

# ANALIZA PREDNOSTI SISTEMA VOZOVA ZA VELIKE BRZINE

## ANALYSIS OF BENEFITS HIGH SPEED TRAINS SYSTEM

UDK 656.2+629.4

### REZIME:

Sistem železnica za velike brzine predstavlja jedinstven, brz, inovativan i efikasan vid prevoza. U ovom radu opisane su neke osnovne karakteristike ovog sistema sa posebnom pažnjom usmerenom na prednosti koje donosi. Prikazani su neki osnovni parametri koje mora da ispuni železnička infrastruktura za velike brzine. Obradene su karakteristike samih vozova za velike brzine, sa tehničkog aspekta i način njihovog održavanja. Prednosti koje donosi sistem vozova velikih brzina su mnogobrojne, ali je u radu pažnja posvećena efikasnosti prevoza, ekonomskim i socijalnim benefitima, kao i minimalnom uticaju na zagađenje životne sredine. S obzirom da sistemi vozova i železnica za velike brzine u današnjem vremenu predstavljaju ozbiljan pokazatelj razvijenosti neke države, u radu su prikazani i neki globalni podaci u vezi sa njima, kao i spisak država koje eksploatišu ovaj vid prevoza.

**Ključne reči:** pruge za velike brzine, vozovi velikih brzina, prednosti sistema vozova velikih brzina, železnica za velike brzine u svetu

### SUMMARY:

The high-speed rail system is a unique, fast, innovative and efficient mode of transport. This paper describes some basic characteristics of this system with special attention focused on the benefits it brings. Some basic parameters that must be met by the railway infrastructure for high speeds are presented. The characteristics of the high-speed trains, from the technical aspect and the manner of their maintenance, are discussed. The advantages of the high-speed train system are numerous, but the paper focuses on transport efficiency, economic and social benefits, as well as minimal impact on environmental pollution. Given that high-speed train and railway systems today are a serious indicator of the development of a country, the paper presents some global data related to them, as well as a list of countries that exploit this type of transport.

**Key words:** high-speed railways, high-speed trains, benefits of high-speed train systems, high-speed railways in the world

\* Milivoje Ilić, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, m.ilic@sf.bg.ac.rs

## 1. UVOD

Od nastanka železnica u Velikoj Britaniji početkom 19. veka, "velike brzine" su bile ciljevi kojima je železnica težila. Železnička linija Liverpool - Mančester dužine 56 km bila je prva svetska putnička železnička linija razvijena za međugradski prevoz. Rekord brzine od 50 km/h, postignutom lokomotivom na paru "Raketa", 1830. godine predstavljao je zaista visoku brzinu za svoje vreme. Vrlo brzo nakon "Rakete", vozovi su dostizali još impresivnije brzine: 100 km/h pre 1850. godine, 130 km/h je dostignuto 1854. godine, a granica od 200 km/h probijena je početkom 20. veka. U svakom slučaju, sve ove brzine predstavljaju pojedinačne rekorde. Maksimalna operativna brzina bila je znatno niža, ali ne i manje značajna, dostigavši 180 km/h kao najveću brzinu i 135 km/h kao prosečnu brzinu između dva grada tridesetih godina prošlog veka.

Pojavljivanje drugih vidova transporta, prvenstveno vazduhoplova koji nude veliku brzinu i drumskih vozila koja su omogućila putovanje od vrata do vrata, primoralo je železnicu da se okrene ka unapređenju svog sistema i tehničko-tehnološkim inovacijama, kako bi uspela da održi konkurentnost sa ostalim vidovima prevoza.

Strategije razvoja savremenih železničkih transportnih sistema u poslednjih šezdeset godina odnose se na razvoj novih generacija brzih vozova, zadovoljavajući pri tome dva osnovna kriterijuma, minimalno vreme vožnje i minimalnu potrošnju pogonske energije. Za razliku od konvencionalnih, vozovi velikih brzina (VVB) saobraćaju znatno većim brzinama (preko 200 km/h) i čine deo železničkog sistema sa specijalizovanim vozilima i prugama. Nakon nekoliko značajnih rekorda brzine u Evropi (Nemačka, Italija, Velika Britanija i posebno Francuska, 331 km/h 1955), svet je bio iznenađen kada su 1. oktobra 1964. japanske nacionalne železnice pustile u saobraćaj potpuno novu liniju standardnog koloseka (širine 1.435 mm) u dužini od 515 km, Tokaido Šinkansen, iz centra Tokija, do Šin Osake. Ova linija je izgrađena da obezbedi kapacitete za novi transportni sistem neophodan za impresivno brz rast japanske ekonomije. Predsednik japanske nacionalne železnice Šinji Sogo i potpredsednik za inženjering Hideo Šima promovisali su koncept ne samo nove linije, već i novog transportnog sistema, pozvanog da se kasnije proširi na ostatak zemlje i da postane okosnica putničkog prevoza za buduće generacije građana u Japanu. Tokaido Šinkansen je dizajniran za prevoz pri 210 km/h (kasnije povećan),

širokog opsega opterećenja, sa pogonom na elektromotorne jedinice na 25 kV AC, automatske kontrole voza, centralizovane kontrole saobraćaja i druge savremene inovacije [1].

Nakon velikog uspeha projekta Šinkansen, tehnički napredak u nekoliko evropskih zemalja (Francuska, Nemačka, Italija, Velika Britanija) uslovio je razvoj novih tehnologija i inovacija u cilju stvaranja osnove za "putničku železnicu budućnosti". Francuska nacionalna železnička kompanija (SNCF) je 27. septembra 1981. godine otvorila prvu liniju za vozove velikih brzina između Pariza i Liona, maksimalne brzine od 260 km/h. Ovom linijom je stvoren evropski koncept železnica za velike brzine, ali, za razliku od Šinkansena, evropski koncept železnica za velike brzine je bio potpuno kompatibilan sa postojećom klasičnom železnicom, što je u velikoj meri uslovilo dalji razvoj ovog sistema u Evropi. Nakon velikog uspeha francuskih železnica i vozova velikih brzina (TGV-a), svaka evropska država je tražila novu generaciju konkurentnih železničkih usluga za putnike na dugim i srednjim udaljenostima; u nekim slučajevima razvojem svoje nove tehnologije, a u drugim kopiranjem i modifikovanjem tuđe. Evropske države u kojima se razvijala železnica za velike brzine su: Nemačka 1988. godine, Španija 1992. godine, Belgija 1997. godine, Ujedinjeno Kraljevstvo 2003. godine i Holandija 2009. godine. U međuvremenu su se neki slični slučajevi pojavili u drugim zemljama i regionima, poput Kine 2003. godine (čak iako se veliki razvoj i napredak dogodio kasnije, 2008. godine), Južne Koreje 2004. godine, Tajvana 2007. godine i Turske 2009. godine.

Nova dimenzija i novi pogledi na koncept železnica za velike brzine su započeti u Kini 1. avgusta 2008. godine. Linija za velike brzine dužine 120 km između Pekinga i Tianđina predstavlja samo prvi korak u ogromnom razvoju za transformaciju načina putovanja za najnaseljeniju državu u svetu. Od 2008. godine, Kina je implementirala skoro 20.000 km novih železničkih linija za velike brzine i zahvaljujući ogromnim kapacitetima od više od 1.500 vozova, prevozi 800 miliona putnika godišnje, što je više od polovine ukupnog saobraćaja vozova velikih brzina u svetu. Prateći primer koji vodi Kina, u svetu se razvijaju novi sistemi železnica velikih brzina: Maroko, Saudijska Arabija, SAD itd. U skladu sa očekivanjima, uprkos razvoju drugih vidova transporta (na primer Maglev, drumska vozila sa automatskom vožnjom, poboljšanja u avio-transportu itd.), do 2030-2035. godine proširenje svetske mreže pruga za velike brzine moglo bi doseći više od 80.000 km,

predstavljajući važan izazov za operatere, prateću industriju, državne vlasti.

Ekspanziju u razvoju vozova velikih brzina pokazuje i činjenica da je na većini pruga za velike brzine tokom 2012. godine ostvarena brzina veća od 300 km/h, ali i da se drastično povećala povezanost pruga za velike brzine. Kraće vreme putovanja, kao rezultat ovako velikih brzina kretanja, uslovalo je izraženu konkurentnost železničkog saobraćaja u odnosu na ostale vidove saobraćaja pogotovo na relacijama od 100 do 1.000 km. Konkurentnost železničkih sistema vozova velikih brzina se posebno ogleda i u primeni energetske efikasnosti i u mogućnostima masovnog prevoza na dužim relacijama, bezbednost i pouzdanost u prevozu sa niskom cenom održavanja, lokacije železničkih stanica u centrima većih gradova, mala potrošnja pogonske energije u odnosu na masu prevezenog tereta i broj prevezenih putnika, minimum zagađenja i iskorišćenja okoline po putniku i slično.

## 2. SISTEM ŽELEZNICA ZA VELIKE BRZINE

Međunarodna unija železnica (UIC) smatra da ne postoji jedinstven standard definicija pruga za velike brzine i vozova velikih brzina, tako da mnogi železnički sistemi širom sveta imaju svoje domaće standarde koji se razlikuju od međunarodnih. Svakako, jedinstven je stav da železnički sistem pruga za velike brzine uključuje vozove velikih brzina i pruge namenski izgrađene za velike brzine [2].

U pogledu konstrukcije samih vozova i sistema za praćenje i upravljanje, potrebno je da postoje:

- specijalni vozovi koji se razlikuju od konvencionalnih voznih sredstava sa povećanim odnosom snage i mase i nekoliko bitnih karakteristika, kao što su aerodinamika, pouzdanost, sigurnost,
- poseban sistem signalizacije u kabini jer su tradicionalni signali pored pruge neefikasni pri brzinama većim od 220 km/h.

S obzirom na činjenicu da su mnogi vozovi velikih brzina, takođe, kompatibilni sa konvencionalnom mrežom, termin "saobraćaj velike brzine" takođe se često koristi da označava kretanje ove vrste voza na konvencionalnim linijama, ali brzinama nižim od dozvoljenih na infrastrukturi za VVB. Zbog toga je na nekim linijama, za koje se tvrdi da su linije za VVB, vrlo teško navesti koje je to ograničenje brzine kada je u određenim veoma gusto naseljenim regionima brzina ograničena na 110 km/h kako bi se smanjio uticaj buke i vibracija ili gde je, kao u posebnim delovima tunela ili dugačkih mostova, brzina ograničena

na 160 ili 180 km/h iz očiglednih razloga povezanih sa kapacitetom ili bezbednošću. U mnogim zemljama u kojima performanse konvencionalne železnice nisu na vrlo impresivnom nivou, predstavljanje nekih vozova koji mogu da saobraćaju brzinom od 160 km/h i nude znatno viši kvalitet - često kao prvi korak ka istinski velikoj brzini u budućnosti usluga - možda se već smatra VVB.

Železnice za velike brzine predstavljaju posebne, veoma složene sisteme koji kombinuju najsavremenija dostignuća u mnogim različitim oblastima:

- infrastruktura (uključujući građevinske radove, prugu, signalizaciju, napajanje i kontaktnu mrežu itd.),
- stanice (lokacija, funkcionalnost, dizajn, oprema),
- vozna sredstva (tehnologija, udobnost, dizajn),
- operacije (dizajn i planiranje, kontrola, pravila, upravljanje kvalitetom),
- strategija održavanja,
- finansiranje,
- marketing,
- menadžment,
- pravna pitanja, propisi [1].

Od suštinskog je značaja da sve ove komponente doprinesu kvantitativnim i kvalitativnim globalnim tehničkim performansama i komercijalnoj atraktivnosti. Nijedan od njih ne treba zanemariti, niti sam po sebi niti zajedno sa drugima. Sa stanovišta korisnika, prava brzina je poređenje između vremena provedenog u procesu kupovine karte, pristupa i ulaska na stanicu ili čekanja taksija po dolasku za kompletnu uslugu prevoza od vrata do vrata, a ne samo uštede vremena korišćenjem voza velike brzine kao rezultata tehnologije na visokom nivou i značajnih ulaganja.

Sistemi za velike brzine zavise od toga kako su sve njihove komponente dizajnirane i međusobno deluju. Konačni sistem koji se dobija (u smislu troškova i performansi) može se veoma razlikovati od zemlje do zemlje u zavisnosti od, između ostalog, komercijalnog pristupa, kriterijuma rada i upravljanja troškovima.

U skladu sa glavnom karakteristikom železnica, železnica za velike brzine sinonim je za kapacitet i održivost, pa prema tome, pružajući veći potencijal potražnja saobraćaja će porasti. Takođe, kapacitet zahteva pristupačnost, komplementarnost i multimodalni pristup. Koherentnost u primeni sva ova tri principa je bitna kako bi se postigao uspeh u primeni ovog modaliteta železničkog transporta.

## 2.1. Infrastrukturne karakteristike

Železnička infrastruktura za velike brzine mora biti projektovana, pregledana i održavana u uslovima optimalnog kvaliteta. Zahtevi trase podrazumevaju krivine velikog radijusa i ograničene nagibe. Geometrijski parametri koloseka moraju ispunjavati strogo definisane propise. Kolosek na betonskoj ploči je u principu mnogo skuplja opcija od klasičnog koloseka na tucaničkom zastoru, ali se njime može trajno upravljati smanjenom učestalošću održavanja. Iako se kolosek na betonskoj ploči može preporučiti u određenim slučajevima za vijadukte i tunele, rasprava o idealnom rešenju na šta će biti postavljene šine (tucanički zastor ili betonska ploča) mora se odvijati od slučaja do slučaja. Potrebni su posebni mrežni sistem i sistem napajanja. Potrebno je ugraditi i poseban sistem signalizacije.

Decenijama unazad rezultati tehnološkog napretka bili su vidljivi na terenu. Trend u prethodnom periodu bio je da se koristi klasična zastorna prizma sa tucanikom na koju su se postavljale šine. Paralelno sa tim, razvijala su se nova rešenja bez tucaničkog zastora i klasičnog načina oblikovanja koloseka. Kao rezultat ovog inovacionog procesa, trenutno postoji niz alternativnih rešenja za oblikovanje i postavku koloseka za izgradnju pruga za velike brzine u budućnosti. Svaki od njih, sa ili bez tucaničkog zastora, predstavlja slične nivoe performansi sa stanovišta rada putničkih vozova. Međutim, one pokazuju značajne razlike sa ekonomske tačke gledišta. Ravnoteža za dugoročni prikaz ne samo kapitalnih troškova već i troškova održavanja i obnove materijala moraju se uzeti u obzir. Izbor najprikladnijeg rešenja za određenu novu liniju složen je zadatak jer uključuje veliki broj varijabli koje se moraju uzeti u obzir iz dugoročne perspektive. Najrelevantnije od njih se mogu klasifikovati u:

- funkcionalni/operativni uslovi: karakteristike saobraćaja, dostupnost koloseka, razvoj uslova rada, kombinacija različitih vrsta koloseka, ... ,
- tehničke karakteristike infrastrukture: vijadukti, tuneli i zemljani radovi, zahtevi za stabilnost geometrije koloseka, geotehničke karakteristike, ... ,
- ekološki uslovi: nivoi emisije buke, emisije vibracija, nivo emisije CO<sub>2</sub>,...

Sve njih je potrebno analizirati kako bi se pružila snažna podrška procesu donošenja odluka. Neki od ovih parametara su suštinske karakteristike pruge, ali neki drugi odnose se na posebne karakteristike pruge i lokalne uslove u kojima se ona nalazi. Svi oni zajedno moraju se sistematski analizirati u okviru približnog troška životnog ciklusa linije.

Maksimalni nagib trase za linije na kojima saobraćaju isključivo putnički vozovi velikih brzina je između 35 i 40 ‰. Maksimalni nagib trase za linije na kojima je mešoviti saobraćaj (putnički i teretni vozovi) jeste između 12 i 15 ‰. Razmak između osa koloseka za 200 km/h iznosi 4 m, dok za 300 km/h iznosi 4,5-5 metara. Maksimalno nadvišenje spoljne šine iznosi od 150 do 170 mm. Preporučena vrednost poluprečnika krivine za trasu na kojoj je projektovana maksimalna brzina 200 km/h iznosi 3.500 m, dok za 300 km/h iznosi 7.000 m. Tip šine koji se najčešće koristi je UIC60 zavaren u dugi šinski trak. Pragovi su betonski iz jednog dela (monoblok) ili iz dva dela (bi blok) i za 1 kilometar pruge potrebno je iskoristiti 1.666 pragova. Pričvrtni kolosečni pribor je elastičan. Sistem elektrifikacije je najčešće 25 kV, 50 ili 60 Hz ili 15 kV, 16 2/3 Hz. Neophodan je kabinski sistem signalizacije, zato što pri brzinama većim od 200 km/h klasični signali se ne mogu jasno uočiti i to može ugroziti bezbednost saobraćaja.

## 3. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE VOZOVA VELIKIH BRZINA

Vozovi velikih brzina su garniture sastavljene od motornih kola i vagona fiksne formacije, koje su ponekad međusobno uparene, kako bi formirale višestruke jedinice sposobne za postizanje brzine od 250 km/h u komercijalnom radu. Pod određenim uslovima vozovi velikih brzina mogu da se kreću i manjim komercijalnim brzinama od 200 km/h, ako nude usluge visokog kvaliteta, kao na primer vozovi sa samonaginjućom tehnologijom [3].

Sa stanovišta voznih sredstava, vozovi velikih brzina bi trebalo da budu projektovani tako da garantuju bezbedno putovanje pri:

- brzini od najmanje 250 km/h na prugama specijalno izgrađenim za velike brzine,
- brzini od bar 200 km/h na postojećim linijama, koje su bile ili jesu specijalno nadograđene za njihovo saobraćanje,
- najvišoj mogućoj brzini na ostalim prugama.

Tipovi garnitura za vozove velikih brzina mogu biti:

- Zglobni ili klasični vozovi - Na zglobnim vozovima većina obrtnih postolja je između vagona, dok u klasičnim vozovima svaki vagon ima dva obrtna postolja. Neki vozovi su zglobni sa nezavisnim točkovima koji nisu povezani osovnom i stoga ne okreću se istom brzinom u krivinama.
- Koncentrisana ili distribuirana snaga - Koncentrisana snaga znači da su svi motori locirani na

svakom kraju voza, dok sa distribuiranom snagom, motori su raspoređeni po celom vozu.

- Naginjući ili nenaginjući - Nagibni voz je opremljen mehanizmom koji omogućava povećanu brzinu kroz krivine suzbijajući nelagodu usled centrifugalnih sila. Kroz levu krivinu voz se nagine ulevo, da bi kompenzovao silu guranja udesno, i obrnuto. Voz može biti konstruisan tako da inercione sile izazivaju naganjanje (pasivni nagib) ili može imati mehanizam napajanja upravljani računarnom (aktivni nagib).
- Za jednu širinu koloseka ili za više širina - Voz za više širina koloseka može da menja širinu između točkova na svakoj osovini i da se prilagođava različitim širinama koloseka.
- Jednospratni ili dvospratni - Dvospratni vozovi pružaju otprilike 50 % veći kapacitet putnika nego jednospratni.
- Jednosistemska ili višesistemska električna struja - Većina voznih parkova velikih brzina je višenaponska i/ili višesistemska za iznajmljivanje kako bi se vozili na svim osecima mreže.
- Monosignalizacioni ili višesignalizacioni - Većina voznih kompozicija velikih brzina može da koristi nekoliko signalnih sistema kako bi bile interoperabilane.
- Sa dvostrukim pogonom – Neki vozovi velikih brzina imaju pored električnog pogona i pogon na dizel-gorivo.

U svetu nema mnogo kompanija koje proizvode vozove za velike brzine. Hitači je glavni proizvođač u Japanu i 2015. godine je kupio Ansaldo-Bredu. Micubiši proizvodi električne komponente. Drugi značajniji proizvođači su Alstom, Bombardier, Caf, Stadler, CRRC, Kawasaki, Rotem, Siemens i Talgo.

### 3.1. Konstrukcija vozova velikih brzina

Za obavljanje usluga na linijama za velike brzine, potrebna su odgovarajuća železnička vozila. Ova vozila moraju biti specijalne konstrukcije kako bi mogla da ispunjavaju zahteve eksploatacije pri velikim brzinama. Postoje posebni uslovi prilikom konstruisanja ovakvih vozila koji se moraju poštovati, a to su:

- da bi se sile između točkova i šina održale u prihvatljivim granicama, da bi se smanjili troškovi održavanja i habanja šina, osovinska opterećenja treba da budu između 16 i 20 tona;
- pantografi moraju biti projektovani tako da omogućavaju kretanje velikom brzinom, a da istovremeno održavaju vezu sa kontaktnom mrežom za kontinuirani prenos snage (s obzirom na veliku

količinu potrebne energije da bi ubrzali i zadržali velike brzine, gotovo svi brzi vozovi se napajaju električnom vučom);

- kako otpor vazduha raste sa kvadratom brzine, karoserije vozila moraju imati aerodinamični profil koji preseca vazduh na najefikasniji mogući način, a prelazi između spojenih vozila (vagona) moraju biti hermetički zatvoreni, kako bi se smanjio udarni pritisak prilikom prolaska voza na susednom koloseku ili prilikom ulaska ili izlaska iz tunela;
- iz sigurnosnih razloga, vozovi velikih brzina moraju biti opremljeni stalnom signalizacijom u kabini.

U tom okviru razvijeno je nekoliko vrsta rešenja koja se mogu razlikovati prema tipu vuče i prema tipu ili rasporedu obrtnih postolja.

#### 3.1.1. Vozovi velikih brzina prema tipu vuče

Vozovi velikih brzina prema tipu vuče mogu biti:

- vozovi kod kojih postoji pogonska jedinica na jednom ili oba kraja voza (nešto slično kao kod klasičnih vozova sa lokomotivom i putničkim kolima, a primeri su TGV, Thalys, ICE 1, Railjet);
- vozovi slični elektromotornim garniturama, gde su pogonski sklopovi sa vučnim motorima raspoređeni duž čitavog voza, a primeri su: AGV, Frecciarossa 1000, ICE 3.



Slika 1. Vozovi velikih brzina prema tipu vuče

#### 3.1.2. Obrtna postolja kod vozova velikih brzina

Prilikom konstruisanja VVB, postoje dva načina za postavljanje obrtnih postolja:

- vozovi sa po dva obrtna postolja na svakim putničkim kolima (slično kao kod klasičnih vozova) što se primenjuje kod svih ICE vozova,
- vozovi sa Jakobovim obrtnim postoljem - karakteristično za ovakvo postolje je to što je ono zajedničko

za dvoja putnička kola, a primenjuje se u velikoj meri kod TGV-a, Thalys-a i Eurostar-a.

Na slici 2. prikazana su obrtna postolja, klasično i Jacobs.



Slika 2. Obrtna postolja (klasično i Jacobs)

### 3.1.3. Oblik čela vozova za velike brzine

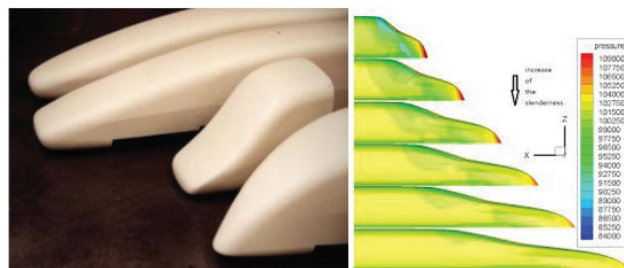
Utvrđeno je da kod vozova velikih brzina pri brzini od 200 km/h otpor sredine može da dostigne i 80 % vrednosti ukupnog otpora kretanja. Konstruktivne i konceptijske mere koje se preduzimaju za smanjenje otpora sredine su:

- integracija obrtnih postolja u sanduk vozila,
- zatvaranje štitnicima prostora između donjeg dela vozila i pruge,
- integracija pantografa i električne opreme na krovu sa krovom vozila,
- oblikovanje čela voza prema principima aerodinamike,
- spoljna površina vozila treba da bude kontinuiranog toka.

Koliko oblik čela voza (nos ili kljun voza) utiče na otpor vazduha, a tako i na ukupan otpor, govori i činjenica da se otpor vazduha smanjuje približno za 50 % kada se promeni oblik čela voza sa tupog u aerodinamički. Zako je i cilj istraživanja mnogih proizvođača vozova velikih brzina u svetu, definisanje otpimalnog oblika čela voza koji uključuje minimalni koeficijent otpora.

Opimizacija geometrije čela voza, ne samo da se razmatra u slučaju kretanja voza na otvorenoj pruzi bez mimoilaženja sa drugim vozovima već i u slučaju mimoilaženja, pri kretanju voza u zatvorenom, tj. u tunelima sa ili bez mimoilaženja. Pogotovo u slučaju kretanja vozova velikih brzina u tunelu javljaju se aerodinamički otpori koji su znatno komplikovaniji i ozbiljniji nego pri kretanju voza na otvorenom. U prilog ovome pokazuje vrednost ukupnog otpora voza koji se kreće u tunelu brzinom od 200 km/h, koji ima približnu vrednost otpora koji se javlja pri kretanju voza na otvorenom pri brzini od 300 km/h. Zapravo, pri

ulasku, odnosno izlasku brzog voza iz tunela, javlja se aerodinamičko-akustični fenomen, odnosno pojavljuje se talasni pritisak koji se potiskuje čelom voza. Tako komprimovani vazduh prilikom izlaska iz tunela se iznenada širi pri čemu se javlja intenzivan prasak koji se može čuti i kilometrima daleko. Utvrđeno je da ovaj fenomen koji negativno utiče pre svega na putnike, ali i na sredinu u kojoj se kreće voz pri izlasku iz tunela, može biti umanjen izradom aerodinamičkog oblika čela voza, tj. izradom kosog tj. nagnutog čela voza [4]. Na slici 3. su prikazani različiti oblici čela voza, kao i pritisak vazduha na čelo voza.



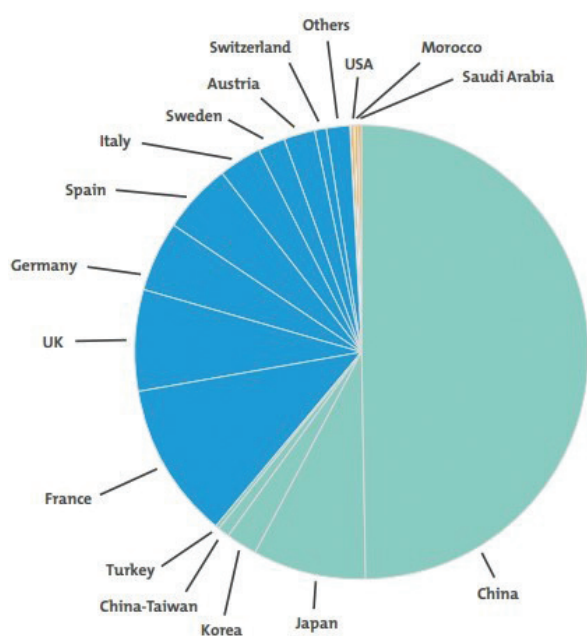
Slika 3. Modeli čela voza i raspored pritiska vazduha na čelo voza

### 3.2. Vozni park i održavanje vozova velikih brzina

Jedna od specifičnih karakteristika vozova za velike brzine je ta da, za razliku od konvencionalnih vozova koji imaju promenljiv broj vagona koje vuče lokomotiva, vozovi velikih brzina se ne mogu menjati tokom rada. Prilikom izgradnje svojih mreža velikih brzina, železnički operatori morali su nabaviti odgovarajuća vozna sredstva za svoj vozni park. Tačnije, infrastruktura i vozna sredstva su projektovani da dopune jedno drugo u cilju optimizacije njihovih interfejsa.

U ovoj perspektivi razmatrane su dve mogućnosti: ili stvoriti i proizvesti svoje zalihe (vozove) ili kupiti iz inostranstva. Japan, Francuska, Nemačka i Italija su izabrale prvu opciju jer su već imali sposobno proizvodno preduzeće za projektovanje i izgradnju potrebnih vozni parkova. Španija, Turska, Južna Koreja i Kina su počele sa uvozom vozova iz inostranstva pre postavljanja industrijskog temelja i fabrika za projektovanje i izgradnju svojih sopstvenih vozni sredstava. Na slici 4. prikazana je veličina voznog parka po državama za 2017. godinu [5].

U tabeli 1. prikazani su pojedini ciljevi i mere za njihovo postizanje u budućem poboljšanju voznog parka.



Slika 4. Veličina voznog parka za velike brzine (2017)

Tabela 1. Ciljevi i mere za njihovo postizanje

Ciljevi	Mere
Veća energetska efikasnost	Optimalan aerodinamički oblik
	Alternativna goriva
	Korišćenje lakših materijala
Sigurniji i pouzdaniji rad	Poboljšanje sinalizacije i komunikacije
	Poboljšanje obrtnih postolja
Smanjena buka	Optimalan aerodinamički oblik
Visok nivo udobnosti i komfora	Veća putnička kola i prostranstvo u njima
	Poboljšanje usluge u vozu
	Poboljšanje usluge na železničkim stanicama

Bez obzira na odabrani model, održavanje je generalno organizovano kao proces od 4 do 5 nivoa. Ovi nivoi održavanja su planirani da se uklapaju i u komercijalni raspored voza i u životni ciklus voza. Životni ciklus varira od 20 do 40 godina prema operatorima. Neki operatori menjaju svoje vozne parkove posle 20 godina kako bi odgovorili bolje na zahteve koje uslovljava tehnološki napredak i zahteve korisnika. Ostali operatori pokušavaju da svojim ulaganjem izvuku maksimum, ali prihvatajući prilično skup remont i adaptaciju nakon 20 godina rada.

Postoje tri modela za održavanje voznih sredstava velikih brzina:

1. održavanje osigurava proizvođač (dobar primer pruža NTV (Italija), koja je poverila održavanje kompleta vozova AGV, Alstomu – proizvođaču);
2. održavanje obezbeđuje železničko preduzeće - ovo je najčešći model u Aziji i Evropi;
3. održavanje se izvodi u radionicama okupljajući zajedno proizvođača i železničkog operatora - ovaj model je koristio RENFE u Španiji, koji su kupovali vozna sredstva od raznih proizvođača.

U Japanu, na primer, JR East, jedan od železničkih operatora za vozove velikih brzina, kompanija koja upravlja sa oko 1.500 km linija, nije samo operator, već i dizajner svojih vozova, budući da dizajniraju i razvijaju, i oni takođe sami održavaju svoje vozove u procesu na 4 nivoa [5]:

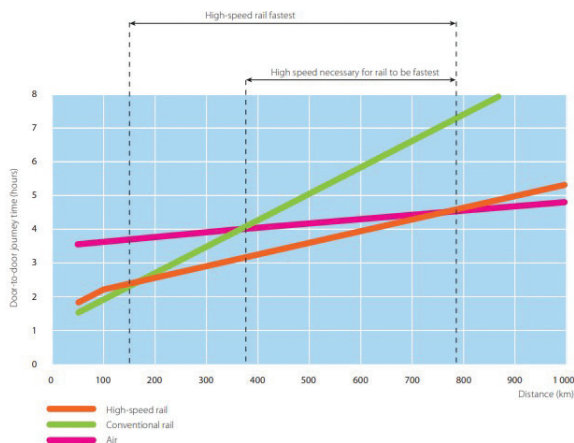
- Nivo 1 (dnevni pregled): kočnica i drugih delova i njihovih performansi, a to mora da bude učinjeno u roku od 48 sati,
- Nivo 2 (mesečni pregled): sprovođenje na licu mesta pregleda pantografa, kočnica i električne opreme, njihovog rada i funkcija, a to mora da bude učinjeno nakon 30 dana ili 30.000 km,
- Nivo 3 (remont obrtnih postolja): pregled glavnih delova kao što su motori, zupčanici, točkovi i kočnice, a ovo mora da bude urađeno nakon 18 meseci ili 600.000 km,
- Nivo 4 (generalni remont): vagoni se pažljivo pregledaju rastavljanjem svakog od njih na delove i ponovo se sastavljaju pod istim uslovima do potpuno novih vagona, a ovo je potrebno učiniti nakon 36 meseci ili 1.200.000 km.

#### 4. PREDNOSTI SISTEMA VOZOVA ZA VELIKE BRZINE

Pored osnovne prednosti, brzine prevoza, vozovi velikih brzina pružaju i visok stepen udobnosti i komfora putnicima. Raspored odeljaka, unutrašnja oprema putničkih kola, pa čak i osvetljenje, dizajnirani su da stvore udoban i prijatan prostor pogodan i za rad i opuštanje. Putnici imaju dovoljno ličnog prostora, sa pristupom sve većem broju usluga, kao što su Internet, utičnice za elektronsku opremu, nasloni za glavu i sklopivi stolovi. Takođe mogu da se kreću kroz voz i da koriste usluge restorana i bife kola koja poslužuju hranu i piće. Za razliku od aviona, nije zabranjena upotreba mobilnih telefona; međutim jeste ograničeno na namenske prostore između vagona kako bi se izbeglo uznemiravanje drugih putnika. Takođe, posebnom pažnjom pojednostavljen je ulazak/izlazak iz voza smanjenjem visinskog razmaka između voza i perona. Evropskim standardima se postepeno uspostavlja sve veća

kompatibilnost između vozova i linija, odnosno utvrđivanje optimalnog reda vožnje i najboljeg iskorišćenja kapaciteta. Potrebno je obezbediti da putnička kola budu u skladu sa odgovarajućim standardima kvaliteta, posebno u pogledu bezbednosti i uticaja na životnu sredinu.

Očigledno je da je jedna od najvećih prednosti sistema vozova velikih brzina visok stepen mobilnosti i to je, verovatno, jedna od prednosti koja treba još da se nadograđuje. Još jedan povoljan aspekt dolazi iz analize konkurentnosti vozova velikih brzina i vazdušnog saobraćaja. Na sledećem grafikonu (slika 5) predstavljen je uporedni prikaz rastojanja i vremena putovanja (od vrata do vrata) za klasične vozove, vozove velikih brzina i avione.



Slika 5. Dijagram rastojanja i vremena putovanja

Sa dijagrama se može videti da su vozovi velikih brzina najefikasnija vrsta prevoza na rastojanjima od 150 do 800 km. Na rastojanju od 400 do 800 km bi trebalo još dodatno unaprediti železnicu za velike brzine kako bi bila zasigurno najbolji vid prevoza.

Stoga ne čudi što „brzina“ dolazi na naslovne strane rasprava o razvoju železničkih sistema za velike brzine, ali čak i koncept „brzine“ jeste otvoren za diskusiju. „Brzina“ koja dominira u debati je maksimalna radna brzina, ali vreme putovanja koje putnici doživljavaju predstavlja faktor prosečne brzine, od kojih je najveća radna brzina samo jedan element. Broj zaustavljanja na liniji za velike brzine i procenat linije na kojoj se maksimalna brzina može postići su oba ključna faktora. Svako dodatno zaustavljanje (stanica) može „koštati“ 5-10 minuta i često vozovi moraju da „usporavaju“ kroz gradove, čak i ako se tamo ne zaustavljaju. Dok se maksimalna brzina od 350 km/h smatra novim standardom za vozove velikih brzina, većina usluga se pruža znatno nižom

prosečnom brzinom, a najuspešnija svetska linija za velike brzine, u smislu prevezenih putnika, između Tokija i Osake u Japanu radi prosečnom brzinom manje od 240 km/h (za najbržu uslugu) [6]. U nastavku će biti obrađene neke od osnovnih prednosti sistema vozova za velike brzine kao što su [7]:

- efikasnost prevoza,
- ekonomske prednosti,
- povoljan uticaj na životnu sredinu.

U okviru efikasnosti prevoza, moguće je izdvojiti još neke prednosti kao što su:

- kratko vreme putovanja,
- veliki prevozni kapacitet,
- pouzdanost,
- zauzetost zemlje.

U grupu ekonomskih prednosti spadaju:

- niski eksterni troškovi,
- velika produktivnost,
- šansa za otvaranje novih radnih mesta,
- promocija turizma.

U pogledu povoljnog uticaja na životnu sredinu razmatrani su koncepti energetske efikasnosti i čiste energije.

#### 4.1. Kratko vreme putovanja

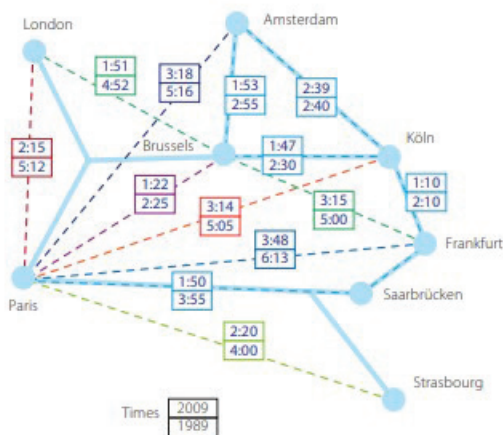
Vozovi velikih brzina mogu da se kreću brže od bilo kog drugog oblika kopnenog transporta, dostižući brzine do 240 km/h u Sjedinjenim Državama, 320 km/h u Francuskoj i 350 km/h u Kini. Ovi vozovi su izuzetno korisni u velikim državnim oblastima jer mogu približiti suprotne krajeve regiona i države, što je koncept poznat kao "skupljanje kontinenta", posebno ukoliko se primenjuje na manjim kontinentima poput Evrope i Australije.

Na slici 6. prikazano je vreme vožnje vozovima velikih brzina između pojedinih evropskih gradova. Dat je prikaz voznih vremena iz 1989. godine i 2009. godine, gde se jasno vidi koliko je smanjeno vreme vožnje uvođenjem vozova velikih brzina na ovim relacijama.

Multimodalne železničke stanice u gradskim centrima pružaju brz i jednostavan pristup železničkoj mreži. Razvoj železnice za velike brzine ima za posledicu značajno smanjenje vremena putovanja između različitih urbanih i ekonomskih centara u EU. Trenutno, putovanje između Londona i Pariza traje 2 h i 15 min; a 1 h i 51 min od Londona do



Brisela; a između Brisela i Frankfurta 3 h i 15 min. Ovo vremena se porede sa vremenima iz 1989. gde je put između Pariza i Londona trajao 5 h i 12 min; 4 h i 52 min od Londona do Brisela i 5 h od Brisela do Frankfurta.



Slika 6. Vremena vožnje između nekih evropskih gradova

Prednosti železnica za velike brzine u pogledu čestih veza (koje se lako mogu modifikovati u zavisnosti od potražnje) i fleksibilnosti za putnike, omogućile su železnici da se efikasnije takmiči sa drugim vidovima prevoza. Od 1997, preko 6 miliona putnika godišnje koristi vozove velikih brzina na relaciji Pariz-Brisel. Kao rezultat toga, broj avionskih letova je značajno redukovano na ovoj relaciji.

### 4.2. Veliki prevoznik kapacitet

Železnica je po pitanju kapaciteta prevoza jako dominantan vid prevoza, a vozovi velikih brzina imaju izuzetno veliki transportni kapacitet za putnike. U okviru infrastrukturne površine od kopnenih vidova transporta, železnički (uključujući i vozove velikih brzina) jedini je način na koji se mogu opslužiti vrlo veliki saobraćajni tokovi. Čak ni Airbus 380 ne može da parira kapacitetu voza velike brzine koji se sastoji od dva kompleta vozova i nudi više od 1.000 mesta [8]. Japanski dvospratni vozovi mogu otprilike da sadrže 1.200 sedišta i budući vozni kompleti, koje će naručiti Francuska Nacionalna železnička kompanija (SNCF), kada se spoje kompleti vozova, dostići će slične kapacitete.

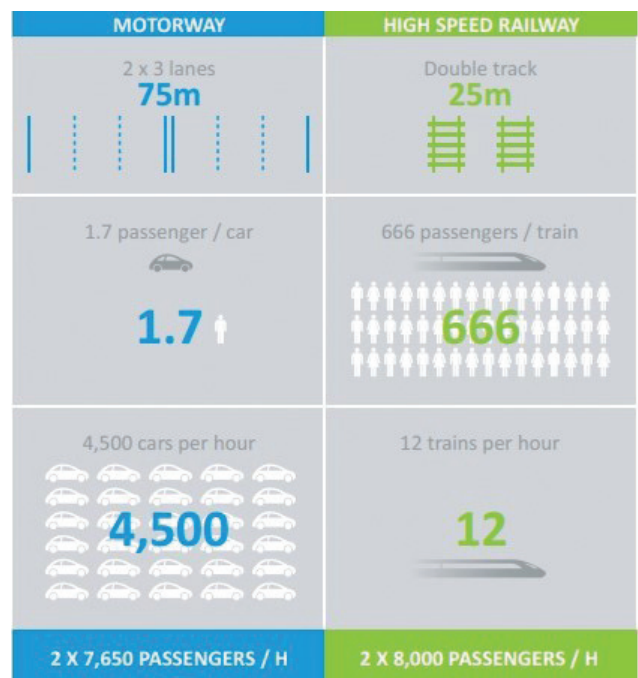
### 4.3. Pouzdanost

Vozovi velikih brzina ne mogu se "zaglaviti" u gužvi u saobraćaju, što ih samo čini pouzdanijim od automobila ili autobusa. Uz manje kašnjenje, u odnosu na druge oblike kopnenog ili vazdušnog prevoza,

vozovi velikih brzina mogu saobraćati češće od konvencionalnih sistema javnog prevoza.

### 4.4. Zauzetost zemljišta

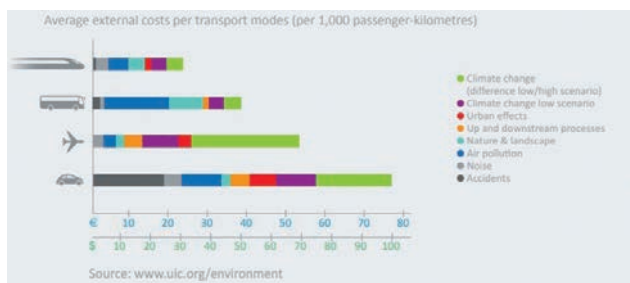
Pruge za velike brzine ne zauzimaju toliko zemljišta kao autoputevi i gradske ulice. Širina potrebna za železničku prugu je 25 m, dok autoput sa šest traka zahteva 75 m. Prosečna pruga za velike brzine koristi 3,2 ha/km, a prosečan auto-put koristi 9,3 ha/km. Osim toga, uticaj na korišćenje zemljišta može biti značajno smanjen ako su nove pruge za velike brzine postavljene paralelno sa postojećim auto-putevima (gde parametri pruge to dozvoljavaju) [9]. Na slici 7. je predstavljen uporedni prikaz zauzetosti zemljišta za auto-put i dvokolosečnu železničku prugu za velike brzine.



Slika 7. Uporedni prikaz zauzetosti zemljišta i kapaciteta auto-puta i pruge za velike brzine

### 4.5. Niski eksterni troškovi

Nezavisno od izabranog načina prevoza, bilo koji putnik koji putuje ne plaća sve troškove putovanja. Putnici plaćaju troškove goriva, održavanja (ili iznajmljivanja) vozila, troškove infrastrukture, platu osoblja itd. Ali, putnici ne plaćaju troškove buke, nesreća, klimatskih promena, uzrokovanih njihovim putovanjem, a društvo ih plaća. Ovakvi troškovi se nazivaju eksterni troškovi [9]. Na slici 8. su prikazani eksterni troškovi za prevoz vozovima velikih brzina, autobuski prevoz, avio- prevoz i prevoz automobilima.



Slika 8. Prosečni eksterni troškovi prema vidu transporta (na 1.000 putničkih kilometara)

#### 4.6. Visok stepen produktivnosti korisnika

Saobraćajna zagušenja i kolapsi, posebno su izraženi u drumskom saobraćaju i to u značajnoj meri u vršnim časovima. Koristeći železnički vid prevoza, naročito vozove velikih brzina, zaposleni mogu da dođu na posao na vreme bez brige o tome da li će uspeti da pronađu parking mesto. Efikasniji prevoz daje ljudima dodatno vreme da se tokom putovanja usredsrede na posao i druge produktivne aktivnosti.

#### 4.7. Šansa za otvaranje novih radnih mesta

Izgradnja pruga za velike brzine otvara hiljade radnih mesta za profesionalce sa građevinskim, inženjerskim i urbanističkim iskustvom. Nakon izgradnje pruge, celo područje gde se ona nalazi dobija na značaju i privlači domaće i strane investitore koji ulažu u taj kraj. Samim tim, broj putovanja vozom se povećava i otvara mogućnost da na posao dolaze i ljudi koji stanuju i više od 100 km udaljeno od mesta gde su zaposleni.

#### 4.8. Promocija turizma

Vozovi velikih brzina privlače ogromnu pažnju na prostoru gde saobraćaju. Oni turistima koji su tek došli u region pružaju siguran, brz i pouzdan prevoz, pomažući im da sa lakoćom stignu do odredišta. Posebnom utisku može doprineti i atraktivan izgled voza, kao i celokupan doživljaj vožnje u njemu. Pruga može prolaziti kroz prelepe prirodne pejzaže, ali isto tako i kroz atraktivna urbana područja.

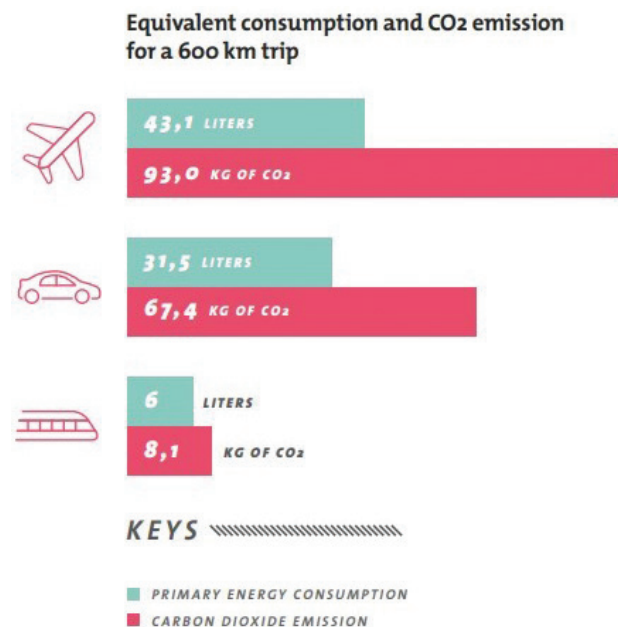
#### 4.9. Energetska efikasnost

Zagađenje životne sredine, globalno zagrevanje prouzrokovano efektom staklene bašte, danas predstavlja gorući globalni problem. Saobraćaj uopšteno predstavlja jako velikog zagađivača, posebno drumski i vazdušni. Železnički saobraćaj je tu u velikoj prednosti, zato što su zagađenja koja on prouzrokuje minimalna.

Vozovi velikih brzina zbog svog velikog kapaciteta imaju mogućnost da prevezu veliki broj putnika sa jednog mesta na drugo uz veću energetska efikasnost od konkurentskih vidova prevoza. Što više ljudi koristi železnicu, veća je njena efikasnost.

#### 4.10. Energetska efikasnost

Za razliku od drugih oblika kopnenog transporta, vozovi velikih brzina ne zahtevaju motorno gorivo jer najinovativniji modeli rade na električnu energiju, što smanjuje emisiju gasova staklene bašte. Sistem vozova velikih brzina, kao 100 % elektrificirani šinski sistem, odmah je kompatibilan sa obnovljivim izvorima energije bez daljih tehnoloških poboljšanja. Proces dekarbonizacije je glavni pokretač u smanjenju emisije ugljen-dioksida. Što je veći procenat električne energije iz obnovljivih izvora, koja se koristi za vuču u transportu, to je niža emisija ugljen-dioksida. Na slici 9. je prikazano poređenje potrošnje osnovnog energenta i emitovane količine ugljenikovog dioksida, na putovanju u dužini od 600 km, avionom, automobilom i vozom [5].



Slika 9. Emisija ugljen-dioksida prema vidu prevoza

### 5. SISTEM ŽELEZNICA ZA VELIKE BRZINE U SVETU

Nakon ekspanzije elektrificiranih pruga, očigledno je da je infrastruktura (posebno troškovi njenog održavanja) usporavala proces uvođenja pruga za velike brzine. Događale su se katastrofe – iskanjanja iz šina, čeonu sudari na jednokolosečnim prugama, sudari sa drumskim vozilima. Fizički zakoni su bili dobro poznati, tj. ako je brzina udvostručena, radijus

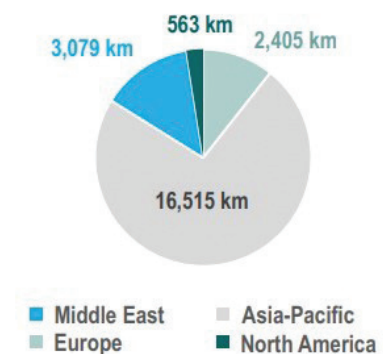
krivine treba četvorostručiti. Isto je važno i za dužinu puta ubrzanja i kočenja.

Inženjer Karoli Zipernovski je 1891. godine predložio liniju za velike brzine između Beča i Budimpešte, predviđenu za električne lokomotive brzinom od 250 km/h. Veligton Adams je 1893. godine predložio liniju od Čikaga do Sent Luisa dužine 406 km, brzinom od 160 km/h. Aleksandar Miler je imao veće ambicije, 1906. godine je pokrenuo projekat elektrificirane željezničke pruge između Čikaga i Njujorka kako bi smanjio vreme vožnje između ova dva velika grada na deset sati korišćenjem električnih lokomotiva brzine 160 km/h.

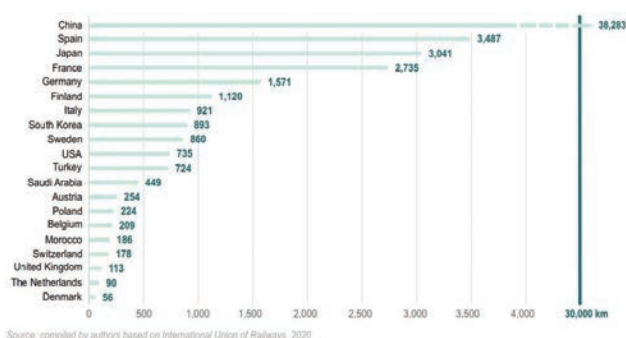
Prema podacima Međunarodne željezničke unije (UIC) iz 2020. godine, željezničke linije za velike brzine u komercijalnoj upotrebi trenutno postoje u 20 država sveta. Ubedljivo najdužu mrežu željezničkih pruga za velike brzine poseduje Kina, koja godišnje gradi oko 3.000 km pruga za velike brzine. Na slici 10. prikazan je broj kilometara izgrađenih i u komercijalnoj upotrebi, pruga za velike brzine u različitim regionima sveta, dok je na slici 11. prikazan broj kilometara pruga u izgradnji. Dužine pruga za velike brzine u komercijalnoj upotrebi za svaku državu prikazane su na slici 12.



Slika 10. Kilometri pruge za velike brzine u upotrebi prema svetskim regijama (2020)



Slika 11. Kilometri pruge za velike brzine u izgradnji prema svetskim regijama (2020)



Slika 12. Države sveta i dužine željezničkih pruga za velike brzine u upotrebi

Azijsko-pacifička regija sa 42.217 km, odnosno 75,2 %, ubedljivo je najrazvijenija regija, ali ovom uspehu je najviše doprinela kineska mreža sa svojih 38.283 km, što čini 68 % svetske mreže pruga za velike brzine, a 90.68 % Azijsko-Pacifičke regije. Evropa sa svojih 11.819 km predstavlja 21 % svetske mreže. U Evropi više od polovine mreže čine pruge u Španiji i Francuskoj. Ostale regije su tek u razvoju svojih mreža pruga za velike brzine.

Posmatrajući pruge u izgradnji, takođe je dominantan Azijsko-Pacifički region sa 16.515 km, odnosno 73,2 % svih pruga za velike brzine u izgradnji. Područje Bliskog istoka rapidno napreduje u izgradnji pruga za velike brzine i trenutno je 3.079 km pruga u izgradnji, odnosno 13,65 % od ukupnog broja pruga za velike brzine u izgradnji. Vrednost od 2.405 km u Evropi predstavlja 10,65 % od ukupnog broja kilometara pruga za velike brzine u izgradnji.

## 6. ZAKLJUČAK

Ljudi su još od nastanka prve željeznice u Engleskoj uvideli značaj i potrebu za njom i dodatno je unapređivali. Sa napretkom tehnologije i industrije, javila se mogućnost za postojanjem željeznice za velike brzine. Ovoj ideji su doprinele karakteristike željeznice kao što su kretanje čeličnog točka po čeličnoj šini (mali otpor kretanju), velike tehničke brzine i povoljan ekološki uticaj.

Vozovi velikih brzina su najpre zaživeli u Japanu, gde se najdalje otišlo u pogledu konstrukcije vozova i njihovih brzina. Takođe, u današnje vreme uvođenje željeznice za velike brzine oslikava i ekonomsku moć jedne države. Ulažu se velika sredstva, jako je skupa izgradnja i održavanje ovakvih željezničkih sistema, ali donose jako velike pogodnosti za korisnike i izuzetno povoljnu sliku o državi koja ih poseduje. Veliki kapacitet i visok stepen sigurnosti su ključni parametri koji željeznicu za velike brzine mogu izdvojiti u odnosu na konkurente.

Smanjenje broja automobila na regionalnim, magistralnim i auto-putevima rezultira velikom uštedom energije i smanjenom potražnjom za naftom i drugim njenim derivatima. Prema podacima Međunarodne železničke unije, železnice za velike brzine su više od četiri puta energetske efikasnije od vožnje automobilom i skoro devet puta energetske efikasnije od avionskih letova. Naravno, u odnosu na drumski i vazdušni prevoz, železnica je najmanji zagađivač životne sredine. U mnogim državama postoje zakoni i transportne i ekonomske politike koje zahtevaju od preduzeća i potrošača smanjenje emisije štetnih gasova. Železnica i vozovi velikih brzina mogu ponuditi u tim uslovima značajne pogodnosti sa ekonomskog, društvenog i ekološkog aspekta.

Trenutno u 20 država sveta saobraćaju vozovi velikih brzina, dok je u još 23 države železnica za velike brzine u izgradnji i fazi planiranja (podaci iz 2020. godine). Mnoge države dodatno unapređuju pojedine linije za velike brzine na još veće brzine od postojećih. Takođe, značajno se radi i na promociji teretnih vozova velikih brzina, pa odnedavno u Kini saobraća teretni voz brzinom od čak 350 km/h.

Železnički sistemi za velike brzine predstavljaju odličan način prevoza koji koristi pun potencijal železnice. Kroz sistem za velike brzine maksimalno dolaze do izražaja karakteristike kao što su brzina prevoza, veliki kapacitet, visok stepen komfora i udobnosti, mali nivo zagađenja životne sredine, mogućnost automatizacije sistema. Upravo zbog svega navedenog, a uzimajući u obzir da je jako skup

sistem za izgradnju i održavanje, visoko razvijene države u svetu poseduju ovakve sisteme i uspešno ih eksploatišu.

### LITERATURA

- [1] [https://uic.org/IMG/pdf/2012\\_high\\_speed\\_brochure\\_2012.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/2012_high_speed_brochure_2012.pdf).
- [2] HSR\_Sustainability\_main\_study\_FINAL (apta.com).
- [3] Rusov S: Sistemi vozova velikih brzina, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2010.
- [4] Golubović S, Rašuo B, Lučanin V: Savremeni trendovi u dizajnu vozova velikih brzina, Tehnika – Mašinstvo, vol. 64, str. 455-462, 2015.
- [5] [https://uic.org/IMG/pdf/uic\\_high\\_speed\\_2018\\_ph08\\_web.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf)
- [6] Givoni M, Banister D: Speed: the less important element of the High-Speed Train, Journal of Transport Geography, vol. 22, str. 306-307, 2012.
- [7] Advantages of High-Speed Rail Systems - IoT Marketing (iotmktg.com).
- [8] Leboeuf M: High-Speed Rail: Opportunities and Threats, Engineering, vol. 2, str. 402- 408, 2016.