

Master's programme in Spatial Planning and Transportation Engineering

Pikaraitioteiden pikaisuus

Keskinopeustavoitteen tausta, tärkeys, toteutuminen ja tulevaisuus Helsingin seudulla

Henri Miettinen

Copyright ©2022 Henri Miettinen

Tekijä Henri Miettinen

Työn nimi Pikaraitioteiden pikaisuus – keskinopeustavoitteen tausta, tärkeys, toteutuminen ja tulevaisuus Helsingin seudulla

Koulutusohjelma Master's programme in Spatial Planning and Transportation Engineering

Pääaine Spatial Planning and Transportation Engineering

Valvoja Professori Raine Mäntysalo

Työn ohjaajat DI Sakari Metsälampi, DI Johanna Wallin

Yhteistyötaho Helsingin seudun liikenne HSL

Päivämäärä 12.02.2022

Sivumäärä 87

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Työn tavoitteena oli kehittää pikaraitioteiden nopeuden arviointimenetelmiä alustavan tason tarkasteluissa ja kehittää tietoa pikaraitioteiden nopeudesta. Pikaraitioteiden nopeuden arviointiin alustavan tason tarkasteluissa ei ole ollut toimivaa menetelmää, jolloin pikaraitioteiden verkostotarkasteluissa nopeusarviot ovat perustuneet tavoitteisiin sen sijaan, että ne olisivat perustuneet realistisiin laskelmiin. Pikaraitiotiehankkeiden edetessä nopeustavoitteet (erityisesti keskinopeustavoite 25 km/h) ovat osoittautuneet yhteensopimattomiksi muiden tavoitteiden kanssa.

Työn tutkimus toteutettiin kaksiosaisesti. Ensimmäisessä osassa selvitettiin haastattelulla ja kirjallisuusselvityksellä keskinopeustavoitteen tausta, tärkeys ja toteutuminen. Toisessa osassa pikaraitioteiden nopeuteen vaikuttavia tekijöitä tutkittiin lineaariregressioanalyysillä. Työn keskeinen tulos on työkalu pikaraitioteiden nopeuden arvioimiseen alustavissa suunnitteluvaiheissa. Työkalu on lineaariregressioanalyysillä kehitetty yhtälö, jonka muuttujia ovat pysäkkien määrä (40 s/kpl), linjan pituus (60 s/km), liittymien määrä (5 s/kpl), kaarteiden määrä (10 s/kpl) ja ruuhkaisten pysäkkien lisätermi (10 s/kpl). Työkalulla voi selittää yli 85 % Tamperen ratikan ja Raide-Jokerin pysäkkivälien matka-ajan vaihtelusta.

Työssä havaittiin, että joukkoliikenteen keskinopeus on suoraan verrannollinen joukkoliikennematkojen keskipituuteen. Helsingin seudulla keskimääräinen aika kulkuneuvon nousun ja poistumisen välillä on 10 minuuttia. Pikaraitioteiden keskinopeus määrittyy pääosin pysäkkivälistä ja kaupunkiympäristöstä. Jatkuvassa kaupunkirakenteessa pikaraitioteiden keskinopeus on 18–21 km/h ja kaupunkirakenteen ulkopuolella 21–35 km/h. Pikaraitiotiet soveltuvat parhaiten kahdesta kuuteen kilometriä pitkille matkoille. Tätä pidemmille matkoille, joita raskasraiteet eivät palvele, tulisi kehittää esimerkiksi moottoritiebusseihin perustuva linjakonsepti. Pikaraitioteiden palvelualue rajoittuu Kehä I:n sisäpuoliselle alueelle. Pikaraitioteiden suunnittelussa ei tule käyttää epärealistisia nopeustavoitteita. Nopeustavoitteiden sijaan on suositeltavaa käyttää nopeusarvioita suunnittelun tueksi.

Avainsanat Pikaraitiotie, keskinopeus, nopeustavoite

Author Henri Miettinen

Title of thesis The Commercial Speed of Light Rail in the Helsinki Region

Programme Master's programme in Spatial Planning and Transportation Engineering

Major Spatial Planning and Transportation Engineering

Thesis supervisor Professor Raine Mäntysalo

Thesis advisor MSc Sakari Metsälampi, MSc Johanna Wallin

Collaborative partner Helsinki Region Transport HSL

Date 12.02.2021

Number of pages 87

Language Finnish

Abstract

The aim of the thesis was to develop methods for estimating the speed of light rail in preliminary studies and to develop knowledge about the speed of light rail. There has been no method for estimating the speed of light rail in preliminary studies. Thus, in these studies speed estimates have been based on goals instead of realistic calculations. As light rail projects have progressed, the speed targets (especially the commercial speed target of 25 km/h) have proved incompatible with other targets.

The research was carried out in two parts. In the first part, the background of the commercial speed target was investigated through interviews and a literature review. In the second part, factors influencing the speed of light rail were studied with a linear regression analysis. The main result of this thesis is a tool for estimating the speed of light rail in the preliminary design stages. The tool is an equation developed with the linear regression analysis. The terms and variables of this equation are the amount of stops (40 s each), the length of the line (60 s/km), the amount of intersections (5 s each), the amount of curves (10 s each) and the additional term for busy stops (10 s each). The tool can be used to explain more than 85% of the travel time variation of sections of Tampere light rail and Raide-Jokeri light rail.

The average speed of public transport is directly proportional to the average length of public transport journeys. In the Helsinki region, the average duration of a public transport journey is 10 minutes. The average speed of light rail is mainly determined by stop spacing and the surrounding urban environment. In a continuous urban structure, the average speed of light rail is 18–21 km/h and outside the urban structure 21–35 km/h. In Finland, the light rail is best suited for journeys of two to six kilometers. For longer journeys that are not served by heavy rail, a new transit concept should be developed. The service area of the light rail lines in Helsinki is limited to the area roughly inside Ring Road I. Unrealistic speed targets should not be used when designing light rail lines. Instead of speed targets, the use of speed estimates to support planning is recommended.

Keywords Light Rail, Tramway, Commercial Speed

Sisällys

Esipuhe	7
Lyhenteet	8
1 Johdanto	9
1.1 Työn tausta – tietojen puute ja sen vaikutukset.....	9
1.2 Työn tavoitteet ja rakenne	10
2 Kirjallisuuskatsaus	11
2.1 Mikä on pikaraitiotie?	11
2.1.1 Pikaraitiotie, Light Rail vai Stadtbahn?	11
2.1.2 Pikaraitiotiestä metroon ja takaisin – 1900-luvun historia	12
2.1.3 HSL:n palvelukuvaus pikaraitioille.....	22
2.1.4 Pikaraitiotien määritelmien yhteenveto	24
2.2 Joukkoliikenteen keskinopeuden merkitys	25
2.2.1 Palvelunäkökulma	25
2.2.2 Matka-aikabudjettinäkökulma.....	27
2.2.3 Joukkoliikennejärjestelmänäkökulma.....	28
2.3 Pikaraitiotiet ja maankäyttö.....	33
3 Pikaraitioteiden nopeuteen vaikuttavat tekijät	36
3.1 Kalusto ja matkustajat	36
3.2 Kuljettajat ja ajokulttuuri.....	37
3.3 Pysäkkiväli ja pysäkkiajat	39
3.4 Ratageometria ja ratatekniikka.....	42
3.5 Katujen nopeusrajoitukset.....	43
3.6 Liikenneturvallisuus ja muu liikenne	45
3.7 Keskinopeuden hajonta.....	47
3.8 Pikaraitioteiden nopeuteen vaikuttavien tekijöiden kehittyminen suunnitteluprosessissa	49
3.9 Yhteenveto pikaraitiotien nopeuteen vaikuttavista tekijöistä.....	49
4 Nopeustavoitteen tausta ja tärkeys	51
4.1 Raide-Jokeri	51
4.2 Raideliikenteen verkostoselvitys 2015.....	56
4.3 Kruunusillat.....	57

4.4	Vantaan ratikka	59
4.5	Vihdintien pikaraitiotie.....	60
4.6	Viikin-Malmin pikaraitiotie	62
4.7	Matinkylä–Leppävaara raitiotie	62
4.8	Koonti nopeustavoitteen taustasta ja merkityksestä.....	64
5	Tutkimusaineisto ja -menetelmä	66
5.1	Tutkimusaineisto.....	66
5.2	Tutkimusmenetelmä	68
6	Tulokset	69
7	Keskustelu	74
7.1	Seudullinen runkoyhteys vs. maankäytön runko	74
7.2	Seudullisten matkojen uusi linjakonsepti	75
7.3	Pikaraitioverkon toiminta-alue.....	77
7.4	Uusi keskinopeustavoite	78
8	Yhteenveto	80
8.1	Johtopäätökset	80
8.2	Jatkoselvityksaiheita	82
	Lähteet	83

Esipuhe

Tämä diplomityö on tehty toimeksiantona Helsingin seudun liikenteelle, jossa työn ohjaamisesta vastasi Sakari Metsälampi. Ohjaamiseen osallistui myös Johanna Wallin. Työn valvoi Aalto-yliopiston professori Raine Mäntysalo. Heidän lisäksi työtä on tukenut sankka joukko ihmisiä, ja siksi osoitan-kin tämän esipuheen kiitosten esittämiseen.

Kiitos Sakari Metsälammelle ja Johanna Wallinille innostavista ja loppumattomista keskusteluista sekä työn ohjaamisesta. Kiitos Raine Mäntysalolle lennokkaan otsikon keksimisestä ja työn valvomisesta. Kiitos Lauri Rädylle, Lauri Kankaalle, Tiina Hulkolle ja Tero Anttilalle haastatteluista ja arvokkaista kokemuksistanne. Erityiskiitos Laureille: Rätty johdatti Nashin ajatteluun ja Kangas käsittelemään matka-aikabudjettia. Nämä olivat olennaisia siihen, että työssä löytyi tuore näkökulma paljon koluttuun aiheeseen. Kiitos edellä mainituille ja Sami Iikkaselle myös työn kommentoimisesta ja kehittämisestä.

Suuret kiitokset on syytä esittää WSP:n työkavereille, joiden seurassa olen saanut kasvaa vain kolmessa vuodessa joukkoliikenteen liikennöinnin asiantuntijaksi. Kiitos Antti Kataja persoonallisesta perehdytyksestä. Kiitos Simo Airaksinen valtavasta määrästä tietotaitoa. Kiitos Leena Gruzdaitis ja Juhani Bäckström luottamuksesta ja valtavasta tuesta. Kiitos edellisten lisäksi myös Atte Supposelle, Essi Pohjalaiselle ja Samuli Kyytsöselle siitä, että olette höpsöjä ja innostavia työkavereita. Supponen ja Airaksinen osallistuivat myös työn kommentoimiseen ja kehittämiseen.

Kiitos kaikille opiskelijakavereille vertaistuesta ja huvista vuosien aikana. Opintoni Aalto- ja Zoom-yliopistoissa eivät olisi olleet yhtä hedelmällisiä ja makeita ilman teitä. Erityiskiitokset Kaupunki raiteilla -kollektiiville päättämättömistä keskusteluista ja toistemme ajattelun kehittämisestä.

Kiitos äidille, joka kasvatti minut salonkikelpoiseksi teekkariksi ja joka vanhana toimittajana auttoi kieliasun kanssa. Kiitos Marille, että sain ajoittain varastaa työpöytäsi tämän työn tekemiseen.

Merihaan etäkonttorissa 12.02.2022



Henri / Hege Miettinen

Lyhenteet

BOStrab	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen
HKL	Helsingin kaupungin liikennelaitos
HS	Helsingin Sanomat
HSL	Helsingin seudun liikenne
ROW	Right of way (väyläetuuksien taso)
YTV	Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta

1 Johdanto

1.1 Työn tausta – tietojen puute ja sen vaikutukset

Helsingin seudulla ja muuallakin Suomessa suunnitellaan parhaillaan useita pikaraitioiteita. Näiden pikaraitioiteiden nopeuden arviointiin ei kuitenkaan ole ollut hyvää työkalua ennen suunnitteluvaiheita, joihin kuluu satoja tuhansia euroja. Siksi erilaisissa alustavissa tarkasteluissa, kuten esiselvityksissä ja verkostoselvityksissä arviot pikaraitioiteiden nopeudesta ovat perustuneet nopeustavoitteisiin. Helsingin seudulla pikaraitiotiehankkeissa on usein mainittu linjan keskinopeustavoite 25 km/h. Keskinopeus on linjan matka-aika jaettuna linjan pituudella eli keskimääräinen matkanopeus päätepysäkiltä päätepysäkille.

Viime vuosina useat Helsingin seudun pikaraitiotiehankkeet ovat edistyneet alustavista suunnitteluvaiheista yleissuunnitteluun, tarkempaan suunnitteluun tai rakennusvaiheeseen. Tieto pikaraitioiteiden nopeudesta on kehittynyt. On tullut ilmi, ettei yksikään suunniteltavista pikaraitioiteista saavuta keskinopeustavoitetta 25 km/h.

Nopeustason laskulla voi olla merkittäviä vaikutuksia pikaraitioiteiden kannattavuuteen ja tarkoituksenmukaisuuteen. Esimerkiksi vuonna 2015 Helsingin Raideliikenteen verkostoselvityksessä pikaraitioverkko arvioitiin kannattavaksi karkealla hyöty-kustannussuhteella 1,8. Toisaalta selvityksen herkkyyštarkastelussa arvioitiin, että jos pikaraitioliikenne olisi hitaampaa, aika- ja palvelutasohyödyt laskevat 60 % ja hyöty-kustannussuhde laskisi tasoon 1,5 (Helsingin kaupunki, 2015).

Pikaraitiotiehankkeet ovat päätyneet kaupunkien tulevaisuudensuunnitelmiin alustavien tarkastelujen perusteella. Hankeideoita verrataan keskenään alustavien selvityksien perusteella. Puutteelliset tiedot pikaraitioiteiden nopeudesta ovat saattaneet johtaa yhteiskuntataloudellisiin tappioihin, kun satojen miljoonien eurojen pikaraitiotiehankkeiden arvioimiseen ei ole ollut riittäviä lähtötietoja.

1.2 Työn tavoitteet ja rakenne

Tämän työn tavoitteena on kehittää pikaraitioteiden nopeuden arviointimenetelmä alustavan tason tarkasteluihin ja kehittää tietoa pikaraitioteiden nopeudesta. Työssä kehitettävän työkalun avulla tulevia pikaraitiotiehankkeita voi arvioida jo alustavissa arvioissa realistisesti. Työssä kerättävän ja kehitettävän tiedon avulla voidaan tukea pikaraitioteiden nopeudesta käytäviä keskusteluja, parantaa pikaraitioteiden suunnittelua ja auttaa muitakin kuin asiantuntijoita ymmärtämään aihetta. Tavoitteet pyritään saavuttamaan seuraavien tutkimuskysymysten kautta:

1. Mikä on pikaraitioteiden nopeustavoitteen tausta?
2. Miten nopeustavoite on ohjannut pikaraitioteiden suunnittelua?
3. Mitkä tekijät määrittävät eniten pikaraitioteiden keskinopeutta?
4. Miten pikaraitioteiden nopeus pitäisi ottaa huomioon hankkeiden alustavissa tarkasteluissa?
5. Mikä olisi Helsingin seudun pikaraitioteiden realistinen keskinopeuden tavoitetaso, joka ottaa huomioon myös muut pikaraitioteiden tavoitteet?

Työ alkaa luvulla 2, joka perehdyttää aiheeseen ennen tutkimuskysymyksiin paneutumista. Lähtötietojen kertaamisen jälkeen vastaukset kysymyksiin selvitetään kaksiosaisella tutkimustavalla. Ensiksi kirjallisuusselvityksellä kootaan tiedot pikaraitioteiden nopeuteen vaikuttavista tekijöistä luvussa 3 (kysymys 3). Viime aikoina on laadittu sekä erinomaisia opinnäytetöitä että hyviä suunnitteluohjeita, jotka yhdistämällä syntyy kuva nopeuteen vaikuttavista tekijöistä. Nopeustavoitteen tausta, tärkeys ja toteutuminen selvitetään pääosin haastatteluilla luvussa 4 (kysymykset 1 & 2).

Haastateltavaksi on valittu neljä pikaraitioteiden suunnitteluun vaikuttanutta asiantuntijaa ja neljästä eri organisaatiosta. Haastattelut toteutettiin etäyhteydellä 1-2 tunnin tapaamisina, jotka äänitettiin. Kolme haastattelua toteutettiin syyskuussa ja neljäs marraskuussa. Nopeustavoitteen taustoittamisen lisäksi haastatteluilla kerättiin muutakin tietoa ja näkemyksiä, joilla työssä on taustoitettu pikaraitioteiden suunnittelun periaatteita ja pikaraitioteiden nopeuteen vaikuttavia tekijöitä.

Toisessa osassa pikaraitioteiden nopeuteen vaikuttavia tekijöitä tutkitaan lineaariregressioanalyysillä luvuissa 5 ja 6. Analyysin tulos on työkalu pikaraitioteiden nopeuden arvioimiseen, jota voi käyttää hankkeiden alustavissa tarkasteluissa (kysymys 4). Työn loppupuolella luvussa 7 aikaisempien lukujen tietoja yhdistetään vapaamuotoisesti ja etsitään vastausta viidenteen tutkimuskysymykseen. Luvussa 8 työn keskeiset tulokset ja johtopäätökset kootaan yhteen sekä esitetään jatkoselvitysaiheita.

2 Kirjallisuuskatsaus

Tässä osiossa kootaan työn taustaksi tarvittavat taustatiedot pikaraitioteiden keskinopeuden ja nopeustavoitteen käsittelemiseksi. Osiossa vastataan kysymyksiin: *Mikä on pikaraitiotie? Mikä on pikaraitioteiden keskinopeuden merkitys? Miten pikaraitiotiet ja maankäyttö liittyvät toisiinsa?*

2.1 Mikä on pikaraitiotie?

Jotta päästään aloittamaan pikaraitioteiden nopeuden käsitteleminen, kannattaa aloittaa selvittämällä *mikä on pikaraitiotie?* Seuraavissa kahdessa alaluvussa pikaraitiotien määrittelyä on lähestytty kolmesta näkökulmasta: mikä on pikaraitiotie eri kielissä, mikä on pikaraitioteiden historia sekä mitkä ovat Helsingin seudun liikenteen (HSL) omat tavoitteet pikaraitioille. Neljännessä alaluvussa havainnot kerätään yhteen.

2.1.1 Pikaraitiotie, Light Rail vai Stadtbahn?

Suomen pikaraitiotie -sanana voi pilkkoa kolmeen osaan: pika, raitio ja tie. Tie on Kotimaisten kielten keskuksen laatiman Kielitoimiston sanakirjan yhden määritelmän mukaan ”liikennettä varten rakennettu väylä” (2020). Sana raitio täsmentää tämän liikennettä varten laaditun väylän tekniikkaa: raitiotie koostuu kahdesta yhdensuuntaisesta teräksisestä kiskosta, jotka ohjaavat ja tukevat raitiotiellä kulkevia raitiovaunuja. Raitiovaunujen pyörät ovat myös teräksisiä, ja niiden kulkua kiskoilla ohjaavat ensisijaisesti pyörien kartiomainen muoto ja toissijaisesti pyörien laipat. (Vuchic, 2007)

Sana ”pika” onkin hankalampi määritellä. Kielitoimiston sanakirjan määritelmän mukaan pika tarkoittaa yhdyssanojen alkuosana ”(erityisen) nopeasti liikkuva” (2020). Helsingin kaupungin entisen kaupunkisuunnitteluviraston oma määritelmä on moninaisempi: ”Pikaraitiotie on perinteistä raitiovaunua nopeampi järjestelmä, joka kulkee tavallisesti omalla kaistallaan, jonka vaunut ovat usein kahteen suuntaan ajettavia vaunuja ja perinteisiä raitiovaunuja isompia, ja jonka suunnittelussa kiinnitetään huomiota matkustusmukavuuteen ja turvallisuuteen” (2015). Sanan ”pika” tarkoitus on siis täsmentää suunnittelun laatutasoa, eikä niinkään teknistä perusratkaisua.

Sanan ”pika” määrittäminen on hankalaa myös sen tähden, että määritelmä ei ole käännettävissä kaikille raitiotiesuunnittelun valtakielille. Lähin käännöksen englanniksi on light rail (suom. ”kevytraide”), joka kattaa kaikenlaisen raide liikenteen historiallisten kaupunkiraitioteiden ja ”raskaampien” rautatie- ja metrojärjestelmien välillä. Sanan *light rail* laajaan määritelmään sisältyvät esimerkiksi Kööpenhaminan metro ja Lontoon Docklands Light Railway. (Vuchic, 2007) Suomeksi näitä järjestelmiä ei kutsuta pikaraitioiteiksi, sillä ne eivät liikennöi kaduilla ja ne ottavat virtansa erillisestä virtakiskosta.

Ranskan kieleen ei ole vakiintunut vastaavaa termiä: kaikki raitiotiet ovat yksinkertaisesti *tramway*. Saksankielisissä maissa *Stadtbahn* on yleisesti käytössä oleva termi, jolla kuvataan metrojen ja pikaraitiotieiden ominaisuuksia yhdisteleviä kaupunkiratoja. Termi on lähellä englanninkielistä termiä *light rail* sekä sisältää monia suomalaisia näkemyksiä pikaraitiotieistä. Nämä termit eivät ole kuitenkaan keskenään vaihtokelpoisia, sillä *Stadtbahnien* tunneliosuudet ovat metromaisia, kun taas raitiotieosuudet muistuttavat enemmänkin *tram*-linjoja kuin *light rail* -linjoja. *Stadtbahnien* suomentamista hämmentää sekin, että jotkin *Stadtbahnit* ovat raitiotiemäisiä, kun taas toiset linjat tai linjastot eivät liikennöi lainkaan katuverkossa.

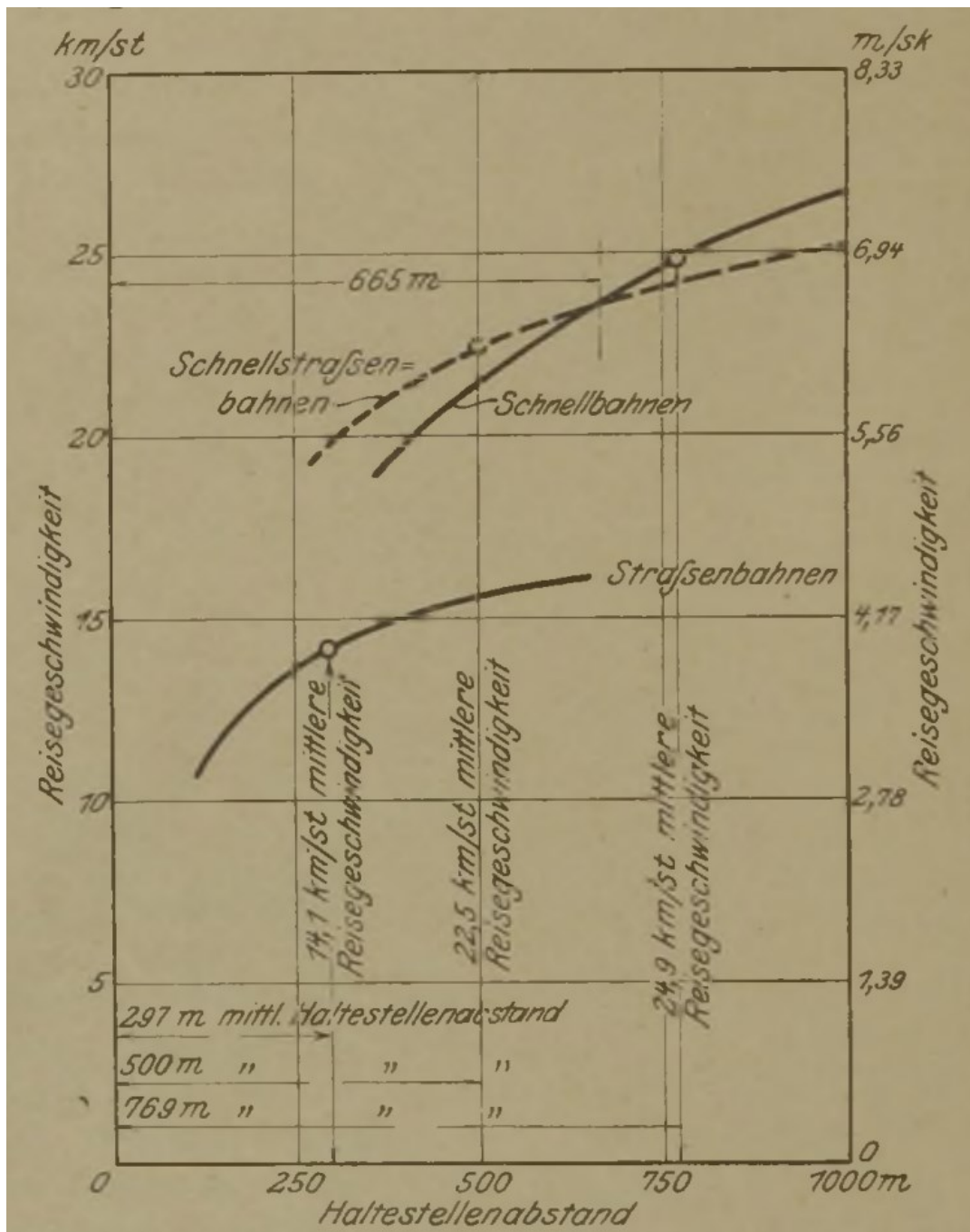
Lähimmissä naapurimaissamme pikaraitiotieistä käytetään eri maista lainattuja termejä: Tanskassa seurataan anglosaksitraditiota, jolloin Odensen pikaraitiotie on *Odense Letbane* (*light rail*). Norjassa *Bergen Bybanen* (*Stadtbahn*) seuraa nykysaksalaista terminologiaa, kun taas Ruotsissa käyttöön on vakiintunut termi *snabbspårväg*, joka lienee peräisin alun perin saksalaisesta sanasta *Schnellstraßenbahn*. Saksankielinen termi *Schnellstraßenbahn* on kadonnut saksankielisestä keskustelusta, sillä sen ideat käytettiin kaikkien eri raitiotielinjojen suunnitteluun, jolloin ei enää tarvinnut eritellä pikaraitioiteita ja raitioiteita.

2.1.2 Pikaraitiotiestä metroon ja takaisin – 1900-luvun historia

Suomenkielinen termi pikaraitiotie periytyy oletettavasti joko ruotsalaisesta termistä *snabbspårväg* tai saksankielisestä termistä *Schnellstraßenbahn*. Perinteisesti suomalaisilla insinööreillä on ollut vahvat yhteydet Saksaan (Kangas, 2021). Käännös suoraan saksan kielestä on todennäköinen.

Saksankielinen termi ja siten koko pikaraitiotien konsepti on ilmeisesti kehitetty ensimmäisen maailmansodan aikana Saksassa. Yksi ensimmäisistä maininnoista on Erich Giesen kirja *Schnellstraßenbahnen* (1917), jossa Giese hahmotteli pikaraitiotietä ratkaisuksi kasvavan Berliinin kaupunkiseudun haasteisiin. Giesen teosta ei ollut saatavissa tämän diplomityön lähteeksi, jolloin korvaavana lähteenä on käytetty Ernst Biedermannin laatimaa artikkelia 1917 *Technik und Wirtschaft* -ammattilehteen.

Silloisen Berliinin haasteena oli kaupungin reuna-alueiden väestönkasvu ja se, että keskusta-alueen maankäytön yksipuolistuminen kaupalliselle toiminnalle. Tämän maankäytön muutoksen ajureina olivat kaupunkien väkiluvun kasvu, parantunut liikenneteknologia ja esikaupunkien synty puutarhakaupunki-ideaalien vanavedessä. Esimerkiksi Berliinin väkiluku kaksinkertaistui 1870-luvusta 1910-luvulle. Berlinissä 1880-luvulta alkaen kehitetyt rautatiet ja 1890-luvulta alkaen kehitetyt raitiotiet mahdollistivat aiempaa pidemmät matkat, jolloin kaupungin väkiluvun kasvu johti pinta-alan kasvuun eikä kaupungin tiivistymiseen. Malli kaupungin reuna-alueille toteutettavista esikaupungeista syntyi brittiläisen Ebenezer Howardin kehitettyä 1890-luvulla ajatuksen puutarhakaupungeista.



Kuva 1. Vuonna 1917 hahmoteltu kaaviokuva raitioteiden (*Straßenbahnen*), pikaraitioteiden (*Schnellstraßenbahnen*) ja paikallisjunien (*Schnellbahnen*) keskeisistä ominaisuuksista.

Maankäytön muutokset johtivat siihen, että kaupungin reuna- ja keskusta-alueiden välille tarvittiin nopeat ja korkeakapasiteettiset joukkoliikenneyhteydet. Junaratoihin ei kuitenkaan ollut varaa. Valtio oli velkaantunut sodassa eikä investointeja kyetty rahoittamaan maan arvon nousulla. Giese ehdotti esikaupunkiyhteyksien rakentamista raitioteknikalla soveltaen

joitakin rautateiden suunnitteluperiaatteita. Näin voitaisiin saavuttaa rautateiden palvelutaso murto-osalla niiden kustannuksista. (Biedermann, 1917)

Giesen ehdotukset pikaraitiotiekonseptiksi liittyvät lähinnä pysäkkiväliin ja risteäviin kulkusuuntiin. Berliinin raitioiteillä keskimääräinen pysäkkiväli oli 297 metriä, kun Giese ehdotti pikaraitioiteille pysäkkiväliksi 500 metriä. Paikallisjunilla pysäkkiväli oli 769 metriä. Raitioiteiden keskimääräinen nopeus oli 14,1 km/h ja paikallisjunien 24,9 km/h, jolloin Giesen ehdottama 22,5 km/h pikaraitiotie oli lähempänä paikallisjunan keskinopeutta kuin raitiotien. Nämä parametrit ja niiden vaikutus toisiinsa on esitetty kuvassa 1. Nämä keskinopeudet – tai keskinopeustavoitteet – ovat 2000-luvun näkökulmasta kunnioitettavia, sillä kaupunkiraitioiteiden huippunopeus oli vain 30 km/h, paikallisjunien 50 km/h ja pikaraitiotie-ehdotuksen 35 km/h. Kalusto ei kyennyt yhtä tehokkaasiin kiihdytyksiin ($0,75 \text{ m/s}^2$) kuin nykypäivän raitiovaunut ($1,2 \text{ m/s}^2$). Risteävien kulkusuuntien hallitsemiseksi Giese ehdotti kohtuuden rajoissa mahdollisimman suurta liittymäväliä, noin 500–1 000 metriä. Pikaraitiotie ei tarvitsisi erillisrataa, vaan luontevin paikka olisi kadun keskellä. (Biedermann, 1917)

Giese ei ehdottanut pikaraitioiteiden tuomista esikaupungeista kaupungin ytimeen asti, sillä Berliinin kantakaupungissa ei ollut riittävästi tilaa. Tähän haasteeseen Giese luonnosteli kolme vaihtoehtoa:

1. Pikaraitiotiet toteutetaan paikallisjunaverkon haaroina; raitiovaunut kulkevat keskustassa junaradoilla ja esikaupungeissa pikaraitioiteilla
2. Pikaraitiotie päätetään paikallisjunien asemalle siten, että raitiovaunusta voi vaihtaa laiturin yli nopeaan paikallisjunaan
3. Pikaraitiotie ”päättyy” nopeiden paikallisjunien asemalle, mutta jatkaa kaupunkiraitiotienä keskustaan.

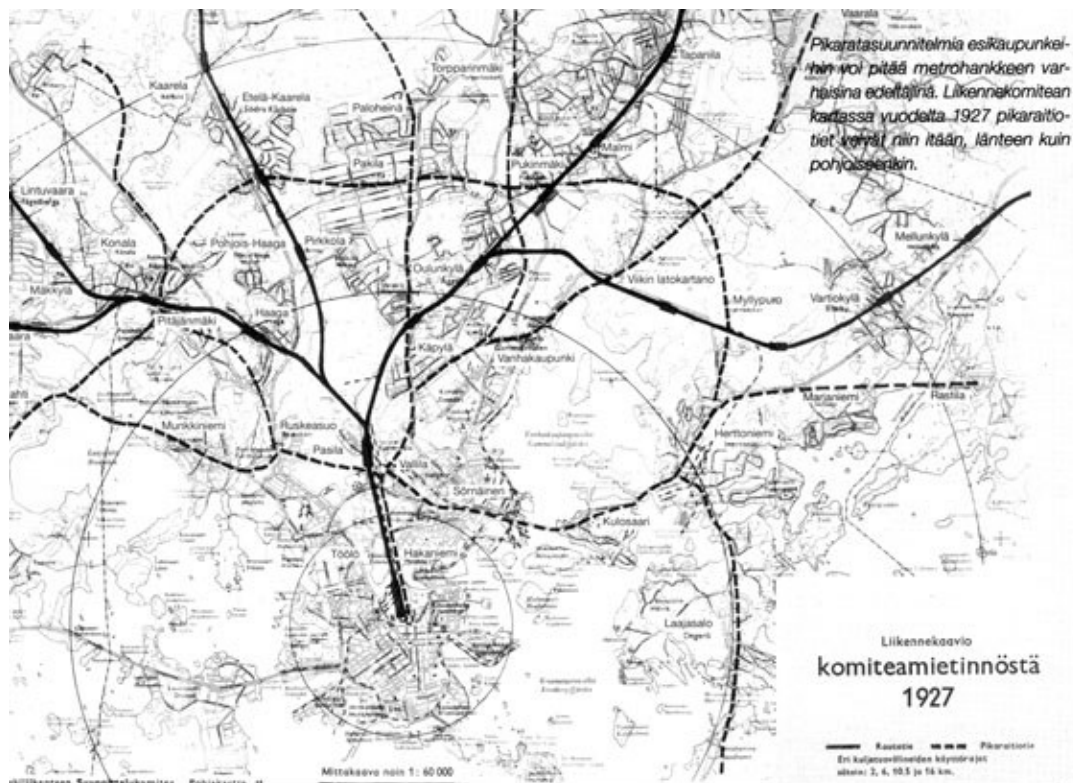
Giesen mukaan toinen ja kolmas ratkaisu toimisivat Berliinin olosuhteissa, mutta kolmas olisi helpoin toteuttaa. Hän ehdotti Berliiniin noin kahtakymmentä pikaraitiotietä siten, että ne tukeutuisivat paikallisjunien asemiin. Ehdotetun verkon laajuus oli 110 kilometriä. (Biedermann, 1917)

Giesen Berliinissä käymä keskustelu kaupungin kasvusta ja sen asettamista vaatimuksista heijastui samankaltaisena Helsinkiin jo 1920-luvulla. Helsingin Sanomat (HS) uutisoi 1.12.1927 Helsingin kaupungin rakennuskonttorin suunnitelmasta Helsingin esikaupunkiratakysymyksen ratkaisemiseksi. 1910- ja 1920-luvuilla uusien esikaupunkien asukasmäärä oli kasvanut voimakkaasti. Vuonna 1923 kaupunginjohtaja Arthur Castrénin esityksestä kaupungin rahatoimikamari asetti toimikunnan selvittämään kanta-kaupungin ja esikaupunkien välisiä liikenneyhteyksiä. (HS, 1927)

Esikaupunkiratojen suunnitelmassa kaupunkiseutu jaettiin neljään vyöhykkeeseen, joiden laajuus oli laskettu niiden käyttämien kulkuvälineiden keskinopeuden mukaan. Vyöhykejaon ajatuksena oli taata keskustaan ulottuvien matkojen pituudeksi korkeintaan 45 min. Linja-autojen ja [kaupunki]raitioiteiden keskinopeudeksi laskettiin 12 km/h, pikaraitioiteiden 21

km/h ja junan 32 km/h. Pikaraitiotie määritettiin raitiotieksi, ”joka mahdollisimman laajalti käyttää erikoista rataa, jossa asemat ovat mahdollisimman kaukana, eli vähintään 500 metriä toisistaan.” Suunnitelman vyöhykkeet ja niiden käyttämät kulkuneuvot olivat seuraavanlaiset: (HS, 1927)

1. ”City-vyöhyke” 2 km rautatieasemasta. Joukkoliikennettä liikennöidään ensisijaisesti raitioteillä.
2. Ensimmäinen esikaupunkivyöhyke 2–6 km rautatieasemasta. Joukkoliikennettä tavallisilla raitioteillä ja linja-autoilla.
3. Toinen esikaupunkivyöhyke 6–10,5 km rautatieasemasta. Joukkoliikenne pikaraitioteillä ja mahdollisesti linja-autoja.
4. Kolmas esikaupunkivyöhyke 10,5–16 km rautatieasemasta, missä käytetään rautateitä ja mahdollisesti linja-autoja.



Kuva 2. Vuonna 1927 Helsingin esikaupunkiratakysymystä ratkoneen komitean mietinnön liikennekaavio, johon sisältyy rautatieverkon laajentaminen Kaarelaan, Itä-Helsinkiin ja Lintuvaaraan sekä kourallinen pikaraitioteitä Helsingin keskustasta Pasilan kautta esikaupunkieihin. (Tolmunen, 2007).

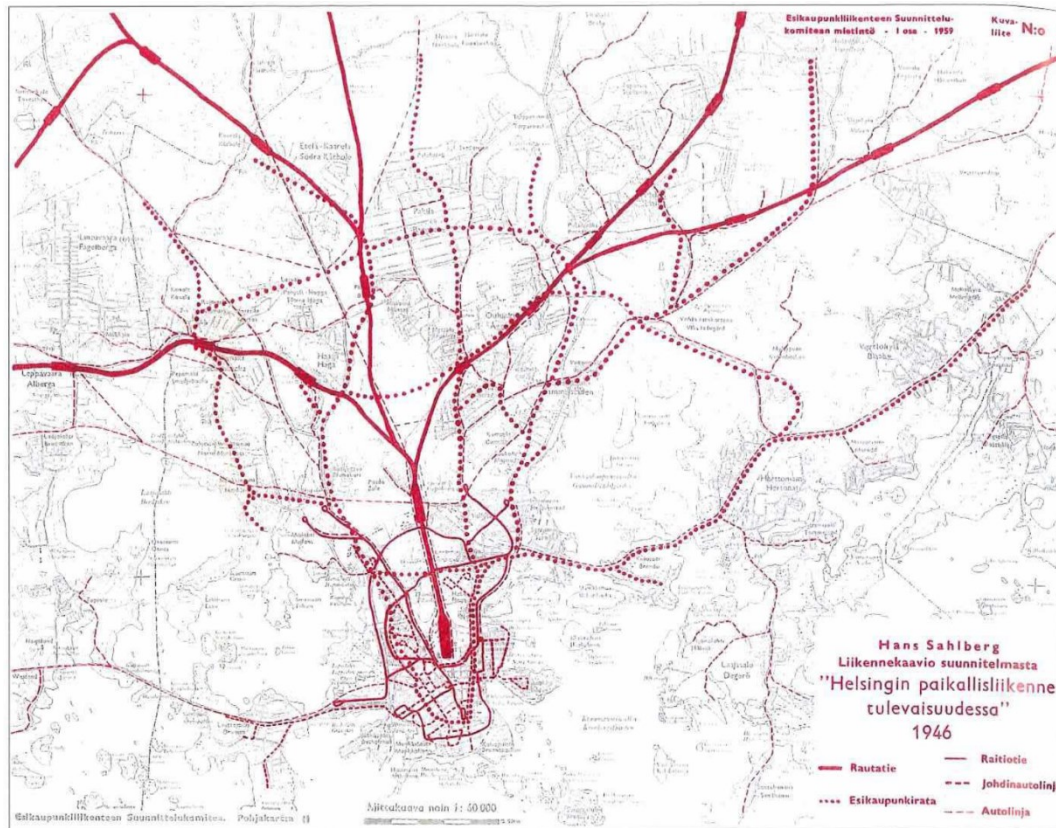
Komitea esitti, että esikaupunkien pikaraitiotiet tulisi johtaa Pasilaan, josta ne voisivat jatkaa rautatien rinnalla (itä- taikka länsipuolella) keskustaan välttämällä kaikki katutasen risteykset mahdollistaen suuren nopeuden. Linjausten kartta on esitetty kuvassa 2. Komitea ei katsonut voivansa puoltaa niitä ehdotuksia, joissa pikaraitiotiet olisi johdettu valmiille liikennekaduille, kuten Läntiselle viertotielle (nyk. Mannerheimintie), Helsinginkadulle

taikka Sturenkadulle. Nämä kadut suunniteltiin varattavan [kaupunki]raitioteille ja autoliikenteelle. Sen sijaan esikaupungeissa pikaraitiotiet sijoitettiin katutasoon suunnitelluille valtateille, joissa poikkisuuntainen liikennemäärä on ”verraten mitätön” tai puisto- ja vapaa-ajan alueiden sisäpuolelle. Pikaraitioteiden raideleveydeksi ehdotettiin yhtä metriä. (HS, 1927)

Komitean ehdotuksen ajatus Pasilasta keskeisenä risteysasemana on tuttu jo aikaisemmasta Eliel Saarisen Pro Helsingfors -asemakaavaehdotuksesta, jossa Helsingin päärautatieasema olisi siirretty Pasilaan. Pro Helsingfors -suunnitelman on tulkittu esittäneen ensimmäisiä pikaraitioiteita Helsinkiin. Siinä ehdotettiin raideliikennettä Pasilasta kaikkiin esikaupunkeihin sekä niiden välille. Suunnitelmassa ei kuitenkaan puhuttu näistä radoista raitioteinä. Suunnitelmassa erikseen todettiin, että tavanomaiset raitiolinjat eivät sisältyneet suunnitelmaan. Ehdotetuista uusista radoista käytettiin termiä esikaupunkirata sikäli kun suunnitelmassa ei puhuttu varsinaisen rautatieverkon laajennuksista. Esikaupunkirataehdotusten pysäkkiväli oli noin kilometrin. (Saarinen & Jung, 1918) Pro Helsingfors -suunnitelman kaupunkirakenne oli kuin malliesimerkki Ebenezer Howardin puutarhakaupungista, jossa raideliikenteen avulla kaupunkien asutus ja teollisuus eriytettiin toisistaan ja kaupungin pinta-alan annettiin kasvaa.

Helsingin Sanomien arkistossa seuraava maininta pikaraitioiteistä vuoden 1927 jälkeen löytyy vasta vuodelta 1946. Lehti uutisoi Helsingin kaupungin liikennelaitoksen toimitusjohtajan Sahlbergin laatimasta suunnitelmasta Suur-Helsingin paikallisliikenteen järjestelyksi. Suunnitelmassa varauduttiin Helsingin pinta-alan nelinkertaistumiseen ja asukasmäärän kasvamiseen 700 000 asukkaaseen 20–30 vuoden aikana. Suunnitelmassa esitettiin laitakaupunkialueiden ja keskustan välille 106 kilometrin pikaraitiotieverkkoa, josta 28 km olisi tunneleissa keskustan alueella. Linjoja esitettiin tunneloitavaksi siksi, että keskikaupungilla ei olisi tilaa maanpäällisille pikaraitioteille. Pikaraitiolinjaukset on esitetty kuvassa 3. Pysäkkiväliksi esitettiin 700-800 metriä ja keskinopeudeksi 26-29 km/h. Suunnitelmassa otettiin kantaa myös ”katuraitioiteihin”: niiden tehtävä olisi välittää liikennettä keskikaupungin eri osien välillä siten, että niiden pysäkkiväli on noin 250 metriä, kaistat omia eli vapaita autoliikenteestä ja keskinopeus 13-14 km/h. Kaikkeimmilta kaduilta tulisi poistaa raitioliikenne ja korvata se ”trolleybusseilla”, jolloin keskustaan jäisi vain kuusi varsinaista raitiolinjaa. (HS, 1946)

1950-luvulle tultaessa keskustelu pikaraitioiteistä muuttui jälleen. Vuonna 1950 kaupunginvaltuusto vahvisti uuden Kulosaaren sillan leveydeksi 32 metriä, josta sillan keskellä olevat 8 metriä oli varattu myöhemmin toteutettavalle pikaraitiotielle, vaikka jo silloin ”omnibusliikenteen” arvioitiin vähitellen syrjäyttävän raitiotieliikenteen (HS, 1950). Kulosaaren sillalla raitiovaraus säilyi 1960-luvulle asti tyhjänä muusta liikenteestä erotettuna osana, joka lopulta päällystettiin autoliikenteen käyttöön (Leppänen, 1977). Sillan raitiotievaraus on nähtävissä kuvasta 4. Myöhemmin samanlainen 10–14 metrin tilavaraus päätettiin toteuttaa myös Tuusulantielle. (HS, 1959a).



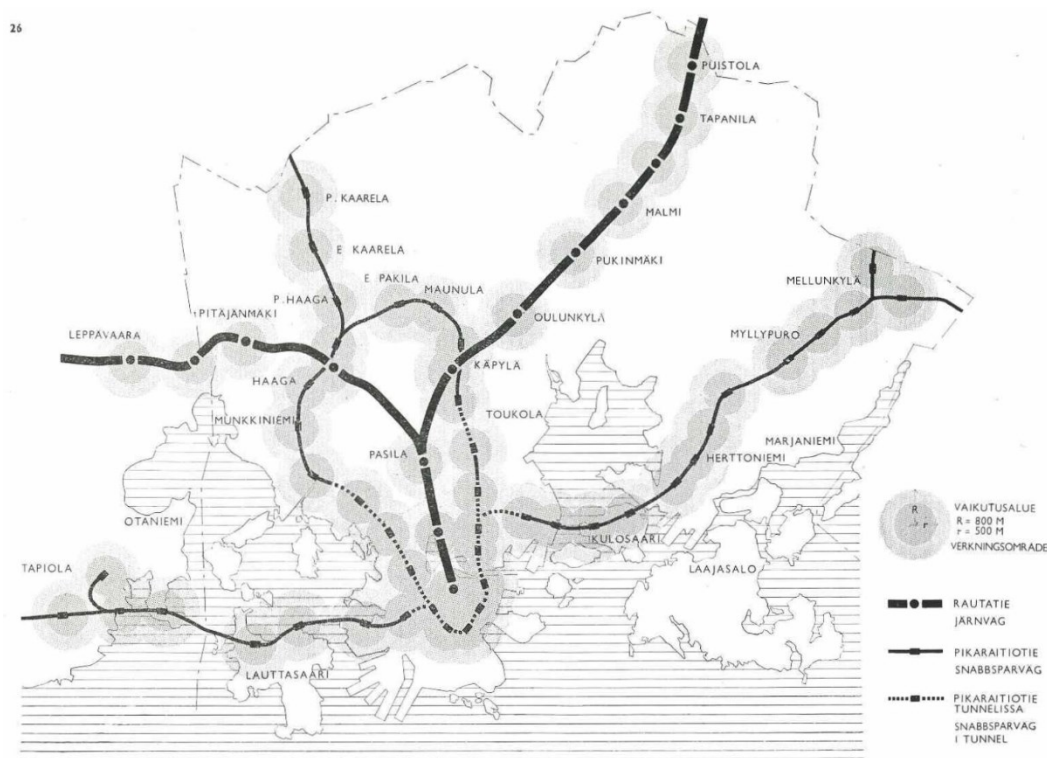
Kuva 3. HKL:n toimitusjohtaja Sahlbergin vuonna 1946 esittelemä suunnitelma Helsingin paikallisliikenteen järjestelyiksi. (Tolmunen, 2016, s. 526)



Kuva 4. Näkymä Kulosaaren sillasta noin vuonna 1960. Pikaraitiotievaraus kadun keskellä päällystettiin myöhemmin 1960-luvulla. (Racz, 1960)

Kulosaaren sillan yli johdettavaa pikaraitiotietä suunniteltiin johdettavaksi Herttoniemeen siten, että rata siirtyisi pikatien keskeltä Hiihtomäentielle yli pikatien ja paikallisliikenteen kiertoliittymän. Pikaraitiotiellä olisi pysäkit Kulosaassa Hopeasalmen sillan ja Tupasaarentien alikulun kohdilla.

Samoihin aikoihin 1950-luvun alussa arkkitehti Yrjö Lindegren sai tehtäväkseen Helsingin keskustan asemakaavakomitealta laatia keskustalle asemakaavaehdotus, joka perustui 1940-luvun lopussa pidettyyn ideakilpailuun. Lindegrenin tehtävä siirtyi Erik Kråkströmille Lindegrenin kuoltua vuoden 1952 lopussa. Työ valmistui vuonna 1954. Ehdotuksessa laadittiin varsin kaikenkattava suunnitelma Helsingin kehitykselle Eliel Saarisen vuonna 1918 laatiman Pro Helsingfors -suunnitelman hengessä. Ehdotuksessa pyrittiin vahvasti ohjaamaan liike-elämän keskittymistä ”cityyn”, kulttuurin ja vapaa-ajan alueiden sijoittumista Töölönlahden ja Eläintarhanlahden seuduille sekä ennen kaikkea moottoriliikenteen reipasta kasvua. Suuri osa asemakaavaehdotuksesta omistettiin tulevan moottoriliikenteen tieverkon luonnostelulle. (Lindergren & Kråkström, 1954)



Asemakaavaehdotuksessa otettiin kevyesti kantaa myös joukkoliikenneverkkoon laatimalla ehdotus paikallisjunaliikenteen ja pikaraitioliikenteen verkoista. Ehdotuksen perusajatuksena oli, että rautatielle kehitettävä

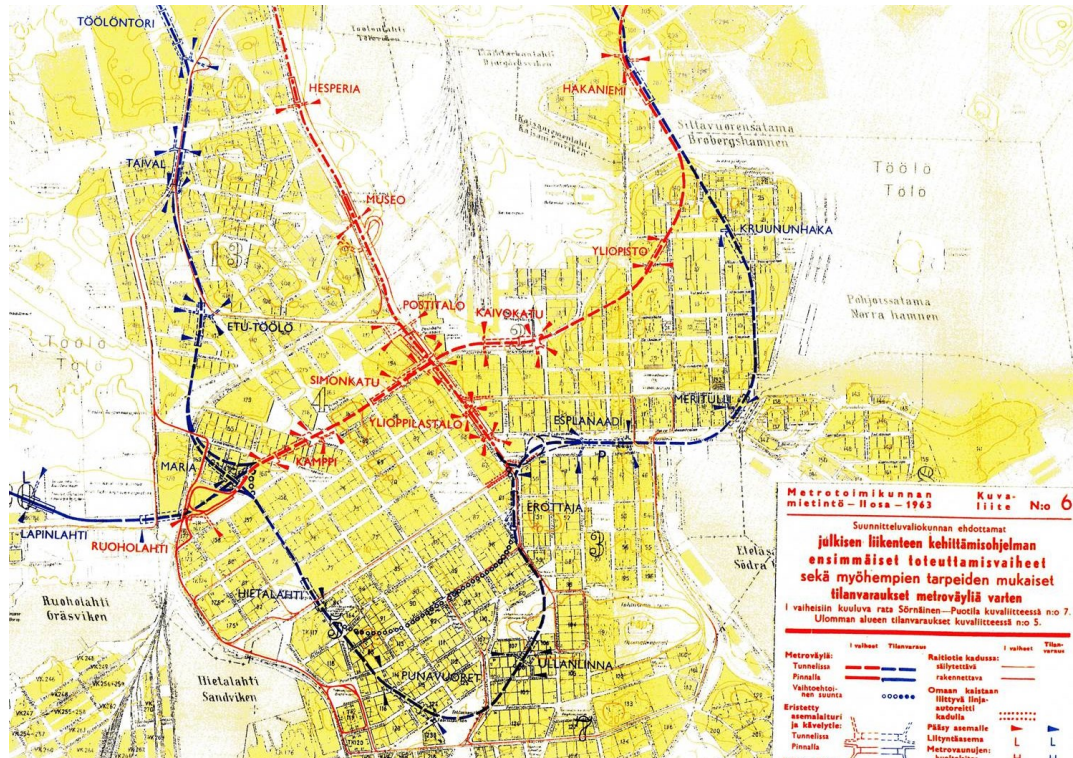
paikallisjunaliikenne tarjoavaa liikennepalvelua rautateiden varsille syntyneelle maankäytölle, kun taas muille alueille kaupunki toteuttaa pikaraitiotieyhteydet. Kauempana oleville alueille liikenne hoidettaisiin linja-autoilla liikennöitävillä syöttöyhteyksillä. Jo rakennetulla kaupunkialueella pikaraitiotiet liitettäisiin katuraitiotieihin. Myöhemmin liikenteen kasvaessa ehdotuksen mukaan olisi harkittava niiden sijoittamista maan alle. Asemakaavaehdotuksen ohessa laadittiin periaatekartta esikaupunkiratojen verkosta, mikä on esitelty kuvassa 5. Laadittu kartta on hahmotelma esikaupunkiradoista. (Lindergren & Kråkström, 1954, s. 29)

Lindgrenin ja Kråkströmin kaavailut sisälsivät Kulosaaren sillalle suunnitellun Herttoniemen pikaraitiotien. Vuoteen 1957 mennessä Herttoniemen pikaraitiotiesuunnitelmat olivat kehittyneet HKL:n vuosien 1958–1963 sijoitusohjelmaan siten, että ensi vaiheessa syksystä 1959 pikaraitiotie liikennöisi Herttoniemen ja Hiihtomäentien risteyksestä Kulosaaren läpi keskustaan. Pikaraitiotielinjaa jatkettaisiin myöhemmin vuonna 1960 Siilitien risteykseen, josta edelleen vuonna 1982 linjaa jatkettaisiin Myllypuroon. Ensi vaiheen pääteasemalle Herttoniemessä syötettäisiin matkustajia liityntäbussilinjoilla kauempaa Itä-Helsingistä. (HS, 1957)

Herttoniemen pikaraitiotie ei kuitenkaan ehtinyt toteutua ennen seuraavaa villitystä, Helsingin metroa. 15.9.1955 kaupunginhallitus päätti asettaa esikaupunkiliikenteen suunnittelukomitean (HS, 1955b). Komitean asettamisen saattoi vaikuttaa 17 päivää aikaisemmin alkanut Haagan runkolinjakokeilu, joka osoittautui epäonnistuneeksi (Sainio, 1999). Kokeilussa bus-sipulasta kärsivä HKL katkaisi Luoteis-Helsingin bussilinjat Ruskeasuolle, missä matkustajien tuli vaihtaa raitiovaunuihin. Kaikki matkustajat eivät kuitenkaan mahtuneet raitiovaunuihin. Linjalla oli myös vanhoja ja hitaita vaunuja, jotka alensivat linjan nopeutta. Kokeilu päätettiin vuonna 1958. (Tolmunen, 2007, s. 13) Kuusi päivää komitean asettamisen jälkeen 21.9.1955 joukko sosiaalidemokraattien kaupunginvaltuutettuja teki aloitteen ”maanalaisen” rakentamisesta Helsinkiin, ja sen selvittäminen asetettiin komitean tehtäväksi (Tolmunen, 2016, ss. 524, 528). Komitea teki työtä käskettyä, ja 10.6.1959 komitean suunnittelupäällikkö Reino Castrén esitteli mietintönsä ensimmäisen osan kaupunginvaltuustolle. Mietinnössä ei valittu kulkuneuvoa. Mietintö nimesi esikaupunkiliikenteen käyttämät väylät metroväyliksi, joilla olisivat voineet kulkea yhtä lailla linja-autot, johdinlinja-autot, raitiovaunut, junat tai muut kuljetusvälineet. (HS, 1959b)

Ensimmäisen mietinnön pohjalta komiteasta tehtiin metrotoimikunta, jonka toinen mietintö valmistui 1963. Mietinnössä ehdotettujen ratojen oli tarkoitus kulkea lähellä maanpintaa katuverkkoa mukaillen ja raitiotiemäisellä pysäkkivälillä ja linjastolla (Tolmunen, 2016, s. 533). Metron kuljetusvälineiksi ehdotettiin sähkökäyttöisiä junia tai raitiovaunuja, jolloin metro-rata olisi liitetty raitioverkkoon. Metron keskinopeudeksi esitettiin 25–30 km/h. (HS, 1963) Näistä tiedoista ja kuvassa 6 esitetystä Helsingin keskustan metrolinjastosta voi päätellä, että tämä ”Castrénin metrona” tunnettu

suunnitelma ei olisi ollut niinkään ”raitiotiemäinen metro” vaan selvästikin maanalainen pikaraitiotie. Castrénin metro olisi ollut raitioteiden kanssa teknisesti yhteensopiva. Lisäksi pysäkkiväli ja nopeustaso yllättäen olisivatkin yhteensopivia nykyisten pikaraitiosuunnitelmien kanssa.



Kuva 6. Metrotoimikunnan toisessa mietinnässä ehdotetut tilavaraukset metroväylille Helsingin keskustan alueella. (Murole, 2016)

Metroa ei kuitenkaan ruvettu tekemään maanalaisena pikaraitiotienä. Myöhemmin 1960-luvulla metrosuunnittelun johtaja vaihtui Castrénista Unto Valtaseen ja samalla maanalainen pikaraitiotie vaihtui maanlaiseksi junaksi. Suunnitelmissa rata siirtyi suoraan katutasen alta huomattavasti syvemmälle, pysäkkiväli harveni yli kilometriin ja kalusto muuttui sekä leveämmäksi että pidemmäksi. (Tolmunen, 2016, s. 536) Raitiotiet olivat muutenkin kovassa vastatulessa 1960-luvulla: vuonna 1968 julkaistu Smith-Polvisen suuri liikennetutkimus esitti raitioteitä kokonaan lakkautettaviksi. Helsingiläiset raitiotiet kuitenkin pelastuivat, kun 4.3.1970 kaupunginvaltuusto päätti hankkia 25 uutta nivelraitiovaunua. (Tolmunen, 2016, ss. 164-169)

Metron rakennuspäätös tehtiin valtuuston kokouksessa 7.8.1969. Edellisenä vuonna Helsingin kaupunki ja Valtionrautatiet sopivat, että Helsingin metro vastaisi ihmisten kuljettamisesta rannikkoa pitkin, kun taas länteen ja pohjoiseen ihmisten kuljettamisesta vastaisivat paikallisjunat (Tolmunen, 2007, s. 26). Näin seudun raideliikennejärjestelmän pääpiirteet (raitiotiet kantakaupungissa, metro rannikolla ja paikallisjuna pohjoisessa) löysivät nykyisen muotonsa aina 2010-luvulle asti. Metro rakennettiin 1970-luvulla ja

avattiin 1982. 1990-luvulla metroa jatkettiin Ruoholahteen ja Vuosaareen. Vuonna 2006 Helsingin ja Espoon kaupunginvaltuustot päättivät jatkaa metroa Matinkylään ja automatisoida metron. (Tolmunen, 2007)



Kuva 7. TramWest-linjakartta (TramWest, 2006)

Espoon Länsimetroa vastaan ja pikaraitioteiden puolesta syntyi kansalaisliike. Liike syntyi, kun 1989 Espoon vihreät ja Antero Alku halusivat korvata raskaat metrosuunnitelmat pikaraitioteilla. Alkun (2008) mukaan 1990-luvulla Helsingin seudun seudullisesta joukkoliikenteestä vastannut Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV) suhtautui penseästi pikaraitioteihin. Seudun suunnittelussa keskityttiin edistämään metron ja bussilinjaston suunnittelua. Vuosikymmentä myöhemmin kehitettiin Länsimetron vaihtoehdoksi TramWest, joka on esitetty kuvassa 7.

1990-luvun alussa otettiin myös ensiaskeleet Raide-Jokerin suunnittelussa. Vuoden 1990 Jokeri-radan suunnitelma oli ensimmäinen Helsingin kaupungin pikaraitiotiesuunnitelma Castrénin metrosuunnitelmien jälkeen. Jokerin suunnittelu ei kuitenkaan edistynyt, ja linja toteutettiin aluksi bussijokerina. 2000-luvun alussa linjan matkustajamäärät kasvoivat niin suuri, että paine bussilinjan korvaamisesta pikaraitioteilla alkoi kasvaa.

1900-luvun loppuosa oli käännteentekevä aikakausi pikaraitioteille myös muualla maailmassa. 1970-luvulta alkaen kaupunkiraitioteista kehittyi uusi konsepti: Light Rail Transit (LRT). LRT rakentui aikaisempaa pidemmistä raitiovaunuista, modernisoiduista raitiotieraiteista ja -kaistoista sekä liikenne-etuksista. (Vuchic, 2007, p. 24) LRT-konseptiin sisältyi myös metro- ja junaliikennettä, jota liikennöitiin metrojunien sijaan halvemmilla ja kevyemmällä raitiovaunuilla (Kangas, 2021). Ranskassa 1940- ja 1950-luvuilla alkanut vanhojen raitiotiejärjestelmien purkaminen loppui 1980- ja 1990-luvuilla, kun maahan rakennettiin ensimmäiset modernit raitiotiet.

Suomessa 2000-luvun alussa käänne raitioteiden suunnittelussa ei ollut vielä selvillä. Vielä vuonna 2007 HKL:llä aloittanut Lauri Kangas muistelee,

että YTV-aikoina ja HSL:n alkutaipaleella nämä organisaatiot olivat vahvasti skeptisiä raitiohankkeita kohtaan. Monet ajattelivat, että raitioiteilla ei tekisi mitään, koska ne olivat niin hitaita verrattuna metroon, juniin ja moottoritiebusseihin. Ajattelutavan voi ajatella olevan jatkoa 1970-luvulle, jolloin joukkoliikenteen keskeinen tehtävä oli ajaa kilpaa autojen kanssa yhdyskuntarakenteen hajautuessa. Ajattelutavan voi myös tulkita kehittyneen siihen muotoon, että Raide-Jokerista alkava pikaraitioteiden kausi olisi hyväksyttävissä, kunhan ne olisivat riittävän nopeita. (Kangas, 2021) Aikalaisajattelua raitioteiden hitaudesta on dokumentoitu myös Antero Alkun kaupunkiliikenne.net sivuille, jossa on vuonna 2003 tehty artikkeli vastineeksi ”pääkaupunkiseudulla vallitsevaan käsitykseen” raitioiteistä vain 15 km/h keskinopeuden joukkoliikenteenä (Alku, 2003). Kankaan muisteluista ja Alkun dokumentaatiota voi tukea allekirjoittaneen anekdootilla: laadittuani tämän luvun luonnoksen julkaisin siitä somepäivityksen. Päivitystä kommentoi varsin pikaraitioivastaisesti HKL:n eläkkeelle jäänyt metroliikennejohtaja.

2000-luvulla pikaraitioteiden paluun yhteydessä terminologia oli myös päätynyt eräänlaiseen hajaannukseen: pikaraitiotie ei välttämättä enää ollut itsestään selvästi pikaraitiotie. Esimerkiksi Espoon kaupungin suunnittelu- ja liikennejohtaja työskennellyt Davy Beilinson käytti englannista johdettuja termejä LRT tai Light rail. Tampereen pikaraitiotiehanketta ei koskaan virallisesti nimetty pikaraitiotieksi, vaan se on aluksi ollut ”nopea kaupunkiraitiotie”, mikä on kansan suussa vakiintunut Tampereen ratikaksi. Helsingissä haluttiin voimakkaasti kehittää pikaraitioiteille konsepti, joka raitiotietekniikasta huolimatta tuntuisi erilaiselta palvelulta kuin perinteiset raitiotiet. Termi pikaraitiotie päätettiin ottaa käyttöön, minkä lisäksi tavanomaiset raitiotiet brändättiin kaupunkiraitioiteiksi. (Räty, 2021) Pikaraitioteiden brändäykseen panostettiin paljon, ja tämän työn tuloksia esitellään seuraavassa alaluvussa.

2.1.3 HSL:n palvelukuvaus pikaraitioiteille

Etymologisen ja historiallisen lähestymistavan lisäksi kolmas tapa tutkia pikaraitioiteita on tarkastella, mitä pikaraitioteiden palvelutasoksi on kuvattu. HSL laati vuonna 2017 Helsingin seudun pikaraitioliikenteen palvelukuvauksen, jossa kuvattiin pikaraitioliikenteen rooli osana seudun joukkoliikennejärjestelmää. (HSL, 2017) Palvelukuvausta käytetään pikaraitioliikenteen sopimusvalmisteluissa kuvamaan ostettavan palvelun sisältöä.

Palvelukuvauksen mukaan pikaraitioliikenteen rooli on mahdollistaa bus-silastillista suurempien matkustajamäärien kuljettaminen ja raideliikenteen verkoston laajentaminen niillä reiteillä, joilla metro- ja junaliikenteen korkeaa kapasiteettia ei tarvita. Pikaraitioliikenne eroaa Helsingin kaupunkiraitioliikenteestä suuremman matkanopeutensa ja suurempien vaunujensa ansiosta. Pikaraitioliikenne on osa seudullista runkoverkkoa: säteittäisillä

yhteyksillä tuetaan uutta maankäyttöä ja poikittaisilla yhteyksillä yhdistetään kaupunkikeskuksia ja säteittäisiä runkoyhteyksiä toisiinsa. (HSL, 2017)

Pikaraitioteiden roolia bussilastillista suurempien mutta metrojunallista pienempien matkustajamäärien kuljettamisessa on syytä korostaa. Tässä diplomityössä sivuutetaan pikaraitioteiden merkitys sopivan matkustajakapasiteetin tarjoamisessa, vaikka useimpien työhön haastateltujen mukaan se on yksi pikaraitiotien tärkeimmistä ominaisuuksista. Pikaraitiotie mahdollistaa sen, ettei joukkoliikennekäytävässä tarvitse ajaa busseja niin tiheästi, että liikennettä olisi vaikea toteuttaa luotettavasti. Kolmen minuutin välein kulkevan bussilinjan voi vaihtaa harvemmin kulkevaan pikaraitiotiehen, jolloin täsmällisyyttä voi parantaa. Pikaraitiotien toteuttaminen voi parantaa joukkoliikenteen laatua, vaikka matkanopeus ei erottuisi merkittävästi korvattavasta bussiyhteydestä tai kaupunkiraitioliikenteestä. (Räty, 2021)

HSL:n palvelukuvauksessa jatketaan, että pikaraitiotiet ovat teknisesti yhteensopivia kaupunkiraitioteiden kanssa, mutta ne eroavat kuitenkin suunnitteluperiaatteiltaan. Nopeustavoite on suurempi, koska matkat ovat pidempiä. Liikennöinnin on oltava luotettavaa ja täsmällistä, minkä vuoksi rata suunnitellaan korkeatasoiseksi ja muusta liikenteestä erotellusti siten, että pikaraitioliikenne asetetaan selvästi autoliikenteen edelle. Pikaraitioliikenteellä on neljä palvelulupausta, joista kullakin on kolme alakohtaa. Osa näistä HSL:n lupauksista ja niiden alakohdista on esitetty alla: (HSL, 2017)

Pikaraitioliikenne auttaa minua pääsemään perille helposti ja nopeasti.

- Pikaraitiovaunussa matkustaminen tuntuu nopealta. Pikaraitioliikenteessä matkanopeus on korkea, 20–25 km/h. Nopeus varmistetaan pikaraitioliikenteelle suunnitelluilla, omilla ja sujuvilla väylillä sekä liikennevaloetuksilla. Pikaraitiovaunu kulkee pysäkiltä toiselle pysähtymättä.
- Pikaraitiovaunun pysäkit ovat helposti saavutettavissa. Pikaraitiovaunun pysäkkejä on 700–900 metrin välein. Niihin pääsee helposti jalan lähi-alueilta tai sujuvasti risteäviltä linjoilta. Pysäkit sijaitsevat lähellä kaupungin tiivistymiä ja palveluiden keskittymiä.

Pikaraitioliikenne on aina luotettavaa.

- Pikaraitiovaunun kyytiin mahtuu aina. Pikaraitiovaunun kyytiin mahtuu yli kolmen bussilastillisen verran matkustajia. Pikaraitiovaunussa on runsaasti paikkoja lastenvaunujen ja pyörätuolin kanssa liikkuville.

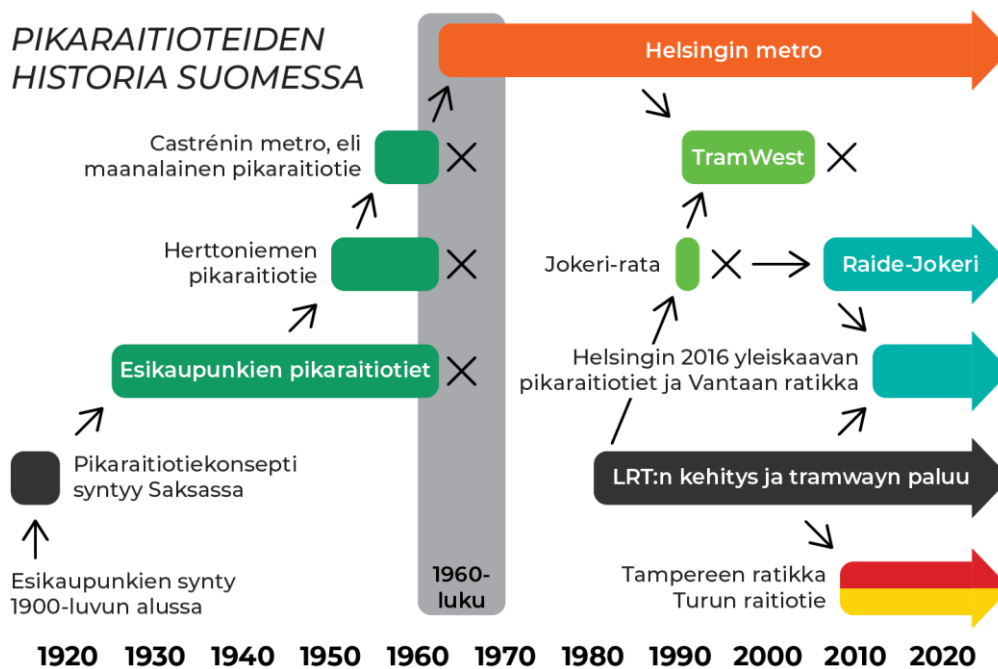
Pikaraitioliikenne helpottaa arkea ja saa aikaan hyvän mielen.

- Pikaraitioliikenne vähentää tarvetta oman auton käytölle. Pikaraitioliikenteen vuorotiheys, laajat liikennöintiajat ja nopeus vähentävät tarvetta oman auton käytölle.
- Pikaraitiovaunulla matkustaminen tuntuu miellyttävältä. Pikaraitioliikenteen rata on suunniteltu ja rakennettu siten, että siinä on mahdollisimman vähän jyrkkiä mutkia ja mäkiä. Pikaraitiovaunujen kuljettajat on koulutettu ajamaan tasaisella ja turvallisella tuntuvalle ajotavalle.

2.1.4 Pikaraitiotien määritelmien yhteenveto

Yhdistämällä edellisten alalukujen havainnot voidaan muodostaa seuraava määritelmä pikaraitiotielle: liikennettä varten rakennettu väylä, joka teknisesti perustuu raitiotietekniikkaan ja jonka suunnittelun laatutaso on korkeampi kuin muilla raitioteilla. Tämä määritelmä on lakea, mutta sen alle mahduttavat kaikki viimeisen vuosisadan aikana esitetyt pikaraitiotiet. Nämä visiot toki poikkeavat toisistaan: 1940- ja 1950-luvun suunnitelmat sekä Castrénin metro sisälsivät muita enemmän maanalaisia rataosuuksia, kun taas 1990-luvun suunnitelmien Jokeri-radan pysäkkiväli oli verrattain suuri. Tiivistetty aikajana on esitetty kuvassa 8. Pikaraitioteiden määritelmää voisi edelleen tarkentaa seuraavasti:

- Pikaraitiotie sopii teknisesti yhteen kaupunkiraitioteiden kanssa.
- Pikaraitiotiet ulotetaan esikaupunkeihin 0,5–1,0 km pysäkkiväleillä.
- Pikaraitiotiekadut suunnitellaan pikaraitioliikenteelle sopiviksi pidemmällä liittymäväleillä ja pikaraitioteiden omilla kaistoilla.



Kuva 8. Aikajana suomalaisten pikaraitioteiden historiasta.

On hyvä pitää mielessä, että pikaraitioteiden etuliite ”pika-” saatetaan tulkita niin, että pikaraitiotie eroaa muista raitioteista vain nopeutensa puolesta. Näin ulkomaisiin vastaaviin järjestelmiin verrattuna suomenkielinen termi saattaa ohjata pikaraitiotiesuunnittelua keskittymään järjestelmien nopeuteen. Tähän dilemmaan vaikuttaa myös 2000-luvun vaihteessa Helsingin liikenneorganisaatioissa esiintynyt skeptisyys metroa hitaammille raitioteille. Näihin ajatuksiin palataan työn osiossa 3. Seuraavassa luvussa pohditaan pikaraitioteiden nopeuden merkitystä.

2.2 Joukkoliikenteen keskinopeuden merkitys

Tässä alaluvussa pureudutaan kysymykseen: *mikä on pikaraitioteiden keskinopeuden merkitys?* Edellisessä alaluvussa selvennettiin mikä on pikaraitiotie: yksi joukkoliikennemuoto. Joukkoliikennemuotojen keskinopeus koskettaa kaikkia joukkoliikenteen muotoja yhtä lailla, joten voimme laajentaa kysymyksemme koskemaan kaikkea joukkoliikenteen keskinopeutta. *Mikä on joukkoliikenteen keskinopeuden merkitys?* Tässä alaluvussa keskinopeudesta puhuttaessa tarkoitetaan todellista *keskinopeutta* eli luvussa ei keskustella *keskinopeustavoitteesta*.

2.2.1 Palvelunäkökulma

Jälleen kerran on hyvä aloittaa määrittelemällä kysymyksen keskeinen sana keskinopeus. Se on suure, joka kertoo annetun matkan matkustamiseen keskimäärin kuluvan ajan. Joukkoliikenteen keskinopeus on siis yksi joukkoliikennepalvelun tasoa kuvaava mittari. Joukkoliikenteen palvelutason mitauksessa on muitakin tekijöitä. Kokenut yhdysvaltalainen joukkoliikennesuunnittelija Jarret Walker määrittelee kirjassaan Human Transit (2012, s. 24) seitsemän vaatimusta hyvälle joukkoliikennepalvelulle:

1. Se vie minut *sinne, minne* tahdon mennä.
2. Se vie minut *silloin, kun* tahdon mennä.
3. Se on hyvää *ajankäyttöä*.
4. Se on hyvää *rahankäyttöä*.
5. Se *kunnioittaa* minua.
6. Siihen voi *luottaa*.
7. Se antaa minulle *vapauden* muuttaa suunnitelmiani.

Näistä hyvän joukkoliikenteen vaatimuksista vain yksi koskee suoraan keskinopeutta. Joukkoliikenne on hyvää ajankäyttöä silloin, kun matka-ajan voi käyttää hyödyksi ja matka-aika on lyhyt (Walker, 2012, s. 28). Mitä suurempi joukkoliikenteen keskinopeus on, sitä lyhyempiä ovat joukkoliikenteen matka-ajat, jolloin nopea joukkoliikenne on hidasta parempaa. Joukkoliikenteen nopeuttaminen ei kuitenkaan ole ainoa tapa lyhentää matka-aikoja. Muita tapoja lyhentää matka-aikoja on lyhentää etäisyyttä, joka tarvitaan annetun matkan tekemiseen, tai järjestää matkojen vaihdot siten, että ne ovat mahdollisimman lyhyitä. Tässä diplomityössä ei kuitenkaan käsitellä maankäytön muutoksia liikennejärjestelmälle sopivammaksi tai järjestettyjä vaihtoja, koska ne jäävät tämän työn rajauksen ulkopuolelle. Maankäytön ja joukkoliikenteen yhteispeliin kuitenkin palataan luvussa 2.3.

Kun pohditaan joukkoliikenteen keskinopeuden merkitystä palvelutasolle, voidaan havaita, että nopeuden merkitys on erilainen eripituisilla matkoilla. Pitkillä matkoilla keskinopeuden merkitys on suuri, koska pienetkin

erot keskinopeudessa kertautuvat suuriksi eroiksi eri vaihtoehtojen matka-ajoissa. Lyhyillä matkoilla tilanne on päinvastainen, sillä eri kulkutapojen keskinopeuksien erot eivät ehdi muodostua suuriksi. (Walker, 2012, s. 98) Joukkoliikenteen keskinopeuden muodostumisella on erilaiset lähtökohdat pitkillä (30–2 000 km) ja lyhyillä (1–10 km) matkoilla. Pitkillä matkoilla joukkoliikenteen keskinopeus riippuu kaluston huippunopeudesta. Lyhyillä matkoilla kaluston kiihdytysten riipeys, pysäkkiväli ja liikennöintiympäristö merkitsevät enemmän (Vuchic, 2007, p. 131) (Walker, 2012, s. 98).

Lisäksi kaupunkiseutujen sisäisessä joukkoliikenteessä joukkoliikenteen keskinopeus ei käänny suoraan matkojen keskinopeudeksi. Joskus matkan keskinopeuteen vaikuttaakin eniten vuoroväli. Suuren keskinopeuden joukkoliikenteestä ei ole hyötyä, jos joukkoliikennelinjojen väliset vaihdot edellyttävät pitkiä kävelymatkoja ja/tai odotusaikoja. (Walker, 2012, s. 2)

Vaihtojen, odotusaikojen ja kävelymatkojen vaikutusta joukkoliikenteen koettuun keskinopeuteen korostaa niiden rasittavuus. Ihmiset kokevat vaihdollisen matkan rasittavampana kuin vaihdottoman matkan, vaikka matkojen matka-aika olisi sama. Liikkumistottumuksissa ja liikennemalleissa ilmiötä kuvataan termillä painotettu matka-aika. Esimerkiksi vuonna 2006 tutkittiin, että tamperelainen joukkoliikennematkustaja valitsee mieluummin vaihdottoman matkan kuin vaihdollisen, vaikka vaihdollinen matka olisi yli 10 minuuttia pidempi. (Kalenoja; Hintikka; Häyrynen; & Vihanti, 2006)

Monilla pääosin henkilöautolla kulkevilla on sellainen harhakäsitys, että joukkoliikenteen keskinopeus olisi sama asia kuin joukkoliikennematkojen keskinopeus. Autoilijallehan ajoneuvon keskinopeus ja matkan keskinopeus ovat sama asia. (Walker, 2012, s. 41) Joissakin tapauksissa on mahdollista, että matkanopeus ei vaikuta paljonkaan liikkumisen vapauteen, joka on joukkoliikenteen keskeinen palvelu. Huippunopeuden merkitys joukkoliikennepalvelun laadulle on usein vielä vähäisempi. (Walker, 2012, s. 97)

Walkerin oppeja soveltamalla voi havaita, että joukkoliikenteen nopeudella on merkitystä hyvän joukkoliikenteen tarjoamisessa, mutta matkojen lyhentyessä sen merkitys laskee ja muut tekijät (erityisesti vuoroväli, luotettavuus ja aikataulujen laajuus) nousevat tärkeämmiksi. Keskittymällä liiaksi joukkoliikenteen nopeuteen on mahdollista eksyä myös toisenlaiselle harhapolulle: pyritäänkö nopealla joukkoliikenteellä tarjoamaan lyhyitä matka-ajoja vai mahdollisimman monta matkakilometriä? Keskinopeus on yksinkertainen suure, mutta sen taakse piiloutuu monenlaista ajattelua.

Mutta missä menee raja, jossa keskinopeus muuttuu merkittäväksi? Tähän työhön haastateltu Helsingin kaupungin raitiotieasiantuntija Lauri Kangas pohtii, että esimerkiksi Helsingin kaupunkiraitioteilla ja Freiburgin (im Breisgau) raitioteilla raitiovaunujen verrattainen hitaus ei haittaa, koska kaikilla linjoilla matka-ajat linjojen päätepisteiltä kaupungin ytimeen ovat riittävän lyhyitä. Toisaalta Helsingin tulevilla pikaraitioteilla keskinopeuden merkitys on tärkeämpi, koska matkat ovat pidempiä. (Kangas, 2021) Mikä sitten on riittävän lyhyt matka?

2.2.2 Matka-aikabudjetinäkökulma

Ihmiset harvemmin tekevät joukkoliikennematkoja vain matkustaakseen. Matkoja tehdään siksi, että ihmiset tarvitsevat maantieteellisiä siirtymiä eri aktiviteettien välillä: kotona nukutaan, toimistolla työskennellään ja kaupungilla seurustellaan. Matkan pituus on toissijaista: ihmiset eivät pyri maksimoimaan matkustamiensa kilometrien määrää. Sen sijaan he pyrkivät rajoittamaan siirtymisiin käytettävän ajan kohtuulliseksi. Aikaa, jonka ihmiset ovat valmiina käyttämään liikkumiseen, kutsutaan matka-aikabudjetiksi.

Tälle matka-aikabudjetille on olemassa hämmästyttävän selkeä vakiosuuruus: ihminen liikkuu keskimäärin noin tunnin päivässä. Tämä vakio on nimetty italialaisen fyysikon Cesare Marchettin mukaan, vaikka hän itse osoittaa sen Yacov Zahavin ansioksi. Noin tunnin aikabudjetti on nähtävissä ympäri maailman ja läpi historian eri kaupunkiseuduilla. Keskiaikaisten kaupunkien halkaisija ei koskaan ollut yli viittä kilometriä, jolloin 5 km/h kävelyvauhdilla oli mahdollista tehdä kaupungin reuna-alueilta meno-paluu -matka keskustaan tunnissa. Kun 1800-luvulta alkaen kehitettiin motorisoituja tapoja liikkua, se näkyi kaupunkien laajentumisena – mutta edelleen tunnin matka-aikabudjetin rajoissa. (Marchetti, 1994)

Joukkoliikenteessä voi siis tehdä yksinkertaistuksen: mikäli joukkoliikenne on nopeaa, tämä näkyy siinä, että maantieteellisesti saavutettavissa oleva alue on suurempi kuin hitaammalla joukkoliikenteellä. Nopeampi joukkoliikenne ei pitkällä aikavälillä synnytä ihmisille matka-aikasäästöjä, vaan se kasvattaa ihmisten päivittäistä liikkumisaluetta. Lyhyellä aikavälillä syntyvien matka-aikasäästöjen laskeminen osana liikennehankkeiden suunnittelua ja toteutusta ei kuitenkaan ole päätöntä. Se on yksi toimiva tapa laskea liikkumisalueen kasvamisen arvo. Alueen kasvu mahdollistaa aikaisempaa mielekkäämpien asioiden tekemisen aikabudjetin rajoissa. Mielekkäämpi asia voi esimerkiksi olla nykyistä parempi työpaikka kauempana tai nykyistä jalkapallokenttää kauempana oleva parempi jalkapallokenttä tai jääkiekkokaukalo. Parempia tapoja liikkumisalueen kasvun arvon arvioimiseen voisi kehittää, mutta se ei ole tämän työn aihe.

Marchettin vakio ei toki päde aina minuutilleen. Esimerkiksi Helsingissä ja Helsingin seudulla tunti ei näytä riittävän paikallisten liikkumistarpeisiin. Helsinkiläiset tekevät keskimäärin 3,0 matkaa vuorokaudessa ja he käyttävät niihin 82 minuuttia päivässä. Yhden matkan keskimääräinen matka-aika on 28 minuuttia. Laajemmin Helsingin seudulla (14 kuntaa) vastaavat tunnusluvut ovat lähes täysin samat: 2,9 matkaa vuorokaudessa, 82 minuuttia päivässä ja 28 minuuttia per matka. (WSP Finland Oy, 2016)

Helsingin seudun asukkaiden matka-aikabudjetti täsmää kuitenkin Marchettin vakion toisen yleistyksen kanssa: yksittäisen matkan kesto on keskimäärin puoli tuntia. Yhden tunnin matka-aikarajoitteella voi havainnollistaa, miksi aiemmin esitettyjen Kankaan havaintojen mukaisesti alhainen

raitioteiden keskinopeus ei ole ongelma Helsingin ja Freiburgin raitioteillä. Linjat ovat riittävän lyhyitä siihen, että matka-aikabudjetti riittää linjoilla matkustamiseen. Kummassakin tapauksessa kaikilla linjoilla pääsee riittävän nopeasti linjojen ääripäistä keskustaan siten, että kävelymatkat mukaan lukien kokonaismatka-aika jää puoleen tuntiin tai sen alle. Mitä tämä kaikki tarkoittaa Helsingin seudun joukkoliikennejärjestelmän näkökulmasta?

2.2.3 Joukkoliikennejärjestelmän näkökulma

Matkustajien matka-aikabudjetti asettaa joukkoliikennejärjestelmälle tiukat reunaehdot. Järjestelmän palvelemalla alueella matkustajille on kyettävä tarjoamaan keskimäärin noin puolen tunnin matka-aika kaupungin eri alueilta sekä sen ytimeen että eri alueiden välille. Jos joukkoliikennejärjestelmä tai tarvittaessa muut liikennejärjestelmän osat eivät pysty tarjoamaan tällaisia liikkumismahdollisuuksia, yhden yhtenäisen kaupunkiseudun sijaan on luontevampaa puhua usean lähekkäisen kaupungin muodostamasta verkostokokonaisuudesta.

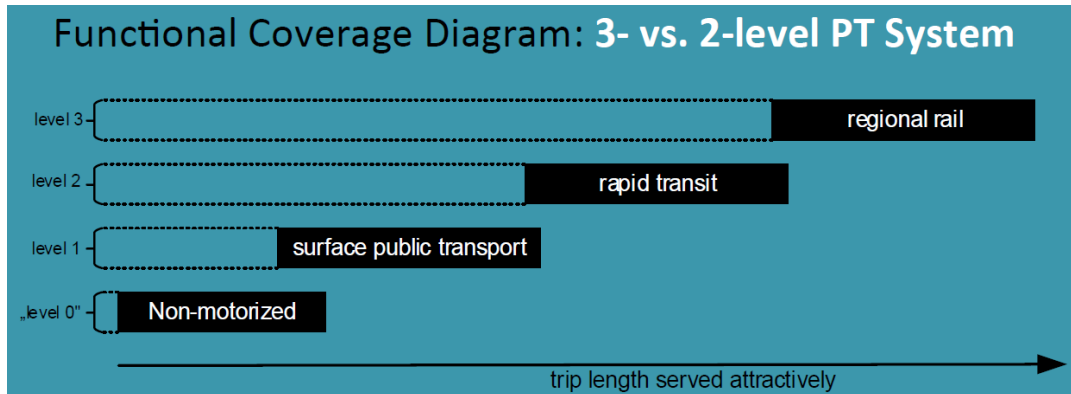
Tämän reunaehdon toteutumiseen vaikuttaa pitkälti kaupungin pinta-ala. Keskiaikaiset kaupungit olivat niin pieniä, että kävelyvauhti riitti. 1930-luvun Helsingissä tai nykypäivän Freiburgissa kaupungit olivat/ovat riittävän pieniä siihen, että pelkillä raitioteillä oli mahdollista tarjota koko rakennetun alueen kattava ja tarpeisiin nähden riittävän nopea liikennejärjestelmä. Tätä laajemmilla kaupunkiseuduilla kuitenkin törmätään siihen, että yksi joukkoliikennemuoto ei riitä koko seudun liikennetarpeisiin.

Kaupunkiseutujen laajentuessa reuna-alueiden ja ytimen välisten matkojen pitää nopeutua. Joukkoliikenteen keskinopeutta ei kuitenkaan voi rajattomasti nostaa seudun laajentuessa ilman, että samalla vaikeutetaan saman seudun sisällä tehtäviä lyhyempiä matkoja. Kuten myöhemmin alaluvussa 3.3 ja luvussa 6 todetaan, yksi suurimmista joukkoliikenteen keskinopeuteen vaikuttavista tekijöistä on pysäkkiväli. Laajentuvan kaupunkiseudun tarvitsema korkeampi joukkoliikenteen keskinopeus saavutetaan siis ainakin osittain pidentämällä pysäkkiväliä. Tietyn rajan jälkeen pysäkkivälien pidennykset tekevät kuitenkin lyhyet matkat hankaliksi.

Toisin sanoen laajoilla kaupunkiseuduilla tarvitaan useita erilaisia joukkoliikennemuotoja – nopeampaa joukkoliikennettä pidemmille matkoille ja hitaampaa lyhyemmille matkoille. Yhdysvaltalainen joukkoliikennesuunnittelija Andrew Nash on kiteyttänyt nopeuden ja matkapituuden suhteen siten, että käytännössä nopeus = ”tehokkaasti palveltu” matkapituus. Nashin mukaan tästä luonteva jatkojohtopäätös on, että joukkoliikennejärjestelmän eri osat jaottuvat eri tasoihin nopeutensa mukaan siten, miten eri tasot palvelevat eri pituisia matkoja. (Nash, 2015)

Nashin itse esittämä mallitasoasteikko on kolmiportainen. Ykköstason maan pinnalla kulkeva joukkoliikenne palvelee lyhyitä matkoja. Kolmostason seutujunaliikenne palvelee pitkiä seudullisia matkoja. Kakkostason

metromainen joukkoliikenne palvelee niitä matkoja, jotka ovat liian pitkiä ykköstasolle ja liian lyhyitä kolmostasolle. (Nash, 2015) Nashin esitystapaa havainnollistava kaavio on kuvassa 9.



Kuva 9. Kaaviokuva Andrew Nashin esittämästä joukkoliikennejärjestelmän tasoajattelusta. (Nash, 2015)

Nashin mallissa joukkoliikenteen keskinopeus ja joukkoliikennejärjestelmän tarpeet ovat toisistaan riippuvaisia. Suurin järjestelmältä vaadittu keskinopeus on kaupunkiseudun pinta-alan funktio. Suurimman vaaditun keskinopeuden ja kävelynopeuden väliin tarvitaan riittävä määrä eri tasoja, jotta kaiken pituiset matkat tulevat "tehokkaasti palvelluiksi".

Nashin tasoajattelua voi luonnollisesti soveltaa Helsingin joukkoliikennejärjestelmään. Rädyn tulkinnan mukaan Nashin ykköstaso muistuttaa Helsingin keskustan katutasen joukkoliikennettä, jonka keskinopeus on alle 20 km/h. Näiden linjojen ei ole tarkoitukseen viedä kovin kauas. Nashin kakkostasolle sopivat Helsingissä osittain metro ja esikaupunkien bussit, joilla pitäisi saada tehtyä puolessa tunnissa noin kymmenen kilometrin matka. Kolmannelle tasolle yltävät toisaalta metro ja ennen kaikkea rautatiet, joilla voi matkustaa puolessa tunnissa 15–20 km. (Räty, 2021)

Helsingiläisten pikaraitioteiden luokitus Nashin tasoilla on hankalampaa. Kantakaupungissa pikaraitioteiden keskinopeus ei eroa muusta ykköstason joukkoliikenteestä, kun taas esikaupungeissa pikaraitioteista pyritään rakentamaan selvästi ykköstasoa nopeampaa joukkoliikennettä. Nashin ajatusten pohjalta Räty johtaa pikaraitioteille nopeusvaatimuksen: jotta pikaraitiotiet olisivat uskottavasti kakkostason joukkoliikennettä, niiden keskinopeuden tulee olla selvästi korkeampi kuin ykköstason (Räty, 2021).

Nashin tasoajattelua keskinopeuden ja matkan pituuden suhteesta voi tutkia tarkastelemalla matkojen pituutta. Työn seuraavissa osissa matkalla tarkoitetaan yhdellä liikennevälineellä taitettua matkaa nousun ja poistumisen välillä. Alla on käsitelty vuoden 2014 lippulajitutkimusta runkolinjalla 550 (Lindeqvist ;Kantele;Tarkiainen;& Hyyrynen, 2015, s. 25), vuoden 2015 Raitoliikenteen lippulajitutkimusta (Lindeqvist;Kantele;& Vihervuori, 2016, s. 27), vuoden 2017 lippulajitutkimusta runkolinjalla 560 (Lindeqvist &

Kantele, 2017, s. 18), vuoden 2018 metroliikenteen lippulajitutkimusta (Kitti & Kantele, 2019, s. 32) ja vuoden 2018 lähijunaliikenteen lippulajitutkimusta (Kitti;Kantele;& Reimi, 2019, s. 42). Lippulajitutkimuksien tuloksia käytetään tässä sellaisinaan, vaikka kaikki tutkimukset on tehty ennen HSL:n vyöhykeuudistusta ja raitioliikenteen linjasto on muuttunut. Alla on lisäksi kerätty eri pikaraitiotiehankkeista kerätyt tiedot matkojen keskipituuksista. Nämä tiedot on esitetty kootusti taulukossa 1 ja tarkemmin taulukossa 2. Pikaraitioteiden tiedot ovat peräisin yleissuunnitelmien nopeusarvioista ja matkustajamääräennusteista, joissa on toisinaan suuria epävarmuuksia.

Taulukko 1. HSL:n runko- ja raideliikenteen matkojen keskimääräinen pituus.

Joukkoliikennemuoto	Matkojen keskimääräinen pituus
Kaupunkiraitiotiet	2,2 km
Runkolinjat 550 ja 560	4 km
Pikaraitiotiet	3,2–5 km
Metro	7,9 km
Kaupunkijunaliikenne (I, P, K, E, U)	10–14 km
VR:n lähijunaliikenne (R & Z)	Yli 30 km

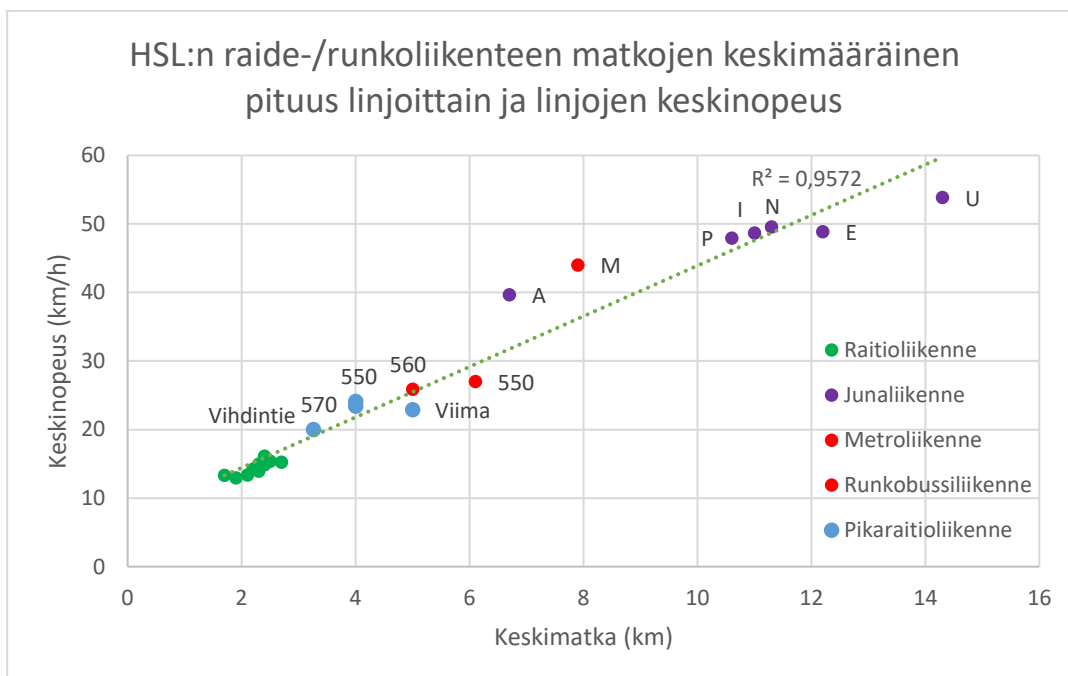
Jos näitä yllä mainittuja keskinopeuksia vertaa matkojen keskipituuksiin, kahden muuttujan välinen korrelaatio osoittautuu tilastollisesti merkittäväksi ($R^2 > 0,95$) lineaariseksi suhteeksi, jos suljemme vertailusta pois VR:n lähijunaliikenteen. Tiedot esitetään kuvassa 10. Korrelaatio tukee Nashin teoriaa ja korostaa matka-aikarajoitteen vaikutusta.

Kuvassa 10 esitetyistä linjoista suurin osa asettuu tarkasti trendiviivan lähelle. Jäljelle jäävät poikkeustapaukset on mahdollista selittää linjojen erityisolosuhteilla. Linja A on nopeuteensa nähden lyhyt, jolloin matkojen keskipituus ei yllä nopeustasoa vastaavaksi. Metrolla keskiarvoa painavat alaspäin lyhyet keskustassa tehtävät matkat, joihin ei tässä tarkastelussa lasketa mukaan matkoja pidentäviä siirtymiä maan pinnan ja syvällä sijaitsevien asemien välillä. Voidaan olettaa, että jos matkojen keskipituutta tutkittaisiin pituuden sijaan ajassa, myös metro asettuisi trendiviivalle.

Havainto joukkoliikenteen keskinopeuden ja sillä tehtyjen matkojen keskipituuden läheisestä yhteydestä mahdollistaa muutamien mielenkiintoisten yleistysten tekemisen. Jos linjojen keskinopeuden ja matkan keskipituuden kertoo keskenään, voi havaita, että matkustajat viettävät yhdessä joukkoliikennevälineessä keskimäärin 9–16 minuuttia. Jakamalla keskimatkan pituus keskimääräisellä pysäkkivälillä voi havaita, että linjoilla matkustetaan keskimäärin 5–6 pysäkkiväliä. Tunnusluvut on esitetty taulukossa 2.

Keskiarvoista keskustellessa on hyvä muistaa, että ne voivat piilottaa monenlaisia pituusjakaumia. Esimerkiksi kuvassa 11 on esitetty metrolla tehtyjen matkojen keskipituudet asemittain. Kuvassa on myös asemien etäisyys Rautatientorilta, mikä on yksi selittävä tekijä matkojen keskipituuden vaihtelulle. Tästä ei kuitenkaan pitäisi tehdä sitä johtopäätöstä, että metron

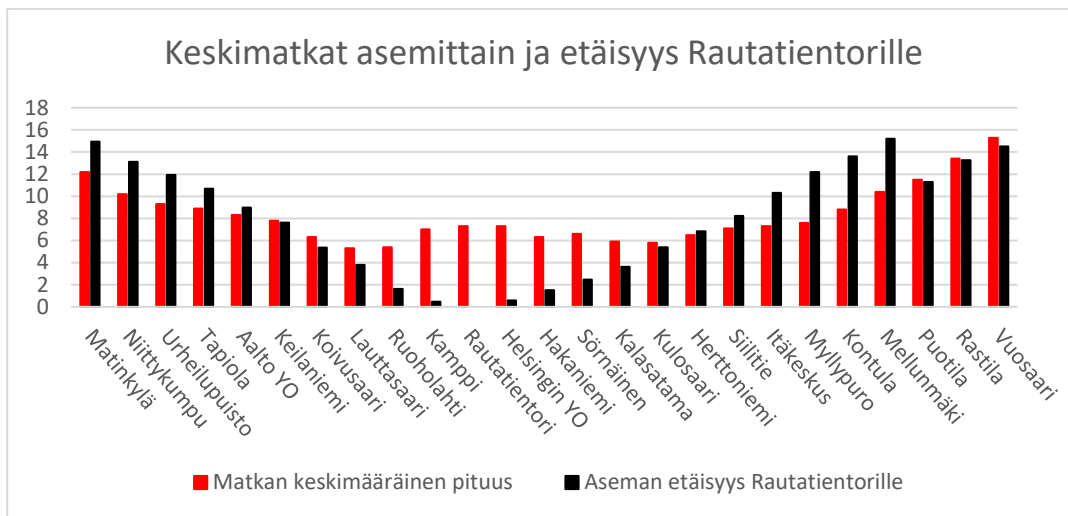
päissä tehtäisiin ajallisesti pidempiä matkoja kuin keskustassa. Pikemminkin kauempaa tulevat käyttävät matka-aikabudjetistaan suuremman osan metrolla liikkumiseen kuin kantakaupungissa liikkuvat.



Kuva 10. HSL:n runko- ja raideliikenteen matkojen keskimääräinen pituus linjoittain ja linjojen keskinopeus.

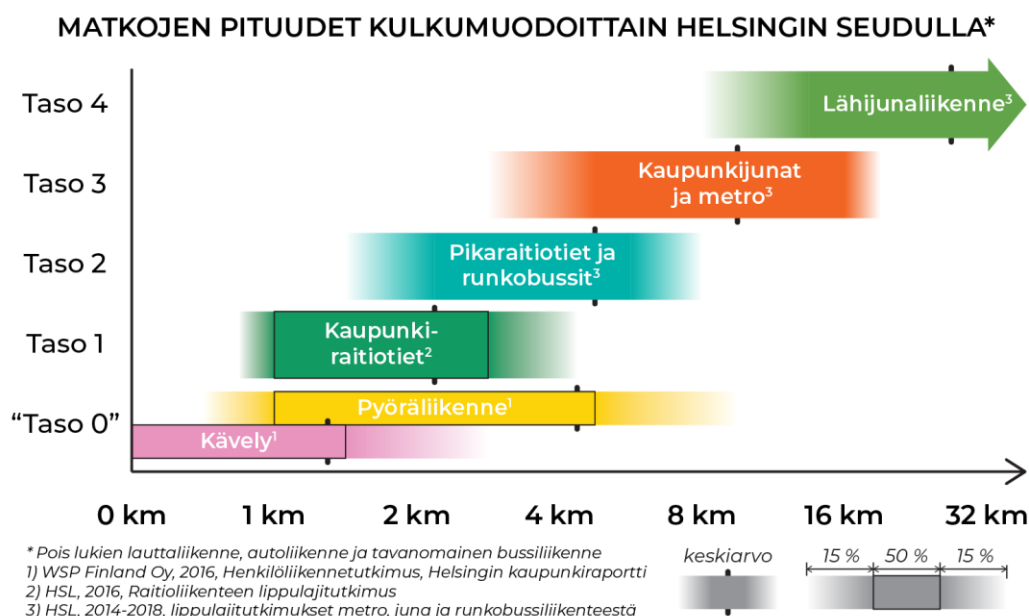
Taulukko 2. Joidenkin HSL-liikenteen linjojen valikoituja tunnuslukuja.
*Tiedot ovat vanhentuneita mutta vastaavat matkapituustietojen ajankohtaa.

Linja	Keski- nopeus	Matkan keskipi- tuus	Keskimää- räinen pysäkkiväli	Keskimää- räinen mat- kustusaika	Keskimatkan pituus pysäk- kiväleinä
Kaupunkirai- tiotiet	14,2*	2,2 km	350 m	9 min	6,3 pys
Vihdintie	20*	3,26 km	525 m	10 min	6,2 pys
Viima	23	5,0 km	800 m	13 min	6,3 pys
Raide-Jokeri	24*	4 km	742 m	10 min	5,4 pys
Vantaa	24*	4 km	772 m	9,8 min	5,2 pys
Bussi 550	27*	6,1 km	710 m	14 min	8,6 pys
Bussi 560	26	5,0 km	757 m	12 min	6,6 pys
A	40	6,7 km	1 556 m	10 min	4,3 pys
E	49	12,2 km	2 360 m	15 min	5,2 pys
U	54	14,3 km	2 629 m	16 min	5,5 pys
I/P	48	10,8 km	2 012 m	13 min	5,3 pys
K	50	11,3 km	2 034 m	14 min	5,6 pys
Metro	44	7,9 km	1 420 m	11 min	5,6 pys



Kuva 11 Helsingin ja Espoon eri metroasemilta lähtevien matkojen keskipituudet ja asemien etäisyys Rautatientorin metroasemalle.

Edellä mainitut joukkoliikennevälineet on koottu Nashia mukaillen neljään tasoon kuvassa 12. Joukkoliikenteen lisäksi kuvaan on tuotu tiedot kävely- ja pyöräilymatkojen pituuksista Helsingissä vuoden 2016 Henkilöliikennetutkimuksesta (WSP Finland Oy, 2016). Kullakin tasolla tehty keskimääräinen matka on pidempi kuin arviolta 90 % alemman tason matkoista. Neljää tasoa olisi siten hankala yhdistää Nashin tapaan kolmeksi.



Kuva 12. Esitys matkojen pituudesta kulkumuodoittain Helsingin seudulla, pois lukien lautta- ja autoliikenne sekä tavanomainen bussiliikenne.

Tässä alaluvussa 2.2 oli tarkoituksena vastata kysymykseen *mikä on joukkoliikenteen keskinopeuden merkitys?* Eri näkökulmien tarkastelun jälkeen

kysymykseen voisi vastata seuraavasti: Joukkoliikenteen keskinopeus on yksi joukkoliikenteen palvelutasoa kuvaava ominaisuus. Keskinopeus mitoitaa joukkoliikenteen sopivuuden eripituisille matkoille siten, että pidemmille matkoille vaaditaan korkeaa keskinopeutta ja lyhyemmille matkoille riittää alhaisempi keskinopeus. Joukkoliikennejärjestelmän on syytä rakentua riittävän monipuolisesti keskinopeudeltaan eroavien joukkoliikennetasojen limitäiseksi verkostoksi, jotta kaiken pituiset matkat tulevat hyvin palveluiksi. Toisaalta järjestelmän on syytä pysyä sekä selkeänä että tila- ja kustannustehokkaana.

2.3 Pikaraitiotiet ja maankäyttö

Keskusteltaessa pikaraitioiteista tulee muistaa, että samalla suunnitellaan kaupunkia ja maankäytön edellytyksiä. Kaupunkien maankäyttö muovaa sitä, missä kaupunkilaiset ovat ja minkä kohteiden välillä he liikkuvat. Vastineeksi liikennetekniikka muovaa sitä, minkä kohteiden välillä kaupunkilaiset pystyvät liikkumaan ja siten myös sitä, missä kaupunkilaiset asuvat ja käyvät töissä. Maankäytön ja liikennetekniikan välinen suhde on alati kehittyvä kaksisuuntainen ja elävä suhde. (Devereux, 2005)

Helsingissä pikaraitiotiehankkeet ovat hyvä esimerkki siitä, että maankäyttöä ja liikennettä suunnitellaan tasavertaisesti rinnakkain kuten pitääkin. Helsingin 2016 yleiskaavassa pikaraitiotiet ovat maankäytön selkärangana: suunnitelluista noin kymmenestä pikaraitiotiestä puolta suunniteltiin erityisesti uutta maankäyttöä varten. Nämä ovat Helsingin keskustasta lähteviä säteittäisiä pikaraitiotieitä, joita on suunniteltu Kruunuvuorenrannan, Malmin entisen lentokenttäalueen ja Helsingin sisääntuloväylille rakennettavien kaupunginosien joukkoliikenteen runkoyhteyksinä. (Helsingin kaupunki, 2016)

Muutkin pääkaupunkiseudun pikaraitiotiesuunnitelmista ovat sidoksissa maankäytön kehitykseen. Poikittaislinjoiksi toteutuvat Raide-Jokeri ja Vantaan ratikka ovat esimerkkejä pikaraitioiteista, jotka rakennetaan ensisijaisesti liikenneteknisistä syistä, mutta joiden ohella maankäyttöä kehitetään paljon. Kummankin linjan varrelle on suunniteltu täydennysrakentamista, jota ei toteutettaisi ilman pikaraitiotietä. Kaikkien pikaraitioteiden ja kaupungin kasvun myötä yleiskaava visioi joukkoliikennejärjestelmästä entistä verkostomaisempaa. Vanhastaan säteittäisiin linjoihin perustuva runkoverkko täydentyy pikaraitioitein toteutettavilla poikittaisilla yhteyksillä, mikä tukee Helsingin kasvua monikeskuksiseksi verkostokaupungiksi. (Helsingin kaupunki, 2016, ss. 54-55)

Pääkaupunkiseudun pikaraitioteiden ja maankäytön välisen yhteyden voisi tiivistää seuraavasti: pikaraitioteiden varrella maankäyttöä tiivistetään, ja pikaraitioiteita viedään sinne, missä maankäyttöä voi tiivistää. Maankäytön merkitys pikaraitioteiden suunnittelussa on huomioitu myös pääkaupunkiseudun raitioteiden suunnitteluohjeessa (2021). Se määrittää

raitiotieosuuksille kaksi erilaista kategoriaa sen mukaisesti, miten ne palvelevat maankäyttöä. Jos raitiotie palvelee tiiviin kaupunkirakenteen paikallisen liikkumisen tarpeita, sille on suunnitteluohjeessa asetettu erilaiset tavoitteet kuin raitiotielle, joka ei palvele paikallisen liikkumisen tarpeita. Nämä erilaiset tavoitteet raitioiteille on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Helsingin raitioteiden suunnitteluohjeen (2021) esittämät tavoitteet raitioiteille paikallisen joukkoliikennepalvelun mukaan.

Paikallisen liikkumisen osuus	Siirtymäosuus
Tiiviissä kaupunkirakenteessa, palvelee paikallista liikkumista ja liityntää pidempien matkojen linjoille	Kaupunkikeskustojen välillä, palvelee keskipitkiä matkoja
Pysäkkiväli noin 500 metriä	Pysäkkiväli selvästi yli 500 metriä, mutta harvoin yli 1,5 km
Keskinopeus 18–21 km/h	Keskinopeus 21–35 km/h
Tavoitteena vahva erottelu, mutta integroidaan tiivistä olemassa olevaan kaupunkiympäristöön.	Raitiotie eroteltu muusta liikenteestä vahvasti, kaarteet erittäin suurilla säteillä

Pikaraitiotiet ja maankäyttö yhdistyvät toisiinsa pysäkkien kautta. Keskeisin mittari pikaraitiotien ja maankäytön väliselle yhteydelle on pysäkkiväli. Kun raitiotie ei palvele paikallisen liikkumisen tarpeita, raitiotiellä voi olla vähemmän pysäkkejä, jolloin raitiotie voi palvella paremmin pidempiä matkoja. Edellinen Helsingin raitioteiden suunnitteluohje (2018) ilmoitti yhteyden selkeämmin: jatkuvassa kaupunkirakenteessa pysäkkien välin tulisi olla noin 500 metriä, mutta siirtymäosuuksilla pysäkkien välimatkat voivat olla merkittävästi pidempiä. Kummankin suunnitteluohjeen ajatus noin 500 metrin pysäkkivälistä jatkuvassa kaupunkirakenteessa vastaa kansainvälistä tietoa optimaalisesta pysäkkivälistä: 400–600 metriä (Vuchic, 2007, p. 273) (Nielsen, ym., 2005, s. 125).

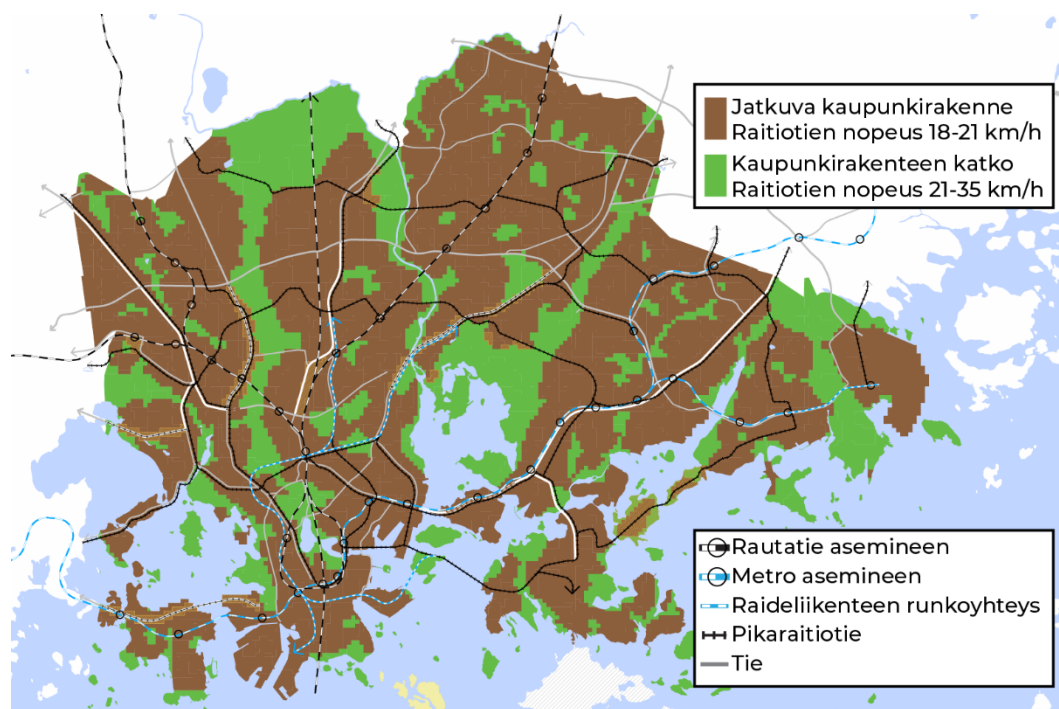
Osana raitioteiden suunnitteluohjetta esitetään myös keskinopeustavoitteet jatkuvaan kaupunkirakenteeseen ja siirtymäosuuksille. Suunnitteluohjeen rivien välistä lukien voi tehdä hypoteesin: yksittäisen linjaosuuden keskinopeus lienee sitä ympäröivän maankäytön funktio. Mikäli pikaraitiotie kulkee vain jatkuvassa kaupunkirakenteessa, suunnitteluohjeen mukaan sen keskinopeus olisi noin 20 km/h. Mikäli pikaraitiotie linjattaisiin vain jatkuvan kaupunkirakenteen ulkopuolelle, sen keskinopeus voisi olla yli 30 km/h. Erilaisilla yhdistelmillä paikallisen liikkumisen osuuksia ja siirtymäosuuksia voi siten saavuttaa näiden lukuarvojen välisiä keskinopeuksia.

Toisin sanoen pikaraitioteiden keskinopeus on seurausta maankäytön suunnittelusta. Mitä enemmän pikaraitiotien varrella on maankäyttöä, sitä tiheämmin sillä on pysäkkejä ja sitä heikommin se on eroteltu muusta kaupungista. Pikaraitiotien nopeus riippuu siitä, kuinka paljon sen varrelle suunnitellaan kaupunkirakenteen katkoja. Tämä ilmiö on näkynyt suoraan

esimerkiksi Raide-Jokerin suunnittelussa: linjan keskinopeus on pystytty pitämään verrattain korkeana, sillä linjan varrella on paljon kaupunkirakenteen rakoja, joille voi toteuttaa nopeita siirtymäosuusia (Kangas, 2021).

Toisaalta pikaraitioteiden nopeuden ja maankäytön välinen yhteys ei ole universaali. Ilmiö on paikallinen ja se on syntynyt Helsingin seudulla tehdyillä valinnoilla ja suunnitteluperiaatteilla. Maankäytön laajuus ei itsessään estä pitkää pysäkkiväliä ja vahvaa erottelua raideliikenteessä. Esimerkiksi Helsingin seudun metron ja kaupunkijunien pysäkkiväli on stabiili kaupunkirakenteesta riippumatta lukuun ottamatta metron tiheää pysäkkiväliä Helsingin ydinkeskustassa. Koska metro ja kaupunkijunat on täysin erotettu muusta kaupunkiympäristöstä, niiden keskinopeus on kaupunkirakenteesta riippumatta korkea.

Sitä, miten maankäyttö määrää raitioteiden keskinopeutta, on havainnollistettu kuvassa 13. Kuvassa on esitetty Helsingin yleiskaava (2016) siten, että kaikki rakennetun ympäristön kaavamerkinnot on yhdistetty yhdeksi merkinnäksi ”jatkuva kaupunkirakenne”. Helsingin raitioteiden suunnitteluohjeen (2021) hengessä kaupunkirakenteen ja kaupunkirakenteen ulkopuoliselle pikaraitiotielle on esitetty keskinopeustavoitteet: 18–21 km/h kaupunkirakenteen raitioiteille ja 21–35 km/h kaupunkirakenteen ulkopuolisille raitioiteille.



Kuva 13. Helsingin yleiskaavan (2016) kaupunkirakenne ja liikenneverkko, sekä tulkinta raitioteiden suunnitteluohjeen keskinopeustavoitteista.

3 Pikaraitioteiden nopeuteen vaikuttavat tekijät

Tässä osiossa keskitytään vastaamaan kysymykseen: *Mitkä tekijät määrittävät eniten pikaraitioteiden keskinopeutta?* Kysymykseen vastataan käsittelemällä kaikki eri pikaraitioteiden nopeuteen vaikuttavat tekijät ja tunnistamalla niistä merkittävimmät. Tähän osioon valittu menetelmä on kirjallisuuskatsaus ja haastattelut kuten työn johdannossa on kuvattu.

3.1 Kalusto ja matkustajat

Pikaraitioteiden nopeuteen vaikuttavista tekijöistä puhuttaessa on hyvä aloittaa varsinaisesta raitiovaunusta. Tekniikka asettaa luonnollisesti rajoitteita pikaraitioteiden nopeudelle. Nämä rajoitteet ovat perinteisesti riippuneet kaluston teknisistä ominaisuuksista, mutta tekniikan kehittyessä pääasialliseksi rajoitteeksi on osoittautunut matkustajien matkustusmukavuus.

Matkustusmukavuus rajoittaa raitiovaunujen kiihtyvyyksiä sekä pituussuunnassa että sivusuunnassa. Suomalaisissa suunnitteluohjeissa korkein mahdollinen turvallisenä pidettävä pituussuunnan kiihtyvyys on $1,2 \text{ m/s}^2$. Yleisesti olosuhteitten mukaan turvallinen yläraja on arvojen $1,0$ ja $1,8 \text{ m/s}^2$ välillä (Vuchic, 2007, p. 122). Toisaalta Vuchicin kiihtyvyyden maksimiarvo vaatii matkustajien istuttamista, sillä seisovat matkustajat eivät pysy enää turvallisesti pystyssä. Helsingin seudulle laaditun Pikaraitioliikenteen liikennöinnin simuloinnin periaatteet -opinnäytetyö (Norrgård, 2020) toteaa, että Tukholmassa Tvärbananilla liikennöidään $1,2 \text{ m/s}^2$ kiihtyvyyksillä, ja että samaa kiihtyvyyttä olisi syytä soveltaa Suomessakin simuloinneissa.

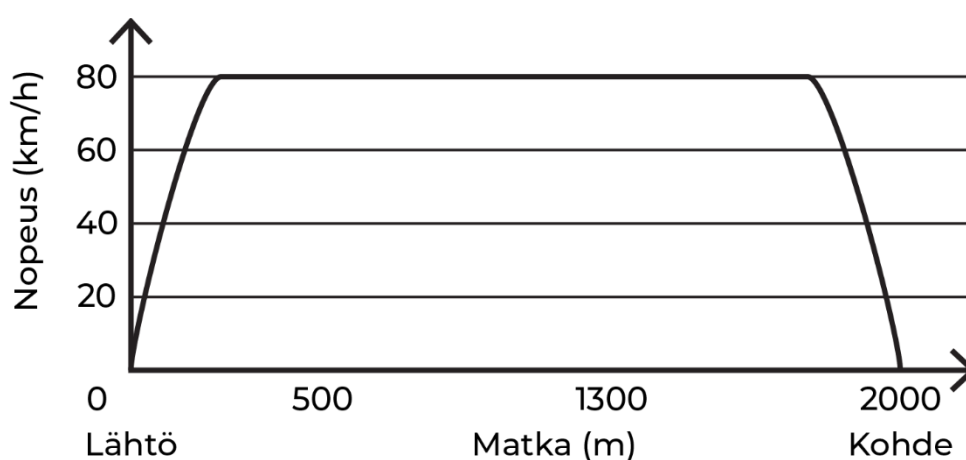
Useissa tapauksissa raitiovaunut pystyvät kiihdyttämään ja jarruttamaan tätä terhakkaammin. Toisaalta raitiovaunut eivät pysty ylläpitämään suurinta mahdollista matkustusmukavuuden sallimaa pituussuunnan kiihtyvyyttä suurilla nopeuksilla. Suurien nopeuksien alemmalla kiihtyvyydellä on kuitenkin vain pieni vaikutus raitiotien keskinopeuteen. (Vuchic, 2007, pp. 122-123) Helsingiläisten raitiovaunujen tekniseksi huippunopeudeksi on mitoitettu 80 km/h , mutta raitiovaunuja voi tehdä myös nopeampina.

Sivusuunnassa matkustusmukavuuden rajoittama sivukiihtyvyys on normaalitilanteessa $0,65 \text{ m/s}^2$, poikkeustapauksissa $0,98 \text{ m/s}^2$. Nämä arvot ohjaavat suunnittelua sekä Tampereella että Helsingissä. Ne perustuvat saksalaiseen BOStrab-asetukseen ja siihen liittyviin määräyksiin, jota sovelletaan kansainvälisenä standardina. (Tampereen Raitiotie Oy, 2020) (HKL, 2018) Sivukiihtyvyyksien rajoitus tarkoittaa sitä, että kullakin nopeustasolla vain tietynsuuruinen suunnanmuutos on mahdollinen. Mitä suurempi nopeus, sitä loivempi suunnanmuutos tarvitaan. Raitiovaunuilla suunnanmuutoksia määrittää rata, mihin palataan alaluvussa 3.4.

Raitiovaunujen kulkua kuvaa myös kiihtyvyyden muutosnopeus, eli nykyä. Usein matkustajan tasapainon vie tasaisen kiihtyvyyden sijaan ripeästi

muuttuva kiihtyvyys. Nykäyksen tulisi olla alle $0,5\text{--}0,6\text{ m/s}^3$. (Vuchic, 2007, p. 122) Helsingin ja Tampereen seutujen raitioteiden suunnitteluohjeet rajoittavat sivusuunnan nykäyksen arvoon $0,67\text{ m/s}^3$. Nykäyksen rajoittamisella ei ole merkittäviä vaikutuksia raitiotien nopeuteen.

Täten tässä alaluvussa todettiin ensimmäiset rajoitteet pikaraitiovaunun nopeudelle. Raitiovaunun huippunopeuden arvona voidaan toistaiseksi käyttää 80 km/h – tähän palataan alaluvussa 3.5. Raitiovaunu voi muuttaa nopeuttaan korkeintaan kiihtyvyydellä $1,2\text{ m/s}^2$ ja suuntaansa siten, että sivukiihtyvyys on alle $0,65\text{ m/s}^2$. Näitä rajoitteita on havainnollistettu nopeusmatka-kuvaajaan kuvassa 14. Seuraavassa alaluvussa käsitellään, kuinka lähellä näitä raja-arvoja on mahdollista ajaa.



Kuva 14. Havainnollistus luvussa 3.1 todetuista rajoitteista raitiovaunun nopeudelle. Musta viiva kuvastaa nopeutta kuvitteellisella rataosuudella.

3.2 Kuljettajat ja ajokulttuuri

Raitiovaunuja ajavat (ainakin toistaiseksi) ihmiset. Ihmiskuljettajat ajavat keskenään aina jonkin verran eri tavalla. Ihmiskuljettajat voivat myös ottaa huomioon yllättäviä asioita: esimerkiksi valkoposkihanhilauman kiskoilla.

Avain tämän ilmiön kvantifiointissa on tekninen käsite ajotehokkuus. Ajotehokkuus tarkoittaa sitä, kuinka paljon kuljettaja käyttää maksiminopeudesta ja maksimikiihtyvyyksistä annetulla tarkastelujaksolla. Ihmiskuljettajat eivät kykene ajamaan aina tasan teknisesti suurimmalla mahdollisella nopeudella ja kiihdytyksillä, eikä ihmiskuljettajien ajotehokkuutta voi ennustaa täysin varmasti. (Norrgård, 2020)

Kuten eri ihmiskuljettajilla on eroja ajotavoissa, myös ihmiskuljettajien yhteisöillä on eroja kuljettajien keskimääräisissä ajotavoissa. Nämä erot voivat olla tiedostettuja tai tiedostamattomia. Tiedostamattomia eroja voivat olla erot eri pikaraitiokaupunkien tai -maiden liikennekulttuurissa. Tiedostettuja eroja voivat olla erot kuljettajien koulutuksessa.

Yksi esimerkki eri ajokulttuureista ja niiden eroista on Kankaan (2021) mukaan HKL:n ja monien eurooppalaisten operaattorien välillä niiden suhtautumisessa onnettomuuksiin. HKL:llä on nollatavoite onnettomuuksille. Tällöin raitiovaunujen kuljettajat saattavat hidastaa ja antaa tilaa myös väistämisvelvollisille tienkäyttäjille onnettomuuksien välttämiseksi, vaikka liikennesääntöjen mukaan ei tarvitsisi. Kankaan mukaan toisenlaiset lähestymistavat ovat mahdollisia: sveitsiläiset kuljettajat voivat luottaa siihen, että muut tienkäyttäjät väistävät raitiovaunua, kun vaikkapa tšekkiläiset kuljettajat ajavat suomalaisia raitiovaunukuljettajia aggressiivisemmin.

Toinen Kankaan (2021) toteama ero on kulttuurinen: painotetaanko pikaraitiotiellä kulkumuodon nopeutta vai sen matkustusmukavuutta? Esimerkiksi Münchenissä kuljettajien ajotapa on niin ripeä, että raitiovaunussa on hankala seistä ottamatta tukea. Ranskalaisilla pikaraitiotiellä ajotapa on rauhallisempi. Tämä heijastaa laajempaa eroa saksalaisten ja ranskalaisten raitiotiiden välillä; ensimmäiset ovat ensisijaisesti liikennetekniikkaa, kun taas jälkimmäiset ovat ensisijaisesti kaupunkikehitystä.

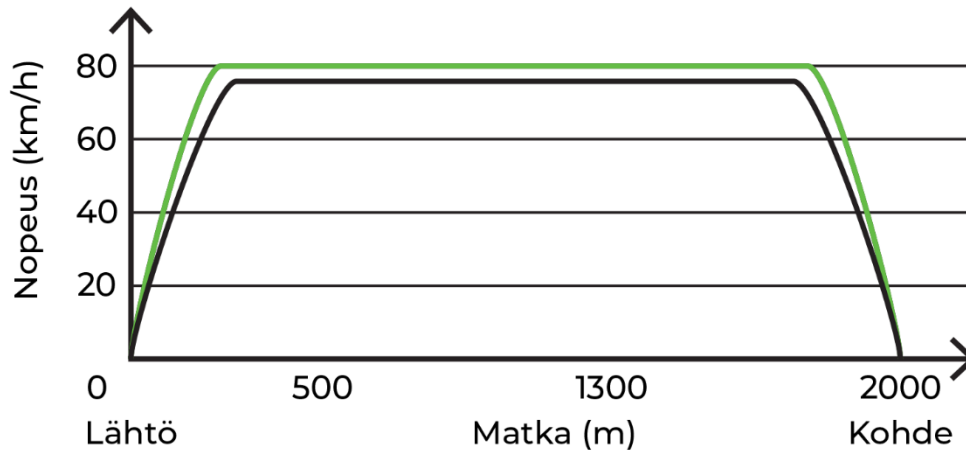
HSL:n pikaraitiotiiden liikennöinnin simulointiohje määrittää kolme erilaista hajontaa kuljettajien ajotehokkuudelle. Nämä on esitetty taulukossa 4. Hajonnoista yksi on kansainväliseen kokemustietoon perustuva hajonta, jonka nojalla kuljettajien ajotehokkuus on keskimäärin 95 % ja vähintään noin 92 %. Toiset kaksi hajontaa tunnistavat kuljettajien kokemattomuuden uudella pikaraitiotiellä tai luonnollisen henkilöstön vaihtuvuuden takia. Näiden hajontojen kokemattomimpien kuljettajien ajotehokkuus on 88–90 % ja keskimääräinen ajotehokkuus on noin 92–94 %. (Norrgård, 2020)

Taulukko 4. HSL:n pikaraitiotiiden liikennöinnin simuloinneissa käytettävät kuljettajien ajotehokkuushajonnat. (Norrgård, 2020)

Skenaario	Osuus vaunuista %	Ajotehokkuus %
Kokemustietoon perustuva yleinen ajotehokkuushajonta jo operoitavalle pikaraitioliikenteelle	25	92–94
	50	94–96
	25	96–98
Ajotehokkuushajonta uudelle hankkeelle, jossa kuljettajilla ei ole laajamittaista kokemusta ko. pikaraitiotiestä	25	88–90
	50	90–93
	25	93–96
Ajotehokkuushajonta jo operoitavalle pikaraitioliikenteelle, jossa on huomioitu 10 % kuljettajien suppea ajokokemus.	10	88–90
	20	90–93
	50	93–96
	20	96–98

Täten tässä aluvuossa todettiin tarkentavat rajoitteet raitiovaunun tehojen ja nopeusrajoitusten hyödyntämiselle. Ajotehokkuus on keskimäärin 94–95 % käytettävissä olevista arvoista. Linjan aikatauluihin tulee kuitenkin jättää pelivaraa siten, että myös hitaimmat 88–92 % ajotehokkuudella ajavat kuljettajat voivat pysyä aikataulussa. Ajotehokkuuden vaikutusta raitiovaunun

nopeuteen on havainnollistettu kuvassa 15. Seuraavassa alaluvussa käsitellään raitiovaununlinjan pysäkkien vaikutusta nopeuteen.



Kuva 15. Havainnollistus luvussa 3.2 todetuista tarkennuksista raitiovaunun nopeudelle. Edellisen kuvan nopeusprofiili eli tekninen maksiminopeus on kuvattu vihreällä viivalla, ja inhimillisesti mahdollinen mustalla viivalla.

3.3 Pysäkkiväli ja pysäkkiajat

Raitiovaunut eivät voi ajaa huippunopeudella linjansa päästä päähän, sillä se ei ole niiden tehtävä. Sen sijaan niiden tehtävä on kuljettaa ihmisiä linjansa varrella, jolloin raitiovaunujen tulee toisinaan pysähtyä matkustajien nousua ja poistumista varten. Nämä pysähdykset keskitetään ennalta määritetyille pysäkeille, joiden määrä ja laatu linjan varrella siten suuresti määrittää sitä, kuinka nopeasti raitiovaunu voi ajaa linjan läpi. Mitä useammin raitiovaunu pysähtyy pysäkeille ja mitä kauemmin raitiovaunu on pysähtyneenä pysäkillä, sitä hitaampaa raitiovaunun liikennöinti on. (Vuchic, 2007, p. 124)

Avaimet tämän ilmiön kvantifioinnissa ovat termit pysäkkiväli ja pysäkki-aika. Pysäkkiväli kuvaa kahden pysäkin välistä etäisyyttä linjalla. Pysäkki-aika on pysäkillä pysähdyksissä vietetty aika. Pysäkkiväliä käsiteltiin jo luvussa 2.3, jossa todettiin optimaalisen pysäkkivälin riippuvan kaupunkirakenteesta. Helsingissä jatkuvassa kaupunkirakenteessa tavoitellaan 500 metrin pysäkkiväliä, kun taas kaupungin ulkopuolella tavoitellaan pysäkkiväliksi selvästi yli 500 metriä mutta alle 1,5 kilometriä (Helsingin kaupunki, 2021). Tampereella aluekeskuksissa ja tiiviissä kaupunkiympäristössä tavoitellaan 400–600 metrin pysäkkiväliä ja väljässä kaupunkirakenteessa tätä suurempaa väliä (Tampereen Raitiotie Oy, 2020, s. 79).

Pysäkkivälillä on kuitenkin kaupunkirakenteen lisäksi myös toinen ulottuvuus: linjan rooli joukkoliikennejärjestelmässä. Esimerkiksi Walker (2012, s. 64) luonnostelee kolmelle erilaiselle joukkoliikennejärjestelmän osalle omat pysäkkivälitavoitteensa: Lähiliikenteen pysäkkiväli on pieni, sillä sen tarkoitus on tarjota lyhyet kävelymatkat kaikille linjan varren kohteille.

Runkoliikenteen pysäkkiväli on suurempi (esimerkiksi 800 m), sillä sen on tarkoitus palvella koko linjan varren sijaan pisteitä linjan varrella. Pikaliikenteellä ei välttämättä ole yhtään pysäkkiä lähtö- ja kohdealueen välillä, sillä sen tarkoitus on tarjota pikayhteys vain näiden alueiden välille.

Pysäkkivälillä on merkittävä vaikutus linjan roolille joukkoliikennejärjestelmässä. Pysäkkivälillä on erittäin suuri vaikutus linjan keskinopeudelle, joka vaikuttaa paljon matkojen pituuteen. Esimerkiksi, jos raitiovaunu pysähtyy keskimäärin 450 metrin välein keskimäärin 25 sekuntia ja sen kiihdytyksien ja jarrutusten voimakkuus on $1,1 \text{ m/s}^2$, raitiovaunun keskinopeus ei edes teoriassa voi olla 25 km/h. 750 metrin pysäkkivälillä keskinopeus on korkeintaan 35 km/h. Näissä skenaarioissa oletettiin täysin esteetön kulku pysäkkien välillä, mikä onnistuu vain eristetyillä rataosuuksilla.

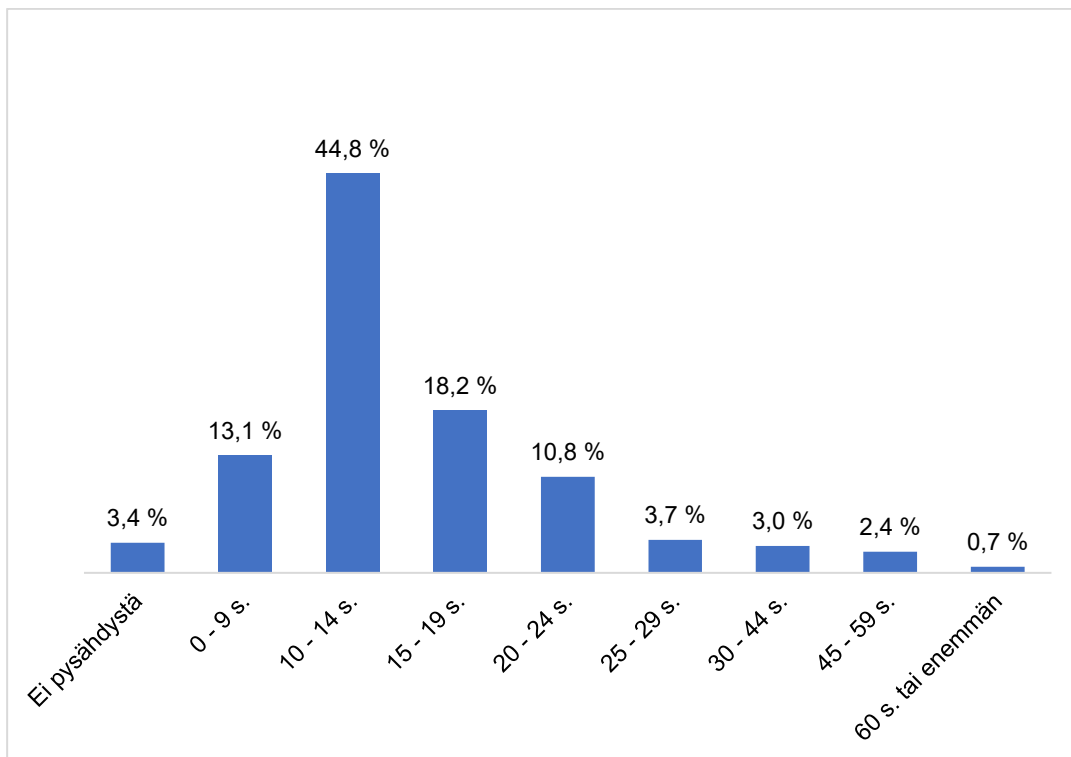
Raitiotien pysäkkiajoille ei ole olemassa selvää vakiota, sillä se riippuu matkustajien määrästä ja liikkeestä vaunun ovilla. Helsingissä keskimääräisiä pysäkkiaikoja on tutkittu, ja sen työn tuloksena on tehty taulukossa 5 esitetyt pysäkkiaika-arviot eri pysäkeille matkustajamäärän mukaan (Norrgård, 2020, s. 48). Nämä arvot pätevät pitkälti ainakin helsinkiläiseen raitiovaunuliikenteeseen. Toisenlaisessa raitiovaunuliikenteessä, jossa vaunuissa olisi enemmän tai vähemmän oviaukkoja tai matkustajat liikkuisivat selvästi eri tavalla, pysäkkiajat olisivat luultavasti myös erilaisia.

Toisaalta pelkkä pysäkkiaika ei riitä kuvaamaan pysäkkien aiheuttamaa hidastusta. Pysäkillä seisomisen lisäksi raitiovaunun on myös jarrutettava ja kiihdytettävä. Kiihdytyksiin ja jarrutuksiin kuluva aika on ajonopeuksilla 30–50 km/h 7–15 sekuntia enemmän kuin rataosuuden läpiajo tasaisella ajonopeudella. Yksi pysäkki voi siis hidastaa raitiovaunua karkeasti noin 30–60 sekuntia. Tätä aikaa kutsutaan pysäkkiviiveeksi.

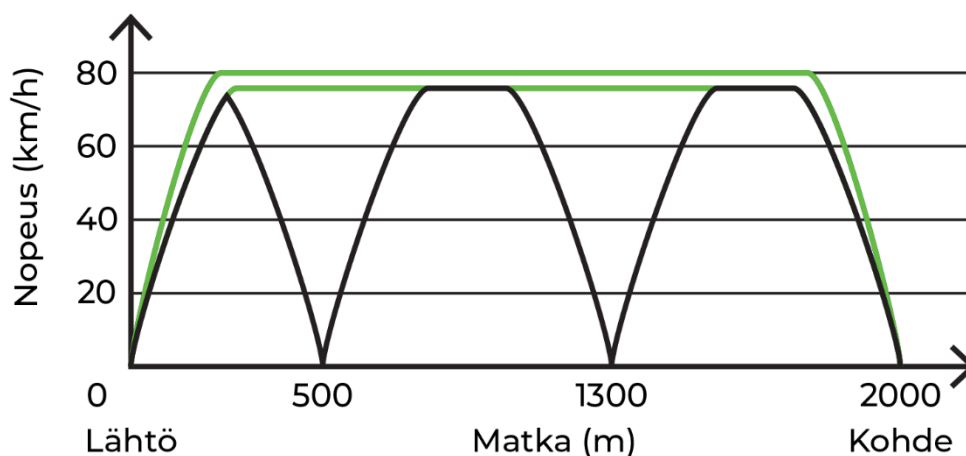
Taulukko 5. Helsingin seudun raitioteiden simuloinnissa käytettävät pysäkkiaika-arviot pysäkeille matkustajamäärän mukaan (Norrgård, 2020, s. 48)

Pysäkkiluokka	Keskiarvo	Jakauma
Luokka C: yli 80 matkustajaa / pysähdys	32 s	29–35 s
Luokka B: 40–80 matkustajaa / pysähdys	25 s	22–28 s
Luokka A: alle 40 matkustajaa / pysähdys	20 s	17–23 s

Taulukossa 5 esitetty kolmiportainen asteikko on toisaalta vain yksinkertainen todellisuudesta, jossa pysäkkiaikojen hajonta on myös satunnaista. Helsingin kaupunkiraitioliikenteen pysäkkiviiveitä tutkittiin osana Raitioliikenteen viivetutkimusta. Pysäkkiviiveiden hajontaa on kuvattu kuvassa 16. Tutkimuksen toisen tuloksen mukaan kaupunkiraitioteillä pysäkkiviiveet muodostavat 17 % raitioteiden matka-ajasta. Tulos korostaa pysäkkiaikojen merkitystä raitioteiden keskinopeuden määräytymisessä. (Räty & Silvo, 2017)



Kuva 16. Pysäkkiviiveiden kestot Helsingin raitioteillä (Räty & Silvo, 2017).



Kuva 17. Havainnollistus pysäkkien vaikutuksesta pikaraitiotien nopeuteen. Vihreällä viivalla on esitetty edellisten vastaavien kuvien nopeustasot.

Täten tässä alaluvussa todettiin pysäkkien vaikutus raitiotien nopeudelle. Yksi pysäkki hidastaa raitiovaunua 30–60 sekuntia. Pysäkkivälin suuruus on yksi suurimmista muuttujista pikaraitiotien keskinopeudelle. Seuraavassa alaluvussa käsitellään ratageometrian vaikutusta raitiotien nopeuteen.

3.4 Ratageometria ja ratatekniikka

Muutamaa alalukua aikaisemmin todettiin, että yksi raitiovaunua hidastava tekijä on sen sivukiihtyvyyksien rajoittaminen tasoon $0,65 \text{ m/s}^2$. Tämä sivukiihtyvyys on funktio raitiovaunun nopeudesta ja suunnanmuutoksesta. Raitiovaunun suunnanmuutokset määrittää raitiotien rata, joten käytännössä voimme puhua raitioradan vaikutuksesta raitiovaunun nopeuteen.

Avain tämän ilmiön tarkempaan määrittelyyn on termi ratageometria. Ratageometria (myös raidegeometria) kokoaa yhteen kaikki ne tavat, miten raitiotie voi kääntyä, muuttua ja vääntyä kadulla. Radan vaakageometria koostaa yhteen tiedot siitä, että menevätkö raiteet suoraan vai kääntyvätkö ne oikealle tai vasemmalle. Radan pystygeometria koostaa yhteen tiedot siitä, että menevätkö raiteet vaakatasossa, suoraan ylä- tai alamäkeen tai kaartuvatko ne ylös tai alas päin. Tässä kohdassa raitiotien pystygeometrian vaikutus raitiotien nopeuteen sivuutetaan, koska raitioiteillä pystygeometrian merkitys on vain joitakin poikkeuksia (yli 5 % pystykaltevuus **ja** yli 50 km/h nopeusrajoitus) lukuun ottamatta lähes olematon (Norrgård, 2020, s. 57).

Vaaka- ja pystygeometrysten muutosten lisäksi raitiorata voi olla kallistettu, jolloin ulompi kisko on sisempää korkeammalla. (HKL, 2018, s. 14) Ratoja kallistetaan, jotta osa raitiotien suunnanmuutoksen kiihtyvyydestä suuntautuu alaspäin. Tällöin kallistetussa kaarteessa voi ajaa nopeammin kuin kallistamattomassa ilman, että sivukiihtyvyys nousee liian korkeaksi.

Raitioradan kallistusta ei aina kannata toteuttaa. Sekaliikenneympäristössä raitioradan kallistuksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon muu liikenne. Erillisradallakaan raitiorataa ei kallisteta, jos kaarresäde on alle 70 m. Lisäksi kallistetulla radalla tavoitellaan sitä, että raitiovaunut voivat luotettavasti ajaa tavoitenopeutta. Mikäli raitiovaunu ei todennäköisesti pystyisi ajamaan tavoitenopeutta kaarteessa, kallistuksen toteuttaminen ei ole taroituksenmukaista. (Helsingin kaupunki, 2021)

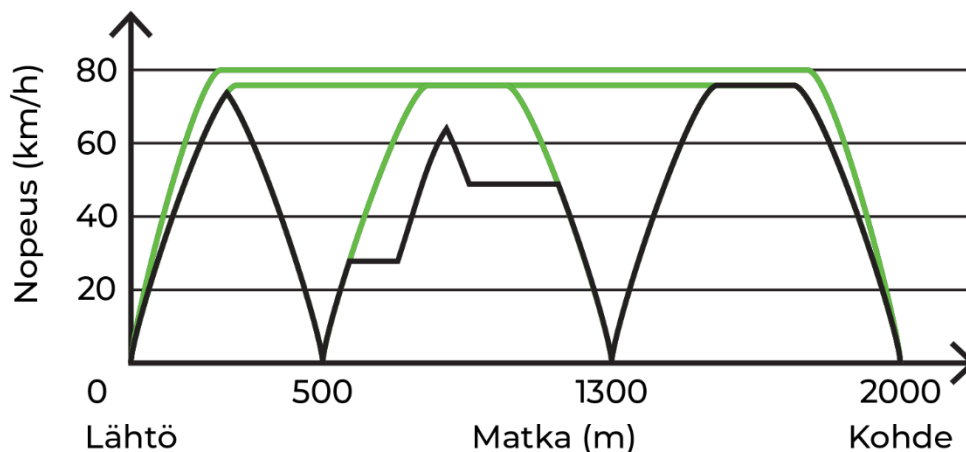
Raitioradan sallima suurin mahdollinen nopeus on siis raitiotien vaakageometrian ja sivukallistuksien funktio. Mitä loivempi kaarre ja mitä suurempi kallistus, sitä suurempi nopeus on mahdollinen. Taulukko 6 on esitetty ratageometrian sallimat nopeudet sivukiihtyvyydellä $0,65 \text{ m/s}^2$.

Lisäksi radalla voi olla erityisiä ratateknisiä paikkoja, kuten vaihteet, jossa raitiovaunun nopeutta joutuu rajoittamaan. Mikäli vaihde on syväurainen, sen asento on lukittu oikeaan asentoon ja tämä on osoitettu kuljettajalle erillisellä opastimella, raitiovaunu voi kulkea ratageometrian sallimaa suurinta nopeutta. Mikäli vaihteesta ajetaan suoralla radalla, nopeusrajoitusta ei ole. Vaihteen suorasta suunnasta poikkeava rata kaartuu pääsääntöisesti 50 m tai 100 m kaarresäteellä, jolloin raitiovaunun nopeusrajoitus on 20–30 km/h. Jos vaihde on syväurainen mutta ei lukittuna, nopeusrajoitus Helsingissä on 15 km/h ja Tampereella 25 km/h myötävaihteeseen ja 15 km/h vastavaihteeseen. Helsingin matalauraisten vaihteiden nopeusrajoitus on 10 km/h. (Helsingin kaupunki, 2021) (Tampereen Raitiotie Oy, 2020)

Taulukko 6. Kaarresäteet nopeuden ja kallistuksen mukaan, kun sivukiihtyvyys rajoitetaan tasoon $0,65 \text{ m/s}^2$ (Helsingin kaupunki, 2021).

Raiteen kallistus	15 km/h	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h
0 mm	27 m	48 m	107 m	190 m	297 m	428 m	582 m
20 mm	-	-	84 m	148 m	231 m	333 m	453 m
40 mm	-	-	-	121 m	190 m	273 m	371 m
60 mm	-	-	-	103 m	161 m	231 m	314 m

Täten tässä alaluvussa todettiin ratageometrian ja ratatekniikan tarkentamat rajoitteet raitiotien nopeudelle. Raitiolinjan nopeusprofiilille, jossa on otettu huomioon matkustajaturvallisuus ja radan sekä kaluston tekniset rajoitteet, on myös oma käsitteensä: suunnittelunopeus (Norrgård, 2020, s. 38). Englanniksi käytettävä termi on Line design speed (Vuchic, 2005, s. 19). Suunnittelunopeutta on havainnollistettu kuvassa 18. Seuraavassa alaluvussa käsitellään raitioteiden nopeusrajoituksia, jotka johtuvat muista syistä.



Kuva 18. Havainnollistus ratageometrian vaikutuksista pikaraitiotien nopeuteen. Kuvitteellisella rataosuudella on noin 600 ja 900 metrin kohdilla kaarteet, jotka rajoittavat raitiotien nopeutta tasoon 30 ja 50 km/h.

3.5 Katujen nopeusrajoitukset

Kaduilla raitiovaunut toimivat samojen liikennesääntöjen puitteissa kuin muutkin ajoneuvot. Tällöin raitiovaunuille asetetaan nopeusrajoitukset, jotka suurimmalla osalla raitiotierataa ovat alhaisemmat kuin tekniikan sallimat nopeudet. Nopeusrajoitukset riippuvat raitiotietekniikan sijaan enemmänkin raitiotien liikennöinnin juridisesta viitekehyksestä ja niitä voi muuttaa hallinnollisilla päätöksillä. Pääsyy nopeusrajoituksille raitioteillä on sama kuin muullakin liikenteellä: tavoite turvallisesta liikenneympäristöstä.

Jotta juridiset nopeusrajoitukset eivät sekoittuisi muiden tekijöiden nopeusrajoituksiin, näistä nopeusrajoituksista puhutaan katujen tai väylien nopeusrajoituksina tai katurajoituksina. Silloin kun raitiovaunut kulkevat seka-liikennekaistalla, raitiovaunujen nopeusrajoitus on sama kuin muun ajoneuvoliikenteen (Peltola, 2018, s. 47). Sen sijaan raitiotien omien kaistojen nopeusrajoitusten määrittäminen on monitulkintaisempi kysymys.

Ensisijainen lähtökohta katurajoitukselle on vuonna 2020 voimaan tullut tieliikennelaki. Laissa raitiovaunun nopeusrajoitus taajama-alueella on 50 km/h ja sen ulkopuolella 80 km/h, ellei liikennemerkeillä ole osoitettu noudatettavaksi muuta nopeusrajoitusta (LVM, 2018, s. 9 §). Lisäksi pihakadulla tai kävelykadulla raitiovaunun nopeus on sovitettava jalankulun mukaiseksi eikä se saa ylittää 20 km/h (LVM, 2018, s. 64 §). Tieliikennelaissa määritetään, että liikenteenohjauslaitteilla osoitettu suurin sallittu nopeus koskee yhtä lailla raitiovaunuja kuin muitakin ajoneuvoja (LVM, 2018, s. 165 §).

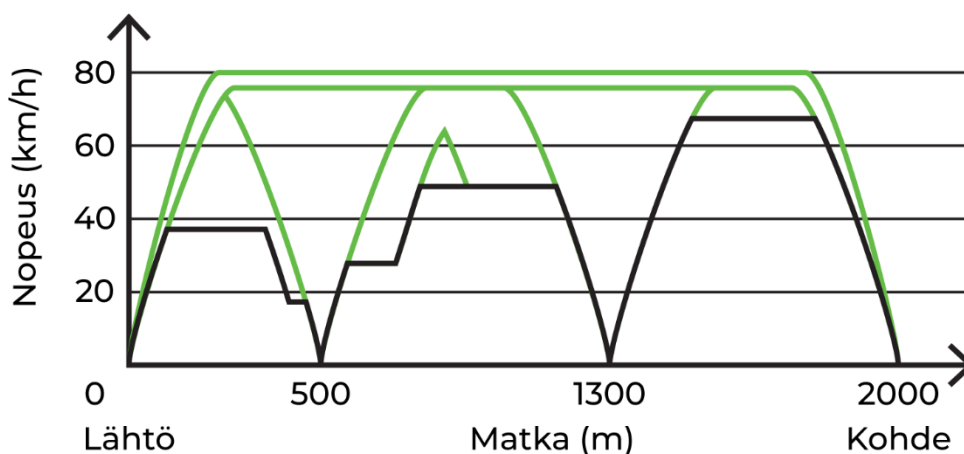
Toisin sanoen, jos kadulla tai sen rinnalla kulkevalle raitiotielle haluaisi asettaa muusta ajoneuvoliikenteestä poikkeavan nopeusrajoituksen, se tulisi määrittää erikseen. Toistaiseksi raitioiteille ei ole asetettu katurajoitusta korkeampaa nopeusrajoitusta. Lähin esimerkki kadun nopeusrajoituksen ylittämistä on toistaiseksi Viikin-Malmin pikaraitiotien yleissuunnitelmassa, jossa esitetään Latokartanonkaaren (40 km/h) vieressä kulkevalle raitiotielle korkeampaa 60 km/h nopeusrajoitusta. Tässä tapauksessa raitiotien yli ei kuitenkaan ole lainkaan muuta liikennettä. Sinänsä mikään ei tunnu estävän raitiotien muuta liikennettä korkeampaa nopeusrajoitusta myös kadun keskellä. Tässä työssä jatketaan kuitenkin sillä oletuksella, että raitiotien nopeusrajoitus on korkeintaan sama kuin kadun nopeusrajoitus.

Toinen tärkeä lähtökohta on yleinen raitioiteille asetettava huippunopeusrajoitus. Sekä Helsingin että Tampereen raitioiteiden suunnitteluohjeissa raitioiteiden korkein tavoitenopeus on 70 km/h. Kaupunkiseutujen määritelmä raitiotien huippunopeudelle pohjautuu saksalaiseen BOStrab -säännöksiin, joissa näkemällä ajatun raitiotien huippunopeus on rajoitettu nopeuteen 70 km/h (BMVI, 1987, s. 49 §). Korkeammille nopeuksille vaaditaan samanlaisia turvajärjestelmiä kuin rautateilla, joilla turvallinen liikkuminen varmistetaan kuljettajan näköhavaintojen sijaan turvalaitteilla. Yksinkertaistetusti laskettuna nopeudessa 70 km/h raitiovaunun pysähtymismatka sekunnin reaktioajalla ja $-1,2 \text{ m/s}^2$ hidastuvuudella on noin 200 metriä, jolloin 70 km/h väylällä raitiovaunun kuljettajalta vaaditaan esteetön näkymä satojen metrien päähän. Tosiasiassa pysähtymismatkaan pitäisi myös laskea jarrujärjestelmän aktivoitumisaika, mikä laskee kokonaishidastuvuutta. Yli 70 km/h nopeuksilla pysähtymismatkan pituisia satojen metrien näkymiä olisi vaikea taata. Näkemärajoituksiin palataan seuraavassa alaluvussa.

Kattonopeudelle 70 km/h on myös toinen käytännönläheinen syy. Raitiotiemäisillä pysäkkiväleillä ei yksinkertaisesti kannata tavoitella korkeampia huippunopeuksia. Yli 70 km/h nopeudella ei monessakaan tilanteessa voisi ajaa kovin kauaa, jolloin korkeampien nopeuksien vaikutus raitiotien

keskinopeuteen olisi pieni. Esimerkiksi nopeuteen 80 km/h kiihdytys ja jarrutus voimakkuudella 1,1 m/s² vaatii lähes kilometrin pysäkkivälin. Korkeampien nopeuksien kääntöpuolena on myös suuri energiankulutus.

Täten tässä alaluvussa todettiin raitioteiden yleiset nopeusrajoitukset, jotka rajoittavat raitiotien huippunopeuden katualueilla kadun yleisen nopeusrajoituksen mukaiseksi ja raitiotien omalla väylällä nopeuteen 70 km/h. Tälle raitiolinjan nopeusprofiilille, joka ottaa huomioon teknisten syiden lisäksi myös säännöspäiset syyt, on oma käsitteensä: mitoitusnopeus (Norrgård, 2020, s. 38). Englanniksi käsite on legal speed, ja se on aina yhtä suuri tai pienempi kuin aikaisemmin määritetty suunnittelunopeus (Vuchic, 2005, s. 19). Seuraavissa kahdessa alaluvussa määritetään loput muut raitiotien nopeuteen vaikuttavat tekijät: muu liikenne.



Kuva 19. Havainnollistus nopeusrajoitusten vaikutuksesta nopeuteen. Ensimmäisellä pysäkkivälillä on 40 km/h nopeusrajoitus ja toisella 50 km/h.

3.6 Liikenneturvallisuus ja muu liikenne

Raitiovaunut voivat ajaa huippunopeudellaan vain, jos raitiovaunun edessä on täysin vapaa väylä. Useimmiten raitiovaunujen väylä ei kuitenkaan ole täysin vapaa, jolloin raitiovaunujen kulkua tulee rajoittaa muiden tienkäyttäjien takia. Tätä sivuttiin jo edellisessä alaluvussa: kävelykadulla raitiovaunun nopeus ei saa ylittää 20 km/h ja sekaliikennekaistalla raitiovaunun nopeus on sama kuin muun ajoneuvoliikenteen. Vain täysin raitiovaunun omalla väylällä nopeusrajoitus on korkein mahdollinen 70 km/h. Varsinaisen nopeusrajoituksen lisäksi raitiovaunut joutuvat toisinaan hidastamaan tai pysähtymään, jotta voidaan varmistaa kaikkien turvallinen liikkuminen tai raitiotien kanssa risteävien liikennevirtojen riittävä sujuvuus.

Alennettu nopeus liittymissä: Kun raitiotie risteää muun liikenteen kanssa samassa tasossa, raitiovaunu joutuu käytännössä hidastamaan jonkin verran. Suojateiden osalta määritetään tieliikennelaissa, että raitiovaunun

on lähestyttävä suojatietä sellaisella nopeudella, että raitiovaunun voi tarvittaessa pysäyttää ennen suojatietä (LVM, 2018, s. 64 §). Raitiotien ylityspaikoilla kuljettajat eivät myöskään voi ajaa täyttä vauhtia. Toistaiseksi kuljettajat eivät voi olla varmoja siitä, että muut tienkäyttäjät tunnistavat väistämisvelvollisuutensa (Penttinen, 2021, ss. 52-58). Valo-ohjatuissa liittymissä kuljettajan oletetaan reagoivan hidastamalla nopeutta noin 0–10 km/h, vaikka liittymässä olisikin erinomaiset valoetuudet (Norrgård, 2020, s. 60).

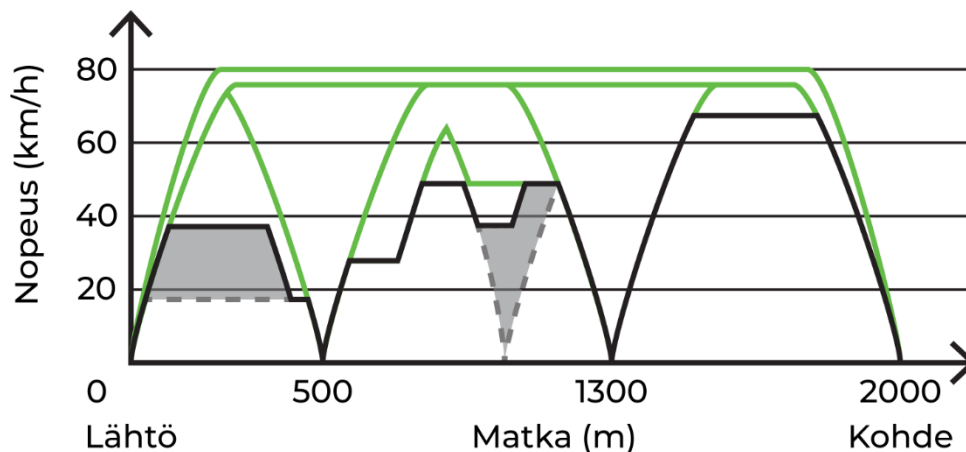
Liittymäviiveet: Kun raitiotie risteää muun liikenteen kanssa samassa tasossa ja raitiotien valoetuudet eivät ole täydelliset, raitiovaunu kokee liittymäviiveitä. Liittymäviive on aika, minkä verran raitiovaunun kulku hidastuu, koska raitiovaunu hidastaa tai pysähtyy odottamaan vuoroaan liittymän läpi.

Liikenteen jonoutuminen: Liittymää edeltävällä sekaliikennekaistalla voi käydä niin, että raitiovaunun kulku estyy muun ajoneuvoliikenteen jonoutuessa. Raitiovaunu on erityisen herkkä jonoutumiselle, koska raitiovaunu ei voi ajaa kovin lähellä edellä olevaa ajoneuvoa. Kumipyöräinen ajoneuvo voi pysähtyä huomattavasti raitiovaunua ripeämmin, jolloin raitiovaunun ja muun ajoneuvon väliin tarvitaan pidempi turvaväli kuin autoliikenteessä. Raitiovaunun kulku sen omalla kaistalla voi myös estyä, jos risteävän suunnan ajoneuvoliikenne jonoutuu niin, että jono ylittää raitiotielle.

Kulkuesteet väylällä: Jos raitiovaunun väylällä on esteitä raitiovaunun kululle, raitioliikenne luonnollisesti hidastuu tai pysähtyy esteen keston mukaan. Jos raitiotiekaista on liian kapea, viereisen kaistan ajoneuvojen sivupeilit tai väärin pysäköidyt autot voivat estää raitiovaunun kulun.

Näkemärajoitteet: Raitiovaunua ajetaan näkemän perusteella. Raitioliikenteessä kuljettajan tulee nähdä aina normaalijarrutusmatkan verran. Jos näkemä ei täytä vaatimuksia, turvallinen liikennöinti pitää taata muin keinoin tai hidastamalla raitiovaunuja niin, että pysähtymismatka on korkeintaan kuljettajan näkemän pituinen. (Helsingin kaupunki, 2021, s. 139)

Näitä kaikkia edellä mainittuja tekijöitä yhdistää niiden hankala ennakoitavuus ennen raitiotien toteutusta ja varsinkin karkeamman suunnittelun vaiheissa. Kaikkia tekijöitä voidaan arvioida ennakkoon, mutta tulokset eivät väistämättä ole täsmällisiä. Hidastava vaikutus raitiovaunujen nopeuteen myös vaihtelee helposti eri lähtöjen välillä. Tekijöiden vaikutusta ja epävarmuutta on havainnollistettu kuvassa 20. Päähavainnon tästä alaluvusta voisi muodostaa seuraavasti: mitä heikommin raitiotie on eristetty muusta liikenteestä, sitä hitaampaa ja epävarmempaa on sen liikennöintinopeus. Seuraavassa alaluvussa jatketaan tämän epävarmuuden tarkastelua.



Kuva 20. Havainnollistus turvallisuustekijöiden vaikutuksesta raitiotien nopeuteen. Kuvitteellisen rataosuuden ensimmäisellä pysäkkivälillä on sekaliikennekaista, jolloin nopeus voi satunnaisesti olla alempi. Toisella pysäkkivälillä on liittymä, jossa raitiovaunun saattaa joutua pysähtymään. Kolmannella vapaalla rataosuudella raitiovaunun nopeutta ei tarvitse alentaa.

3.7 Keskinopeuden hajonta

Tämän osion edellisissä alaluvuissa on nyt käsitelty kaikki pikaraitiotieiden nopeuteen vaikuttavat tekniset, juridiset ja käytännölliset tekijät. Tällä tiedolla ei voi vielä kuitenkaan suoraan määrittää pikaraitiotien keskinopeutta. Sitä ei voi suoraan summata edellä mainituista tekijöistä, koska useimpien tekijöiden vaikutuksen suuruus vaihtelee eri vuorojen välillä. Jokaisen raitiovaunun matka-aika ja siten keskinopeus on hieman erilainen. Yhden raitiolinjan keskinopeus on siis tilastollinen tunnusluku, joka on osittain edellä mainittujen tekijöiden summa ja osittain satunnaisvaihtelun tulos.

Pikaraitiolinjan aikataulut kuitenkin perustuvat pitkälti siihen, että raitiovaunun matka-aika on ennalta määritettävissä. Aikatauluja tehdessä on siis tehtävä päätös siitä, mihin nopeustasoon aikataulut pohjautuvat. Jos aikataulujen perustana on nopein yksittäisten vuorojen saavuttama matka-aika, suurin osa raitiovaunuista saapuu perille myöhässä. Jos sen sijaan aikataulujen perustana on hitaimpien vuorojen matka-aika, suurin osa raitiovaunuista joutuu hidastelemaan, jotta ne eivät olisi etuajassa.

Avaimet tämän ilmiön tarkempaan määrittelyyn ovat sanat luotettavuus ja täsmällisyys. Luotettavuus kuvaa sitä, kuinka matkustajalle luvattu palvelu toteutuu. Täsmällisyys tarkoittaa sitä, kuinka vuorojen ajoajat ovat aikataulunmukaisia. Molempia mitataan sillä, kuinka suuri osa vuoroista on saapunut tietyn poikkeaman sisällä luvatussa saapumisajasta tai vuorovälistä. (Penttinen, 2021, s. 47)

Joukkoliikenteen luotettavuus on matka-ajan ohella tärkeä joukkoliikenteen laatutekijä matkustajille. Mitä luotettavampaa joukkoliikenne on, sitä paremmin matkustajat ehtivät jatkoyhteyksiin sekä tapaamisiin.

Luotettavuudella on myös merkittävä vaikutus matkustajien keskimääräiseen odotusaikaan. Jos liikennöinti on täydellisen täsmällistä, matkustajien keskimääräinen odotusaika on puolet vuorovälistä. Sen sijaan täydellisen satunnaisessa liikenteessä matkustajien keskimääräinen odotusaika on yhtä suuri kuin laskennallinen vuoroväli. Ilmiötä kutsutaan liftarin paradoksiksi.

Toisin sanoen kasvattamalla liikennöinnin luotettavuutta voidaan säästää jopa useita minutteja matkustajien keskimääräisestä matka-ajasta. Vastavansuuruksia nopeutuksia on hankala toteuttaa yksin keskinopeutta nostamalla. Luotettavuuden kasvattamisella on myös se etu, että linjan matkustajakuormitus jakautuu tasaisemmin. Jos vuorovälit ovat satunnaisen pituisia, kukin vuoro kerää satunnaisella aikavälillä pysäkille kerääntyneen matkustajamäärän. Korkean matkustajakuormituksen linjoilla tämä johtaa vuorojen ketjuuntumiseen ja kaluston epätasaiseen kuormitukseen. Tällöin matkustajia haitataan epäluotettavien aikataulujen lisäksi ylikuormittuneilla joukkoliikennevälineillä. Aihetta on selvennetty kattavasti Raide-Jokerin hankearvioinnissa (Flou, 2019).

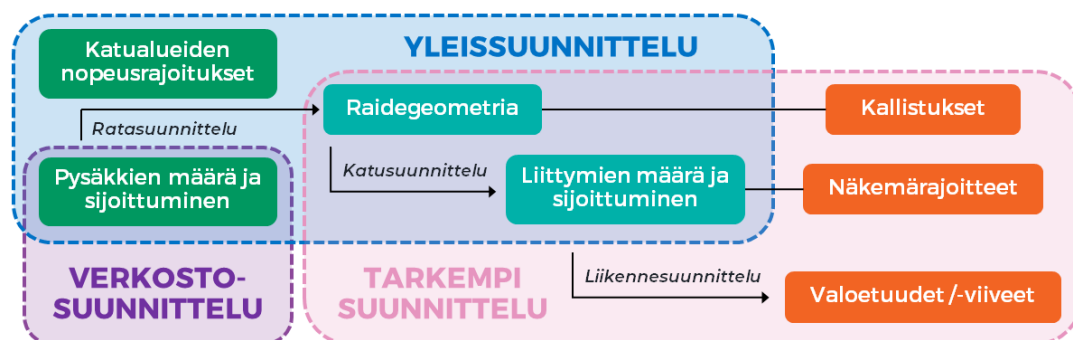
Luotettavuus on siitä kiinnostava laatutekijä, että se on osittain ristiriidassa nopeuden kanssa. Jos tavoitellaan mahdollisimman suurta ajonopeutta, se ennen pitkää tapahtuu luotettavuuden kustannuksella. Monissa tapauksissa raitiovaunua hidastavat tekijät voivat olla toistettavasti hitaita tai satunnaisesti nopeita. Luotettavan joukkoliikenteen saavuttamiseksi on parempi pyrkiä toistettavaan ja täsmälliseen matka-aikaan kuin aina nopeimpaan mahdolliseen ratkaisuun (Penttinen, 2021, ss. 47-48). Pikaraitiotien liikennöinnille ja palvelulupauksen täyttymiselle voi siis olla eduksi, että raitiotien keskinopeutta lasketaan, jotta linjan matka-aikojen satunnaisvaihtelua voisi vähentää luotettavuuden ja täsmällisyyden kasvattamiseksi.

Mitä suurempi ero nopeimman ja hitaimman vuoron välillä on, sitä enemmän hitain on myöhässä ja nopein hidastelee verrattuna aikatauluun muodostettuun kompromissiin. Tyypillinen ratkaisu ongelmaan on mitoittaa koko linjan aikataulu siten, että esimerkiksi 80 % vuoroista pysyy aikataulussa (Penttinen, 2021, ss. 47-48). Tätä nopeammat vuorot tasaavat aikaa päätepysäkeillä ja ajantasauspysäkeillä. Tässä on siis mahdollisuus kikkailla paperilla: jos kaikki ajantasaus keskitetään päätepysäkeille, linjan keskinopeus voi olla paperilla suuri ja todellisuudessa pienempi. (Kangas, 2021)

Täten tässä alaluvussa tarkennettiin sitä, miten nopeuteen vaikuttavat tekijät summataan linjan aikatauluksi. Linjan aikataulu tulee mitoittaa siten, että hitaimmat vuorot pysyvät luotettavan liikenteen raja-arvojen sisällä. Pääteltäessä linjan keskinopeutta niiden aikatauluista, olisi syytä myös tietää linjan täsmällisyys. Seuraavassa alaluvussa selvitetään, miten tieto kaikista nopeuteen vaikuttavista tekijöistä kehittyi suunnitteluprosessin aikana.

3.8 Pikaraitioteiden nopeuteen vaikuttavien tekijöiden kehittyminen suunnitteluprosessissa

Ennen nopeuteen vaikuttavien tekijöiden yhteenvetoa on hyvä tunnistaa, miten tieto näistä tekijöistä kehittyy pikaraitioteiden suunnitteluprosessissa. Kehityskulkua on hahmoteltu kuvaan 21. Hankkeiden yleissuunnitelmavaiheessa tunnetaan linjaus, pysäkkien määrä ja sijoittuminen sekä yleiset nopeusrajoitusalueet kaduilla. Yleissuunnitelmavaiheessa on myös karkea tuntemus ratageometriasta ja liittymistä. Loput tekijöistä tunnistetaan myöhemmissä suunnitteluvaiheissa.



Kuva 21 Hahmotelma pikaraitioteiden nopeuteen vaikuttavien tekijöiden kehittämisestä suunnitteluprosessissa.

Nopeuteen vaikuttavien tekijöiden vaiheittainen tuntemus tarkoittaa sitä, että raitiotien nopeus tunnetaan tosiasiallisesti vasta, kun hanke on valmistunut. Liikennöinnin alettua nopeus muuttuu, kun kaupunki sen ympärillä muuttuu. On siis syytä muistaa, että aina kun esi- tai yleissuunnitteluvaiheessa olevan raitiotien nopeutta arvioidaan, arvio on karkea. Arvioille tulisi aina esittää virhemarginaalit tai arvio tulee pyöristää karkealle tasolle.

3.9 Yhteenveto pikaraitiotien nopeuteen vaikuttavista tekijöistä

Tässä luvussa on tunnistettu pikaraitioteiden nopeuteen vaikuttavia tekijöitä. Tekijäkokonaisuus on monimutkainen, mutta kokonaisuuden takana on toisaalta varsin yksinkertainen ajatus. Mitä enemmän pikaraitiotie on liitoksissa muuhun kaupunkiympäristöön, sitä hitaampi se on.

Avain tämän ilmiön ymmärtämiseen on jakaa raitiotie kolmeen eri luokkaan raitiotien erottelun mukaan. Kolmiportaisen luokittelun on kehittänyt yhdysvaltalainen Vukan Vuchic (2007, p. 47) termillä Right-of-way (ROW). Termi on suomennettu rataluokaksi (Peltola, 2018, s. 14), mutta tämä termi ei ole vakiintunut käyttöön eikä sitä voi käyttää kumipyöräliikenteen väylien kuvaamiseen. Tähän työhön on kehitetty uusi suomennos, joka on

väyläetuus. Täydellä väyläetuudella (ROW A) raitioliikenne on eroteltu muusta liikenteestä ja muusta kaupunkiympäristöistä tunneleihin, siltoihin taikka aitojen taakse. Osittaisilla väyläetuuksilla (ROW B) raitioliikenne on eroteltu pituussuunnassa muusta katu ympäristöstä rakenteellisilla ratkaisuilla, kuten reunakivin, puukujantein tai aidoilla. Raitiotie risteää muun liikenteen kanssa samassa tasossa. Raitioliikenteellä ei ole väyläetuuksia (ROW C), kun sitä ei ole eroteltu muusta liikenteestä rakenteellisilla ratkaisuilla ja raitiotien kaista voi olla sekaliikennekaista. (Vuchic, 2007, p. 47)

Koska väyläetuuksien taso vaikuttaa lähes kaikkien edellisissä alaluvuissa mainittujen tekijöiden taustalla, niillä on oikeastaan määräävä vaikutus pikaraitioteiden nopeuteen. Yhdysvaltalainen joukkoliikennesuunnittelija Andrew Nash (2015) on sutkauttanut, että joukkoliikenteen keskinopeus on lähinnä sen väyläetuuksien funktio. Täydellä väyläetuudella voi liikennöidä korkeilla nopeuksilla ja lähes kokonaan ilman pysäkkien välisiä hidastuksia. Tällöin raitiotien keskinopeus kohoaa korkeaksi. Osittaisilla väyläetuuksilla tai ilman niitä muun liikenteen aiheuttamat viiveet ovat useimmiten merkittävien raitiotien nopeuteen vaikuttava tekijä. (Walker, 2012, s. 98)

Todellinen syy useimpien raitiovaunuja hidastavien tekijöiden takana on siis ratageometrian tai valoetuuksien sijaan alhaiset väyläetuudet, ja ainoa merkittävä ”korjaus” raitiotien nopeuteen on parantaa väyläetuuksia. Tämä ei aina ole ollut täysin selvää raitioteiden suunnittelussa esimerkiksi 1990-luvulla: seuraavassa luvussa esiteltävissä Jokeri-radan suunnitelmissa hahmoteltiin täyden väyläetuuden liikennöintiä osittaisten väyläetuuksien radalla. Samanlainen ajattelutapa näyttää olleen TramWest-suunnitelmissa, jossa maan päällä kulkeva pikaraitiotie olisi voinut kulkea yhtä nopeasti kuin tunnelirata, riippumatta tasoristeämistä pääväylien kanssa ja maankäytön rajoitteista ratageometrialle (Kangas, 2021).

4 Nopeustavoitteen tausta ja tärkeys

Tässä osiossa keskitytään vastaamaan ensimmäiseen ja neljanteen tutkimuskysymykseen: *mikä on pikaraitioteiden nopeustavoitteen tausta?* ja *miten nopeustavoite on ohjannut pikaraitioteiden suunnittelua?* Tutkimusmenetelmänä käytetään haastatteluja ja kirjallisuuslähteiden koontia kuten työn johdannossa on kuvattu. Haastattelut ovat tärkeä tietolähde, sillä nopeustavoitteen muodostumista ei ole erityisemmin dokumentoitu.

Jo aikaisemmin tässä työssä, alaluvussa 2.1.3, selostettiin HSL:n palvelukuvaus pikaraitioliikenteelle. Palvelukuvauksessa pikaraitioliikenteen matkanopeustavoitteeksi asetettiin 20–25 km/h. Vuonna 2015 Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston laatima esite pikaraitioliikenteestä toteaa samankaltaisesti, että pikaraitiolinjan keskinopeus on yli 20 km/h – toisaalta myöhemmin esitteessä esitetään pikaraitioliikenteen keskinopeudeksi 25 km/h (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, 2015). Edellä mainittujen lukujen osalta on epäselvää, onko nämä tarkoitettu pikaraitioteiden suunnittelua ohjaaviksi tavoitteiksi vai kuvaukseksi siitä, mitä pikaraitioilta odotetaan. Seuraavassa alaluvussa nopeustavoitteen taustaa ja tärkeyttä selvennetään yksittäisten pikaraitiotiehankkeiden kautta. Aloitetaan Raide-Jokerista.

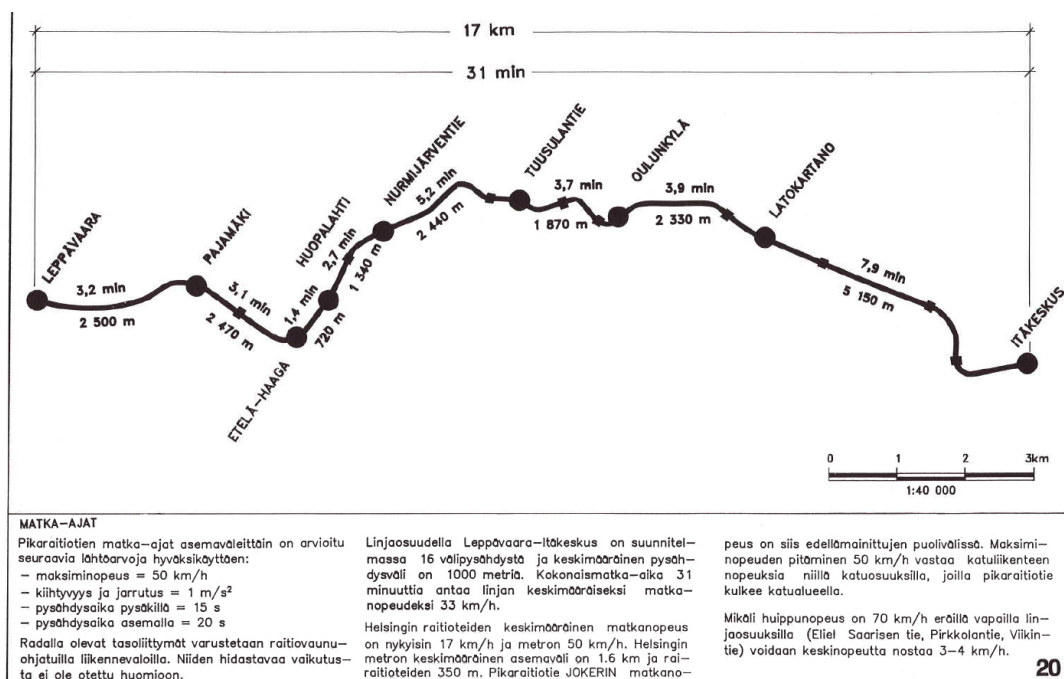
4.1 Raide-Jokeri

Raide-Jokerin suunnittelu alkoi vuonna 1990, kun Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluvirasto esitti teknisen selvityksen pikaraitiolinjalle Itäkeskuksesta Tapiolaan. Jokeri-radan vuoden 1990 suunnitelmassa linjan nopeus arviotiin karkealla menetelmällä. Suunnitelman nopeutta koskeva osuus on esitetty kuvassa 22. Matka-aika arvioitiin asemaväleittäin maksiminopeuden (50 km/h), kiihdytyksien ja jarrutuksien ($1,0 \text{ m/s}^2$) ja pysäkkiaikojen (asemilla 20 s ja pysäkeillä 15 s) perusteella. Linjan matka-ajaksi arvioitiin 31 minuuttia ja keskinopeudeksi 33 km/h. Linjan pituudeksi todettiin 17 km. (HS, 1990)

Vuoden 1990 suunnitelmassa esitettyä nopeusarviota on haastavaa arvioida tarkemmin, koska sen perustana esitetyt luvut eivät ole keskenään johdonmukaisia. Linjan kokonaispituudeksi on esitetty 17 km, vaikka asemavälien yhteenlasku antaa tulokseksi 18,82 km. Ilmeinen virhe on syntynyt Pajamäen ja Etelä-Haagan pysäkkien välissä, joka on suunnitelman tässä osassa todettu 2,47 km pitkäksi, vaikka suunnitelman muiden osien perusteella sen pituus olisi 1,76 km. Toisaalta ottamalla tämä virhe huomioon suunnitellun linjauksen pituus olisi 18,11 km, eli edelleen yli 17 km.

Epäjohdonmukaisuuksista riippumatta nopeusarvio yli 30 km/h raitiotiestä on puutteellinen ja antaa nopeudesta harhaanjohtavan kuvan. Suunnitelmassa radan tasoliittymät on oletettu varustettavan liikennevalloilla, joissa raitiovaunulla on täydelliset etuudet. Tällöin niiden hidastavaa

vaikutusta ei otettu huomioon. Suunnitelman tarkastelutason karkeudesta voinee päätellä, että kuljettajien ajotehokkuutta ja liittymäkohtaisia erityisrajoitteita ei ole huomioitu. Linjauksen ratageometria ei silmämääräisesti arvioiden salli 50 km/h liikennöintiä useissa tiukoissa kaarteissa, mitä ei ole huomioitu. Suunnitelmassa tehtyt virheet ja nopeuden arviointimenetelmän karkeus ovat mahdollisesti syntyneet siksi, että suunnitelma laadittiin sen omin sanoin ”varsin nopealla aikataululla” 5–6 kuukaudessa, jotta hanke saatiin mukaan vuoden 1992 yleiskaavan valmistelutyöhön (HS, 1990).



Kuva 22. Jokeri-radan vuoden 1990 suunnitelmassa esitetyt matka-ajat.

Suunnitelmassa mainittiin tiettävästi ensimmäistä kertaa tavoite pikaraitiotien keskimääräiselle matkanopeudelle: 35 km/h. Tämä tavoite olisi suunnitelman mukaan saavutettavissa, jos matka-aika-arvion pohjana esitettyä 50 km/h maksiminopeutta olisi voinut nostaa tasolle 70 km/h Eliel Saarisen tien, Pirkkolantien ja Viikintien vapailla linjaosuuksilla. (HS, 1990)

Jokeri-rataa ei kuitenkaan toteutettu 1990-luvulla, sillä linjalle arvioituja matkustajamääriä ei koettu tarpeeksi suurina raideliikenteen kustannuksiin nähden. 2000-luvulla toteutettiin sen sijaan bussi-jokeri, joka oli pääosin radan linjausta noudatteleva bussilinja. Bussilinjan suosio ylitti odotukset, jolloin Helsingin ja Espoon kaupungit käynnistivät pikaisesti suunnittelutyön uuden etuliitteen saaneesta Raide-Jokerista. Raide-Jokerin alustava yleissuunnitelma valmistui vuonna 2009. Nykylinjauksesta poiketen suunnitelma laadittiin Espoon osalta linjauksella Leppävaarasta Tapiolaan.

Alustavassa yleissuunnitelmassa pikaraitiotien nopeus arvioitiin tarkemmallalla menetelmällä kuin vuoden 1990 suunnitelmassa. Nopeuden arvioi Transport-Technologie-Consult-Karlsruhe GmbH (TTK), joka oli alustavan

yleissuunnitelman laatineen WSP Finland Oy:n alikonsultti. TTK käytti nopeuden arvioimiseen raideliikenteen simulointiohjelmistoa (FahrplanBearbeitungsSystem – FBS), jonka simulointien lähtöoletuksina käytettiin nykytiedon valossa päteviä lähtöoletuksia. Nämä lähtöoletukset on esitetty taulukossa 7. Simulointien tuloksena Raide-Jokerin keskinopeudeksi arvioitiin 23,9 km/h. Tämä oli vasta toisen simulointikierröksen tulos: ensimmäisellä kierroksella oli mukana kaksi pysäkkiä (Vermo ja Pyhäristi) enemmän, jolloin nopeusarvio oli 23,3 km/h. (TTK GmbH, 2009)

Osa näistä lähtöoletuksista on todettavissa vääräksi nyt vuosikymmentä myöhemmin. Nopeusrajoitus oletettiin vapaaksi, kun raitiotie on omalla kaistallaan. Nykyisin sovelletaan kadun yleistä nopeusrajoitusta. Raide-Jokerille ei myöskään ole onnistuttu toteuttamaan täydellisiä valoetuuksia.

Taulukko 7 Raide-Jokerin alustavan yleissuunnitelman simulointien ja hankesuunnitelman ”staattisten” simulointien lähtöoletukset.

Parametri	Parametrin arvo 2009	Parametrin arvo 2016
Kiihdytykset	<i>Ei täsmennetty</i>	1,2 m/s ²
Jarrutukset	0,8 m/s ²	1,3 m/s ²
Nopeusrajoitus eristetyllä kulkuväylällä	70 km/h	70 km/h
Nopeusrajoitus joukkoliikennekaistalla	Korkeintaan 50 km/h	<i>Ei täsmennetty</i>
Nopeusrajoitus seka-liikennekaistalla	Kadun yleinen nopeusrajoitus	Ilmeisesti 30 km/h
Nopeusrajoitus omalla kaistalla	70 km/h	Kadun yleinen nopeusrajoitus
Valo-ohjatut liittymät, joissa etuudet	30 km/h pistemäinen nopeusrajoitus	Väitetyksi huomioitu joutenkin
Valo-ohjatut liittymät, joissa ei etuuksia	0 s pakollinen pysähdys	Väitetyksi huomioitu joutenkin
Liittymäviiveet	Oletettu täydelliset valoetuudet	Ei viiveitä, täydelliset valoetuudet
Valo-ohjaamattomat liittymät	<i>Ei täsmennetty</i>	20 km/h
Vastavaihteet	15–40 km/h kaarresäteen mukaan	<i>Ei täsmennetty</i>
Myötävaihteet	Ei vaikutusta	<i>Ei täsmennetty</i>
Pysäkkiajat	30 s juna-asemien pysäkkeillä (3 kpl), muilla 24 s	32 s jos yli 80 matk. /pys. 25 s jos yli 40 matk. /pys. 20 s jos alle 40 matk./pys.
Raidegeometria	R = 50 m 20-30 km/h R = 100 m 25-45 km/h R = 200 m 40-65 km/h R = 400 m 60-95 km/h	<i>Ei täsmennetty</i>
Kuljettajien ajotehokkuus	<i>Ei täsmennetty</i>	100 %

Raide-Jokerin alustavassa yleissuunnitelmassa Raide-Jokerin keskinopeus-tavoitteeksi asetettiin 25 km/h. Raportin tiivistelmässä kuitenkin esitettiin simulointien mukaisesti raitiotien matkanopeudeksi 24 km/h (WSP, 2009). Lukuarvo 25 km/h nostettiin tavoitteelliseksi, jotta myöhemmissä suunnitteluvaiheissa raitiotien nopeus ei tahattomasti tippuisi (Kangas, 2021).

Raide-Jokerin alustavan yleissuunnitelman valmistumisen jälkeen suunnittelua jatkettiin Raide-Jokerin hankesuunnitelmassa, joka valmistui vuonna 2016. Tässä suunnitteluvaiheessa keskustelu eri nopeuskäsitteistä hämärtyi: ero nopeustavoitteen ja varsinaisen nopeuden välillä tuntui kadonneen kokonaan. Lisäksi hankesuunnitelma oli itsessään epäjohdonmukainen sen suhteen, mikä on Raide-Jokerin varsinainen nopeus.

Hankesuunnitelmassa Raide-Jokerin nopeus arvioitiin OpenTrack-simuloinneilla. Taulukossa 7 on esitetty ”staattisten” simulointien parametrit vuoden 2009 parametrien rinnalla. Sana staattinen on korostettu siksi, että osana hankesuunnitelmaa tehtiin myös ”dynaamiset” simuloinnit. Niissä kuljettajien ajotehokkuus ja pysäkkiajat esitettiin jakaumina vakiokeskiarvojen sijaan ja tulos esitettiin kolmen tunnin simuloidun liikennöinnin keskiarvona. Lisäksi simuloinnit poikkesivat toisistaan siten, että dynaamisen simuloinnin keskimääräinen kuljettajien ajotehokkuus oli ”realistinen” 95 %, toisin kuin staattisen ”teoreettinen” 100 %. Staattisen simuloinnin tulos raitiotien keskinopeudeksi oli 25,0 km/h ilman Vermon pysäkkiä ja 24,8 km/h pysäkin kanssa. Dynaamisen simuloinnin vastaava tulos oli 24,2 km/h ilman Vermon pysäkkiä ja 24,0 km/h pysäkin kanssa. (Ramboll, 2015)

Hankesuunnitelmassa näitä kahden eri simuloinnin tuloksia käsitellään sekavasti. Linjan kalustotarpeen määrittäminen on laskettu hitaamman dynaamisen simuloinnin tuloksen mukaan. Toisaalta arvioidaan, että linjan operointi keskinopeudella 25 km/h olisi mahdollista Artic X34 -raitiovaunua vastaavalla kalustolla. Samaten hankesuunnitelman tiivistelmässä esitetään, että linjan keskimääräinen matkanopeus olisi 25 km/h. (WSP & Ramboll, 2015) Luku 25 km/h päättyi sellaisenaan myös Raide-Jokerin hankearvioinnin lähtötiedoksi (Helsingin kaupunki, ym., 2016).

Luku 25 km/h myös päättyi edustamaan Raide-Jokeria kaikessa hanketta koskevissa keskusteluissa. Hankkeen sivuilla edelleen väitetään, että raitiotien keskinopeus on 25 km/h (Raide-Jokerin projektitoimisto, 2021). Luovut menivät sekaisin myös hankkeen sisällä. Vaikka Raide-Jokeri ei koskaan saavuttanut keskinopeutta 25 km/h missään realistisessa simuloinnissa, Raide-Jokerin allianssin sisällä nousi hämmästyks, kun jatkosimuloinneissa tätä keskinopeutta ei saavutettu. (Kangas, 2021)

On hyvä kysymys, miksi tiedot Raide-Jokerin nopeuksista sekoittuivat vuonna 2015. Realistinen nopeusarvio oli olemassa ja se tunnettiin, mutta jostain syystä käytettiin epärealistista tietoa. On mahdollista, että viestintä hankkeen sisällä eri nopeusarvioista epäonnistui, tai sitten hankkeen sisällä tietoisesti jatkettiin epärealistisella ja ”tavoitteellisella” tiedolla. Hankesuunnitelmassa saatettiin jatkaa alustavan yleissuunnitelman ajatusta siitä, että

pitämällä tavoite silloista arviota korkeammalla suunnittelua voitaisiin kirit-
tää kohti nopeampaa raitiotietä. Raitiotien linjaus ja nopeuteen vaikuttavat
tekijät olivat kuitenkin pitkälti lukittuja, ja nopeusarvion pohjalla olevat ole-
lutukset olivat jo kunnianhimoisia.

Tavoite 25 km/h raitiotiestä ei myöskään tosiasiassa näytä vaikuttaneen
Raide-Jokerin suunnitteluun kovinkaan merkittävästi. Hankesuunnitel-
massa tutkittiin nopeuteen vaikuttavia vaihtoehtoisia linjauksia Otanie-
messä, Otaniementien pohjoisosassa, Kehä I:n varrella ja Laajalahdessa.
Vain yhdessä tapauksessa eli Kehä I:n varrella jatkoon valittiin nopein rat-
kaisu, ja sekin ensisijaisesti muista syistä (Kehä I kehitys ja puistoalue). Li-
säksi hankesuunnitelmaa seuraavissa suunnitteluvaiheissa linjaukselle lisät-
tiin yksi pysäkki Vermoon, mikä kasvatti linjan matka-aikaa (HS, 2018).

Toisaalta näistä vaihtoehtoista käytiin hankkeen sisällä paljon keskuste-
lujia. Kangas (2021) toteaa itse pitäneensä tärkeänä sitä, että linjan keskino-
peuden nostamiseksi ei tehtäisi muutoin epätarkoituksenmukaisia ratkai-
suja. Esimerkiksi Viikissä Raide-Jokerin linjaus Viikinkaarella on merkittä-
västi hitaampi ja kalliimpi kuin vaihtoehtoinen linjaus Viikintiellä. Linjausta
ei voinut kuitenkaan siirtää, jotta Viikin tiedepuiston pysäkki saatiin pidettyä
keskeisellä paikalla. Hankkeen sisällä Vermon pysäkin lisäämisestä keskus-
teltiin erityisen paljon. Hankkeen johtoryhmä piti tärkeänä linjan keskino-
peutta ja teetti aiheesta useita selvityksiä. Toisaalta useat suunnittelijat ja py-
säkkiä vaatinut Espoon kaupunki pitivät selvänä, että uusi tuhansien asuk-
kaiden Vermonniityn asuinalue tarvitsee oman pysäkkinsä.

Raide-Jokerin allianssin viimeisimmän arvion mukaan Raide-Jokerin
keskinopeus on 24,3 km/h (Raide-Jokerin projektitoimisto, 2020). Allians-
sin aikaisemmissa nopeustarkasteluissa vuonna 2018 nopeusarvio oli vielä
pienempi: kesäkuussa 22,8 km/h ja lokakuussa 23,2 km/h (Raide-Jokerin
projektitoimisto, 2018). Toisaalta näissäkin arvioissa on omat haasteensa.
Vuoden 2018 simuloinnit laadittiin 100 % kuljettajien ajotehokkuudella, joka
todettiin jo hankesuunnitelmassa vain teoreettiseksi. Arviot vaihtelevat mer-
kittävästi myös sen osalta, millä nopeudella raitiovaunu voi saapua pysäkki-
alueelle. Vuoden 2018 simuloinneissa pysäkeille saapumisnopeus oli rajoi-
tettu nopeuteen 20 km/h. Vuoden 2020 simuloinneissa tämä nopeusrajoitus
oli nostettu nopeuteen 30 km/h. Tämän 30 km/h nopeusrajoituksen poisto
vähentäisi simuloitua matka-aikaa noin puoli minuuttia per ajosuunta.

Lisäksi vuoden 2020 nopeusarvio ei sisällä ajoajan pelivaraa tai pysäk-
kiaikojen pelivaraa, eli kaikki ajantasausaika on sijoitettu päätepysäkeille.
Raide-Jokerin pituisella linjalla osa ajantasausajasta olisi syytä sijoittaa lin-
jalle. Jos kaiken ajantasausajan (3 min suuntaansa) sisällyttäisi matka-ai-
kaan, Raide-Jokerin viimeisimmän arvion keskinopeus olisi 23,1 km/h.

Kankaan (2021) mukaan ajantasausaikojen sijoittumisesta on käyty useita
keskusteluja hankkeen sisällä. Toisaalta koko hankkeen keskeinen tavoite on
parantaa joukkoliikenteen luotettavuutta ja täsmällisyyttä korvaamalla
ruuhkautunut bussilinja. Tämä on ristiriidassa matkanopeuden

maksimoimisen kanssa, joka toisaalta on allianssin tavoitemittarina. Kangas myös epäilee kokemuksensa perusteella nopeusarvion paikkansapitävyyttä, koska siinä on oletettu useimpien liittymien valoetuuksien täydellisyys, kuljettajien ajotehokkuus on oletettu korkeaksi ja linjauksen suuri määrä suojaiteita voi kasata epäonnekkaalle lähdölle paljon viiveitä.

Jää nähtäväksi, mille tasolle keskinopeus asettuu liikennöinnin alkaessa vuonna 2024. Tampereen ratikan matka-aika kasvoi noin minuutilla viimeisen matka-aikasimuloinnin ja liikennöinnin alun välillä. On siis todennäköistä, että Raide-Jokerin keskinopeus asettuu tasoon 23–24 km/h.

4.2 Raideliikenteen verkostoselvitys 2015

Hieman ennen Raide-Jokerin hankesuunnitelman laadintaa vuosina 2014–2015 Helsingin kaupunki laati tulevan yleiskaavansa raideliikenteen verkkoselvityksen. Selvityksen tavoitteena oli palvella Helsingin maankäytön kehityskuvaa ja ohjata liikenneverkon strategista suunnittelua. Työn keskeinen päätelmä oli, että Helsingin liikennejärjestelmää suositeltiin kehitettävän maanpäällisen pikaraitioverkon varaan. Maanpäällisen pikaraitioverkon vertailuvaihtoehtoina oli runkobussilinjasto, Töölön metro ja osittain maanalaiset pikaraitiotiet. Työn lähtökohdissa oletettiin mm. Pisara-radan ja Lento-radan toteutuminen. (Helsingin kaupunki, 2015)

Verkkoselvityksessä oletettiin pikaraitioteiden keskinopeudeksi lähes kaikilla uusilla pysäkkiväleillä 25 km/h. Tästä poikettiin Raide-Jokerin ja Kruunusiltojen linjauksilla, joilla pysäkkivälittaiset nopeusarviot perustuivat tarkempiin arvioihin. Selvityksessä nopeustason todettiin vaativan raitioliikenteen vahvaa priorisointia katutilassa. (Helsingin kaupunki, 2015)

Toisaalta selvityksessä laadittiin erillinen herkkyystarkastelu tilanteesta, jossa raitioliikenne olisi päätarkastelua hitaampaa. Tarkastelun muotoilu paljastaa, että nopeutta 25 km/h sovellettiin nopeustavoitteena. Herkkyystarkastelussa oletettiin, että keskinopeustaso olisi 25 km/h sijaan vain 22 km/h valikoiduilla pikaraitioteilla: Vihdintien, Hämeenlinnanbulevardin, Tuusulanbulevardin, Lahdenbulevardin ja Viikin-Malmin pikaraitiotieosuuksilla sekä Koirasaarentien, Vallilanlaakson, Lääkärinkadun jatkeen ja Kuusisaaren ja Lehtisaaren rataosuuksilla. Nopeustasoksi oletettiin 20 km/h Yliskylässä, Vuosaaressa, Sompasaaressa sekä Hämeentien, Mäkelänekadun ja Mannerheimintien kantakaupungin pohjoisemmissa osissa. Mannerheimintielle Töölön tulin eteläpuolella ja Hämeentielle Mäkelänekadun eteläpuolella nopeudeksi oletettiin 18 km/h. Raide-Jokerin nopeudeksi oletettiin edelleen 25 km/h. (Helsingin kaupunki, 2015)

Työn keskeinen päätelmä ja suositus perustui siihen, että maanpäällisen pikaraitioliikenteen yhteiskuntataloudellinen kannattavuus oli paras kaikista vertailuvaihtoehtoista. Päätarkastelun karkeaksi hyöty-kustannussuhteeksi laskettiin 1,8. Tulos kuitenkin perustuu osin pikaraitioteiden korkeaan nopeuteen. Raide-Jokerin ja muiden hankkeiden kautta on tullut selväksi,

että hitaamman nopeuden herkkyytstarkastelu on realistisempi. Toisaalta herkkyytstarkastelussakin on ylioptimistisia oletuksia, kuten Raide-Jokerin keskinopeus 25 km/h. Herkkyytstarkastelun tulos oli, että pikaraitioliikenteen aika- ja palvelutasohyödyt pienenevät 60 %. Lisäksi liikennöintikustannukset olisivat korkeammat ja joukkoliikenteen lipputulot pienemmät. Karkea hyöty-kustannussuhde laskisi tällöin tasoon 1,5.

Toisaalta nopeus ei ole ainoa tekijä, josta tehtiin optimistisia oletuksia. Pikaraitioliikenteen liikennöinti oletettiin kaupunkiraitioliikennettä halvemmaksi, vaikka nykyisin kustannusten oletetaan olevan pitkälti samalla tasolla. Pikaraitioliikenteen investointikustannukset oletettiin Raide-Jokerin hankesuunnitelman mukaisiksi, mutta kustannustaso on myöhemmin vakiintunut noin 30–40 % korkeammaksi. Jos karkeaan hyöty-kustannussuhteeseen lasketaan mukaan kolmanneksen nousu investointikustannuksissa ja oletettua korkeammat liikennöintikustannukset, suhde laskee alle yhden.

Miksi tässä diplomityössä käsiteltiin pikaraitioliikenteen investointikustannuksia? Tarkoitus on esittää, että pikaraitioliikenteen nopeus ei ole ainoa pikaraitioliikenteen ominaisuus, joka arvioitiin optimistisesti viime vuosikymmenellä. Optimistiset arviot eivät olleet täysin perusteettomia: useat verkostaselvityksen oletukset perustuivat enemmän tai vähemmän ilmeisesti Raide-Jokerin suunnitteluun. Virheet tai vajeat tiedot päätyivät käyttöön helposti, koska parempaakaan tietoa ei ollut olemassa. Verkostaselvityksen laatimiseen ei ollut olemassa hyviä lähtötietoja. Osittain tämä ilmeisesti tunnustettiin, koska verkostaselvityksessä laadittiin paljon herkkyytstarkasteluja. Kangas (Kangas, 2021) toteaa itsekkin sen, että optimististen ja ”realististen” arvioiden väliltä on hankala löytää tasapainoa, kun verrokkietietoa ei ole. Hankkeiden sisällä käy myös helposti niin, että pyritään välttämään turhaa synkistelyä ja toivotaan asioiden ratkeavan helpommin.

Verkostaselvityksen johtopäätöksistä on hyvä merkitä muistiin vielä yksi havainto: tarkastelujen perusteella vaikutti siltä, että pikaraitioliikenteen mielekäs toiminta-alue on noin Kehä I:n sisäpuolinen alue. Malmin entisen lentokenttäalueen herkkyytstarkastelussa todettiin, että Viikin-Malmin pikaraitiotien ulottaminen Raide-Jokeri 2:n linjauksen ulkopuolelle vaatii harkintaa. Lisäksi selvityksen bussiliikenteeseen perustuvassa vertailuvaihtoehdossa on omat haasteensa.

4.3 Kruunusillat

Kruunusillat-raitiotieyhteyden yleissuunnitelma valmistui vuonna 2016. Raitiotien keskinopeuden tavoitetasoksi ei asetettu 25 km/h, eikä nopeustavoitetta mainita missään yleissuunnitelman aineistossa. Hanke poikkeaa siis hieman aikaisemmin laadituista Raide-Jokerin hankesuunnitelmasta ja Raitieliikenteen verkostaselvityksestä, joissa nopeustavoite oli vahvasti esillä.

Molempien yleissuunnitelmassa esitettyjen raitiolinjojen (Yliskylä-Rautatientori ja Haakoninlahti-Kolmikulma) keskinopeudeksi todetaan 22 km/h.

Yleissuunnitelmassa raitiotien suurin sallittu nopeus Kruunuvuorensillalla on 60 km/h ja muualla katuverkon nopeusrajoitusten mukainen. Keskinopeus 22 km/h todetaan selvästi kaupunkiraitioliikenteen keskinopeutta 14,5 km/h korkeammaksi. Eri osuuksilla raitiotien keskinopeus jakautuu siten, että keskustan ja Nihdin välillä keskinopeus on noin 17 km/h sekä Nihdin ja Yliskylän välillä noin 26 km/h. (Sito, 2016, s. 69)

Toisaalta Kruunusiltojen keskinopeutta ei ole syytä tarkastella samasta näkökulmasta kuin Raide-Jokerin. Raide-Jokerin keskinopeustavoitetta kritti bussi-jokerin keskinopeus – raitiotien ei olisi haluttu olevan hitaampi kuin bussilinja, jonka se korvasi. Sen sijaan Kruunusiltojen tapauksessa lähimmät vertailukohteet ovat joka tapauksessa paljon hitaampia.

Kruunusiltojen keskinopeuden arviota tarkennettiin vuosina 2017 ja 2019 HSL:n tilaamina konsulttitöinä. Vuoden 2017 arvio tilattiin VR-Trackiltä, ja arvion tarkoituksena oli viedä kalusto- ja varikkohankintoja eteenpäin. Arvio tilattiin tarkoituksella pessimistisellä lähtöarviolla: jokaiseen raitiotien liittymään muun liikenteen kanssa asetettiin 20 km/h pistemäinen nopeusrajoitus, minkä lisäksi vaihteiden nopeusrajoituksiksi asetettiin vaihteen tyyppin mukaan 15–25 km/h. (Räty, 2021) Toisaalta matka-aika-arviossa sovellettiin kuljettajien ajotehokkuudeksi 100 %. Raitiovaunun kiihtyvyydet rajoitettiin tasoon $\pm 0,8$ m/s². Vuoden 2017 arvion mukaan korkein mahdollinen keskinopeus Hakaniemen ja Yliskylän välillä olisi 19,8 km/h sekä Hakaniemen ja Haakoninlahden välillä 19,4 km/h. (VR-Track, 2017)

Vuoden 2019 uusi arvio tilattiin NRC Groupilta, joka oli ostanut VR Trackin. Simulointityöhön sisältyi tällä kertaa myös Kalasataman raitiotien uusi rataosuus Nihdistä Vallilanlaaksoon. Uudessa arviossa sovellettiin samaa mallia kuin kahta vuotta aikaisemmin, mutta oletuksia tehtiin osin vieläkin pessimistisemmiksi: valo-ohjaamattomiin liittymiin asetettiin 20 km/h nopeusrajoitus. Muitakin nopeusrajoituksia muutettiin. Kuljettajien ajotehokkuus on tässä arviossa keskimäärin 95 %. Vuoden 2019 arviossa keskinopeus Hakaniemen ja Yliskylän välillä on 18,3 km/h sekä Hakaniemen ja Haakoninlahden välillä 18,1 km/h. (VR-Track, 2017)

Kruunusiltojen viimeisin arvio linjan matka-ajasta on vuoden 2021 loka-kuulta. Simuloinnit laati Sweco, joka oli ostanut aikaisemmista simuloinneista vastanneet liiketoiminnot NRC Groupilta. Matka-ajaksi Hakaniemen ja Rautatieaseman välillä arvioitiin 6–7 min. Matka-aika Hakaniemen ja itäisten päätepysäkkien välillä arvioitiin jälleen OpenTrack-simuloinneilla. Simulointien parametrit määritettiin seuraavasti: kaikkien pysäkkien pysäkkiaika on 25 s, kuljettajien ajotehokkuus on 98 % ja raitiovaunun kiihtyvyydet on rajoitettu tasoon $\pm 0,8$ m/s². Pysäkkien kohdalle asetettiin 30 km/h nopeusrajoitus ja valo-ohjatuissa liittymissä on oletettu täydelliset valoetuu-
det. Valo-ohjaamattomissa liittymissä nopeusrajoitus on 20 km/h. Matka-ajaksi arvioitiin Rautatieaseman ja Yliskylän välillä 29 min (19 km/h) sekä Rautatieaseman ja Haakoninlahden välillä 21 min (19 km/h). (Sweco, 2021b)

4.4 Vantaan ratikka

Vantaan ratikan yleissuunnitelma valmistui vuonna 2019. Yleissuunnitelmassa raitiotien matka-aikaa tarkasteltiin RailPlan-simuloinneilla, jotka laati WSP UK. Simulointien lähtöoletukset olivat muutoin tavanomaiset, mutta kuljettajien ajotehokkuus arvioitiin aikaisempia hankkeita monimutkaisemmalla menetelmällä. Simuloinneissa arvioitu kokonaismatka-aika laskettiin siten, että 100 % ajotehokkuudella simuloituun matka-aikaan ynnätettiin 97 % ja 92 % ajotehokkuuksilla simuloitujen matka-aikojen erotus. Arvioitu matka-aika idän suuntaan oli 47 min 20 s (24,46 km/h) ja lännen suuntaan 46 min 38 s (24,83 km/h). (WSP, 2019)

Vantaan ratikan arvioitu keskinopeus oli siis lähellä tavoitetta 25 km/h. Yleissuunnitelmassa mainitaankin, että Vantaan kaupunginhallitus päätti 12.11.2018 Vantaan ratikan tavoitteeksi yli 25 km/h (WSP, 2019, s. 6). Tavoite mainitaan myös edellisen suunnitteluvaiheen raportissa: Raide-Jokeri 3 alustavassa yleissuunnitelmassa. Siinä todetaan, että keskinopeuden tavoitteena on vähintään 25 km/h. (WSP, 2018, s. 18)

Keskinopeustavoite 25 km/h on siis ollut näkyvämminkin esillä kuin missään muussa pääkaupunkiseudun pikaraitiotiehankkeessa. Vantaan ratikan hanketohtajan Tiina Hulkon (2021) mukaan nopeustavoite ei ole kuitenkaan lähtöisin Vantaalta, vaan tämä tuli osaksi suunnittelua pitkälti HSL:n vaikutuksesta. Vantaan kaupungin oma tavoite raitiotien suunnitteluun oli, että raitiotie olisi mahdollisimman nopea siten, ettei pysäkkiväli karkaa liian pitkäksi. Keskinopeustavoitteelle, joka kiteytyy numeroon 25, ei ole esitetty muuta perustetta tai kirjallisuutta kuin HSL:n näkemys.

Hulkon näkemystä HSL:n vaikutuksesta tukee HSL:n osastonjohtajan Tero Anttilan pitämä esitys Vantaan kaupunginvaltuustolle ja -hallitukselle 25.11.2019. Esityksessä on useita kohtia, jotka korostavat pikaraitiotiiliikenteen nopeustavoitetta enemmän kuin useimmissa muissa raitiotien nopeutta käsittelevissä lähteissä. Esityksen viimeisellä kalvolla koostetaan ”HSL:n perusviestit”, joista ensimmäisen mukaan pitää ajatella isosti, jotta tehdään hyvä pikaraitiotie. Toinen neljästä alakohdasta tälle perusviestille on nopeustavoite 25 km/h. Toinen perusviesti ”*Huonoa ratikkaa ei kannata tehdä ollenkaan – tinkiminen tavoitteista toteutuksen aikana on myrkyä ja tulee kalliiksi*” korostaa sitä, että HSL näkee keskinopeustavoitteen tärkeäksi. Lisäksi läpi esityksen useasti korostetaan näkemystä siitä, että pikaraitiotiet ovat osa seudullista runkoverkkoa. (Anttila, 2019)

Anttilan esitys pidettiin yleissuunnitelman valmistumisen jälkeen, mutta tässä työssä oletetaan, että HSL on viestinyt samansuuntaisesti myös ennen yleissuunnitelmaa. Nopeustavoitetta 25 km/h on lisäksi tukenut se, että yleissuunnitelmassa raitiotien nopeus arvioitiin lähelle nopeustavoitetta. Lienee todennäköistä, että jos Vantaan ratikan yleissuunnitelman nopeusarvio olisi ollut suurempi tai pienempi, nopeustavoite olisi ollut eri.

Vantaan ratikan matka-aikaa arvioitiin seuraavan kerran vuonna 2020, jolloin raitiotien keskinopeus tarkentui alaspäin. Allekirjoittanut osallistui tähän työhön, jonka laati WSP. Vantaan ratikan yleissuunnitelmaan oli tehty joitakin tarkennuksia, joiden vaikutuksia raitiotien matka-aikaan arvioitiin. Syynä nopeusarvion laskemiseen ei kuitenkaan ollut enimmäkseen yleissuunnitelman tarkennukset, vaan simulointitekniset virheet yleissuunnitelman matka-aika-arviossa. Esimerkiksi yleissuunnitelman matka-aika-arviossa on mielenkiintoinen ero eri suuntien välillä. Tämä ero selittyy osittain sillä, että yleissuunnitelman simulointimallin lännen suunnan raiteista oli jäänyt puuttumaan Mellunmäen päätepysäkkiä edeltävä tiukka käännös.

Kesän 2020 arvion mukaan ratikan keskinopeus olisi 23–24 km/h riippuen liittymien valo-ohjauksesta ja pysäkkien määrästä. Yleissuunnitelmassa esitettyä Jokiniemen pysäkkiä harkittiin myöhemmin toteutettavaksi ja Flamingon viereen pohdittiin lisäpysäkkiä. Hitaampi arvio perustui siihen, että linjalla olisi valo-ohjaamattomia suojateitä ja molemmat pysäkit. Muuttamalla nämä valo-ohjatuiksi ja poistamalla mainitut kaksi pysäkkiä saatiin nopeampi arvio. Arvio tehtiin OpenTrack-simuloinneilla. Simuloinneissa kiihtyvyydet rajoitettiin tasoon 1,2 m/s², ajotehokkuudeksi oletettiin 95 %, valo-ohjaamattomille liittymille asetettiin 20 km/h nopeusrajoitus ja valo-ohjatuille 10 km/h mitoitusnopeutta alempi nopeusrajoitus. (WSP, 2020)

Nopeusarvio tarkentui edelleen vuonna 2021 Swecon laatimissa Vantaan ratikan OpenTrack-simuloinneissa, jossa huomioitiin ratikan suunnittelutilanne toukokuussa 2021. Simuloinneissa ajotehokkuudeksi oletettiin 95 %, valo-ohjattujen ja valo-ohjaamattomien liittymien miniminopeudeksi asetettiin 30 km/h ja liittymäviiveet poimittiin WSP:n laatimista Vissim-toimivuustarkasteluista. Liittymäviiveiden yhteenlaskettu suuruus oli 1,3 minuuttia. Seka- ja joukkoliikennekaistoilla ei käytetty nopeustason hidastuksia. Raitiotien matka-ajaksi arvioitiin 49,7 minuuttia (23,4 km/h). (Sweco, 2021a)

4.5 Vihdintien pikaraitiotie

Vihdintien pikaraitiotien yleissuunnitelma valmistui vuonna 2020 nimellä Länsi-Helsingin raitioteiden yleissuunnitelma. Vihdintien pikaraitiotien suunnitelmiin yhdistettiin Topeliuksenkadun ja Fredrikinkadun raitiotiet. Yleissuunnitelmassa Vihdintien pikaraitiotien keskinopeudeksi arvioitiin 20 km/h ja matka-ajaksi Kolmikulmasta Kantelettarentielle noin 30 minuuttia. Arvio perustuu siihen, että matka-aika Kantelettarentieltä Munkkiniemeen olisi 14 minuuttia (keskinopeus 22 km/h) ja matka-aika Munkkiniemestä Lasipalatsille 14 minuuttia (keskinopeus 20 km/h). Suunnitelman mukaan nykyisin matka-aika Lasipalatsilta Munkkiniemeen on 17 minuuttia (keskinopeus 17 km/h). 14 minuutin matka-aika välillä esitetään tavoiteaikana, joka ilmeisesti perustuu raitioliikenteen kehittämisohjelmaan. (Helsingin kaupunki, 2020)

Yleissuunnitelman liikennöintikustannuksien ja kalustomäärän arviota varten nopeus arvioitiin tosin eri tavalla kuin yleissuunnitelman liikennötiosiossa esitettiin. Kantelettarentien ja Munkkiniemen välillä keskinopeudeksi arvioitiin optimistisesti noin 24 km/h. Toisaalta Munkkiniemen ja keskustan välillä keskinopeudeksi arvioitiin pessimistisesti yleissuunnitelman aikaisen raitioliikenteen aikataulujen mukainen nopeus. Kokonaismatka-aika Kolmikulman ja Kantelettarentien välillä vaihteli tällä arviointimenetelmällä 31 ja 34 minuutin välillä, eli noin 18,5–20,0 km/h. (Metsälampi, 2021)

Vihdintien pikaraitiotien nopeutta arvioitiin seuraavan kerran vuonna 2021, kun WSP laati kaupungin toimeksiannosta läntisen bulevardikaupungin liikenteen toimivuustarkastelut. Työssä tarkasteltiin Vissim-simulointiohjelmalla pikaraitiotien uusien rataosuuksien katujen liikenteen toimivuutta vuoden 2050 tilanteessa, jossa läntinen bulevardikaupunki on toteutettu. Työn tuloksena kehittyi myös arvio pikaraitiotien matka-ajasta. Raitioliikenteelle pyrittiin osoittamaan mahdollisimman hyvät valoetuuudet, mutta liittymissä taattiin ensisijaisesti autoliikenteen välityskyky. Pikaraitiolinjan matka-ajaksi Paciuksenkadun ja Laulukujan välillä arvioitiin 18–19 minuuttia ja keskinopeudeksi 18–19 km/h. (WSP, 2021a)

Tulosten perusteella Vihdintien pikaraitiotien keskinopeus sekä uudella pikaraitio-osuudella ja koko linjan pituudella jäisi alle 20 km/h, vaikka tavoiteaika kantakaupungissa saavutettaisiin täysimääräisesti. Tämä keskinopeus vastaa Raitioteiden suunnitteluohjeen tavoitteita. Linja palvelee enimmäkseen jatkuvaa kaupunkirakennetta, jolloin sen keskimääräinen pysäkkiväli on noin 500 metriä ja keskinopeus 18–21 km/h.

Toisaalta Vihdintien pikaraitiotie on kaukana pikaraitioteiden keskinopeustavoitteesta 25 km/h. Keskinopeustavoitetta ei mainita missään linjan suunnitelmissa. Anttila (2021) vahvistaa, että Vihdintien pikaraitiotien kaltaisilla pikaraitioteilla HSL ei ole peräänkuuluttanut nopeustavoitetta yhtä vahvasti kuin esimerkiksi Vantaan ratikalla taikka Raide-Jokerilla. Tavoite ymmärrettiin mahdottomaksi saavuttaa, sillä uusi rataosuus muodosti niin pienen osan koko linjan pituudesta.

Useat tähän työhön haastatellut ovat kuitenkin huolissaan siitä, että viimeisin arvio pikaraitio-osuuden keskinopeudesta on alle 20 km/h. Heistä keskinopeustavoitteen alittaminen on hyväksyttävää, mutta alle 20 km/h keskinopeus pikaosuudella on jo hankala hyväksyä. Kangas (2021) näkee, että pikaraitiotietä ei voisi tällä nopeustasolla jatkaa yleiskaavan mukaisesti Vantaan suuntaan. Rätty (2021) pohtii samaa ja toteaa, että pysäkkiväli on pikaraitiotieksi lyhyt ja liikennöintiympäristö Lassilassa ei ole kovin nopeaa. Metsälampi (2021) toivoo, että jatkosuunnittelussa raitiotietä voisi nopeuttaa vaikka tarkastelemalla pysäkkiverkkoa. Helsingin maankäytön suunnittelun mukaan bulevardikaupungin ja liikenneverkon reunaehdot eivät mahdollista pysäkkiverkon kovin suurta muuttamista. Anttila (2021) toteaa, että Vihdintiellä pikaraitiotietä kehitetäänkin pitkälti maankäytön ehdoilla liikenneteknisten lähtökohtien sijaan.

4.6 Viikin-Malmin pikaraitiotie

Viikin-Malmin pikaraitiotien yleissuunnitelma laadittiin pääosin vuosien 2020 ja 2021 aikana. Yleissuunnitelman nopeusarvion laati allekirjoittanut. Yleissuunnitelman rajaukseen sisältyi uudet rataosuudet Kumpulasta pohjoiseen. Kumpulan ja Rautatieaseman välisen rataosuuden nopeusarvio perustuu raitioliikenteen kehittämisohjelman tavoitteisiin. Kumpulan kampuksen ja Rautatieaseman väliseksi matka-ajaksi oletettiin noin 15 minuuttia, kun matka-aika yleissuunnitelman laatimisen aikaan (Hämeentien uudistuksen toteuduttua) oli noin 19 minuuttia. (WSP, n.d.)

Nopeusarvio Kumpulan kampuksen ja koillisten päätepysäkkivaihtoehtojen välille tehtiin OpenTrack-simuloinneilla. Simuloinneissa yleissuunnitelmasivaiheen puutteellisia tietoja, kuten liittymäviiveitä, kompensoitiin rajoittamalla raitiolinjan kiihtyvyyksiä ja kasvattamalla ajoaikoja viisi prosenttia. Simulointien ajotehokkuus oli 95 %, ja kiihtyvyydet rajoitettiin tasoon $\pm 0,8$ m/s². Matka-ajaksi Rautatieasemalta Malmin sairaalalle arvioitiin 42 minuuttia (22 km/h) ja Vaaralaan 44 minuuttia (23 km/h). Keskinopeusarvio yksin uusille rataosuuksille Kumpulan kampukselta Malmin sairaalalle on 24,4 km/h ja Vaaralaan 25,5 km/h. (WSP, n.d.) Kuten Kruunusiltojen ja Vihdintien pikaraitiotien yleissuunnitelmissa, keskinopeustavoitetta 25 km/h ei mainita lainkaan. Tavoite ei myöskään vaikuttanut suunnitteluun.

Osana yleissuunnitelmaa tehtiin myös tarkempi arvio raitiotien matka-ajasta, koska edellä esitetty arvio on epävarma vielä ennen tarkempaa suunnittelua. Tarkastelussa esitetään, että arviossa on varattu noin 2,5 minuuttia liittymäviiveille ja muille tuleville nopeutta laskeville tekijöille. Toisin sanoen jos jatkosuunnittelussa olisi mahdollista toteuttaa täydelliset valoetudet, raitiotie voisi olla noin 2,5 minuuttia nopeampi. Matka-aika voi myös kasvaa jatkosuunnittelussa, kuten muissakin hankkeissa on käynyt. Tarkastelun keskeinen viesti on, että yleissuunnitelman arvio matka-ajasta on vain yksi mahdollinen arvo todennäköiseltä vaihteluväliltä. (WSP, n.d.)

4.7 Matinkylä–Leppävaara raitiotie

Edellisten hankkeiden lisäksi on vielä yksi pikaraitiotiehanke, josta on laadittu yleissuunnitelmatason nopeusarvio. Se on pikaraitiotie välillä Matinkylä–Leppävaara–(Myyrmäki). Tarkastelu ei kuitenkaan ollut osa raitiotien yleissuunnitelmaa, vaan vuonna 2021 valmistunutta esisuunnitelmatason *Maankäytön ja joukkoliikenteen kehittämistarkastelu välillä Matinkylä – Leppävaara – (Myyrmäki)*. Työn lyhenne on Majomale, jota käytetään myös tässä työssä. Työn laati WSP ja allekirjoittanut laati nopeusarvion.

Majomalen vaihtoehtoisten linjausten matka-ajat arvioitiin OpenTrack-simuloinneilla. Simuloinneissa raitiovaunujen ajotehokkuus rajoitettiin 90 % ja kiihtyvyydet tasoon $\pm 0,8$ m/s². Majomalen suosituslinjaukseksi

esitettiin Leppävaarassa radan eteläpuolta kulkevaa linjausta, jonka matka-ajaksi Matinkylästä Myyrmäkeen arvioitiin 58 min (22,1 km/h). Majomalesta tehtiin samanlainen nopeuden herkkyystarkastelu kuin Viikin-Malmin pikaraitiotiestä. Matka-aika-arvion vaihteluväli on noin 2,5 min. (WSP, 2021b)

Majomale on mielenkiintoinen hanke siitä näkökulmasta, miten sitä käsiteltiin MAL 2019 -suunnitelmassa. Suunnitelma on Helsingin seudun maankäytön, asumisen ja liikenteen strateginen suunnitelma, jossa kuvataan, miten seutua pitäisi kehittää vuosina 2019–2050. Osana MAL-suunnitelmaa laadittiin pikaraitioteiden tarkastelu, jonka tavoitteena oli selvittää, mitä hankkeita esitetään MAL-suunnitelman ensimmäiselle suunnittelukaudelle ja priorisoida suunnitelmassa esitetyt viisi pikaraitiotiehanketta: Vantaan raitikka, Majomale sekä Vihdintien, Viikin-Malmin ja Tuusulanväylän pikaraitiotiet. (HSL, 2018) Tässä diplomityössä ei käsitellä Tuusulanväylän pikaraitiotiehanketta, sillä hankkeesta ei ole laadittu vielä nopeusarvioita.

Pikaraitioteiden vertailuraportissa on myös mielenkiintoinen kirjaus pikaraitioteiden nopeustavoitteista: *”HSL:n joukkoliikennesuunnittelun tavoitteen mukaan pikaraitiotien matkanopeuden tavoitetaso on 25 km/h, jolloin esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa pikaraitioteiden suunnittelu pitäisi tehdä tavoitetasolla 27 km/h”*. Vastaavaa kirjausta ei löydy mistään muusta tätä diplomityötä varten tutkitusta aineistosta. Raportissa myös korostetaan, että kaikilla muilla pikaraitioteilla kuin Majomalella yksi ”suunnittelussa ratkaistavista asioista” on matkanopeuden nostaminen.

Tarkastelussa raitioteiden nopeustiedot kerättiin kaupungeilta. Vantaan ratikan nopeusarvio poimittiin alustavasta yleissuunnitelmasta: 24 km/h. Helsinki oletti kolmelle pikaraitiotielleen kantakaupungissa raitioliikenteen kehittämisohjelman mukaiset nopeudet ja uusille osuuksille 25 km/h. Majomalen nopeusarvioksi ei ollut samanlaisia lähtötietoja. Espoo esitti linjan keskinopeudeksi suorastaan päättömän 27 km/h. (HSL, 2018)

Tarkastelussa linjaus päätettiin pohjoisessa Leppävaaraan, joten hyvä vertailukohta on Majomalen kehittämistarkastelun mukainen keskinopeus 23 km/h Matinkylän ja Leppävaaran välillä. Keskinopeuksien ero 4 km/h on suuri. Eroa korostaa se, että kehittämistarkastelussa linjalla on kolme pysäkkiä vähemmän kuin MAL-suunnitelmassa, jolloin ero on tosiasiaa tätäkin suurempi. MAL-suunnitelman mukaan Majomalen nopeusarvio perustuu rataosien pituuksiin, raitiovaunun kiihtyvyyteen, osuuksien huippunopeuksiin ja pysäkkiviiveisiin. Nopeusarvio ei siis ilmeisesti sisällä lainkaan olemassa olevan kaupunkirakenteen pakottamia tiukkoja ja hitaita kaarteita tai mitään muun liikenteen hidasteita ja viiveitä, vaikka linjan suunniteltiin kulkevan enimmäkseen katuverkossa.

4.8 Koonti nopeustavoitteen taustasta ja merkityksestä

Kun kootaan eri hankkeiden havainnot yhteen, selviää, että pikaraitioteiden nopeustavoitetta 25 km/h on sovellettu varsin vaihtelevasti. Tavoite on ollut näkyvästi esillä Raide-Jokerin ja Vantaan ratikan hankkeissa. Niissäkään hankkeissa tavoite ei ole vaikuttanut suunnitteluun paljonkaan. Nopeustavoite on ollut periaatteessa yksi tärkeimmistä tavoitteista, mutta käytännössä muut tavoitteet ovat ajaneet sen ohi. Nämä muut ovat olleet esimerkiksi palvelutasotavoitteita, jolloin pysäkkien määrää on kasvatettu keskinopeustavoitteen kustannuksella. Suunnittelun tarkentuessa keskinopeus on laskenut, vaikka usein myöhemmiltä suunnitteluvaiheilta on edellytetty keskinopeuden kasvattamista.

Toisaalta kaikissa hankkeissa keskinopeus on pyritty saamaan niin korkeaksi kuin se on tarkoituksenmukaisesti mahdollista. Linjojen nopeuttamiseksi ei ole tehty kalliita, hankalia tai vaarallisia toimenpiteitä, mutta muuten kaikki nopeutuspotentiaali on pyritty hyödyntämään. On kuitenkin hyvä kysyä, olisiko tämä jäänyt tekemättä, jos hankkeella ei olisi ollut nopeustavoitetta? Luultavasti ei. Kaikissa hankkeissa nopeuden eteen on tehty suurin piirtein yhtä paljon töitä riippumatta siitä, miten kussakin hankkeessa on painotettu nopeustavoitetta. Tutkimuskysymykseen, *miten nopeustavoite on ohjannut pikaraitioteiden suunnittelua?* voi siis vastata, että tavoite ei ole havaittavissa määrin vaikuttanut pikaraitioteiden suunnitteluun.

Sen sijaan yhdelle taholle nopeustavoite vaikuttaa olleen sitäkin tärkeämpi: tämän diplomityön yhteistyötaholle HSL:lle. Raide-Jokerin ja Vantaan ratikan hankkeiden ulkopuolella nopeustavoite 25 km/h mainitaan lähinnä HSL:n aineistoissa. Vantaan ratikkaan nopeustavoite päättyi HSL:n vaikutuksesta. Miksi nopeustavoite on ollut niin tärkeä HSL:lle?

Sinänsä HSL on luonteva taho nopeuden puolestapuhujana, koska HSL on parhaiten perillä joukkoliikennejärjestelmän kokonaisuudesta ja nopeuden merkityksestä. Alhainen keskinopeus konkretisoituu HSL:lle korkeina liikennöintikustannuksina ja kriittisenä asiakaspalautteena. Tarkemman vastauksen tarjoaa HSL:n joukkoliikenneosaston johtaja Tero Anttila (2021). Hän näkee, että keskinopeustavoitteen historia alkaa 1990-luvulta. Tällöin Länsimetroa vastustava kansalaisliike Pikaraitiotie ohjasi viranhaltijoita tutkimaan pikaraitioteiden nopeutta ulkomaisissa hankkeissa. Kansainvälisen kokemustiedon perusteella keskinopeus 25 km/h vaikutti saavutettavalta tavoitteelta, johon tähtääminen olisi sopivan kunnianhimoista ja realistista. Anttila pitää myös tärkeänä sitä ajattelua, että pikaraitiotie olisi nopeampi kuin sen korvaama bussiliikenne. HSL:n bussiliikenteen keskinopeus on samaa suuruusluokkaa kuin keskinopeustavoite. Tällöin tavoitteen täyttyminen varmistaisi, että pikaraitiotiet eivät laskisi seudun nopeustasoa.

Anttila (2021) jatkaa, että keskinopeustavoite 25 km/h ei ole ollut ehdoton. Sen sijaan se on ollut benchmark, josta on hyväksytty alaspäin tietynlaisia nopeustasoja tietentyypissä liikenteessä. Hän myös toteaa, että

pikaraitio- ja bussiliikenteen vertailua vaikeuttaa maankäytön kasvu pikaraitiotieiden varrella. Tavoite on myös eräänlainen vastaveto hänen muodostamaansa Anttilan raideliikenteen nopeussääntöön: kun esi- tai yleissuunnitelmatasolta tullaan toteutukseen, nopeustaso tippuu 2–3 km/h ja kalustotarve siten kasvaa. Anttilan nopeussäännön voisi kuitenkin haastaa seuraavasti: pikaraitioliikenteessä tämä nopeussääntö vaikuttaa toimivan vain, koska esi- tai yleissuunnitelmatason nopeusarvioissa on tehty virheitä.

Anttilan mukaan vaikuttaa siis siltä, että Raide-Jokerin keskinopeustavoitteeseen vaikutti bussi-jokerin keskinopeus, joka oli samansuuruinen. Tätä näkemystä tukevat myös muiden haastateltavien arvailut. HSL pyrki viemään tätä tavoitetta muihinkin hankkeisiin, vaikka niillä ei ole ollut samanlaisia bussiliikenteen vertailukohtia. Tavoitetta ei kuitenkaan onnistuttu viemään kaikkiin muihin hankkeisiin.

Tutkimuskysymykseen, *mikä on pikaraitiotieiden nopeustavoitteen tausta?* voi vastata, että se on muodostunut jo vuosikymmeniä sitten pikaraitiotieiden visioinnin taustakeskusteluissa ja Raide-Jokerin suunnittelussa. Raide-Jokerin oma tavoite 25 km/h oli sopivan suuruinen hankkeen omien lähtökohtien kannalta. Tavoitteesta tuli tärkeä HSL:lle, joka vei tavoitetta muihinkin hankkeisiin. Vantaan ratikan ja Raide-Jokerin ohjausryhmissä HSL on pitänyt nopeustavoitetta edellytyksenä pikaraitiotielle. Muissa hankkeissa, joissa pikaraitiotien nopeus on arvioitu jo alusta alkaen alhaisemmaksi, HSL ei edistänyt samaa 25 km/h nopeustavoitetta.

5 Tutkimusaineisto ja -menetelmä

Luvun 3 lopuksi muodostettiin seuraava hypoteesi: *Mitä enemmän pikaraitiotie on liitoksissa muuhun kaupunkirakenteeseen ja liikenneympäristöön, sitä hitaampi se on.* Tämän diplomityön tutkimusosion tavoitteena on testata tämä hypoteesi ja löytää yksinkertainen keino määrittellä pikaraitiotieiden nopeus jo alustavaan suunnitteluvaiheeseen. Luvussa siis pyritään tarkentamaan tietoa pikaraitiotieiden keskinopeuden määrytymisessä, eli tarkentamaan vastausta diplomityön ensimmäiseen tutkimuskysymykseen: *Mitkä tekijät määrittävät eniten pikaraitiotieiden keskinopeutta?* Luvussa myös pyritään kehittämään vastaus neljänteen tutkimuskysymykseen: *Miten pikaraitiotieiden nopeus pitäisi ottaa huomioon hankkeiden alustavissa tarkasteluissa?*

Alaluvussa 5.1 esitetään työtä varten koottu tutkimusaineisto ja alaluvussa 5.2. esitetään metodi, jolla tutkimus tehtiin. Seuraavassa luvussa 6 esitetään aineiston ja menetelmän perusteella syntyneet tulokset. Tuloksia arvioidaan luvussa 7, minkä jälkeen luvussa 8 esitetään arvioiden perusteella muodostetut vastaukset tutkimuskysymyksiin.

5.1 Tutkimusaineisto

Työn tutkimusaineisto on koonti nykyisten ja tulevien suomalaisten pikaraitiotieiden pysäkkiväleistä ja niiden ominaisuuksista. Tutkimusaineisto on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1. Innokkaan lukijan on mahdollista saada aineisto omaan käyttöön suoraan taulukkomuotoisena pyytämällä sitä allekirjoittaneelta. Tarkempi kuvaus tutkimusaineistosta on tässä alaluvussa.

Aineiston ydin on koonti eri pikaraitiotiehankkeiden matka-aikatiedoista tai arvioista pysäkkiväleittäin. Tampereelta on saatu viimeisen simulointikierroksen arvio raitiotien ajoajoista ja pysäkkiajoista sekä samat tiedot toteumasta vuoden 2021 lokakuun arkipäiviltä klo 16–17. Ajo-aika- ja pysäkki-aikatietojen lisäksi aineistoon on koottu pysäkkivälien pituus. Tieto Raide-Jokerin pysäkkivälien pituuksista metreissä ja sekunneissa on peräisin Raide-Jokerin keskinopeustavoitteen validoinnista keväältä 2020 (Raide-Jokerin projektitoimisto, 2020). Vastaavat tiedot Vantaan ratikasta ovat Swecon laatimista Vantaan ratikan simuloinneista toukokuun 2021 suunnittelutilanteesta (Sweco, 2021a).

Kunkin pysäkkivälin matka-aika laskettiin summaamalla pysäkkivälin ajoaika ja puolet pysäkkivälin kummankin päään pysäkkiajasta. Pysäkkivälit jaettiin kolmeen luokkaan kummankin päään pysäkkiaikojen keskiarvolla: 1, jos keskiarvo on alle 20 s; 3, jos keskiarvo on yli 25 s; 2, jos keskiarvo on edellisten väliltä. Kunkin pysäkkivälin keskinopeus laskettiin jakamalla pysäkkivälin pituus edellä lasketulla matka-ajalla. Aineistoa laajennettiin kirjaamalla ylös jokaisella pysäkkivälillä olevien liittymien ja tiukkojen

kaarteiden määrä muiden tietojen tavoin kumpaankin suuntaan erikseen. Liittymät ja kaarteet arvioitiin nykyisten raitioteiden ilmakuvista ja tulevien raitioteiden suunnitelmapiirroksista soveltamalla seuraavia määrittelyjä.

Yksi liittymä on alue, jossa raitiotien ylittää muuta liikennettä ja joka on rajattavissa yhdeksi selkeäksi liittymäkokonaisuudeksi. Raitiopysäkkien päissä olevia ylityspaikkoja ja suojateitä ei lasketa tässä liittymiksi, mutta suoraan pysäkin vieressä oleva moottoriliikenteen liittymäalue lasketaan. Tätä määrittelyä soveltaen esimerkiksi Helsingin Mäkelänkadun Mäkelärinteen ja Hattulantien pysäkkien välissä on 3 liittymää: Rautalammintien päänsuojatie, Hollolantien valo-ohjaamaton liittymä ja Hattulantien valo-ohjattu liittymä. Yksi tiukka kaarre on yksinkertaisesti kaarre, jonka säde on pienempi tai yhtä suuri kuin noin 100 metriä.

Edellisten tietojen lisäksi Tampereen raitiotien linjan 3 ja Raide-Jokerin pysäkkiväleistä arvioitiin väyläetuuksia siten, että kunkin väyläetuustyyppin pituus arvioitiin metreissä. Luokat määritettiin seuraavasti:

- Täyden väyläetuuden osuudet ovat yli sata metriä pitkiä rataosia, jotka ovat sadan metrin päässä liittymästä tai rajautuvat pysäkkiin.
- Ilman väyläetuuksia kaista on jaettu bussiliikenteen tai autoliikenteen kanssa tai raitiotie on kävelykatumaisessa ympäristössä.
- Osittaisten väyläetuuksien raitiotie on eroteltu omalle kaistalle, mutta liittymiä muun liikenteen kanssa on alle 300 metrin välein.

Aineisto luultavasti sisältää useita systemaattisia virheitä. Suuri osa aineistosta on tulevien pikaraitioteiden nopeusarvioita, joissa on tehty erilaisia oletuksia pikaraitioteiden liikennöinnistä. Kaikki oletukset eivät ole oikeita, jolloin näissä arvioissa tehdyt väärät oletukset heijastuvat myös tässä työssä käytettyyn tutkimusmenetelmään. Ensimmäinen toteutettu pikaraitiotie, Tampereen raitiotie, on hyvä esimerkki: liikennöinnin alkaessa tunnistettiin joitakin kohteita, joissa raitiotien liikennöintinopeutta ei voitu pitää yhtä korkeana kuin simuloinneissa. Liikennöinnin alettua Tampereen ratikan linja 3 on ollut vajaan minuutin hitaampi kuin viimeisissä simuloinneissa.

Toinen ilmiselvä systemaattisen virheen paikka on Tampereen aineiston keräysajankohta. Aineisto lokakuulta 2021 on vasta muutama kuukausi raitiotien liikennöinnin virallisen aloituksen jälkeen, jolloin raitiotien nopeataso ei ole välttämättä vakiintunut ”lopulliselle” tasolle. Kuljettajat voivat olla vielä verrattain kokemattomia tai linjalle saatetaan lisätä ajantasausaika. Lokakuu 2021 on haastava ajankohta myös siksi, että COVID-19-pandemia vaikuttaa edelleen ihmisten liikkumistottumuksiin. Raitiotien matkustajamäärät ja muut liikennemäärät raitiotien liikennöintiympäristössä lienevät alhaisempia kuin ”normaalitilanteessa”, jolloin pandemian päätyttyä raitiotie todennäköisesti hidastuu.

5.2 Tutkimusmenetelmä

Tässä osiossa käytetty tutkimusmenetelmä on usean muuttujan lineaarinen regressioanalyysi. Regressioanalyysiä käytetään iteratiivisesti kokeilemalla vaihtelevasti eri muuttujia. Analyysillä pyritään löytämään lineaarinen yhtälö, joka approksimoisi tutkimusaineiston pysäkkivälien matka-aikaa mahdollisimman hyvin. Tuloksena syntyvä yhtälö on yksinkertainen työkalu, jota voisi soveltaa pikaraitiotiehankkeiden alustavissa vaiheissa läpinäkyvästi ja ymmärrettävästi.

Selitettävää muuttujaa (pysäkkivälin matka-aika) pyritään approksimoidaan selittävien muuttujien avulla siten, että jokaiselle selittävälle muuttujalle haetaan estimaattori. Ne määritetään siten, että selittävien muuttujien ja estimaattorien avulla syntyvät approksimaatiot pysäkkivälien matkajasta ja oikeat pysäkkivälien matka-ajat vastaisivat toisiaan. Approksimaatioiden ja havaittujen matka-aikojen välistä etäisyyttä minimoidaan pienimmän neliösumman menetelmällä.

Valitulla menetelmällä on joitakin rajoitteita, jotka on syytä ottaa huomioon. Ensinnäkin on todettava, että menetelmällä valitun selitettävän muuttujan pitää olla matka-aika esimerkiksi keskinopeuden sijaan. Keskinopeutta ei voi käyttää, koska yksi keskinopeuden osatekijä, pysäkkivälin pituus, on valittu yhdeksi selittäväksi muuttujaksi.

Toisekseen on todettava, että menetelmän tarkkuustaso jää karkeaksi, jolloin tuloksissa on syytä ottaa huomioon puuttuvan muuttujan harha. Se aiheutuu olennaisten selittävien muuttujien puuttumisesta. Jos mallista haluttaisiin tehdä harhaton, siihen pitäisi sisällyttää kaikki luvussa 3 esitetty tietotaito. Tällaista mallia ei ole kuitenkaan syytä kehittää, sillä sellaisia on jo olemassa simulointiohjelmistojen muodossa. Tässä työssä tietoisesti kehitetään karkeasti yksinkertaistava malli, jolla olisi mahdollista muodostaa nopeusarvioita simulointiohjelmistoon riittämättömässä suunnitteluvaiheessa.

Puuttuvan muuttujan harha tarkoittaa käytännössä sitä, että menetelmällä kokeiltavat selittävät muuttujat toimivat osittain myös korvikemuuttujina puuttuville muuttujille. Esimerkiksi jos selittävänä muuttujana käytettäisiin vain pysäkkivälin pituutta, tämän muuttujan estimaattori kompensoisi muitakin tekijöitä kuin vain pysäkkivälin pituutta. Kuten alaluvussa 2.3. todettiin, pikaraitioteiden suunnittelussa pysäkkivälin pituus riippuu kaupunkirakenteesta. Täten lyhyellä pysäkkivälillä on todennäköisesti enemmän tiiviin kaupunkiympäristön hidastuksia kuin pitemmillä pysäkkiväleillä. Vain pysäkkivälin pituuteen perustuva malli kuvaisi varsinaisen pysäkkivälin pituuden vaikutuksen lisäksi muitakin muuttujia, jotka ovat kuitenkin irrallisia varsinaisesta pysäkkien määrästä linjalla.

6 Tulokset

Tutkimusmenetelmää käytettiin iteratiivisesti valikoiden eri tekijöitä selittäviksi muuttujiksi. Eri iteraatiovaiheissa tutkittiin näiden muuttujien kykyä selittää selitettävää muuttujaa, eli pysäkkivälien matka-aikaa. Iterointia ei tehty koko tutkimusaineistolla, vaan vain Tampereen raitiolinjan 3 lokakuun iltaruuhkan keskimääräisillä ajoajoilla ja Raide-Jokerin viimeisimmillä matka-aika-arvioilla. Näiden kahden aineiston perusteella tehdyn iteroinnin tulokset on esitetty alla taulukossa 9.

Ensimmäisessä iteraatiovaiheessa selittävänä muuttujana käytettiin yksin pysäkkivälin pituutta. Muuttujan selitysvoima on hyvä, kun sillä voi selittää yli puolet eri pysäkkivälien matka-ajan vaihtelusta. Seuraavassa iteraatiovaiheessa pysäkkivälin ohella selittävänä muuttujana käytettiin eri väyläetuuksien pituuksia kullakin pysäkkivälillä. Näiden muuttujien selitysvoima taas ei ole hyvä. Osittaisten väyläetuuksien selitysvoima oli hyvin heikko: p-arvo on 0,84. Väyläetuuksien osuuksien selitysvoima on vielä heikompi, sillä sen estimaattori jää nolleen. Täyden väyläetuuksien merkitys on parempi, jolloin kolmanteen iteraatiovaiheeseen valittiin pysäkkivälin pituus ja täyden väyläetuuksien osuuksien pituus.

Taulukko 8. Iteraatiovaiheen keskeiset tulokset niiden laa-
timisjärjestyksessä.

Selittävät muuttujat	Estimaattori (mm:ss)	Vakio (mm:ss)	Korjattu R ² -luku	Keski- virhe (s)
Pysäkkivälin pituus	01:02 per km	01:03	0,56	19
Pysäkkivälin pituus (m)	01:46 per km	00:44	0,68	16
Täysi väyläetuuksien määrä (m)	-00:49 per km			
Osittaiset väyläetuuksien määrät (m)	00:02 per km			
Ei väyläetuuksia (m)	00:00 per km			
Pysäkkivälin pituus (m)	01:48 per km	00:44	0,71	15
Täysi väyläetuuksien määrä (m)	-00:50 per km			
Pysäkkivälin pituus (m)	00:54 per km	00:46	0,85	11
Liittymien määrä (kpl)	00:05 per kpl			
Kaarteiden määrä (kpl)	00:11 per kpl			
Pysäkkivälin pituus (m)	00:57 per km	00:41	0,87	10
Liittymien määrä (kpl)	00:05 per kpl			
Kaarteiden määrä (kpl)	00:10 per kpl			
Pysäkkikategoria 2 (0–1)	00:01 jos 1			
Pysäkkikategoria 3 (0–1)	00:11 jos 1			
Pysäkkivälin pituus (m)	00:57 per km	00:42	0,88	10
Liittymien määrä (kpl)	00:05 per kpl			
Kaarteiden määrä (kpl)	00:10 per kpl			
Pysäkkikategoria 3 (0–1)	00:10 jos 1			

Muuttujien supistaminen paransi mallin selittävyttä, mutta lopputulos jäi silti toivottua heikommaksi. Valitut kaksi muuttujaa selittävät pysäkkivälien

matka-ajan vaihtelusta 72 %, jolloin yli neljännes vaihtelusta jää mallin ulkopuolelle. Miten tämä on mahdollista, kun luvun 3 keskeinen johtopäätös on, että pysäkkivälin pituuden ja väyläetuuksien tason pitäisi yhdessä olla suurimmat selittävät tekijät? Syy lienee siinä, että kolmiportainen asteikko on liian karkea pikaraitioiteille, joilla on enimmäkseen osittaiset väyläetuudet. Nämä väyläetuudet ovat toisinaan pieniä ja toisinaan lähellä täyttä väyläetuutta, mutta harvemmin kummassakaan ääripäässä. Menetelmä lienee yksinkertaisesti liian karkea selittämään pysäkkivälien matka-aikaa sekuntien tarkkuudella, eikä tällä menetelmällä voi selittää matka-ajan vaihtelua osittaisilla väyläetuuksilla tai ilman niitä.

Neljännessä iteraatiovaiheessa käytettiin moniportaisia muuttujia selittämään erottelua. Muuttujiksi valittiin liittymien ja kaarteiden määrä. Muuttujien vaihto oli ilmeisen onnistunut, sillä valitulla kolmella muuttujalla matka-ajan vaihtelusta pystytään selittämään 86 %. Tämä on merkittävä tulos siihen nähden, että valitut muuttujat on mahdollista arvioida jo pikaraitiotiehankkeen esisuunnitteluvaiheessa.

Mallia pyrittiin tarkentamaan edelleen ottamalla huomioon pysäkkiaikojen pituus. Viidennessä iteraatiovaiheessa käytettiin kolmiportaista asteikkoa pysäkkiajoille, jota edustettiin kahdella korvikemuuttujalla. Käytetty korvikemuuttuja pysäkkikategoriasta 2 ei kuitenkaan ole merkitsevä (p-arvo 0,78), jolloin se poistettiin kuudennelle iteraatiokierrokselle. Kuudennella kierroksella pysäkkikategorian 3 merkitsevyys ei osoittautunut erityisen merkittäväksi, mutta silti käyttökelpoiseksi (p-arvo 0,002).

Kuudennen iteraatiokierroksen jälkeen löytyi siis lineaarinen malli, jolla pystyy selittämään 89 % aineiston pysäkkivälien matka-ajan vaihtelusta. Mallissa yhden pysäkkivälin matka-ajan pituuden määrittää seuraavien termien summa: vakiotermi 42 s, pituuden termi 57 s/km, liittymien termi 5 s/kpl, kaarteiden termi 10 s/kpl ja vilkkaiden pysäkkien lisätermi 10 s. Menetelmällä keskivirheen suuruus on 10 sekuntia, mikä on 1–4 minuuttia pitkällä pysäkkiväleillä verrattain vähän. Useimmat virheet ovat pienempiä, mutta lukua nostavat muutamat suuret yli 16 s virheet. Pysäkkivälillä, johon kuulu Vihdintien liikenneympyrä, on suurin virhe (25 s). Tämä selittyy sillä, ettei malli ota huomioon liikenneympyrän jäykkää valo-ohjausta. Raide-Jokerin simuloinneissa on varauduttu 1 minuutin liittymäviiveeseen. Lisäksi Raide-Jokerin aineistossa on kolme 20–23 s virhettä eri pysäkkiväleillä: Otaranta–Aalto-yliopisto, Aalto-yliopisto–Innopoly ja Latokartano–Karhunkaataja. Näistä viimeinen on pikaraitioväylänä poikkeuksellisen nopea (malli alakanttiin) ja toinen kulkee laajan kävelyalueen halki (malli yläkanttiin). Ensimmäisen pysäkkivälin yliarvioinnille ei näytä olevan yhtä ilmeistä syytä.

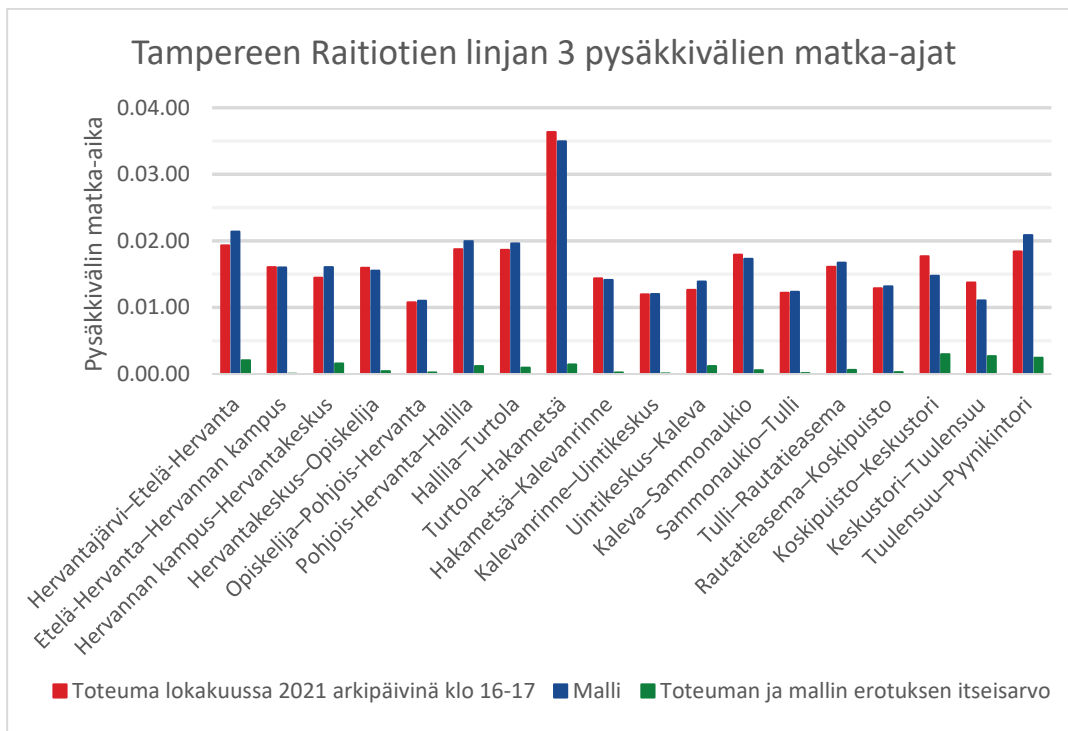
Kehitetyn mallin termit ovat mielenkiintoisesti lähellä sitä, mitä teorian perusteella voi olettaa. Vakiotermi 41 sekunnin suuruisena kuvaa erinomaisesti yhteen pysäkkipysähdykseen kuluvaan aikaan, jonka suuruudeksi kuvattiin alaluvussa 3.3 noin 30–50 sekuntia. Pituuden termi 57 s/km kuvaa nopeutta 63 km/h, joka on pikaraitiotien oman väylän huippunopeuden 70

km/h ja katuverkon huippunopeuden 50 km/h välissä. Liittymien termi 5 s/kpl kuvaa aikaa, joka kuluu, kun hyvillä valoetuuksilla varustettua liittymää varten raitiovaunu hidastaa nopeuttaan 5–15 km/h muutamaksi kymmeneksi metriksi. Kaarteiden termi 10 s/kpl kuvaa aikaa, joka kuluu liittymää suurempaan hidastukseen 20–40 km/h ja liittymää pidemmälle matkalle, eli noin 50–100 metrille. Pysäkkitermi 10 s paljon käytettyjen pysäkkien viereisille pysäkkiväleille vastaa varsinaista pysäkkiajan pidennystä. Muuttujia arvioitaessa on kuitenkin syytä muistaa puuttuvan muuttujan harha. Koska selittäviä muuttujia on vähän ja nopeuteen vaikuttavia tekijöitä on paljon, mallin termit sisältävät myös muiden tekijöiden vaikutuksia.

Edellinen havaintosarja synnyttää kiinnostavan ajatuksen: olisiko mallia mahdollista parantaa tarkentamalla pituuden termin suuruutta pysäkkivälin nopeustason mukaan? Termiä yritettiin korvata pysäkkivälin huippunopeuden mukaisella termillä, mutta lopputulos oli aiempaa huonompi. Menetelmä saattaisi toimia, jos pituuden termi olisi huippunopeuden sijaan pysäkkivälin keskimääräinen huippunopeustaso. Sen arviointiin ei kuitenkaan onnistuttu kehittämään karkeaa menetelmää.

Kehitetty malli siis toimii. Jatkoa varten termit kuitenkin pyöristetään, jotta sekunnin tarkkuudella määritetyt termit eivät vaikuttaisi näennäistarkoilta mahdollisiin karkean suunnitteluvaiheen tarkasteluihin. Kolme viimeistä termiä ovat jo sopivan pyöristettyjä, jolloin pyöristettäviä termejä ovat vain vakiotermi (41 s -> 40 s) ja pituuden termi (57 s -> 60 s). Pyöristys on pientä, ja se pienentää mallin selitysvoimaa vain 0,1 prosenttiyksikköä. Kuvassa 23 on esitetty Tampereen ratikan pysäkkivälien matka-aikojen toteuma ja pyöristetyn mallin tulokset.

Pyöristyksen kanssa malli estimoii yksittäisten pysäkkivälien lisäksi koko linjan matka-aikoja kohtalaisen hyvällä menestyksellä. Taulukossa 10 on esitetty koko linjojen matka-aika-arviot Tampereen linjan 3 ja Raide-Jokerin lisäksi myös muutamille muille pikaraitioiteille, jotka eivät olleet mukana iteroivassa tutkimusvaiheessa. Mallia on hankala validoida, kun muiden hankkeiden matka-aika-arviot ovat verrattain karkealla tasolla. Tulokset ovat kuitenkin rohkaisevia siksi, että malli vaikuttaa toimivan muidenkin hankkeiden kohdalla tarkasti.



Kuva 23. Työssä kehitetyn mallin arviot Tampereen raitiotien linjan 3 pysäkkivälien matka-ajoista ja toteuma lokakuussa 2021.

Taulukko 9. Pikaraitiotiehankkeiden matka-aika-arviot sekä mallin tulokset. *Viikin-Malmin pikaraitiotien nopeusarvio koskee osuuksien Kumpula-Vaara ja Lentokenttä-Malmin sairaala matka-aikojen summaa.

Linja	Toteuma/nykyarvio (mm:ss) tai (min)	Malli (mm:ss)	Erotus (s)
Tampereen linja 3	29:50	30:05	+15 s
Raide-Jokeri	60:42	60:23	-19 s
Vantaan ratikka	50 min	49:50	Pyöristykseen sisällä
Viikki-Malmi*	38 min	36:53	-2 min

Mallia voi yrittää validoida muun raideliikenteen verkolla. Helsingin kaupunkiraitioliikenteestä kerättiin Tampereen raitiotietä vastaava aineisto lokakuulta 2021. Kehitetyllä mallilla pyrittiin arvioimaan kaupunkiraitioliikenteen pysäkkivälien matka-aikaa. Kokeilu ei ollut menestys. Malli selittää matka-aikojen vaihtelusta vain 44 %. Keskivirheen suuruus on 27 sekuntia. Koko aineistolle arvioitu kaikkien linjojen pysäkkivälien eri suuntien matka-aikojen summa on noin puoli tuntia alakanttiin: lokakuussa summa oli 11 h ja 22 min, kun mallin mukaan se olisi vain 10 h 47 min. 22 pysäkkivälillä virheen suuruus on yli minuutin, ja yhteensä yli puolen minuutin virheitä oli 103 pysäkkivälillä.

Todennäköinen syy mallin toimimattomuuteen on sama kuin Raide-Jokerilla Vihdintien liikenneympyrän lävistyksessä: jäykkä valo-ohjaus.

Helsingin kaupunkiraitioverkon valoetuudet eivät ole yhtä hyviä kuin pika-raitioverkon, jolloin malli ei pysty toimimaan. Muita hankalia tekijöitä ovat sekaliikenneosuudet ja muu raitioliikenne. Jotta malli toimisi, se luultavasti tarvitsisi jonkinlaisen termin jäykille valo-ohjauksille ja/tai sekaliikenneviiveille, joita on kuitenkin hankala arvioida karkeilla menetelmillä.

Malli toimii paremmin metrolienteen matka-aikojen arvioimisessa. Metrolienteestä kerättiin samanlainen aineisto lokakuulta 2021 kuin kaupunkiraitioliikenteestä. Metrossa liittyviä ja tiukkoja kaarteita ei ole lainkaan, jolloin malli typistyy vakiotermin, pituuden termin ja pysäkkiajan termin yhtälöksi. Typistetyllä mallilla voidaan selittää 85–90 % metrolienteen pysäkkivälien matka-ajan vaihtelusta. Toisaalta pikaraitioliikenteelle sopivat estimaattorit (40 s vakio ja 1 min/km) eivät sovi yhtä hyvin metrolienteeseen, sillä vaikka keskivirheen suuruus on edelleen noin 10 sekuntia, arviot pysäkkivälien matka-ajasta ovat selkeästi liian korkeita. Koko metrolinjan pituudella malli arvioi matka-ajan noin kaksi minuuttia liian korkeaksi.

Metrolienteelle sopivat estimaattorit ovat pikaraitioliikenteen luvut toisin päin: 1 min vakiotermi ja 40 s/km. Ilman muita estimaattoreita metrolienteen asemavälien matka-aikojen vaihtelusta voi selittää tällä mallilla noin 90 %. Nämäkin estimaattorit ovat pyöristettyjä ja sen takia malli arvioi matka-aikoja alakanttiin vajaan minuutin koko metrolinjan pituudella.

Metro- ja kaupunkiraitioliikenteen vertailun jälkeen on mahdollista palata luvun 3 johtopäätökseen siitä, että pysäkkivälin pituus ja väyläetuuksien taso ovat pysäkkivälien matka-aikojen suurimmat selittäjät. Kullakin tutkitulla raideliikenteen lajilla on erilaiset väyläetuudet: metrolla täysi väyläetus, pikaraitioteilla pitkälti osittaiset väyläetuudet ja kaupunkiraitioliikenteellä ei usein lainkaan väyläetuuksia.

Metrolienteessä eli täydellä väyläetuudella pysäkkivälien matka-aikaa selittää lähes kokonaan pysäkkivälien pituus. Pikaraitioliikenteessä eli osittaisilla väyläetuuksilla pysäkkivälien matka-aikaa selittää osin pituus ja osin väylän ominaisuudet siten, että matka-aika on arvioitavissa karkeilla menetelmillä. Kaupunkiraitioliikenteessä eli ilman väyläetuuksia pysäkkivälien matka-aikaa ei ole mahdollista selittää karkeilla menetelmillä, sillä matka-aikaan vaikuttavat tekijät ovat hyvin moninaisia. Näillä havainnoilla luvun 3 keskeisen hypoteesin voi siis todeta paikkansapitäväksi.

7 Keskustelu

Tässä luvussa yhdistetään vapaamuotoisesti aiempien lukujen kokoamia tietoja. Luvussa nostetaan esille työn aikana nousseita pohdintoja pikaraitioliikenteen roolista pääkaupunkiseudulla, kaiken HSL-liikenteen linjastohierarkiasta sekä pikaraitioliikenteen toiminta-alueesta. Viimeisessä alaluvussa vastataan myös koko työn viimeiseen tutkimuskysymykseen: mikä olisi uusi sopiva nopeustavoite?

7.1 Seudullinen runkoyhteys vs. maankäytön runko

Pikaraitoteiden nopeudesta käytävä keskustelu osoittaa, että pikaraitioteille on asetettu erilaisia, jopa toistensa kanssa ristiriitaisia odotuksia. Näiden odotusten asettajat voidaan jakaa kahteen koulukuntaan. Ensimmäinen koulukunta on toivonut pikaraitioteista seudullista runkoyhteyttä, toinen koulukunta maankäytön runkoa. Sanaa seudullinen ei ole kovin hyvin määritetty, mutta tässä työssä se tarkoittaa mittakaavatasoa paikallisen tason ja maakunnallisen tason välissä.

Seudullista runkoyhteyttä toivovien koulukuntaa edustaa Anttila (2021). Anttila näkee, että jos pikaraitioteilla halutaan nostaa joukkoliikenteen kulkumuoto-osuutta, nopeustavoitteesta tulisi pitää kiinni ja pikaraitioteita tulisi kehittää pitkien seudullisten matkojen tarpeisiin. Korkeaa nopeutta tarvittaisiin erityisesti poikittaisilla pikaraitioteilla. Pääkaupunkiseudulla on jo seudullisia matkoja palvelevat säteittäiset raskasraiteet, mutta ei poikittaisia. Pikaraitioteiden on toivottu paikkaavan raskasraideverkon puutteita.

Anttilan ajatuksen punainen lanka on, että jos esikaupunkeihin ulottuva pikaraitioliikenne on nopeaa, pikaraitioliikenne voisi houkutella autoilijoita joukkoliikenteen piiriin. Törmäämme siis Kankaan ajattelutapaan, jota esitettiin sivulla 22: Monet ajattelivat [HSL:n alkutaipaleella], että raitioteilla ei tekisi mitään, koska ne olivat niin hitaita verrattuna metroon, juniin ja moottoritiebusseihin. Ajattelutapa oli jatkoa 1970-luvulle, jolloin joukkoliikenteen keskeinen tehtävä oli ajaa kilpaa autojen kanssa. Keskustelun keskinopeudesta voisi siis nähdä olevan jatkoa viime vuosituhanneille, jolloin nopeutta pidettiin joukkoliikenteen tärkeimpänä ominaisuutena.

Toisaalta on kummallista, että toive seudullisesta runkoyhteydestä on kietytnyt lukuun 25 km/h. Tämä keskinopeus on toki korkeampi kuin jatkuvaa kaupunkirakennetta palveleva joukkoliikenne. Silti nopeus jää kauaksi raskasraiteiden keskinopeudesta, jota vaaditaan seudullisiin matkoihin.

Toinen koulukunta toivoo pikaraitioteista maankäytön runkoa. Samassa hengenvedossa edellisen lainauksen kanssa Anttila (2021) toteaa, että jos pikaraitiojärjestelmän tavoitteeksi riittää maankäytön generointi ja runkolinjajärjestelmän selkiyttäminen, nopeustasosta ei tarvitse välittää samalla tavalla. Koulukuntaa edustavat parhaiten Helsingin maankäytön suunnittelijat

ja nykyinen yleiskaava. Maankäytön kehityksen on suunniteltu toteutuvan tiheästi pysähtyvän pikaraitioverkon tukemana. Tällöin pikaraitiotiet ovat liian hitaita toimiakseen samaan aikaan seudullisina runkoyhteyksinä.

Pikaraitiotiehankkeiden toteuma ja suunnittelutilanne kertoo, että jälkimmäisen koulukunnan odotukset ovat jyränneet ensimmäiset. Lähes kaikkien tähän työhön haastateltujen mielestä nykyiset pikaraitiotiehankkeet eivät mahdollista pitkiä matkoja. Toisaalta ne kuitenkin yhdistävät asuinalueita erinomaisesti paikalliskeskuksiin ja raskasraideverkkoon. Erityisesti poikittaiset Raide-Jokeri ja Vantaan ratikka ovat vahvimmillaan raskasraideiden liityntäliikenteessä. Esimerkiksi Hulkko (2021) näkee, että Vantaan ratikan ensisijainen liikenteellinen tarkoitus on syöttää matkustajia junaan ja metroon, jolloin linjan keskinopeudella on pieni merkitys.

Pikaraitioteiden nopeuteen kannattaa kuitenkin panostaa, jotta nopeus ei laskisi liian pieneksi. Nopeuteen tulee panostaa, mutta sopusuhteisesti muiden tavoitteiden kanssa. Mahdollisimman nopean raitiotien sijaan parempi mittari lienee Hulkon (2021) ehdottama kannattavuus. Kannattavuus voi olla yhteiskuntataloudellista taikka kuntataloudellista. Tärkeintä on, että kunkin pikaraitiotiehankkeen tavoitteet ja mittarit määritetään monipuolisemmin kuin pelkän nopeustavoitteen avulla.

Tulevien pikaraitiotiehankkeiden tavoitteista tulisi keskustella avoimesti ja realistisesti. Pikaraitiotie ei voi samaan aikaan olla sekä seudullinen runkoyhteys että maankäytön runko. Pikaraitioiteita tehtäessä pitää rajata niiden ensisijainen rooli ja tunnistaa, että muut roolit jäävät toissijaisiksi tai eivät toteudu. Erityisesti kun suunnitellaan Helsingin tulevia säteittäisiä pikaraitioiteita, pitää päättää, tavoitellaanko niillä yli 800 metrin keskimääräistä pysäkkiväliä ja yli 22 km/h keskinopeutta vai alle 600 metrin keskimääräistä pysäkkiväliä, joka tukee jatkuvaa kaupunkirakennetta.

Joka tapauksessa pikaraitiotiet eivät sovellu pitkille seudullisille matkoille. Seudulliset matkat vaativat suurta keskinopeutta, jota nykyiset pikaraitioteiden suunnittelukäytännöt eivät mahdollista. Silti pikaraitioteiden konseptia ei tarvitse muuttaa. Hedelmällisempää voisi olla kehittää seudullisille matkoille omat linjansa ja keskittää pikaraitiotiet siihen, missä ne ovat erinomaisia: paikalliset ja keskipitkät matkat, kun bussiliikenteen matkustajakapasiteetti ei riitä.

7.2 Seudullisten matkojen uusi linjakonsepti

HSL:n työkalupakista jää siis puuttumaan työkalu, jota voisi käyttää yli 10 kilometriä pitkien matkojen selkärankana, kun matka ei ole metro- tai junaratojen suuntainen. Useaa tähän työhön haastateltua asiantuntijaa harmittaa, että poikittaiseen joukkoliikenteeseen ei ole tarjolla pikaraitioiteita nopeampia raideratkaisuja. Uusia metro- ja junaratoja pidetään liian kalliina ja hankalina.

HSL:llä on kuitenkin bussiliikennettä, jota nyt jo käytetään pitkillä matkoilla. HSL:n nykyiset linjat 164A, 280, 544 ja 731 sekä tuleva bussilinja 523 ovat kaikki esimerkkejä linjoista, joiden moottoritieosuudet mahdollistavat pitkät seudulliset matkat korkealla keskinopeudella. Toisaalta nämä linjat osoittavat nopeiden yhteyksien hankaluuden: kukin linja yhdistää vain kourallisen alueita nopeasti toisiinsa. Linja 280 yhdistää Veikkolan kantakaupunkiin, linja 164A Kivenlahden Kamppiin ja tuleva linja 523 Tapiolan Lepävaaraan. Sama yksipuolisuus korostuu nopeilla junilla. Linjat R ja Z yhdistävät kourallisen asemia Pasilaan ja Rautatieasemalle, mutta eivät radan varrella sijaitsevaan Koillis-Helsinkiin.

Nopeat junat ja moottoritiebussit poikkeavat linjastollisesti toisistaan linjojen päiden mukaan. Moottoritiebusseilla on linjojensa päissä verrattain tiheä pysäkkiverkko. Sen sijaan junilla nopeiden yhteyksien piirissä on vain muutamia asemia. Moottoritiebussit voivat siis palvella muutaman alueen paikallista liikkumista ja näiden alueiden välisiä seudullisia matkoja, kun nopeat junat taipuvat vain seudullisiin matkoihin.

Nopeat yhteydet (keskinopeus yli 30 km/h) siis vaativat sen, että muutamien toisistaan kaukana sijaitsevien matkakohteiden välillä on riittävästi suoraa matkustajakysyntää oman joukkoliikenneyhteyden toteuttamiseen. Poikittaisliikenteessä tätä on hankala toteuttaa, sillä esikaupungeissa matkojen alku- ja päätepisteet ovat hajallaan. Tämä johtaa siihen, että esikaupunkialueiden liikkumistarpeita on hankala järjestää joukkoliikenteellä. Pikaraitiotiet eivät tässä tapauksessa täytä toiveita muuten kuin parantamalla liityntäyhteyksiä nopeampiin joukkoliikenneyhteyksiin.

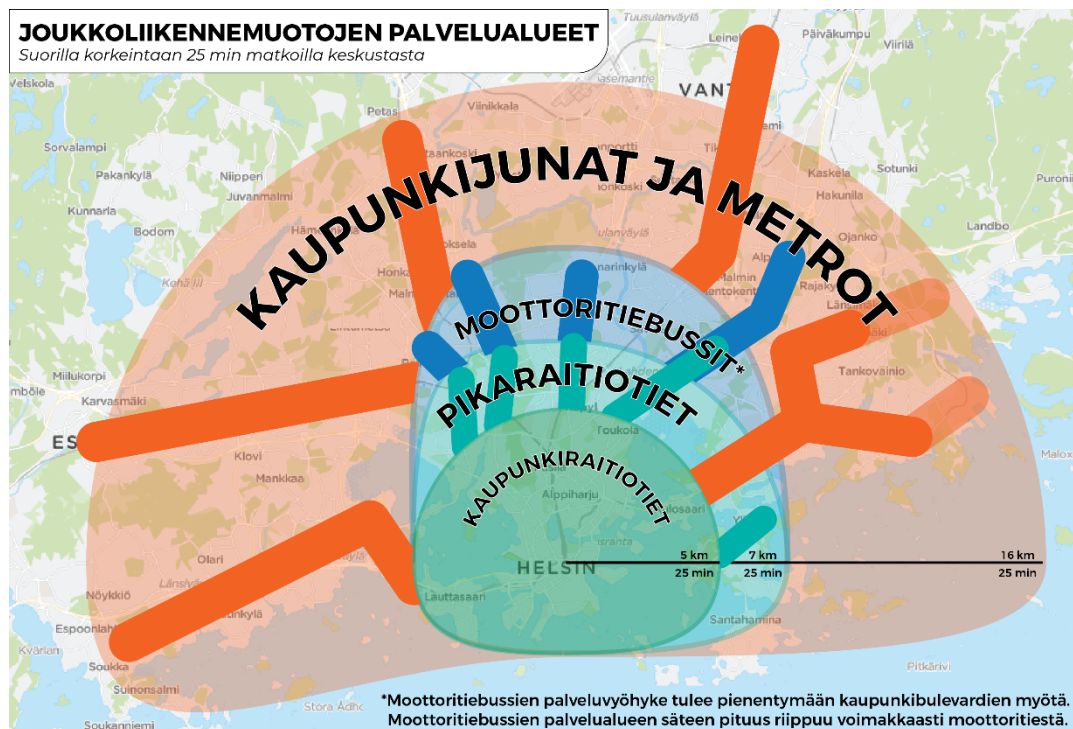
Nopeiden yhteyksien kehittämistä hankaloittaa myös se, että HSL:n linjastohierarkia ohjaa ajattelemaan runkobusseja ja pikaraitioiteita työkaluna, joita käytetään tavanomaisen bussiliikenteen ja raitioliikenteen sijaan liikennejärjestelmän *seudullisena* runkona. Tämä ei toimi, koska katu- ja joukkoliikenne ei ole tätä tavoitetta varten tarpeeksi nopeaa. HSL:n joukkoliikenteen brändäystä ja linjahierarkiaa tulisi kehittää, jotta verkostosuunnittelun työkalut ja niille asetetut odotukset kohtaisivat toisensa. Samanlaisia matkapiituuksia palvelevat linjat kannattaisi yhdistää yhtenäisten brändien alle.

Yksi kehitysmahdollisuus on esitetty alaluvun 2.3 lopussa kuvassa 12. Brändejä voisivat olla esimerkiksi tason 1 kaupunkiraitiotiet ja liityntälinjat (keskimatka alle 4 km, keskinopeus alle 20 km/h), tason 2 pikaraitio- ja runkobussiliikenne (4–8 km, 20–30 km/h), tason 3 kaupunkijuna- ja metroliikenne (8–16 km, 30–40 km/h) sekä tason 4 nopeat junat ja moottoritiebussit (yli 16 km, yli 40 km/h). Pikabussilinjojen pitkä pysäkkiväli ja muusta bussiliikenteestä poikkeava brändäys voisivat ohjata niiden kehittämisen varsinaiseksi seudullisten matkojen nopeaksi liikenteeksi. Tällöin pikaraitioliikenteelle ei asetettaisi odotuksia, joihin se ei sovellu. Bussiliikenne sopisi raitieliikennettä paremmin seudullisiin yhteystarpeisiin, koska näiden yhteysvälien matkustajamäärät ovat pieniä. Moottoriteitä voisi hyödyntää kustannustehokkaasti niissä tapauksissa, kun matkustajakysyntää on riittävästi.

7.3 Pikaraitioverkon toiminta-alue

Pikaraitioteiden maantieteellinen toiminta-alue on rajallinen. Pääkaupunki-seudun nykyiset pikaraitioliikenteen verkostosuunnitelmat eivät ota tätä näkökulmaa kovin hyvin huomioon. Jotta verkostosuunnitelmia voisi kehittää, pikaraitioliikenteen potentiaaliselle palvelualueelle pitää piirtää rajat.

Jo vuonna 2015 Helsingin yleiskaavaa varten laadittu raideliikenteen verkostoselvitys toteaa, että pikaraitioliikenteen mielekäs toiminta-alue on lähinnä Kehä I:n sisäpuolella. Lisäksi todettiin, että Viikin-Malmin pikaraitiotien ulottaminen Raide-Jokeri 2:n linjauksen ulkopuolelle vaatii harkintaa. (Helsingin kaupunki, 2015) Toteamukset ovat jääneet vähälle huomiolle, sillä yleiskaavassa on kourallinen jopa Kehä III:n tasalle ulottuvia pikaraitioiteita mukaan lukien Viikin-Malmin pikaraitiotie.



Kuva 24. Karkea hahmotelma kunkin joukkoliikennemuodon palvelualueesta keskustaan suuntautuvilla alle 25 min matkoilla.

Mitä varten halutaan rakentaa Kehä I:n ulkopuolelle ulottuvia säteittäisiä pikaraitioiteita? Helsingiläisten matka-aikabudjetit ja pikaraitioteiden keskinopeus sanelevat sen, että kehäteiden välisellä vyöhykkeellä pikaraitioiteita ei voi käyttää keskustayhteytenä. Sen sijaan pikaraitiotiet voivat soveltua raskasraide liikenteen liityntäyhteyksiksi, suoriksi yhteyksiksi laajenevan kanta-kaupungin laiduille tai esikaupungin sisäisiä matkoja palveleviksi paikallisyhteyksiksi.

Helsingin seuraavaan yleiskaavaan mennessä tulisi laatia tarkastelu, jossa arvioidaan kehäteiden välille ulottuvien pikaraitiotievarausten tarkoituksenmukaisuutta. Tämän työn tietojen perusteella näiden varausten voi olettaa joko 1) vaativan metromaisia tunneloituja jaksoja 2) olevan epätarkoituksenmukaisia tai 3) toimivan riittävän hyvin vain paikallisyhteyksinä. Epätarkoituksenmukaiset pikaraitiovaraukset voisi korvata runkobussiyhteyksillä.

7.4 Uusi keskinopeustavoite

Työn viimeinen tutkimuskysymys kuuluu: *Mikä olisi Helsingin seudun pikaraitioteiden realistinen keskinopeuden tavoitetaso, joka ottaa huomioon myös muut pikaraitioteiden tavoitteet?* Lähtökohdaksi on hyvä ottaa luvussa 2.3. esitetty raitioteiden suunnitteluohje. Ohjeessa on kaksi eri tavoiteluokkaa pikaraitioille pysäkkivälin mukaan: noin 500 metriä jatkuvassa kaupunkirakenteessa ja selvästi yli 500 metriä muualla.

Jatkuvassa kaupunkirakenteessa raitioteiden suunnitteluohjeen tavoite-nopeus on 18–21 km/h. Työn aineiston perusteella tavoite vaikuttaa realistiselta. Tampereen linjalla 3, Raide-Jokerilla ja Vantaan ratikalla on 29 pysäkkiväliä, joiden pituus on 400–600 metriä. Näiden pysäkkivälien keskinopeuksien keskiarvo on noin 20 km/h. 11 pysäkkivälin nopeus on yli 21 km/h, 8 pysäkkivälin nopeus alle 18 km/h ja 10 pysäkkivälin nopeus 18–21 km/h.

Tavoitteita voi myös arvioida kehitetyllä työkalulla. Pikaraitioilla on pitkälti pysäkkivälin pituudesta riippumatta keskimäärin 3 liittymää ja yksi tiukka kaarre kullakin pysäkkivälillä. Pysäkkiajoilla on hieman vaihtelua linjoittain: Tampereen ja Vantaan ratikoilla pysäkkiväleistä keskimäärin noin 15 % täyttää pysäkkiajan lisätermin kriteerit. Raide-Jokerilla 40 % pysäkkiväleistä täyttää saman kriteerin. Oletetaan tulevien pikaraitioteiden keskiarvoksi 20 %. Näillä lähtöarvoilla ja kehitetyllä kaavalla keskimäärin 500 metriä pitkien pysäkkivälien nopeus olisi keskimäärin 18,6 km/h. Korkeampaan nopeuteen voi kuitenkin päästä helposti: jos pysäkkivälin rata on suora (kaarteita 0) tai liittymiä on kolmen sijaan vain 1, keskinopeus olisi kaavan mukaan 20,7 km/h. Suunnitteluohjeen arvio noin 500 metrin pysäkkivälien nopeustasolle 18–21 km/h vaikuttaa realistiselta.

Toinen tavoitetaso voidaan kehittää suunnitteluohjetta mukaan jatkuvan kaupunkirakenteen ulkopuolelle. Tampereen raitiotien, Raide-Jokerilla ja Vantaan ratikalla on yli 750 metriä pitkiä pysäkkivälejä 27 kpl. Nykyarvioilla niiden keskinopeuksien keskiarvo on 29 km/h. 10 pysäkkivälin nopeus on yli 30 km/h, 7 pysäkkivälillä alle 25 km/h ja 12 pysäkkivälillä 25–30 km/h. Yli 750 metriä pitkiä pysäkkivälien pituuden keskiarvo on noin 1050 metriä. Jos työssä kehitettyä mallia sovelletaan tällä pysäkkivälillä ja muilla edellä mainituilla liittymien, kaarteiden ja pysäkkikategorioiden keskiarvoilla (3, 1 & 0,2), keskinopeus olisi mallin mukaan sama 29 km/h.

Tässäkin tapauksessa vaikuttaa siltä, että raitioteiden suunnitteluohjeen esittämä nopeustaso 21–35 km/h selvästi yli 500 metrin pysäkkiväleille

jatkuvan kaupunkirakenteen ulkopuolelle on realistinen. Tutkimusaineiston pikaraitioteiden nykyarvioilla kaikki yli 750 metrin pysäkkivälit ovat nopeampia kuin 21 km/h. Kolmella pysäkkivälillä keskinopeus on yli 35 km/h: Tampereen ratikalla Pohjois-Hervannan ja Turtolan välillä sekä Raide-Jokerilla Latokartanon ja Karhunkaatajan välillä.

Ennen uuden nopeustavoitteen asettamista tulee kuitenkin kysyä, mihin uutta keskinopeustavoitetta käytettäisiin? Jos sillä kiritetään raitioteiden suunnittelua, tavoite pitäisi asettaa realistista nopeustasoa korkeammaksi. Toisaalta silloin nopeustavoitetta ei saisi käyttää odotusarvona tulevien pikaraitioteiden nopeudesta, sillä se olisi silloin epärealistisen korkea.

Yhden arvion käyttäminen nopeustavoitteena on myös siitä ongelmallista, että sillä on tosiasiaa hankala kirittää pikaraitioita nopeammiksi. Kaupunkirakenteeseen viety pikaraitiotie joutuu mukautumaan kaupunkirakenteen olosuhteisiin. Usein kaarteita ei voi suoristaa purkamatta taloja eikä kaikkia liittymiä poistaa. Olosuhteet johtavat siihen, että osa pysäkkiväleistä täyttää nopeustavoitteet helposti, kun taas osassa tavoitteen saavuttaminen vaatisi epätarkoituksenmukaisia ratkaisuja. Kokemus on osoittanut, että nopeustavoitteet eivät toimi pikaraitiotiehankkeiden ohjaajina.

Tutkimuskysymyksen vastauksen voisi muodostaa seuraavasti: pikaraitiotiehankkeissa ei kannata jatkossa käyttää yleisiä nopeustavoitteita verkostosuunnittelun tai hankkeiden johtavana periaatteena. Toisaalta pikaraitioteiden suunnittelussa tulee tavoitella mahdollisimman korkeaa keskinopeutta muiden tavoitteiden puitteissa. Jonkinlainen suunnittelun tueksi laadittu nopeustavoite voi siis olla perusteltu. Tämän tavoitteen tulee perustua realistiseen arvioon siitä, mikä nopeustaso on tarkoituksenmukainen milläkin linjaosuudella. Tavoitteen on oltava realistinen, jotta suunnitteluratkaisujen vaikutuksia voisi arvioida todenmukaisesti ja hyödyllisesti. Realistinen nopeusarvio tarvitaan myös, jotta linjan ominaisuudet ja ajateltu matkojen pituus kohtaavat toisensa. Jos tavoite on epärealistinen, se on hyödytön.

Hulkko (2021) kiteyttää korvaavan lähtökohdan nopeustavoitteelle: nopeuden sijaan raitiohankkeita tulisi kehittää mahdollisimman kannattaviksi. Jos nopeuden nosto parantaa kannattavuutta, nopeutta on syytä nostaa. Jos sen sijaan kannattavuus nousee esimerkiksi lisäämällä pysäkkejä, niin niitä on syytä lisätä. Kannattavuuden arvioiminen vaatii sitä, että nopeustasosta olisi realistisia arvioita eikä vain tavoitteellisia toiveita.

Nykyistä ja tulevaa nopeustietoa tulisi tosin vielä kehittää hyödylliseen muotoon. Tampereen raitiotien yleissuunnitelman OpenTrack-mallia ja liikennöinnin toteumatietoja tulisi verrata siten, että yleissuunnitelmavaiheeseen saataisiin tarvittavat korjauskertoimet ja karkean suunnitteluvaiheen huomioon ottavat simulointiparametrit. Nämä parametrit täydentäisivät HSL:n pikaraitioliikenteen simulointiohjetta. Helsingin kantakaupungissa Hämeentien uudistuksen vaikutuksia raitioteiden matka-aikaan tulisi verrata raitioliikenteen kehitysohjelman tavoitteisiin, jotta tavoitetason realistisuutta voisi arvioida.

8 Yhteenveto

Tässä luvussa kerätään yhteen työn keskeiset havainnot ja päätelmät. Ensimmäisessä alaluvussa koostetaan työn johtopäätökset. Toisessa alaluvussa ovat työssä tunnistetut jatkoselvitysaiheet.

8.1 Johtopäätökset

Pikaraitioteiden historia alkaa jo 1910-luvun Saksasta. Alusta alkaen keskustelut pikaraitioteista keskittyivät niiden nopeuteen. Ensimmäisinä tavoitteina oli ulottaa raitioteita kaupunkien keskustoista esikaupunkeihin. Saksalaiset ajatukset *Schnellstraßenbahneista* imeytyivät tavanomaisten raitioteiden suunnitteluperiaatteisiin. Vastaavat ajatukset päätyivät Suomeen suoran käännöksen ”pikaraitiotie” mukana.

Helsingin seudulla pikaraitioliikennettä visioitiin esikaupungit ja kanta-kaupungit yhdistäväksi liikennemuodoksi 1920-luvulta aina 1950-luvun loppuun asti. Vuosikymmeniä myöhemmin pikaraitiotiet palasivat asialistalle, ja niiltä odotetaan samaa asiaa kuin 1910-Saksassa: nopeita ja kustannustehokkaita esikaupunkiyhteyksiä. Toisaalta pikaraitioteilla on uusi keskeinen vaatimus: oikeansuuruisen matkustajakapasiteetin tarjoaminen.

Joukkoliikenteen nopeus on merkittävä asia niiden toimivuuden kannalta, sillä nopeus on suoraan verrannollinen joukkoliikennematkojen keskipituuteen. Työssä todettiin, että Helsingin seudulla joukkoliikennematkustajat matkustavat keskimäärin 9–16 minuuttia ja 5–6 pysäkkiväliä joukkoliikennevälineeseen nousun ja siitä poistumisen välillä. Tämä havainnon voi selittää Marchettin vakiolla: ihmiset liikkuvat noin tunnin päivässä.

Kaupunkiseudun keskusta suuntautuvilla matkoilla noin puolen tunnin matka-aika siis määrittää joukkoliikenteen toiminta-alueen. Nopeammilla joukkoliikennevälineillä toiminta-alue on suurempi, mutta vastaavasti ne soveltuvat huonommin lyhyisiin matkoihin. Ilmiötä voi havainnollistaa Nashin tasoilla: alin taso palvelee muutaman kilometrin matkoja, kun korkein taso palvelee kymmenien kilometrien matkoja. Suuren kaupunkiseudun joukkoliikennejärjestelmän on muodostuttava eri tasojen limittäiselle verkostolle, jotta kaupunkiseutu muodostaa yhtenäisen matkustusalueen.

Helsingin seudulla pikaraitiotiet soveltuvat parhaiten matkoille, joiden pituus on kahdesta kilometristä kuuteen kilometriin. Pikaraitioteiden keskinopeus on vakiintunut tälle tasolle siksi, että pikaraitioteita kehitetään maankäytön runkona. Pikaraitioteiden keskinopeus määrittyy pitkälti sitä ympäröivän kaupunkirakenteen ominaisuuksista ja pysäkkivälin pituudesta. Tällöin jatkuvassa kaupunkirakenteessa kulkeva pikaraitiotie mahdollistaa lyhyet paikalliset matkat. Pikaraitioteiden nopeammat osuudet kaupunkirakenteen katkojen yli mahdollistavat esikaupunkikeskusten väliset matkat.

Pikaraitioteistä on toivottu runkoyhteyttä myös pitkille matkoille. Toive johti pikaraitioteiden keskinopeustavoitteeseen 25 km/h. Tavoite on muodostunut jo vuosikymmeniä sitten pikaraitioteiden visioinnin taustakeskusteluissa ja Raide-Jokerin suunnittelussa. Raide-Jokerin oma tavoite 25 km/h oli sopivan suuruinen hankkeen omien lähtökohtien kannalta. Tavoitteesta tuli tärkeä HSL:lle, joka vei tavoitetta muihinkin hankkeisiin.

Tämä tavoite on sittemmin jäänyt muiden tavoitteiden alle. Varsinainen nopeustavoite ei ole ollut kovinkaan ohjaava tekijä pääkaupunkiseudun pikaraitiotiehankkeissa. Tavoite itsessään ei ole vaikuttanut pikaraitioteiden suunnitteluun, vaikka pikaraitioteistä onkin pyritty tekemään niin nopeita kuin mahdollista muiden reunaehtojen puitteissa. Pikaraitioteiden muut tavoitteet ovat tulossa hyvin täytetyiksi, jolloin pikaraitiotiet ovat laadukasta joukkoliikennettä, vaikka nopeustavoitetta ei ole saavutettu. Tulevissa pikaraitiotiehankkeissa tulisi kuitenkin nykyisiä hankkeita paremmin pohtia ja perustella kunkin pikaraitiotien tavoitteet.

Pitkien matkojen palveluun tulee joka tapauksessa kehittää uusia linjakonsepteja. HSL:n liikenteessä tulisi olla pikaraitioiteita vastaava vahva brändi pitkämatkaiselle joukkoliikenteelle, jotta vahvan brändin pikaraitioiteille ei suunnitella niille soveltumattomia tarpeita. Helsingin seudun suunnittelussa tulisi tunnistaa pikaraitioteiden rajallinen toiminta-alue, joka on suunnilleen Kehä I:n sisäpuolinen alue. Kauempana keskustasta joukkoliikenneyhteydet keskustaan on tarjottava nopeammilla liikennemuodoilla.

Keskustelua nykyisten hankkeiden nopeudesta ja sen vaikutuksista ovat hankaloittaneet puutteelliset tiedot ja arviointimenetelmät alustavissa suunnitteluvaiheissa. Työssä kehitettiin työkalu, jolla pikaraitioteiden nopeutta voi arvioida alustavissa tarkasteluissa. Pysäkkivälien matka-aika on karkeasti seuraavien termien summa: vakiotermi 40 s, pituustermi 1 min/km, liittymätermi 5 s/kpl, kaarretermi 10 s/kpl ja lisätermi 10 s, jos pysäkkivälin päiden pysäkkiaikojen keskiarvo on yli 25 s. Tunnistettavasti hankalissa paikoissa, kuten jäykän valo-ohjauksen liittymissä ja kantakaupungissa työkalun arvioon tulee lisätä aikaa näille viiveille. Työkalun toimivuus tulee validoida seuraavien pikaraitioteiden avautuessa.

Pikaraitiotiehankkeissa ei kannata jatkossa käyttää yhtä yleistä nopeustavoitetta. Jonkinlainen suunnittelun tueksi laadittu nopeustavoite voi olla perusteltu. Tämän tavoitteen tulee kuitenkin perustua realistiseen arvioon kunkin linjan nopeustasosta. Tämä tarvitaan, jotta suunnitteluratkaisujen vaikutuksia voisi arvioida todenmukaisesti ja hyödyllisesti. Realistinen nopeustavoite tai -arvio tarvitaan myös, jotta linjan ominaisuudet ja ajateltu matkojen pituus kohtaavat toisensa. Pikaraitioliikenteen nopeuden yleisenä odotustasona voi soveltaa raitioliikenteen suunnitteluohjeen esittämiä nopeuksia: 18–21 km/h jatkuvassa kaupunkirakenteessa ja 21–35 km/h kaupunkirakenteen ulkopuolella.

8.2 Jatkoselvityksiä

HSL:n joukkoliikenteen brändäystä tulisi kehittää siten, että linjaston eri hierarkiatasot kuvaisivat nykyistä paremmin kunkin liikennemuodon tarjoamaa palvelua ja erityisesti matkan pituutta. Luvun 2.3 lopussa esitettiin viitekehys, johon nykyisen 2010-luvun alusta asti käytetyn brändäyksen voisi päivittää. Päivitys olisi syytä tehdä, jotta pikaraitio- ja runkobussiliikenteelle ei asetettaisi odotuksia, joita ne eivät voi täyttää.

Nykyistä ja tulevaa nopeustietoa tulisi tosin vielä kehittää hyödyllisempään muotoon. Tampereen raitiotien yleissuunnitelman OpenTrack-mallia ja liikennöinnin toteumatietoja tulisi verrata siten, että yleissuunnitelmavaiheelle voisi muodostaa tarvittavat korjauskertoimet ja karkean suunnitteluvaiheen huomioon ottavat simulointiparametrit. Nämä parametrit täydentäisivät HSL:n pikaraitioliikenteen simulointiohjetta. Helsingin kantakaupungissa Hämeentien uudistuksen vaikutuksia raitioteiden matka-aikaan tulisi verrata raitioliikenteen kehitysohjelman tavoitteisiin, jotta niiden realistisuutta voisi arvioida. Raide-Jokerin liikennöinnin alkaessa ja seuraavan pikaraitiokadun perusparannuksen valmistuttua tarkastelu tulisi uusiksi.

Helsingin seuraavaan yleiskaavan laatimiseen mennessä tulisi laatia tarkastelu, jossa arvioidaan kehäteiden välille ulottuvien pikaraitiotievarausten tarkoituksenmukaisuutta. Työn tietojen perusteella näiden varausten voi olettaa joko 1) vaativan metromaisia tunneloituja jaksoja, 2) olevan epätarkoituksenmukaisia tai 3) toimivan riittävän hyvin vain paikallisyhteyksinä. Epätarkoituksenmukaiset pikaraitiovaraukset voisi korvata runkobussiyhteyksillä.

Samassa yhteydessä olisi syytä tarkastella, miten puolen tunnin matka-aikabudjetin halutaan toteutuvan Helsingin seudulla. Mistä kaikkialta pitäisi olla korkeintaan puolen tunnin matka keskustaan? Kuinka laajalla alueella kaikkien paikalliskeskuskeskusten välisten matkojen pitäisi olla alle puoli tuntia? Kysymys koskettaa pikaraitioliikenteen lisäksi erityisesti kaupunkibulevardien taakse jääviä alueita, joille pikaraitiotietä ei voi ulottaa, mutta joiden bussiyhteydet hidastuvat kaupunkibulevardien myötä.

Lähteet

- Alku, A. (13. elokuuta 2003). *Luulo ei käy tiedosta*. Noudettu osoitteesta Kaupunkiliikenne.net:
<http://www.kaupunkiliikenne.net/luuloja.htm>
- Alku, A. (20. helmikuuta 2008). *Kansalaisliike Pikaraitiotie*. Haettu 21. 09 2021 osoitteesta Kaupunkiliikenne.net:
<https://www.kaupunkiliikenne.net/kansalaisliike.htm>
- Anttila, T. (2019). *Vantaan ratikka ja raideliikenteen runkoverkosto, esitys kaupuginvaltuustolle*. Noudettu osoitteesta
https://www.vantaa.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/vanta_a/embeds/vantaawwwstructure/148984_HSL_Tero_Anttila_Seudulin_joukkoliikenne.pdf
- Anttila, T. (11. marraskuuta 2021). Haastattelu pikaraitioteiden nopeudesta. (H. Miettinen, Haastattelija)
- Biedermann, E. (syyskuu 1917). SCHNELLSTRASZENBAHNEN. Ein neues Verkehrsmittel zur Erschließung großstädtischer Vorortsbesiedlung. *Technik und Wirtschaft*, 10(9), 414–425.
- BMVI. (1987). *Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen - BOStrab*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Devereux, L. (2005). *HiTrans Best Practice Guide 1 Public Transport & land use planning*.
- Flou. (2019). *RAIDE-JOKERIN HANKEARVIONTI 17.1.2019*. Noudettu osoitteesta https://raidejokeri.info/wp-content/uploads/2019/01/RJ_000_KPT-PRJ_Raportti-hankearviointi-ID-24372.pdf
- Helsingin kaupunki. (2015). *Raideliikenteen verkkoselvitys*. Helsinki: Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosasto.
- Helsingin kaupunki. (2016). *Kaupunkikaava - Helsingin uusi yleiskaava*. Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto.
- Helsingin kaupunki. (2020). *Länsi-Helsingin raitioteiden yleissuunnitelma*.
- Helsingin kaupunki. (2021). *Raitioteiden suunnitteluohje*.
- Helsingin kaupunki, ym. (2016). *Raide-Jokerin hankerarviointi*.
- Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto. (2015). *Pikaraitiotie Tulevaisuuden joukkoliikennettä Helsingissä*. Helsinki: Helsingin kaupunki.
- HKL. (2018). *Raitioteiden suunnitteluohje*.
- HS. (01. joulukuuta 1927). Suunnitelma Helsingin esikaupunkiratakysymyksen ratkaisemiseksi. (W. W. Tuomioja, Toim.) 24(326). Haettu 20. 09 2021 osoitteesta <https://nakoislehti.hs.fi/bd1a7cde-b7a4-4d83-8994-de33355f7ff9/6>
- HS. (09. marraskuuta 1946). Suur-Helsingin liikenteeseen trolleyt ja maanalaiset pikaraitiotiet. (Y. Niiniluoto, Toim.) (303).
- HS. (18. tammikuuta 1950). Kulosaaren uusi silta 32 metrin levyiseksi. (Y. Niiniluoto, Toim.) *Helsingin Sanomat*(16). Haettu 20. 09 2021

- osoitteesta <https://nakoislehti.hs.fi/8cfd1f71-aaee-4990-9453-b760cc8a3e8f/2?q=pikaraitiotie>
- HS. (14. syyskuuta 1954). Kulosaaren sillan liikennejärjestelyt. (Y. Niiniluoto, Toim.) *Helsingin Sanomat*(247), 28. Haettu 20. 09 2021 osoitteesta <https://nakoislehti.hs.fi/odb6fdd3-ad12-435b-a546-448f0ff738c0/3?q=pikaraitiotie>
- HS. (25. maaliskuuta 1955a). Herttoniemen pikaraitiotie. (Y. Niiniluoto, Toim.) *Helsingin Sanomat*(82), 22. Haettu 20. 09 2021 osoitteesta <https://nakoislehti.hs.fi/04f74528-9613-4871-b6c8-dd2368183935/4?q=pikaraitiotie>
- HS. (09. joulukuuta 1955b). Esikaupunkiliikenteen asiantuntijakomitea. (Y. Niiniluoto, Toim.) *Helsingin Sanomat*(332), 34. Haettu 20. 09 2021 osoitteesta <https://nakoislehti.hs.fi/b7c81726-9b1b-4ea0-83cf-7ade7d6a4104/4?q=%22Esikaupunkiliikenteen%2Bsuunnittelukomitea%22>
- HS. (03. maaliskuuta 1957). Herttoniemen suunnan liikenne hoidetaan pikaraitiotiellä. (Y. Niiniluoto, Toim.) *Helsingin Sanomat*(60), 38. Haettu 20. 09 2021 osoitteesta <https://nakoislehti.hs.fi/bb607cfc-161c-41b0-94e5-ea48588be60d/14?q=pikaraitiotie>
- HS. (31. tammikuuta 1959a). Tuusulantielle tilaa pikaraitiotietä varten. (Y. Niiniluoto, Toim.) *Helsingin Sanomat*(29), 26. Haettu 21. 09 2021 osoitteesta <https://nakoislehti.hs.fi/2c3b5210-171e-48b0-a521-9e5f6e466b28/3?q=pikaraitiotie>
- HS. (11. kesäkuuta 1959b). Helsingin julkinen liikenne metron hoidettavaksi 1990-luvun alussa. (Y. Niiniluoto, Toim.) *Helsingin Sanomat*(155), 28. Haettu 20. 09 2021 osoitteesta <https://nakoislehti.hs.fi/e1aa8a87-210c-4164-9cc8-3acce4f2fobe/16?q=%22Esikaupunkiliikenteen%22>
- HS. (28. maaliskuuta 1963). Metrotoimikunta haluaa sähkökäyttöisiä raidekulkuneuvoja. (T. Mertanen, Toim.) *Helsingin sanomat*(86), 32. Haettu 20. 09 2021 osoitteesta <https://nakoislehti.hs.fi/dac34dce-a9bc-4a35-b6cb-da533e99d094/19?q=metrotoimikunta%2Bmietint%C3%B6>
- HS. (1990). *Joukkoliikenteen kehämäinen runkolinja*.
- HS. (01. huhtikuuta 2018). Raide-Jokerille uusi pysäkipari Espooseen – pysäkit sijoittuvat Vermon raviradan kupeeseen. *Helsingin Sanomat*. Haettu 14. 12 2021 osoitteesta <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000005626044.html>
- HSL. (2017). *Helsingin seudun pikaraitioliikenteen palvelukuvaus*.
- HSL. (2018). *MAL 2019 - Pikaraitioteiden tarkastelu*.
- Hulkko, T. (10. syyskuuta 2021). Haastattelu Helsingin seudun pikaraitioteiden nopeudesta. (H. Miettinen, Haastattelija)
- Kalenoja, H.; Hintikka, S.; Häyrynen, J.-P.; & Vihanti, K. (2006). *Joukkoliikennematkan eri osien painoarvoja*

- Käyttäjärühmäkohtaisia tuloksia matkan eri osien arvostuksesta keskisuurissa kaupungeissa.* Liikenne- ja viestintäministeriö. Noudettu osoitteesta <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/78752>
- Kangas, L. (10. syyskuuta 2021). Haastattelu Helsingin seudun pikaraitioteiden nopeudesta. (H. Miettinen, Haastattelija)
- Kaupunkisuunnitteluvirasto. (2015). *Pikaraitiotie Tulevaisuuden joukkoliikennettä Helsingissä*. Helsinki: Helsingin kaupunki.
- Kitti, H.;& Kantele, S. (2019). *Lippulajitutkimus metroliikenteessä 2018*. Helsinki: HSL Helsingin seudun liikenne.
- Kitti, H.;Kantele, S.;& Reimi, P. (2019). *Lippulajitutkimus lähijunaliikenteessä 2018*. Helsinki: HSL Helsingin seudun liikenne.
- Kotimaisten kielten keskus. (2020). *Kielitoimiston sanakirja*. Helsinki: Kotimaisten kielten keskus.
- Kruunusillat. (2021). *Hanketietoa*. Haettu 01. marraskuuta 2021 osoitteesta [Kruunusillat.fi: https://kruunusillat.fi/hanketietoa/](https://kruunusillat.fi/hanketietoa/)
- Leppänen, I. (27. maaliskuuta 1977). Kolmannen vaihtoehdon muistolle. (H. Tikkanen, Toim.) *Helsingin Sanomat*(84), 64. Haettu 20. 09 2021 osoitteesta <https://naokoislehti.hs.fi/1f843bdd-6a21-499e-b202-b8bf8e6b3069/19?q=pikaraitiotie>
- Lindeqvist, M.;Kantele, S.;Tarkiainen, J.;& Hyyrynen, I. (2015). *Lippulajitutkimus runkolinjalla 550 ja Keravan seutulinjoilla 2014*. Helsinki: HSL Helsingin seudun liikenne.
- Lindeqvist, M.;& Kantele, S. (2017). *Lippulajitutkimus runkolinjalla 560*. Helsinki: HSL Helsingin seudun liikenne.
- Lindeqvist, M.;Kantele, S.;& Vihervuori, M. (2016). *Raitioliikenteen lippulajitutkimus 2015*. Helsinki: HSL Helsingin seudun liikenne.
- Lindergren, Y.;& Kråkström, E. (1954). *Helsingin keskus - keskusalueen asemakaavaehdotus 1954*. Helsinki: Helsingin kaupunki.
- LVM. (2018). *Tieliikennelaki*. Haettu 11. 10 2021 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180729#L3P9>
- Marchetti, C. (1994). Anthropological Invariants in Travel Behaviour. *Technological forecasting and social change*, 47, 75-88.
- Metsälampi, S. (2021). (H. Miettinen, Haastattelija)
- Murole, P. (20. kesäkuuta 2016). *Metro on kuin viina, vaikeinta on ensimmäisen pullollisen nauttiminen!* Haettu 03. 09 2021 osoitteesta Pentti Murole blogi: <http://penttimurole.blogspot.com/2016/06/metro-on-kuin-viina-vaikeinta-on.html>
- Nash, A. (2015). *A level-based approach to public*.
- Nielsen, G.;Lange, T.;Tegner, G.;Lind, G.;Nelson, J.;& Mulley, C. (2005). *HiTrans Best practice guide 2 Public transport - Planning the networks*. Oslo.
- Norrgård, T. (2020). *Pikaraitioliikenteen simuloinnin periaatteet*.

- Pastinen, V.; Piipponen, J.; Supponen, A.; Vuorio, L.; West, J.; Rantala, A.; . . . Elolähde, T. (2020). *Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenneennustejärjestelmän kysyntämallit 2020*. Helsinki: HSL Helsingin seudun liikenne.
- Peltola, J. (2018). *Raitioliikenteen nopeusrajoitukset*. Espoo.
- Penttinen, V. (2021). *Pikaraitiotien liittymäalueiden ohjausperiaatteiden vaikutus matka-aikaan*. Riihimäki: Hämeen ammattikorkeakoulu, Liikenneala.
- Racz, F. (1960). Itäväylä, Kulosaaren silta. Helsingin kaupungin museo. Haettu 21. syyskuuta 2021 osoitteesta https://www.helsinkikuvia.fi/search/details/?image_id=hkm.HKM000005:km00260d
- Raide-Jokerin projektitoimisto. (2018). *Keskinopeustavoitteen validointi lokakuu 2018*.
- Raide-Jokerin projektitoimisto. (2020). *Raide-Jokerin keskinopeustavoitteen ja kalustotarpeen arviointi*. Helsinki.
- Raide-Jokerin projektitoimisto. (2021). *Millaisia matka-aikoja Raide-Jokerilla on?* Haettu 14. joulukuuta 2021 osoitteesta <https://raidejokeri.info/usein-kysyttya/millaisia-matka-aikoja-raide-jokerilla-on/>
- Ramboll. (2015). *Operation simulation - OpenTrack modelling and first results*.
- Räty, L. (07. syyskuuta 2021). Haastattelu Helsingin seudun pikaraitiotieiden nopeudesta. (H. Miettinen, Haastattelija)
- Räty, L.; & Silvo, A. (2017). *Raitioliikenteen viivetus tutkimus 2017*. HSL.
- Saarinen, E.; & Jung, B. (1918). *Pro Helsingfors - Ett förslag till stadsplan för "Stor-Helsingfors"*. Helsinki: Aktiebolaget Lilius & Hertzberg.
- Sainio, M. (08. toukokuuta 1999). Tohtori Reino Castrén on maanalaisen isä, mutta lapsi ei ole hänen. *Helsingin Sanomat*. Haettu 20. 09 2021 osoitteesta <https://www.hs.fi/autot/art-2000003798084.html>
- Sito. (2016). *Kruunusillat Raitiotieyhteys Laajasaloon Yleissuunnitelma*. Helsingin kaupunki.
- Sweco. (2021a). *Vantaan ratikan simuloinnit - Suunnittelutilanne toukokuussa 2021*.
- Sweco. (2021b). *Matka-ajan simuloinnit - Henrin diplomityö*.
- Tampereen Raitiotie Oy. (2020). *Tampereen raitiotien suunniteluohje*.
- Tolmunen, T. (2007). *Tunnelijunasta suosikiksi - Helsingin metro 25 vuotta*. Porvoo: WS Bookwell Oy.
- Tolmunen, T. (2016). *Viisi minuuttia seuraavaan lähtöön - HSL-alueen joukkoliikenteen historia*. Helsinki: HSL Helsingin seudun liikenne.
- TramWest. (2006). *Lehdistölle*. Haettu 03. 09 2021 osoitteesta <http://www.tramwest.fi/lehdisto.php>
- TTK GmbH. (2009). *Jokeri - Operation Model*.

- Vantaan kaupunki. (2021). *Pikaraitiotie liikennemuotona*. Noudettu osoitteesta Vantaan kaupungin internet-sivut: https://www.vantaa.fi/asuminen_ja_ymparisto/kadut_ja_viheralueet/liikenne/ratikka/tietoa/pikaraitiotie
- VR-Track. (2017). *Kruunuvuorensillat OpenTrack-simulointi*.
- Vuchic, V. R. (2005). *Urban Transit: Operations, Planning and Economics*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- Vuchic, V. R. (2007). *Urban Transit Systems and Technology*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Walker, J. (2012). *Human Transit: how clearer thinking about public transit can enrich our communities and our lives*. Washington, D.C.: Island Press. doi:<https://doi.org/10.5822/978-1-61091-174-0>
- WSP & Ramboll. (2015). *Raide-Jokeri Hankesuunnitelma 2015*. Espoon ja Helsingin kaupungit.
- WSP. (2009). *Raide-Jokeri Alustava yleissuunnitelma*.
- WSP. (2018). *Raide-Jokeri 3 - Alustava yleissuunnitelma*. Vantaan kaupunki.
- WSP. (2019). *Vantaan ratikan yleissuunnitelma*. Vantaan kaupunki.
- WSP. (2020). *Vantaan ratikan yleissuunnitelman OpenTrack-mallinnuksen raportti*.
- WSP. (2021a). *Läntinen bulevardikaupunki - Liikenteen toimivuustarkastelut*.
- WSP. (2021b). *Maankäytön ja joukkoliikenteen kehittämistarkastelu välillä Matinkylä - Leppävaara - (Myyrmäki)*. Espoon kaupunki.
- WSP Finland Oy. (2016). *Henkilöliikennetutkimus*.
- WSP. (n.d.). *Viikin-Malmin pikaraitiotien yleissuunnitelma*. Helsingin kaupunki.