

Rautatieliikenteen nopeuteen vaikuttavat tekijät

Anssi Airaksinen

Opinnäytetyö
Lokakuu 2020
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), logistiikan tutkinto-ohjelma

Tekijä Airaksinen, Anssi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä lokakuu 2020
	Sivumäärä 76	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Rautatieliikenteen nopeuteen vaikuttavat tekijät		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), logistiikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaajat Mikko Somerla, Henri Kervola		
Toimeksiantaja Sweco Infra & Rail Oy		
Tiivistelmä <p>Suomessa on viime aikoina alettu selvittää mahdollisuuksia lyhentää joillakin vanhoilla rataosilla henkilöliikenteen junien matka-aikoja. Helpoin tie tähän on nostaa junien ajonopeuksia rataa parantamalla. Radan parannusprojekteista vastaa Väylävirasto.</p> <p>Väylävirasto ohjeistaa ratasuunnittelijoita rautatieohjeilla, jotka ohjaavat suunnittelua. Nämä ohjeet on suurimmaksi osaksi koottu ratateknisiin ohjeisiin (RATO). Näistä ohjeistuksista koottiin yhteen radan nopeustasoon vaikuttavat kohdat. Tämän muodostetun tietopankin avulla käytiin läpi Tampereen ja Oulun välisen rataosan ratarekisteritiedot ja muodostettiin nykytilanteen mukainen nopeuskaavio rataosasta.</p> <p>Ajonopeuksien nostomahdollisuuksien selvittämiseksi tutkittiin ensin syy, mikä rajoitti ajonopeutta radalla. Rajoituksen aiheuttavan syyn selvittyä arvioitiin siitä aiheutuva liikennevaikutus IC-junalle. Näin pyrittiin löytämään suurin vaikuttava tekijä rataosan nopeusrajoitukseen ja auttaa kohdistamaan huomio kohteisiin, joihin puuttumalla pystyi nostamaan junien ajonopeuksia radalla tehokkaimmin.</p> <p>Tutkimuksessa selvisi, että suurin vaikutus rataosan nopeustasoon oli radan geometrialla. Tampereen ja Oulun välisellä rataosalla radan geometrian aiheuttamien nopeusrajoitusten vaikutus matka-aikaan oli ainakin 25 minuuttia verrattuna radan nopeustasoon 200 km/h. Muiden nopeuteen vaikuttavien tekijöiden vaikutukset olivat parhaimmillaan vain joitakin minuutteja. Radan geometriasta johtuvien rajoitusten poistaminen oli myös kaikkein vaikeinta ja kalleinta. Jotta nopeustasoa saatiin nostettua merkittävästi, vaikutti ainoa varma keino olleen yhden pidemmän tai usean lyhyemmän oikaisun rakentaminen radalle. Pitkä oikaisu on käytännössä uusi rataosa, joka ohittaa kymmeniä kilometrejä nykyistä rataa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Rautatiet, nopeusrajoitus, matka-aika, radan parantaminen, ratakapasiteetti, nopeustaso, henkilöliikenne, tavaraliikenne, Väylävirasto, RATO		

Author Airaksinen, Anssi	Type of publication Bachelor's thesis	Date October 2020
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 76	Permission for web publication: x
Title of publication Factors affecting the line speed of railway transportation		
Degree programme Degree programme in Logistics		
Supervisor(s) Somerla, Mikko, Kervola, Henri		
Assigned by Sweco Infra & Rail Oy		
Abstract <p>Possibilities of shortening the journey times of passenger trains have recently been under observation on some old sections of track in Finland. The easiest way to do this is to increase train speeds by improving the track.</p> <p>The Finnish transport infrastructure agency instructs track designers with railway instructions that guide the design. From these instructions those sections that are affecting the level of track speed were compiled together. After that the track speed register containing data of the track section between Tampere and Oulu was examined. From that data the speed diagram of the track section according to the current situation was created.</p> <p>At first the reason that limited the driving speed of the track was investigated. Then after analyzing the results conclusions were made what are the possibilities to increase driving speeds of trains. After that the traffic impact originated from the speed limits on the IC train was calculated. The aim was to find the biggest factor influencing the line speed on that track section. That could help to focus attention on those objects that cause the most severe speed limits.</p> <p>As a result of the study it was found that the most effective way in upgrading the line speed of track section was geometry of the track. On a railway line between Tampere and Oulu the geometry of the track affects the travel time for at least 25 minutes compared to the line speed of 200 km/h. The other factors affecting speed had only an influence of couple of minutes at best. Speed limits caused by the track geometry were also the most difficult and most expensive to remove. One longer or several shorter new route alignments seemed to be the only certain way to increase the speed level. The long new route alignment means a new line section that bypasses tens of kilometres of current line.</p>		
Keywords/tags (subjects) Railroads, speed limit, travel time, upgrading of a line, rail infrastructure capacity, line speed, passenger transport, freight transport, Finnish transport infrastructure agency		

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Radan rakentamisen teoria.....	6
2.1	Radan geometria	6
2.2	Radan rakenteet	9
2.3	Vaihteet	17
2.4	Sähkörata.....	20
2.5	Turvalaitteet	22
2.6	Sillat	33
2.7	Tunnelit.....	35
2.8	Tasoristeykset.....	37
2.9	Laiturialueet	39
3	Nopeusrajoitusten teoria.....	41
3.1	Pysyvät nopeusrajoitukset	42
3.2	Tilapäiset nopeusrajoitukset	42
3.3	Nopeusrajoitusten esittäminen.....	43
3.4	Nopeusrajoitusten vaikuttavuus junaliikenteeseen.....	44
4	Ratakapasiteetin teoria	47
4.1	Liikenteenvälityskyky ja maksimisuorite	47
4.2	Käyttöaste.....	50
4.3	Aikataulu ja pelivara	52
5	Tutkimusasetelma	52
5.1	Tutkimuskysymykset	52
5.2	Tutkimuskohde ja aineisto	53
5.3	Tutkimusmenetelmät	54
6	Tapaustutkimus Tampere–Oulu nopeudennosto.....	54
6.1	Ratageometria	57
6.2	Sillat	60
6.3	Vaihteet	61

	2
6.4 Laiturialueet, huoltotiet ja näkemä.....	62
6.5 Turvalaitteet	63
6.6 Pengerleveys ja raideväli	63
6.7 Radan päällys- ja alusrakenneluokat.....	64
6.8 Sähkörata.....	65
6.9 Kiskotyyppi	65
6.10 Liikkuvan kaluston valvontalaitteet.....	65
6.11 Tunnelit ja tasoristeykset	66
6.12 Tilapäiset nopeusrajoitukset	66
6.13 Ratakapasiteetti.....	67
6.14 Mahdollisuudet nopeuden nostoon Tampereen ja Oulun välisellä rataosalla	71
7 Pohdinta.....	75
Lähteet	81
Liitteet.....	86
Liite 1. Ratajohdon teknisiä tietoja.....	86
 Kuviot	
 Kuvio 1. Radan rakenneosat	9
Kuvio 2. Eri vaihdetyypit ja niiden määräävät pisteet	18
Kuvio 3. Ratajohtotyypit	21
Kuvio 4. JKV-turvalaitejärjestelmä	23
Kuvio 5. Junakulkutie ja ohiajovara	25
Kuvio 6. Raiteiden 001 ja 002 pää- ja esiopastimet Tampereen liikennepaikalla etelän suuntaan	26
Kuvio 7. Opastinvara	29
Kuvio 8. Turvavaihte ja sivusuoja.....	30
Kuvio 9. Rautatien tasoristeysnäkemät	39
Kuvio 10. Nopeusrajoituslaskurin lähtötietojen syöttö.....	45
Kuvio 11. Nopeusrajoituslaskurin antama tulos.....	46

Kuvio 12. Nopeus matkan funktiona	46
Kuvio 13. Tampere–Oulu-nopeuskaavio	56
Kuvio 14. Lapua–Eskola-oikaisuvaihtoehto	73

Taulukot

Taulukko 1. Suositellut kaarresäteet eri mitoitusnopeuksilla 200 km/h asti	8
Taulukko 2. Radan päällysrakenne	9
Taulukko 3. Päällysrakenneluokat ja niiden vaikutus nopeuteen	10
Taulukko 4. Radan alusrakenne	11
Taulukko 5. Alusrakenneluokat ja suurimmat sallitut nopeudet	12
Taulukko 6. Ratakiskojen päämitat.....	14
Taulukko 7. Tavaravaunujen suurimmat sallitut akselipainot ja nopeudet eri kiskotyypeillä	15
Taulukko 8. Henkilövaunujen suurimmat sallitut akselipainot ja nopeudet eri kiskotyypeillä	15
Taulukko 9. Opastimien näyttämät opasteet junaliikenteessä	28
Taulukko 10. Raiteen suurimmat nopeudet ja vaara-alueen vähimmäisleveydet	40
Taulukko 11. 1 000 m pituisen nopeusrajoituksen aiheuttavan kaarrealueen vaikutus 200 km/h kulkevaan junaan	59

1 Johdanto

Tässä työssä käsitellään rautatieliikenteen nopeuden nostoa. Nopeuden nosto rataverkolla on hyvin ajankohtainen aihe. Esimerkkinä näistä voi mainita Turun ja Helsingin välinen Tunnin juna ja Tampereen ja Helsingin välisen Suomirata -hankkeet. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia yleisesti nopeusrajoituksen aiheuttavia tekijöitä radalla ja näiden perusteella selvittää, millaiset ovat nopeudennoston mahdollisuudet Tampereen ja Oulun välisellä rataosalla.

Opinnäytetyön tärkein tavoite on selvittää, mitkä tekijät rajoittavat radan suurinta sallittua nopeutta ja mitkä tekijät mahdollistavat nopeuden noston 200 km/h asti. Kysymystä tarkastellaan henkilöliikenteen perinteisen junakaluston sekä tavaraliikenteen näkökulmasta Tampereen ja Oulun välisellä rataosalla. Henkilöliikenteen kallistuvakorinen kalusto jätetään tässä työssä pois tarkastelujen piiristä, koska kallistuvakorisen kaluston toimintavarmuus on osoittautunut Suomen olosuhteissa epävarmaksi Pendolino-junien käyttökokemusten myötä. Aihetta rajataan myös jättämällä pois uuden radan rakentaminen, sillä tutkitut ongelmat tulevat parhaiten esiin parannaessa olemassa olevaa vanhaa rataa. Aiheen ulkopuolelle rajataan myös kaupunkiraideliikenne, eli metrot ja raitiotiet.

Lopputuloksena saadaan ymmärrettävässä muodossa oleva tietopaketti rautatieliikenteen nopeutta rajoittavista tekijöistä sekä mahdollisista toimenpiteistä rautatieympäristössä, joilla nopeutta voisi nostaa tutkitulla rataosalla. Nopeuden noston suurin hyöty on matka-aikojen lyheneminen henkilöliikenteen junilla.

Rataverkon kuvaus

Vuonna 2018 Suomen liikennöidyn rataverkon pituus oli yhteensä 5 926 km, josta noin 88 % oli yksiraiteista rataa. Kaksi- tai useampiraiteista rataa oli yhteensä 692 km. Sähköistettyä rataa oli yhteensä 3 331 km, eli noin 56 % koko ratapituudesta.

Raideleveys Suomen rataverkolla on 1,524 metriä. Vaihteita rataverkolla on yhteensä 5 282, raideristeyksiä 41 ja tunneleita 45. Siltoja oli yhteensä 2 202 ja tasoristeyksiä 2 723. Rautatieliikennepaikkoja oli yhteensä 347, joista ainoastaan henkilöliikenteen käytössä oli 109, ainoastaan tavaraliikenteen käytössä 148 ja molempien käytössä 90

liikennepaikkaa. Investoinnit rataverkkoon olivat vuonna 2018 reilut 300 miljoonaa euroa ja kasvussa edeltävään vuoteen verrattuna ensimmäistä kertaa sitten vuoden 2013. (Rautatietilasto 2018, 2019, 10–23.)

Henkilöliikenne

Rautateillä tehtiin henkilöliikenteessä vuonna 2018 yhteensä 87,5 miljoonaa matkaa. Matkan keskipituus oli 51,8 km. Näistä matkoista noin 13,6 miljoonaa tehtiin kaukoliikenteessä ja noin 74 miljoonaa lähiliikenteessä. Vilkkaimmat matkustajavirrat olivat pääradalla Helsingin ja Keravan välillä yli 7,1 miljoonaa matkaa ja Tampereen ja Toijalan välillä yli 4,9 miljoonaa matkaa. Tampere–Oulu-rataosalla suurimmat matkustajavirrat olivat Tampere–Parkano (noin 2,8 miljoonaa matkaa) ja Parkano–Seinäjoki -väleillä (noin 2,7 miljoonaa matkaa). Tampere–Seinäjoki-väli onkin Suomen toiseksi vilkkain rataosa heti Helsingin ja Tampereen välisen rataosan jälkeen. (Rautatietilasto 2018, 2019, 34–37.)

Tilastojen perusteella voi päätellä, että rautatiet ovat merkittävä henkilöliikenteen kuljetusmuoto. Nopeuden nostolla on vaikutusta matkustajamääriin, sillä nopeampi yhteys houkuttelee matkustajia junaan muista kuljetusmuodoista. Junan matka-aikaa tarkastellessa sen lyhentäminen voi kuitenkin tarkoittaa myös pysähdysten karsimista pienemmillä asemilla. Nostamalla radan nopeutta voidaan matka-aikaa lyhentää ilman, että pysähtymispaikkoja on vähennettävä.

Tavaraliikenne

Rautateiden tavaraliikenteessä kuljetettiin vuonna 2018 yli 11 miljardia tonnikipometriä (tkm), joista noin 7,1 miljardia tkm oli kotimaan tavaraliikennettä ja noin 4,1 tkm kansainvälistä tavaraliikennettä. Yhden kuljetuksen keskipituus oli 274 kilometriä. Vilkkaimmat tavaravirrat kuljetettiin Kouvolan ja Luumäen välillä noin 12 miljoonaa nettotonnia sekä Kouvolan ja Juurikorven välillä noin 8,3 miljoonaa nettotonnia. Tampereen ja Oulun välillä suurimmat tavaravirrat olivat Kokkolan ja Ylivieskan välillä noin 7,5 miljoonaa nettotonnia. (Rautatietilasto 2018, 2019, 40–42.)

Tavaraliikenne hyötyy henkilöliikennettä vähemmän radan nopeuden nostosta. Tavarajunien suuret massat (kokonaispainot) rajoittavat joka tapauksessa

tavarajunien nopeuden henkilöjunia alhaisemmaksi. Tavaraliikenne saakin enemmän etua paremmasta täsmällisyydestä, kuin suuremmista ajonopeuksista. Lisäksi viivästykset tavaraliikenteessä johtuvat yleensä ennemmin esimerkiksi ratapihan ruuhkaisuudesta, joka aiheuttaa junan lähtövalmisteluiden viivästymistä ja radan puutteellisesta välityskyvystä, kuin junan ajonopeudesta. Tavaraliikenteen täsmällisyys paranee tietenkin jonkin verran myös radan kunnostuksen myötä, mutta nopeutta nostava radan kunnostus ei välttämättä yksistään paranna vielä radan kapasiteettia. Tämä vaatii esimerkiksi uusien kohtaamispaikkojen rakentamista tai useampia raiteita rataosalle.

2 Radan rakentamisen teoria

Suuri osa radan rakentamista käsittelevästä aineistosta on Väyläviraston ratateknisiä ohjeita, eli RATOja. Väylävirasto ylläpitää ohjelutteloita, jotta ajantasainen tieto on varmasti saatavilla sitä tarvitseville. Niihin on koottu annetut määräykset, turvallisuus- ja tekniset ohjeet. Radan rakentamiseen liittyvät ohjeet ovat osa Väyläviraston rautatietoimintojen turvallisuusjohtamisjärjestelmää (Väylävirasto 2020, 1).

2.1 Radan geometria

Kaarre radalla koostuu ympyränkaaresta ja yleensä siihen liittyvistä siirtymäkaarista. Nämä muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden, jossa raiteen suunta muuttuu koko matkan samaan suuntaan. Suoran päättyessä ja ennen ympyränkaaren alkamista käytetään normaalisti siirtymäkaarta. Kallistetuilla raiteilla niitä käytetään aina. Näin raiteen kaarevuus ei ala pistemäisesti suoran päättyessä, vaan siirtymää lievennetään pidemmällä matkalla siirtymäkaaren avulla. Tämä pienentää siirtymän kohdassa tapahtuvaa poikittaiskiihtyvyyden muutosta, eli nykäystä. (Taimela 2011, 22-25.) Ilman siirtymäkaarta nykäys on kaarteiden alkaessa suurempi. Junan matkustaja kokee nykäyksen junan terävänä heilahduksena sivusuunnassa. Voimakas nykäys voi aiheuttaa esimerkiksi matkustajan kaatumisen.

Kaarteissa raiteen kallistuksella on mahdollista vähentää poikittaiskiihtyvyyden haittavaikutuksia ja näin nostaa nopeutta. Kallistusta kasvattaessa on kuitenkin huomioitava eri nopeuksilla kulkevat erityyppiset junat kyseisellä rataosalla. Näitä ovat esimerkiksi veturivetoiset ja moottorijunatyypiset henkilöjunat sekä tavarajunat. Henkilöjunien osalta kaarteiden nopeusrajoituksessa on huomioitava matkustusmukavuus. Siksi kaarteissa ei yleensä käytetä teoreettisesti ihanteellista tasapainokallistusta kaarteeseen suunnitellulle junanopeudelle, sillä se voi aiheuttaa matkustajille matkapahoinvointia. Parempi matkustusmukavuus saadaankin aikaiseksi normaalikallistuksen avulla, joka tuottaa matkustajille tunteen sivuttaiskiihtyvyydestä ja kaarteesta. (Taimela 2011, 78.)

Tämän lisäksi on huomioitava, että kaarteiden kiskojen kulumisen pitäisi olla sisä- ja ulkokiskon puolella mahdollisimman tasaista (Taimela 2011, 78). Jos kaarteiden kallistus ei ole junan nopeudelle sopiva, aiheutuu tästä laippakosketus pyörän ja kiskon välille. Tässä tilanteessa toisessa pisteessä, jossa kisko ja pyörä koskettavat, tapahtuu luistoa, joka kuluttaa kiskoa ja pyörää. (Loponen, Nurmikolu & Salmenperä 2016, 12-13.) Jos kaarteissa radalla on junan nopeuteen nähden kallistuksen vajoitus, nojautuvat junan vaunut kaarteissa ulkokiskoon. Jos taas radalla on junan nopeuteen nähden liikakallistus, nojautuvat junan vaunut kaarteissa sisäkiskoon. (Loponen ym. 2016, 104.) Näin vaunun painopisteen sijainti voi siirtyä kaarteissa liikaa sivulle aiheuttaen jopa vaunun kaatumisen ja junan suistumisen raiteilta.

Junan kulun on oltava kaarteissa turvallista kaikilla nopeuksilla. On myös varottava, etteivät hitaasti kaarteissa kulkevat ja siellä pysähtyvät junat juutu kiinni kaarteiden liian suureen kallistukseen (Taimela 2011, 78). Jos kaarre on pienisäteinen ($R < 320$ m), voi suuri kallistus kaarteissa aiheuttaa suistumisriskin vääntöjäykille tavaravaunuille (RATO osa 2, 2010, 29). Myös kallistusviiste voi aiheuttaa ongelmia kaksiakseliselle pitkän akselivälillä omaavalle kevyelle tavaravaunulle, jolloin pyörien laipat voivat joutua kosketuksiin kiskon kanssa ja nostaa pyörän kiskon päälle. Tällöin vaunu saattaa suistua kiskoilta. Kallistusviisteessä raiteen kallistus muuttuu. Yleensä se tapahtuu siirtymäkaaren matkalla. (Taimela 2011, 18, 79, 91.)

Kaarteissa nopeutta rajoittavia tekijöitä voivat olla liian pieni kaarresäde, lyhyet siirtymäkaaret, kallistusviisteet tai liian pieni raiteen kallistus. Joissain tapauksissa nopeutta saattaa olla mahdollista nostaa pelkästään raiteen kallistusta kasvattamalla, jolloin kompensoimaton sivukiihtyvyyden pienenee. Tällaiset mahdollisuudet ovat kuitenkin todennäköisesti rajalliset, koska kallistuksen kasvattaminen vaatii yleensä myös siirtymäkaaren ja kallistusviisteen pidentämistä, mistä seuraa väistämättä myös muutoksia ratalinjan geometriaan. Toisin sanoen radan linjaus kaarteissa muuttuu. Rajoitteeksi kallistuksen kasvattamiselle tulee usein myös se, että hitaiden tavarajunien kulku hankaloituu, jos kallistus on niiden käyttämälle nopeudelle liian suuri ja sisäkaarteiden puoleisten pyörien laipat ottavat liikakallistuksen vuoksi kiinni kiskon sisäreunaan ja lisäävät kulkuvastusta sekä kiskojen kulumista. Radan geometriaa suunniteltaessa kaarresäteen suositusarvo on sellainen, jonka toteuttamiseen on aina syytä pyrkiä, jos se ympäristön (rautatiealue, rakennettu ympäristö) puolesta on mahdollista. Usein kuitenkin kaarresäteen kasvattaminen tarkoittaa rataoikaisua, vaikkakin joissain tapauksissa säteen muutostarve voi olla niin pieni, että raide pysyy olemassa olevan penkereen päällä. (Martikainen 2019).

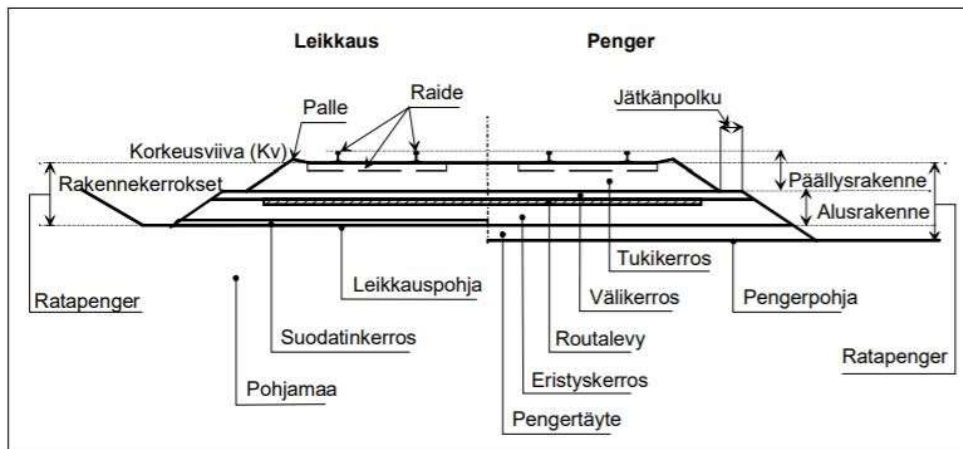
Tavanomaisen kaluston nopeudella 200 km/h kaarresäteen suositusarvo on 3 000 m. Kaarresäteiden ja normaalikallistuksen suositusarvot nopeuksille 50–200 km/h on esitetty taulukossa 1. Suositusminimi nopeudelle 200 km/h on 2 400 m ja ehdoton minimi on 1 940 m. (Järvinen 2019.)

Taulukko 1. Suositellut kaarresäteet eri mitoitusnopeuksilla 200 km/h asti (RATO osa 2, 2010 muokattu, 28)

Normaalikallistus (mm)	Mitoitusnopeus km/h							
	50	80	100	120	140	160	180	200
~110	300	500	800	1100	1500	1900	2400	3000
~80	400	700	1000	1500	2000	2600	3300	4000
~40	600	1200	2000	3000	4000	5000	6000	7000

2.2 Radan rakenteet

Rata koostuu radan päällysrakenteesta ja alusrakenteesta. Rata on monikerroksinen kokonaisuus, jossa jokainen kerros jakaa kuormaa tasaisesti alapuolellaan olevalle kerrokselle. Radan rakennekerroksien järjestystä selventää kuvio 1.



Kuvio 1. Radan rakenneosat (RATO osa 3, 2018, 8)

Radan päällysrakenne

Radan päällysrakenne on se osa radasta, joka näkyy radan varressa sitä katselevalle. Sen rakenneosat ovat raide ja tukikerros (RATO osa 3, 2018, 7–8). Rakenneosien sisältö on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Radan päällysrakenne (RATO osa 3, 2018, 7–8.)

Päällysrakenteen rakenneosat	Kuvaus
Raide	Radan pintapuoliset elementit, esimerkiksi ratapölkyt ja -kiskot.
Tukikerros	Koostuu raidesepeleistä tai -sorasta. Pitää radan oikeassa asennossa ja paikassa jakaen kuormat radan alusrakenteelle.

Radan päällysrakenneluokka

Päällysrakenneluokkia on kuusi. Luokat on nimetty A, B₁, B₂, C₁, C₂ ja D. Päällysrakenneluokan ominaisuudet paranevat kohti luokkaa D, jossa sallitaan suurimmat akselipainot ja nopeudet junille. Päällysrakenneluokka huomioi raiteen tukikerroksen materiaalin (sora vai sepeli), kiskotyypin ja ratapölkkyjen materiaalin (puu vai betoni). (Tuominen A. 2010, 21–23.)

Päällysrakenneluokka aiheuttaa rajoituksia nopeuteen sekä henkilö- että tavarajunille. Tavarajunilla päällysrakenneluokka rajoittaa nopeuden lisäksi myös junan suurinta mahdollista akselipainoa. Henkilöjunilla luokasta riippuvat sallitut nopeudet ovat Suomessa välillä 70–220 km/h ja tavarajunilla 50–120 km/h. Nämä rajoitukset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Päällysrakenneluokat ja niiden vaikutus nopeuteen (Tuominen 2010, 23)

Päällysrakenneluokka	Päällysrakenne			Matkustajajunan suurin sallittu nopeus (km/h)	Tavarajunan suurin sallittu	
	Kiskot	Ratapölkkyt	Tukikerros		Akselipaino (t)	Nopeus (km/h)
A	K30 tai K33	Puu	Raidesora tai vastaava	70	16	50
B ₁	K43, 54E1, K60 tai 60 E1	Puu	Raidesora tai vastaava	100	16 20 22,5	100 60 50
B ₂	K43 tai K60	Puu tai betoni	Raidesepeli	110	16 20 22,5	100 60 50
C ₁	54E1	Puu tai betoni (ennen v 1987 valmistetut)	Raidesepeli	160 (puuratapölkkyt) 180 (betoniratapölkkyt)	20 22,5 25	120 100 60
C ₂	54E1	Betoni (v. 1987 ja sen jälkeen valmistetut)	Raidesepeli	200	20 22,5 25	120 100 80
D	60E1	Betoni	Raidesepeli	220	20 22,5 25	120 100 100

Radan alusrakenne

Radan alusrakenne koostuu välikerroksesta, routalevystä, eristyskerroksesta ja suodatinkerroksesta (RATO osa 3, 2018, 7–8). Näiden tehtävät on kuvattu taulukossa 4.

Taulukko 4. Radan alusrakenne (RATO osa 3, 2018, 6–8.)

Alusrakenteen rakenneosat	Kuvaus
Välikerros	Toimii sen yläpuolella olevan radan päällysrakenteeseen kuuluvan tukikerroksen alustana ja estää ylä- ja alapuolisten kerroksien sekoittumisen keskenään.
Routalevy	Mahdollinen rakenneosa välikerroksen ja eristyskerroksen välissä tarvittaessa. Lisää ratarakenteen lämmöneristävyttä ja eristyskerroksen tavoin vähentää tai estää pohjamaan routimista.
Eristyskerros	Vähentää tai jopa estää radan alaisen maan routimista ja sen vaikutuksia radalle. Siirtää kuormat radalta pohjamaalle ja estää kapillaarisen veden nousun.
Suodatinkerros	Mahdollinen rakenneosa alusrakenteessa eristyskerroksen alla tarvittaessa. Tarkoituksena estää eristyskerroksen sekoittuminen pohjamaahan.

Radan alusrakenneluokka

Ratojen alusrakenneluokkia on viisi. Rataa rakennettaessa radan alusrakenneluokan vaatimustason määrää henkilöliikenne tai tavaraliikenne sen mukaan, kumpi vaatii nopeutensa tai kuljetuskapasiteettinsa puolesta korkeampaa alusrakenneluokkaa. Jatkuvakiskoraiteisella radalla on alusrakenneluokan oltava vähintään luokkaa 1 ja vaihteiden kohdalla korkeinta luokkaa 4. (RATO osa 3, 2018, 16.)

Alusrakenneluokassa 0 vaatimukset radan rakenteille ovat pienimmät ja ne kasvavat lähestyttäessä luokkaa 4. Näitä vaatimuksia ovat esimerkiksi sallittu pysyvän painuman, pituus- ja sivuttaiskaltevuuden määrä radalla ja ratapenkereen leveys. (RATO osa 3, 2018, 17–20.)

Myös radan alusrakenneluokka rajoittaa radan nopeutta. Henkilö- ja tavaraliikenteellä on akselipainonsa mukaan omat vaatimuksensa radan alusrakenneluokan suhteen. Nämä nopeusrajoitukset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Alusrakenneluokat ja suurimmat sallitut nopeudet (RATO osa 3, 2018, 16)

Alusrakenneluokka	Henkilöliikenteen suurin sallittu nopeus, V [km/h]	Tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus 225 kN akselipainolla, V [km/h]	Tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus 250 kN akselipainolla, V [km/h]
0	≤ 50	≤ 40	≤ 40
1	≤ 120	≤ 100	≤ 60
2	≤ 200	≤ 100	≤ 80
3	≤ 250	≤ 120	≤ 100
4	> 250	> 120	> 100

Taulukosta 5 selviää, että jotta rata mahdollistaisi henkilöjunille vähintään nopeuden 200 km/h, riittää alusrakenneluokaksi 2. Tavaraliikenteen näkökulmasta taas alusrakenneluokka 2 mahdollistaa akselipainoilla 225 kN asti nopeuden 100 km/h ja 250 kN akselipainolla nopeuden 80 km/h. Jotta 250 kN akselipainoiset tavarajunat voivat ajaa radalla 100 km/h, pitää alusrakenneluokan olla vähintään luokkaa 3. Tavaraliikenteen näkökulmasta voikin olla tarpeen parantaa alusrakenneluokkaa tasolle 3 asti, jolloin nopeusero henkilöjuniin hieman kapenee. Jos rataosalla kulkee 250 kN akselipainoisia junia, on 80 km/h kulkeva juna huomattavan hidas verrattuna 200 km/h kulkevaan henkilöjunaan. Näin hitaalle junalle voi olla vaikeaa löytää sopivaa kulkuväliä, jos radalla on vilkas liikenne.

Pengerleveys

Pengerleveys tarkoittaa leveyttä, johon radan alusrakenteen ylimmäinen kerros rakennetaan. Normaalisti se tarkoittaa välikerroksen yläpinnan leveyttä. Radalle valittava pengerleveys riippuu radan jäykkyydestä, raiteiden määrästä, alusrakenneluokasta, radan geometriasta, raidevälistä ja mahdollisesta sillan läheisyydestä. (RATO osa 3, 2018, 19–20.)

Pengerleveys aiheuttaa mahdollisesti nopeusrajoituksen radalle. Jos pengerleveys on suoralla ja kaarteissa 5,4 m, radalla sallitaan henkilöliikenteelle korkeintaan nopeus 50 km/h ja tavaraliikenteelle akselipainoille 250 kN asti korkeintaan nopeus 40 km/h. Jos pengerleveys on suorilla ja kaarteissa 6,0 m, sallitaan radalla henkilöliikenteelle 120 km/h nopeus ja tavaraliikenteelle 225 kN akselipainoille asti 100 km/h ja 250 kN akselipainoille 60 km/h. (RATO osa 3, 2018, 19–21.) Jotta 200 km/h nopeusrajoitus olisi mahdollinen henkilöliikenteelle, on pengerleveyden oltava suoralla vähintään 6,0 m ja kaarteissa 6,8 m (Hakala 2019).

Raideväli

Raidevälillä tarkoitetaan rinnakkaisten raiteiden keskilinjojen välistä etäisyyttä. Uudet radat rakennetaan suoralla raiteella raidevälille 4 500 mm. Olemassa olevia ratoja muokattaessa raidevälin minimiarvo on 4 100 mm ja vaihteiden kohdalla yleensä vähintään 4 300 mm. Pitkien vaihteiden yhteydessä on raideväli tutkittava erikseen. Raideväliä on kasvatettava myös tilanteissa, joissa vierekkäisillä raiteilla on eri kaarresäde tai eri kallistus. Kun raiteita on useampia kuin kaksi, pitää ainakin yhden raidevälin olla leveämpi muun muassa sähköratapylväitä varten. Lisäksi rautatieliikenteen liikennepaikoille on omat ohjeensa. Rautatieliikennepaikat ovat pisteitä rataverkolla, joiden välillä on linjaosuudet. Piste voi olla vaikka useammasta raiteesta koostuva ratapiha tai asema. (RATO osa 2, 2010, 9, 51–52.)

Kaksi tai useampi raiteisilla radoilla rinnakkaisten raiteiden raideväli vaikuttaa radan suurimpaan sallittuun nopeuteen. Uudet radat rakennetaan suoran raiteen raidevälille 4 500 mm, joka mahdollistaa nopeuden 250 km/h asti. Vanhoilla rataosilla raideväli on usein kuitenkin pienempi. Raideväli 4 100 mm mahdollistaa nopeuden 140 km/h. Nopeuden lupa-arvona voidaan 4 100 mm raidevälillä sallia kuitenkin maksimissaan 160 km/h. Raideväli 4 300 mm mahdollistaa nopeuden 200 km/h. (RATO osa 2, 2010, 51.) Vanhat radat ovat usein rakennettu niin, että ne mahdollistavat vain nopeudet 140–200 km/h (Järvinen 2019).

Ratakiskot

Ratakiskoja on kahdenlaisia: niitä, joilla on standardi ja niitä, joilla ei ole. Standardin mukaiset kiskot sallivat oleellisesti suuremmat nopeudet tavara- ja henkilöjunille kuin standardoimattomat.

Kiskoprofiileja, jotka ovat eurooppalaisen standardointijärjestön CEN:n standardoimia, merkitään kiskon massan kokonaisina kilogrammoina metriä kohden ilmoittavalla luvulla, E-kirjaimella ja standardin ilmoittavalla versioluvulla.

Esimerkkinä on kiskoprofiilitunnus 60E1. Jos kiskoprofiili ei ole CEN:n standardoima, sitä merkitään K-kirjaimella ja kiskon massan kiloina metriä kohden ilmoittavalla luvulla pyöristettynä kokonaisluvuksi. Esimerkkinä on kiskoprofiilitunnus K43.

Pääraiteilla käytettäviä kiskoja ovat K30, K43, 54E1 ja 60E1. (RATO osa 11, 2002, 33.)

Kiskotyyppien tarkemmat arvot on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Ratakiskojen päämitat (RATO osa 11, 2002 muokattu, 34)

Ratakiskon tunnus	Korkeus (mm)	Hamaran* leveys (mm)	Massa (kg/m)	Poikkipinta-ala (mm ²)
K30	120	56	30,00	3817
K33	128	60	33,48	4275
K43, K43S	140	70	43,57	5564
54E1	159	70	54,43	6934
K60	165	78	59,74	7610
60E1	172	72	60,34	7686

* Kaluston pyörän kanssa kosketuksissa oleva pinta kiskosta

Eri kiskotyyppit rajoittavat nopeutta sekä tavara-, että henkilöjunilla. Kiskotyyppit ja niiden mahdollistamat suurimmat nopeudet eri akselipainoilla on esitetty tavarajunille taulukossa 7 ja henkilöjunille taulukossa 8. (RATO osa 11, 2002, 13.)

Taulukko 7. Tavaravaunujen suurimmat sallitut akselipainot ja nopeudet eri kiskotyypeillä (Tavaravaunut ovat kaksiakselisia, paitsi akselipainolla 250 kN neliakselinen) (RATO osa 11, 2002, 13)

Rata- kiskon tunnus	Suurin sallittu		Suurin sallittu		Suurin sallittu	
	akselipaino P [kN]	nopeus V [km/h]	akselipaino P [kN]	nopeus V [km/h]	akselipaino P [kN]	nopeus V [km/h]
K30*	225	20	200	40	160	50
K33*	225	20	200	40		
K43, K43S	250*	10*	225*	50*	200*	60*
	250	20	225	80	200	90
K60	250	30	225	50		
54 E1	250	80	225	120	200	160
60 E1	250	100	225	140	200	200

* soratukikerros

Taulukko 8. Henkilövaunujen suurimmat sallitut akselipainot ja nopeudet eri kiskotyypeillä (Henkilövaunut ovat neliakselisia) (RATO osa 11, 2002, 13)

Ratakiskon tunnus	Suurin sallittu akselipaino [kN]	Suurin sallittu nopeus V [km/h]	Suurin sallittu akselipaino [kN]	Suurin sallittu nopeus V [km/h]
K30*	180	50	160	70
K33*	180	50		
K43, K43S	200*	80*	180*	100*
	200	100	180	110
K60	200	50		
54 E1	200	160	180	200
60 E1	200	200	180	250

* soratukikerros

Kiskotyyppi 60E1 mahdollistaa tavarajunille akselipainolla 200 kN suurimmaksi sallituksi nopeudeksi 200 km/h. Nopeus rajoittuu vaunujen akselipainojen noustessa. Henkilöjunilla kiskotyyppi 60E1 mahdollistaa nopeuden 200 km/h jopa akselipainolla 200 kN. (RATO osa 11, 2002, 13.) Tavarajunat eivät kuitenkaan esimerkiksi jo

pelkästään kaluston aiheuttamista rajoituksista johtuen voi liikkua rataverkolla 60E1 kiskotyypin mahdollistamaa nopeutta.

Radalle asennettavien kiskojen on oltava lisäksi uusia 60E1 tai 54E1 kiskoja, kun radalla sallitaan yli 160 km/h nopeudet. Muutoin nopeus rajoittuu. (RATO osa 7, 2011, 46.)

Kiskotyypin lisäksi nopeutta voi rajoittaa myös ratapölkkyjen tyyppi (RATO osa 11, 2002, 14). Myös ratapölkkyjen heikko kunto voi aiheuttaa nopeusrajoituksen, jos heikkokuntoisia ratapölkkyjä on riittävän suuri prosenttimäärä kaikista ratapölkkyistä 200 metrin matkalla. (RATO osa 15, 2000, 19). Kiskotyypit ja ratapölkkyt ovat kuitenkin yleensä sidoksissa päällysrakenneluokkaan, eli ratapölkky- ja kiskotyyppi paranee päällysrakenneluokan noustessa. Korkeimmassa luokassa radalla on aina betoniset ratapölkkyt ja 60E1 kiskot. (Rautateiden verkkoselostus 2019, 2019, liite 3F / 1.)

Pääraiteiden kiskotuksesta 60E1 kiskoa oli vuonna 2018 55 % pääraiteiden ratapituudesta. 54E1 kiskoa on 31 %, K43 kiskoa 7 % ja K30 kiskoa 8 %. Radalla oli betoniset ratapölkkyt 76 % kokonaisratapituudesta. (Rautatietilasto 2018, 2019, 16, 18.)

Peräkkäisistä kiskoista muodostetaan raiteita. Raidetyyppejä ovat jatkuvakiskoraide (Jk-raide), pitkäkiskoraide (Pk-raide) ja lyhytkiskoraide (Lk-raide).

Jatkuvakiskoraiteella raidepituus on yli 300 metriä. Sitä suositellaan käytettäväksi raiteilla, joilla liikenteen nopeus on yli 50 km/h, kuormitus on erityisen raskasta tai käytettäessä betonisia ratapölkkyjä. Pitkäkiskoraiteella kiskon pituus on yli 25 metriä, mutta sen maksimipituus on 50 metriä. Pitkäkiskoraidetta voidaan käyttää silloilla vähentämään sysäyskuormaa. Muuten se on lähinnä tilapäisratkaisu ennen kiskojen jatkuvaksi hitsaamista. Lyhytkiskoraiteella kiskon pituus on korkeintaan 25 metriä. Lyhytkiskoraiteella lämpötilavaihtelu ei aiheuta haitallisia pitkittäisvoimia raiteeseen. (RATO osa 11, 2002, 5–10.) Nämä voivat aiheuttaa lämpökäyrän syntymisen kiskoon,

kun se ei pääse jatkuvakiskoisella raiteella laajenemaan pituussunnassa, vaan taipuu lämpötilan noustessa riittävän suureksi.

Jatkuvakiskoraide mahdollistaa junille nopeudeksi yli 120 km/h nopeudet. Se myös mahdollistaa yli 225 kN akselipainojen säännöllisen käytön tavaraliikenteessä.

Pitkäkiskoraide rajoittaa junien nopeutta. Suurin nopeus, jonka se mahdollistaa, on 120 km/h. Väyläviraston erikoisluvalla voidaan kuitenkin sallia maksiminopeus 140 km/h. Lyhytkiskoraidetta käytetään vain vähäliikenteisillä radoilla tai jos rataosalla esiintyy jatkuvakiskoraiteiselle radalle haitallisia painumia. Myös radan tukikerroksen ollessa soraa sepelin sijaan, rakennetaan raiteet lyhytkiskoraiteiksi. Lyhytkiskoraide rajoittaa junien nopeuden korkeintaan 120 km/h. (RATO osa 11, 2002, 9–10.)

2.3 Vaihteet

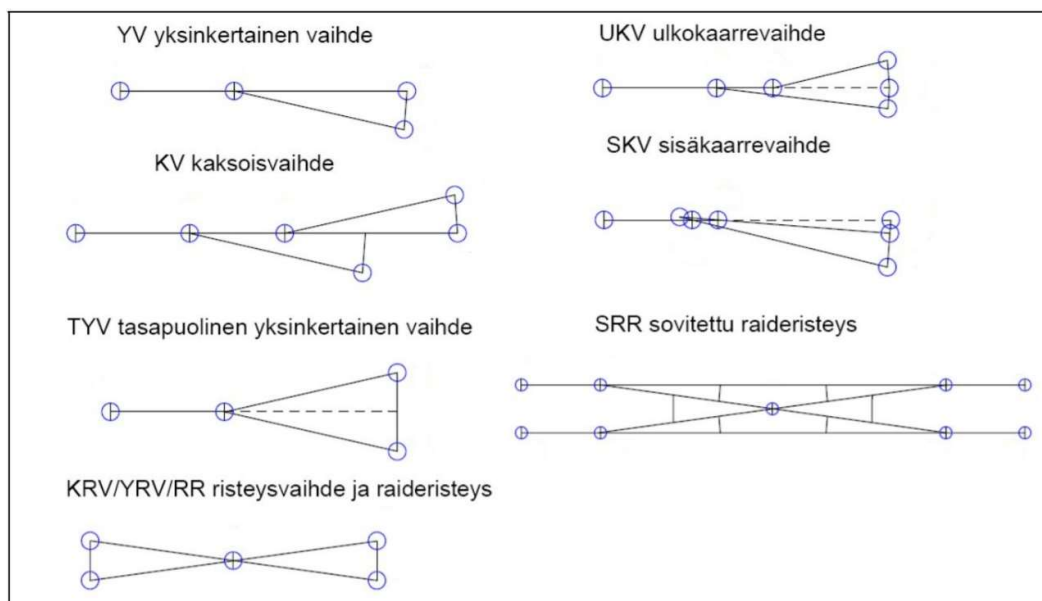
Vaihteet ovat kohtia radalla, joissa juna tai kiskoilla liikennöivä yksikkö voidaan ohjata raiteelta toiselle. Käytettävä vaihdetyyppi riippuu käyttökohteesta ja vaihteen ominaisuuksista. Vaihteet ovat valmiita elementtejä, eli rataa suunniteltaessa vaihteiden geometria ja sisäinen mitoitus on valmiiksi annettu. Vaihteilla on usein käteisyys, joka määrittyy siitä, kummalle puolelle vastavaihteeseen katsottuna poikkeava raide erkanevaihteesta. (Taimela 2011, 38–39.)

Vaihteen risteyssuhde

Vaihteen risteyssuhde on poikkeavan raiteen kulma suoraan raiteeseen verrattuna. Tämä kulma ilmoitetaan suhdelukuna, kuinka paljon poikkeavan raiteen suunta on sivussa tietyn etäisyyden päässä vaihteen matemaattisesta keskipisteestä. (Taimela 2011, 37–39.) Jos vaihteen risteyssuhde on 1:9 tai jyrkempi, eli esimerkiksi 1:7 tai sen poikkeavan raiteen kaarresäde on maksimissaan 300 metriä, on kyseessä lyhyt vaihte. Pitkissä vaihteissa risteyssuhde on loivempi kuin 1:9, eli esimerkiksi 1:11,1. Risteyssuhde on loivin 1:28-vaihteissa. Lisäksi pitkän vaihteen kaarresäde on yli 300 metriä. (RATO osa 4, 2012, 7.)

Vaihdetyypit

Vaihdetyypit voidaan jakaa neljään pääryhmään: yksinkertaiset vaihteet (lyhenne YV), kaksoisvaihteet (KV), raideristeyksiin (RR) ja risteysvaihteisiin. Lisäksi risteysvaihteet jaetaan vielä yksipuolisiin (YRV) ja kaksipuolisiin (KRV) risteysvaihteisiin. Yksinkertaisilla vaihteilla on myös erikoismuodot tasapuolinen yksinkertainen vaihde (TYV), ulkokaarrevaihde (UKV) ja sisäkaarrevaihde (SKV). (RATO osa 4, 2012, 10.) Taimela (2011, 46) mainitsee myös sovitetun raideristeyksen (SRR), joka on neljän vaihteen ja yhden raideristeyksen yhdistelmän muodostama kokonaisuus. Vaihdetyyppien kuvat on esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2. Eri vaihdetyypit ja niiden määräävät pisteet (Taimela 2011 muokattu, 40)

Yksinkertainen vaihde on yleisin vaihdetyyppi ja se koostuu suorasta ja poikkeavasta raiteesta, joille kulkutie tehdään kääntämällä vaihteen kielipari haluttuun suuntaan. Vaihteessa poikkeava raide kääntyy suoralta sivuun. Jos kyseessä on kaarrevaihde, poikkeava raide on raiteista se, jolla on pienempi kaarresäde. Yksinkertaiset vaihteet jaetaan pitkiin ja lyhyisiin vaihteisiin ja niiden jakoperusteena on vaihteen risteys-suhde ja poikkeavan raiteen kaarresäde. (Taimela 2011, 38–40.)

Rajamerkki

Vaihteiden haarojen päissä on aina rajamerkki. Se määrittää kohdan, jossa raiteella oleva kalusto voi lähimmillään vaihdetta olla ilman, että se häiritsee viereisellä vaihteen haaralla liikennöivää kalustoa. (Taimela 2011, 46–47.)

Vaihteen tyypistä riippuu, miten suuren rajoituksen nopeuteen ne aiheuttavat ylittävälle junalle. Eniten nopeus rajoittuu poikkeavalle raiteelle ajettaessa, mutta myös suoralla raiteella saattaa vaihteesta aiheutua rajoitus. Myös vaihteessa käytetty kiskotyypä voi aiheuttaa nopeusrajoituksen. Vaihteet on kuitenkin aina mitoitettu mahdollistamaan 10 % suurinta sallittua nopeutta suuremman ylitysnopeuden sekä suoralla että poikkeavalla raiteella. (RATO osa 4, 2012, 17.)

Vaikutukset vaihteen suoraa raidetta ajettaessa

Lyhyissä ja pitkissä 60E1-vaihteissa suoralla raiteella ajettaessa vaihteen ylittävän junan suurin sallittu nopeus on 220 km/h. Jos pitkässä vaihteessa on kääntyväkärkisillä kielillä varustettu risteys, sallii se vaihteen suoralla raiteella ylittävälle junalle jopa 300 km/h nopeuden. 54E1-vaihteissa suurin sallittu nopeus suoralla raiteella on 160 km/h. Raideristeyksissä nopeusrajoitus on 100 km/h. (RATO osa 4, 2012, 17.)

Vaikutukset vaihteesta poikkeavalle raiteelle ajettaessa

Lyhyet vaihteet mahdollistavat poikkeavalle raiteelle ajettaessa nopeuden 40 km/h. Pitkissä vaihteissa poikkeavan raiteen suurin sallittu nopeus riippuu vaihteen risteys-suhteesta. Nopeusrajoitus poikkeavalle raiteelle ajettaessa vaihteen risteysuhteen ollessa 1:11,1 ja 1:14 on 60 km/h. Risteysuhteen ollessa 1:15,5 ja 1:18, suurin sallittu nopeus on 80 km/h. Kun risteysuhte on 1:26, on vaihteessa mahdollista ajaa nopeutta 140 km/h ja risteysuhteen ollessa 1:28 on mahdollista ajaa jopa 160 km/h maksiminopeutta poikkeavalle raiteelle. (RATO osa 4, 2012, 17.)

Vaihteet ovat eri pituisia riippuen niiden risteysuhteesta. Esimerkiksi pisin vaihde (YV60) risteysuhteella 1:28 on yli 112 metriä pitkä, kun taas tavallinen lyhyt vaihde (YV54) risteysuhteella 1:9 on noin 28 metriä pitkä. (RATO osa 4, 2012, liite 1, 1–2.) Vaihteissa on myös eri määrä sähkökääntölaitteita riippuen vaihteen pituudesta ja tyypistä. Lyhyemmissä vaihteissa näitä on vain yksi, mutta pitkissä vaihteissa niitä on

aina vähintään kaksi. (Varis 2016, 2–3.) Sähkökääntölaitteilla muutetaan vaihteen asentoa raiteelta toiselle asetinlaitteen komentojen mukaan. 1:28 vaihde onkin siis jo melko pitkä ja monimutkainen kokonaisuus, eikä sellaisen sovittaminen radan parannuksen yhteydessä ole aina helppoa tai edes mahdollista jokaiselle liikennepaikalle ilman suuria muutoksia radan linjaukseen.

2.4 Sähkörata

Junarata voi olla sähköistämätön tai sähköistetty. Sähkörata mahdollistaa sähköveturin käytön rataosalla.

Suomessa on käytössä kaksi syöttöjärjestelmää, 25 kV ja 2 x 25 kV. Sähköradan rakenne koostuu mm. syöttö- ja välilytkinasemista, imu- ja radanvarsisäästömuuntajista, erottimista, eristimistä, metallirakenteiden suojamaadoitusjohtimista, sähköistettyjen raiteiden kiskoista, ratajohdon johtimista sekä niiden kannatinrakenteista, joita ovat pylväät, portaalit ja kääntöorret. (Sähkörataohjeet 2016, 8.)

Ajojohdin

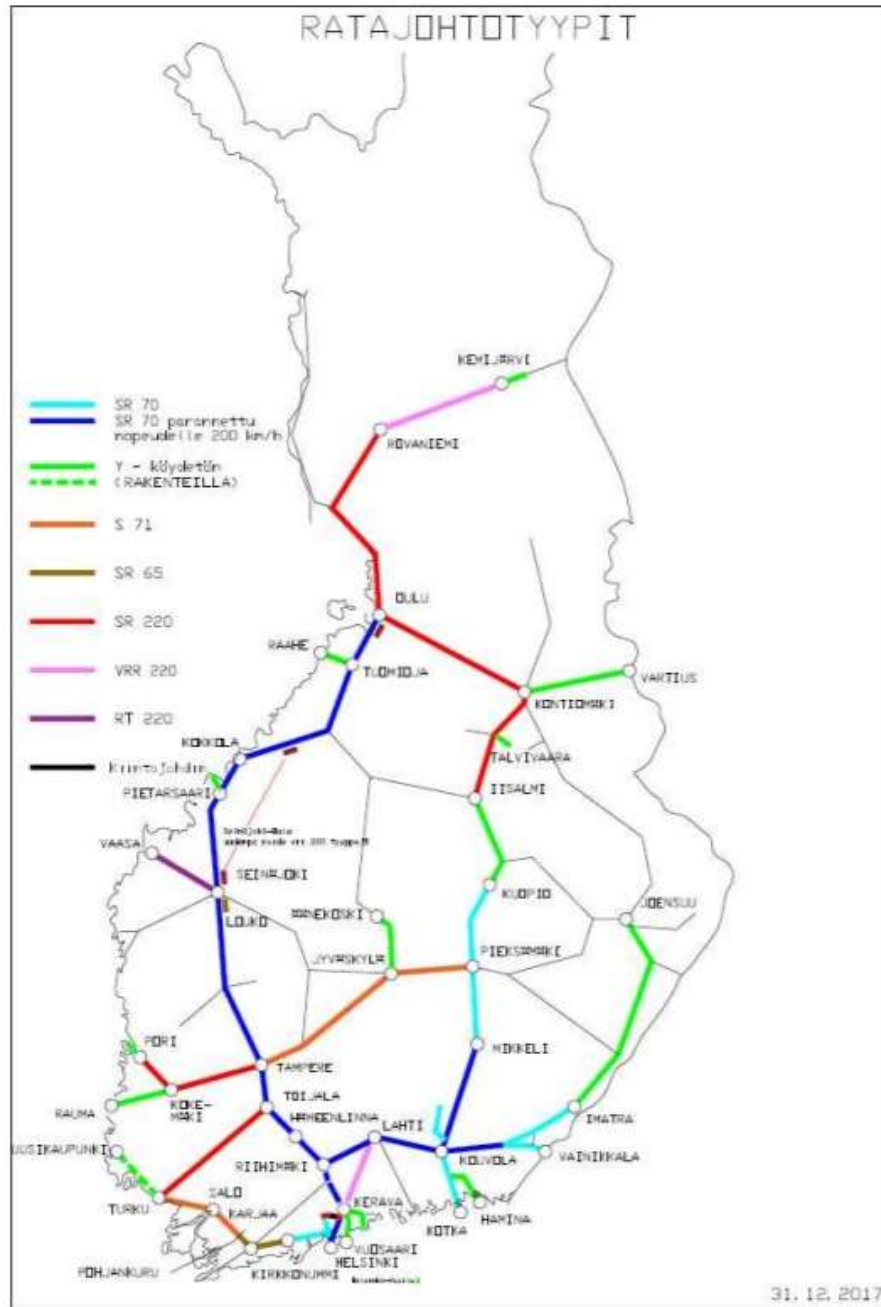
Ajojohdin on ajolangan ja kannattimen muodostama johdin, josta sähköveturi saa tarvitsemansa sähkövirran virroittimensa avulla. Ajojohdin voi muodostua myös pelkästä ajolangasta. (RATO osa 5, 2018, 10.)

Ratajohto

Ratajohto on ajojohtimen, mahdollisen paluujohtimen tai vastajohtimen ja kannatinrakenteiden muodostama johto (RATO osa 5, 2018, 14). Ratajohto on se näkyvässä oleva kokonaisuus sähköistetyllä radalla, joka muodostaa sähköradan raiteille. Siihen kuuluu sähkövirran siirtoon verkosta ajolankaan ja sieltä takaisin verkkoon tarvittavat johtimet, kuten myös fyysiset sähköratapylväsrakenteet ja niiden varusteet.

Suomen rataverkolla on yleisimmin käytössä yhdeksän erityyppistä ratajohtoa. Eri ratajohtotyypit ovat keskenään erilaista tekniikkaa ja aiheuttavat rajoituksen junien nopeudelle riippuen käytetystä ratajohdosta. Ratajohtotyypit on esitetty RATO osa 5 liitteessä 1. (RATO osa 5, 2018, Liite 1).

Suomessa käytössä olevat ratajohtotyypit on esitetty kartalla kuviossa 3. Ajojohdin ilman Y-köyttä mahdollistaa nopeuden 140 km/h. Ratajohdot SR 70 ja SR 160 aiheuttavat nopeusrajoituksen 160 km/h. Nopeutta 200 km/h on mahdollista ajaa ratajohdotyypeillä parannettu SR 70, SR 65 ja S 71 sekä näiden lisäksi SR 220, VR 220 ja RT 220, jotka sallivat nopeudet 220 km/h asti. (RATO osa 5, 2018, Liite 1.)



Kuvio 3. Ratajohtotyypit (RATO osa 5, 2018, Liite 1)

Kuviosta 3 voidaan todeta, että suurimmalla osalla radoista sähköradan mahdollistama nopeus on maksimissaan 160–200 km/h. Suomessa ei ole tällä hetkellä rakennettuna yli 220 km/h nopeuden sähkörataa.

Syöttöjärjestelmät

Suomessa on käytössä kaksi sähköradan syöttöjärjestelmää, imumuuntajilla varustettu 25 kV järjestelmä ja säästömuuntajilla varustettu 2 x 25 kV järjestelmä. Järjestelmän mitoitus perustuu ennustettuun liikenteeseen ja rataosalla samanaikaisesti liikennöivään junamäärään. Mitoitusta tehdessä huomioidaan rataosalla käytössä olevat juna- ja veturityypit, junapainot sekä käytetyn vetokaluston ottama teho ja tehokerroin. (RATO osa 5, 2018, 21.) Mitoitusta tehdessä apuna ovat soveltuvat rautatieliikenteen simulointiohjelmat. Valinta järjestelmien välillä tehdään pääasiassa taloudellisin perustein. Merkitsevää on myös liitännämahdollisuus 110 kV verkkoon. (RATO osa 5, 2018, 21.) 25 kV järjestelmä on huomattavasti yleisempi, kuin 2 x 25 kV järjestelmä. Vuonna 2015 2 x 25 kV syöttöjärjestelmä oli käytössä vain oikoradalla Keravan ja Lahden välillä sekä Pohjois-Suomessa. (Sähkörataohjeet 2016, liite 10.)

Sähköratajärjestelmän parantamiseen ei ole olemassa pieniä toimenpiteitä, joilla sen mahdollistamaa nopeutta voisi nostaa. Sähköratajärjestelmä on aina rakennettava uudelleen, jos sen mahdollistamaa nopeutta halutaan nostaa. (Saarro 2019.)

Sähköistämätön rata

Kaikki radat eivät ole sähköistettyjä. Sähköistämättömällä radalla suurimman mahdollisen nopeusrajoituksen siellä liikkuvalla junalle aiheuttaa Suomessa dieselveturin maksiminopeus, jos muut tekijät eivät rajoita nopeutta tätä alemmaksi. Suurin mahdollinen nopeus sähköistämättömällä rataosalla on tällä hetkellä VR Yhtymä Oy:n Dr16-veturin mahdollistama 140 km/h (Veturityypit n.d.).

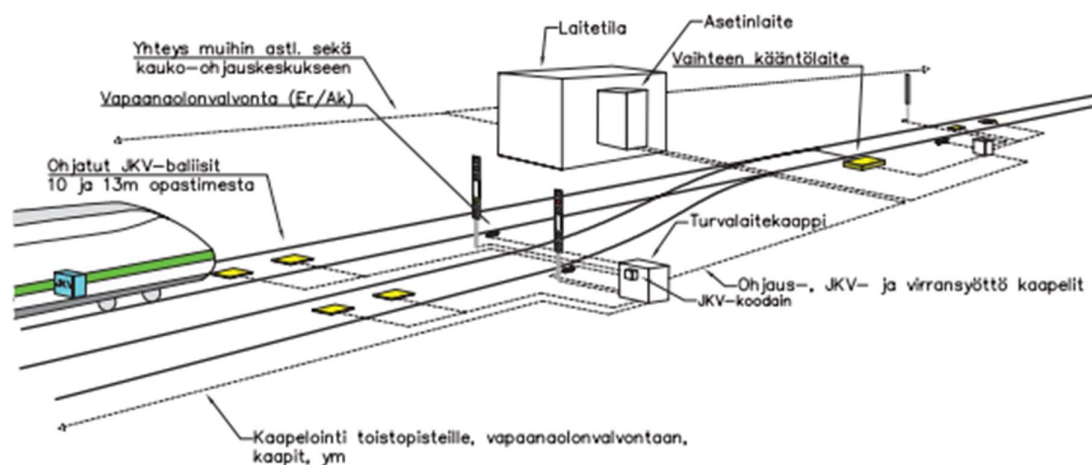
2.5 Turvalaitteet

Rautateiden turvalaitteilla varmistetaan yhdessä liikennöinnistä annettujen määräysten kanssa turvallinen liikkuminen rataverkolla. Lisäksi turvalaitteet muodostavat ra-

dan liikenteenvälityskapasiteetin. Turvalaitteisiin luetaan kaikki asetinlaitteisiin, suojastusjärjestelmiin, varoituslaitoksiin sekä junien kulunvalvonta-, kauko-ohjaus- ja las-kumäkijärjestelmiin kuuluvat laitteet. Turvajärjestelmän on oltava varmistettu niin, että yksittäisessä järjestelmän virhetilanteessa liikenne ohjataan hallitusti turvalliseen tilaan. (RATO osa 6, 2014, 22.) Tämä tarkoittaa esimerkiksi liikenteen pysäyttämistä.

Turvalaitteet ovat yksittäisiä laitteita, kun taas turvalaitokset ovat kahdesta tai useammasta turvalaitteesta koostuva kokonaisuus. Esimerkiksi puomivaroituslaitos koostuu puomeista, tieopastimista ja varoituskelloista. (RATO osa 6, 2014, 16–19.)

Radan turvalaitteiden välittämät viestit välittyvät näkyvien opasteiden lisäksi junille JKV-järjestelmän avulla. JKV-järjestelmä sisältää JKV-veturilaitteet ja JKV-ratalaitteet. JKV-ratalaitteita ovat kaikki baliisit ja muut laitteet, joilla opastimien ja asetinlaitteen tiedot siirretään radalla liikkuville junille. JKV-veturilaitteet taas tarkoittavat liikkuvassa kalustossa olevia JKV:n laitteita. (RATO osa 10, 2014, 10.) Kaikkia liikennöitäviä ratoja ei kuitenkaan ole varustettu JKV-järjestelmällä. Lisäksi rataverkolla liikkuu muuseojunia ja radan kunnossapidon kalustoa ilman JKV-laitteita. JKV-järjestelmä on kuitenkin asennettuna noin 98 %:iin kaikesta radoilla liikkuvasta kalustosta Suomessa. (Vainiomäki 2019, 2.) JKV-järjestelmää ja turvalaitteita selventää kuvio 4.



Kuvio 4. JKV-turvalaitejärjestelmä (Härkönen & Järvinen, 2014, 25)

Asetinlaite

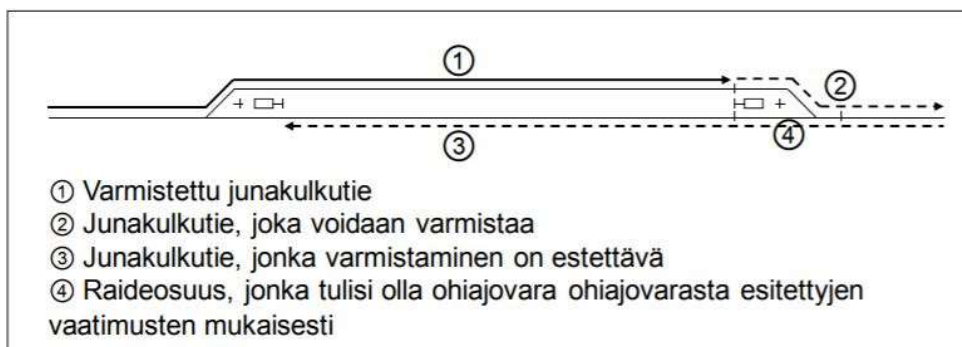
Junien kulkuteiden varmistamiseen käytettävää järjestelmää kutsutaan asetinlaitteeksi. Vanhimmat asetinlaitteet ovat mekaanisia, uudemmat sähköisiä ja nykyaikaisimmat tietokoneohjattuja. (RATO osa 10, 2014, 23–25.) Asetinlaite varmistaa, täytyvätkö järjestelmään asetetut ehdot junakulkutien asettamiseksi. Mikäli ehdot täyttyvät, asetinlaite turvaa junalle kulkutien. (RATO osa 10, 2014, 9.)

Asetinlaitteita ohjataan kauko-ohjausjärjestelmällä, joka on liitetty esimerkiksi sähköradan kaukokäyttö- ja matkustajainformaatiojärjestelmiin. Asetinlaitetta voidaan poikkeustapauksessa ohjata myös erilliskäytöllä paikan päällä. (RATO osa 6, 2014, 152–153.) Rautateiden liikenteenohjaus ohjaus kuuluu Finrail Oy:lle, joka on keskittänyt asetinlaitteiden ohjauksen viiteen liikennepalvelukeskukseen: Helsinkiin, Tampereelle, Ouluun, Kouvolaan ja Joensuuhun. (Rautatieliikenteenohjaus n.d.)

Junakulkutie

Junakulkutie on junan varmistettu reitti. Siihen kuuluu junakulkutien varrella olevat opastimet, vaihteet ja raideosuudet. Kulkutiehen liittyvät mahdolliset sivusuoja- ja muut turvalaite-elementit. Junakulkutie alkaa lähtöpaikalla ja se päättyy määräpaikassa. (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (Jt) 2020, 7.) Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että asetinlaite muodostaa junakulkutien, eli reitin, jota juna kulkee mahdollisten vaihteiden kautta ja varmistaa, ettei muilta raiteilta samaan aikaan ole muodostettu, tai mahdollista muodostaa, sen kanssa risteävää junakulkutietä. Kun juna on poistunut varatulta osuudelta, vapautuvat raiteet taas muun liikenteen käyttöön. Opastin näyttää seis-opastetta niin kauan, kun junakulkutie on varautuneena (RATO osa 6, 2014, 26). Junakulkutietä havainnollistaa kuvio 5.

Junakulkutie on kuviossa 5 varmistettu pohjoisenpuoleiselle raiteelle. Se tarkoittaa, että kulkutien varrella olevat opastimet näyttävät vasemmalta puolelta saapuvalla junalla ajon sallivia opasteita nuolen osoittamalla matkalla ja että vaihde on käännetty valmiiksi kyseiselle raiteelle. Varmistettu kulkutie päättyy nuolen kärjen kohdalle, johon junan on pysähdyttävä seis-opastetta näyttävälle opastimelle.



Kuvio 5. Junakulkutie ja ohiajovara (RATO osa 6, 2014, 51)

Kulkutietyyppejä ovat junakulkutie ja vaihtokulkutie. Lisäksi ratatyö estää kulkuteiden varaamisen liikennöintiin (Rautatieliikenteenohjauksen käsikirja 2017, 7). Junakulkutie on varmistettava junalle ennen kuin liikenteenohjaus voi antaa sille lähtöluvan. Tämän jälkeen juna saa siirtyä lähtöpaikaltaan junakulkutien päätekohtaan tai liikenteenohjauksen määräämään paikkaan noudattaen kulunvalvonnan veturilaitetta ja kaikkia radan opasteita ja merkkejä. (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (JT) 2020, 14–15.) Junakulkutien muodostaminen mahdollistaa siis osaltaan junan liikkumisen radan suurimman sallitun nopeuden mukaisesti.

Vaihtokulkutiellä tarkoitetaan vaihtotyöyksikölle muodostettua reittiä ja sitä käytetään vain vaihtotöissä. Vaatimukset vaihtokulkutielle eivät ole yhtä tiukat kuin junakulkutielle. Se voidaan esimerkiksi varmistaa ilman sivusuojaa ja ohiajovaraa, mitkä vaaditaan junakulkutieltä. (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (JT) 2020, 9–16.) Vaihtotyönä siirretään esimerkiksi kalustoa sivuraiteelta lähtöraiteelleen liikennepaikan sisällä. Vaihtotyössä nopeus saa olla korkeintaan 35 km/h, tai tiettyjen ehtojen täytyessä 50 km/h (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (JT) 2020, 20).

Ratatyötä varten liikenteenohjauksen on varmistuttava siitä, että ratatyön kohteena olevalle alueelle ei voida tehdä kulkutietä. Ratatyölle on varattava etukäteen kapasiteetti ja ratatyön päättymisestä on tehtävä ilmoitus liikenteenohjaukselle. (Rautatieliikenteenohjauksen käsikirja 2017, 30–31.)

Opastin ja opaste

Rautatieliikenteessä käytettäviä liikennevaloja kutsutaan opastimiksi. Niistä on esimerkki kuviossa 6. Opastin on turvalaite-elementti, jolla voidaan välittää näkyvä opaste (RATO osa 10, 2014, 15). Lisäksi opastimet on suunniteltava niin, että vaatimukset näkemälle täyttyvät (RATO osa 10, 2014, 26). Näkemä määritellään tässä työssä kappaleessa 2.8.1.

Junaliikenteessä käytettäviä opastimia ovat pääopastin, suojustusopastin, esiopastin, raideopastin, yhdistelmäopastin, lukitusopastin ja tasoristeysopastin. Näistä junaliikenteen pysäyttävä seis-opaste voidaan näyttää pää-, suojustus-, raide-, yhdistelmä- ja lukitusopastimella. Ajon salliva opaste voidaan näyttää esiopastinta lukuun ottamatta kaikilla opastimilla. (RATO osa 10, 2014, 28–31.)

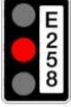
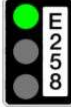

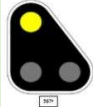

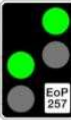
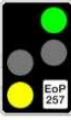
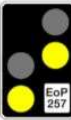


Kuvio 6. Raiteiden 001 ja 002 pää- ja esiopastimet Tampereen liikennepaikalla etelän suuntaan. Opastin E001 on pääopastin ja näyttää opastetta *aja*. Sen alapuolella on esiopastin, joka näyttää opastetta *odota aja*. Pääopastin E002 näyttää opastetta *seis*.

Opastimilla näytettävät opasteet on esitetty taulukossa 9. Taulukossa on käytetty pohjavärejä kuvaamaan opasteen lajia. Punaisella pohjalla oleva opaste *seis* on liikku-
misen pysäyttävä opaste. Vihreällä pohjalla olevat opasteet saa ohittaa, mutta osa niistä asettaa ehtoja nopeudelle tai liikkumiselle opastetta näyttävän opastimen jäl-
keen. Keltaisella pohjalla olevat opasteet ovat esiopastimen näyttämiä opasteita. Ne toistavat vain seuraavan pää-, suojustus- tai yhdistelmäopastimen näyttämän opas-
teen. (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (JT) 2020, 47–52.) Vanha vii-
dakon sananlasku rautateiltä onkin, että valtion rataverkolla opastimella näytetyn
opasteen saa aina ohittaa, ellei se ole väriltään punainen.

Opastin voi olla myös pimeänä. Jos opastin, joka kykenee näyttämään seis-opasteen, on pimeänä, tulkitaan pimeä opastin aina seis-opastetta näyttäväksi opastimeksi. (RATO osa 10, 2014, 32.) Tällöin kyseessä on kuitenkin toimintahäiriö, koska pimeää opastinta ei käytetä antamaan pysäyttävää opastetta.

Taulukko 9. Opastimien näyttämät opasteet junaliikenteessä (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (JT) 2020, 47–52.)

Opaste	Merkitys	
Seis	Opastinta ei saa ohittaa ilman lupaa.	 Pääopastin
Aja	Opastimen saa ohittaa.	 Pääopastin
Aja 35	Opastimen saa ohittaa, mutta nopeus on rajoitettu opastimen jälkeen veturin JKV-laitteen osoittamaksi tai ensimmäisestä vaihteesta alkaen 35 km/h tai 20 km/h riippuen junan vaunustosta ja akselipainoista	 Pääopastin
Aja, odota seis	Opastimen saa ohittaa, mutta seuraava pää-, suojaus- tai yhdistelmäopastin näyttää seis-opastetta.	 Suojausopastin
Aja varovasti	Opastimen saa ohittaa.	 Raideopastin
Odota aja	Seuraava pää-, suojaus- tai yhdistelmäopastin näyttää ajon sallivaa opastetta	 Esiopastin
Odota aja 35	Seuraava pää- tai yhdistelmäopastin näyttää aja 35 -opastetta.	 Esiopastin
Odota seis	Seuraava pää-, suojaus- tai yhdistelmäopastin näyttää seis-opastetta.	 Esiopastin

Ohiajovara

Varmistetun junakulkutien päättävän opastimen jälkeistä kulkutietä kutsutaan ohiajovaraksi. Junakulkutielle varatulle ohiajovaralle ei voida ohjata toista junaa liikenteenohjausta hoitavassa asetinlaitteessa. (RATO osa 6, 2014, 50–51.) Kuviossa 5 vasemmalta saapuva juna on saapumassa kohtauspaikan pohjoiselle raiteelle. Varauksella kulkutie pääopastimelta eteenpäin, estetään oikealta kohtauspaikalle eteläiselle raiteelle tulossa olevan junan törmääminen vasemmalta tulevan junan kanssa. Kulkutien muodostaminen oikealta saapuvalle junalle on mahdollista vasta vasemmalta saapuvan junan pysähtyttyä pääopastimelle.

Baliisi

Baliisit ovat kiskojen väliin asennettuja ratalaitteita, joita käytetään kulunvalvonnan piirissä olevalla rataosalla. Sen muistiin on ohjelmoitu tietoa, jonka baliisi välittää junan JKV-veturilaitteelle. Tarvitsemansa energian baliisi saa ylittävän junan JKV-veturilaitteen antennilta. (RATO osa 10, 2014, 9.) Välitettävä tieto koskee esimerkiksi edessä olevia nopeusrajoituksia, radan kaltevuutta, opastimen tilaa sekä etäisyyttä nopeusrajoitukseen vaihteeseen tai opastimeen (RATO osa 10, 2014, 76).

Opastinvara

Opastinvara on opastimen jälkeinen alue, jolle opastimen ohittanut yksikkö voi vielä turvallisesti pysähtyä aiheuttamatta vaaraa viereisten raiteiden liikennöinnille (RATO osa 6, 2014, 15). Opastinvaran pituudeksi pyritään suunnittelemaan 60 metriä (RATO osa 6, 2014, 108). Opastinvara on esitetty kuviossa 7.



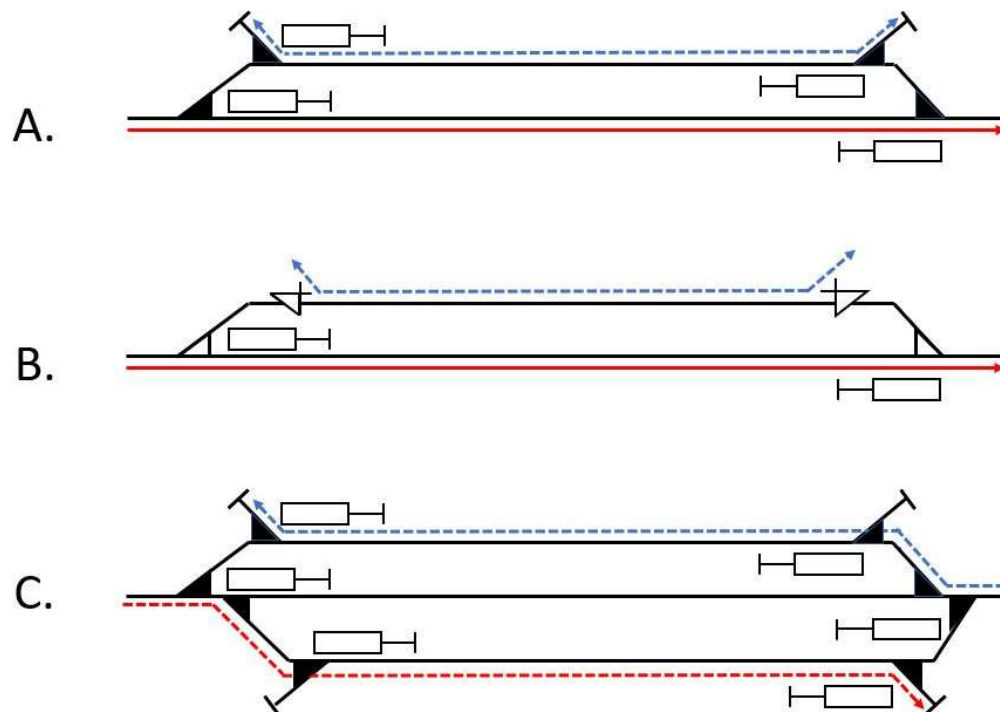
Kuvio 7. Opastinvara (RATO osa 6, 2014 muokattu, 109)

Jotta nopeus voidaan pääraiteella nostaa yli 140 km/h siihen liittyvän sivuraiteen vaihteen kohdalla, on pääopastimen taakse jätävä vähintään 60 metrin matka ennen pääraiteelle johtavan vaihteen rajamerkkiä. Tällöin pääraiteella sallitaan 200

km/h nopeus. Jos opastinvaraa ei ole mahdollista toteuttaa, voidaan sen tarve poistaa sivuraiteen turvavaihteella. (RATO osa 7, 2011, 23.)

Turvavaihde

Turvavaihteet ovat vaihteita, jotka antavat sivusuojan pääraiteella liikkuvalle junalle. Sivusuoja voidaan toteuttaa myös muilla vaihteilla. (RATO osa 10, 2014, 16.) Sivusuojalla suojataan muulta liikennöinniltä varmistettua kulkutietä tai aluetta, jolla liikkumiseen on annettu paikallislupa (RATO osa 6, 2014, 17). Turvavaihde ja sivusuoja on esitetty kuviossa 8. Esimerkeissä A ja C on käytetty turvavaihteita antamaan sivusuoja pääraiteen liikennöinnille. Esimerkissä B on käytetty raiteensulkuja tuottamaan sivusuoja (RATO osa 6, 2014, 25). Turvavaihde ohjaa sivuraiteen opastimen luvatta ohittaneen junan pois pääraiteen suunnasta esimerkiksi raidepuskimeen, estäen näin mahdollisen törmäyksen viereisellä raiteella liikkuvan junan kanssa. Raiteensuluilla on myös mahdollista niiden tyypistä riippuen joko pysäyttää tai suistaa raiteilta niihin törmäävä juna estäen näin sen päätyminen pääraiteelle.



Kuvio 8. Turvavaihde ja sivusuoja

Raiteen hyöty- ja käyttöpituus

Hyötypituus tarkoittaa sitä osaa raiteen pituudesta, jota voidaan käyttää junaliikenteessä junan pysäyttämiseen liikennepaikalla. Käyttöpituus taas tarkoittaa raiteen pituutta, jolla liikkuvaa kalustoa voi olla estämättä liikennöintiä liikennepaikan muilla raiteilla. (RATO osa 7, 2011, 8–9.) Raiteella on oltava hyötypituus, jotta sille voidaan muodostaa junakulkutie. Käyttöpituus on myös niillä raiteilla, joille ei ole määritelty hyötypituutta. Liikkuva kalusto tarkoittaa tässä yhteydessä esimerkiksi kulkuun asetettua junaa, vaihtotyöyksikköä tai liikennepaikalle varastoituja vaunuja.

Liikkuvan kaluston valvontalaitteet

Liikkuvan kaluston valvontalaitteilla on pystyttävä valvomaan rataosan suurinta sallittua nopeutta liikkuvan kaluston tilaa. Niillä voidaan siis valvoa etänä radalla liikkuvien junien kuntoa. Näitä valvontalaitteita ovat esimerkiksi pyöräkertojen laakereiden lämpötilaa mittaavat kuumakäynti-ilmaisimet, veturien ja sähkömoottorijunayksiköiden virroittimien hiilen kuntoa valvovat virroitinkamerat sekä kaluston pyöräkertojen rataan kohdistamaa kuormitusta mittaavat pyörävoimailmaisimet. Jos raja-arvot ylittyvät, ne lähettävät liikenteenohjaukselle hälytyksen. Valvontalaitteet pyritään sijoittamaan radalla niin, että ne mahdollistavat hälytyksen aiheuttaneen kaluston pysäyttämisen turvalliseen paikkaan tarkastusta varten. (RATO osa 6, 2014, 175.)

Turvalliset aiheuttavat rajoituksia nopeuteen rataosalla. Rajoituksia aiheuttavat kulunvalvontajärjestelmän puutteet, tasoristeysten varoituslaitokset, tiedonsiirtoetäisyys baliisin ja opastimen välillä sekä opastinvara. Jos rataosalla tai junakalustossa ei ole käytössä toimivaa kulunvalvontajärjestelmää (JKV), rajoittaa se nopeuden 80 km/h (Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (Jt) 2020, 17). Turvalaitteet eivät kuitenkaan yleensä aiheuta ensisijaisia rajoitteita nopeuden nostolle rataosalla. Ne pyritään mitoittamaan normaalisti radan suunnitteluvaiheessa niin, etteivät ainakaan turvalaitteet estä nopeuden nostamista myöhemmin. Jos vaan muut edellytykset nopeuden nostolle täyttyvät. Poikkeuksena ovat tasoristeysiin liittyvät varoituslaitokset, joihin liittyvä mitoittaminen on tehtävä enintään nopeuden 140 km/h mukaisesti. Varoituslaitoksilla tarkoitetaan erilaisia äänin, valoin ja puomin, tai niiden yhdistelmillä radan ylittäjiä junista varoittavia laitteita. (RATO osa 6, 2014, 21–23.)

Tiedonsiirtoetäisyydellä tarkoitetaan ennakkopisteen ja tavoitepisteen välistä matkaa. Tavoitepiste voi olla esimerkiksi junan pysäyttävä seis-opastetta näyttävä opastin. Ennakkopiste taas on baliisi, jonka ylittäessään junan JKV-laite saa ensimmäisen kerran tiedon tavoitepisteessä olevasta seis-opastetta näyttävästä opastimesta. Etäisyys ensimmäiseltä baliisilta, joka antaa ensimmäistä kertaa tiedon junalle edessä olevasta opastimesta ja sen näyttämästä opasteesta, on oltava vähintään 2 400 metriä kyseisestä opastimesta raiteen suurimman sallitun nopeuden ollessa enintään 160 km/h. Kun raiteen suurin nopeus on yli 160 km/h, kasvaa vaadittu etäisyys baliisiin ja opastimen välillä 3 600 metriin. (RATO osa 10, 2014, 22.) Junan on siis tarvittaessa pystyttävä pysähtymään täydestä vauhdista ennen tuota tavoitepisteessä sijaitsevaa opastinta.

Väyläviraston rataverkolla olevat valvontalaitteet havainnoivat niiden ohi kulkevien junien tilaa vähintään nopeuteen 220 km/h asti. Pyörävoimailmaisimien mittaustarkkuus heikkenee hieman nopeuden kasvaessa, mutta sillä ei ole merkitystä pyörävikojen seurannassa. (Mäkitupa 2020.) Valvontalaitteilla on pystyttävä valvomaan rataosan suurinta sallittua nopeutta liikkuvan kaluston tilaa. Kun radan suurin sallittu nopeus on 160 km/h tai enemmän, on sillä liikkuvaa kalustoa ja sen laakerien lämpötilaa valvottava kuumakäynti-ilmaisimilla (RATO osa 6, 2014, 175). Jos radan nopeustaso nostetaan tilanteesta, jossa se on aikaisemmin ollut alle 160 km/h, on radalle rakennettava kuumakäynti-ilmaisimet.

Jotta yksittäisellä junalla on mahdollista ajaa yli 160 km/h, on kuumakäynti-ilmaisimien annettava hälytyksetön mittaustulos mittauspisteessä junan sen ohittaessa. Hälytys lämpimästä kohteesta aiheuttaa junalle 50 km/h nopeusrajoituksen seuraavaan mahdolliseen paikkaan asti, jossa juna voidaan pysäyttää tarkastusta varten. Määräyksen tästä antaa liikenteenohjaus ilmaisimen lähettämän viestin perusteella. Jos juna aiheuttaa hälytyksen kuumasta kohteesta, määrää liikenteenohjaus junan pysähtymään heti ensimmäiseen mahdolliseen paikkaan, jossa laakerien lämpötilat voidaan mitata. Kuumakäynti-ilmaisimen vikaantuessa rajoittaa se radalla sallituksi nopeudeksi korkeintaan 160 km/h. Tämä rajoitus on voimassa, kunnes seuraava ohitettu ilmaisin antaa junalle hälytyksettömän mittaustuloksen. (Mäkitupa 2020.)

Myös pyörävoimailmaisimen antama hälytys aiheuttaa yksittäiselle junalle nopeusrajoituksen. Pyörävoimailmaisimittaa junan lovipyörän aiheuttamaa iskuvoimaa kiskoon. Lovipyörässä pyörän kehälle on muodostunut pieni tasainen alue, joka on huollossa poistettava pyörästä sorvaamalla se uudelleen pyöreäksi. Jos pyöräkohtainen iskuvoima ylittää mittauspisteessä 400 kN, aiheuttaa se junalle 50 km/h nopeusrajoituksen. Tällöin juna voi jatkaa määräasemalleen alennetulla nopeudella. Jos mitattu voima ylittää 450 kN, aiheutuu tästä myös junalle 50 km/h nopeusrajoitus. Lisäksi viallinen kalustoyksikkö on poistettava junasta heti kun se on mahdollista. Käytännössä pyörävoimailmaisimen hälytykset koskevat vain tavarajunia. Henkilöjunissa lovipyörä alkaa tuntua matkustusmukavuutta häiritsevänä jo noin 200 kN voimalla. Vaunu poistetaankin junasta jo ennen kuin se saavuttaa 400 kN rajan, jolloin matkustusmukavuus olisi jo vaunussa täysin romahtanut. (Mäkitupa 2020.)

2.6 Sillat

Sillat ovat merkittäviä nopeuteen vaikuttavia tekijöitä rataverkolla. Koko rataverkoon suhteutettuna juna ylittää tai alittaa sillan keskimäärin 2,5 kilometrin välein. Silloista 896 on ylikulkusilloja ja 1 306 on rautatiesilloja. (Rautatietilasto 2018, 2019, 20.). Ylikulkusillat ovat tiesilloja, joita pitkin autot ja kevyt liikenne ylittävät rautatien (Airaksinen, Kiuru, Myllymäki & Sipilä 2019, liite 8 / 3). Rautatiesillat taas ovat siltoja, joita kuormittaa rautatieliikenne (RATO osa 8, 2019, 6). Niitä pitkin raiteet ylittävät jonkin esteen, kuten esimerkiksi joen tai tien.

Ylikulkusillat

Junaradan ylittävät ylikulkusillat rajoittavat nopeutta radalla riippuen siitä, kuinka ahdas sillan tukipilarien ja siltakannen muodostama silta-aukko on junaliikenteelle ja miten silta on rakennettu. Jotta ylikulkusillan kohdalla sallittu nopeus voi olla 160 km/h tai suurempi, pitää sillan rakenteen täyttää tietyt ehdot. (Wuorenjuuri 2019.)

Uudet ylikulkusillat pyritään rakentamaan niin, että siltatukien etäisyys olisi 7,5 metriä raiteen keskilinjasta. Tällöin radalla voidaan liikennöidä yli 160 km/h nopeudella. Vanhat sillat on kuitenkin rakennettu niin, että siltatukien etäisyys on pienimmillään

alle 3,0 metriä raiteen keskilinjasta, eikä näissä silloilla voida sallia suurempia nopeuksia. Jos tukien etäisyys raiteen keskilinjasta on 3–5 metriä ja sillan läheisyydessä on suistumisriskiä lisääviä tekijöitä kuten vaihteita, raideliikenteen suistuminen päin siltatukia pyritään estämään suojakiskoin tai -rakentein. Kun junien nopeus on 200 km/h, turvallisen suistumisalueen pituudeksi on määritelty 500 metriä, suuremmilla nopeuksilla enemmän. Näin myös vaihteiden sijainnit saattavat rajoittaa nopeuksia siltojen kohdalla, vaikka silta muuten täyttäisi kaikki ehdot nopeuden nostolle. Ohjeiden mukaan tarkastelut pitäisi tehdä kaikille radoille, joissa junien nopeudet ovat yli 160 km/h. (Wuorenjuuri 2019.) Silta saattaa rajoittaa nopeutta vain toiseen liikennöimissuuntaan liikuttaessa, sillä vastakkaisesta suunnasta siltaa lähestyttäessä juna ajaa vaihteen yli ennen sillan kohdalle saapumistaan, jolloin suistumisvaara on olemassa. Toisesta suunnasta taas juna ohittaa sillan ennen saapumistaan vaihteeseen, jolloin vaihde ei aiheuta suistumisvaaraa päin siltarakenteita junalle.

Myös alikulkusillan alituskorkeus rataan nähden vaikuttaa sallittuihin nopeuksiin siltaa alitettaessa. Nykyisen ohjeistuksen mukaan uusien siltojen siltakannen on oltava vähintään 7 metrin korkeudella kiskon selästä, jos radan nopeus on 160–220 km/h. Vanhemmilla silloilla näin ei aina ole. (Wuorenjuuri 2019.)

Suojakiskot

Suojakiskot asennetaan yleensä kiskojen sisäpuolelle (RATO osa 8, 2019, 13–15). Niiden tehtävänä on estää raiteiltaan suistunutta veturia tai vaunua putoamasta pois sillalta tai suojellaan sillan rakenteita estämällä raiteilta suistuneen junan törmääminen päin siltaa. (RATO osa 8, 2019, 6.) Yleensä suojakiskot ovat kiskoprofiilia 54E1 ja tarvittaessa ne voidaan asentaa myös kiskojen ulkopuolelle. Suojakiskojen käyttöä pyritään kuitenkin välttämään, sillä ne vaikeuttavat radan päällysrakenteen kunnossapitoa. (RATO osa 8, 2019, 13–15.)

Rautatiesillat

Rautatiesilloja ovat sillat, joiden yli rataliikenne kulkee. Rautatiesiltojen sallittuihin nopeuksiin vaikuttaa sillan kunnan lisäksi muut rakenteelliset kriteerit. Näitä sallittuihin nopeuksiin vaikuttavia kriteereitä ovat mm. sillan värähtely, taustarakenteiden riittävyys ja sillan reunalla olevien rakenteiden muoto ja tyyppi. Jos nopeutta sillan

kohdalla ei olla nostamassa yli 200 km/h, ei silloille ole vielä tarpeen tehdä tapauskohtaisia tarkasteluja. Rautatiesillat kantavat huomattavasti suurempia massoja kuin ylikulkusillat ja siksi nopeuden nosto niiden kohdalla vaatii siltakohtaista tarkastelua jokaiselle sillalle erikseen. (Wuorenjuuri 2019.)

Vanhoille silloille voi olla tarpeen tehdä siltakohtaisesti dynaamisia tarkasteluja nopeuden noston yhteydessä. Näiden tekemisestä on ohjeistus Väyläviraston julkaisussa ”Eurokoodin soveltamisohje, Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1”. Tuo ohje on kuitenkin tarkoitettu pääasiassa uusille silloille, vaikka kantavuuden laskentaohjeessa viitataan tähän. (Wuorenjuuri 2019.)

Liikenteen nopeus ei sinänsä vaikuta pystysuorien kuormien sysäyskertoimiin sillalla. Tässä on kuitenkin oletettava, että radan kunnossapidosta on huolehdittu. Keskipaakokuorman vaikutus on myös tarkastettava vähintään niille silloille, jotka ovat kaarteissa. Myös junien imu- ja paineiskujen kasvu on otettava huomioon nopeuden noustessa. Iskut voivat aiheuttaa vahinkoa esimerkiksi liian lähellä rataa oleviin sillan kaiteisiin ja radan turvalaitteisiin. (Wuorenjuuri 2019.)

2.7 Tunnelit

Rautatietunneli

Rautatietunneli on rakennelma radan ympärillä. Sen ansiosta rautatie voi kulkea läpi esteen, kuten esimerkiksi kallion, veden tai rakennuksen. Rautatietunneli muodostuu yhdestä tai useasta ratatunnelista ja kaikista niihin liittyvistä rakennelmista, teknisistä ja turvallisuustiloista sekä laitteista ja järjestelmistä. Rautatietunneliin kuuluu myös ratatunnelin avoleikkaukset niiltä osin kun ne ovat tunnelin huollon, kunnossapidon, kuivana pitämisen tai tie- sekä turvallisuusjärjestelyiden kannalta oleellisia. (RATO osa 18, 2018, 10.)

Ratatunneli

Ratatunneli on junaliikenteen käytössä ja siellä on yksi tai useampi raide. Sitä kutsutaan raiteiden lukumäärän perusteella yksiraiteiseksi, kaksiraiteiseksi ja niin edelleen. (RATO osa 18, 2018, 10.)

Tavallisimpia rautatieliikenteen tunnelityyppejä ovat betoni-, teräs- ja kalliotunnelit. Betoni- ja terästunneli on rakennettu päältä avoimeen kaivantoon sillan kaltaisena rakenteena. Niissä on tunnelin tyypistä riippuen pääasiallisena kantavana rakenteena joko teräsbetoni tai teräs. Kalliotunnelissa on kantavana rakenteena tiivistetty ja luji-tettu kallio. (RATO osa 18, 2018, 8–12.) Tunnelin aerodynamiikkaa suunnitellessa on otettava huomioon esimerkiksi tunnelissa ajaville junille suunniteltu nopeus (eli mi-toitusnopeus), suurimman tunnelissa ajavan junan ja tunnelin poikkileikkausalojen suhde, pisimmän tunnelissa ajavan junan ja tunnelin pituuksien suhde sekä tunnelin rakenteisiin ja siellä kulkeviin juniin aiheutuvat paine- ja imukuormat (RATO osa 18, 2018, 20).

Tunneli itsessään ei rajoita junan nopeutta. Suurin sallittu nopeus tunnelissa riippuu siitä, mikä nopeutta rajoittavista tekijöistä aiheuttaa alimman nopeusrajoituksen, ku-ten muuallakin rataverkolla. Tunnelin nopeusrajoituksen aiheuttaa radan alus- ja päällysrakenteen, tunnelitilojen, varusteiden ja laitteiden sekä sähköistyksen ja tur-valaitteiden mitoitusnopeudet. (RATO osa 18, 2018, 14.)

Tunnelin läpi kulkevat junat aiheuttavat painekuorman tunnelin ja sen suuaukkojen rakenteille ja sinne asennettaville laitteille ja niiden kiinnityksille. Suurin sallittu no-peus tunnelissa määräytyy näiden mitoituksien mukaan. Painekuormaan tunnelissa vaikuttaa junan nopeus, junan poikkileikkausalan ja tunnelin vapaan tilan poikkileik-kausalan suhde sekä tunnelin ja junan pituudet. Painekuorma voidaan analysoida tunnelikohtaisesti tai käyttää oletusarvoja. Oletusarvoja käytettäessä tavarajunille edellytetään kuitenkin maksiminopeudeksi tunnelissa 120 km/h. Tunnelin ollessa kaksi- tai useampi raiteinen vaatii se aina tunnelikohtaisen painekuormien analyysin. Jotta suurinta sallittua nopeutta tunnelissa voisi nostaa, voidaan paineen huippuar-voja pienentää rakentamalla tunnelin seiniin paineentasaustunneleita ja syvennyksiä. Myös tunnelin suuaukon muotoilua parantamalla voidaan pienentää paineen huippu-arvoja. (RATO osa 18, 2018, 21–23.)

2.8 Tasoristeukset

Tasoristeys on tien tai kevyen liikenteen väylän ja junaradan risteyskohta, jossa tie tai kevyen liikenteen väylä ja rata risteävät samassa tasossa. Tasoristeys rajoittaa nopeutta radalla. Suomen rataverkolla on noin 2700 tasoristeystä ja niistä vapaita rataosia ovat vain päärata Helsingin ja Oulun välillä sekä poikittaisrata Suomen ja Venäjän rajalta Vainikkalasta Turkuun. Molemmat rataosat kuuluvat Suomen TEN-T verkkoon. (Tasoristeukset valtion rataverkolla 2020.) Tasoristeukset voivat olla varustamattomia, ne voivat olla varustettu ääni- ja valovaroituslaitoksella tai niissä voi olla puomilaitos. Puomilaitos vaaditaan tasoristeykseen aina, jos raiteen suurin nopeus tasoristeuksen kohdalla on yli 80 km/h ja tien keskivuorokausiliikenne on yli 1 000 ajoneuvoa, raiteen suurin nopeus on yli 140 km/h tai keskivuorokausiliikenne tiellä on yli 2 000 ajoneuvoa. Tasoristeystä ei tarvitse varustaa varoituslaitoksella vain sekä radan että tien osalta vähäliikenteisissä tasoristeyksissä. Keskimääräinen ajoneuvoliikennemäärä yli tasoristeuksen ja junayksiköiden määrä rautatiellä vaikuttaa vaadittuun varoituslaitoksen tasoon. Alhaisemmilla keskimääräisillä liikennemäärillä riittää valo- ja äänivaroituslaitos, suuremmilla liikennemäärillä vaaditaan aina puomilaitos. Samoin raiteen suurin nopeus vaikuttaa varoituslaitevaatimustasoon. Jos radalla sallitaan vähintään 140 km/h nopeus, tasoristeys on varustettava aina puomilaitoksella. (RATO osa 9, 2019, 8.)

Vuonna 2018 sattui viisi tasoristeysonnettomuutta. Niistä neljä sattui varoituslaitteettomissa ja yksi puomeilla varustetussa tasoristeyksessä. (Rautatietoimintojen turvallisuuspoikkeamat 2018, 2019, 12.)

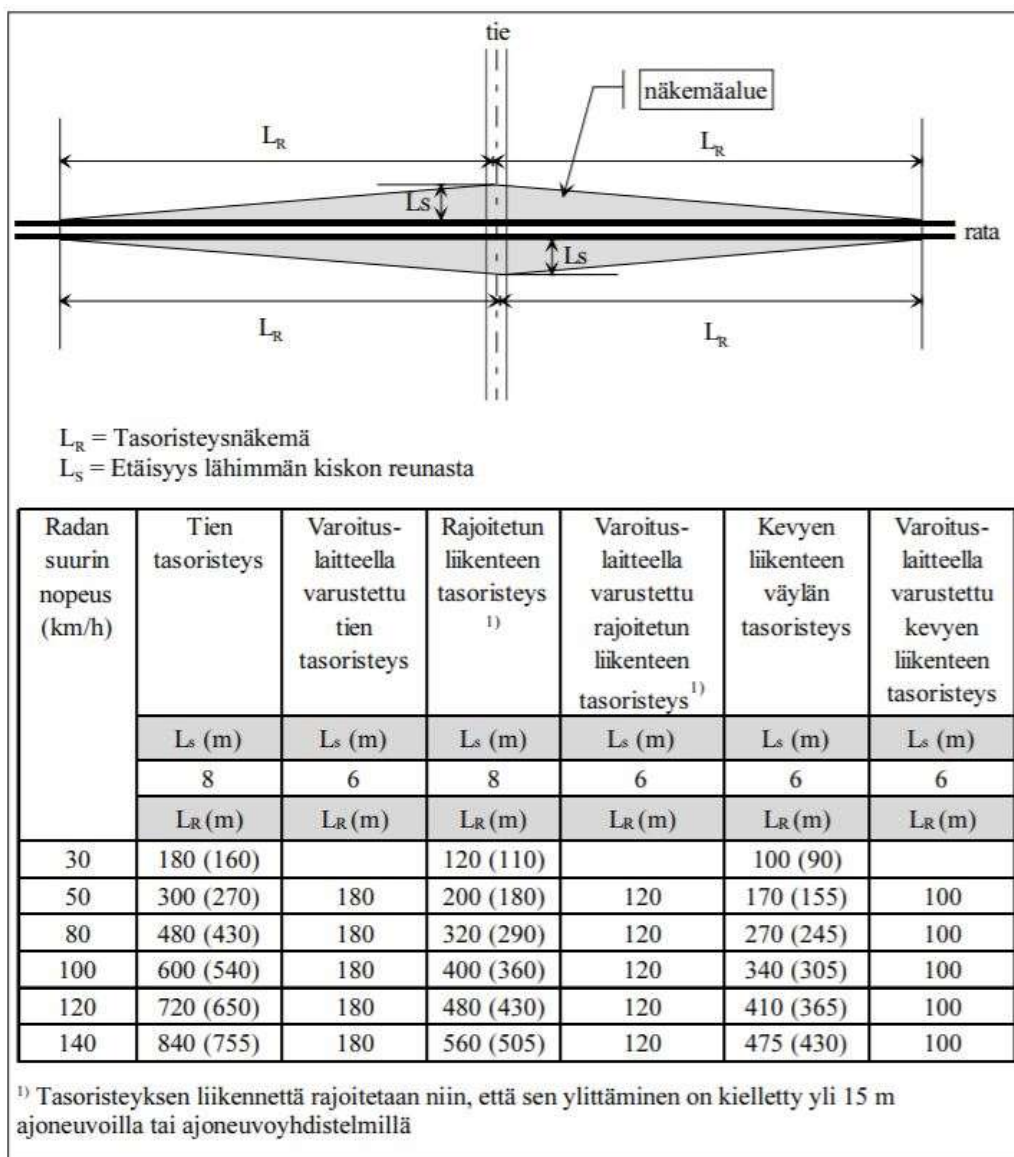
Radan ylittävä tasoristeys laskee aina kohteen nopeusrajoituksen korkeintaan nopeuteen 140 km/h. Tästä voidaan poiketa, jos tasoristeys on varustettu lukittavalla puomilla tai portilla. (RATO osa 9, 2019, 6.) Tällöin tasoristeys ei ole enää yleisessä käytössä, vaan se on rajoitetun liikenteen tasoristeys, eli esimerkiksi huoltotie.

Näkemä

Näkemä tarkoittaa tien näkökulmasta etäisyyttä, jonka mitalta rata on molempiin suuntiin esteettä havaittavissa sen kanssa risteävältä tieltä. Junan näkökulmasta taas

se tarkoittaa etäisyyttä, jolta tasoristeys tai opastin ja sen näyttämä opaste on radalta esteettä havaittavissa. Puutteet näkemässä tiellä ja rautatiellä rajoittavat junien nopeutta tasoristeuksen kohdalla (A 65/2011, 7–8.) Tiellä näkemä määritellään 8 metrin etäisyydeltä ja kevyen liikenteen väylällä 6 metrin etäisyydeltä lähimmästä kiskosta väylän keskeltä. Lisäksi huomioidaan havainnointikorkeus tieltä rataan nähden. (RATO osa 9, 2019, 7.)

Myös näkemä tasoristeyksessä rajoittaa nopeutta radalla. Näkemän vaikutus nopeuteen tasoristeuksen kohdalla on esitetty kuviossa 9. Jotta 140 km/h nopeus tasoristeuksen kohdalla olisi mahdollinen, on näkemän radan kanssa risteävällä tiellä molempiin suuntiin rataa pitkin sekä radalta tasoristeukseen katsottuna oltava vähintään 840 metriä vartioimattomassa tien ja radan tasoristeyksessä. Varoituslaitteilla varustetussa tien tasoristeyksessä näkemän on oltava 180 metriä. Kevyen liikenteen ja rautatien vartioimattomassa tasoristeyksessä taas näkemän on oltava 475 metriä ja varoituslaitteilla varustetussa tasoristeyksessä 100 metriä. Suluissa ilmoitetut arvot ovat vähimmäisarvoja asetuksessa määritellyissä erityistapauksissa. Jos näkemävaatimus ei täyty, asettuu siitä tasoristeuksen kohdalle alle 140 km/h nopeusrajoitus riippuen näkemäalueen pituudesta. Näissä tilanteissa nopeutta voidaan mahdollisesti nostaa rakentamalla tasoristeukseen varoituslaitteet, jolloin näkemävaatimus lyhenee huomattavasti. (A65/2011, 7.)



Kuvio 9. Rautatien tasoristeysnäkemät (A 65/2011, 7)

2.9 Laiturialueet

Jos radan varrelle rakennetaan matkustajalaituri, muodostuu paikalle silloin vähintään seisake tai liikennepaikka. Erilaisia laiturityyppejä on kaksi. Reunalaituri on matkustajalaiturityyppi, jolla raide on vain toisella puolella laituria. Välilaiturilla taas raiheet ovat laiturin molemmilla puolilla ja kummankin raiteen junat käyttävät pysähtyessään samaa laituria. (RATO osa 16, 2017, 10–11.) Matkustajien kulku välilaiturille on järjestetty tunnelilla, sillalla tai laituripolulla, hälytys- ja kunnossapitoajoneuvot

käyttävät sen sijaan yleensä huoltotietä. Raiteet voivat kuitenkin kulkea myös huoltotien yli.

Matkustajalaituri

Kun uusi, uudistettu tai parannettu matkustajalaituri otetaan käyttöön, on sillä oltava merkittynä vaara-alue. Puutteet vaara-alueen leveydessä saattavat aiheuttaa laiturin ohittaville junille nopeusrajoituksen. Raiteen suurimmat sallitut nopeudet ja niille vaaditut vaara-alueen vähimmäisleveydet on esitetty taulukossa 10. Matkustajalaiturin vaara-alueen ollessa leveydeltään 1,5 metriä, mahdollistaa se 200 km/h nopeuden laiturin kohdalle. (RATO osa 16, 2017, 36.) Vaara-aluetta ei voi välttämättä levenittää kaventamalla samalla laiturin vapaata tilaa, sillä myös sille on määrätty vähimmäisleveys. Näin nopeuden nosto liian kapean matkustajalaiturin kohdalla saattaa vaatia kokonaan uuden laiturin rakentamisen ja myös olemassa olevien raiteiden siirron tai poiston, sillä uusi leveämpi laiturin ei enää välttämättä mahdu raiteiden väliin.

Taulukko 10. Raiteen suurimmat nopeudet ja vaara-alueen vähimmäisleveydet. (RATO osa 16, 2017 muokattu, 36)

Raiteen suurin nopeus (km/h)	0–60	61–120	121–200
Vaara-alueen vähimmäisleveys (m)	0,5	1,0	1,5

Vaara-alue

Matkustajalaiturin reunaan on merkitty vaara-alue, jolla laiturin ohi pysähtymättä ajavan junan aiheuttama ilmavirta voi aiheuttaa vaaraa alueella oleville ihmisille ja esineille. Vaara-alueen on tarkoitus olla tyhjänä junan ohittaessa aseman tai pysähtyessä sinne. Asemalaiturilla on tämän lisäksi turvallinen vapaa tila. (RATO osa 16, 2017, 11.) Tämä tarkoittaa aluetta, jolla matkustajat voivat matkatavaroineen odottaa junaa ilman pelkoa ohittavien junien aiheuttamista vaikutuksista.

Matkustajalaiturin vähimmäisleveys sisältää sekä vaara-alueen, että vapaan tilan. Matkustajalaiturilta vaadittu kokonaisleveys kasvaa ohittaville junille sallitun nopeuden noustessa, koska se levenittää vaara-aluetta. Lisäksi matkustajalaiturin vähimmäisleveyteen vaikuttaa myös aseman ruuhkaisuus, sillä matkustajamäärän kasvaessa myös vapaan tilan leveysvaatimus kasvaa (RATO osa 16, 2017, 39–43.)

Laituripolku

Laituripolku on kulkuyhteys välilaiturille raiteiden yli. Laituripolkua ei saa nykyään rakentaa uudelle välilaiturille. Uudistettavalle tai parannettavalle laiturille laituripolun saa kuitenkin rakentaa, jos muuta kulkuyhteyttä sinne ei ole. Tätä on kuitenkin välitettävä. Uusi laituripolku on mahdollista rakentaa vain sivuraiteella sijaitsevalle laiturille. Sitä ei saa rakentaa läpiajoraiteen yli. Laituripolku rajoittaa nopeuden korkeintaan 80 km/h ohittavalle junalle. (RATO osa 16, 2017, 19.)

Huoltotie

Matkustajalaiturille on oltava kulkuyhteys hälytys- ja kunnossapitoajoneuvoille. Se voi olla toteutettu joko laituripolkuna tai huoltotienä. Huoltotielle pääsy on estettävä matkustajilta esimerkiksi lukittavalla portilla, joka erottaakin sen laituripolusta. Lukittavaa porttia huoltotiellä on käytettävä myös aina, kun huoltotien ylittävät raiteet sallivat junille korkeintaan 120 km/h nopeuden. Jos nopeus raiteilla on tätä suurempi, on huoltotiellä oltava lisäksi huoltotien turvalaitos. (RATO osa 16, 2017, 20.) Turvalaitoksen puuttuminen aiheuttaa siis huoltotien kohdalle 120 km/h nopeusrajoituksen.

3 Nopeusrajoitusten teoria

Nopeusrajoitus on suurin sallittu nopeus määrättyllä alueella liikkuvalla junakalustolle. Se voi olla määrätty erikseen eri kalustotyypeille tai se voi koskea kaikkea alueella liikkuvaa kalustoa. Nopeusrajoitus voi olla myös määritelty erilaisiksi eri akselipainoille. (Rataverkon nopeusmuutosten hallinta 2015, 7–9.) Esimerkiksi tavanomaisille ja kallistuvakorisisille henkilöjunille saattaa olla erilaiset nopeusrajoitukset samalla rataosalla, kuten myös 225 kN ja 250 kN akselipainoisille tavarajunille.

3.1 Pysyvät nopeusrajoitukset

Jokaisella rataosalla on nopeusrajoitukset, joita on noudatettava radalla liikennöidessä. Radan nopeusrajoituksen määräytymiseen vaikuttavia tekijöitä on käsitelty aiemmin tässä tutkielmassa.

Suurimman nopeuden nosto

Suurinta sallittua nopeutta rataosalla on mahdollista nostaa Väyläviraston päätöksellä. Jotta nopeuden nostaminen olisi mahdollista, on radalla tehtävä tarvittavat parannustoimenpiteet. Tämän jälkeen ajetaan koeajot junalla uudella nopeudella ja haetaan lupa nopeuden nostolle Traficomilta. Viimeisessä vaiheessa tieto Traficomilta myöntämästä käyttöönottoluvasta on saatettava Väyläviraston, liikenteen harjoittajien, kunnossapitäjien, alueisännöitsijöiden ja ratatietorekisterien ylläpitäjien tietoon. Lisäksi tehdään uuden nopeuden mukaiset muutokset JKV-turvalaitteisiin ja radan merkkeihin. (Rataverkon nopeusmuutosten hallinta 2015, 9–13).

Pysyvä nopeuden muutos

Pysyvä nopeuden muutos tarkoittaa nopeuden alentamista radalla. Se tehdään Väyläviraston päätöksellä. (Rataverkon nopeusmuutosten hallinta 2015, 8–9.) Tieto nopeuden alentamisesta on saatettava tietoon kaikille tahoille, joiden toimintaan tieto muuttuneesta nopeudesta vaikuttaa. Näitä ovat esimerkiksi rekisterien ylläpitäjät, kunnossapito ja rautatieliikenteen harjoittajat. Tiedonannon pitää sisältää ainakin tieto uudesta nopeudesta, missä ja milloin se muuttuu ja mikä on syynä muutokseen. Nopeusrajoitusten sijainnit sisältävän suunnitelman on oltava valmiina neljä kuukautta ennen muutosta. JKV- ja nopeusmerkkimuutoksille on varattava aikaa kolme kuukautta ja niiden käyttöönotolle seitsemän vuorokautta. Lisäksi tiedot on vietävä järjestelmiin, rekistereihin ja muihin nopeustietoja koskeviin dokumentteihin. (Rataverkon nopeusmuutosten hallinta 2015, 9–15.)

3.2 Tilapäiset nopeusrajoitukset

Tilapäinen nopeusrajoitus on tietylle alueelle enintään kuudeksi kuukaudeksi asetettu nopeusrajoitus. Jos tilapäinen nopeusrajoitus on kestoaltaan korkeintaan kolme

kuukautta tai se laskee radan suurinta sallittua nopeutta vähemmän kuin 30 km/h, kyseessä on tyypiltään ketjuttamaton tilapäinen nopeusrajoitus. Ketjutettu tilapäinen nopeusrajoitus taas on kestoaltaan yli kolme ja korkeintaan kuusi kuukautta ja alentaa radan suurinta sallittua nopeutta vähintään 30 km/h. (Rataverkon nopeusmuutosten hallinta 2015, 20–27.) Ketjutus tarkoittaa JKV-veturilaitteiden koodaamista niin, että laite saa tiedon seuraavan baliisiryhmän sijainnista radalla ylittäessään edellisen baliisiryhmän (Rataverkon nopeusmuutosten hallinta 2015, 7).

Pitkäaikainen tilapäinen nopeusrajoitus on aina etukäteen suunniteltu. Kestoltaan se on yli kuusi kuukautta, eikä sen kestolla ole ylärajaa. Se varustetaan JKV:lla ja siihen liittyvät baliisit on ketjutettava. (Rataverkon nopeusmuutosten hallinta 2015, 9.)

3.3 Nopeusrajoitusten esittäminen

Nopeusrajoitusten muutoksista on tiedotettava sovitulla tavalla radalla liikennöiville tahoille. Siksi muutoksista ilmoittamisesta on säädetty Väyläviraston ohjeistuksella, jotta kriittinen nopeustieto saadaan perille varmasti ja ajoissa.

Suurimman nopeuden nostot ja pysyvät nopeuden muutokset esitetään Väyläviraston suurimpien nopeuksien rekisterissä, LIIKE-järjestelmässä, turvalaitteiden käyttöohjeissa sekä raiteisto- ja linjakaavioissa. Junaliikenteen ennakkotietojärjestelmässä (JETI) muutokset on esitettävä kahden viikon ajan nopeusmuutoksen voimaan tulosta rataverkolla. (Rataverkon nopeusmuutosten hallinta 2015, 9.) Turvalaitteiden käyttöohjeet, raiteisto- ja linjakaaviot ovat dokumentteja, joissa muun tiedon ohessa esitetään rataosan suurimmat sallitut nopeudet.

Junaliikenteen ennakkotietojärjestelmä JETI on järjestelmä, jolla välitetään tietoa keskitetysti muihin järjestelmiin ennakkosuunnitelmista, ennakkoilmoituksista ja ratatöistä. Näitä järjestelmiä ovat LIIKE, KUPLA, RUMA ja LOKI. Näistä järjestelmistä LIIKE on ratakapasiteetin hallinnan tietojärjestelmä, jonka avulla jaetaan ratakapasiteettia rataverkon toimijoille. KUPLA on junankuljettajien päätelaitesovellus, jonka

avulla kuljettajat ajavat junia rataverkolla. RUMA on rataurakoitsijoiden käytössä oleva mobiilialusta. LOKI taas on liikenteenohjaajien käyttämä järjestelmä. (JETI n.d.)

Pitkäaikaiset tilapäiset nopeusrajoitukset on esitettävä JETIssä ja turvalaitteiden käyttöohjeissa. Myös ketjuttamattomat tilapäiset nopeusrajoitukset on esitettävä JETIssä, mutta ketjutettuja tilapäisiä nopeusrajoituksia ei esitetä. (Rataverkon nopeusmuutosten hallinta 2015, 9.)

3.4 Nopeusrajoitusten vaikuttavuus junaliikenteeseen

Sweco Infra & Raililla on käynnissä Väyläviraston projekti, jossa pyritään selvittämään rataverkolla voimassa olevien tilapäisten ja pysyvien nopeusrajoitusten vaikuttavuutta junaliikenteeseen. Projektin tavoitteena on saada selville vaikuttavimmat toimenpiteet, joilla voidaan poistaa radalta kunnossapidon keinoin junaliikennettä hidastavia nopeusrajoituksia. Projektissa tutkitaan nopeutta alentavien nopeusrajoitusten sijaintia paikkatietojen avulla kartalla ja arvioidaan niiden aiheuttamaa viivästysvaikutusta junakohtaisesti ja vuositasolla kertyvänä. Tämän avulla voidaan päätellä, mihin kohteeseen kunnossapidon resursseja rataverkolla kannattaa kohdentaa maksimaalisen nopeushyödyn ja sitä myötä aikahyödyn saavuttamiseksi junamatkustajille. (Savolainen 2020.)

Projektissa on sijoitettu karttapohjalle tilapäisiä ja joitakin valittuja pitkäaikaisia radan yleistä nopeustasoa rajoittavia nopeusrajoitusalueita. Rataosan liikennemäärät haetaan automaattisesti Traffic Management Finlandin Digitraffic -rautatieliikenteen liikennemäärien rajapinnasta lähimmälle liikennepaikalle. Sijaintia voi tarvittaessa tarkentaa manuaalisesti, jos lähin liikennepaikka antaa liian suuren tai pienen arvion liikennemäärästä. Näin käy esimerkiksi rajoituksen sijaitessa pääraiteen ulkopuolella. Kaksiraiteisella rataosalla liikennemäärä taas pitää puolittaa, jotta se vastaisi paremmin vain toista raidetta koskevan nopeusrajoituksen alueen liikennemäärää. (Savolainen 2020.)

Jotta saadaan selville arvio nopeusrajoituksen ajallisesta vaikutuksesta junalle, kohteen nopeustietojen ja rajoitusalueen pituuden perusteella tehdään laskenta verkkosivuston <https://juliadata.fi/nopeusrajoituslaskuri/> avulla. Projektissa laskenta on automatisoitu, mutta sen voi tehdä myös yksittäiselle junalle. (Savolainen 2020.) Verkkosivulla olevaan yksinkertaiseen simulointilaskuriin syötetään kohteen tiedot. Laskurin ennakkotietojen syöttö on esitetty kuviossa 10. Syötettyjen tietojen perusteella tietokannasta tulostuu junalle tiedot nopeusrajoituksen vaikutuksista numeerisesti ja graafisesti. Numeerinen tulos on esitetty kuviossa 11 ja nopeus matkan funktiona graafisesti kuviossa 12. (Liikennevirasto 2018.)

Kuviossa 10 esitetyssä esimerkkitapauksessa käytetään IC-junaa, jossa on vetovoimana Sr2-veturi ja sen perässä on seitsemän kaksikerroksista Ed-päivävaunua. Kyseinen juna on 205 metriä pitkä ja sen suurin sallittu nopeus on 200 km/h, jota se myös ajaa saapuessaan rajoitusalueelle. Nopeusrajoitusalue rajoittaa junan nopeuden 140 km/h. Rajoitus alkaa 100 metriä ennen rajoituksen kohdetta ja rajoitusalueen pituus on 100 metriä, eli nopeus rajoittuu 140 km/h yhteensä 200 metrin alueella. Junan poistuttua nopeusrajoitusalueelta se kiihdyttää taas tavoitenopeuteensa 200 km/h. Juna voi kuitenkin kiihdyttää vasta, kun koko juna on poistunut rajoitusalueelta, eli 200 metrin rajoituksen kokonaispituuteen lisätään vielä junan pituus 205 m. Näin junan 140 km/h nopeudella kulkeman matkan pituus on yhteensä 405 metriä.

Junan kokoonpano

Junan lähtönopeus km/h

Junan pituus m

Junan tavoitenopeus km/h

Asettamalla rajoitukseksi 0 km/h tulkitaan se pistemäiseksi pysähdykseksi eikä rajoituksen pituutta tai etumatkaa oteta huomioon.

Rajoitus km/h

Rajoituksen pituus m

Rajoituksen etumatka m

Kuvio 10. Nopeusrajoituslaskurin lähtötietojen syöttö (Liikennevirasto 2018)

Kuviossa 11 on esitetty tulokset kuvion 10 tapauksesta. Niistä selviää hidastuksen ohittamisesta aiheutuva aikahävikki rajoitusalueen ylittävälle junalle. Tässä työssä

tästä ajasta käytetään nimitystä liikennevaikutus. Tulokset koostuvat jarrutusmatkan pituudesta ja sen ajallisesta kestosta nopeusrajoitusalueelle saavuttaessa, kiihdytysmatkan pituudesta ja sen kestosta nopeusrajoitusalueen jälkeen sekä ajasta, joka junalla kestää ajaa läpi rajoitusalueen alennettua nopeutta. Lisäksi ilmoitetaan junan jarrutuksen alusta takaisin tavoitenopeuteen pääsyyn kuluva kokonaismatka ja -aika sekä laskettu aika, minkä verran junan kulku nopeusrajoituksen vaikutuksesta hidastuu verrattuna siihen, että juna olisi ajanut alueen läpi ilman alennettua nopeutta. Tulos on esitetty graafisesti nopeutena matkan funktiona kuviossa 12.

Tulokset

Junan jarrutusmatka: **1314 m**

Junan jarrutusaika: **0 min 28 s**

Junan kiihdytysmatka: **7159 m**

Junan kiihdytysaika: **2 min 29 s**

Rajoituksen läpiajoaika: **0 min 10 s**

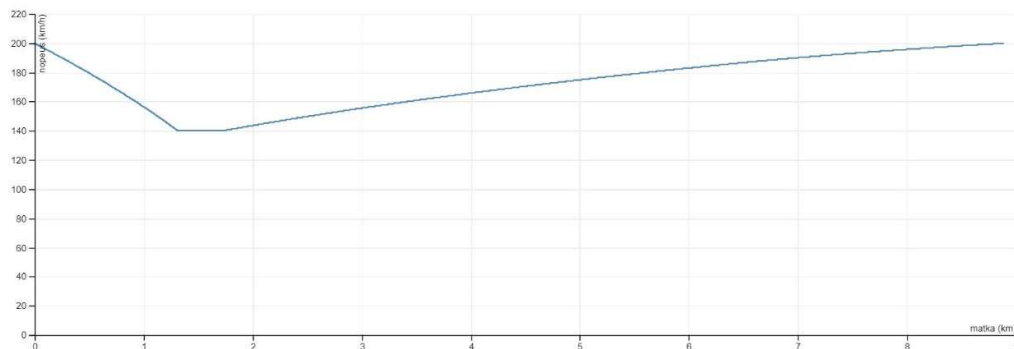
Kokonaismatka: **8.9 km**

Kokonaisaika: **3.1 min**

Rajoitus hidastaa junan kulkua: **0 min 27 s**

Kuvio 11. Nopeusrajoituslaskurin antama tulos (Liikennevirasto 2018)

Nopeus matkan funktiona



Kuvio 12. Nopeus matkan funktiona (Liikennevirasto 2018)

Projektissa osaa tuloksista on jouduttu tarkentamaan manuaalisesti, koska laskuri ei osaa ottaa huomioon kahta peräkkäistä nopeusrajoitusta, jos toinen rajoitus sijaitsee ensimmäisen rajoituksen sisällä. Näissä tapauksissa kahden tai useamman lyhyellä matkalla sijaitsevan rajoituksen aiheuttamaa liikennevaikutusta on jouduttu asiantuntija-arvion varassa kasvattamaan. (Savolainen 2020.)

Myös tässä työssä pyritään tutkimaan nopeusrajoitusten vaikuttavuutta junan kulkuun yllä kuvatun menetelmän mukaisesti. Tutkimus on esitetty luvussa 6.

4 Ratakapasiteetin teoria

Ratakapasiteetti on radan infrastruktuurin ja siellä liikkuvan kaluston yhteensovittamista. Se kertoo rataosan välityskyvystä, eli mikä on maksimimäärä junia, jotka pystyvät tietyssä ajassa kulkemaan tarkasteltavalla rataosalla.

4.1 Liikenteenvälityskyky ja maksimisuorite

Ratakapasiteetin mittayksikkönä käytetään yleensä liikenteenvälityskykyä. Se kertoo, kuinka monta junaa tunnissa tai vuorokaudessa voi tarkastelualueella kulkea. Se on helposti ymmärrettävä esitystapa ratakapasiteetille. Se ei kuitenkaan huomioi tavarajunien kuljettamaa tonnimäärää tai henkilöjunien asiakasmäärää. (Mäkitalo 2000, 14.)

Tavaraliikenteen kuljettaman tonnimäärän ja henkilöliikenteen asiakasmäärän analysoinnin ratakapasiteetin näkökulmasta taas mahdollistaa maksimisuorite. Sen yksiköinä käytetään tonnikilometriä tavaraliikenteellä ja henkilökilometriä henkilöliikenteellä. (Mäkitalo 2000, 14.) Tonnikilometri kertoo junan ja sen kuljettaman kuorman

yhteismassan kerrottuna matkan pituudella kilometreissä. Se voidaan laskea yhtälöllä 1.

$$(m_j + m_k) \times s = tkm \quad (1)$$

missä m_j = junan vetokaluston ja vaunuston yhteismassa tonneina

m_k = junan kuljettaman kuorman massa tonneina

s = matkan pituus kilometreinä

Tällöin kyseessä on bruttotonnikilometri. Jos junan veturin ja vaunuston massaa ei haluta mukaan tulokseen, on kyseessä nettotonnikilometri, jolloin vain junan kuorman massa kerrotaan matkan pituudella. Se voidaan laskea yhtälöllä 2.

$$m_k \times s = tkm \quad (2)$$

missä m_k = junan kuljettaman kuorman massa tonneina

s = matkan pituus kilometreinä

Suurimpia liikenteenvälityskykyyn vaikuttavia tekijöitä on radalla liikkuva kalusto. Mitä parempi ratakapasiteetti on mahdollista saavuttaa, sitä yhtenevämpää liikenne radalla on. Radalla kulkevien junien keskinäiset nopeuserot heikentävät välityskykyä, samoin kuin erilainen pysähtymiskäyttäytyminen. Yksiraiteisilla osuuksilla ratakapasiteetin liikenteenvälityskyky ei käytännössä voi koskaan saavuttaa teoreettista maksimiamia. (Mäkitalo 2003, 38.) Teoreettisessa ideaalitalanteessa liikenne yksiraiteisella rataosalla kulkee aina samaan suuntaan. Osan liikenteestä kulkiessa vastakkaiseen suuntaan se aiheuttaa aina kapasiteetin laskun junien joutuessa odottamaan vuoroaan. Kaksi- tai useampiraiteisella rataosalla päästäänkin lähemmäksi maksimisuoritetta vastakkaisten suuntien liikenteen kulkiessa omilla raiteillaan.

Verrattaessa henkilöliikenteen junia tavarajuniin, on henkilöjunissa enemmän veto-voimaa junan bruttotonnin kohti veturin joutuessa vetämään huomattavasti pienempää kuormaa. Lisäksi henkilöjunat on varustettu tehokkaammilla ja nopeammin toimivilla jarrujärjestelmillä tavarajuniin verrattuna. Tämän vuoksi henkilöliikenteen junat kiihtyvät nopeammin, voivat ajaa suuremmilla maksiminopeuksilla ja niillä on lyhyemmät jarrutusmatkat. Henkilöjunat pysähtelevät kuitenkin yleensä useammin asemilla matkustajien nousua ja jättöä varten. Tavarajunat taas voivat parhaassa tapauksessa ajaa koko kulkuvälinsä ilman pysähdyksiä. Näiden syiden vuoksi henkilöjunat ja tavarajunat sopivat huonosti samoille raiteille kapasiteetin näkökulmasta. (Harrod 2007, 13.)

Junien keskinäiset nopeuserot aiheuttavat nopeammille junille ohittamistarpeita samaan suuntaan kulkiessaan hitaampien junien kanssa. Toistuvat pysähdykset asemille taas aiheuttavat tarvetta odottaa kulkutien vapautumista liikennepaikan tulopastimella junille, jotka eivät asemalla muuten pysähtyisi. Tällaista junaa ei kuitenkaan välttämättä ole järkevää ajattaa aseman ja siellä pysähdyksissä olevan junan ohi, koska jos ohi ajava juna on pysähtynyt henkilöjunaa kulkunopeudeltaan hitaampi, on ohitustarve edessä taas hetken kuluttua.

Ratakapasiteettia määriteltäessä rata jaetaan lohkoihin (englanniksi block), joiden sisällä voi olla kerrallaan vain yksi juna. Lohkon tila voi olla joko varattu tai vapaa, riippuen siitä, onko tuolla alueella junaa vai ei. Jos rataosalla on useampi raide, muodostaa jokainen niistä oman lohkonsa mahdollistaa myös raiteiden määrän junia tuolla kohdalla. Jokainen lohko on toisistaan riippumaton ja ne rajataan opastimilla ja vaihteilla. Lohkoja voidaan lisätä, mutta se edellyttää käytännössä suojastusvälien lisäämistä radalle. Siitä tulee kuitenkin paljon kustannuksia, koska radan turvalaitteita pitää lisätä tai ne on jopa rakennettava uudelleen. (Harrod 2007, 15–16.)

Suojastusvälien lisääminen parantaa radan kapasiteettia, koska junan varaaman osuuden pituus lyhenee ja useampia lohkoja on vapaana. Lopulliseen määrään, montako junaa voi rataosalle sovittaa, vaikuttaa kuitenkin junan jarrutusmatka. Lohkoja ei voi lyhentää kuin radan suurimman sallitun nopeuden ja radalla liikennöivien junien

jarruominaisuuksien rajoissa. Junien on ehdittävä pysähtyä kulkunopeudestaan ennen lohkon päättävää opastinta tilanteessa, jossa seuraava lohko onkin varattu.

Kaikelle junaliikenteelle on haettava ratakapasiteettia. Suomessa ratakapasiteetin raiteille myöntää Väylävirasto. Ratakapasiteetin hakijan on otettava huomioon rataosan asettamia rajoituksia jo hakemusta tehdessään. Näitä ovat esimerkiksi rataosan liikennepaikat raiteineen, nopeusrajoitukset, akselipainot, turvalaitteet ja pelivara. Myös ennakkoon suunnitellut ratatyöt on huomioitava hakemuksissa, sillä niistä voi aiheutua nopeusrajoituksia ja osa raiteista tai jopa kohtaumahdollisuus yksiraiteisella rataosalla voi olla niiden vuoksi pois käytöstä. Ratakapasiteettihakemuksessa on käytettävä oikeita kalustotietoja, tai jos ne eivät ole varmuudella tiedossa, tehdään hakemus suurimmilla mahdollisilla junapituuksilla ja -painoilla. Näin varmistutaan, että junat mahtuvat kohtaamaan muun liikenteen liikennepaikkojen sivuraiteilla ja etteivät junapainot ylitä radan sallimia maksimiakselipainoja. On myös otettava huomioon turvalaitteiden osalta suojastus rataosalla. Sillä voidaan vaikuttaa siihen, miten tiheästi radalla voi liikennöidä peräkkäisiä junia. (Lautela 2020, 3–4.)

Ratakapasiteettia haetaan säännöllisenä kapasiteettina vuoden kestäväälle aikataulukaudelle kerrallaan, tai kiireellisenä kesken aikataulukauden. Säännölliselle myönnetylle kapasiteetille voi hakea myös muutoksia kahden kuukauden välein aikataulukauden muutosajankohtina. Kiireellistä ratakapasiteettia haetaan junakohtaisesti jokaiselle junalle erikseen vapaisiin kulkuväleihin. Kapasiteetin saa ensimmäinen hakija. Kiireellistä ratakapasiteettia voi hakea vain kuluvalle ja seuraavalle muutosajankohdalle sen julkaisun jälkeen. Poikkeus tähän on museoliikenne, joka ei voi hakea kuin kiireellistä ratakapasiteettia liikennöintiinsä. Museoliikennettä varten kapasiteettia saa poikkeuksellisesti hakea neljä kuukautta etukäteen. (Lautela 2020, 7–9.)

4.2 Käyttöaste

Ratakapasiteetin käyttöasteen määrittämistä kuvataan UIC:n, eli Kansainvälisen rautatieliiton julkaisussa 406. Ratakapasiteetin käyttöaste on eri asia kuin ratakapasiteetti. Se kertoo, kuinka suuri osa radasta on varautuneena tietyssä ajassa

junaliikenteelle ja se ilmoitetaan prosentteina. Ratakapasiteetin käyttö prosentteina voidaan laskea yhtälöllä 3.

$$rkk = \frac{t_v}{t_k} \times 100 \text{ (UIC code 406, 2013, 13.)} \quad (3)$$

missä rkk = ratakapasiteetin käyttö

t_v = rataosan varausaika

t_k = määritelty kokonaisu aika

Jos ratakapasiteetti olisi viisi junaa tunnin aikana tarkastelualueella ja toteutunut liikennemäärä kolme junaa, olisi radan käyttöaste tässä tapauksessa $\frac{3}{5} \times 100 = 60$, eli 60 %.

Muita tapoja määrittää ratakapasiteetin käyttöastetta on esimerkiksi Banverketin menetelmä, joka perustuu myös laskentaan. Siinä yksiraiteisen rataosan ratakapasiteetti määritellään eniten aikaa vievällä kohtaupaikkavälillä, joka toimii koko rataosaa mitoittavana. Kaksi- tai useampi raiteisella rataosalla se määritellään kulkusuunnan mukaan tai raidekohtaisesti. Tähän vaikuttaa junien minimiaikavälit, ohitukset ja nopeuserot. (Mäkitalo 2000, 55–56.) Määrityksen voi tehdä myös rautatieliikenteen simulointiohjelmilla, joilla mallinnetaan tarkasteltava rataosa, siellä liikkuvat junat ja käytetty aikataulurakenne. Simulointiohjelma laskee tämän jälkeen ratakapasiteetin käyttöasteen.

Kun radan käyttöaste nousee liian korkeaksi, hidastuu ja vaikeutuu liikenteen kyky toipua radan häiriötilanteista. Häiriöt heijastuvat helposti myös viereisille rataosille esimerkiksi vaihtoyhteyksien odottamisen vuoksi. Suomen rataverkolla lähes kaikki henkilöliikenteen käytössä olevat rataosat ovat sekaliikenteen ratoja. Tämän tyyppisillä radoilla käyttöasteen pitäisi pysyä 60–80 % välillä. Tämän ylittyessä alkaa ongelmia muodostua. (Nyby 2005, 9.)

4.3 Aikataulu ja pelivara

Aikataulu tarkoittaa junan kulkusuunnitelmaa rataverkolla, jonka mukaan kuljettaja pyrkii ajamaan. Aikataulu voitaisiin muodostaa laskennallisesta minimiajasta, jossa juna voi ajaa lähtöasemalta määräasemalleen, mutta todellisuudessa siinä pysyminen olisi haastavaa. Tämän vuoksi aikatauluun lisätään niin sanottua pelivaraa. (Mäkitalo 2003, 38.)

Pelivara tarkoittaa junan aikataulun suunnittelua alemmalle ajonopeudelle kuin rataosan sallima maksiminopeus. Yleensä pelivaran suuruus on henkilöjunilla 10 % ja tavarajunilla 20 %. Ajonopeudet ovat tällöin henkilöjunilla 90 % ja tavarajunilla 80 % maksiminopeudesta. Kaupunkirataliikenteessä Helsingin lähijunilla voidaan kuitenkin käyttää 5 % pelivaraa paremman kapasiteetin saavuttamiseksi. Pelivaran ansiosta juna ei jää heti myöhään pienistä pysähdysajan ylityksistä tai kulkutien vapautumisen odotuksesta. Junalla on myös mahdollisuus kiihdyttää aikatauluun kiinni ajamalla myöhässä kulkiessaan radan junalle sallimaa maksiminopeutta. (Lautela 2020, 3–4.)

5 Tutkimusasetelma

Tässä luvussa esitellään opinnäytetyön tutkimuskysymykset sekä tutkimus, jossa tarkastellaan radan nopeuteen vaikuttavia tekijöitä. Tarkasteltavana tutkimuskohteena on rataosa Tampere–Oulu.

5.1 Tutkimuskysymykset

Työssä on pyritty selvittämään, mitkä tekijät rajoittavat nopeutta rautatieliikenteessä ja mitkä mahdollistavat olemassa olevan nopeusrajoituksen noston. Tutkimus on rajattu koskemaan Tampere–Oulu -radan parantamista. Vaikka työssä esitetään yhtenä ratkaisuvaihtoehtona uutena rakennettava rataosuus, sen tarkastelu on jätetty tutkimuksen ulkopuolelle. Uutena rakennettavalla rataosalla, suunnittelun alkaessa niin sanotusti ”puhtaalta pöydältä”, rajoitteet on helpompi tunnistaa. Työssä on tutkittu

mahdollisuuksia nostaa radan nopeustasoksi 200 km/h. Sen selvittämiseksi on tutkittu, mitkä ratatekniset seikat rajoittavat nopeutta ja mitä radan rakenteelle pitäisi tehdä, jotta nykyistä nopeustasoa voidaan nostaa. Kerättyä tietoa on sovellettu Tampereen ja Oulun väliseen rataosaan, jonka nopeutta rajoittavat kohteet on saatu näin selville.

Työssä on pyritty tarkastelemaan nopeutta rajoittavien tekijöiden vaikutusta junan kulkuun ja arvioimaan niiden ajallinen kesto. On selvitetty, mikä tekijöistä aiheuttaa suurimman myöhästymisen. Tästä on hyötyä, kun radan parantamiseen tarkoitettuja resursseja kohdennetaan.

5.2 Tutkimuskohde ja aineisto

Tutkimus on kohdistettu Tampereen ja Oulun väliseen rataosaan. Rataosa on vilkasliikenteinen ja se on sekä henkilö- että tavaraliikenteen käytössä. Osa junista kulkee koko osuuden ja osa lyhyempiä välejä. Tampereen ja Oulun välinen etäisyys kiskoja pitkin on noin 495 km ja se on pääasiassa yksiraiteista rataa. Kaksoisraidetta on neljällä osuudella: Tampere–Lielähti (6 km), Pohjois-Louko–Seinäjoki (18 km), Seinäjoki–Lapua (23 km) ja Kokkola–Ylivieska (79 km). Yhteensä kaksoisraidetta on noin 126 km, joka on noin 25 % radan kokonaispituudesta. Tampereen ja Oulun välillä on pääteasemat mukaan luettuna 56 liikennepaikkaa. Sekä yksi- että kaksiraiteisilla osuuksilla on liikennepaikkoja, joilla on yksi tai useampi sivuraide esimerkiksi junakohtauksien varten. Liikennepaikoista 15 on henkilöliikenteen asemia, joilla henkilöjunat pysähtyvät matkustajapalvelua varten.

Tutkimuksen aineisto on haettu Jakoraisusta, joka on Sweco Infra & Rail Oy:n ratarekisteritietokanta. Rekisteriin on tallennettu koko rataverkon ominaisuustiedot. Tärkein osuus aineistosta on rataosan nopeusrajoitukset, joista on koostettu nopeuskaavio. Tampere–Oulu-välin nopeuskaavio on esitetty kuviossa 13. Nopeuskaavion normaali esitystapa on vaakasuorassa, mutta kaavio on tässä yhteydessä esitetty pystysuorassa, jotta sen tarkkuus säilyy luettavana. Lisäksi Jakoraisusta on haettu tietoja silta-, tunneli-, jarrupaino-opastin-, baliisi-, vaihde-, liikennepaikka-, laiturin-, tasis-

teys- ja sijaintiraiderekistereistä. Tutkitut kohteet rekistereistä ovat radan vaaka-geometria, alusrakenneluokka, päällysrakenneluokka, pengerleveys, raideväli, kisko-tyyppi, sillat, tunnelit, turvalaitteet, vaihteet, liikennepaikat, matkustajalaiturit, taso-risteykset ja huoltotiet. Myös Väyläviraston Ratatiedon extranetistä on tarvittaessa haettu tietoja liikennepaikkojen raiteistokaavioista, kaluston valvontalaitteista, radan nopeuskaavioista, ratakuvapalvelusta ja turvalaitteiden käyttöohjeista, jos rekistereistä ei ole löytynyt tarvittavia tietoja.

5.3 Tutkimusmenetelmät

Nopeusrekisteritiedot vietiin taulukkolaskentaohjelmaan, jonka työkaluilla piirrettiin Tampere–Oulu -välin nopeuskuvaaja. Muiden rekistereiden tietoja verrattiin nopeusrekisterin tietoihin ja huomio kiinnitettiin kohteisiin, joissa radan nopeustaso on alle 200 km/h. Näille kohteille pyrittiin tämän jälkeen selvittämään muiden rekistereiden tietojen pohjalta syyt, jotka rajoittavat nopeutta kyseisessä kohdassa.

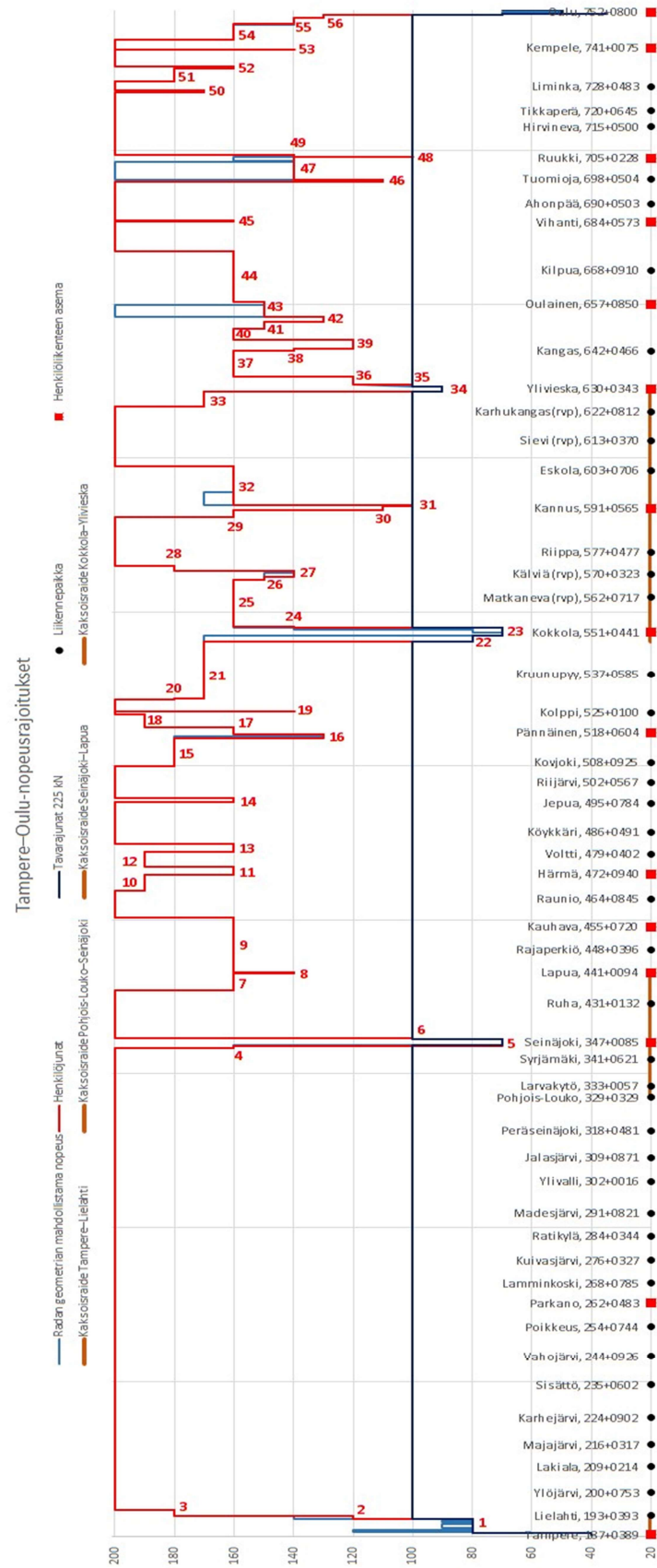
Tutkimuksen avulla saatiin selville Tampereen ja Oulun välisen rataosan nopeuteen vaikuttavat tekijät. Analysoimalla tunnistettiin ne kohteet, joissa nopeustasoa olisi mahdollista nostaa. Nopeustason nostolla junaliikenteen matka-ajat lyhentyisivät.

Nopeusvaikutusta yksittäisessä kohteessa selvitettiin verkkosivuston Juliadata.fi/nopeusrajoituslaskuri avulla. Laskurilla laskettiin, kuinka suuri viivästyttävä vaikutus yksittäisellä nopeusrajoituksella on henkilöjunan kulkuun.

6 Tapaustutkimus Tampere–Oulu nopeudennosto

Rataosalla alle 200 km/h nopeusrajoituksen aiheuttavia kohteita on yhteensä 56 kappaletta ja on numeroitu kuvioon 13. Jokaisessa kohteessa voi olla useampia nopeutta rajoittavia tekijöitä, kuten kaarteita. Yksittäisessä kohteessa voi olla myös useampi erilainen nopeutta rajoittava tekijä. Tällaisissa tilanteissa määrittäväksi on valittu se tekijä, joka rajoittaa nopeuden alimmaksi.

Tässä kappaleessa on esitetty rataosan Tampere–Oulu nopeuteen vaikuttavat tekijät. Niistä on selvitetty eniten matka-aikaan vaikuttavat tekijät ja ne on esitetty vaikuttavuudeltaan suurin tekijä ensin. Tilapäiset nopeusrajoitukset ja ratakapasiteetti on esitetty viimeisenä, koska niiden vaikutukset eivät ole samalla tavalla mitattavissa. Tilapäisiä nopeusrajoituksia ilmenee ja katoaa radan kulumisen ja kunnossapidon korjausten myötä. Kapasiteettiin taas vaikuttaa käytetty liikenne rakenne.



Kuvio 13. Tampere–Oulu-nopeuskaavio

6.1 Ratageometria

Tampereen ja Oulun välillä on yhteensä 51 kohdetta, joissa radan geometria rajoittaa junien nopeutta. Näitä ovat kohteet 1–18, 20, 21, 23–44, 46, 47, 49–52 ja 54–56.

Kaarresäteen rajoittamaa nopeutta voidaan jyrkissä kaarteissa nostaa raiteen kallistusta tai siirtymäkaaria muokkaamalla. Tampereen ja Oulun välillä tätä on kuitenkin jo tehty aikaisempien radan parannushankkeiden yhteydessä, eikä näillä keinoilla ole enää juurikaan tehtävissä tilanteen parantamiseksi.

Nopeus korkeintaan 100 km/h

Nopeudet geometrian vuoksi korkeintaan 100 km/h rajoittavat kohteet rataosalla ovat 1, 5, 6, 23, 31, 34 ja 35. Kaarresäteet ovat eniten nopeutta rajoittavissa kaarteissa välillä 340–800 m ja niissä nopeus rajoittuu geometrian vuoksi 80 km. Vaikeimpia kohteita rataosalla geometrian näkökulmasta ovat Tampereen ja Lielahden välinen osuus sekä Seinäjoen, Kokkolan ja Ylivieskan asemien alueet. Tampereen ja Lielahden välillä kohteessa 1 nopeusrajoitus on 80 km/h. Ratakäytävä on paikoin hyvin ahdas ja keskellä asutusta, jonka vuoksi ratalinjausta ei ole mahdollista muuttaa eikä näin ollen nopeutta nostaa ratakäytävän geometrian vuoksi. Seinäjoella kohteessa 5 ja Kokkolassa kohteessa 23 vain 70 km/h. Ylivieskassa kohteessa 34 nopeusrajoitus on 90 km/h. Alueilla on useita jyrkkiä nopeutta rajoittavia kaarteita, joissa ei enää kallistusta lisäämälläkään tai siirtymäkaaria pidentämällä nopeutta saada suuremmaksi.

Nopeus korkeintaan 160 km/h

Geometrian vuoksi nopeus rajoittuu välille 110–160 km/h kohteissa 2–9, 11, 13, 14, 16, 17, 24–30, 32, 36–44, 46, 47, 49, 52 ja 54–56. Näissä kohteissa kaarteet ovat kaarresäteeltään 615–1 760 m. Kaarresädettä hieman suurentamalla radan nopeustaso voisi osassa näistä kaarteista hieman nostaa. Tällainen kohde on esimerkiksi numero 7 Ruhan liikennepaikalla. Yleensä kaarresädettä pitäisi kuitenkin suurentaa niin paljon, että se vaatii radalle oikaisun. Ruhan ja Kauhavan välinen kohde 9 on kokonaispituudeltaan noin 24 km ja sillä on yhteensä seitsemän kaarretta, jotka rajoittavat nopeuden 160 km/h. Kohteissa 17 ja 18 Pännäisissä olisi mahdollista pienellä oikaisulla nostaa nopeustaso, mutta ongelmaksi tulee tällöin Purmonjoen ratasilta.

Oikaisun jälkeen rata ei enää osuisi nykyiselle sillalle ja se pitäisi rakentaa uudelleen. Oikaisun tuottama aikahyöty on niin pieni, että se ei ole järkevää.

Rataosalla on useita hankalia paikkoja nopeuden noston kannalta. Jepualla kohteessa 14 kaarre on lähes kiinni ratapihan pohjoispään vaihteessa. Tämän vuoksi kaarteiden muokkaaminen ilman vaihteen siirtämistä olisi hyvin haastavaa, ellei jopa mahdotonta. Härmässä kohteessa 11, Oulaisissa kohteessa 43 ja Tuomiojalla kohteessa 46 taas kaarteesta alkaa ratapiha. Kohteessa 32 Kannuksen ja Eskolan liikennepaikkojen välillä geometria sallisi jopa suuremman nopeuden, mutta koska tuo alue on pituudeltaan vain noin neljä kilometriä, ei nopeuden nosto ole kannattavaa. Samanlainen kohde on myös itäinen puoli kaksoisraiteesta Pohjois-Loukon ja Seinäjoen välillä. Tuo rataosa Lielahden ja Seinäjoen välillä on 200 km/h nopeusalue, mutta kaksoisraiteen itäisen raiteen suurin sallittu nopeus on vain 160 km/h. Syynä on kaksoisraiteen pituus. Kaikki henkilöjunat pysähtyvät Seinäjoella ja ne ehtisivät juuri kiihdyttää 200 km/h nopeuteen ennen jarrutusta kaksoisraiteen päättävään vaihteeseen. Tässäkään kohteessa geometria ei siis nopeutta alle 200 km/h rajoita.

Nopeus 200 km/h asti

Nopeuden 170–200 km/h mahdollistavia kaarteita on kohteissa 10, 12, 15, 18, 20, 21, 33, 50 ja 51. Näissä kohteissa kaarteiden kaarresäteet ovat suurempia kuin 1 380 m, mutta niissä on pystytty käyttämään paremmin hyödyksi radan kallistuksia ja riittävän pitkiä siirtymäkaaria. Osa kaarteista on myös niin loivia, että ne sallisivat tavanomaiselle kalustolle geometrian puolesta jopa nopeuden 250–300 km/h. Kohteessa 10 Raunion liikennepaikalla pienellä geometrian muutoksella olisi nopeusrajoitus mahdollista nostaa 200 km/h. Tällä muutoksella saisi hieman lisää yhtenäistä 200 km/h nopeusalue, joka kuitenkin päättyy Härmän ratapihan aiheuttamaan rajoitukseen. Kohteessa 12 Härmän ja Voltin välillä radan geometria sallisi 200 km/h nopeuden, mutta kyseinen hieman alle viiden kilometrin pituinen osuus kahden 160 km/h nopeusrajoitusalueen välissä ei mahdollista nopeuden nostoa 200 km/h nopeuteen asti. Kohteessa 15 Kovjoella kaarteesta alkaa ratapiha.

Ratageometrian liikennevaikutukset

Ratageometrian vaikutuksia ajonopeuteen ja junan kulkuun radalla on tutkittu kilometrin pituisella kaarrealueella. Tätä kuvaa taulukko 11. Siinä on esitetty nopeudella 200 km/h 1 000 m pituiselle kaarrealueelle saapuva IC-juna, joka jarruttaa nopeusrajoituksen mukaiseen nopeuteen kiihdyttäen sen jälkeen taas kaarretta edeltäneeseen ajonopeuteen 200 km/h.

Taulukko 11. 1 000 m pituisen nopeusrajoituksen aiheuttavan kaarrealueen vaikutus 200 km/h kulkevaan junaan

Nopeusrajoitus	Jarrutusmatka	Jarrutusaika	Kiihdytysmatka	Kiihdytysaika	Kokonaismatka	Liikennevaikutus
190 km/h	255 m	5 s	1925 m	36 s	3.4 km	2 s
180 km/h	491 m	9 s	3282 m	1 min 2 s	5.0 km	6 s
160 km/h	931 m	19 s	5484 m	1 min 48 s	7.6 km	17 s
140 km/h	1314 m	28 s	7159 m	2 min 29 s	9.7 km	33 s
120 km/h	1650 m	37 s	8467 m	3 min 5 s	11.3 km	54 s
100 km/h	1932 m	46 s	9456 m	3 min 37 s	12.6 km	1 min 20 s
80 km/h	2165 m	56 s	10199 m	4 min 7 s	13.6 km	1 min 53 s

Yhtenäisen 200 km/h nopeusalueen katkaiseva kilometrin pituinen kaarrealue ei vielä nopeusrajoituksilla 160–190 km/h aiheuta kovin suurta hidastusvaikutusta ajallisesti, mutta seitsemän vaunun IC-juna joutuu tässä teoreettisessa tilanteessakin kiihdyttämään takaisin 200 km/h ajonopeuteen noin 2–5 kilometrin matkan. Myös jarrutus rajoitusalueelle saapuessa on aloitettava noin 300–1 000 metriä ennen rajoituksen alkua. Vaikka nopeusrajoitus on koko rataosan pituuteen suhteutettuna pisteellinen, on sillä pidempiaikainen vaikutus junan nopeuteen ja energiankulutukseen radalla.

Taulukko 11 havainnollistaa hyvin syyn, miksi yksittäisen kaartein jälkeen nopeutta ei välttämättä kannata tai edes voi nostaa. Radalla kaartein päättyessä sen aiheuttama syy nopeusrajoitukselle myös häviää, jos mikään muu syy ei nopeutta rajoita. Suoralla radalla minkä tahansa kaartein ulkopuolella tällä rataosalla suurin mahdollinen nopeus olisikin hyvin usein 200 km/h. Koska rajoituksen aiheuttamaa kaarretta kuitenkin seuraa hyvin usein toinen kaarre, rajoittuu nopeus pidemmällä matkalla kaartein aiheuttamien rajoitusten mukaiseksi. Jarrutus- ja kiihdytysmatkat syövät

kaarteita seuraavien suorien osuukien hyödyntämismahdollisuuksia. Lisäksi koko ajan vuorotellen jarruttava ja kiihdyttävä juna ei ole matkustusmukavuuden kannalta yhtä miellyttävä, kuin tasaista nopeutta ajava, eikä tuollainen ajotyylly ole myöskään taloudellista. Näistä syistä alueella alimman nopeusrajoituksen aiheuttava kaarre voi rajoittaa nopeutta myös muiden lähellä sijaitsevien kaarteiden läpi ajettaessa, vaikka ne mahdollistaisivat suuremman nopeuden.

Tampereen ja Oulun välisellä rataosalla radan geometriasta johtuvat liikennevaikutukset ovat tutkimuksen mukaan noin 25 minuutin luokkaa laskettuna nopeusrajoituslaskurilla. Se on selvästi suurin yksittäinen hidastuksia aiheuttava syy tällä rataosalla, mutta samalla myös kaikkein haastavin ja kallein korjauskohde. Laskennassa ei ole otettu huomioon Tampere–Lielahden väliä eikä Seinäjoen, Kokkolan, Ylivieskan ja Oulun asema-alueita. Tampereen ja Lielahden välillä on paljon myös muista syistä kuin geometriasta johtuvia rajoituksia, jonka vuoksi se on rajattu laskennassa pois. Niiden selvittäminen olisi ollut opinnäytetyön kannalta liian työlästä ja niiden korjaaminen on joka tapauksessa ratakäytävän ahtauden vuoksi erittäin kallista ja vaikeaa. Mainitut asema-alueet taas jätettiin tarkastelun ulkopuolelle, sillä henkilöliikenteen juna pysähtyy niillä joka tapauksessa.

6.2 Sillat

Sillat rajoittavat nopeutta useissa kohteissa rataosaa. Näitä ovat kohteet 19, 43, 45, 47, 48 ja 53. Ylikulkusiltaja näistä on kohteissa 19, 43, 45, 47 ja 53, ratasilta taas kohteessa 48. Kohteen 43 Oulaisten pohjoinen ylikulkusilta rajoittaa nopeuden 160 km/h, mutta radan geometria rajoittaa lisäksi nopeutta vielä hieman tätä enemmän. Kohteiden 19 Kolpin ja 53 Kempeleen ylikulkusillat rajoittavat 140 km/h ja kohteiden 45 Vihannin ja 47 Ruukin ylikulkusillat 160 km/h. Ruukissa tosin radan geometria rajoittaa nopeuden alle tämän. Näistä 19, 45 ja 53, eli Kolpin, Vihannin ja Kempeleen liikennepaikoilla sijaitsevat sillat aiheuttavat suurimmat liikennehaitat niiden aiheuttaman rajoituksen katkaistessa suuremman nopeuden mahdollistavat nopeusalueet. Kohteessa 48 Siikajoen ratasilta Ruukin liikennepaikalla aiheuttaa 100 km/h nopeusrajoituksen. Nopeuden nosto tällä paikalla vaatisi uuden sillan rakentamisen. Geometria sallisi alueella nopeustason 140 km/h.

Siltojen liikennevaikutukset

Kohteiden 19 Kolpin ja 53 Kempeleen ylikulkusillat aiheuttavat noin 25 ja 30 sekunnin liikennevaikutuksen ohittaville henkilöjunille rajoittamalla 200 km/h nopeusalueella nopeuden 140 km/h. Liikennevaikutuksen ero johtuu rajoituksen pienestä pituus-erosta. Vihannin ylikulkusilta aiheuttaa 200 km/h nopeusalueella 160 km/h rajoituksella noin 13 sekunnin liikennevaikutuksen henkilöjunille. Siikajoen ratasillan 100 km/h rajoitus aiheuttaa 140 km/h nopeusalueella 16 sekunnin liikennevaikutuksen. Siltojen yhteenlaskettu liikennevaikutus on noin 85 sekuntia.

6.3 Vaihteet

Nopeutta rajoittavia vaihteita on tarkastelualueella Pohjois-Loukosta alkavan ja Lapualle päättyvän kaksoisraiteen päissä ja kohteessa 22. Kaksoisraiteen päissä olevat vaihteet rajoittavat nopeutta tilanteissa, joissa juna ajaa sivuun pääraiteelta rataosan muuttuessa kaksiraiteiseksi. Nuo molemmat vaihteet ovat tyyppiä YV60-5000/2500-1:26 ja ne sallivat yli 200 km/h nopeuden suoralle ja 140 km/h sivuun.

Kokkolassa kohteessa 22 vaihde on tyyppiä YV60-900-1:18. Se rajoittaa sivusuunnassa nopeutta 80 km/h. Suoralla raiteella vaihdetyyppi sallisi nopeuden 200 km/h, mutta vaihteen alueella myös ratageometria rajoittaa nopeuksia.

Vaihteiden liikennevaikutukset

Vaihteiden aiheuttamasta liikennevaikutuksesta ei pääse helposti eroon. Sivusuunnassa vaihde aiheuttaa aina rajoituksen. Pohjois-Loukon ja Seinäjoen välillä vaihteet ovat jo pitkiä vaihteita. Vaihtamalla ne risteysuhteen 1:28 vaihteiksi ne sallisivat nopeuden 160 km/h sivusuunnassa. Nopeutta saisi nostettua tällöin 20 km/h vaihteen kohdalla. 140 km/h rajoituksen aiheuttavan vaihteen liikennevaikutus on 340 metrin matkalla 28 sekuntia nopeuteen 200 km/h verrattuna. 160 km/h nopeuden mahdollistavalla vaihteella liikennevaikutus olisi 14 sekuntia. Vaihteen voisi myös poistaa kokonaan jatkamalla kaksoisraidetta. Pohjois-Loukon päässä kaksoisraide pitäisi jatkaa Lielahteen asti, tai muuten rajoituksen sijainti vain vaihtaisi paikkaa koko rataosuuden Tampereelle asti salliessa 200 km/h nopeudet. Lapuan päässä radan nopeustaso on 160 km/h, joten vaihteen risteysuhtetta pidentämällä

1:28 rajoituksen saisi poistettua kokonaan. Kuitenkin noin kilometrin päässä vaihteen sijainnista on 140 km/h nopeusrajoituksen aiheuttava kaarre. Vaihteen vaihto ei olisi siis välttämättä järkevää ilman tuon kaarteeseen aiheuttaman ongelman ratkaisua samassa yhteydessä. Lisäksi 140 km/h rajoittavan vaihteen aiheuttama liikennevaikutus on 160 km/h nopeusalueella vain 4 sekuntia. Vaihteet rajoittavat lisäksi nopeutta vain läntisellä raiteella liikuttaessa.

Kohteen 22 kohdalla Kokkolassa vaihteen ylitys läntiselle raiteelle kaksiraiteisen osuuden alkaessa aiheuttaa 80 km/h nopeusrajoituksen. Sen liikennevaikutus on kahden kilometrin matkalla noin 48 sekuntia. Jos juna käyttää Kokkolan pysähdyksessä raidetta kaksi, ei vaihteesta ole kuitenkaan tarvetta ajaa sivuun.

Vaihteiden yhteenlaskettu liikennevaikutus on noin 68 sekuntia. Niiden vaikutus ei kuitenkaan kohdistu jokaiseen junaan.

6.4 Laiturialueet, huoltotiet ja näkemä

Matkustajalaiturin vapaan tilan leveys ei ole riittävä suurille nopeuksille Ylivieskan asemalla kohteessa 34. Tämä aiheuttaa ohittaville junille 120 km/h nopeusrajoituksen. Radan geometria kuitenkin rajoittaa nopeuden 90 km/h aseman kohdalla.

Laituripolku aiheuttaa nopeusrajoituksen kohteessa 23 Kokkolassa. Lisäksi samalla alueella myös radan geometria rajoittaa nopeutta, joten vain rakentamalla alikulkutunneli tai ylikulkusilta välilaiturille ja poistamalla laituripolku ei vielä nopeutta saada Kokkolan aseman kohdalla nostettua.

Seinäjoella on huoltotie asema-alueen eteläpuolella, jota pitkin on kulku veturitalleille. Näkemä aiheuttaa tässä kohdassa kohteessa 5 alennetun nopeusrajoituksen 70 km/h ajettaessa etelästä kohti pohjoista. Pohjoisen suunnasta tullessa tuolla kohdalla on 120 km/h nopeusrajoitus.

Laiturialueiden, huoltoteiden ja näkemän liikennevaikutukset

Laiturialueet ja laituripolut eivät yksinään aiheuta rataosalla liikennevaikutuksia, koska kohteissa on myös muita nopeutta rajoittavia syitä. Näkemä aiheuttaa Seinäjoella etelästä pohjoiseen kuljettaessa noin 33 sekunnin liikennevaikutuksen.

6.5 Turvalaitteet

Oulun asetinlaite aiheuttaa 140 km/h nopeusrajoituksen kohteessa 55. Asetinlaite olisi uusittava, jotta rajoitus poistuisi. Alueella on kuitenkin myös geometrian aiheuttamia rajoituksia nopeuteen.

Turvavaihteet on rakennettu rataosalla 18 liikennepaikalla kaikille vaihteille ja 14 liikennepaikalla osalle vaihteista. Niillä vaihteilla, joilla turvavaihteita ei ole, opastinvaran pituus on riittävä mahdollistaakseen 200 km/h nopeuden pääraiteen liikennöinnille.

Turvalaitteiden liikennevaikutukset

Jos Oulun asetinlaite olisi ainoa nopeutta 160 km/h alaspäin alueella rajoittava tekijä, olisi sen liikennevaikutus noin 10 sekuntia noin kahden kilometrin alueella. Alueella on kuitenkin myös geometrian aiheuttamia rajoituksia samaan 140 km/h nopeuteen mihin myös asetinlaite nopeuden rajoittaa.

6.6 Pengerleveys ja raideväli

Pengerleveys mahdollistaa rataosalla pääosin 200 km/h nopeudet. Poikkeuksena tähän on esimerkiksi Tampereen ja Lielahden välinen rataosuus kohteessa 1, joka kulkee taajama-alueella. Penger on välillä kapeampi, eikä sen leventäminen ole helppoa aivan radan vieressä kulkevien jalkakäytävien vuoksi useissa kohdissa rataa. Muualla pengerleveys on suoralla 6,8 m ja kaarteissa 7,2 m. Tässä mitoittavana on käytetty tavaliikenteen akselipainoa 250 kN nopeudella 100 km/h. Pengerleveyksistä ei siis aiheudu liikennevaikutuksia rataosalle.

Kaksiraiteisilla osilla raidevälit eivät tällä rataosalla rajoita nopeuksia alle 200 km/h. Pienimmät raidevälit on hyväksytty ratahankkeen Seinäjoki–Oulu suunnitteluperusteissa Kokkolan eteläpuolelle noin kilometrin matkalle ja Vihannin liikennepaikan pohjoispäähän. Noilla alueilla raideväli on 200 km/h mahdollistava 4,3 metriä. Muualla se on 4,5 m. Raidevälit eivät myöskään liikennevaikutuksia radalla aiheuta.

Suurempien nopeuksien vaatiman raidevälin toteuttaminen voi olla haaste olemassa olevaan ratakäytävään. Lisäraiteet eivät välttämättä mahdu penkereen päälle, jolloin pengertä pitää leventää. Rata taas saattaa kulkea taajama-alueella, jolla ei ole sivusuunnassa tilaa leventää rata-aluetta. Näin suuremmat nopeudet mahdollistava raideväli voi olla vaikeaa tai jopa mahdotonta toteuttaa tietyillä kohdilla rataa. Pengerleveys voi olla myös ongelma olemassa olevilla yksiraiteisilla rataosilla. Jotta suunnitellulle nopeudelle riittävästä leveydestä saadaan varmuus, voi leveyden mittaaminen olla välttämätöntä.

6.7 Radan päälly- ja alusrakenneluokat

Rataosa Tampereen ja Oulun välillä on lähes kokonaisuudessaan päällysrakenneluokkaa D. Ainoastaan Kokkolan liikennepaikalla kohteissa 22 ja 23 on noin 4,5 kilometrin alue päällysrakenneluokkaa C2. Se rajoittaa henkilöliikenteen nopeudeksi 200 km/h ja tavaraliikenteelle akselipainolla 225 kN 100 km/h ja akselipainolla 250 kN 80 km/h. Alueella on kuitenkin radan geometrian ja laituripolun vuoksi jo alennettu nopeus 70 km/h. Päällysrakenneluokka ei aiheuta alueella liikennevaikutuksia henkilöjunille.

Alusrakenneluokka on rataosan pääraiteilla luokkaa 3 ja vaihteiden kohdalla luokkaa 4. Se mahdollistaa osaltaan 200 km/h nopeudet henkilöliikenteelle koko rataosalla. Tavaraliikenteelle on koko välillä mahdollistettu 250 kN akselipainot ja sillä akselipainolla suurimmillaan nopeus 100 km/h. Myöskään alusrakenneluokka ei aiheuta liikennevaikutuksia alueella henkilöjunille.

6.8 Sähkörata

Sähkörata mahdollistaa koko rataosan alueella nopeuden 200 km/h. Alueella on kahta erilaista sähköratatyyppiä, mutta niistä ei aiheudu tätä nopeustasoa laskevaa nopeusrajoitusta. Sähkörata ei näin myöskään aiheuta liikennevaikutuksia alueella.

6.9 Kiskotyyppi

Rataosa on kokonaisuudessaan jatkuvakiskoraidetta mahdollistaen yli 120 km/h nopeudet ja yli 225 kN akselipainot tavaraliikenteelle. Kiskotyypit ovat pääraiteilla 54E1 ja 60E1 kiskoja. Näistä 54E1 kiskot rajoittavat henkilöjunien nopeutta vaunujen akselipainojen ylittäessä 180 kN. Tämä raja ei kuitenkaan nykyisin käytössä olevalla henkilöjunien kalustolla ylity, eli kaikki henkilöliikenne voi kiskotyypistä huolimatta ajaa 200 km/h. Kiskot eivät näin aiheuta liikennevaikutuksia. Tavaraliikenteessä 54E1 kiskot rajoittavat junien nopeutta rataosalla 80 km/h 60E1 kiskoja mahdollistaessa 100 km/h nopeuden.

6.10 Liikkuvan kaluston valvontalaitteet

Rataosalle on asennettu kuumakäynti-ilmaisimet valvomaan nopeutta, koska junat ajavat yli 160 km/h. Kuumakäynti-ilmaisimia on radalla Tampereen ja Oulun välillä 11 kohteessa. Ylöjärvellä, Vahojärvellä, Ratikylässä, Loukossa, Hahtomaalla, Köykkärissä, Kruunupyyssä, Kannuksessa, Rajaperässä, Vihannissa ja Tupoksessa. Keskimäärin kuumakäynti-ilmaisimia on rataosalla noin 47 kilometrin välein. Suurin etäisyys on Rajaperän ja Kannuksen välillä noin 52 km. Kuumakäynti-ilmaisimen vikaantuessa aiheutuu siitä 160 km/h nopeusrajoitus vähintään seuraavalle kuumakäynti-ilmaisimelle asti. Rataosalle ei näistä aiheudu liikennevaikutuksia, koska valvontalaitteet kattavat koko osuuden. Kuumakäynti-ilmaisimen vikaantuminen aiheuttaisi kuitenkin rataosalle tilapäisen nopeusrajoituksen, jonka pituus olisi keskimäärin 47 km.

Pyörävoimailmaisimia on rataosalla vain Kannuksessa ja Tupoksessa. Virroitinkamerat taas ainoastaan Limingassa.

6.11 Tunnelit ja tasoristeykset

Rataosalla ei ole tunneleita. Kaikki tasoristeykset taas on poistettu ja korvattu silloin ja alikuluin.

6.12 Tilapäiset nopeusrajoitukset

Rataosalla Tampereen ja Oulun välillä oli 22.09.2020 tilanteessa yhteensä 11 tilapäistä nopeusrajoitusta. Näistä rajoituksista viisi oli vaihteita, kolme liittyi raiteen kuntoon ja yksi siltaan. Lisäksi kaksi rajoitusta on kirjattu järjestelmään niin, että niistä ei voi päätellä syytä mistä ne aiheutuvat. Rajoituksia on vain yksi kummallakin Tampereen ja Seinäjoen sekä Seinäjoen ja Kokkolan välisillä rataosilla. Kokkolan ja Ylivieskan välillä on jo kolme rajoitusta ja Ylivieskan ja Oulun välillä rajoituksia on eniten, yhteensä kuusi kappaletta. Tilapäiset nopeusrajoitukset painottuvatkin koko Suomen mittakaavassa hieman Pohjois-Suomeen, kun jakoviivana käytetään Seinäjoki–Kuopio-akselia. Helsingin ja Turun välistä rantarataa ei tässä otettu huomioon, koska tuolla rataosalla oli tarkasteluajankohtana käynnissä useita tilapäisiä nopeusrajoituksia aiheuttavia työmaita.

Tampere–Oulu välin tilapäisistä nopeusrajoituksista pian poistuvassa tilassa oli kaksi rajoitusta. Toinen Tampereen ja Seinäjoen välillä ja toinen Ylivieskan ja Oulun välillä ja molemmat olivat tyypiltään vaihteita. Näiden arvioitu poistumisajankohta oli molemmilla tarkasteluajankohtana mennyt umpeen noin viikko sitten. Koska kyseessä on korjausarvio, on hyvin tavallista, että aikataulu niiden kohdalla venyy. Kuudella rajoituksella oli jo olemassa suunnitelma, jonka mukaan niiden taustalla olevaa haittaa oltiin korjaamassa ja rajoitusta sitä myöten poistamassa korjauksen valmistuttua. Kahdeksalla rajoituksella poistumisen aikataulu ei ollut tiedossa. Näillä poistamisen suunnitelmia ei ole vielä laadittu.

Vanhimmat tilapäisistä nopeusrajoituksista ovat jo yli kaksi vuotta vanhoja. Ne ovat Limingassa sijaitseva radan geometriaan liittyvä rajoitus, joka on ollut tarkoituksena korjata kevään ja kesän 2020 aikana. Rajoitus on ollut kuitenkin vielä lokakuussa

2020 voimassa. Toinen kaksi vuotta voimassa ollut rajoitus oli Siikajoen ratasillan tilapäinen nopeusrajoitus. Tämä rajoitus oli suunniteltu poistettavan tilapäisistä nopeusrajoituksista tekemällä siitä pysyvä nopeusrajoitus.

Tilapäisten nopeusrajoitusten liikennevaikutukset

Tilapäisistä nopeusrajoituksista radan kunnosta johtuvien rajoitusten yhteenlaskettu liikennevaikutus oli noin 40 sekuntia. Vaihteista johtuvien rajoitusten yhteenlaskettu liikennevaikutus oli noin 212 sekuntia. Sillat aiheuttivat yhteensä noin 79 sekunnin liikennevaikutuksen. Tyypiltään määrittelemättömät rajoitukset aiheuttivat noin 179 sekunnin liikennevaikutuksen Tampereen ja Oulun välillä. Kaikilla rajoituksilla pitäisi olla määriteltynä syy, mistä ne johtuvat. Tämän syyn merkitsemättä jääminen johtuu puutteista niistä havainnon tehneen tahon tekemissä ilmoituksissa. Tässä olisi siis selkeästi parantamisen varaa, jotta rekisteriin menevät tiedot olisivat mahdollisimman tarkkoja ja oikeita.

6.13 Ratakapasiteetti

Seinäjoki-Oulu välin rataosa on perusparannettu tavanomaisen kaluston osalta nopeudelle 160–200 km/h. 200 km/h on suunniteltu lähinnä kallistuvakoriselle kalustolle. Aikatauluja ei kuitenkaan tällä hetkellä suunnitella niin, että niissä hyödynnettäisiin kallistuvakorisen kaluston tuottamaa aikahyötyä. Syynä tähän on epävarmuus kallistusten toimivuudesta. Kallistukset ovat ongelmassa varsinkin talviolosuhteissa, kun sama junakalusto kulkee koko tämän pitkän pohjois-etelä suuntaisen kulkuvälin. Lumen pakkautuminen junan teleihin voi olla suurta ja se vaikeuttaa kallistusten toimintaa. Junia ei myöskään aina ehditä sulattaa reitin molemmissa päissä, jolloin ongelma voi aluillaan jo junan lähtiessä määräasemaltaan liikkeelle. Tähän ongelmaan ei ole tuottanut toivottua vaikutusta edes vaunujen pohjarakenteisiin jään muodostumista estämään suihkutettu glykoli. Kallistuvakorisia junia ei kuitenkaan nähdä tulevaisuudessa merkittävässä roolissa myöskään muualla Euroopassa, vaikka siellä eivät edes lumiset olosuhteet ole kalustotyyppin kiusana.

Kaksoisraiteelle olisi Tampereen ja Oulun välisellä rataosalla tarvetta varsinkin Lielahden ja Pohjois-Loukon välillä. Tällöin koko Tampere–Seinäjoki-väli olisi kaksoisraidetta.

Myös pohjoisessa Ylivieskan ja Oulun välillä olisi tarvetta kaksoisraiteelle. Etelässä Tampereen ja Seinäjoen välillä on vilkkainta henkilöliikennettä ja hieman vähemmän tavaraliikennettä, kun taas pohjoisessa Kokkolan ja Oulun välillä kulkee paljon tavaraliikennettä, joka hyötyisi koko tämän välin pituisesta kaksoisraiteesta. Kaksoisraide parantaa ratakapasiteettia huomattavasti, koska tällöin junat voivat kulkea aina samaan suuntaan omalla raiteellaan, eli esimerkiksi vasemmanpuoleista raidetta etelään ja oikeanpuoleista raidetta pohjoiseen. Tämä parantaa myös rataosan täsmällisyyttä, koska junakohtaamisten tarve vähenee verrattuna yksiraiteiseen rataosaan. Junakohtaamisissa liikennepaikoilla yksiraiteisella radalla kulkevan junan myöhästymisen välittyy myös vastakkaiseen suuntaan kulkevaan junaan, koska junien kohtaamiset eivät toteudu suunnitellussa aikataulussa. Tilannetta voidaan kuitenkin parantaa riittävällä liikennepaikkojen määrällä rataosalla. Sopivilla kohtaamismahdollisuuksien välimatkoilla junakohtaaminen voidaan myöhästymistapauksessa järjestää toisella liikennepaikalla, joka sopii ajallaan kulkevan junan aikatauluun jättämättä lisää myöhään myöskään myöhässä jo valmiiksi kulkevaa juna.

Myös junien matka-ajat lyhenevät jonkin verran kaksoisraiteen ansiosta, koska nämä aikatauluun suunnitellut junien kohtaamiset voidaan jättää pois. Yksi yllä kuvatun tyyppinen kohtaaminen on kestoaltaan arviolta kolmesta viiteen minuuttia väistävälle junalle. Osa tällaisista pysähdyksistä voidaan henkilöjunille suunnitella kaupallisiksi pysähdyksiksi asemille, joilla ne pysähtyisivät joka tapauksessa asiakaspalvelua varten, mutta näitä pysähdyksiä joudutaan toteuttamaan myös ei-kaupallisina. Tällöin juna pysähtyy liikenteellisesti sopivassa paikassa olevan liikennepaikan sivuraiteella, jolla se ei ideaalitulanteessa pysähtyisi ja jarrutukseen, kohtaavan junan odottamiseen ja ohituksen jälkeen uudelleen matkanopeuteen kiihdyttämiseen kuluva aika lisätään junan aikataulunmukaiseen matka-aikaan.

Ratakapasiteetin näkökulmasta hitaat tavarajunat ovat ongelmallisia liikkueessaan samoilla raiteilla nopeiden henkilöjunien kanssa. Hidas juna aiheuttaa takanaan tulevalle nopealle junalle ylimääräisiä jarrutuksia, jolloin se varaa rataosuutta huomattavasti pidempään kuin päästessään liikkumaan radalla vapaasti omaa nopeuttaan. Koska kiihdytykset raiteilla ovat hitaita ja kuluttavat paljon energiaa, olisi liikenteen

sujuvuuden ja taloudellisuuden vuoksi toivottavaa, että junat kulkisivat suunnitellussa aikataulussaan ilman konflikteja toisten junien kanssa. Ylimääräinen jarrutus jättää junaa heti myöhään aikataulustaan, eikä sen kiinni kireminen ole aina mahdollista. Varsinkin, jos hitaampi juna kulkee edellä pitkään pääsemättä ajamaan sivuun. Myös väistäminen on hidas tapahtuma pitkän junan kyseessä ollessa, koska sivuraiteiden vaihteet mahdollistavat usein vain nopeuden 35 km/h sivuun ajettaessa.

Ratakapasiteettia rajoittaa myös puutteet liikennepaikkojen raiteiden pituuksissa niiden läpi kulkevien junien pituuksiin nähden. Rataosaa suunniteltaessa on määritelty junien mitoittavat hyötypituudet liikennepaikoille. Tämä tarkoittaa, että liikennepaikoilla on vähintään yksi raide, jossa hyötypituuden pituinen juna mahtuu suojaan kohtaamaan vastaantulevan junan, tai voi päästää ohitseensa takaa tulevan nopeamman junan.

Tampereen ja Oulun välisen radan perusparannuksen yhteydessä suunnitteluperusteissa on määritelty liikennepaikoille pidemmät raiteiden hyötypituudet, mutta poikkeuksena on lisäksi hyväksytyt olemassa oleville raiteille lyhyempiä hyötypituuksia, jos raiteen pidentäminen aiheuttaa kohtuuttomat rakentamiskustannukset. Rataosalla on siis liikennepaikkoja, joilla tällä välillä liikennöivät pisimmät tavarajunat eivät mahdu ajamaan sivuun junakohtausta varten. Siitä aiheuttaa rajoituksia liikenteelle, sillä kohtaamisten suunnittelussa on otettava tämä rajoite huomioon. Pitkä tavarajuna voi joutua odottamaan vastaantulevaa junaa sillä liikennepaikalla, jolla kohtaaminen on kyseiselle junalle sivuraiteen pituuden puolesta mahdollista, jos se taas seuraavalla liikennepaikalla ei sitä ole. Tämä voi aiheuttaa myös ylimääräisen pysähdysten nopeammalle henkilöjunalle, koska tavarajuna ei mahdu ajamaan sivuun ja näin henkilöjuna joutuu junien kohdatessa väistämään. Rataosan perusparannuksen suunnitteluperusteiden mukaan Seinäjoen ja Kokkolan välillä mitoittava hyötypituus on 750 m ja jo olemassa olevilla raiteilla on hyväksytyt 700 m hyötypituus. Kokkola–Oulu-välillä mitoittava hyötypituus on 925 m, mutta olemassa olevien raiteiden hyötypituudet on todettu olemassa olevilla pituuksillaan riittäviksi, jos niiden pidentäminen on ollut kohtuuttoman kallista. Näin kaikki liikennepaikat eivät siis ole junakohtaamisten kannalta kaikille junille sopivia.

Ratakapasiteetin liikennevaikutukset

Ratakapasiteetin aiheuttamiin liikennevaikutuksiin arviointiin tarvittaisiin tarkempia tutkimuksia. Koska kapasiteettia parantamalla poistuu junien kohtaamisia rataverkolla, on sen vaikutus tällöin helposti joitakin minuutteja. Kuitenkin kapasiteettia lisäämällä mahdollistetaan myös entistä enemmän liikennettä rataosalle. Siksi lähtötilanteen vertaaminen ei ole niin helppoa rataosaan, jolla kapasiteetin parantamistoimenpiteet on toteutettu. Näin on erityisesti sekaliikenteen radalla, jolla liikkuu sekä nopeita henkilöjunia että hitaita tavarajunia. Vaikka junat kulkisivat kaksoisraiteella eri suuntiin omilla raiteillaan, aiheuttaa tavarajuna silti ohittamistarpeen nopeammalle henkilöjunalle. Samoin myös useammin asiakaspysähdyksiä tekevä henkilöjuna harvemmin pysähtelevälle henkilöjunalle.

Kuviossa 8 on esitetty sivuraiteen sivusuojavaihtoehtoja, joilla pääraiteella voidaan liikennöidä radan sallimalla maksiminopeudella. Normaalisissa tilanteissa käytetään turvavaihteita, kuten vaihtoehdossa A. Vaihtoehto B on harvinaisempi, koska raiteensulut ovat yleensä käsikäyttöisiä. Junayksikkö joutuu sulkeutumaan sivuraiteelle raiteensulkujen väliselle alueelle, jota varten veturinkuljettaja tai vaihtotyönjohtaja kääntää käsin raiteensulut paikalleen junan pysähtyttyä sivuraiteelle. Näin voidaan toimia esimerkiksi junan jättäessä vaunuja tilapäiselle säilytyspaikalle rataverkolla.

Vaihtoehto B on halvempi toteuttaa kuin A, mutta sen käytettävyys on huono. Vaihtoehto A on kalliimpi, mutta sitä voidaan ohjata kauko-ohjauksella liikenteenohjauksesta. Tilanteessa, jossa molemmista suunnista on juna saapumassa yhtä aikaa kohtaamispaikalle vaihtoehdot A ja B saattavat kuitenkin vaatia punaisella viivalla kuvattun vasemmalta saapuvan junan pysäyttämisen liikennepaikan tulo-opastimelle kuvan ulkopuolelle. Punaisella viivalla kuvattu juna on pysäytettävä, jotta sinisellä viivalla kuvattu vastakkaisesta suunnasta saapuva juna ehtii kokonaisuudessaan sivusuojan turvaamalle alueelle pois pääraiteelta. Punaisella viivalla kuvattu juna voidaan ottaa liikennepaikalle asti siinä tapauksessa, että liikennepaikan opastinvara mahdollistaa sen.

Vaihtoehto C taas on kallein toteuttaa, koska sivuraiteita tarvitaan liikennepaikalle kaksi ja siten myös turvavaihteita kaksinkertainen määrä. Tässä vaihtoehdossa molemmat junat voivat kuitenkin kohdata liikennepaikalla yhtä aikaa. Hyvällä ajoituksella kumpikaan ei joudu edes pysähtymään, sillä molemmat ovat turvattuina sivusuojilla saapuessaan kohtaamiseen liikennepaikalle ja junien ohitettua oman sivuraiteensa ensimmäisen vaihteen ja siirryttyään kokonaan omille sivuraiteilleen, voidaan sivuraiteen toisen pään turvavaihteet kääntää kohti pääraidetta ja mahdollistaa läpiajo liikennepaikalta. Tämä on mahdollista, koska osuudet kummankaan junan edessä eivät ole enää varattuja. Edellytyksenä on tietenkin riittävät hyötypituudet sivuraiteilla, jotta junat mahtuvat ajamaan sivuun ja osuudet niiden takana vapautuvat.

Myös vaihtoehdossa B punaisella kuvatun junan saapuessa liikennepaikan tulo-opastimelle sinisellä kuvatun junan jälkeen sen jo siirryttyä kokonaisuudessaan sivuraiteelle, punaisella kuvattu juna voi jatkaa pysähtymättä ohi liikennepaikan. Vaihtoehto C antaa kuitenkin enemmän pelivaraa kohtaamisen toteutumiseen. Siinä punaisella kuvattu juna pääsee etenemään pidemmälle ennen kuin sen on pysähdyttävä, jos kulkutie ei ole siihen mennessä vapautunut. Vaihtoehdossa C opastinvara ei vähennä junakohtaamisissa käytettävissä olevaa raiteen hyötypituutta. Sinisellä junalla on siis enemmän aikaa ajaa suojaan. Lisäksi vaihtoehdossa C on tietenkin mahdollista pysäyttää sinisellä ja punaisella kuvatut junat liikennepaikan sivuraiteille ja päästää ohi jommankumman takana ajava kolmas juna keskimmäistä pääraidetta pitkin. Vaihtoehto C onkin ratakapasiteetin näkökulmasta paras vaihtoehto liikennepaikkamalliksi yksiraiteisella radalla.

6.14 Mahdollisuudet nopeuden nostoon Tampereen ja Oulun välisellä rataosalla

Tampereen ja Oulun välisellä radalla on selkeästi havaittavissa erilaiset nopeustasoalueet kuviossa 13. Vanhalla osalla päärataa Pohjanmaan joet ovat määrittäneet ratalinjauksen paikan. Oletettavasti radan nykyiselle sijainnille on ollut helpointa rakentaa rataa ja jokien ylityksiä on vältelty. Lopputuloksena rata on hyvin kaarteinen seurailien jokia tällä alueella. Tampereen ja Seinäjoen välille taas on rakennettu oikorateita ohittamaan koukkaus Haapamäen kautta. Tuo osa rataa on avattu liikenteelle

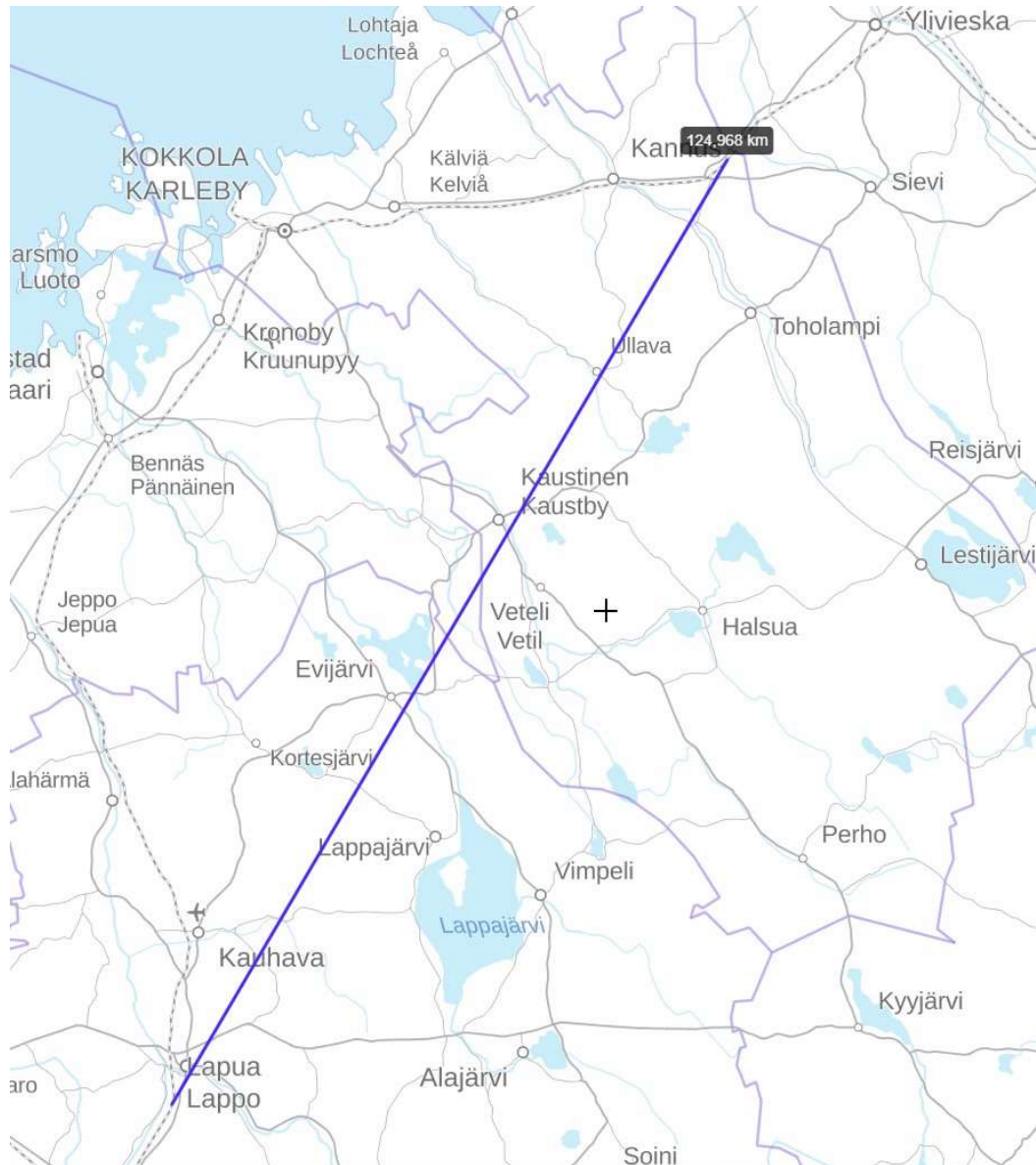
vuonna 1971. Rataosa on hyvin suora ilman nopeutta rajoittavia kaarteita ja sillä on vain yksi henkilöliikenteen käytössä oleva asema Parkanossa. Näistä syistä se mahdollistaa selkeästi suuremmat ajonopeudet ja sitä myöten myös matka-ajat henkilöjunille muuhun rataosaan verrattuna.

Jos matka-aikaa Tampereen ja Oulun välisellä rataosalla halutaan vähentää, on keinot siihen nykyisellä radalla vähissä. Suurimman hidastavan vaikutuksen matka-aikaan tuottaa tutkimuksen mukaan radan geometria. Muut toimenpiteet tuottavat vain pienen vaikutuksen matka-aikaan. Todellisiin matka-aikaa lyhentäviin tuloksiin päästäkseen olisi radalla tehtävä oikaisuja. Ne voivat olla joko useampia pienempiä, joilla saatava nopeushyöty on myös pienempi, tai sitten suurempi oikaisu. Rakentamalla kaksoisraide nykyisen raiteen viereen ei nopeutta saada nousemaan nykyisten kaarteiden rajoittaessa yhä nopeutta samalla tavalla kuin tälläkin hetkellä.

Vaihtoehto 1

Rakentamalla uusi rataosuus oikaisuksi esimerkiksi Lapuan ja Eskolan väliin voitaisiin ohittaa rataosalla kaarteinen osuus, joka laskee huomattavasti 200 km/h nopeustasoa. Tätä selventää kuvio 14. Tämä uusi ratalinjaus olisi mahdollista rakentaa nopeuksille 250 km/h asti tavanomaiselle kalustolle. Sen pituus on linnuntietä noin 125 km ja se oikaisisi entiseen ratalinjaukseen verrattuna, joka kulkee Kokkolan kautta noin 40 kilometriä. Arvioitaessa matka-aikahyötyä, olisi se näin pitkällä oikaisulla ilman pysähdyksiä asemille tuolla uudella rataosuudella noin 50 minuuttia verrattuna keskimääräiseen ajoaikaan junan kulkiessa nykyistä rataa pitkin nykyisillä nopeusrajoituksilla. Tämä mahdollistaisi Tampereen ja Oulun välille arviolta hieman yli kolmen tunnin matka-ajan ottaen huomioon aikataulusuunnittelun 10 % pelivaran. Rataoikaisun huonona puolena olisi oikaisun kalliit toteutuskustannukset ja nopeiden junayhteyksien kulku tulevaisuudessa ohi Kokkolan kaupungin, jossa ne tähän asti ovat pysähtyneet. Vanhaa ohitettua rataosaa voidaan kuitenkin palvella vaihtoyhteyksin nopeilta junilta. Vaihtoyhteys olisi mahdollista toteuttaa Seinäjoelta ja tarvittaessa Ylivieskasta tai Oulusta. Tämä vapauttaisi radalle kapasiteettia tavaraliikenteelle, joka

kulkee Kokkolan satamaan, koska osa henkilöjunista ei enää kulkisi samoilla raiteilla tavaraliikenteen kanssa.



Kuvio 14. Lapua–Eskola-oikaisuvaihtoehto (Karttapaikka n.d.)

Vaihtoehto 2

Toinen vaihtoehto ovat pienemmät oikaisut. Niiden löytäminen vaatisi kuitenkin tarkemman selvityksen oikaisumahdollisuuksista. Tällä vaihtoehdolla ei kuitenkaan ole

todennäköisesti saavutettavissa ensimmäisen vaihtoehdon kaltaista matka-aika-hyötyä, koska tällä menetelmällä on vaikeampi luoda riittävän pitkiä yhtenäisiä nopeusalueita. Se ei myöskään paranna ratakapasiteettia, vaan ennemminkin jopa heikentää sitä lisätessään henkilö- ja tavarajunien nopeuseroja niiden kulkiessa yhä samoilla raiteilla. Myös tällä vaihtoehdolla toteutuskustannukset ovat suuret. Hyvänä puolena tässä vaihtoehdossa on, että nykyisiä asemia rataosalla ei välttämättä ohitettaisi. Oikaisuja voisi hakea asemien väliltä ja palata nykyiseen ratakäytävään asemien kohdalla.

Vaihtoehto 3

Kolmas vaihtoehto on käyttää suuremman nopeustason mahdollistavaa kallistuvakorista junakalustoa. Sen toimivuus on kuitenkin Suomen olosuhteissa osoittautunut epävarmaksi. Kaluston ikääntyessä riskit toimintahäiriöille myös lisääntyvät. Onkin epätodennäköistä, että nykyiset VR:n Pendolino-junat venyisivät enää tähän. Ratkaisuna voisi olla uusien kallistuvakoristen junien hankinta. Tampereen ja Oulun välisellä rataosalla on vain 19 kallistuvakorisen junan nopeutta alle 200 km/h rajoittavaa nopeusalueita. Lisäksi näissä alueissa on mukana asema-alueet Tampere, Seinäjoki, Kokkola, Ylivieska ja Oulu, joissa juna pysähtyy joka tapauksessa. Kallistuvakorista kalustoa käyttämällä ja kallistusta aikatauluissa hyödyntämällä ajoaikoja saataisiin lyhennettyä rataosalla arviolta noin 40 minuuttia verrattuna rataosalla liikennöivään nopeimpaan IC-junaan. Tampere–Oulu nopeudennostoselvityksessä simuloitu matka-aika 10 % aikataulusuunnittelun pelivaralla Pendolinojunalle oli noin 3 tuntia 6 minuuttia tällä rataosalla.

Haittapuolena kallistuksien huomioimisessa aikataulussa onkin junien myöhässä kulkeminen tilanteessa, jossa kallistus on epäkunnossa. Ilman toimivia kallistuksia kallistuvakorinen juna muuttuu tavanomaisen kaluston nopeusrajoituksia noudattavaksi junaksi, jolloin juna jää Tampereen ja Oulun välisellä matkalla aikataulusta myöhään lähes tuon sen kallistuksilla saavuttaman 40 minuutin aikahyödyn verran. Juna voi yrittää kieriä aikataulua kiinni ajamalla lähellä radan sallimaa maksiminopeutta, jolloin myöhästymisen ei välttämättä ole aivan tuota 40 minuutin luokkaa, mutta lukuisat junakohtaamiset saattavat pilata tuon suunnitelman. Juuri tämän kaltaisten tilanteiden estämiseksi aikatauluja ei suunnitella junan 100 % ajonopeuksien mukaisiksi, sillä

pienet myöhästymiset helposti kertaantuvat palaavan junan jäädessä myös hieman myöhään. Juna kuitenkin lähtee yleensä seuraavalle reitille todennäköisesti yhden tai viimeistään kahden tunnin kuluttua määräasemalle saapumisestaan. Lisäksi junien suunnitellut kohtaamiset matkan varrella eivät toteutuisi suunnitelluissa paikoissa suunniteltuun aikaan, ja vaihtoyhteydet joutuisivat odottamaan asemilla myöhässä sinne saapuvaa junaa. Näin myöhästymiset leviäisivät vähitellen myös muualle rataverkolla. Myös asiakkaiden kannalta tilanne muuttuisi kestävämmäksi, koska päivät, jolloin liikennetilanne rataverkolla on myöhästymisten vuoksi sekaisin, lisääntyisivät reilusti. Vaihtoehtona kallistuvakoriset junat ovatkin lähinnä kosmeettinen ratkaisu rataosan todellisten ongelmien jäädessä yhä vaikuttamaan taustalle eikä sitä voi suositella.

7 Pohdinta

Viime aikoina nopeutta on haluttu nostaa useilla rataosilla. Tämä on ymmärrettävää, sillä nopeustaso on pitkään rataverkolla suunniteltu tavanomaiselle kalustolle nopeudelle 160 km/h. Pääosa henkilöliikenteen kalustosta mahdollisti vuoteen 2014 asti vain tuon nopeustason, jolloin IC-junien aikataulusuunnittelussa alettiin vaunujen nopeuden noston myötä käyttää 200 km/h maksiminopeutta. Nopeat henkilöjunat sekä hitaat ja raskaat tavarajunat eivät kuitenkaan ilman rakentamisen kompromisseja sovellu samoille raiteille. Henkilöjunien nopeuden nostoa yksittäisellä rataosalla rajoittaa myös osaltaan siellä liikennöivät tavarajunat. Radan parantaminen onkin tasapainoilua suuren nopeuden mahdollistavien kaarteiden kallistuksen arvojen ja tavarajunille soveltuvien kaarteiden kallistuksen arvojen välillä. Tilanteissa, joissa kallistukset tehdään enemmän suuria nopeuksia ajatellen, aiheutuu radalle ja sillä liikennöiville tavaravaunuille rasitusta. Se taas aiheuttaa kiskojen ja kaluston nopeampaa kulumista, joka lisää kunnossapidon tarvetta ja kustannuksia. Kun kallistusten kasvattaminen kaarteissa ja siirtymäkaarien pidentäminen kaarteiden päissä ei enää ole mahdollista, jää vaihtoehdoksi radan oikaisut haettaessa suurempia nopeuksia.

Etsittäessä nopeuden nostoon soveltuvia kohteita rataosalta, on otettava huomioon hidastuksen poiston myötä muodostuvan yhtenäisen nopeusalueen pituus. Esimerkkitapauksessa IC-juna, jonka vetovoimana on Sr2 veturi ja perässään 7 kaksikerrosvaunua, jarruttaa matkanopeudesta 200 km/h nopeusrajoitusalueelle 150 km/h kiihdyttäen sen jälkeen takaisin nopeuteen 200 km/h. Tämä jarrutus kestää ajallisesti vain 23 sekuntia, mutta juna kulkee sen aikana yli 1 100 metriä. Kiihdyttäminen taas vie lähes 6,4 km matkan nopeudesta 150 km/h nopeuteen 200 km/h. Aikaa tähän kuuluu hieman yli 2 minuuttia. Kiihdytykset ja varsinkin jarrutukset on tehtävä rauhallisesti vajaalla jarrutusteholla, jotta matkustusmukavuus junassa säilyy.

Poistamalla radalta kunnossapidon yhteydessä ja rataa parantamalla näitä syitä, jotka aiheuttavat alempia nopeusrajoituksia radan yleiseen nopeustasoon nähden, saadaan luotua pidempiä yhtenäisiä nopeusalueita. Pitkät yhtenäiset nopeusalueet ovatkin kaikkein taloudellisimpia ajaa ja ne myös parantavat radan kapasiteettia junien ajaessa mahdollisimman paljon samalla nopeudella. Junakaluston jarrutus- ja kiihdytysarvoissa on eroa, joten jatkuva jarruttaminen ja kiihdyttäminen haittaavat liikenteen sujuvuutta verrattuna mahdollisimman tasaisiin ajonopeuksiin.

Sähköratajärjestelmät on tähän asti rakennettu Suomen rataverkolla maksimissaan nopeudelle 220 km/h. Ratajohdon uusimisen yhteydessä pitäisi tehdä arvio, onko rataosalla syytä toteuttaa sähköratajärjestelmä tulevaisuutta varten nopeuden 250 km/h mahdollistavaksi. Ratajohdon uusimistarpeilta ei tulevaisuudessa voida välttyä, koska ratalinjauksen tai kallistuksen muuttaminen vaikuttaa aina myös ratajohtoon. Samoin radan turvalaitteiden sijaintien muutokset.

RATOjen tulkinnessa on haasteita niiden käsittelemään tekniikka-alaan perehtymättömälle lukijalle, sillä ne ovat täynnä ammattitermejä. Myöskään niissä käytetty kieli ei ole aina helpoimmasta päästä. Väärinymmärryksen vaara on olemassa. Tätä on työssä pyritty vähentämään asiantuntijoita haastatteleamalla ja pyytämällä tarkennuksia haastaviin kohtiin. Tietoa on myös hajallaan useissa lähteissä, joten on mahdollista, että jotain on jäänyt löytymättä. Nopeuksiin vaikuttavat asiat ovat myös ketjuttuneet keskenään melkoiseksi verkoksi.

Tutkimuksessa käytetyt rekisteritiedot ovat pääosin kevään ja kesän 2020 väliseltä ajalta. Kesän aikana on tullut joitakin muutoksia ainakin nopeustietoihin, joita ei vielä tutkimuksen aikana oltu ehditty viedä rekisteriin. Jakoraisun siltarekisteriä taas ei olla päivitetty hetkeen, koska siltatiedot ovat siirtyneet Väyläviraston Taitorakennerekisteriin. Tällä ei ole kuitenkaan merkitystä, koska rataosalle ei ole rakennettu uusia siltoja tuolla aikavälillä, eivätkä siltojen nopeustiedot ole mukana noissa rekistereissä. Lisäksi näin suuressa otoksessa rekistereistä saattaa tiedoissa olla myös joitakin virheellisiä arvoja. Nopeusrekisterissä yhteen kenttään on merkitty tieto kyseisen kohdan nopeusrajoituksen syystä. Syytä ei ole aina kuitenkaan rekisteriin merkitty tai jos syytä on useita, niistä on usein merkitty vain yksi. Tarkkaa syytä tietyn kohdan nopeusrajoitukseen onkin välillä vaikeaa määrittää. Nopeusrajoituksen vaikuttavuusalue voi olla esimerkiksi kilometrin pituinen ja sen alueella voi olla kaarre, useita siltoja, asema-alue ja pari vaihdetta. Jotta saa selville mikä näistä aiheuttaa tuon alimman rajoituksen, joka määrittää kyseisen alueen nopeusrajoituksen voi olla melkoista salapoliisityötä. Voikin olla, että lopullisen syyn aiheuttaa jokin piilevä seikka, kuten päällysrakenteen puutteet. Juha-Pekka Martikainen sanoikin nopeusrajoituksia koskevassa sähköpostiketjussa, että

nämä nopeusrajoitusten perusteet ovat osittain perinnetietoa, eikä syytä ihan helpolla tahdo aina saada selville. Jos geometrian sallimaa nopeutta alemman syyn saa selville, olisi se hyvä päivittää nopeuskaavioon tai rekistereihin. Näin seuraavassa hankkeessa ei jouduttaisi tekemään uudelleen samaa selvittelyrumbaa.

Tämän tyyppisessä tutkimuksessa, jossa tarkoituksena on arvioida kahden kaupungin välisen rataosan nopeustasoa, on kesän 2020 tilannetta edeltänyt tieto riittävän tuoretta analysoitavaksi. Kuitenkin joitakin nopeusrajoituksia radalta on voinut poistua ja myös uusia kohteita tulla mukaan. Tällaisia ovat ainakin turvalaitteista johtuvat rajoitukset. Kesän 2020 aikana on ollut Tampereen ja Seinäjoen välillä käynnissä turvalaitteiden muutostöitä. Vaikutukset nopeuteen ovat kuitenkin pieniä tuolla alueella, sillä tuo osa radasta oli jo valmiiksi lähes kokonaan nopeustasoa 200 km/h.

Juliadata.fi-verkkosivuston nopeusrajoituslaskurilla saa laskettua arvion rajoituksen aiheuttaman viivästyksen suuruudesta. Laskuri ei ota huomioon radan muotoa, vaan laskenta tehdään tasaisella ja suoralla radalla. Radan pystygeometrialla on jonkin verran vaikutusta junan kulkuun. Käytettäessä rautatieliikenteen simulointiohjelmaa, kuten OpenTrackiä, ero on havaittavissa verrattaessa simulointituloksia tasaisella ja pinnanmuodoiltaan todellista tilannetta vastaavalla radalla. OpenTrack on rautatieliikenteen simulointiohjelma, jolla rata voidaan rakentaa arvoiltaan vastaamaan todellista rataa, kuten myös simuloinnissa käytetty junakalusto. Pystygeometria vaikuttaa hieman junien kiihdytykseen ja sillä voi olla vaikutusta myös ajonopeuteen pitkässä ja riittävän jyrkässä ylämäessä. Sen vaikutuksesta junan kulku alkaa hidastua, kun riittävän monta vaunua junasta siirtyy mäen vaikutusalueelle. Näin käy varsinkin raskaiden tavarajunien kohdalla. Vaakageometrian vaikutus taas ei käytännössä ole tämän tyyppisissä simulointitilanteissa merkittävä. Vaikutus näkyy selvemmin pysähtyneen junan lähtiessä liikkeelle, jolloin kitka on kaarteesta liikkeelle lähdettäessä suurempi kuin suoralta raiteelta lähdettäessä. Kun juna on jo valmiiksi liikkeellä, ei vaakageometrialla ole juurikaan merkitystä junan massan ollessa niin suuri vaakageometrian tuottamaan kitkaan verrattuna.

Nopeusrajoituslaskurin tuottama arvio junalle aiheutuvasta hidastusvaikutuksesta on tässä työssä arvioitu riittävän tarkaksi. Se antaa oikean suuntaisen tuloksen, vaikka se ei vastaakaan täysin todellista tilannetta. Laskennassa käytetty ajonopeus ennen ja jälkeen estettä ei välttämättä kuitenkaan vastaa junan todellista ajonopeutta. Juna ajaa yleensä hieman suurinta sallittua nopeutta hitaammin, jos se kulkee aikataulussa. Tällöin vaikutus jää todellisuudessa pienemmäksi. Juna jarruttaa lyhyemmän ajan rajoitusalueelle saapuessaan eikä vastaavasti kiihdytä yhtä pitkään sen jälkeen. Juna voi myös jarruttaa rajoitusalueelle saapuessaan nopeutensa alhaisemmaksi kuin nopeusrajoitus edellyttää, jolloin vaikutus voikin olla suurempi.

Väylävirasto tilaa eri toimijoilta suunnittelua ja radanparannustöitä. Eri tahot eivät aina kommunikoi keskenään, minkä vuoksi radalle voi jäädä nopeusrajoituksia, jotka eivät enää ole voimassa. Nopeusrajoituksen syy on voitu jo korjata, mutta ilmoitus siitä on jäänyt tekemättä. Siksi rajoitus on edelleen olemassa. Yhteistyötä ja

viestintää parantamalla tähän ongelmaan voitaisiin puuttua ja tätä sitä pienentää tai jopa poistaa. Nämä ovat turhia myöhästymisminuutteja, jotka voivat jäädä pitkäksikin aikaa hidastamaan junaliikennettä.

Ratakapasiteettia myönnetään hakemusten perusteella hakijoille. Radalle ei voi vaan lähteä ajamaan junalla siihen omaan ja asiakkaan aikatauluihin sopivimpaan aikaikkunaan, kuten maantieliikenteessä. Monet junavuorot ajetaan tällä hetkellä ei-säännöllisenä kapasiteettina, eli ne haetaan kiireellisenä lähellä lähtöpäivää.

Operaattoreita ei ole vielä Suomessa monta, joten kapasiteettia on voinut hakea ja saada tarpeen vaatiessa. Tämä voi kuitenkin muuttua tulevaisuudessa operaattoreiden lisääntyessä raiteilla. Tällöin myös toimintatapoja voidaan joutua muuttamaan, sillä kapasiteetin saaminen juuri omalle toiminnalle sopivimpaan hetkeen, ja lyhyellä varoitusaajalla, ei välttämättä onnistu.

Jatkotutkimuksen aiheita

Tässä työssä henkilöjunien nopeudet yli 200 km/h on rajattu tutkimuksen ulkopuolelle. Näitä voisi tutkia omassa työssään. Yli 200 km/h nopeuksille on entistä suurempia vaatimuksia radan parantamisen näkökulmasta. Suomessa suurin nopeus raiteilla on 220 km/h ja esimerkiksi turvalaitteille ei ole edes määritetty tiedonsiirtoetäisyyksien pituuksia tuota nopeutta nopeammille junille. Tutkittaessa esimerkiksi nopeustason 250 km/h vaatimuksia suomalaisella rataverkolla, on siinä vielä paljon selvitetävää.

Tavaraliikenne taas ei juurikaan hyödy nopeuden nostosta rataverkolla.

Tavaraliikenteen näkökulmasta ratojen akselipainojen nosto on tärkeämpää, kun taas nopeuden nosto voi olla jopa sille haitallista. Nopeuserot junien välillä heikentävät rataosan välityskykyä, joka taas voi vaikeuttaa ratakapasiteetin saamista tavarajunille henkilöliikenteen osalta vilkasliikenteisillä rataosilla. Tavaraliikenteelle on tärkeää saada asiakaspalvelun kannalta sopivaan aikaan ratakapasiteettia, jotta esimerkiksi tehtaille saadaan materiaalia ajoissa tai tyhjat vaunut ratapihoilta kuormattavaksi juuri oikeaan aikaan tuotantoprosessia. Suuria nopeuksia tärkeämpää onkin tavaraliikenteen näkökulmasta juuri kuljetusvarmuus ja joustavuus. Tätä voisikin

tutkia toisessa työssä, mitkä ovat tavaraliikenteen kannalta vaikuttavimmat toimenpiteet parantaa niiden toimintaedellytyksiä radalla.

Lähteet

A 65/2011. Liikenne- ja viestintäministeriön asetus näkemäalueista. Tullut voimaan 1.2.2011. Viitattu 8.5.2020. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110065>

Airaksinen, A., Kiuru, T., Myllymäki, M. & Sipilä J. 2019. Tampere–Seinäjoki-tarveselvitys. Väyläviraston verkkojulkaisu ”Väyläviraston julkaisuja 38/2019”. Viitattu 16.4.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2019-38_tampere-seinajoki_tarveselvitys_web.pdf

Asp, O. 2011. Tukikerroksettomien rautatiesiltakansien kehittäminen. Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 44/2011”. Viitattu 16.4.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2011-44_tukikerroksettomien_rautatiesiltakansien_web.pdf

Hakala, S. 2019. Vastauksia radan parantamisen kysymyksiin. Sähköpostiviesti 27.5.2019. Vastaanottaja A. Airaksinen. Sweco Infra & Rail Oy:n ratasuunnittelijan selvityksiä pengerleveyteen liittyviin kysymyksiin.

Harrod, S. 2007. Railway capacity management and planning. Väitöstutkimus Cincinnatiin yliopistosta. Viitattu 23.8.2020. https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=ucin1186181286&disposition=inline

Härkönen, A. & Järvinen, L. 2014. Konkretiaa eurooppalaisen junien kulunvalvonnan käyttöönottoon rataverkolla ja vetävässä kalustossa. Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 44/2014”. Viitattu 7.8.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2014-44_konkretiaa_eurooppalaisen_web.pdf

JETI. N.d. JETI (Junaliikenteen EnnakoTietojärjestelmä). Tietojärjestelmän kuvaus Traffic management Finlandin verkkosivuilla. Viitattu 22.8.2020. <https://tmfg.fi/fi/fin-rail/jeti>

Junaliikenteen ja vaihtotyön turvallisuussäännöt (Jt). 2020. Väyläviraston verkkojulkaisu ”Väyläviraston ohjeita 11/2020”. Viitattu 30.3.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2020-11_jt_web.pdf

Järvinen, H. 2019. Tampere-Oulu rataosa. Sähköpostiviesti 21.2.2019. Vastaanottaja A. Airaksinen. Sweco Infra & Rail Oy:n Vanhemman ratasuunnittelijan vastauksia Tampere–Oulu rataosan geometriasta.

Karttapaikka. N.d. Maanmittauslaitos. Karttapalvelu Maanmittauslaitoksen verkkosivuilla. Viitattu 27.9.2020. <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>

Lautela, A. 2020. Ratakapasiteetin hakuohje. Väyläviraston ohje. Viitattu 14.8.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/ohje_2020_ratakapasiteetin_hakuohje_web.pdf

Liikennevirasto. 2018. Nopeusrajoituslaskuri. Väyläviraston yksinkertainen nopeuslaskuri verkkosivustolla. Viitattu 27.8.2020. <https://juliadata.fi/nopeusrajoituslaskuri/>

Loponen, T-R., Nurmikolu, A. & Salmenperä, P. 2016. Liikkuvan kaluston ja raiteen välinen vuorovaikutus ja sen dynaaminen mallinnus. Viitattu 14.3.2020. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/123308/lts_2016-14_978-952-317-230-2.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Martikainen, J-P. 2019. Raidegeometrian vaikutukset nopeuteen. Sähköpostiviesti 17.1.2019. Ramboll Oy:n ratasuunnittelijan vastauksia radan geometrian vaikutuksista ajonopeuksiin.

Mäkitalo, M. 2000. Ratakapasiteetin perusteet. Väyläviraston verkkojulkaisu ”Ratahallintokeskuksen julkaisuja 9/2000”. Viitattu 15.8.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rhk_2000_a9.pdf

Mäkitalo, M. 2003. Aikataulu ja ratakapasiteetti – mitä eroa? RautatieTEKNIikka 3, 38. Artikkelit rautatiealan julkaisussa.

Mäkitupa, S. 2020. Liikkuvan kaluston valvontalaitteet. Sähköpostiviesti 17.9.2020. Rautatieto Oy:n liiketoimintajohtajan vastauksia liikkuvan kaluston valvontalaitteiden vaikutuksista junien ajonopeuksiin.

Nyby, M. 2005. Ratakapasiteetin jakamisen tietojärjestelmät. Tampereen teknillisen yliopiston diplomityö. Viitattu 26.8.2020. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/22674/Nyby.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Pitkänen, J-P. 2006. Radan välityskyvyn ja mittaamisen tunnuslukujen kehittäminen. Väyläviraston verkkojulkaisu ”Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 4/2006”. Viitattu 23.8.2020. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/146382/rhk139.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rataverkon nopeusmuutosten hallinta. 2015. Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston ohjeita 12/2015”. Viitattu 11.8.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2015-12_rataverkon_nopeusmuutosten_web.pdf

RATO osa 2. 2010. Radan geometria. Ratatekniset ohjeet (RATO). Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston ohjeita 03/2010”. Viitattu 14.3.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2010-03_rato_2_radan_geometria_web.pdf

RATO osa 3. 2018. Radan rakenne. Ratatekniset ohjeet (RATO). Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston ohjeita 13/2018”. Viitattu 24.3.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-13_rato3_web.pdf

RATO osa 4. 2012. Vaihteet. Ratatekniset ohjeet (RATO). Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston ohjeita 22/2012”. Viitattu 22.3.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2012-22_rato_4_web.pdf

RATO osa 5. 2018. Sähköistetty rata. Ratatekniset ohjeet (RATO). Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston ohjeita 23/2018”. Viitattu 17.3.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-23_rato5_web.pdf

RATO osa 6. 2014. Turvalaitteet. Ratatekniset ohjeet (RATO). Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston ohjeita 07/2014”. Viitattu 25.3.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-07_rato6_web.pdf

RATO osa 7. 2011. Rautatieliikennepaikat. Ratatekniset ohjeet (RATO). Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston ohjeita 13/2011”. Viitattu 3.8.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-13_rato_7_web.pdf

RATO osa 8. 2019. Rautatiesillat. Ratatekniset ohjeet (RATO). Väyläviraston verkkojulkaisu ”Väyläviraston ohjeita 30/2019”. Viitattu 16.4.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2019-30_rato8_web.pdf

RATO osa 9. 2019. Rautatien tasoristeykset. Ratatekniset ohjeet (RATO). Väyläviraston verkkojulkaisu ”Väyläviraston ohjeita 15/2019”. Viitattu 8.5.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2019-15_rato9_web.pdf

RATO osa 10. 2014. Junien kulunvalvonta JKV. Ratatekniset ohjeet (RATO). Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston ohjeita 08/2014”. Viitattu 5.4.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-08_rato10_web.pdf

RATO osa 11. 2002. Radan päällysrakenne. Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Väyläviraston verkkojulkaisu. Viitattu 24.3.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf4/rato_11_radan_paallysrakenne.pdf

RATO osa 15. 2000. Radan kunnossapito. Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Väyläviraston verkkojulkaisu. Viitattu 23.6.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf7/rautatieohjeet_web.pdf

RATO osa 16. 2017. Väylät ja laiturit. Ratatekniset ohjeet (RATO). Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston ohjeita 43/2017”. Viitattu 9.5.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-43_rato16_web.pdf

RATO osa 18. 2018. Rautatietunnelit. Ratatekniset ohjeet (RATO). Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston ohjeita 19/2018”. Viitattu 17.4.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-19_rato18_rautatietunnelit_web.pdf

Rautateiden verkkoselostus 2019. 2019. Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston väylätietoja 2/2017”. Päivitetty 26.9.2019. Viitattu 25.3.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lv_2017-02_rautateiden_verkkoselostus_2019_web.pdf

Rautatieliikenteenohjauksen käsikirja. 2017. Väyläviraston ohje junaliikenteen ja vaihtotyön ohjauksesta valtion rataverkolla. Viitattu 7.8.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/ohje_2017_rautatieliikenteenohjauksen_kasikirja_web.pdf

Rautatieliikenteenohjaus. N.d. Rautatieliikenteenohjauksen tehtävien esittely Finrailin verkkosivustolla. Viitattu 7.8.2020. <https://tmfg.fi/finrail/rautatieliikenteenohjaus>

Rautatietilasto 2018. 2019. Traficom in julkaisema virallinen tilasto Suomen rautateistä. Viitattu 16.3.2020. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Rautatietilasto_2.12_uusi.pdf

Rautatietoimintojen turvallisuuspoikkeamat 2018. 2019. Väyläviraston verkkojulkaisu ”Väyläviraston julkaisuja 24/2019”. Viitattu 8.5.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2019-24_rautatietoimintojen_2018_web.pdf

Saarro, J. 2019. Sähkörata. Sähköpostiviesti 8.1.2019. Sweco Infra & Rail Oy:n sähköratasuunnittelun osastopäällikön vastauksia radan sähköistyksestä ja ratajohdon vaikutuksista nopeuteen.

Savolainen, T. 2020. Ratatekniikan osastopäällikkö. Sweco Infra & Rail Oy. Haastattelu 21.8.2020.

Sähkörataohjeet. 2016. Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston ohjeita 7/2016”. Viitattu 31.7.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2016-07_sahkorataohjeet_web.pdf

Taimela R. 2011. Raidegeometrian suunnittelu. Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 22/2011”. Viitattu 14.3.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2011-22_raidegeometrian_suunnittelu_web.pdf

Tuominen A. 2010. Rataverkon luokittelun vertailu kantavuuden mukaan. Väyläviraston verkkojulkaisu ”Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2010”. Viitattu 22.6.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2010-21_rataverkon_luokittelun_web.pdf

Tasoristeykset valtion rataverkolla. 2020. Rataverkosta kertova informaatiokooste Väyläviraston verkkosivuilla. Viitattu 8.5.2020. <https://vayla.fi/rataverkko/tasoristeykset>

UIC code 406. 2013. Capacity. UIC:n, eli International Union of railwaysin julkaisu. Viitattu 23.8.2020. https://tamannaei.iut.ac.ir/sites/tamannaei.iut.ac.ir/files/files_course/uic406_2013.pdf

Vainiomäki, V. 2019. Nopeusrajoitusten noudattaminen ilman JKV:tä tapahtuvassa junaliikenteessä. Traficom in verkkojulkaisu ”Traficom in julkaisuja 124/2019”. Viitattu 11.8.2020. <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Nopeusrajoitusten%20noudattaminen%20ilman%20JKVt%C3%A4%20tapahtuvassa%20junaliikenteess%C3%A4%201.0.pdf>

Varis R. 2016. Pitkän vaihteen kääntäminen käsikammella. Väyläviraston ohje. Viitattu 11.8.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/ohje_2016_pitkan_vaihteen_web.pdf

Veturityypit. N.d. Vetokalustokuvasto VR Groupin verkkosivuilla. Viitattu 5.4.2020. <https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/vr-group-yrityksena/liiketoiminnot/junaliikennointi/veturityypit/>

Väylävirasto. 2020. Rautatieohjeet. Luettelo voimassa olevista rautatieohjeista. Viitattu 19.8.2020. https://julkaisut.vayla.fi/pdf7/rautatieohjeet_web.pdf

Wuorenjuuri, J. 2019. Ratasillat ja ylikulkusillat. Sähköpostiviesti 5.3.2019. Sweco Infra & Rail Oy:n siltasuunnittelun osastopäällikön vastauksia siltoihin liittyviin kysymyksiin.

X

Liitteet

Liite 1. Ratajohdon teknisiä tietoja

RATAJOHDON TEKNISIÄ TIETOJA								
	Aj ilman Y-köyttä	SR 70	SR 160	SR 65	S 71	SR 220	VR 220	RT220
Max nopeus	140 km/h	160 km/h	160 km/h	200 km/h	200 km/h	220 km/h	220 km/h	220 km/h
Ajolanگان kiristysvoima	9,8 kN	9,8 kN	10,0 kN	9,8 kN	10,0 kN	12,5 kN	12,5 kN	12,5 kN
Kannatti men kiristysvoima	9,8 kN	9,8 kN	10,0 kN	9,8 kN	10,0 kN	12,5 kN	12,5 kN	12,5 kN
Kiristys ajolanka/ kannatin	yhteinen	yhteinen	yhteinen	yhteinen	erillinen	erillinen	erillinen	erillinen
Y-köyden kiristysvoima	1,5 kN	—	—	1,5 kN	2,0/ 2,5 kN (v/ p)	2,3 kN	2,3 kN	2,3 kN
Y-köyden pituus	—	12,5 m	—	12,5 m	16 m	16 m	12,5 m	16 m
Jännepituus	70 m	70m	71 m	65 m	71 m	71 m	71 m	71 m
Vierekk janteiden max	ei rajoitettu	20 m	15m	10_ 15m	15 m	15 m	15 m	15 m
Kiristyskentän jänne		60 m	55 m	55 m	55 m	55 m	55 m	55 m
Ajolanگان korkeus max	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm	650 cm
Ajolanگان korkeus min	560 cm	560 cm	560 m	560 m	560 cm	560 cm	560 cm	560 cm
Ajolanگان korkeus norm	615 cm	615 cm	615 cm	615 cm	615 cm	615 cm	615 cm	615 cm
Ajolanگان siksak suoralla	40 cm	40 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm
Systeemikorkeus	110 cm	160 cm	160 cm	160 cm	160 cm	160 cm	160 cm	160 cm
Kiristysväli	750 m	750 m	750 m	750 m	750 m	750 m	750 m	750 m
Kiristysväli n max	800 m	900 m	800 m	900 m	800 m	800 m	800 m	800 m
Kovisuuden toleranssi		+/- 2 kN -	± 10 %	+/- 1kN	+/- 1kN	+/- 10%	+/- 1kN	± 10 %
Ohjaimen noste		65 N	40N	35 N	42 N	40 N	40N	40N
Ohjaimen vapaanousu	140 mm	140 mm	250 mm	200 mm	200 mm	250 mm	250 mm	250 mm
Kall evuus norm	1:600	1:600	1: 600	1:1000	1:1000	1:1000	1:1000	1:1000
Kall evuus poikk	1:400	1:300	1: 400	1:600	1:600	0,458333333	1:600	1:600
Ajolanگان esiriipi puma	6/ 7000* L	3/ 7000* L	L/1000	3/ 7000* L	L/ 2000	L/ 4000	L/ 4000	L/ 4000
Kääntöportin materiaali		Fe+Znk	Al	Fe+Znk	Al	Al	Al	Al
Vaihteen sähköistys			Risteämätanko		Ristripustimet	Risteämätanko	Risteämätanko	
Y-koydet		Vain avoradalla	ei	Vain avoradalla	Kaikkialla	Kaikkialla	Kaikkialla	
Max ajolanگان tulipolkkkeama keskili njasta	46 cm	46 cm	36 cm yleensä 42 cm erotusk.	36 cm yleensä 42 cm erotusk.	36 cm yleensä 42 cm erotusk.	36 cm yleensä 42 cm erotusk.	36 cm yleensä 42 cm erotusk.	36 cm
Kannatti n materiaali	50 Bzll	50 Bzll	50 Bzll	50 Bzll	50 Bzll	50 Bzll	50 Bzll	50 Bzll
Ripustin materiaali	16 Cu tai 12,6 Fe	16 Cu tai 12,6 Fe	10 Bzll	16 Cu tai 12,6 Fe	10 Bzll	10 Bzll	10 Bzll	10 Bzll

(RATO osa 5, 2018, Liite 1)