



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

HUIPPUNOPEIDEN JUNIEN KEHITYS

Kaspero Koskimäki

Ohjaaja: Tapio Korpela

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö 2018

TIIVISTELMÄ

Huippunopeiden junien kehitys

Kasper Koskimäki

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2018, 29 s.

Työn ohjaaja: Tapio Korpela

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tehdä kirjallisuuskatsaus huippunopeiden junien kehitykseen. Työssä pyritään muodostamaan kattava ja tiivis kuvaus huippunopeiden junien historiasta, kehityksestä ja merkityksestä käyttäen hyväksi aiempia julkaisuja. Aiheen laajuuden vuoksi sitä on rajattu, eikä kaikkia aiheen alueita ei myöskään käsitellä yhtä kattavasti. Työn tarkoituksena on, että lukijalle jäisi lukemisen jälkeen yleinen ja kohtuullisen perusteellinen käsitys huippunopeiden junien kehityksestä.

Asiasanat: huippunopea juna, kehitys, vaikutus

ABSTRACT

Development of High-speed Trains

Kasper Koskimäki

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2018, 29 pp.

Supervisor: Tapio Korpela

The aim of this bachelor's thesis is to make a literature review of the development of high-speed trains. The purpose of the thesis is to provide a comprehensive, but concise description of the history, development and significance of high-speed trains using previous publications on the subject. Due to the scope of the subject, it is limited. Also, all areas of the topic are not covered as comprehensively. The purpose of the work was to provide to the reader a general and reasonably-perceived understanding of the development of high-speed trains.

Keywords: high-speed train, development, significance

ALKUSANAT

Työn tarkoituksena on toimia opinnäytetyönä alemmassa korkeakoulututkinnossa. Työn ajanjakso oli kevät 2018. Haluan kiittää työn ohjaajaa ja tarkistajaa, Tapio Korpelaa, joka myös auttoi mielenkiintoisen aiheen valinnassa ja rajauksessa.

Oulu, 15.4.2018



Kasper Koskimäki

Työn tekijä

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ASBTRACK

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	6
2 YLEISESTI	7
2.1 Määrittely	7
2.2 Junan historia ja kehitys	7
2.2.1 Vaikutus tila- ja aika käsitykseen	8
3 HUIPPUNOPEAN JUNAN KEHITYS	10
3.1 Historia	10
3.2 Alkuvaiheen ongelmia	11
4 PÄÄMALLIT	13
4.1 Shinkansen	13
4.2 Eurooppalaiset huippunopeat junat	13
4.3 Kallistuva HST	14
4.4 MAGLEV	15
5 INNOVAATIOT	17
5.1 EMU:n tuomat edut	17
5.2 Suprajohteet MAGLEV-junissa	17
6 HST-VERKON KEHITYS	19
6.1 Japani	19
6.2 Eurooppa	20
6.3 Muu maailma	21
7 HST LIIKENNEMUOTONA	24
7.1 Taloudelliset mahdollisuudet	24
7.2 Kaupalliset vahvuudet	24
7.3 Taloudelliset kysymykset	26
8 YHTEENVETO	27
LÄHDELUETTELO	

1 JOHDANTO

Tämän kandidaatintyön aiheena on kirjallisuuskatsaus huippunopeiden junien kehityksestä. Aihe valittiin työnohjaajan avustuksella kirjoittajan mielenkiinnon kohteita heijastaen. Työn tavoitteena on antaa lukijalle yleinen käsitys huippunopean junan historiasta, kehityksestä ja merkityksestä. Työssä keskityttiin varsinkin huippunopean junan ja huippunopean junaverkon kehitykseen eri osissa maailmaa. Työssä pohditaan myös huippunopeiden junien tuomia ongelmia ja niiden ratkaisumalleja. Aihe on rajattu sen laajuuden takia. Aiheen käsittelyn pääpaino on huippunopean junatekniikan ja rautatieverkon historiassa, kehityksessä ja merkityksessä. Nämä osa-alueet ovat valitun aiheen runko ja tärkeitä osa-alueita aihetta käsitellessä. Tavoitteena työssä ei ollut tehdä uutta tutkimustyötä, vaan kirjallisuuskatsaus valitusta aiheesta käyttäen aiemmin tuotettua tieteellistä materiaalia.

2 YLEISESTI

2.1 Määrittely

Rautatieliikenteen yhteydessä ei ole olemassa yhtä tiettyä määritelmää huippunopealle junalle (englanniksi high-speed train, eli lyhennettynä HST), vaikkakin viittaus on aina matkustajaliikenteeseen, eikä rahtiliikenteeseen. Euroopan unionin käyttämä nopeuden määritelmä direktiivissä 96/48 (Euroopan komissio 1996a) on 250 kilometriä tunnissa huippunopeita junia varten rakennetuilla uusilla linjoilla ja 200 kilometriä tunnissa infrastruktuurin osalta huippunopeita junia varten päivitetyillä linjoilla. Direktiivissä on myös määritelty samat nopeudet päteviksi rahtiliikenteelle. Nykypäivänä joidenkin junien kulkiessa jo 350 kilometrin tuntinopeuksilla, 200 kilometriä tunnissa ei ehkä näytä enää kuitenkaan huippunopealta, mutta määriteltäessä huippunopeita junia ei kuitenkaan ole kyse pelkästään huippunopeudesta, eli maksiminopeudesta. Myös muut elementit ovat yhtä tai jopa tärkeämpiä kokonaisuudessaan huippunopean kuljetusmuodon ja linjojen kehityksessä. (Givoni 2006)

Modernit huippunopeat junat käyttävät samaa teräspyörän ja teräsraiteen välistä perustekniikkaa kuten ensimmäiset junat tekivät 1800-luvun alussa. Suunnittelua ja inkrementaalista teknologian kehitystä edellytettiin kaikilla junan osa-alueilla, jotta junat voivat liikennöidä kaupallisesti yli 200 km / h nopeuksilla.

2.2 Junan historia ja kehitys

Rautateiden kehitys alkoi jo 1500-luvulla Keski-Euroopassa Harzin ja Tirolin vuorikaivoksissa, joissa käytettiin puisia raiteita kaivosvaunujen sujuvampaan ja helpompaan liikutteluun. Puisia raiteita vahvistettiin suuren kulumisen kokevista kohdista, kuten mutkista, päällystämällä kiskot rautalevyillä. Raudan hinnan laskiessa vuonna 1767, alettiin Englannissa tehtaissa käyttää puisten raiteiden sijasta raiteina valurautaharkkoja. 1800-luvun alussa siirryttiin aluksi takorautaisiin ja sen jälkeen valssilaitoksissa valmistettujen kiskoihin, koska kisko näillä materiaaleilla ja tekniikoilla saatiin paljon tasaisemmaksi. Ensimmäiset rautatiet olivat siltikin varsin epätasaisia. (Lönroth 1932)

Kun höyryvoima otettiin käyttöön rautateillä, käytettiin kiinteitä höyrykoneita, jotka vetivät vaunuja. Liikkuvan höyrykoneen eli veturin ensimmäinen käyttö nähtiin vuonna 1804. Veturin rakentamisen ja järkeväen toimivuuden mahdollisti korkeapaineen tarpeeksi tehokas käyttö. Aluksi veturin käyttö ei ollut taloudellisesti kannattavaa, koska hevosille syötettävän rehun hinta oli alhaisempi, kuin hiilen. Hevoset hoitivatkin melkein koko Englannissa vaunujen vetämisen siihen saakka, kunnes Englanti asetti vuonna 1815 tuontiviljalle tullin, joka teki hiilestä halvempaa kuin rehusta. Rautateiden verkoston nopea kasvu Englannissa alkoi, ja pian seurasivat perässä myös muut Euroopan maat. Ensimmäiset Manner-Euroopan rautatiet valmistuivat vuonna 1832 Ranskaan, 1835 Belgiaan ja Saksaan sekä 1838 Venäjälle. Rautatiet olivat merkittäviä yhteiskunnan kehitykselle. Ne yhdistivät kansakuntia ennennäkemättömällä tavalla taloudellisesti, mutta myös poliittisesti ja kulttuurisesti. (Schivelbusch 1996)

2.2.1 Vaikutus tila- ja aika käsitykseen

1800-luvulla ajateltiin, että sen aikainen rautatie tuhoaisi matkustamisen tuoman ajan ja tilan käsityksen. Tämä oli seurausta siitä, että rautatiet lyhensivät matkustusaikaa murtoosaan totutusta hevosella kuljetusta matka-ajasta eli rautateitä käyttäen olisi mahdollista matkustaa samassa ajassa kaksi tai kolmekin kertaa pidemmälle kuin ennen. Uusien liikenneyhteyksien takia tuntui, että etäisyydet kutistuvat ja pystyttiin jopa puhumaan uudesta tiivistyneestä maantiedosta. Oli kuitenkin myös surrealistista ajatella, että rautateillä toisiinsa liitetyt tilat pysyivät silti saman kokoisina kuin ennenkin. Ajan ja tilan perinteinen suhde oli kadonnut. (Schivelbusch 1996)

Käsitys, jonka mukaan rautateiden verkko tuhosi ajan ja tilan, on helppo ymmärtää. Perusteena tälle käsitykselle toimi ihmisen havainnointikyky, joka joutui sopeutumaan uuteen tekniikkaan ja sen tuomaan uuden havainnointikyvyn tarpeeseen. Tämä uusi ilmiö loi vastakkaisia ominaisuuksia: toisaalta rautatie lyhensivät etäisyyksien välistä aikaa ja toi uusia, ennen tavoittamattomia tiloja jokaisen ulottuville, toisaalta se tapahtui sen takia, että välissä ollut tila hävisi. Rautatiellä ei tuntisi kuin lähdön ja määränpään. Matkan vaikutus katoaisi. (Schivelbusch 1996)

Nykypäivän matkustustekniikka taas pyrkii matkan vaikutuksen katoamiseen. Sitä pidetään enemmän taakkana, kuin tarpeellisena osana kokonaisuutta. Ennen rautateiden tuomaa matkustamisen nopeutta, on välimatkojen suuruus helpompi ymmärtää. Nykyisten matkustusmuotojen yksi tärkeimmistä tavoitteista on matka-ajan lyhentäminen. Entistä nopeampien matkustusmuotojen kehittäminen ajaa teknologiaa uusiin innovaatioihin ja menettelytapoihin. (Schivelbusch 1996)

3 HUIPPUNOPEAN JUNAN KEHITYS

3.1 Historia

Ensimmäinen matkustajaliikenteelle suunnattu huippunopea juna käynnistettiin 1. lokakuuta 1964 *Tokaidon* linjalla Tokion ja Osakan välillä Japanissa. (Kuva 1.) Junat kulkivat 210 kilometrin tuntinopeudella, jonka vuoksi tätä päivämäärää pidetään modernin HST-aikakauden alkuna. Tästä alkoi HST-verkon laajeneminen ja junien nopeuksien kasvaminen, ensin Japanissa ja myöhemmin muissa maissa. Nykyään, melkein 60 vuotta myöhemmin, juna on vieläkin varteenotettava tulevaisuuden vaihtoehto liikennemuotona sen ympäristöystävällisyytensä ja siihen suhteellistetun suuren nopeutensa vuoksi. (Givoni 2006)

Vuonna 1955 Ranskassa tehtiin koeolosuhteissa uusi nopeusennätys 331 kilometriä tunnissa ja ranskalaiset pitävät myös nykyistä teräsrenkaan ja teräsraiteen välistä nopeusennätystä 515 km / h, joka on vuonna 1990 ranskalaisen *TGV:n* saavuttama. (Whitelegg ja Holzapfel 1993). Kuitenkin tärkeämpää kuin maksiminopeusennätys on niin sanottu kaupallinen nopeus, joka voidaan saavuttaa. Maksiminopeus Tokaidon radalla on nyt 285 km / h (Central Japan Railway Company 2016), kun taas *TGV Atlantiquen* junat toimivat maksiminopeudella 300 km / h. Uudet linjat pyrkivät vielä suurempiin nopeuksiin, kuten 350 km / h, mihin 2023 valmistuvaksi arvioitu Moskova-Kazan-linja, tai jopa 400 km / h, mihin vuosina 2021-2026 valmistuva Moskova-Pietari-linja pyrkii. (International Union of Railways 2018). Vieläkin korkeammat operointinopeudet näyttävät tällä hetkellä olevan kaupallisesti kannattamattomia meluongelmien, käyttökustannuksien ja muiden teknisten ongelmien vuoksi. (Givoni 2006)



Kuva 1. Tokaidon huippunopean junalinjan avajaisseremonia (International Union of Railways 2018).

3.2 Alkuvaiheen ongelmia

Vaikka testeissä saavutettiin paljon suurempia nopeuksia yksinkertaisesti käyttämällä enemmän tehoa tavanomaisten junien kuljettamiseen, nämä nopeudet katsottiin toteuttamiskelvottomiksi kaupalliseen käyttöön, koska nopeasti liikkuvat ajoneuvot vahingoittivat raiteita voimakkaasti. Keskipakoisvoimien lisääntyminen kaarteissa aiheutti epämukavuutta matkustajille ja ei riittänyt, että juna pystyy kovalla nopeudella raiteilla, vaan raiteen oli myös tuettava suurilla nopeuksilla kulkevia junia. (Givoni 2006)

Tärkeimmät tekniset haasteet kaupallisten HST: n kehittämisessä olivat kehittää junan ja radan yhdistelmä, joka ylläpitäisi vakautta ja matkustajien mukavuutta suurilla nopeuksilla, omaisi kyvyn pysähtyä turvallisesti, välttäisi korkean käyttö- ja ylläpitokustannusten voimakkaan kasvun, ja estäisi meluhaittojen ja värähtelyn lisääntymistä linjan vieressä oleville alueille. (Givoni 2006)

Ratkaisu sisälsi useimmissa tapauksissa ratoja, jotka pyrkivät välttämään tiukkoja mutkia; telien ja akseleiden välistä etäisyyttä kasvatettiin vakauden parantamiseksi ja telit sijoitettiin keskelle vaunua, ei vaunujen päihin. Tämä puolittaa telien lukumäärän ja painon. Vakautta pyrittiin parantamaan estämällä vaunuja kääntymästä eroon toisistaan mutkissa, suunnittelemalla aerodynaamisempia junia ilmanvastuksen vähentämiseksi ja muotoilemalla veturin tavalla, joka vähentää sen aiheuttamaa melua ja tärinää, sekä käyttämällä kevyempiä ja vahvempia materiaaleja. (Raoul 1997)

Lisäksi uudistukset vaativat parannuksia viestintä- ja merkinantojärjestelmissä, automaattisen jarrituksen ja hidastuksen järjestelmien käyttöönottoa turvallisuuden parantamiseksi sekä muutoksia junien operoimiseen, esim. tarve korvata tienvarsimerkit signaaleilla kuljettajan ohjaamoon, koska suurilla nopeuksilla kuljettaja ohittaa tienvarsimerkit liian nopeasti nähdäkseen ne. (Givoni 2006)

4 PÄÄMALLIT

Eri maiden erilaisten tarpeiden ja erityispiirteiden täyttäminen on johtanut erilaisten huippunopeiden junamallien kehittämiseen. Ensimmäinen moderni huippunopea juna oli Japanin *Shinkansen*. Tätä voidaan pitää niin sanottuna perusmallina, josta seuraavat kolme muuta mallia ovat kehittyneet. (Givoni 2006)

4.1 Shinkansen

Shinkansenin tärkeimmät ominaisuudet ovat seurausta Japanin tarpeiden ainutlaatuisista luonteenpiirteistä. Muutaman sadan kilometrin päässä toisistaan sijaitsevien suurien kaupunkiseutujen välisillä kulkuyhteyksillä on paljon kysyntää. Esimerkiksi Japanin suurimpiin kaupunkeihin lukeutuvien Tokion, Osakan ja Nagoyan yhdistää *Tokaidon* linja. Tokaidon Shinkansenissa matkustajaluvut kasvoivat vuonna 2015 157 miljoonaan matkustajaan. (Central Japan Railway Company 2016)

Shinkansenin ainutlaatuinen piirre on pelkästään sille rakennettu oma linja, joka oli Japanin tapauksessa tarpeen tavanomaisen rautatieverkon ollessa liian kapea huippunopeille junille. Tämä eristää Shinkansen-palvelut muusta Japanin rautatiejärjestelmästä. Japanin maantieteelliset piirteet yhdistettynä vaatimuksiin tiukkojen mutkien ja jyrkkien kaltevuuksien välttämisestä johtivat monien tunneleiden ja siltoja rakentamiseen reitin varrelle. Sillat ja tunnelit ovat tämän takia on tyypillisiä Shinkansen-linjoille. 30% japanilaisista Shinkansen-linjoista kulkee tunneleiden läpi, mikä aikoinaan johti erittäin korkeisiin rakennuskustannuksiin ja nykyään korkeisiin ylläpitokustannuksiin. Lisäksi uusien linjojen rakentaminen kaupungin keskuksiin pahentaa entisestään suunnittelun monimutkaisuudesta ja korkeasta maan hinnasta johtuvia rakennuskustannuksia. (Givoni 2006)

4.2 Eurooppalaiset huippunopeat junat

Ranskalainen *Train à Grande Vitesse* eli lyhennettynä *TGV* aloitti toimintansa vuonna 1981, 17 vuotta Shinkansenin jälkeen. TGV muistuttaa Shinkansenia siinä määrin, että niiden tarkoitus on sama, mutta suunnittelun filosofiat poikkeavat toisistaan. Eroavaisuudet johtuvat jossain määrin siitä, että TGV:ssä Shinkansenin ongelmia on

yritytty välttää, mutta suurena syynä voidaan myös pitää Ranskan ja Japanin topografisia eroja ja muita maantieteellisiä ominaisuuksia. (Sone 1994)

Merkittävin ero TGV:n ja Shinkansenin välillä on luultavasti TGV:n toimivuus tavanomaisilla raiteilla, mikä sallii TGV käyttää perinteisiä linjoja, kun se saapuu ja poistuu kaupungeista, mikä johtaa merkittäviin kustannussäästöihin. Tämä tarkoittaa myös, että TGV voi palvella alueita ilman HST-infrastruktuuria ja erityisesti junaverkon osissa, missä kysyntä ei ole riittävän korkea perustelemaan pelkästään HST:lle rakennettua linjaa. (Givoni 2006)

Espanjan huippunopeajuna, *Alta Velocidad Espanola* tai lyhyesti *AVE* on yhdistelmä TGV- ja Shinkansen-malleista. Se käyttää TGV-tyyppistä liikkuvaa kalustoa, mutta kuten Shinkansen, se toimii sille omistetulla linjalla, koska Espanjan tavanomainen raideverkko on leveämpi, kuin kansainvälisen rautateiden liiton (International Union of Railways (UIC)) standardoitu raideväli, jota käytetään suurimmassa osassa Eurooppaa. Tähän ratkaisuun päädyttiin, jotta AVE voisi yhdistyä kasvavaan eurooppalaiseen ja etenkin ranskalaiseen HST-verkkoon. (Givoni 2006)

Saksan HST, *Inter-City Express* eli *ICE*, seuraa TGV-mallia, lähinnä vanhan verkon ja uuden HST-junan yhteensopivuuden kanssa. Se poikkeaa TGV:stä ja Shinkansenista malleista ottamalla käyttöön sekakäyttöisen linjan, eli linjaa käytetään sekä matkustajajettä tavaraliikenteessä. Tämä ominaisuus osoittautui epäedulliseksi, koska se johti korkeisiin rakennuskustannuksiin, koska tavarajunien suuremmasta kuormituksesta johtuen ratoja jouduttiin tukemaan. Ongelmana on myös linjojen vähäinen käyttöaste, johtuen tavarajunien huomattavasti alhaisemmista toimintanopeuksista. (Givoni 2006)

4.3 Kallistuva HST

Japanilaiset, ranskalaiset, espanjalaiset ja saksalaiset HST-junat käyttävät kaikki uusia, pelkästään HST-käyttöön rakennettuja ratoja niissä osissa, joissa suuri nopeus saavutetaan. Tämä johtaa korkeisiin rakennuskustannuksiin ja monilla reiteillä kysyntä ei ole tarpeeksi korkea, jotta se oikeuttaisi rakentaa näitä korkea kustanteisia, nopean toiminnan mahdollistavia, uusia ratoja. Tähän ongelmaan ratkaisu oli hieman normaalia huppunopeaa junaa pienemmillä nopeuksilla operoiva, kallistuva junamalli. Ratkaisu salli korkeammat nopeudet tavallisilla linjoilla, joissa oli tiukkoja mutkia. Telit pysyvät

tukevasti kiinni kiskoissa ja yksinkertaisesti kallistamalla junaa tiukkasäteisissä mutkissa tietokoneohjatun mekanismin ohjaamana ja näin myös epämukavuutta matkustajille aiheuttava keskipakovoima kompensoituu huomattavasti. (Givoni 2006)

Monet maat ovat ottaneet käyttöön tämän halvemman periaatteen käyttää tavanomaista rataverkkoa myös HST-liikenteelle. Ruotsalainen *X-2000* ja italialainen *Pendolino* (ETR-450) ovat esimerkkejä HST-junista, jotka kulkevat perinteisellä kiskolla kallistusmekanismin avulla, välttämällä kalliiden uusien linjojen rakentamisen tarpeen, mutta saavuttaen kuitenkin suhteellisen korkean maksiminopeuden 210 km/h (X-200) tai 250 km/h (ETR-450). Nykyään kallistusmekanismia käytetään myös TGV-junissa, kuten *Pendulairessa*, joka voi saavuttaa maksiminopeuden 300 km/h (International Union of Railways 2018). Lisäksi myös kaikki uudet Shinkansen-mallit ottavat käyttöön kallistusmekanismin matkustajien mukavuuden maksimoimiseksi. Kallistuva ja painetiivis kori mahdollistaa tasaisen nopeuden säilyttämisen kaarteissa ja pitää sisätilat hiljaisina myös huippuvauhdissa ja tunneleihin ajettaessa. (Givoni 2006)

Suomessa on käytössä italialaisen *Alstomin* valmistama kallistuvakorinen *Pendolino*- ja *Allegro*-junakalusto, joka mahdollistaa 30-40 % perinteisiä junia suuremmat nopeudet. Näillä kallistuvakorilla junilla voidaan liikennöidä enimmillään vain 220 kilometriä tunnissa Suomen rataosien nopeusrajoitusten vuoksi. (VR 2018)

4.4 MAGLEV

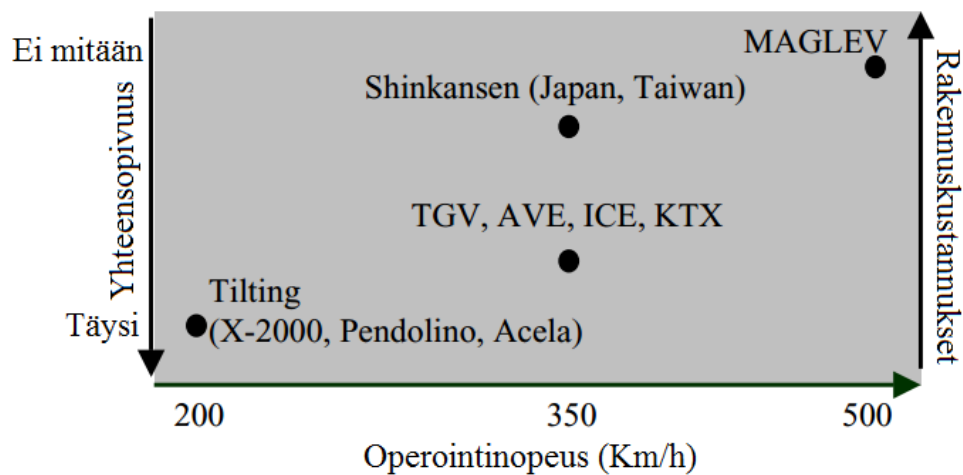
MAGLEV- eli Magnetic levitation-tekniikkaa testattiin ensimmäisen kerran 1970-luvulla, mutta se ei ole koskaan ollut kaupallisessa käytössä pitkän matkan reiteillä. Teknologia perustuu sähkömagneettisiin voimiin, jotka pitävät junaa raiteen yläpuolella ja antavat mahdollisuuden liikkua eteenpäin teoreettisesti rajoittamattomilla nopeuksilla. Käytännössä tavoitteena on 500 km/h operointinopeus (Taniguchi 1993). Vuonna 2003 MAGLEV-testijuna saavutti 581 km/h maailmanennätyksen nopeuden (Takagi 2005).

MAGLEV-junien erityinen infrastruktuuri merkitsee erittäin korkeita rakennuskustannuksia ja täydellistä yhteensopimattomuutta minkään muun traditionaalisen teräskiskoparista koostuvan rautatieverkon kanssa. MAGLEV:iin liitetään lähinnä Japanin ja Saksan kaltaiset maat, joissa on käytössä MAGLEV-testiradat. Japanissa, testilinja tulee lopulta osaksi Chuo Shinkansenia Tokion ja Osakan välillä ja

yhdistää kaupungit noin 1 tunnin (verrattuna nykyiseen 2.5 tuntiin) päähän toisistaan verrattuna. Kiinassa avattiin lyhyt MAGLEV-linja joulukuussa 2003 Shanghai lentoaseman ja kaupungin Pudongin talousalueen välille 430 km/h:n maksiminopeudella. (Givoni 2006)

Suunnitelmat MAGLEV-tekniikalla toimivalle Beijing-Shanghai-reitille hylättiin ja päädyttiin perinteisen teräspyörä/kiskon HST-junaratkaisuun. MAGLEV:n tulevaisuus ja kehitys riippuu suurelta osin Japanin linjojen onnistumisesta, samalla tavalla kuin perinteisen HST:kin tulevaisuus aikanaan riippui ensimmäisen Shinkansen-linjan menestyksestä. (Givoni 2006)

Tärkeimmät erot edellä kuvattujen HST:n neljän mallin välillä ovat maksimikäyttönopeus, rakennuskustannukset ja yhteensopivuus tavanomaisen verkon kanssa on esitetty yhteenvetona kuvassa 2.



Kuva 2. Nopeiden junamallien käyttönopeus, rakennuskustannukset ja yhteensopivuus (perinteisten verkkojen) kanssa. (Givoni 2006)

5 INNOVAATIOT

5.1 EMU:n tuomat edut

EMU (Electric Multiple Unit) -systeemi on otettu käyttöön huippunopean junan kehittyessä. Hajautettu moottoriteho on luonnostaan tehokkaampi kuin keskitetty moottoriteho, mutta se tarjoaa myös monia muita etuja tehokkuutensa lisäksi. (Central Japan Railway Company 2016)

Vetävän moottorin siirtyessä veturista koko junan matkalle tarkoittaa, että akselien kokema kuorma vähenee. Tämä leikkaa radan kunnostus- ja rakennuskustannuksia, sekä vaimentaa myös samalla melua ja tärinää. Tasaisempi pito renkaan ja raiteen välillä tarkoittaa lyhyempiä kiihdytys- ja jarrutusmatkoja ja parempaa luotettavuutta huonoissa sääoloissa. (Central Japan Railway Company 2016)

Vanhan veturiin perustuvan systeemin pitojärjestelmä oli myös paljon epäluotettavampi. Tehokas, regeneratiivinen hajautetun järjestelmän erillisillä moottoreilla toteutettu jarrutussysteemi säästää energiaa ja laskee jarrujen huoltokustannuksia. Japanin Shinkansenin uusimpaan malliin N700A:han kehitettiin myös uusi paranneltu jarrulevy, jonka paremmuus perustui sen kiinnitykseen jarrukiinnityksen siirtämiseen sisäreunasta levyn keskelle, jakaen kuormitusta tasaisemmin ja vähentäen huoltokustannuksia, sekä lyhentäen jarrutusmatkaa 10 % edelliseen N700-malliin verrattuna. (Central Japan Railway Company 2016)

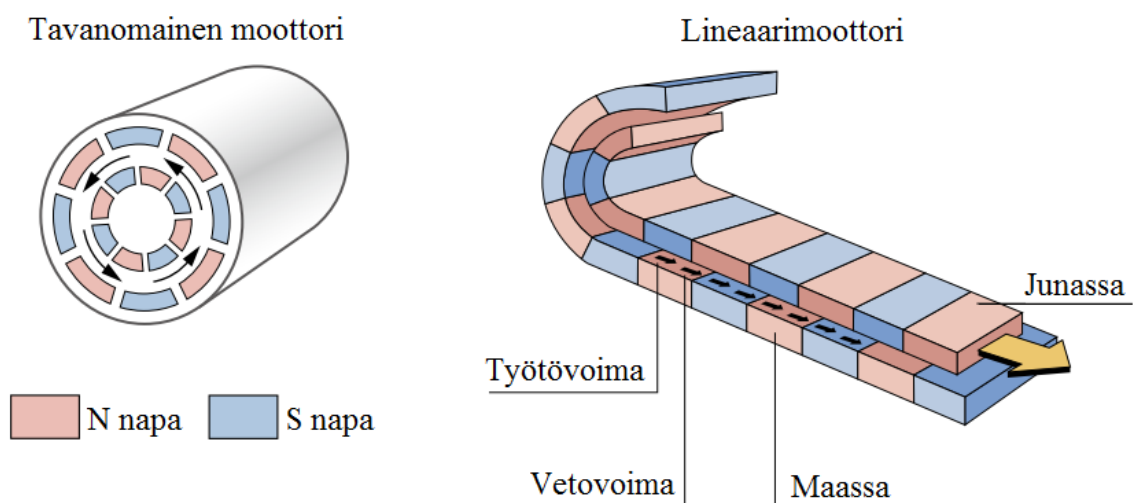
Lyhyemmän jarrutusmatkan tavoittelu on erittäin tärkeää, jotta junan maksiminopeutta pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman suuri osa matkasta, täytyy jarrutusmatkan olla mahdollisimman lyhyt. Tehokkaan jarrutuksen tavoittelussa täytyy kuitenkin ottaa huomioon myös huoltotarpeen ja siitä johtuva huoltokatkosten lisääntyminen, sekä tietenkin myös matkustajien mukavuuden takaaminen.

5.2 Suprajohteet MAGLEV-junissa

Suprajohtuvuus on ilmiö, jonka mukaan tietyn materiaalin sähköinen resistanssi lähestyy nolaa hyvin alhaisissa lämpötiloissa, kun sähkövirtaa syötetään käämiin suprajohtavassa tilassa, virta kulkee lähes määrittelemättömästi ja johtaa erittäin suuren magneettikentän

muodostumiseen. Suprajohtavan MAGLEV:in vaativan superjohtoisen tilan saavuttamiseen on käytetty niobium-titaani-seosta jäähdyttämällä se nestemäisellä heliumilla -452°F lämpötilaan. (Central Japan Railway Company 2016)

Tätä ilmiötä käytetään hyväksi lineaarimoottorissa. Lineaarimoottoria voidaan verrata tavanomaiseen pyörivään moottoriin, joka leikataan auki ja levitetään lineaarisesti. Tavanomaisten moottoreiden sisällä olevat roottorit vastaavat superjohtavien MAGLEV-ajoneuvojen superjohtavaa magneettia, kun taas ulkoiset staattorit vastaavat työntövoimakäämejä maassa (ks. kuva 3.). (Central Japan Railway Company 2016)



Kuva 3. Lineaarimoottoriin periaate (Central Japan Railway Company 2016).

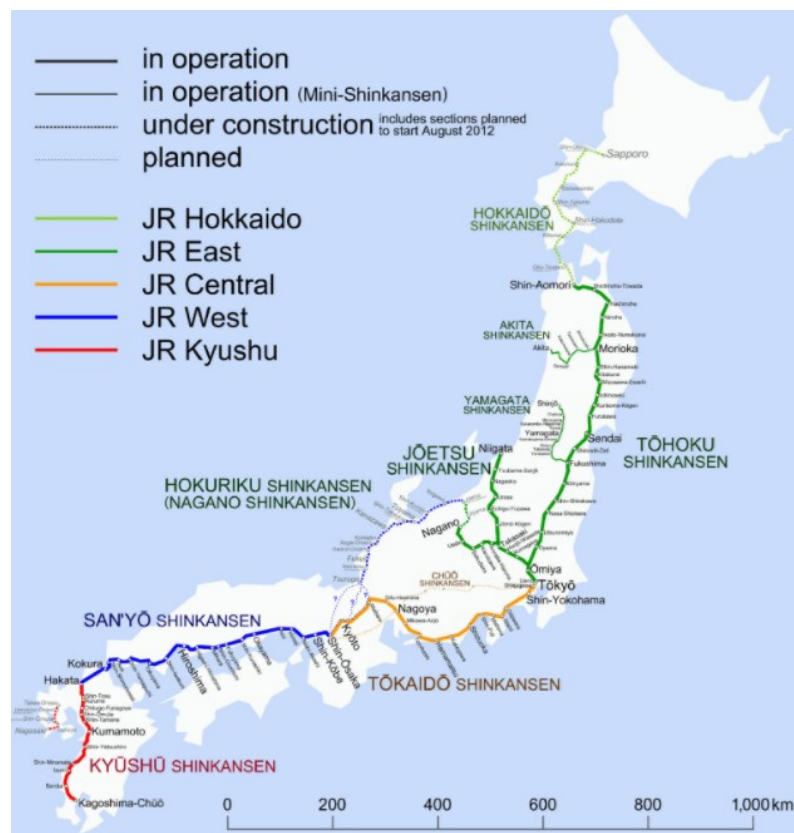
Levitaatio- ja ohjaukäämit on asennettu molemmin puolin rataa. Kun junan superjohtavat magneetit kulkevat suurella nopeudella levitaatio- ja ohjaukkelojen läpi, indusoi se sähkövirran, joka muuttaa ne sähkömagneeteiksi. Tämä synnyttää voiman, joka työntää eteenpäin, mutta myös vetää junaa ylöspäin. (Central Japan Railway Company 2016)

6 HST-VERKON KEHITYS

Japanin Tokaidon linjan menestyksestä huolimatta HST:n leviäminen ympäri maailmaa oli suhteellisen hidasta. Tokaidon linjan avaamisesta kesti 17 vuotta ensimmäisen HST:n käyttöönottoon Japanin ulkopuolella Ranskassa ja vielä 7 vuotta maailman kolmannen HST:n aloittaakseen toimintansa Italiassa. Nykyään, HST kattaa suuren osan Japanista ja Euroopasta, ja se on otettu myös käyttöön Kaukoidässä. USA on tältä osin jäljessä (ks. Jäljempänä). (Givoni 2006)

6.1 Japani

Japanissa Tokaidon linjan menestys herätti Japanin HST-verkon, joka kehittyi ajan myötä suuresti. Tämä verkko (kuva 2) koostuu nykyään 3041 km:n HST-linjasta, jossa on a vielä 402 km rakenteilla ja 194 km suunnitteluvaiheessa. (International Union of Railways 2018).



Kuva 4. Japanin huippunopea junaverkko. (JP-rail 2018)

6.2 Eurooppa

Pariisin ja Lyonin välinen HST-linja, joka avattiin vuonna 1981, oli Ranskan ensimmäinen HST. Tämä linja osoittautui myös menestystarinaksi, ja vuonna 2018 toimii vieläkin motivaationa kehittää ranskalaista HST-tekniikkaa (Polino, 1993). Nykyään, Ranskassa on 2776 km HST-linjaa ja suunnitteluvaiheessa on vielä 1786 km (International Union, 2018). HST:n onnistuneesta käyttöönotosta Ranskassa huolimatta leviäminen koko Euroopassa oli suhteellisen hidasta. Vasta vuonna 1988 italialaiset esittelivät kallistuvan junansa, Pendolinon (ETR-450-malli) Rooma-Milano-reitillä; ja vuonna 2000 Ruotsi esitteli ensimmäisen huppunopean junansa X-2000:n, joka oli myös kallistuva junamalli. Seuraavaksi vuonna 1991 vuorossa oli Saksa ICE-hankeineen Hannoverin ja Saksan välille Würzburgiin; ja vuosi myöhemmin Espanja aloitti ensimmäisen HST-toimintansa Sevillan ja Madridissa välillä. Vuonna 2003 Iso-Britannia liittyi luetteloon maista, joissa on HST-linjat, kun Lontoo-Pariisi linjan ensimmäinen osuus Lontoosta Kanaalitunneliin (Channel Tunnel Rail Link tai CTRL) avattiin. Tämä linja kokonaisuudessaan avattiin vuonna 2007. (Givoni 2006)

Kun edellä mainittujen Euroopan maiden luodessa itsenäisesti suunnitelmia, ja Ranskan jatkaessa HST-verkostonsa laajentamista naapurimaihin, Euroopan unionissa heräsi ajatus Euroopan laajuisesta huippunopeasta junaverkosta (Euroopan komissio, 2001). Kansainvälisen ulottuvuuden HST-verkko (kuva 5.) lisää HST-palveluiden laajuutta monissa pienemmissä Euroopan maissa, kuten esimerkiksi Belgiassa ja Alankomaissa, joissa kotimaan reittien tarpeilla ei voitaisi perustella HST-palveluja. (Givoni 2006)



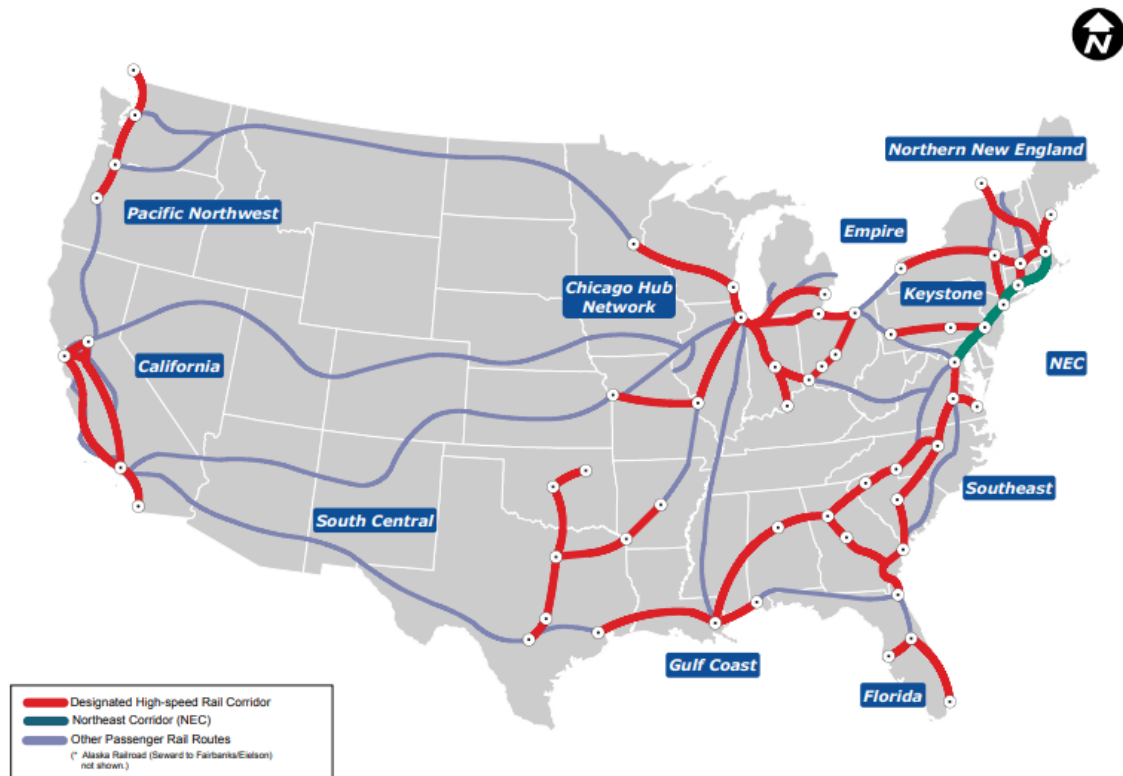
Kuva 5. Eurooppaan suunniteltu suurten nopeuksien junaliikenneverkko. (International Union of Railways 2018)

6.3 Muu maailma

Japanin ja Euroopan lisäksi HST-kehitys tapahtuu lähinnä Kauko-Idässä. Etelä-Koreasta tuli kahdeksas maa, jonka junat kulkevat 300 km/h huhtikuussa 2004, kun sen TGV-mallinen huippunopea juna *KTX (Korea Train eXpress)* aloitti toimintansa. Vuonna 2005 Taiwan rakensi 345 kilometrin pituisen HST-linjansa Taipei ja Kaohsiung välille, ja oli samalla ensimmäinen Japanin ulkopuoleinen maa, joka hyväksyy Shinkansenin teknologian. Kuten myös edellä todettiin, Kiina on myös liittymässä Pekingin ja Shanghaiin välille suunnitellulla linjalla maihin, joissa on toiminnassa oleva huippunopea juna. (Takagi, 2005).

Yhdysvalloissa on käytössä vain yksi HST-linja: kallistuva junamalli *Acela Express* on toiminnassa Bostonin ja Washingtonin välisellä *North East Corridor*-linjalla. Yhdysvalloissa on suunniteltu ja nimetty kymmenen käytävää (Corridor) HST-operaatioille (kuva 6.), mutta rakentamisen aloitus näyttää edelleen olevan kaukana tulevaisuudessa. Kalifornian HST, joka yhdistää San Franciscon lahden alueella muun muassa Los Angelesin ja San Diegon, on lupaavimmassa suunnitteluvaiheessa (Federal

Railroad Administration, 2009). Nykyinen keskustelu Yhdysvaltojen matkustajajunayhtiön *Amtrak*n tulevaisuudesta ja sen saamien tukien tasosta herättävät vielä enemmän epäilyksiä Amerikkalaisen HST:n tulevaisuudennäkymistä. Kaupunkien raideliikennepalvelujen rahoituksen puuttuessa ei ole todennäköistä saada rahoitusta HST-hankkeisiin, joten ehdotettujen HST-hankkeiden kohtalo riippuu osavaltion rahoituksesta ja kuvernöörien päätöksistä, eikä liittovaltion rahoituksesta. (Givoni 2006)



Kuva 6. High-Speed Rail Strategic Plan (Federal Railroad Administration 2009)

Australiassa, kun tutkittiin itärannikon HST-verkosta (2000 km pitkä), joka yhdistää Melbournen, Canberran, Sydneyn ja Brisbanen (Department of Transport and Regional Services, 2001), hallitus päätti vuonna 2002 lopettaa tutkimuksen sen jälkeen, kun tutkimus osoitti tällaisen verkon olevan liian kallis, ja että 80 prosenttia rahoituksesta olisi oltava julkisia varoja. Vuonna 2016 Uudemman tutkimuksen jälkeen valtio on kuitenkin päättänyt rahoittaa *Inland Rail*-projektia, joka yhdistää Melbournen Brisbaneen korkean suorituskyvyn rahtilinjan kanssa, ja siirtyi askeleen lähemmäksi junaverkon valmistumista Australian hallituksen julkaisemalla toimitusohjelmalla. Nykyisellä aikataululla projekti valmistuisi vuosina 2024-2025. (Givoni 2006)

Mitä tulee MAGLEV-linjoihin, *Chuo Shinkansen* välillä Tokio-Osaka on edistyksellisessä suunnitteluvaiheessa ja odottaa edelleen hallitukselta vihreää valoa. (Takagi, 2005). Tällä hetkellä ei ole konkreettisia suunnitelmia huippunopealle MAGLEV-linjalle missään muualla. (Givoni 2006)

7 HST LIIKENNEMUOTONA

7.1 Taloudelliset mahdollisuudet

Tärkein syy ensimmäisen Shinkansen- ja TGV- linjan rakentamiseen oli suurempi reittikapasiteetti, ja tämä oli syy myös monilla muilla radoilla. Italiassa kapasiteetti on edelleen tärkein syy huippunopeiden junalinjojen rakentamiseen, kun voitto nopeudessa on suhteellisen pieni, kuten esimerkiksi Rooman ja Napolin yhdistävällä linjalla. Iso-Britanniassa ylijäämäkapasiteetti rautatieverkossa 1970- ja 1980-luvuilla oli yksi tärkeimmistä syistä, miksi HST:n mahdollisia kehitysnäkökohtia ei otettu huomioon, kun muut eurooppalaiset maat alkoivat kehittää huippunopea juniaan. (Givoni 2006)

HST-linjat lisäävät kapasiteettia reitillä, koska ne yleensä täydentävät jo olemassa olevia linjoja, ja ne vapauttavat kapasiteettia perinteisessä verkossa käytettäväksi rahti- ja alueliikennepalveluille. Suoran kapasiteetin lisääminen HST-linjalla johtuu tiheämmästä aikataulusta, minkä tekee mahdolliseksi korkeammat nopeudet, nykyaikaiset, suhteellisen lyhyen välimatkan junien välillä (turvallisuutta vaarantamatta) mahdollistavat signaalintijärjestelmät, ja pitkien junien käyttö, joilla on korkea istuinkapasiteetti. Esimerkiksi ensimmäisen Shinkansenin, malli 0:n, istuinkapasiteetti oli 1340 paikkaa, kun taas *Eurostar*-junat tarjoavat 902 paikkaa. (International Union of Railways, 2018, Railway Gazette 2015)

Erillisen suurnopeusjunalinjan, suuren kapasiteetin junien, kehittyneiden signaalintijärjestelmien ja suurten nopeuksien yhdistelmä on mahdollistanut JR Centralin kuljettaa 445 000 matkustajaa päivässä eli yhteensä 162 miljoonaa matkustajaa vuonna 2016 (Central Japan Railway Company 2016). Lähtöjen tiheyden kasvaminen suuremmista nopeuksista ja parannetusta signaloinnista johtuen merkitsee myös sitä, että kallistuvien junien käyttöönotto olemassa oleviin raiteisiin lisää kapasiteettia entisestään. (Givoni 2006)

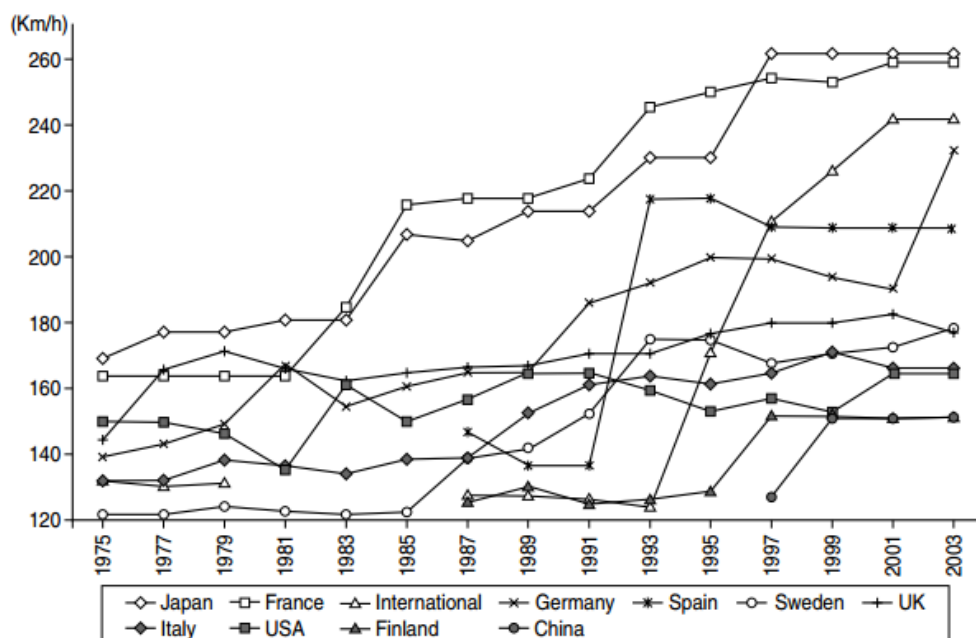
7.2 Kaupalliset vahvuudet

Matkustusaikojen lyhentäminen on myös tärkeä syy HST-palvelujen käyttöönottoon, vaikkakaan se ei useimmissa tapauksissa ole tärkein syy. Ennen Shinkansenin avaamista Japanissa Tokion ja Osakan väli tavanomaisella junalla kesti 7 tuntia se saatiin

lyhenemään 4 tuntiin Shinkansenin vihkimisen jälkeen. Nykyään tämä väli on 2 tuntia 22 minuuttia ja jos vihreä valo annetaan MAGLEV Chou Shinkansenille, kaupunkien välinen matka-aika supistuu vain 1 tuntiin. (Japan Central Railway Company 2016)

Espanjan HST: n avaaminen Madridin ja Sevilla välillä lyhensi matkustusaikaa 6 tunnista 30 minuutista 2 tuntiin 32 minuuttiin (Euroopan komissio, 1996b), ja vastaavia esimerkkejä on myös monia muita. Näillä aikasäästöillä on suuri taloudellinen arvo, mikä japanilaisen arvion mukaan on noin 3,7 miljardia euroa vuodessa (Okada 1994).

HST: n kyky leikata matka-aikaa määräytyy sen saavuttaman keskinopeuden mukaan, mikä mukautuu pääasiassa reitin pysähdyksien lukumäärän ja nopeusrajoituksen mukaan. Siksi juna, joilla on erittäin korkea maksimi käyttönopeus, saattaa silti saavuttaa jokseenkin alhaisen keskinopeuden ja tämä rajoittaa teoreettisia matka-aikasäästöjä. (Kuva 6.) Japani ja Ranska tarjoavat nopeimmat palvelut tällä hetkellä keskimäärin noin 260 km/h nopeudella. *Nozomi*-palvelu Tokion ja Osakan välillä Tokaidon linjalla pysähtyy vain reitin varrella sijaitsevilla pääasemilla, mutta saavuttaa silti vain 206 km/h keskimääräisen nopeuden. Tämä on huomattavasti pienempi kuin näiden HST-junien saavuttama suurin nopeus (Takagi 2005).



Kuva. 6 Suurin keskimääräinen rautatien nopeus 11 maalle. (Takagi 2005)

7.3 Taloudelliset kysymykset

HST-palvelut voivat olla kannattavia vain suuren kysynnän reiteillä, minkä vuoksi useimmat HST-palvelut ovat keskittyneet suurten kaupunkikeskusten välille. Näin ollen kaupungit, joilla on tiheät ja hallitsevat kaupungin keskustat väestön ja / tai työllisyyden kannalta ovat kannattavampia HST-palveluille, toisin kuin suuret, luonteeltaan hajanaiset kaupungit. Pitkä matka HST-asemalle saattaa peruuttaa HST-palvelun tarjoamat matka-aikasäästöt ja on kannustin useammalle kuin yhdelle asemalle kaupunkia kohti. Kuitenkin useammat asemat ja pysäkit johtavat hitaampaan keskinopeuteen ja näin ollen kompromisseja on jouduttu tekemään. Suurilla kaupunkikeskuksilla, jotka ovat luonteeltaan monikeskuksisia, on perusteet moneen HST-asemaan, kuten esimerkiksi Tokiossa, missä on kolme asemaa Tokaidon linjalla (Tokio, Shinagawa ja Shin-Yokohama). Sen sijaan neljä asemaa, jotka sijaitsevat Kanaalitunnelin linjalla Englannissa (St Pancras ja Stratford Lontoossa, Ebbsfleet ja Ashford Kentissä) eivät ehkä tuota riittävästi kysyntää perustellakseen ylimääräisten pysähdyksien aiheuttamaa keskimääräisen nopeuden vähenemistä ja siitä johtuvaa matka-ajan pitenemistä. (Hall 1999, Vickerman 1997)

Lyhyemmät matkustusajat ja lisääntynyt palvelun taso (tiheämpi aikataulu ja myös parantuneet matkustusolosuhteet) huippunopeiden junien käyttöönoton jälkeen on johtanut reittien liikennemuutoksiin ja uuden kysynnän syntyyn. HST:n saama osuus riippuu pääasiassa sen tarjoamasta lyhyemmästä matkustusajasta verrattuna muihin liikennemuotoihin, mutta myös matkustuskustannuksista ja matkaolosuhteista. Suurin osa uusien HST-palvelujen kysynnästä on siirtynyt pois tavanomaisesta rautatieliikenteestä, ja tällä on ollut kielteisiä vaikutuksia tavanomaiseen rautatieverkkoon (Givoni 2006).

8 YHTEENVETO

Tässä työssä käytiin läpi yleisesti huippunopeiden junien kehityksestä. Työssä tutustuttiin myös tarkemmin huippunopean junan historiaan ja merkitykseen. Lisäksi työssä käsiteltiin myös huippunopeiden junan kehityksen ongelmia ja myös muutamia huippunopeiden junien teknisiä innovaatiota. Työssä käytyt aiheet käsiteltiin eri maiden junamallien ja verkostoiden näkökulmista ja lopuksi niitä vertailtiin toisiinsa. Jokaisen eri maan junamallin ja rautatieverkon ongelmia nostettiin esille ja näiden ongelmien ratkaisuja pohdittiin.

Liikennetekniikat vanhentuvat nopeasti teknologian kehittyessä ja samat perustoimintaperiaatteet harvoin säilyvät pitkään. Mutta tähän poikkeuksena ovat juna ja rautatiet. Niiden jatkuva kehittäminen pitää huippunopean junan vielä tulevaisuudessakin varteenotettavana vastuksena muille liikennemuodoille.

LÄHDELUETTELO

Australian Government, Department of Infrastructure
<https://infrastructure.gov.au/rail/inland/> [noudettu 11.4.2018]

Central Japan Railway Company (2016) *Central Japan Railway Company Data Book 2016* (Nagoya: CJRC).

Euroopan komissio (1996a) Direktiivi 96/48/EC, 23.7.1996, Official Journal, L23, 17 syyskuuta, 0006–0024.

Euroopan komissio (1996b) *Interaction between High Speed and Air Passenger Transport—Interim Report*. Interim Report on the Action COST 318

Federal Railroad Administration (2009), <https://www.fra.dot.gov/eLib/details/L02833> [Noudettu 12.4.2018]

Giuntini, A. (1993) *High speed trains in Italy*, in: J. Whitelegg, S. Hultén and F. Torbjörn (Eds) *High Speed Trains: Fast Tracks to the Future*, s. 55–65 (Hawes, North Yorkshire: Leading Edge)

Givoni, M. (2006) *Development and Impact of the Modern High-speed Train: A Review*. *Transport Reviews*, 26(5), s. 593-611.

Hall, P. (1999) “*High-speed train and air: competitive or complementary?*”, Lake Arrowhead Transportation Symposium, 25.10.1999.

International Union of Railways, 2018,
https://uic.org/IMG/pdf/high_speed_brochure.pdf [noudettu 12.4.2018]

Japan Railway and Transport Review (2005) *Efforts to increase Shinkansen speeds*, *Japan Railway and Transport Review*, 40, s. 34–35

JP-rail (2018) <https://jp-rail.com/travel-informations/basic-informations/network-of-jr-trains/what-is-shinkansen.html> [noudettu 10.4.2018]

Lönnroth, A. J., (1932) *Keksintöjen kirja – Tiet ja maakulkuneuvot*, WSOY, Porvoo, s. 224–225

Okada, H. (1994) *Features and economic and social effects of the Shinkansen*, Japan Railway and Transport Review, 3, s. 9–16.

Railway Gazette (2015) www.railwaygazette.com/news/high-speed/single-view/view/eurostar-e320-enters-service.html?sword_list=eurostar&sword_list=e320&no_cache=1 [noudettu 14.4.2018]

Raoul, J. C. (1997) *How high-speed trains make tracks*, Scientific American, 227(4), s. 100–105

Schivelbusch, W., (1996) *Junamatkan historia*. Suomentanut Margit Heinämäki. Tampere: Vastapaino, ISBN 951-768-010-4. s.33-37

Sone, S. (1994) *Future of high-speed railways*, Japan Railway and Transport Review, 3, s. 4–8

Takagi, R. (2005) *High speed railways: the last 10 years*, Japan Railway and Transport Review, 40, s. 4–7.

Vickerman, R. (1997) *High-speed rail in Europe: experience and issues for future development*, Annals of Regional Science, 31, s. 21–38

VR (2018) <https://www.vr.fi/> [noudettu 15.4.2018]

Whitelegg, J. and Holzapfel, H. (1993) *The conquest of distance by the destruction of time*, J. Whitelegg, S. Hultén and F. Torbjörn (Eds) *High Speed Trains: Fast Tracks to the Future*, s. 203–212 (Hawes: North Yorkshire: Leading Edge).