupni eksploatacijski troškovi

Troškovi	Vlakovi velikih brzina	Poboljšani konvencionalni vlakovi	Konvencionalni elektromotorni vlakovi	Konvencionalni dizel vlakovi
Nabava vozila (c€/sjedalo kilometru)	0,963	1,479	1,839	2,170
Održavanje i čišćenje (c€/sjedalo kilometru)	0,855	1,329	1,263	1,388
Potrošnja energije (c€/sjedalo kilometru)	0,370	0,376	0,388	0,604
Operativno osoblje (c€/sjedalo kilometru)	0,139	0,190	0,242	0,269
Korištenje infrastrukture (c€/sjedalo kilometru)	0,153	0,182	0,182	0,154
Eksploatacijski troškovi (c€/sjedalo kilometru)	2,480	3,555	3,913	4,586
Index	1,00	1,43	1,58	1,85

Izvor: García Álvarez. A.: Efecto de la alta velocidad ferroviaria en el consumo de energía y en los costes operativos; Barcelona 2011.

7. ZAKLJUČAK

Sustav vlakova velikih brzina ima dugu povijest. Nastao je kao ostvarenje želje da se postojeći vlak učini bržim. Nakon nekoliko desetaka godina razvoja tehnike i tehnologije ovaj sustav postao je još konkurentniji konvencionalnom željezničkom sustavu. Nudeći velike brzine prometovanja, a time i kratka vremena putovanja, sustav je konkurentan i pojedinim zračnim linijama i ostalim modovima prijevoza. Zbog toga ga danas koriste milijarde putnika čiji broj neprekidno raste.

Uspoređujući razne sustave vlakova velikih brzina vidljivo je da su ti sustavi u osnovi isti. Vlak velikih brzina najčešće prometuje brzinom od oko 300 km/h po posebno konstruiranoj infrastrukturi. Međutim, osim velike brzine po kojoj se ovaj sustav razlikuje od konvencionalnog željezničkog sustava, vidljivo je da u organizacijskom pogledu i u pogledu troškova ovaj sustav također predstavlja veliku razliku. Veća brzina i kraća vremena putovanja znače da će isto vozilo moći napraviti više obrta što dovodi do zaključka da mu sa povećanjem brzine raste i produktivnost. U konačnici, to znači da se sa manje vlakova može prevesti veći broj putnika. Za operatera to predstavlja veću zaradu, a za putnike lakše ostvarenje većeg broja polazaka. To za posljedicu može imati veću popularnost željezničkog sustava što je cilj raznih strategija poput Bijele knjige ili nacionalnih strategija država Europske Unije. U ovom sustavu raste i produktivnost osoblja u vlaku. Kao što je opisano u poglavlju 6.7., osoblje koje se nalazi u vlaku sada opslužuje više kilometara što smanjuje ukupne troškove osoblja. Vlakovi velikih brzina su najčešće novi vlakovi starosti manje od 15 godina što znači da u sebi često imaju najnoviju tehnologiju koja im omogućuje smanjenje troškova električne energije i troškove održavanja i čišćenja. Troškovi korištenja infrastrukture nisu usko povezani sa brzinom prometovanja i u tom pogledu ne predstavljaju nikakvu razliku od konvencionalne željeznice.

Na konkretnom slučaju opisanom u ovom radu uspoređeni su organizacijski pokazatelji i troškovi pojedinih sustava. Prema broju sati korištenja, sustav vlakova velikih brzina koristi se više nego konvencionalni sustavi. Tijekom vršnih opterećenja vlakovi velikih brzina koriste se 7 sati, poboljšani konvencionalni vlakovi 6,7 sati, konvencionalni elektromotorni vlakovi 6,4 sati i konvencionalni dizel vlakovi 5,9 sati. Posljedica većeg korištenja vidljiva je i godišnjem broju prijeđenih kilometara. Vlak velikih brzina godišnje prijeđe nešto više od 410.000 km što je gotovo 28 % više od poboljšanih konvencionalnih vlakova, 48% više od konvencionalnih elektromotornih vlakova i 50 % više od konvencionalnih dizel vlakova.

Gledajući troškove, vlakovi velikih brzina imaju gotovo dva puta manje ukupne troškove (eksploatacijske). Kod konvencionalnih dizel vlakova oni iznose 4,856 c€/sjedalo kilometru, kod konvencionalnih vlakova 3,913 c€/sjedalo kilometru, poboljšani konvencionalni vlakovi imaju troškove od 3,555 c€/sjedalo kilometru dok vlakovi velikih brzina imaju troškove od 2,480 c€/sjedalo kilometru.

Ukupno gledajući, sustav vlakova velikih brzina zasigurno predstavlja transportni sustav koji je već dio održive mobilnosti u budućnosti. U svim pogledima ovaj sustav stvara koristi u organizacijskom, ekonomskom i ekološkom pogledu.

LITERATURA

1. López Pita, A.: Gestion de lineas de alta velocidad, BarcelonaTech, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 2016.
2. Grein, O.: Success Factors of the German High Speed Rail System, DB International GmbH, 2014.
3. WS Atkins, High Speed Line Study, Milestone 3, Interim Report, Prosinac 2001.
4. García Álvarez. A.: Efecto de la alta velocidad ferroviaria en el consumo de energía y en los costes operativos; Barcelona 2011.
5. Esveld, C.: Modern Railway Track – Second Edition, Delft University of Technology, 2001.
6. José de la Vega, J., Berrios, Luis Díez, A., Miguel Rubio, J.: Automatic railways traffic management in high speed lines; Adif, Indra: 2008.
7. Office of Rail and Road, UK Government, Annual report on HS1 Ltd. 2015-16
8. Željeznička infrastruktura I, Kolosijeci za velike brzine, Predavanja, Fakultet prometnih znanosti
9. Ekologija u prometu, Predavanja - željeznica, Fakultet prometnih znanosti
10. HS1 Network Statement Report, Ožujak 2016
11. A chronology of high speed trains: past, present, future, Alstom, 2008.
12. ERTMS from the drivers' point of view – factsheets, UNIFE
13. ERTMS Levels Factsheets, UNIFE
14. URL: http://www.uic.org/High-Speed-History#t19th-20th-CENTURY-From-birth-of-railways-to-HSR (pristupljeno: lipanj 2016.)
15. URL: http://www.railway-technology.com/projects/frenchtgv/ (pristupljeno: kolovoz 2016.)
16. URL:http://electric-rly-society.org.uk/the-history-of-the-french-high-speed-rail-network-and-tgv/ (pristupljeno: kolovoz 2016.)
17. URL: http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/building-britains-first-high-speed-line.html (pristupljeno: kolovoz 2016.)
18. URL: http://www.adif.es/en_US/infraestructuras/lineas_de_alta_velocidad/lineas_de_alta_velocidad.shtml (pristupljeno: kolovoz 2016.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Povijest željeznice velikih brzina 3
Slika 2. Presjek kolosijeka sa kolosiječnim zastorom 5
Slika 3. Presjek kolosijeka bez kolosiječnog zastora 6
Slika 4. Primjer sheme službenog mjesta u sustavu vlakova velikih brzina 6
Slika 5. Opremljenost pruga ERTMS sustavom u Španjolskoj 8
Slika 6. Prikaz kabinskog dijela ERTMS-a 8
Slika 7. Japanski vlakovi velikih brzina 10
Slika 8. Karta mreže Shinkansen željeznice velikih brzina 11
Slika 9. Mreža pruga velikih brzina u Francuskoj 12
Slika 10. Razlika između zajedničkih postolja i konvencionalnih postolja 13
Slika 11. TGV Duplex u kolodvoru Girona 13
Slika 12. Uzdužni profil kolosijeka na pruzi velikih brzina Hannover – Würzburg 14
Slika 13. Njemački vlakovi velikih brzina 15
Slika 14. Prikaz lokacije pruga velikih brzina u Velikoj Britaniji 17
Slika 15. Broj vlakova na pruzi HS1 17
Slika 16. Mreža pruga velikih brzina u Španjolskoj 19
Slika 17. Serije vlakova AVE 20

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz karakterističnih parametara željezničke infrastrukture u Španjolskoj 4
Tablica 2. Popis željezničkih dionica opremljenih sustavom ERTMS 9
Tablica 3. Prikaz sati korištenja vlakova prema kategoriji vlaka 22
Tablica 4. Godišnji broj prijeđenih kilometara po vrstama vlakova 24
Tablica 5. Prikaz produktivnosti prema vrsti vlakova 25
Tablica 6. Eksploatacijski troškovi 25
Tablica 7. Operativni troškovi 26
Tablica 8. Troškovi održavanja vlaka 27
Tablica 9. Troškovi operativnog osoblja vlaka 28
Tablica 10. Troškovi korištenja infrastrukture 29
Tablica 11. Troškovi korištenja infrastrukture 30
Tablica 12. Ukupni eksploatacijski troškovi 31

PRILOZI

Prilog 1. Izvod iz voznog reda – Madrid – Barcelona - Figueres

Službeno mjesto		Madrid	Guadalajara		Calatayud		Zaragoza		Lleida		Tarragona		Barcelona		Girona		Figueres
Udaljenost		0	64,4km		221,1km		306,7km		452,5km		520,9km		620,9km		714,7km		748,9km
Broj	Tip	Odl	Dol	Odl	Dol	Odl	Dol	Odl	Dol	Odl	Dol	Odl	Dol	Odl	Dol	Odl	Dol
03061	AVE	06:10											08:40				
03063	AVE	06:30			07:25	07:26	07:51	07:52					09:20				
03071	AVE	07:00											09:30				
03271	AVE	07:20											09:50				
03073	AVE	07:30	07:53	07:54			08:51	08:52	09:35	09:37	10:03	10:05	10:40				
03081	AVE	08:00											10:30				
03283	AVE	08:20					09:35	09:36					11:05				
03083	AVE	08:30					09:45	09:46			10:43	10:45	11:20				
03293	AVE	09:00					10:15	10:16					11:45				
03093	AVE	09:30					10:45	10:46	11:29	11:31	11:57	11:59	12:34	12:44	13:22	13:24	13:39
03103	AVE	10:30					11:45	11:46					13:15				
03113	AVE	11:30			12:25	12:26	12:51	12:52	13:35	13:37	14:03	14:05	14:40				
03123	AVE	12:30					13:45	13:46	14:29	14:31			15:30	15:40	16:18	16:20	16:35
19725	AVE-TGV	13:25	13:48	13:50			14:49	14:52			15:45	15:47	16:24	16:45	17:23	17:26	17:40
03141	AVE	14:00											16:30				
03143	AVE	14:30			15:25	15:26	15:51	15:52					17:21				
03151	AVE	15:00											17:30				
03153	AVE	15:30			16:25	16:26	16:51	16:52	17:35	17:37	18:03	18:05	18:40	18:50	19:28	19:30	19:45
03161	AVE	16:00											18:30				
03163	AVE	16:30					17:45	17:46			18:42	18:44	19:20				
03171	AVE	17:00											19:30				
03173	AVE	17:30	17:53	17:54			18:51	18:52	19:35	19:37	20:03	20:05	20:40				
03181	AVE	18:00											20:30				
03183	AVE	18:30					19:45	19:46			20:43	20:45	21:20				
03191	AVE	19:00											21:30	21:40	22:18	22:20	22:35
03193	AVE	19:30					20:45	20:46	21:29	21:31	22:04	22:06	22:40				
03201	AVE	20:00											22:30				
03203	AVE	20:30	20:53	20:54			21:51	21:52	22:35	22:37	23:03	23:05	23:40				
03211	AVE	21:25											23:55				

Izvor: obrada autora temeljena na voznom redu

Prilog 2. Izvod iz voznog reda – Figueres – Barcelona - Madrid

Službeno mjesto		Figueres	Girona		Barcelona		Tarragona		Lleida		Zaragoza		Calatayud		Guadalajara		Madrid
Udaljenost		748,9km	714,7km		620,9km		520,9km		452,5km		306,7km		221,1km		64,4km		0
Broj	Tip	Odl	Dol	Odl	Dol	Odl	Dol	Odl	Dol	Odl	Dol	Odl	Dol	Odl	Dol	Odl	Dol
03252	AVE					05:50											08:20
03062	AVE					06:05	06:36	06:38	07:02	07:04	07:45	07:48			08:44	08:45	09:15
03260	AVE					06:25											08:55
03462	AVE					06:40					08:03	08:06					09:25
03270	AVE					07:00											09:30
03072	AVE					07:05					08:28	08:31					09:50
03070	AVE					07:25	07:55	07:57									10:01
03662	AVE					07:40											10:10
03082	AVE					08:00	08:31	08:33	08:57	08:59	09:40	09:43	10:07	10:08			11:10
03080	AVE					08:25											10:55
03092	AVE	07:55	08:09	08:11	08:50	09:00					10:23	10:26					11:45
03102	AVE	08:55	09:09	09:11	09:50	10:00	10:31	10:33	10:57	10:59	11:40	11:43			12:42	12:43	13:10
03112	AVE					11:00					12:23	12:26					13:45
03122	AVE					12:00	12:31	12:33	12:57	12:59	13:40	13:43			14:42	14:43	15:10
19730	AVE-TGV	11:43	11:57	12:00	12:38	12:50	13:20	13:22			14:23	14:25					15:45
03132	AVE					13:25					14:48	14:51					16:10
03142	AVE					14:00	14:31	14:33	14:57	14:59	15:40	15:43	16:07	16:08			17:10
03152	AVE					15:00					16:23	16:26					17:45
03150	AVE					15:25											17:55
03162	AVE	14:55	15:09	15:11	15:50	16:00	16:31	16:33	16:57	16:59	17:40	17:43	18:07	18:08			19:10
03160	AVE					16:25											18:55
03172	AVE					17:00	17:30	17:32			18:28	18:31					19:50
03170	AVE					17:25											19:55
03182	AVE					18:00	18:31	18:33	18:57	18:59	19:40	19:43	20:07	20:08			21:10
03180	AVE					18:25											20:55
03192	AVE					19:00	19:30	19:32	19:56	19:58	20:38	20:41					22:00
03190	AVE					19:25											21:55
03202	AVE					20:00	20:31	20:33	20:57	20:59	21:40	21:43			22:42	22:43	23:10
03412	AVE					21:15					22:40	22:43					00:02

Izvor: obrada autora temeljena na voznom redu

METAPODACI

Naslov rada: Organizacija prometa u sustavu vlakova velikih brzina

Student: Marin Dokoza

Mentor: doc.dr.sc. Borna Abramović

Naslov na drugom jeziku (engleski):

Organization of railway traffic in the high-speed train system

Povjerenstvo za obranu:

- Prof.dr.sc. Tomislav Josip Mlinarić, predsjednik
- Doc.dr.sc. Borna Abramović, mentor
- Dr.sc. Marjana Petrović, član
- Doc.dr.sc. Mladen Nikšić, zamjena

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

Zavod: Željeznički promet

Vrsta studija: Preddiplomski

Studij: Promet

Datum obrane završnog rada: 16.rujna 2016.

Napomena: pod datum obrane završnog rada navodi se prvi definirani datum roka obrane.