

Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu
Rakennus- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Helsingin metron automatisoinnin historia ja perustelut

Kandidaatintyö

3.5.2013

Juhana Hietaranta

Tekijä Juhana Hietaranta		
Työn nimi Helsingin metron automatisoinnin historia ja perustelut		
Koulutusohjelma Rakennus- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma		
Pääaine Liikenne- ja tietekniikka	Pääaineen koodi R3004	
Vastuopettaja prof. Jouko Pakanen		
Työn ohjaaja(t) opettava tutkija Iisakki Kosonen		
Päivämäärä 3.5.2013	Sivumäärä 38	Kieli suomi

Tiivistelmä

Helsingin metrosta piti alun alkaenkin tulla automaattinen. Vaadittava tekniikka oli olemassa, ja automaattiajolla esitettiin saavutettavan monia hyötyjä. Metroa suunniteltiinkin 1970-luvun mittaan ajanmukaisesti automaattiajon pohjalta, ja tekniikan toimivuutta testattiin myös käytännössä koeradalla. Koeajot sujuivat kohtuullisen hyvin, mutta järjestelmällä ei kuitenkaan missään vaiheessa saavutettu haluttua luotettavuustasoa. Erityisesti liukkaan kelin seurannaisvaikutuksiin ja tiedonsiirtohäiriöihin liittyneet ongelmat aiheuttivat käytännön toimivuutta ajatellen liikaa häiriöitä. Ennen matkustajaliikenteen aloittamista automaattiajotoiminnon hankintaa päätettiin lykätä. Tähän vaikuttivat teknisten järjestelmien suunnittelu- ja kehitystyön viivästykset sekä toisaalta metron vaikeutunut rahoitustilanne. Liikenne oli myös teknisesti mahdollista hoidtaa sujuvasti ja turvallisesti ilman automaattiajtoa. Kuljettajat ovatkin sekä ajaneet että arvioineet itse junan lähtövalmiuden koko metroliiikenteen ajan vuodesta 1982 lähtien.

Uudelleen metron automatisointi nousi pinnalle 2000-luvun alussa, jolloin alkoi ilmetä tarvetta metron käytönohjausjärjestelmän sekä vanhimpien releasetinlaitteiden uusimiselle. Samalla nähtiin järkevänä selvittää myös toistaiseksi puuttuneen, erillisen kulunvalvontajärjestelmän hankkimista. Kulunvalvonnalla voidaan saavuttaa entistä parempi junaturvallisuuden taso sekä tiheämmät vuorovälit. Laadittujen laskelmien perusteella päädyttiin lopulta tilaamaan täysautomaattisen metroliiikenteen mahdollistava järjestelmä, jonka toimittajaksi valittiin Siemens vuonna 2008. Automaattimetroprojekti on edennyt vaivalloisesti ja se on myöhästynyt aikataulustaan merkittävästi. Sitä ovat leimanneet jatkuvat erimielisyydet HKL:n ja Siemensin välillä, minkä lisäksi erityisesti vanhojen metrojunien muuttaminen automaattiajoon soveltuvaksi on osoittautunut luultua vaikeammaksi. Toimitusta oltiin yhdessä vaiheessa jo muuttamassa täysautomaattisesta puoli-automaattiseksi, ja välillä sopimus oli määrä purkaa kokonaan. Toteutusta päätettiin kuitenkin lopulta jatkaa alkuperäisessä laajuudessaan. Tätä työtä kirjoitettaessa hanke on ajautunut varsinkin aikataulullisesti kriittiseen tilanteeseen, jossa uhkana on Länsimetron suunnitellun avaamisen viivästyminen. Täyttä varmuutta hankkeen täysimääräisestä onnistumisesta ei myöskään vielä ole.

Laskelmien valossa automaattimetron tekevät kannattavaksi yhteiskuntataloudelliset hyödyt, erityisesti matkustajien aikasäästöt. Myös liikennöinnissä esitetään saatavan jonkin verran säästöjä ja teknisiä etuja. Monet yhteiskunnallisista hyödyistä ovat kuitenkin pitkälti arvioita, minkä lisäksi miehittämättömään liikennöintiin liittyä luotettavuuden kannalta monia potentiaalisia riskejä.

Avainsanat automaattimetro, kulunvalvonta, metroliiikenne

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	1
2 Automatisoinnin historia metron rakentamisen aikana	2
2.1 Metrotoimiston suunnitelmat automaattimetrosta.....	2
2.2 Automaattimetron koeajot 1970-luvulla	6
2.3 Automaattiajosta luopuminen matkustajaliikenteen alkaessa	10
3 Toteutettavan automaattimetroprojektin historia.....	14
3.1 Lähtötilanne ja esillä olleet vaihtoehdot	14
3.2 Valittu automatisointiratkaisu	16
3.3 Hankkeen myöhästyminen ja ongelmat	19
4 Automaattimetron perustelut ja niiden arviointi.....	24
4.1 Liikennöinti ja käyttötalous	24
4.2 Yhteiskuntataloudelliset perustelut	28
5 Yhteenvedo.....	32
Lähteet	34

Käytetyt käsitteet ja lyhenteet

Asetinlaite	Turvaa junille kulkutiet. Sisältää turvallisuuslogiikan ja ohjaa esimerkiksi vaihteita ja opastimia. Metron alkuperäiset asetinlaitteet olivat reletoimisia, uudet automaattimetroprojektiin kuuluvat ovat tietokoneasetinlaitteita.
Käytönohjausjärjestelmä	Toimii liikenteenohjauksen käyttöliittymänä koko metrol liikenteen ohjaamisessa. Suorittaa aikataulutettuja ja automatisoituja toimintoja.
Kulunvalvonta	Järjestelmä, joka valvoo ja tarvittaessa puuttuu junan nopeuteen siten, että se on joka hetkellä turvallinen nopeusrajoitukset ja lähestyvät pysähdykset huomioiden. Tässä työssä asiaa on usein korostettu termillä jatkuva-toiminen kulunvalvonta.
Pakkopysäytyslaitteet	Opastimen tai nopeudenvälvojan yhteydessä olevan pakkopysäytysmagneetin sekä junan pakkopysäytyslaitteen muodostama järjestelmä, joka pysäyttää junan sen ajaessa punaista opastinta päin tai sen ylitettyä valvottavan nopeuden. Turvallisuus varmistetaan ohiajovaralla.
Train-stop -järjestelmä	Eräänlainen alkeellinen kulunvalvonta, kts. pakkopysäytyslaitteet.
ATC	Automatic Train Control. 1960–1970-lukujen yhteydessä jatkuvaa kulunvalvontaa tarkoittava termi, nykyisellään laajemmassa merkityksessä koko automaattimetron järjestelmäkokonaisuus.
ATP	Automatic Train Protection. Jatkuva toiminnan kulunvalvonta.
ATO	Automatic Train Operation. Automaattiajotoiminto, joka säätelee junanliikettä ATP:n sallimissa rajoissa.
ATS	Automatic Train Supervision. Kts. käytönohjausjärjestelmä.
LZB	Linienzugbeeinflussung. Jatkuva toiminen kulunvalvonta. Koeradalla oli 1970-luvulla käytössä Siemensin LZB-järjestelmä.

1 Johdanto

Päätös Helsingin metron rakentamisesta tehtiin vuonna 1969. Jo päätöstä edeltäneessä suunnittelussa oli ollut vahvasti esillä ajatus automaattisesta metroluonteesta, jossa junien kulku ei edellytä varsinaista kuljettajaa. Metron tarkempi suunnittelu ja rakentaminen 1970-luvulla tehtiin niin ikään automaattiajaja silmälläpitäen. Metron koeradalla myös testattiin automaattiajaja ja siihen liittyvää tekniikkaa varsin laajasti.

Kuitenkin metroluonne aloitettiin vuonna 1982 kuljettajien kanssa, ilman teknistä valmiutta automaattiajajaan. Vähitellen tavoite ajotoimintojen automatisoinnista jäi takalalle, kunnes metron asetinlaitteiden, käytönohjauksen ja kulunvalvonnan uusiminen tuli ajankohtaiseksi 2000-luvulla. Päätös metron automatisoinnista tehtiin vuonna 2006, ja järjestelmän toimittajaksi valittiin Siemens vuonna 2008. Automatisointiprojektissa on sittemmin ilmennyt lukuisia erimielisyyksiä ja ongelmia, jotka ovat viivästyttäneet toimitusta huomattavasti. Hanke onkin nyt, vuonna 2013, myöhässä alkuperäisestä aikataulustaan lähes kolme vuotta.

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää arkistomateriaalin ja haastattelujen pohjalta, minkälaista automatisointiratkaisua 1970-luvulla pyrittiin rakentamaan, miten sen testaukset sujuivat ja mitkä olivat tuolloin merkittävimmät syyt automaattiajajasta luopumiseen. Lisäksi työssä käsitellään nyt käynnissä olevan automaattimetropolin vaiheita ja viivästymisen syitä sekä arvioidaan projektin toteuttamiselle esitettyjä perusteluja.

Tässä työssä automaattimetrolla tarkoitetaan nimenomaisesti ajotoiminnoiltaan automatisoitua metroluennetta, jossa junien liikkuminen ei joko vaadi kuljettajan toimenpiteitä tai kuljettajaa ylipäätään. Liikenteenohjauksen toimintojen eri asteista automatisointia tarkastellaan ainoastaan siinä määrin kuin ne läheisesti liittyvät kuljettajattomaan ajajaan.

2 Automatisoinnin historia metron rakentamisen aikana

2.1 Metrotoimiston suunnitelmat automaattimetrosta

Helsingin metroa suunniteltiin voimallisesti 1960-luvulla. Tuolloin erilaiset jatkuvatoimiset kulunvalvontajärjestelmät (Automatic Train Control, ATC) olivat yleistymässä metrojärjestelmissä eri puolilla maailmaa (Parkinson 1968). ATC-järjestelmien yhteisenä piirteenä voidaan pitää sitä, että junan hetkellistä suurinta sallittua nopeutta lasketaan ja valvotaan jatkuvasti, jolloin myös kulkutiensä päätekohtaa lähestyvän junan riittävää jarruttamista kyetään valvomaan. Tämä mahdollistaa lyhyet vuorovälit, mitä yleisesti pidetäänkin jatkuvatoimisten kulunvalvontajärjestelmien etuna tiheässä metroliikenteessä. Niin ikään kiinteiden radanvarsiopastimien merkitys vähenee, ja ne voidaan jopa kokonaan korvata junaan sijoitetuilla laitteilla. (Metronsuunnittelutoimisto 1967a.)

Helsingin kaupungin metronsuunnittelutoimisto (1967a) päätyikin ohjelmaselostukseensa esittämään rakennettavan metron varustamista ajanmukaisesti jatkuvatoimisella kulunvalvonnalla, jossa radanvarsiopastimien sijaan olisi junien ohjaamoon sijoitettut opastimet. ATC-järjestelmän todettiin lisäksi soveltuvan sellaisenaan kulunvalvonnaksi myös automaattiajossa, johon tuossa suunnitteluvaiheessa esitettiin varauduttavan.

Mahdollisella automaattiajolla nähtiin olevan mahdollista saavuttaa monia etuja. Erityisesti nostettiin esiin kuljettajaa nopeampi ja varmempi reagointi sekä reippaammat ja sujuvamat jarrutukset asemille, minkä ansiosta saavutettaisiin manuaaliajoa suurempi matkanopeus. Myös ajotavan ja kapasiteetin optimointi ruuhka- ja poikkeustilanteissa nähtiin automaattiajon etuina, kuten myös esimerkiksi henkilökuntasäästöt. (Metronsuunnittelutoimisto 1967b.) Asiasta tuolloin laadittu lyhyt perustelumuistio pohjautuu pitkälti yhdysvaltalaiseen lähteeseen (Kaiser Engineers 1967), mutta alan kehitystä seurattiin luonnollisesti laajemminkin, mikä ilmenee muun muassa useilta metrotoimiston ulkomaanmatkoilta kirjatusta muistioista.

Taulukko 1. Esimerkkejä automaattiajolla varustetuista metrolinjoista vuonna 1969 (Metronsuunnittelutoimisto 1969b)

Kaupunki	Automaattiajolla varustettu linja	Tilanne 1969
Barcelona		varsinainen liikenne
Berliini	2 asemaväliä linjalla 9	koeliikenne
Hampuri	Wartenau-Trabrennbahn (6 km)	koeliikenne
Leningrad	Moskova-Petrograd (12 km)	varsinainen liikenne
Lontoo	Victoria Line (17 km)	varsinainen liikenne
München		koeliikenne
Moskova	Rengaslinja	koeliikenne
Pariisi	Linja 11 (6,3 km) Linja 4	varsinainen liikenne rakenteilla
Montreal	Expo (5,6 km)	varsinainen liikenne
San Fransisco	Koko verkko (120 km)	rakenteilla

Suunnittelun edetessä automaattiajon mahdollisuutta päätettiin hyödyntää, ja asia kirjattiin periaateratkaisuna metronsuunnittelutoimiston (1969a) laatimaan metron yleissuunnitteluohjeeseen. Automaattiajosta laadittiin myös ulkomaisiin kokemuksiin pohjautuva kannattavuuslaskelma, jossa lueteltiin varsin suuri joukko automatisoinnin hyötyjä. Mahdollisia heikkouksia ei arvioinnissa tarkasteltu ollenkaan. Edelleen automaattiajon suurimpana etuna pidettiin sen verrattain suurta ja tasaista hidastuvuutta sekä ajon täsmällisyyttä, joista seuraa aika-, kalusto- ja energiasäästöjä. Erityisen suuria säästöjä esitettiin saatavan, mikäli junat voisivat kulkea kokonaan ilman junavahteja, jolloin pääteasematoiminnot nopeutuisivat huomattavasti. Tällaista käytäntöä ei kuitenkaan tiedetty olleen vielä muualla maailmassa käytössä. (Metronsuunnittelutoimisto 1969b.) Helsingissä päädyttiin kuitenkin ottamaan tavoitteeksi vain se, että junat voisivat käydä pääteasemien kääntöraiteella ilman junavalvojaa, mutta muulloin junissa olisi miehitys (Metrotoimisto 1969).

Huomionarvoista on, että vuoden 1969 kannattavuuslaskelmassa metrojunien arvioidut ajoajat myös automaattiajolla ovat selvästi pidempiä, kuin mihin tänä päivänä kuljettajien ajamassa liikenteessä päästään. Näin siitäkin huolimatta, että nykyinen kulunvalvontajärjestelmä on alkeellisempi, kuin mitä tuolloin kaavailtiin, ja toisaalta nykyisen radan ominaisuudet ja junien suorituskyky kuitenkin vastaavat hyvin pitkälti vuoden 1969 käsitystä. Laskelman alhainen linjanopeus selittyy osaltaan sillä, että asemapysähdyksiin kuluva aika on tuolloin arvioitu pidemmäksi, kuin mitä ne kuljettajien tehokkaasti ajamassa liikenteessä ovat todellisuudessa olleet. Taulukossa 2 on vertailtu vuoden 1969 laskelmien matka-aikoja ja asemapysähdysten kestoja vuoden 2013 tilanteeseen. Kuten taulukosta voidaan havaita, pysähdysajat eivät kuitenkaan selitä ajoaikojen eroa kuin osittain.

Taulukko 2 Metron ajo- ja pysähdysaikoja 1969 suunnitelmien valossa sekä vastaavien aikojen toteutuminen vuoden 2013 liikenteessä

	Metronsuunnittelutoimiston (1969b) kannattavuuslaskelma		Tilanne 2013
	Käsinajo jatku- valla kulunval- vonnalla	Automaattiajo jatkuvalla kulun- valvonnalla	Käsinajo pistemäisellä train- stop -järjestelmällä
Kamppi-Itäkeskus kierroksen matka-aika lin- jalla (min) ilman pääteasema-aikoja	36:30 ^a	35:30 ^a	31:30 ^b
Asema	Metrotoimiston (1969) junaohjaus- järjestelmän teknisissä erittelyissä esiintyvät luvut		Tilanne 2013 ^c
	Automaattiajo mitoitus- pysähdysaika (s)		Käsinajo mittaus arjen iltapäi- väruuhkassa ruuh- kasuuntaan (s)
Kamppi	(30)		(28)
Rautatientori (Kaivokatu)	35		30
Kaisaniemi (Kluuvi)	30		20
Hakaniemi	30		26
Sörnäinen	30		25
Kalasadama	20		16
Kulosaari	20		21
Herttoniemi (Hiihtäjätie)	30		25
Siilitie	20		18
Roihupelto (ei rakennettu)	20		-
Itäkeskus (Puotinharju)	(30)		(-)
Välipysähdykset yhteensä (min) / KP-İK-KP-kierros ei sisällä suluissa olevia aikoja	7:50		6:02

a) Vuoden 1969 laskelmissa on mukana pysähdys Roihupellon asemalla, jota ei ole rakennettu.

b) Aikataulunmukainen ajoaika KP1–İK1 + İK2–KP2 (HKL-Metroliikenne 2013b).

c) Keskiarvo kahdesta mittauksesta arjen iltapäiväruuhkassa ruuhkasuuntaan normaalin liikennetilanteen vallitessa. Toinen juna on M100 ja toinen M200. Asemapysähdysaikana on käytetty ovien avauskäsystä junan vedon ottamiseen kuluvaa aikaa.

Automatisoitua metroa pidettiin kuitenkin kaikessa suunnittelussa lähtökohtana, ja siinä nähdyt hyödyt olivat esillä myös metron rakentamispäätöksen alla suurelle yleisölle julkaistussa esitteessä:

"Automatiikka säätelee myös junien kiihdytyksen ja hidastuksen. Ajo on mahdollisimman taloudellista, kulku nykyksetöntä. Liikenne on suunniteltu tietokoneella ohjattavaksi, jolloin junavälit ovat supistettavissa jopa alle 90 sekunnin. Junissa ei tarvita lainkaan varsinaista kuljettajaa." (Metronsuunnittelutoimisto 1969c.)

Automaatio oli erityisen huomion alla myös metron rakentamispäätöstä seuranneena vuonna 1970, jolloin muun muassa solmittiin Siemensin kanssa sopimus automaattisen junaohjausjärjestelmän suunnittelusta ja toteutuksesta Herttoniemen tulevalle koeradalle

sekä koejuniin (Metrotoimisto 1971a). Keväällä 1971 Metrotoimisto puolestaan tilasi Hampurin liikennelaitoksen tytäryhtiöltä, Hamburg-Consult Gesellschaft für Verkehrsberatung und Verfahrenstechniken mbH:lta selvitystyön metron liikenteenohjauksen periaatteista (Metrotoimikunta 1973a).

Hamburg-Consult GVV:n laatima selvitystyö valmistui vuonna 1973. Siinä esitettiin metron liikennöintitavaksi aikataulupohjaista, lyhytvuorovälistä liikennettä, joka perustuu automaattiajoon. Junille kaavailtiin kahta ajotapaa: pääsääntöisesti käytettäisiin taloudellista ajoprofiilia, mutta asemapysähdysten pitkittyessä aikataulua voitaisiin kuroa kiinni nopeimmalla mahdollisella ajolla. (Metrotoimikunta 1973b.) Hamburg-Consult GVV:n (1972) laskelmissa esitetyt automaattimetron ajoajat olivat jo selvästi lyhyempiä kuin vuoden 1969 arvioissa, mutta edelleen pidempiä kuin mihin manuaalisessa liikenteessä on sittemmin todellisuudessa päästy. Suunnitelmissa esitetty Kampin ja Itäkeskuksen välinen ajoaika ilman Kalasataman asemaa on pysähdyksineen noin minuutin pidempi kuin nykyisissä aikatauluissa Kalasataman asemapysähdysten kanssa (HKL-Metroliikenne 2013a).

Toimintatapojen osalta selvitystyössä esitettiin, että junien asemapysähdysten valvonnan ja lähtölupien antamisen suorittaisivat aluevalvomoissa olevat liikenteenohjaajat kamerakuvan perusteella. Vaikka kaavaillun laitteiston olikin määrä mahdollistaa junien täysin miehittämätön liikennöinti, juniin kuitenkin ehdotettiin "matkustajapalvelun, järjestyksenpidon sekä laitevikojen takia" junavahteja. Alkuvaiheessa junavahdit olisivat olleet joka junassa, myöhemmin miehitystä nähtiin olevan mahdollista supistaa esimerkiksi joka toiseen junaan. Häiriötilanteiden varalle kaavailtiin mahdollisuutta käsinajoon kiinteiden valo-opasteiden mukaan. (Metrotoimikunta 1973b.)

Metrotoimikunta hyväksyi selvitystyössä esitetyt periaateratkaisut syksyllä 1973 ja viimein lähes vuoden kestäneen valmistelutyön jälkeen Hamburg-Consult GVV:ltä päätettiin tilata syksyllä 1974 järjestelmien toteutukseen tähtäävä jatkosuunnittelu- ja konsultointityö. Asetinlaitteissa ja kulunvalvonnassa oli määrä käyttää erikseen valmistajilta tilattavia standardiratkaisuja, mutta sen sijaan kulunvalvonnan linjalaitteiden ja käytönohjauksen tietokoneohjelmien toteutus kuului konsultointisopimukseen. Hamburg-Consult GVV:tä velvoitettiin myös osoittamaan järjestelmiensä toimivuus omassa koe-laitoksessaan, ja muutenkin työssä oli tarkoitus laajalti hyödyntää Hampurin metron kokemuksia sekä sinne kehitettyjä teknisiä ratkaisuja. Suunniteltu toimitusaikataulu testauksineen ja koulutuksineen oli suhteellisen tiukka, sillä tuolloin tähdättiin metroliiikenteen aloittamiseen vuoden 1979 alussa. (Metrotoimikunta 1974a, Metrotoimikunta 1978a.)

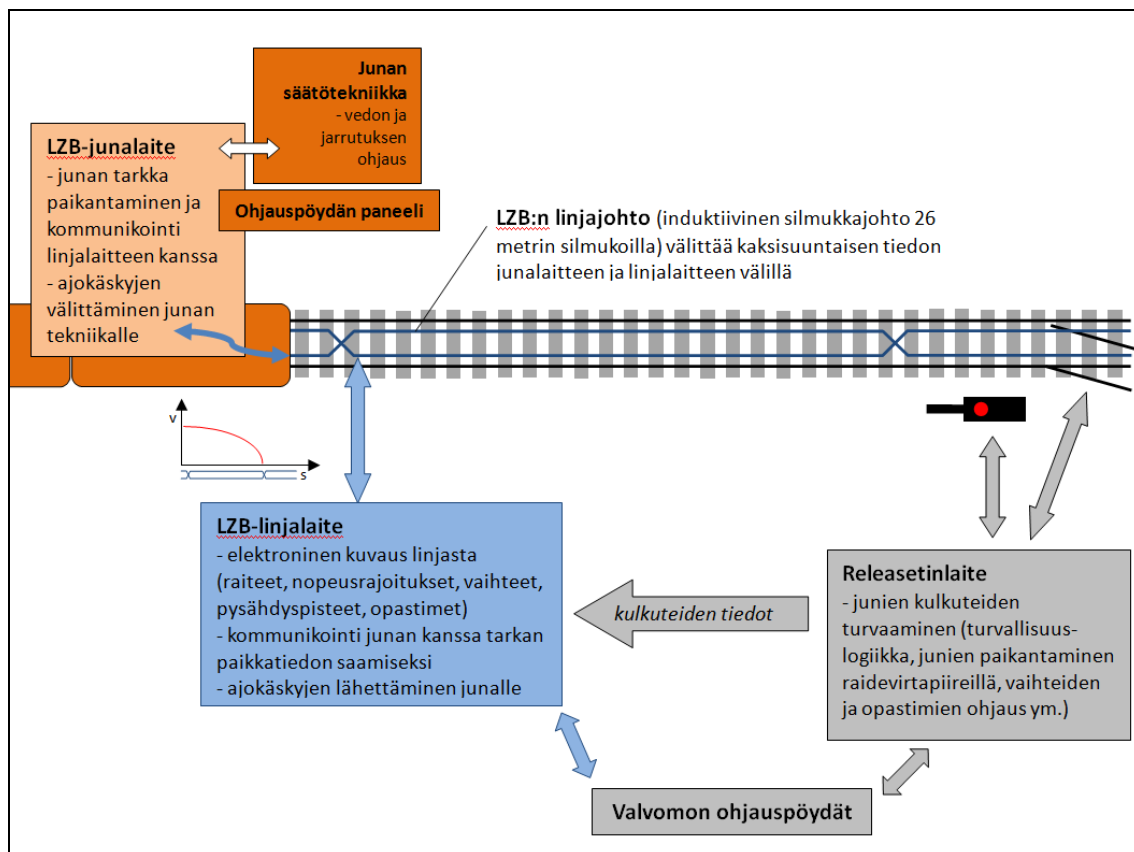
2.2 Automaattimetron koeajot 1970-luvulla



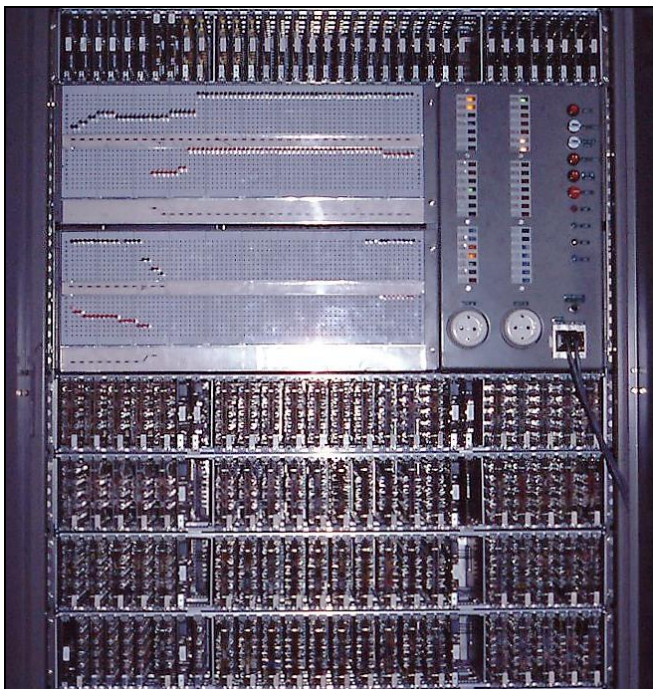
Kuva 1. Metron koejunan kaksi vaunuparia Herttoniemen koeradalla 1970-luvulla. Kuva HKL-Metroliikenteen arkistosta.

Metron 2,8 km pituinen koerata valmistui vuonna 1971 Herttoniemen ja Roihupeltoon rakentuvan metrovarikon välille. Kaikki kolme metron koejunavaunuparia saatiin koeajoihin seuraavan vuoden kuluessa. (Eronen ym. 1973.) Siemensin toimittama koeradan liikenteenohjausjärjestelmä valmistui vaiheittain siten, että ensimmäisenä otettiin käyttöön releasetinlaite syksyllä 1972. Automaattiajon mahdollistava kulunvalvonta valmistui pääpiirteissään syksyllä 1973, jolloin aloitettiin sen vastaanotto- ja mittausajot sekä paneuduttiin erityisesti häiriö- ja tiedonsiirtokysymyksiin. Täysimääräisesti järjestelmä valmistui ja varsinaiset liikennettä jäljittelevät testiajot päästiin aloittamaan syksyllä 1974. (Metrotoimikunta 1974a, Metrotoimisto 1974a.)

Automaattiajon perustana koeradalla oli Siemensin LZB-kulunvalvontajärjestelmä. Sen sydän oli linjalaite, joka muodosti elektronisen kuvauksen linjasta ja sen liikennetilanteesta. Laitteeseen oli ohjelmoitu muun muassa radan nopeusrajoitukset ja pysähdyspaikat, minkä lisäksi se oli yhteydessä asetinlaitteeseen, jolta se sai tiedot junille turvatuista kulkuteistä. Linjalaite kommunikoi junalaitteiden kanssa junien tarkan sijainti- ja nopeustiedon saamiseksi. Näiden tietojen perusteella linjalaite laski junille jarrutuskäyrät seuraavaan nopeusrajoitukseen tai pysähdyspisteeseen (asema, toinen juna tai punainen opastin) ja välitti sitten tarvittavat ajokäskyt junalaitteille. Tiedonsiirto linjalaitteen ja junalaitteiden välillä tapahtui induktiivisen silmukkajohdon välityksellä. Junalaite määritteli sijaintitietonsa käyttäen hyväkseen sekä linjajohdon 26-metrisiä silmukoita että junan takometriä. (Siemens 1973, Metrotoimisto 1974b.) Varsinaisen automaattiajon mahdollisti koejunien säätötekniikka, joka oli tehty siten, että se osasi ottaa ohjauskomennot LZB:n junalaitteelta (Strömberg 1971). Kulunvalvontajärjestelmän rakennetta on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. Koeradon LZB-kulunvalvonnan perusperiaate. Tiedot Siemens (1973) ja Metrotoimisto (1974b).



Kuva 3. LZB-kulunvalvonnan linjalaite. Kuvasta erottuvat hyvin harmaalla pohjalla olevat ohjelmointinastat, joilla määriteltiin radan nopeusrajoitus erikseen kullekin 26 metrin silmukkaosuudelle. Kuva HKL-Metroliikenteen arkistosta.

The image shows a close-up of the dashboard and control panel of a vintage car. On the left, there is a large speedometer with a black face and yellow markings, ranging from 0 to 90 km/h. Above the speedometer, there are four yellow push-buttons labeled "VIRKA", "VIRKA", "JÄRJYTYN", and "AJONVET". To the right of the speedometer, there are two toggle switches labeled "OVI" and "AJOK", and a small "PI" button. In the center, there is a gear shift lever with a black knob and a silver base, labeled "AJONVET" and "KASINATO". To the right of the gear shift, there is a "VOTAPA" button. On the far right, there are several toggle switches labeled "ADERTUS", "AJONVALOT", "OHJAAMON VALOT", "OSASTOJEN VALOT", "INKUNAN PYYHIN", "INKUNAN PUHALIN", "AUKI", "VIRKROITIN", "SEISONTA JÄRJY", "VASEN PUOLI", "KASIN", "OHJAUSTAPA", "OIKEA PUOLI", and "OVIET AUKI". There are also several yellow push-buttons at the top of the panel.

Herttoniemen koeradalla suoritettiin 1970-luvulla varsin laajat koeajosarjat. Ensimmäisinä vuosina testattiin pelkästään junien tekniikkaa, mutta kun koeradon liikenteenohjausjärjestelmä saatiin LZB-kulunvalvontaa myöten täysimittaisesti käyttöön syyskuussa 1974, siirryttiin ajamaan lähes yksinomaan automaattiajaoja. Koeajoja tehtiin arkisin

kahdessa vuorossa siten, että välillä ajettiin niin kutsuttua aikataulunmukaista ajoa ja välillä taas muuta rasisajoa. (Metrotoimikunta 1974b). Yleisesti ottaen koeajot sujuivat verrattain hyvin, eikä junissa tai kulunvalvonnassa ilmennyt juurikaan mitään laajemmin koeajoihin vaikuttaneita vikoja. Kuitenkin erilaisia toiminnallisia häiriöitä sattui erityisesti automaattiajossa tavoiteltua enemmän, eikä niistä päästy halutuissa määrin eroon missään vaiheessa. (Metrotoimikunta 1975, Metrotoimikunta 1976b.)

Suuri osa automaattiajon ongelmista liittyi liukkaisiin keleihin. Junat eivät aina saavuttaneet liukkaalla LZB:n käskemiä hidastuvuusarvoja edes liukkaan kelin alemmilla jarrutuskäyrillä, mistä seurasi tarpeettomasti täysvoimaisia pakkojarrutuksia, jotka välillä jatkuivat junan pysähtymiseen saakka. Lisäksi vedon tai jarrutuksen yhteydessä ilmennyt luisto häiritsi junan takometrilta saatavaa nopeustietoa, mikä puolestaan aiheutti ongelmia, kun kulunvalvonta pyrki määrittämään junan paikkatietoa linjajohdon induktiosilmukoiden ja junan takometrin tietoja yhdistämällä. Tästä ristiriidasta aiheutui niin ikään pakkojarru, ja lisäksi paikannuksen häiriintyminen edellytti ajon jatkamista käsin seuraavalle synkronointipisteelle saakka. Toinen tyypillinen ongelmalähde koeajoissa liittyi koejunien vahvavirtalaitteisiin, jotka ajoittain erityisesti kiihdytyksen yhteydessä aiheuttivat häiriöitä kulunvalvonnan tiedonsiirtoon. Myös näistä tapauksista seurasi paikannuksen häiriintyminen ja junan pysähtyminen. (Metrotoimikunta 1975).



Kuva 5. Koejuna metron koeradalla Herttoniemessä 1970-luvulla. Kiskojen välissä erottuvat LZB-kulunvalvonnan linjajohdot. Automaattiajoon suunnitelluissa koejunissa ei ollut varsinaista ohjaamoa, vaan ainoastaan ohjauspaikka. Hallintalaitteet oli peitettävissä kannella ja tuulilasin edustalla oli läppäistuimet. Koeajojen yhteydessä kuitenkin raporttoitiin, että kuljettajan (junavalvojan) paikka oli liian vetoisa ja penkin puuttuvien säätömahdollisuuksien takia ergonomia oli huonoa (Metrotoimikunta 1975). Kuva HKL-Metroliikenteen arkistosta.

Lisäksi raportoitiin myös muutamia muita, harvemmin toistuneita virhetoimintoja. Junat ajoivat joitain kertoja koeradana asemapysähdyspaikkojen ohi pysähtymättä, ja puoliautomaattisessa ajotavassa ilmeni myös muutamia tapauksia, joissa juna lähti liikkeelle ilman koeajajan antamaa lähtölupaa. Koeajojen alkuvaiheessa ilmeni myös jonkin verran pysähtymispaikkojen siirtymistä, vaikka pääsääntöisesti järjestelmän pysähtymistarkkuus olikin hyvä. (Metrotoimikunta 1974b, 1976b). Kesällä 1975 automaattiajojen osuutta kaikista ajoista vähennettiin, lähinnä junatekniikkaan liittyneestä pidempikestoisesta ongelmasta johtuen. Rasitusajoja jatkettiin kuitenkin ainakin osin automaattisina kahdessa vuorossa kesään 1976 saakka, jonka jälkeen koeajomääriä vähennettiin. (Metrotoimikunta 1976b). Loppua kohden ajettiin lähinnä valvottua käsinajoa (Koskinen 2013).

Vaikka koeradalla käytössä ollut kulunvalvonta- ja automaattiajotekniikkaa ei saatukaan toimimaan aivan halutulla luotettavuudella, niin koeajoista saatiin kuitenkin paljon arvokasta tietoa sekä sarjajunien että varsinaisen kulunvalvontajärjestelmän suunnittelua varten. Sarjajunien luistonestoa parannettiin, ja jo niiden moottoritekniikan muuttuminen vaikutti luistoherkkyyteen vähentävästi. Sarjajuniin päätettiin lisätä myös kiskojarut lisävarmistukseksi liukkaille keleille. (Metrotoimikunta 1975). Junan tekniikan aiheuttamia tiedonsiirtohäiriöitä osattiin odottaa jo koeradana laitteistoja tilatessa (Metrotoimisto 1971a), ja niihin saatiinkin koeradana kokemusten ja mittausten myötä suunniteltua tilannetta parantavia ratkaisuja. Samaan aikaan vireillä olleessa varsinaisen kulunvalvontajärjestelmän suunnittelussa pystyttiin myös huomioimaan monipuolisempien liukkaan kelin ohjelmien tarve sekä erityisesti luistosta riippumattomien, kuten tutkapohjaisten paikannusratkaisuiden löytäminen. Huomionarvoinen seikka on, että tarpeelliseksi koettiin myös erilliset ajoaikataulut liukkaita kelejä varten. (Metrotoimikunta 1975).

Vuonna 1977 Herttoniemen koeradana LZB-linjajohdot siirrettiin metrovarikon alueelle valmistuneelle koestusraiteelle ja junalaitteet puolestaan sarjajunien protokappaleen, niin kutsutun nokkajunan yhteen vaunupariin. Varikon alueella tehtiin vielä erityisesti kulunvalvonnan tiedonsiirto-ongelmiin liittyviä mittauksia (Metrotoimikunta 1981a.), mutta kulunvalvonnan toimintaa ei kuitenkaan enää varikon alueella testattu erityisen järjestelmällisesti. Lopulta kulunvalvonnan laitteet purettiin 1980-luvun puolella varikon uuden, varsinaisen asetinlaitteen valmistumisen myötä. Sittenkin LZB-laitteet päätyivät osittain erehdyksessä romutettavaksi. (Koskinen 2013.)

2.3 Automaattiajosta luopuminen matkustajaliikenteen alkaessa

Hamburg-Consult GVV:n kanssa tehdyn liikenteenohjausjärjestelmän suunnittelu- ja konsultointisopimuksen aikataulua muutettiin projektin edetessä useita kertoja. Syinä mainitaan metron sarjajunien protokappaleen, niin kutsutun nokkajunan, teknisten tietojen viivästyminen, kulunvalvontajärjestelmiä valmistavan teollisuuden odotettua hitaampi kehitystyö sekä keskeisessä roolissa olleen, erikseen Siemensiltä tilatun Herttoniemen asetinlaitetoteutuksen jakaminen kahteen vaiheeseen. Asiaan vaikuttivat luonnollisesti myös metron rakentamisen muut viivästykset, joista johtuen myös matkustajaliikenteen aloitusajankohtaa jouduttiin tarkistamaan useaan otteeseen. (Metrotoimikunta 1978a.)

Kaavailtu liikenteenohjausjärjestelmä voitiin jakaa kolmeen osaan. Releasetinlaitteet huolehtivat junien kulkuteiden turvaamisesta sekä vaihteiden, opastimien ja muiden ratalaitteiden ohjaamisesta. Tietokonepohjainen käytönohjausjärjestelmä puolestaan tekee automatisoituja ja aikataulutettuja liikenteenohjaustoimintoja ja toimii valvomossa käyttöliittymänä esimerkiksi junanlähetyksessä. Kolmas osa on LZB:n kaltainen jatkuva-toiminen kulunvalvonta tarvittavine linja-, rata- ja junalaitteineen. (Metrotoimikunta 1979a.)

Tarvittavat asetinlaitteet Hakaniemeen, Herttoniemeen ja varikolle oli päätetty tilata Siemensiltä vuoden 1976 aikana. Vuoden 1979 alussa Herttoniemen aluevalvomon asetinlaite oli jo pitkälti valmis ja koeliikenteen käytössä, ja myös käytönohjauslaitteisto Hamburg-Consult GVV:n toimittamalla tietokoneohjelmistolla oli ollut jo muutaman kuukauden koekäytössä Herttoniemessä. Sen sijaan automaattiajon mahdollistavasta jatkuvatoimisesta kulunvalvonnasta ei oltu vielä tehty hankintapäätöstä. Tarjoukset oli kyllä pyydetty loppuvuodesta 1977 Siemensiltä, Standard Elektrik Lorenz AG:ltä ja AEG:ltä, ja niitä oli täydennetty seuraavan vuoden aikana. Kaikkien valmistajien kanssa oli myös käyty lukuisia neuvotteluja. (Metrotoimikunta 1979a.)



Kuva 6. Herttoniemen aluevalvomo 1970-luvun lopulla, muutamaa vuotta ennen matkustajaliikenteen alkua. Taustalla näkyy sittemmin vuoteen 2012 saakka palvelleeseen Siemensin releasetinlaitteen ilmaisintaulu. Sen edessä istuva liikenteenohjaaja näppäilee koekäytössä ollutta Hamburg-Consult GVV:n ohjelmistolla toimivaa käytönohjausjärjestelmää. Kuvan etualalla istuva liikenteenohjaajan apulainen on puolestaan valmiina antamaan junalle lähtölupaa laiturikamerakuvien perusteella. Kuva HKL:n arkistosta, tiedot Heikki Koskinen (2006).

Lopulta metrotoimikunta kuitenkin päätti kokouksessaan 21.3.1979 jättää kulunvalvonnasta saadut tarjoukset käyttämättä ja siirtää jatkuvatoimisen kulunvalvonnan hankkimisen myöhempään ajankohtaan (Metrotoimikunta 1979b). Hankinnan lykkäämisellä py-

rittiin varmistamaan, että Helsinkiin saataisiin hankittua uusinta tekniikkaa, josta kuitenkin olisi ehtinyt jo kertyä käyttökokemuksia maailmalta. Erityisesti Berliinin ja Hampurin kokemuksia odotettiin. Lykkäyspääöstä puolsivat vahvasti myös rahoitukselliset seikat. (Metrotoimikunta 1979a, Vepsäläinen 2013.)

Liikenteen aloittaminen ilman erillistä kulunvalvontahankintaa oli ylipäättään mahdollista siksi, että Siemensiltä hankittuihin asetinlaitejärjestelmiin kuuluivat opastimien yhteydessä olevat pakkopysäytysmagneetit. Yhdessä juniin asennettavien ja niin ikään jo tilattujen pakkopysäytyslaitteiden kanssa ne muodostavat eräänlaisen alkeellisen, pistemäisen kulunvalvontajärjestelmän. (Metrotoimikunta 1976a.) Kyseinen järjestelmä ei valvo junan riittävää jarruttamista eikä estä punaista päin ajamista ennakolta, mutta pysäyttää junan seis-opasteen ohiajon tapahduttua. Junaturvallisuus varmistetaan kulkutiehen sisältyvällä riittävällä ohiajovaralla, joka toisaalta pidentää lyhintä mahdollista vuoroväliä jatkuvatoimiseen kulunvalvontaan verrattuna. Tarkalleen ottaen tällaista train-stop -järjestelmää ei oikeastaan voida pitää varsinaisena kulunvalvontajärjestelmänä, koska se ei kaikilta osin ole fail-safe-periaatteen mukainen, eikä se nopeusvalvonnan puutteen takia kykene varmistamaan junaturvallisuutta täysin aukottomasti. Sillä voidaan kuitenkin saavuttaa käytännössä riittävä minimitaso liikennöinnin turvaamisessa. (Heinlahti-Guillén 2013).

Päätös kulunvalvontahankinnan lykkäämisestä merkitsi myös muutosta kaavailtujen junanvalvojen toimenkuvaan, sillä tavoitteena ollut automaattiajo ei näin ollen enää ollutkaan mahdollista liikenteen alkaessa. Liikennöinti katsottiin voitavan aloittaa hyvin myös kuljettajien ajamana, etenkin kun käytössä olevien junien ja asemien määrä alkuvaiheessa oli maltillinen (Metrotoimikunta 1979a).

Alkuvuonna 1981 metrotoimikunta päätti lykätä myös tietokonepohjaisen käytönohjausjärjestelmän hankintaa siten, että kyseinen liikenteenohjausta helpottava järjestelmä ei ole vielä käytössä liikenteen alkaessa (Metrotoimikunta 1981b). Syyt olivat samansuuntaisia kuin kulunvalvontahankinnan lykkäämisessäkin: keskeisessä roolissa olivat metron vaikeutunut rahoitustilanne sekä teknisten ratkaisuiden oletettua pidemmät kehitys- ja toimitusajat. Lisäksi liikenteen vaiheittainen käynnistyminen vajaalla asema- ja junamäärällä mahdollisti liikenteenohjauksen hyvin myös suoraan pelkkiä asetinlaitteita käyttämällä, ja toisaalta hankinnan lykkäämisellä vakiintuneemman liikenteen aikaan pyrittiin helpottamaan järjestelmän käyttöönottoa. (Metrotoimikunta 1981a, 1981c.)

Käytönohjausjärjestelmän käyttöönoton lykkääminen vaikutti osaltaan myös kaavailtuun liikennöintitapaan, koska junien lähtölupien antaminen oli ollut määrää hoitaa käytönohjauksen kamerakuvan perusteella aluevalvomoista käsin. Nyt todettiin kuitenkin, että erilliset asemavalvojat antaisivat lähtöluvat poikkeustilanteita varten asemalaitureille sijoitetuilta varalähetyspaikoilta, kunnes keskitetty järjestelmä saadaan käyttöön. Kokonaan uudenlainen linjaus oli puolestaan se, että junaa ajava junanvalvoja voisi hiljaiseen aikaan hoitaa lähdön myös omatoimisesti ilman erillistä lähtölupaa. (Metrotoimikunta 1981a.) Tämä edellytti luonnollisesti myös sivupeilien lisäämistä metrojuniin. Laiturien varalähetyspaikat varusteltiin toimintakuntoisiksi Siemensiltä hankituilla laitteilla, mutta junanlähetystä ei kuitenkaan koskaan otettu toimintatapana käyttöön. Kuljettajat ovat hoitaneet paitsi ajamisen, myös lähtövalmiuden arvioimisen peilien avulla metroliikenteen alusta, elokuusta 1982 saakka. (Koskinen 2006.)



Kuva 7. Lavastettu junanlähetystilanne Herttoniemen 1-laiturin varalähetyspaikalla. Koska käytönohjausjärjestelmän hankintaa lykättiin, ajateltiin metroliikenteen alkamisen kynnyksellä, että laiturivalvojat antaisivat ovien sulkemiskäskyt ja lähtöluvat kuvan tapaan varalähetyspaikoilta. Koko junanlähetyskäytännöstä kuitenkin luovuttiin ennen matkustajaliikenteen alkua. Pikkukuvissa näkyvät aseman lähtöopastimien yhteydessä olevat junanlähetysopasteet, joiden mukaan junanvalvoja olisi hoitanut ovitoiminnot: O = sulje ovet, L = lähde. Opasteen käyttö voitiin korvata asentamalla juniin sivupeilit. (Hietaranta 2006, Koskinen 2006).

3 Toteutettavan automaattimetropolin historia

3.1 Lähtötilanne ja esillä olleet vaihtoehdot

Metrolinjaa laajennettiin liikenteen alkuvuosina vaiheittain. Läntinen pääteasema siirtyi Kamppiin 1983 ja Sörnäisten väliasema avattiin vuonna 1984. Liikennöinti Itäkeskuksesta Kontulaan aloitettiin vuonna 1986, ja edelleen Mellunmäkeen saakka vuonna 1989. (Tolmunen 2007.) Metron linjaosuuden liikenteenohjaus hoidettiin tuolloin Hakaniemen ja Herttoniemen kahdesta erillisestä aluevalvomosta suoraan asetinlaitteita käyttämällä. Kontulaan valmistunutta asetinlaitetta kaukokäytettiin Herttoniemen valvomosta käsin. (Koskinen 2013.) Keskitetyn liikenteenohjauksen mahdollistavan ja aikataulutettuja toimintoja tekevän käytönohjausjärjestelmän hankintaa oli kyllä valmisteltu 1980-luvun mittaan (Metroliikenneosasto 1987), ja sitä oltiin jo tilaamassa osana Kontulan–Mellunmäen-haaran turvalaitteiden hankintaa, mutta oletettua suuremman hinnan vuoksi käytönohjauksen tilaamisesta tehtiin oma päätöksensä vasta vuonna 1990. Paitsi liikenteenohjausta helpottavana järjestelmänä, käytönohjaus nähtiin suorastaan välttämättömyytenä varsinkin näköpiirissä olleeseen Vuosaaren metrohaaraan varauduttaessa. AEG Westinghouse Transport-Systeme GmbH:lta hankittu käytönohjausjärjestelmä otettiin käyttöön vuonna 1994, ja sen myötä metron koko linjaosuuden liikenteenohjaus voitiin keskittää Hakaniemen valvomoon. (Liikennelautakunta 1990, Koskinen 2013.)

Sen sijaan junien kulunvalvontajärjestelmän hankintaa, jota niin ikään oli metron rakentamisaikana päätetty lykätä, ei oltu vielä otettu ainakaan ylemmällä tasolla uudelleen vireille, vaan metrossa pitäyduttiin edelleen kuljettajien ajamassa, pakkopysäytyslaittein turvatussa liikenteessä. Ajoittaisia puheita varsinaisen kulunvalvonnan hankkimisesta oli kyllä ollut metroliikenneyksikössä aina silloin tällöin (Vepsäläinen 2013), mutta pysyvämminkin asia nousi pinnalle 2000-luvun alussa, jolloin alkoi ilmetä laajempaa tarvetta koko liikenteenohjausjärjestelmän uusimiselle. Vanhimmat liikennettä ohjaavat ja turvaavat releasetinlaitteet oli rakennettu 1970-luvun lopussa, ja ne alkoivat vähitellen olla käyttöikänsä loppupuolella. Myös varaosien saanti 1960-luvun tekniikkaan perustuneisiin asetinlaitteisiin oli heikentymässä. (Hölttä 2013, Heinlahti-Guillén 2013.)

Kuitenkin jopa asetinlaitteita akuutimpi uusimistarve oli vastikään 1990-luvulla AEG:ltä hankitulla käytönohjausjärjestelmällä, jolle ei yritys järjestelyiden myötä ollut enää saatavissa valmistajan tukea. Sen puuttuminen vaikutti paitsi normaaliin ylläpito-toimintaan, myös siihen, ettei käytönohjausjärjestelmä ollut enää laajennettavissa esimerkiksi kaavailtujen Kalasataman aseman ja Länsimetron tarpeisiin. Niinpä sekä käytönohjausjärjestelmän että vanhojen releasetinlaitteiden uusimiselle oli olemassa selvä tarve. Samassa yhteydessä nähtiin luontevana selvittää myös toistaiseksi puuttuneen, train-stop-järjestelmää paremman kulunvalvontajärjestelmän hankkimista. Vuosina 2001 ja 2002 metroliikenneyksikössä alettiinkin kartoittaa markkinoilla olevia ratkaisuja. Valmistajilta pyydettiin esittelyjä ja budjettitarjouksia, minkä lisäksi selvitettiin myös ulkomaisia kokemuksia. (Hölttä 2013, Heinlahti-Guillén 2013.)

Kulunvalvonnan osalta tavoitteena oli erityisesti poistaa nykyisen järjestelmän puutteita, joista kenties oleellisin oli junien jatkuvan nopeusvalvonnan puuttuminen. Parempi kulunvalvontajärjestelmä kykenisi siis jo ennalta estämään esimerkiksi punaisen opastimen ohiajon sekä valvomaan junan oikeaa nopeutta vaihteissa tai muiden nopeusrajoitusten kohdalla, kun taas metroliikenteessä toistaiseksi käytössä oleva train-stop-

järjestelmä puuttuu junan kulkuun vasta, mikäli se ohittaa punaisen opastimen. Nopeutta valvotaan nykyisellään vain muutamassa yksittäisessä pisteessä. Turvallisuus on pitkälti pystytty varmistamaan riittävillä ohiajovaroilla, mutta pakkopysäytykseen perustuva järjestelmä ei ole täysin aukoton. Varsinaisella kulunvalvontajärjestelmällä voitaisiin lisäksi puuttua myös muihin inhimillisen virheen mahdollisuuksiin, kuten esimerkiksi valvoa junan oikeaa pysähtymispaikkaa asemilla ja estää junan ovien avaaminen väärältä puolelta. Mikäli päädyttäisiin nimenomaisesti jatkuvatoimiseen kulunvalvontajärjestelmään, voitaisiin paranevan junaturvallisuuden lisäksi saavuttaa myös entistä lyhyemmät vuorovälit, koska kiinteiden suojavälien sijasta junan lyhin mahdollinen etäisyys edellä ajavaan junaan voisi muuttua nopeudesta riippuen. (Heinlahti-Guillén 2013.)

Selvitystyön ohessa valmistajilta pyydettiin alustavia budjettitarjouksia sellaisesta kulunvalvontajärjestelmästä, joka mahdollistaisi 90 sekunnin vuorovälin. Käytännössä tällaisesta kehittyneestä, jatkuvatoimisesta kulunvalvontajärjestelmästä ei kuitenkaan ole pitkää harppausta junan ajotoimintojen automatisoimiseen, joten budjettitarjouksetkin päädyttiin kysymään automaattiajon sisältävistä järjestelmistä. Tuolloin tavoitteena pidettiin kuitenkin lähinnä sitä, että junat ajaisivat vain pääteasemien kääntöraiteille sekä varikolle ilman kuljettajaa, ja muulloin ne olisivat automaattiajosta huolimatta kuljettajalla tai muulla henkilöllä miehitettyjä. Tämänkaltaiset puoliautomaattiset ratkaisut olivat tuolloin ylivoimaisesti yleisin ratkaisu ulkomaisissa vastaavia investointeja toteuttavissa kohteissa. Budjettitarjoukset olivat vain suuntaa antavia ja ratkaisuiltaan varsin vaihtelevia. Selvittelytyötä jatkettiin edelleen varsinaiseen tarjouskilpailuun tähdäten. (Heinlahti-Guillén 2013, Hölttä 2013.) Näköpiirissä alkoi tuolloin olla myös Länsimetron toteutuminen, joten metron laajenemisenkin kannalta välttämätöntä liikenteenohjaus- ja kulunvalvontajärjestelmähanketta nähtiin tärkeänä alkaa edistää myös HKL:n Suunnitteluyksikössä. (Vepsäläinen 2013.)

Taulukko 3 Suunnitteluyksikön arvioita eri vaihtoehtojen hinnoista (Vepsäläinen 2003)

Järjestelmä	Hinta (M€)	Vuoroväli (s)	Edut
Uusi käytönohjaus, varautuminen asetinlaitehankintaan	25	180 (ennallaan)	järjestelmän luotettavuus kasvaa, huoltokustannusten säästö
Kulunvalvonta (ATP)	40	120	vuoroväli pienenee
ATP + automaattiajo (ATO):		90	ajoenergian säästö, joustavuus häiriötilanteissa, kaluston ja henkilöstön säästö, vuoroväli pienenee, tasainen ajo
• Kuljettajan kanssa	50		käännöt ja varikolle ajot ilman kuljettajaa
• Ilman kuljettajaa	65		matkustajapalvelu paranee
• Miehittämätön	70		

Suunnitteluyksikössä laadittiinkin laskelmia eri vaihtoehtojen (taulukko 3) vertailemiseksi. Pelkkää käytönohjauksen uusimista ja varautumista asetinlaitteiden uusimiseen, mikä teknisessä mielessä oli minimi-investointi, ei nähty järkevänä, sillä ratkaisu ei olisi parantanut junaturvallisuutta eikä mahdollistanut vuorovälin lyhentämistä (Vepsäläinen

2003). Jatkuvan kulunvalvonnan sisältävän järjestelmän hinnaksi arvioitiin käytettävissä olleiden, alustavien tietojen valossa 40 M€, kun taas kevyin automaattiajo-ominaisuudella täydennetty järjestelmä olisi ollut vain verrattain vähän kalliimpi (Vepsäläinen 2003, 2013). Järjestelmävalmistajat olivat myös varsin herkästi tarjoamassa ATP:tä ja ATO:a yhtenä pakettina (Heinlahti-Guillén 2013). Kyseeseen katsottiinkin tulevan automaattiajolla varustetun ratkaisun joko puoliautomaattisena tai miehittämättömänä. Sitten päätöksentekoa edeltäneissä tarkasteluissa täysautomaattinen järjestelmä osoittautui kannattavimmaksi vaihtoehdoksi (Vepsäläinen 2005a). Se nähtiin myös nykyaikaisimpana ratkaisuna, ja oltiinhan valmisteluvaiheessa luonnollisesti kiinnostuneina seurattu esimerkiksi Kööpenhaminaan samoihin aikoihin avatun automaattimetron ratkaisuja (Hölttä 2013). Automatisoinnille esitettyjä perusteluja on käsitelty tarkemmin tämän työn luvussa 4.

Esitys täysautomatoitoidun metroliikenteen mahdollistavan järjestelmän hankkimisesta meni läpi niin joukkoliikennelautakunnassa, kaupunginhallituksessa kuin kaupunginvaltuustossakin ensimmäisellä käsittelykerralla (Vepsäläinen 2013). Kaupunginvaltuusto hyväksyi 70 M€ maksavan järjestelmän hankinnan kokouksessaan 17.5.2006. Tuolloin automaattimetron käyttöönoton arveltiin tapahtuvan vuonna 2011. (Kaupunginvaltuusto 2006.) Järjestelmän hankkimiseksi järjestettiin tarjouskilpailu, johon saatiin yhteensä seitsemän tarjousta. Ensimmäisen kierroksen tarjouspyyntö oli ollut sen verran kevyt, että myöhemmin ilmeni paljon tarpeita tarkentaa tarjouksia. Neuvottelumenettelyjen juridiikkaa jouduttiin selvittämään tarkoin, ja riskiä häviäjien valituksista pidettiin suurena. Siitä huolimatta ratkaisu kuitenkin pyrittiin löytämään ensimmäisen tarjouskilpailun perusteella. Tarjouksien pisteytyksessä ilmeni kuitenkin erimielisyyksiä, eikä valintaa saatu tehtyä. Näin ollen päätettiin järjestää vielä toinen tarjouskilpailu, tällä kertaa Metroliikenneyksikön sijasta Suunnitteluyksikköön perustettavan tiimin johdolla. (Hölttä 2013.)

Toista kierrosta varten laadittiin entistä yksityiskohtaisempi tarjouspyyntö, mikä luonnollisesti viivästytti hanketta entisestään, ja tarjouksia päästiin tarkastelemaan viimein syksyllä 2007. Lopullisia tarjouksia saatiin toisella kierroksella enää kolme kappaletta. Osa vetäytyneistä yrityksistä ei jättänyt tarjousta, koska he kokivat uuden kierroksen olevan Siemensiä suosiva. (Hölttä 2013.) Tarjouksen jättivät tuolloin Ansaldo, Siemens ja Thales, joiden kaikkien kanssa käytiin jatkoneuvotteluita. Edullisimman tarjouksen jätti Ansaldo, mutta Siemens voitti kilpailun lopulta kierrosaika- ja laatupisteiden turvin. (Joukkoliikennelautakunta 2008a.) Pisteytys ei ollut kaikilta osin Metroliikenneyksikön näkemyksen mukainen, mutta toimittajavalinta tehtiin kyseisen kilpailutuloksen perusteella viimein toukokuussa 2008 (Hölttä 2013). Ansaldo valitti markkinaoikeuteen tarjouskilpailun yhteydessä käytetystä neuvottelumenettelystä. Markkinaoikeus hylkäsi sittemmin Ansaldon hakemuksen, minkä jälkeen asia eteni korkeimpaan hallinto-oikeuteen. (Judström ja Reiman 2013.)

3.2 Valittu automatisointiratkaisu

Järjestelmän toimittajavalinnan aikoihin myös hankesuunnitelmaa jouduttiin tarkistamaan erityisesti hinnan osalta. Alkuperäinen, 70 M€:n hintainen hankesuunnitelma oli esitelty joukkoliikennelautakunnalle jo keväällä 2005, ja se perustui tuon ajan hintatasoon sekä käsitykseen hankinnan laajuudesta. Kevään 2008 tilanteessa uusi kustannusarvio oli 115 M€, eli yli 60 % alkuperäistä enemmän. Yleisen kustannustason nou-

susta johtuva korotus oli 17 M€ ja tarkempien määrittelyjen myötä lisääntyneet ominaisuudet kasvattivat puolestaan hintaa 28 M€. Kaupunginvaltuusto hyväksyi tarkistetun hankesuunnitelman kokouksessaan 18.6.2008, vaikkakin HKL sai hallituskäsittelyssä kovaa kritiikkiä erityisesti kaupungin talous- ja suunnittelukeskukselta, joka kyseenalaisti valmistelutyön laatutason ja piti hinnannousua lähtökohtaisesti kestäättömänä. Tästä huolimatta myös Taske lopulta puolsi tarkistetun hankesuunnitelman hyväksymistä. Hankkeen kannattavuutta perustelemaan oli laadittu myös uuden hinnan mukaiset hyöty-kustannuslaskelmat. (Kaupunginvaltuusto 2008.) Hankkeen kannattavuutta on käsitelty tämän työn luvussa 4.2.

Yksi merkittävä hintaa nostanut seikka oli, että metroasemat päätettiin nyt varustaa laiturioilla, mikä aiemmissa vaiheissa oli ollut ainoastaan lisäoptio. Vaihtoehtoja selvitetäessä ja kokeiltaessa oli kuitenkin osoittautunut, että radan laituriosuuksien esteidenvalvonta esimerkiksi kamera- tai sädetunnistusjärjestelmällä ei tule kyseeseen, sillä ne ovat liikenteen toimivuutta ajatellen liian herkkiä. Erityisesti lumipyry ulkoasemilla oli ongelma. Myös Kööpenhaminan kokemukset puhuivat vahvasti laituriovien puolesta: siellä ei ulkoasemilla ollut laituriovia, mutta liian herkästä esteidentunnistusjärjestelmästä johtuen liikenne oli alkuvaiheessa niin epävarmaa, että junaisännät ajoivat automaattimetron ulko-osuuksilla. Vierailun yhteydessä kööpenhaminalaiset olivat myös suoraan suositelleet laituriovien asentamista jokaiselle asemalle. (Hölttä 2013.)



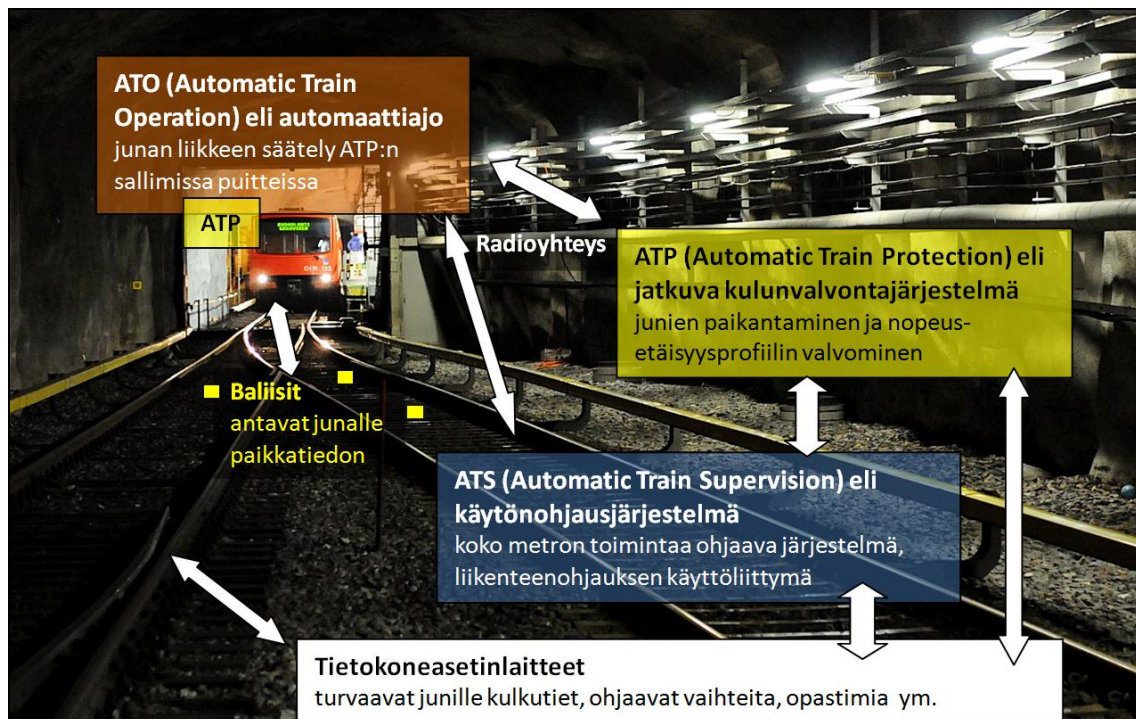
Kuva 8. Laituriovet koekäytössä Vuosaaren asemalla. Kuvan kaltaiset, 170 cm korkuiset laiturioiviseinät on määrä asettaa Helsingin nykyisille metroasemille. Länsimetron asemat varustetaan jo alkujaan täyskorkeilla laiturioilla. Kuvan laiturinäytöt ovat 1990-luvun alun mallia ja ne on korvattu vuoden 2012 aikana uusilla. (HKL-Metroliikenne 2013c, Hietaranta 2012.)

Vaikka laiturioiviseinä onkin matkustajaturvallisuuden kannalta hyvä ratkaisu, ei sekään kuitenkaan ole täysin ongelmaton valinta. Helsingin vanhojen ja uudempien metrojunien ovet eivät ole täsmälleen samalla kohdalla, joten laiturioivista joudutaan tekemään leveätköjä. Myös niiden jälkiasennus vanhoille asemille aiheuttaa omat haasteensa sekä rakenteen että liikennöinnin kannalta. Laituriovien myötä myös liikennettä häiritsevien ovivikojen mahdollisuus kasvaa, ja erityisesti ulko-osuuksilla olevien laituriovien toi-

minta varsinkin talvella ja yöllisen liikennetauon jälkeen herätti alkujaan epäilyksiä. Kuitenkin laituriosuuksien turvallisuus täysautomaattisessa liikenteessä nähtiin välttämättömänä varmistaa, ja laituriovia pidettiin kaikesta huolimatta parhaana ratkaisuna. (Vepsäläinen 2013, Heinlahti-Guillén 2013.)

Muita lisäkustannuksia alkuperäiseen hankesuunnitelmaan verrattuna aiheutui muun muassa siitä, että metron kaikki viisi releasetinlaitetta päätettiin korvata elektronisilla asetinlaitteilla; aiemmin oli ajateltu selvittävän ainoastaan kahden vanhimman uusimilla. Myös laiturinäyttöjen korvaaminen uusilla lisättiin hankkeeseen vasta tässä vaiheessa. Loput hintaa nostaneet lisäominaisuudet liittyivät junien tiedonsiirtojärjestelmän muutoksiin, sekä puolueettoman turvallisuustarkastajan ja muun konsultointityön lisäyksiin. Jatkoa ajatellen tarjoukseen sisältyi lisäksi erillinen optio järjestelmän laajentamisesta Länsimetron osuudelle. (Kaupunginvaltuusto 2008.) Sen sijaan metrovarikon laajennuksen automatisointi ei sisältenyt tarjoukseen, sillä Länsimetron ja uusien junien myötä tarvittavan lisävarikkokapasiteetin sijainti tai toteutus ei ollut vielä varmuudella tiedossa tarjouspyyntöä laadittaessa (Reiman 2013).

Lopullinen sopimus Siemensin kanssa allekirjoitettiin joulukuussa 2008 (Judström ja Reiman 2013). Toimituksen kohteena oleva automaattinen liikenteenohjausjärjestelmä (ATC) käsittää uudet tietokonepohjaiset asetinlaitteet, käytönohjausjärjestelmän (ATS), junien jatkuvan kulunvalvonnan (ATP) sekä automaattiajon (ATO) tarvittavine juna-, asema-, ja ratalaitteineen. Tiedonsiirto juniin tapahtuu radioteitse, minkä lisäksi junat saavat tarvitsemaansa absoluuttista paikkatietoa rataa asennetuilta baliiseilta. Laituriosuuksien turvallisuus varmistetaan laituriovisiinillä. (Joukkoliikennelautakunta 2008.) Järjestelmän rakennetta on havainnollistettu kuvassa 9.



Kuva 9. ATC-järjestelmän (Automatic Train Control) yksinkertaistettu rakenne. Tiedot Kari Klemetti (2013).

Siemensiltä tilattuun toimitukseen kuuluvat myös tarvittavat apujärjestelmät, kuten junien videovalvontajärjestelmä, uudenlainen hätäpuhelin- ja kuulutusjärjestelmä, junien paloilmaisimet sekä asemien uusi matkustajainformaatiojärjestelmä. Lisäksi sopimus käsittää myös muutos- ja liitännätyöt nykyisiin järjestelmiin, sekä tarvittavan koulutuksen, dokumentaation, varaosat ja takuuajan jälkeiset huoltopalvelut viideksi vuodeksi. Kyseessä on siis kokonaistoimitus, eli Siemensin on määrä toimittaa järjestelmä asennettuna, testattuna ja käyttövalmiina. (Joukkoliikennelautakunta 2008a.)

Poikkeuksellisen Helsingin metron automatisoinnista tekee se, että myös vanhat, vuosina 1979–1984 valmistuneet M100-sarjan metrojunat on tarkoitus automatisoida. Tähän ratkaisuun päädyttiin junien erinomaisen kunnon ja luotettavuuden vuoksi. Junat myös vasta peruskorjattiin automatisointipäätöksen ja hankkeen valmistelun aikoihin, joten niillä nähtiin olevan vielä riittävästi käyttöikää jäljellä. (Lahdenranta 2013.) Vanhojen junien soveltumista automaattiajoon kyllä pohdittiin aikanaan (Vepsäläinen 2013), mutta asiaa ei nähty ongelmallisena, koska kaikki järjestelmätoimittajat suhtautuivat asiaan positiivisesti ja myös tarjosivat pyydettyä ratkaisua (Hölttä 2013).

3.3 Hankkeen myöhästymisen ja ongelmat

Automatisointihanke ei ole edennyt suunnitellusti. Sitä ovat leimanneet HKL:n ja Siemensin väliset jatkuvat erimielisyydet, jotka ovat liittyneet erityisesti työnjakoon ja sopimuksen tulkittamiseen. HKL:n näkökulmasta hankkeen pitäisi olla lähes avaimet käteen -periaatteella toteutettava kokonaistoimitus, kun taas Siemens on esittänyt lukuisien erilaisten muutostöiden kuuluvan HKL:n vastuulle. (Hölttä 2013.) Sopimuksissa on joitain yksittäisiä kohtia, jotka olisi ehkä ollut syytä muotoilla tarkemmin, mutta pääosin sopimus on HKL:n käsityksen mukaan yksiselitteinen. Siitä huolimatta osapuolet ovat saattaneet tulkita jopa samoja lauseita aivan päinvastaisesti. (Reiman 2013.)

Sopimuserimielisyydet ovat olleet yksi merkittävä syy hankkeen myöhästymiseen. Projektin teknisiin ratkaisuihin ja toteutustapoihin liittyvä päätöksenteko on viivästynyt erimielisyyksistä johtuen, ja neuvotteluita on jouduttu käymään paljon myös itse hankkeen viivästymiseen liittyen. Lisäksi poikkeuksellisen laaja projektikirjeenvaihto HKL:n ja Siemensin välillä on sitonut molempien osapuolien resursseja tarpeettoman paljon. Maaliskuuhun 2013 mennessä Siemens oli lähettänyt laajoja projektikirjeitä HKL:lle 174 kappaletta ja HKL puolestaan Siemensille 145 kappaletta. (Hölttä 2013, Judström ja Reiman 2013.)

Teknisellä puolella erityisen ongelmalliseksi on osoittautunut vanhojen M100-sarjan metrojunien varustelu automaattiajoa varten. On ilmeistä, että tarvittavien muutosten laajuus ja työmäärä on yllättänyt Siemensin, siitäkin huolimatta, että tarjousvaiheessa myös Siemens oli kutsusta käynyt perehtymässä junakalustoon. Ongelmat liittyvät erityisesti täysautomaattisen liikenteen edellyttämän turvallisuustason saavuttamiseen junien vanhoilla komponenteilla. Paikoin on epäselvää, mitkä standardit uusilla automaattijolaitteilla varustellun vanhan junan tulisi täyttää, ja miten ne täyttyvät junien alkuperäisten osien kanssa. Asiaan liittyen Siemens on käyttänyt myös ulkopuolisia turvallisuustarkastajia, joiden työn hidas eteneminen kuvastanee osaltaan muutostyön haastavuutta. Esimerkiksi eräs projektissa käytetty turvallisuuskonsultti joutui käyttämään

pelkästään ovien turvallisuuden arviointiin neljä kertaa olettamaansa enemmän aikaa. (Hölttä 2013, Reiman 2013.)



Kuva 10. Automaattimetron kriittisen polun kriittinen tehtävä: M100-sarjan junien automatisointi. Alkuperäisen aikataulun mukaan koko järjestelmän piti olla käytössä vuonna 2013, mutta keväällä 2013 tilanne oli se, että edes kolmea ensimmäistä protovaunuparia ei oltu vielä saatu katsastettua. (Judström ja Reiman 2013, Hietaranta 2013b.)

Toukokuuhun 2011 mennessä projekti oli myöhästynyt alkuperäisestä aikataulustaan jo lähes kaksi vuotta. Tuolloin Siemens vaati HKL:ää korvaamaan viivästyksistä aiheutuvia merkittäviä kustannuksia, vaikka HKL:n näkemyksen mukaan viivästykset johtuivat yksinomaan siitä, ettei Siemens ollut täyttänyt omia velvoitteitaan. (Kaupunginhallitus 2012.) Asia kuvaa valitettavan hyvin projektissa laajalti vallinnutta henkeä: ensin riidelään siitä, kuuluuko jokin työ HKL:lle vai Siemensille, ja mikäli HKL päätyy auttamaan Siemensiä jossain asiassa, Siemens valittaa, että HKL viivyttelää omissa toiminnoissaan. Lisäksi HKL:n arvion mukaan tiedonkulussa on ongelmia myös Siemensin sisällä; itse automatisointia hoitaa Siemensin ranskalainen organisaatio, kun taas tiettyjä osia projektista hoitavat suomalaiset ja saksalaiset. (Hölttä 2013.)

Projektissa ilmenneet ongelmat johtivat siihen, että Siemens esitti heinäkuussa 2011 täysautomaattisen ratkaisun muuttamista puoliautomaattiseksi (Kaupunginhallitus 2012). Käytännössä tämä olisi tarkoittanut sitä, että kuljettajat jäisivät automaattiajotoiminnosta huolimatta juniin. Kuljettajan läsnäolo poistaisi monia haasteita, joita vanhojen junien täysautomaatisoinnissa on ilmennyt: muun muassa ovien tuntoreunan toiminta ja sitä kautta junan lähtövalmiuden arviointi, sekä erilaiset harvemmin ilmenevät vikatilanteet ovat esimerkkejä tällaisista ongelmakohdista. (Hölttä 2013, Reiman 2013.) Puoliautomaattisesta ratkaisusta käytiin neuvotteluja, mutta Siemens ei ollut valmis tulemaan hinnassa riittävästi vastaan. Samoihin aikoihin HKL myös varoitti kahteen otteeseen Siemensiä sopimuksen purku-uhasta, perusteenaan sopimusvelvoitteiden rikkomiset. Neuvottelut puoliautomaattisesta ratkaisusta lopetettiin johtokunnan päätök-

sellä 22.3.2012, jolloin palattiin soveltamaan kaikilta osin alkuperäistä hankintasopimusta. (Kaupunginhallitus 2012.)

Huhtikuussa 2012 johtokunta oikeutti HKL:n purkamaan Siemensin kanssa tehdyn alkuperäisen sopimuksen sekä sittemmin optionmukaisesti tehdyn sopimuksen Länsimetron automatisoinnista. Samalla oli määrä ryhtyä valmistelemaan hankesuunnitelman muuttamista tarpeellisella tavalla ja selvittämään sen vaikutukset rakenteilla olevaan Länsimetroon. Toukokuun 2012 alussa HKL kävi vielä Siemensin kanssa neuvotteluita, joiden lähtökohtana oli alkuperäisessä hankesuunnitelmassa pysyminen, etenemiseksi vaadittavista avoimista asioista päättäminen sekä riita-asioiden käsittelyn siirtäminen projektin myöhempään vaiheeseen. Neuvotteluissa ei kuitenkaan päästy yhteisymmärrykseen, ja johtokunta päätti 16.5.2012 pidetyssä ylimääräisessä kokouksessaan kehoittaa HKL:ää purkamaan sopimukset Siemensin kanssa. (Kaupunginhallitus 2012.)

Vaikka purkupäätös sitä oletettavasti seuraavine oikeudenkäynteineen ja rahallisine vaikutuksineen ei ollut HKL:nkään kannalta erityisen hyvä, oli tilanteen kärjistyminen tähän pisteeseen saakka mitä ilmeisimmin Siemensille vielä merkittävämpi asia. Siemens ottikin päätöksen jälkeen yhteyttä apulaiskaupunginjohtaja Pekka Sauriin. Hänen johdollaan käytiin jatkoneuvotteluita, joissa aiemmasta kannastaan poiketen Siemens myöntyi HKL:n jo aiemmin esittämiin vaatimuksiin. (Hölttä 2013.) Sauri vei asian kaupunginhallitukseen, joka kumosi HKL:n johtokunnan tekemän purkupäätöksen. HKL ja Siemens allekirjoittivat 26.5.2012 niin kutsutun etenemissopimuksen, jonka keskeisenä sisältönä on se, että projektia edistetään uuden tarkistetun aikataulun mukaisesti siten, ettei Länsimetron liikenteen aloittaminen viivästy. Lisäksi sovittiin, että tulkintaerimielisyyksistä johtuvat avoimet riita-asiat siirretään käsiteltäviksi välimiesoikeudessa sitten, kun kaikki vanhat junat on saatu automatisoitua. (Kaupunginhallitus 2012.) HKL piti syntyntä etenemissopimusta vaikutuksiltaan parempana ratkaisuna kuin sopimuksen purkamista (Lahdenranta 2013). Syksyllä 2012 tehtiin vielä pitkään vireillä ollut sopimus myös metrovarikon laajennuksen automatisoinnista. HKL:n kannalta oli harmillista, ettei sitä saatu aikanaan sisällytettyä jo alkuperäiseen tarjouspyyntöön, sillä Siemens pääsi nyt eittämättä ylihinnoittelemaan laajennusosuuden automatisoinnin. (Reiman 2013.)

Projekti ei ole etenemissopimuksen jälkeenkään edennyt ongelmitta, vaan se on lähes joka osa-alueellaan myöhästynyt myös uudesta aikataulusta. Erityisen ongelmallisessa tilanteessa ovat edelleen junalaitteiden asennukset ensimmäiseen kolmen M100-sarjan vaunupariin. Etenemissopimuksen mukaan niiden piti olla katsastuskunnossa joulukuussa 2012, mutta sittemmin tavoiteltu katsastusajankohta on siirtynyt kesäkuulle 2013 (Judström ja Reiman 2013). Asia on erityisen kriittinen sen takia, että onnistunut katsastus on edellytyksenä ensimmäisten M200-sarjan asennusten aloittamiselle. Vasta niiden jälkeen päästään asentamaan automaattiajon vaatimia laitteita kaikkiin juniin sarjatyönä. Mikäli jatko sujuu aikataulun mukaan, kaikki juna-asennukset olisivat kevään 2013 aikataulutilanteen valossa valmiit syksyllä 2015. Jo nyt aikataulujen pelivarat on kuitenkin lähes kokonaan käytetty, sillä Länsimetron liikenne on tarkoitus aloittaa vuoden 2016 alusta, ja tuolloin koko liikenteen on määrä olla jo puoliautomaattisessa siirtymävaiheessa. (Hölttä 2013, Judström ja Reiman 2013.)

Vaikka juna-asennukset laahaavatkin vielä alkutekijöissään, on projekti muilta osin sentään edistynytkin. Uudet tietokoneasetinlaitteet ja käytönohjausjärjestelmä otettiin käyt-

töön viikonlopun kestäneen liikennekatkon yhteydessä joulukuun alussa 2012. Käytönottoa seuranneina päivinä metrolinnoitus takkuili pahasti muun muassa siksi, että Siemens oli syöttänyt aikatauludatan virheellisesti käytönohjausjärjestelmään. Myös asetinlaitteiden välillä oli kommunikatio-ongelmia, jotka hidastivat liikenteenohjauksen toimintaa entisestään, ja automaattista liikennettä varten suunniteltu järjestelmä osoittautui liikenteenohjauksen kannalta osin kankeahkoksi manuaaliliikenteen häiriötilanteita ajatellen. (Judström ja Reiman 2013.) Suoritetun korjausten jälkeen järjestelmät ovat toimineet verrattain hyvin, mutta tiettyjen pienempien puutteiden korjaaminen on ollut huomattavan hidasta. Erityisen valitettavia ovat olleet ongelmat samassa yhteydessä käyttöönotetun uuden matkustajainformaatiojärjestelmän kanssa, sillä juuri käytönottovaiheen pahimpien liikennehäiriöiden aikana informaatiojärjestelmä ei toiminut käytännössä ollenkaan. Vielä huhtikuuhun 2013 mennessäkään infojärjestelmän toimintaa ei ole saatu vaaditulle tasolle varsinkaan häiriötilannetiedottamisen osalta. (Hölttä 2013.)

Koko projektin valmiusaste oli alkuvuonna 2013 Siemensin ilmoituksen mukaan 54 %. HKL oli tähän mennessä maksanut Siemensille maksuaikataulun mukaisesti 15 % hankintahinnasta (Lahdenranta 2013.) Sopimuksessa määritellyt viivästyssakot olivat jo ennen etenemissopimusta saavuttaneet maksimitasonsa eli 10 M€ (Judström ja Reiman 2013). Lienee selvää, että viivästyksien ja oletettua suuremman työmäärän vuoksi projektin kannattavuus on Siemensin kannalta heikkoa, mikä tuskin on ollut ainakaan omiaan edistämään projektia. Myös viivästyssakkojen pidättäminen suoraan maksuerästä on aiheuttanut erimielisyyksiä, ja Siemens onkin vienyt asian käräjäoikeuteen (Judström ja Reiman 2013). Toinen Siemensin kanssa käynnissä oleva oikeusprosessi liittyy Länsimetron myötä tarvittaviin uusiin M300-sarjan juniin, joista järjestetyn tarjouskilpailun Siemens hävisi ja valitti asiasta sekä markkinaoikeuteen että EU-komissiolle (Judström ja Reiman 2013). Valitukset viivästyttivät entisestään Länsimetron liikenteen tarvitsemien uusien junien hankintaa, joka jo muutenkin oli viivästynyt (Hölttä 2013).

Automaattimetropolinnoitusprojektin kaikkine ongelmineen ja viivästyksineen on päässyt ajautumaan aikataulullisesti varsin kriittiseen tilanteeseen. Kevään 2013 tilanteen valossa puoliautomaattiseen liikenteeseen, ja tätä myöten 2,5 minuutin vuoroväleihin on määrä siirtyä syksyllä 2015. Tällöin länsimetron liikennöinti kyettäisiin aloittamaan suunnitellusti vuoden 2016 alusta. Liikenteen tulee olla tuolloin puoliautomaattista, koska Länsimetron osuudelle rakennetaan jo alkujaan laituriovet, ja manuaaliajtoa laituriovilla varustetuille asemille ei pidetä käytännössä kuin aivan viimeisenä vaihtoehtona. Junien tarkka pysäyttäminen ovien kohdalle hidastaisi matkantekoa, eikä järjestelmissä ole ainakaan toistaiseksi edes varauduttu tällaiseen laajamittaisempaan manuaaliajtoon laiturioviasemille. Helsingin puolen laiturioviasennuksia voidaan vielä harkita lykättävän, mikäli projektissa ilmenisi vielä lisää oleellisia viiväytyksiä. Käytännössä tämä kuitenkin tarkoittaisi väistämättä poikkeusratkaisuja Länsimetron liikennöinnissä. (Lahdenranta 2013.)

Toistaiseksi ei ole kuitenkaan juuri laadittu suunnitelmia, miten liikennöinti järjestetään tai mikä on automaattimetropolinnoituksen tulevaisuus, mikäli esimerkiksi vanhojen junien automatisointi ei onnistukaan (Lahdenranta 2013). Tämän hetken käsitys kuitenkin on, että suurimmat haasteet liittyvät nimenomaisesti M100-sarjan täysautomaattiseen ajoon, kun taas junien saamista ainakin puoliautomaattisen liikenteen edellyttämään kuntoon pidetään selvästi todennäköisempänä (Hölttä 2013). Seuraavaksi työn alle otettavan

M200-sarjan ensimmäisten junien automatisoinnin mahdollisista haasteista ei kuitenkaan tiedä varmuudella vielä kukaan (Reiman 2013). Asiaa tuntevien mielipiteet jakautuvat; toiset arvelevat 200-sarjan olevan tietokoneelle helpompi ajettava kuin kuljettajalle, toiset taas ennustavat ongelmia (Hölttä 2013). Kokonaan oma lukunsa on se, kuinka automaattiajo saadaan säädettyä esimerkiksi vaihtelevia keliolosuhteita varten liikennöinnin sujuvuuden kuitenkin liikaa kärsimättä, tai kuinka laituriovien ja junan ovien toiminta saadaan optimoitua siten, etteivät ovien väliin juoksevat matkustajat hidasta asemapysähdyksiä ainakaan nykyistä enempää. Muun muassa nämä asiat ovat herättäneet kuljettajakunnassa paljon epäilyksiä. Nämä ovat kuitenkin vasta myöhempien testi- ja säätövaiheiden yhteydessä testattavia asioita (Reiman 2013). Automaattiajoa on tois-
taiseksi testattu ainoastaan varikon alueella olevalla lyhyellä testiraiteella.

Nähtäväksi siis jää, päästäänkö Länsimetron liikenne aloittamaan aikataulussaan, vai viivästyykö miljardiluokan rata- ja junainvestoinnin käyttöönotto automatisoinnin vaikeuksien vuoksi. Automaattimetroprojektin tähänastisen etenemisen valossa olisi varsin suuri saavutus, mikäli suunnitelmien mukainen väliaikaisesti puoliautomaattinen liikenne kolmella eri junasarjalla Matinkylään saakka olisi totta tammikuussa 2016. Vähintäänkin metron liikennöimisessä on odotettavissa lähivuosina haastavat ajat ainakin järjestelmän asteittaisen käyttöönoton, laituriovien asennusten ja mahdollisten lastentautien myötä. Puoliautomaattinen siirtymävaihe ja Länsimetron käyttöönotto tulee myös vaatimaan arviolta 70 uuden metrojunankuljettajan kouluttamisen (Hölttä 2013).

4 Automaattimetron perustelut ja niiden arviointi

4.1 Metron liikennöinti ja käyttötalous

Keskeisenä perusteluna automaattimetrolle on pidetty mahdollisuutta lyhentää metroliikenteen vuoroväliä. Eräs syy vuorovälin lyhentämispyrkimykselle ovat sen tuomat vaihtoehdot metron välityskyvyn kasvattamiseksi sekä toisaalta taloudellisimman liikennöintitavan saavuttamiseksi (Vepsäläinen 2005a). Taulukossa 4 on esitetty tiettyjä suunnitteluvaiheen kapasiteettitarkasteluja eri vuoroväleillä ja junapituuksilla.

Taulukko 4 Metron kapasiteettitarkastelu Vepsäläistä (2005b) mukaillen

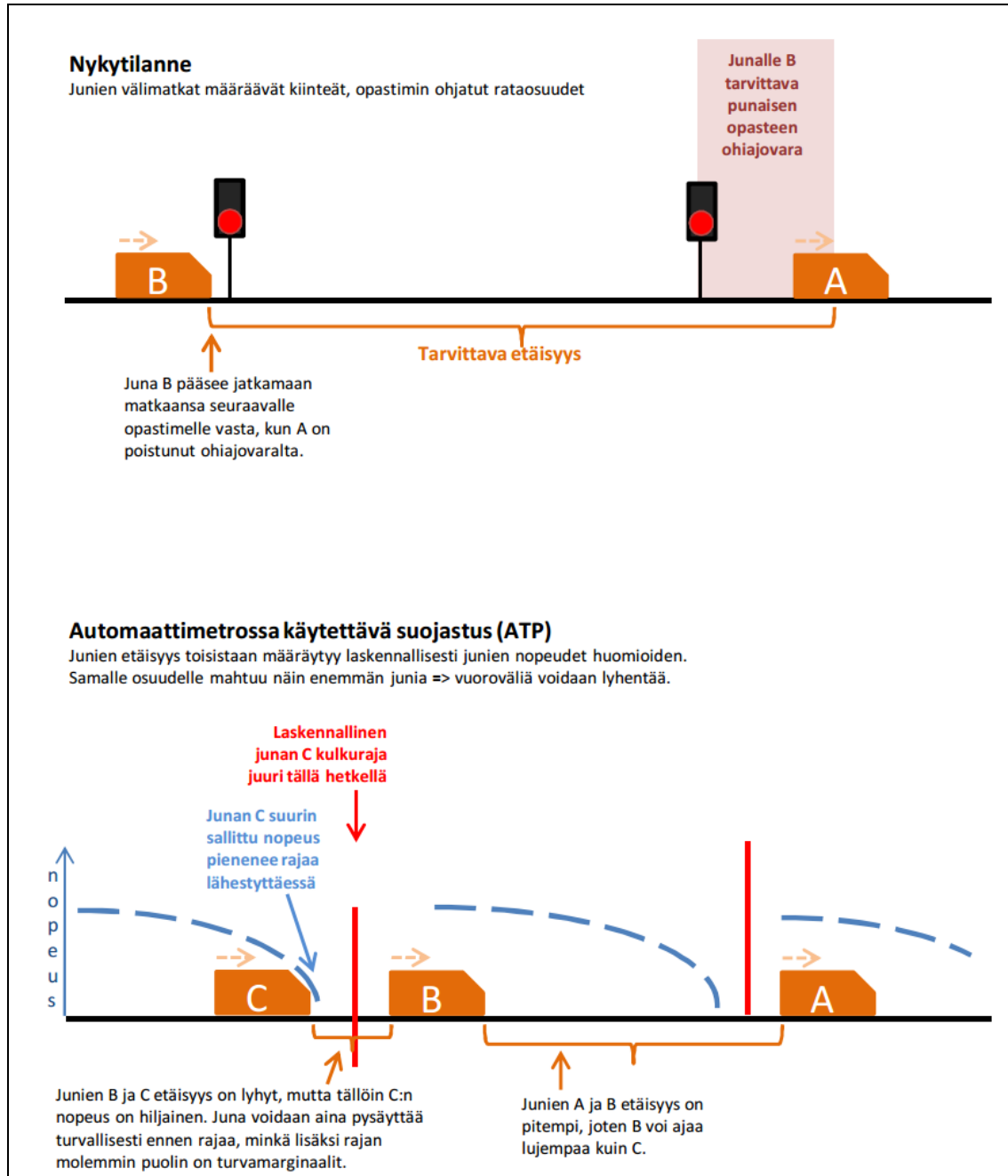
vuoroväli	junapituus	kapasiteetti	kysynnän lisäysvara* (Vepsäläinen 2005b) % nykyiseen AHT:een (70% kuormituksella)	vaatii jatkuvan kulunvalvonnan (ATP)
min	vaunua	vaunua/h		
5	6	72	-13	nykyinen hiljaisen ajan liikenne
4	6	90	9	nykyinen ruuhka-ajan liikenne (VERTAILUTASO)
4	4	60	-23	
3	6	120	45	e i mahdollinen valitussa automaattimetrossa
3	4	80	2	
2,5	6	144	74	x e i mahdollinen valitussa automaattimetrossa
2,5	4	96	23	x
2	6	180	118	x e i mahdollinen valitussa automaattimetrossa
2	4	120	53	x
2	2	60	-18	x
1,5	6	240	190	x e i mahdollinen valitussa automaattimetrossa
1,5	4	160	104	x valitun automaattimetron mitoitus
1,5	2	80	9	x

* matkustajamäärän lisäysvara aamun huipputunti liikenteessä /suunta, kun kuormitusaste on 70% (Vepsäläinen 2005b).
(Mitoittavana nykytilanteen matkustajamääränä on käytetty Kulosaaren sillan poikkileikkausta 10200 matk/h.)

Nykyään metrossa liikennöidään tiheimmillään neljän minuutin vuorovälillä, mikä yhdessä kuusivaunuisten junien kanssa tarjoaa hyvän ratkaisun tämänhetkisillä matkustajamäärillä. Automaattimetrohankkeen valmisteluvaiheessa on kuitenkin lähdetty arviosta, että metron matkustajamäärät tulevat jatkossa eri syistä kasvamaan, joten metron välityskyky nähtiin tarpeellisenä kasvattaa. (Vepsäläinen 2005a.) Kuten taulukosta 4 ilmenee, kapasiteettia voitaisiin kasvattaa melko paljon siirtymällä kolmen minuutin vuoroväliin kuuden vaunun junilla, mikä olisi mahdollista myös alkuperäisellä, kiinteisiin suojaväleihin perustuvalla train-stop-järjestelmällä. Tämä ratkaisu kuitenkin lisäisi tarvittavaa kalustomäärää selvästi. Sen sijaan esimerkiksi 2,5 minuutin vuorovälillä ja neljän vaunun junilla kapasiteettia voitaisiin jo hieman kasvattaa ilman kalustoinvestointeja. Lyhyillä vuoroväleillä 6-vaunuiset junat luonnollisesti mahdollistavat kaikkein suurimmat kapasiteettilisäykset, mutta 4-vaunuisilla junilla voidaan päästään merkittäviin kapasiteettilisäyksiin vähäisemmällä kalustomäärällä. (Vepsäläinen 2005b.)

Jotta alle kolmen minuutin vuorovälit voitaisiin saavuttaa, tarvitaan käytännössä jatkuvatoiminen kulunvalvonta (ATP). Periaatteessa opastimia lisäämällä voitaisiin päästä jonkin verran kolmen minuutin alle myös nykyisellä järjestelmällä, mutta tällöin pienetkin häiriötilanteet vaikuttaisivat liikenteen sujuvuuteen merkittävästi. Lisäksi erityisesti

pääteasemien liikennöinti olisi haastavaa. Sen sijaan ATP-järjestelmä valvoo turvallisen nopeus-etäisyysprofiilin toteutumista jatkuvasti, jolloin junien välimatkat voivat olla joustavia ja minimietäisyyksiä on mahdollista lyhentää nykyisiin, kiinteisiin suojaväleihin verrattuna. (Heinlahti-Guillén 2013.) Järjestelmien eroa on havainnollistettu kuvassa 11.



Kuva 11. Jatkuvan kulunvalvonnan (ATP) edut nykyisiin kiinteisiin suojaväleihin verrattuna (Hietaranta 2009).

Vuorovälien lyhentäminen ei kuitenkaan sinällään vaadi automaattiajotoimintoa (ATO), vaan lyhyemmät vuorovälit olisi teknisesti mahdollista saavuttaa myös kuljettajien kanssa, mikäli manuaaliajon tukena olisi ATP-kulunvalvonta (Heinlahti-Guillén 2013). Tällaista vaihtoehtoa ei kuitenkaan enää päätöksentekovaiheessa esitetty ollenkaan, sillä

HKL:n suunnitteluyksikössä laadittujen laskelmien valossa ATP:n lisäksi automaattiajotoiminnon (ATO) sisältäneitä vaihtoehtoja pidettiin kannattavampina. ATO-järjestelmän lisäkustannus oli varsin pieni ja lisäksi sillä katsottiin saavutettavan junaturvallisuuden paranemisen ja vuorovälin lyhentämisen lisäksi myös muita hyötyjä. (Vepsäläinen 2005a, 2013.)

Eräs tällainen hyöty on kääntymisaikojen nopeutuminen pääteasemilla. Kuljettajien kanssa kääntöaikaan täytyy sisällyttää junan päästä päähän kävelemiseen sekä ajovalmiuden saavuttamiseen toisessa ohjaamossa kuluva aika, mikä automaattiajossa jää pois. Myös esillä olleessa halvemmassa puoliautomaattisessa ratkaisussa esitettiin, että junat kävisivät kääntöraiteilla kokonaan ilman kuljettajaa. Säästö kääntöajassa lyhentää suoraan kierrosaikaa, mistä seuraa edelleen kalustotarpeen pieneneminen. Helsingin automaattimetron tarjouspyynnöissä edellytettiin, että nykyisten linjojen kierrosaika saataisiin alle 50 minuuttiin, jolloin huippuliikenteessä tarvittava junamäärä pienenee yhdellä. (Vepsäläinen 2005b, Joukkoliikennelautakunta 2008a.) Nykyisissä, kuljettaja-ajon aikatauluissa kierrosaika on 60 minuuttia, josta linjasivujen ajoaikojen osuus on 46 minuuttia. Näin ollen nykyisellään yhden pääteasema-ajan keskimääräinen arvo 7 minuuttia, josta tosin merkittävä osa on tasavuorovälien vaatimaa ylimääräistä aikaa pääteasemilla. (HKL-Metroliikenne 2013a.) Mikäli Siemensin tarjoama 48,5 minuutin kierrosaika (Joukkoliikennelautakunta 2008a) toteutuu, automaattiajolla voitaneen siis saavuttaa tämä nopeista kääntymisajasta saatava hyöty. Kyseinen kierrosaika on kuitenkin varsin tiukka, sillä junan täytyy ainakin läntisellä pääteasemalla käydä kääntöraiteella.

Kokonaan kuljettajattoman täysautomaattijärjestelmän periaatteellisena etuna pidetään myös sen joustavuutta varsinkin häiriötilanteissa. Koska kuljettajien riittävyydestä, työvuoroista tai kuljettajienvaihtoista ei tarvitse huolehtia, on liikenteen järjestäminen häiriötilanteissa ja niiden jälkeen nykyistä sujuvampaa. Järjestelmä kykenee myös automaattisesti pitämään vuorovälejä mahdollisimman tasaisina, jolloin pienemmät häiriöt eivät vaikuta metroliikenteeseen yhtä laajasti kuin nykyään. (Vepsäläinen 2005b.) Helsingin tilatun automaattimetron mitoitusvuoroväli on 90 sekuntia, mutta tällainen vuoroväli on käytännössä niin häiriöaltis, ettei sitä tulla sellaisenaan käyttämään. Ensi vaiheessa on määrä siirtyä 2,5 minuutin vuoroväliin, ja tulevaisuudessa kyseeseen tulee kahden minuutin vuoroväli. Eri asteisista häiriötilanteista palautumisessa voidaan toki saada hyötyä paikallisesti lyhyemmistä vuoroväleistäkin. (Vepsäläinen 2005a, Heselius 2013.) Ruuhka-ajan ulkopuolella linjalla voidaan toisaalta pitää yhtä ylimääräistä junaa, jolloin kääntöraiteella on aina yhden junan reservi valmiina tasaamaan pienemmistä häiriöistä aiheutuvia epätasaisia vuorovälejä (Heselius 2013).

Hankesuunnitelmissa tuodaan esille myös se, että automaattimetron kapasiteettitarjonta on mahdollista sovittaa tarkemmin ja pienipiirteisemmin tunti-, päivä- ja kausivaihtelua huomioivaksi, koska liikenteessä olevien junien määrä ja sen vaihtelevuus ei vaikuta henkilöstökuluihin. Säättely voisi periaatteessa tapahtua sekä vuorovälejä että junapi-tuuksia sopivasti varioimalla. (Vepsäläinen 2005b.) Käytännössä mahdollisuudet tulevat kuitenkin rajoittumaan pelkästään vuorovälin säätelyyn, koska liikennöinti hoidettaneen pelkästään neljän vaunun junilla. Uudet M300-sarjan junat on päädytty tilaamaan neli-vaunuisina yksikköinä, ja toisaalta esimerkiksi junakokoonpanojen muutoksiin lyhyillä vuoroväleillä sisältyy tarpeettomia luotettavuusriskejä automaattisen kytkennän epäonnistuuksessa. Myös asemapysähdysten sujuvuuden kannalta on selkeintä, että junat ovat aina koko laiturioivosuuden mittaisia. (Heselius 2013.)

Luonnollisesti täysautomaattisella ajolla voidaan saavuttaa säästöjä myös liikennöinnin henkilöstökuluissa, vaikka henkilökunnan määrää asemilla lisätäänkin nykyiseen verrattuna. Viimeisimpien laskelmien mukaan Länsimetron avaamisen jälkeen asiakaspalvelutehtävissä asemilla olevia junavalvojia tarvitaan noin 100 henkilötyövuoden edestä ja lisäksi varsinaista vartiointihenkilökuntaa 50 htv. Nykyisellä linjalla metrojunankuljettajien työpanos on noin 80 htv ja vartiointin 100 htv, eli Länsimetron uuden osuuden jälkeenkin henkilöstössä voitaisiin säästää 30 henkilötyövuotta. (Lahdenranta 2013.) Lisäksi automaattiajolla on arvioitu saavutettavan säästöjä myös esimerkiksi junien energiankulutuksessa, koska tietokonejärjestelmän on periaatteessa mahdollista optimoida ihmistä paremmin ajon energiatehokkuutta kulloisenkin liikennetilanteen ja aikataulussa pysymisen kannalta. Samoin matkustusmukavuuden on esitetty paranevan, koska kuljettajien toisistaan eroavien ajotapojen vaikutus jää pois. (Heinlahti-Guillén 2005.) Muuna matkustajapalveluun liittyvänä etuna mainitaan myös se, että kuljettajattomassa järjestelmässä matkustajien parissa liikkuvan henkilöstön määrää tullaan kasvattamaan, ja näin voidaan parantaa sekä asiakaspalvelua että matkustajien turvallisuudentunnetta (Silfverberg ym. 2005).

Automaattiseen liikenteeseen, ja erityisesti valittuun täysautomaattiseen ratkaisuun liittyy kuitenkin myös useita epävarmuustekijöitä, joita ei hankesuunnitelmissa ole käsitelty käytännössä ollenkaan. Esimerkiksi asemapysähdyksien todellinen sujuvuus on asia, joka tullaan näkemään vasta käytännön kokemusten myötä. Automaattimetrolle määritellään asemasta riippuva pysähdysaika, 15 tai 30 sekuntia, mikä sisältää ovien avaamiseen ja sulkemiseen kuluvan ajan sekä niiden väliin jäävän palveluajan (Heselius 2013). Nykyään kuljettaja tarkkailee laiturin tilannetta peileistä, ja voi sulkea ovet silloin, kun laiturilla junaa odottaneet ovat ehtineet siirtyä kyytiin. Kuljettaja voi myös käyttää omaa arviointikykyään esimerkiksi hitaasti kulkevien vanhusten tai lapsiryhmien kyytiin ehtimisen varmistamiseksi. Hiljaisempaan aikaan voi olla mahdollista myös odottaa pieni hetki viime tingassa kyytiin juoksevaa matkustajaa. Vaikka tällaisella ovien sulkemisen oikealla ajoittamisella pystytäänkin mahdollisimman hyvin varmistamaan se, ettei ovien välissä ole ketään niiden sulkeutuessa, käytännön havainnot osoittavat kuitenkin, että sulkeutuvien ovien väliin rynnitään nykyäänkin varsin yleisesti. Onkin erittäin oletettavaa, että automaattimetron aikaohjatut asemapysähdykset tulevat lisäämään tällaisia tilanteita entisestään, jolloin tavoitteelliset asema-ajat ylittyvät.

Asemapysähdysten mahdollinen piteneminen heikentää vähintäänkin mahdollisuuksia tavoiteltuun säästöön ajoenergiassa, mikäli aikataulun kiinni kuromiseksi on ajettava maksimaalisella nopeudella. Käytännössä kierrosaikavaatimus on sen verran tiukka, että erityisen taloudellista ajoa ei voitane automaattimetrolla saavuttaa, koska nykyäänkin on vilkkaaseen aikaan ajettava maksimaalisella nopeudella. Näin ollen viivytykset asemapysähdyksissä voivat vaikuttaa suoraan myös matka-aikaan. Lisäksi energiansäästöavoite on sikälikin kyseenalainen, että nykyään kuljettaja voi hiljaisena aikana nimenomaisesti nopeiden asemapysähdysten ansiosta ajaa asemavälit rauhallisemmin ja säästää näin energiaa, mikä ei voine toteutua samoissa määrin, jos automaattimetro seisoo asemalla turhaan tavoiteajan verran.

Vaikka järjestelmätasolla automaattiajo periaatteessa mahdollistaakin liikenteen sujuvamman ja kokonaisvaltaisemman hallinnan häiriötilanteissa, on kuljettajaton automaattijärjestelmä kuitenkin itsessään yksi merkittävä häiriöriski nykytilanteeseen verrattuna.

Esimerkiksi oviviat ovat nykyisellään yksi merkittävimmistä pieniä viivästyksiä aiheuttavista tekijöistä (Hölttä 2013). Kuljettajattoman ajon turvallisuuden vuoksi vaadittavat laituriovet käytännössä tuplaavat potentiaalisten vikakohteiden määrän. Koska liikenne on oletusarvoisesti nykyistä tiheämpää, pienetkin häiriötilanteet vaikuttavat muuhun liikenteeseen nykyistä herkemmin. Lisäksi fail-safe-periaatteesta seuraa, että juna ei liiku, mikäli kaikki tarvittavat ehdot eivät täyty. Miehitettömän automaattijunan saat-
taa pitää pysähdyksissä sellainen häiriö, joka kuljettajallisessa junassa ei olisi yhtä välitön ongelma, tai vähintäänkin tilanteen selvittäminen olisi suoraviivaisempaa, kun kuljettaja havaitsisi ongelman suoraan ja voisi ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin (Reiman 2013). Erityisen kriittistä toimivuuden kannalta on, mikäli juna jää asemien välille. Tällöin asiantuntevan henkilön saaminen paikalle kestää väistämättä nykyiseen verrattuna, vaikka heitä miltei joka asemalla olisikin.

Myös esimerkiksi ulko-osuuksilla radalle heitetyt esineet ovat asia, joita täysautomaattinen metro ei kykene havaitsemaan kuten kuljettaja kykenisi. Verrattain pienikin esine saattaa junan alustaan sopivasti osuessaan aiheuttaa merkittävää vahinkoa ja ongelmia junan liikkumiskyvylle. Kierroksen mittaan vaihteleva, talviolosuhteista tai ratarasvauksesta johtuva liukkaus on myös tekijä, jonka vaikutuksia rakenteilla olevaan automaattimetroon ei tässä vaiheessa kykene vielä kukaan varmuudella arvioimaan (Reiman 2013). Erityisiä ongelmia tästä voi aiheutua laituriovien vaatiman +/- 50 cm:n pysähtymistarkkuuden kanssa (Reiman 2013). On hyvin mahdollista, ettei automaattiajo kykene liukkaissa olosuhteissa yhtä sujuvaan liikennöintiin kuin kokemusta ja paikallistunte-
musta omaavat kuljettajat, ja tällöin koko metrol liikenteen nopeus saattaa laskea, vaikka liukkausongelma olisikin paikallinen. Yhdeksi ongelmalähteenä saattaa lisäksi muodostua myös junien takometritä saatavan matkatiedon heittäminen mahdollisen luiston yhteydessä (Heinlahti-Guillén 2013), kuten oli laita 1970-luvun koeajoissakin. Kaiken kaikkiaan automaattiajon monia periaatteellisia liikennöintiä hyötyjä saattavat siis osittain vesi-
sittää monet luotettavuuteen liittyvät riskitekijät.

4.2 Hyöty-kustannuslaskelmat

Edellä kuvatut liikennöinnissä saavutettavat hyödyt ovat kuitenkin varsin pieniä investointiin nähden. Automaattimetrohankkeen kannattavuus perustuikin laskelmien valossa ennen kaikkea sen yhteiskuntataloudellisiin hyötyihin. (Lahdenranta 2013.) Ylivoi-
maisesti suurimmat säästöt on arvioitu saatavan matkustajien matka-aikojen lyhenemisestä, mikä puolestaan perustuu vuorovälin ja sitä kautta odotusajan lyhenemiseen. Luonnollisesti tämä vaikutus korostuu Itäkeskuksen itäpuolisilla metrohaaroilla, joissa vuoroväli on kaksinkertainen linjan runko-osuuteen nähden. Vuoden 2005 hankesuunnitelmassa esitettiin, että vuorovälin puolittuminen silloisilla matkustajamäärillä johtaisi yhteensä miljoonan tunnin matka-aikasäästöön, mistä ajan arvolla 8 €/h seuraisi 8 M€:n vuotuiset aikakustannushyödyt. (Vepsäläinen 2005a.)

Tämän lisäksi EMME-ohjelmistolla tehtyjen simulointien perusteella arvioitiin, että tiheämpi metrol liikenne houkuttelisi myös entistä enemmän matkustajia metron käyttäjiksi. Metromatkustamisen nähtiin lisääntyvän sekä nykyisten joukkoliikenteen käyttäjien reittimuutosten että uusien joukkoliikenteen käyttäjiksi siirtyvien matkustajien myötä. (Vepsäläinen 2005b). Tämän lisäksi metromatkustajien määrän arvioitiin lisääntyvän myös maankäytön kasvun, metroverkon laajenemisen sekä joukkoliikenteen yleisen nopeutumisen ja kulkumuoto-osuuden kasvamisen myötä. Kasvu matkustajamäärissä li-

säisi luonnollisesti myös metron lipputuloja, minkä lisäksi se on myös itsessään yksi perustelu tälle metron kapasiteettia lisäävälle hankkeelle. Hyötyjä laskettiin syntyvän myös liikennejärjestelmätasolla, mikäli joukkoliikenteen matkustajavirrat keskittyisivät entistä enemmän käyttökustannuksiltaan edulliseen metroliiikenteeseen. Tämän, kuten muidenkin edellä mainittujen yhteiskunnallisten hyötyjen merkitys luonnollisesti kasvaa, mikäli metroverkko laajenee nykyisestä laajuudestaan. (Vepsäläinen 2005a, 2005b.)

Hyötyjä katsottiin hankesuunnitelman mukaan saavutettavan myös sitä kautta, että muun, osin päällekkäisen joukkoliikenteen tarjontaa voitaisiin supistaa entistä houkuttelevamman metroliiikenteen myötä. (Vepsäläinen 2005b.) Tämä on kuitenkin osittain kyseenalainen säästökohde, mikäli joukkoliikenteen kilpailukyky halutaan turvata myös metron välittömän palvelualueen ulkopuolella. Erityisen kyseenalaisia ovat laskelmissa esitetyt tiettyjen poikittaislinjojen tarjonnan supistamisella haettavat säästöt, sillä juuri poikittaisia joukkoliikennedyhteyksiä on pidetty yhtenä tärkeänä kehittämiskohteena Helsingin seudun joukkoliikenteessä; onpa HSL sittemmin julkaissut poikittaisliikenteen kehittämisestä erillisen suunnitelmankin (HSL 2011). Lisäksi verrattain merkittäviä yhteiskunnallisia hyötyjä laskettiin saatavan myös tieliikenteessä, jossa joukkoliikenteen käyttäjiksi siirtyvien matkustajien myötä voitaisiin saavuttaa niin aika-, ympäristö-, onnettomuus-, kuin investointikustannussäästöjäkin. (Vepsäläinen 2005b.)

Investointeihin liittyen eräs perustelu automaattimetrolle oli myös se, että tiheämmän vuorovälin sekä toisaalta sen yhteydessä käytettävien nelivaunuisten junien myötä voidaan siirtyä käyttämään kolmanneksen aiempaa lyhyempää asemamallia. Näin voitaisiin saavuttaa säästöjä uusien asemainvestointien yhteydessä. (Vepsäläinen 2005a.) Tämän näkemyksen ja automatisointipäätöksen myötä Länsimetron asemista päätettiin tehdä vain neljän vaunun mittaisia (Joukkoliikennelautakunta 2008c), millä laskettiin säästettävän Länsimetron investoinnissa noin 42,3 M€ (Alku 2008). Lyhentämisspätöstä on sittemmin myös kritisoitu, erityisesti silloin, kun koko automatisointiprojektin jatko oli vaakalaudalla. Vaikka Länsimetron matkustajamäärille lyhyemmät asemat riittävätkin, aiheuttavat ne kuitenkin käytännössä pakon käyttää lyhyitä junia myös Helsingin puolella, missä matkustajamäärät ovat suurempia ja asemille mahtuisi nykyiseen tapaan myös kuuden vaunun juna. Näin ollen nykyiset 6 vaunun junat yhdessä nykyistä lyhyemmän vuorovälin kanssa suljettiin käytännössä pois kapasiteetin lisäyskeinojen valikoimasta. On kuitenkin arvioitu, että nelivaunuilla junilla ja kahden minuutin vuorovälillä pystytään tarjoamaan riittävä kapasiteetti myös pitkälle tulevaisuuteen. Automatisointiprojektin myötä rakennettavat laituriovisiinat tulevatkin rajaamaan Helsingin nykyisten metrolaitureiden varsinaisen palvelualueen nelivaunuille junille. (Joukkoliikennelautakunta 2012.) Jälkeenpäin on kuitenkin myönnetty, ettei Länsimetron asemien lyhentämisellä saavutettu niin suuria säästöjä, kuin alkujaan oletettiin (Joukkoliikennelautakunta 2008b).

Kuten luvussa 3.2 on kerrottu, automaattimetron alkuperäistä hankesuunnitelmaa jouduttiin vielä tarkistamaan ennen lopullista sopimusta, koska nykyisen metron automatisoinnin osalta 70 miljoonasta eurosta 115 miljoonaan euroon (Joukkoliikennelautakunta 2008a). Taulukossa 5 on vertailtu vuosien 2005 ja 2008 hyöty-kustannuslaskelmaa nykyisen metron ja Länsimetron muodostaman kokonaisuuden osalta, missä hyödyt perustelusti ovat pelkkää nykymetroa suurempia. Hyötyjä on vuoden 2008 laskelmaan tarkistettu jonkin verran myös alaspäin, esimerkiksi asemainvestointien ja matkustajien ai-

kasäästöjen osalta. Viimeksi mainitussa siirryttiin käyttämään 2,5 minuutin vuoroväliä aiemman kahden minuutin sijasta. Toisaalta joitain hyötyjä on arvioitu aiempaa myös suuremmiksi, joten hankkeen laskennallinen kannattavuus ei lopulta merkittävässä määrin muuttunut. (Joukkoliikennelautakunta 2008b).

Taulukko 5 Metron automatisoinnin vuosittaiset hyödyt ja kustannukset nykyisen metron ja Länsi-metron muodostaman koonaisuuden osalta (Joukkoliikennelautakunta 2008b)

	Arvio 2005 (M€)	Arvio 2008 (M€)
Tulojen lisäykset		
Lipputulosten lisäys	0,9	1,5
Tulojen lisäykset yhteensä	0,9	1,5
Kustannussäästöt		
Käyttöenergian säästö	0,5	0,5
Kuljettajasäästö	4,2	5,2
Kalustoinvestointisäästö	0,5	1,4
Muu metron liikennöintisäästö	1,0	0,1
Säästöt pintaliikenteessä	4,0	4,4
Asemainvestointisäästö	1,8	0,8
Asemien kunnossapitosäästö	1,0	0,4
Nykyisen kulunvalvontajärjestelmän ylläpito	0,0	0,2
Kustannussäästöt yhteensä	13,0	13,0
Kustannusten lisäykset		
Junavalvojat	- 2,2	- 2,1
Vartiointin lisäys	- 0,3	- 0,3
Uuden järjestelmän ylläpito	- 0,1	- 1,1
Poistot	- 5,0	- 6,4
Kustannusten lisäykset yhteensä	- 7,6	- 9,9
Vaikutus käyttötalouteen	6,3	4,6
Yhteiskuntataloudelliset vaikutukset		
Joukkoliikenteen matka-aikasäästöt	12,0	10,6
Ha-liikenteen matka-aikasäästöt	2,8	2,5
Väyläinvestointisäästöt	1,5	1,6
Ympäristö- ja onnettomuussäästöt	0,8	0,8
Yhteiskuntataloudelliset hyödyt yhteensä	17,1	15,5
Käyttötalouden ja yhteiskuntatalouden vaikutukset yhteensä	23,4	20,1

Taulukossa 5 esitetyn hyöty-kustannuslaskelman perusteella investoinnille esitettiin liikeloudellisin perusteluin laskettuna 13 vuoden takaisinmaksuaikaa 5 % korkokannalla. Yhteiskuntataloudelliset hyödyt huomioiden takaisinmaksuaika olisi vain 5 vuotta. (Joukkoliikennelautakunta 2008b.) Hankepäätös on aikanaan tehty kyseisen laskelman perusteella, mutta nykytiedon valossa on huomioitava, että esimerkiksi nettoinvestoinnin arvo on sittemmin edelleen kasvanut varsin merkittävästi, kuten taulukossa 6 on esitetty:

Taulukko 6 Vuoden 2008 laskelmissa käytetyn investoinnin arvon vertailu tehtyjen sopimusten arvoon 1/2013 tasossa

	H/K laskelma 2008	Sopimuksien arvot 1/2013 tasossa (Judström ja Reiman 2013)
Nykymetron automatisointi	115	115,7
Josta välttämätön uusimisinvestointi	- 45 ^a	- 45,3 ^b
Länsimetron välttämätön turvalaiteinvestointi + automatisoinnin lisäkustannus yhteensä	45	67
Lisäkustannus metrovarikon laajennuksen automatisoimisesta		18,2
Nettoinvestointi	115	155,6

a) Välttämättömäksi katsottuun investointiin on lisätty ominaisuuksia verrattuna vuoden 2005 vertailuvaihtoehtoon, jonka hinta oli 15 M€. Vastaavan vertailuvaihtoehdon hinta-arvio vuonna 2008 olisi ollut 25 M€. (Joukkoliikennelautakunta 2008b.)

b) RI:n mukainen indeksikorotus ei ilmoitetusta lähteestä, vaan laskettu itse

On selvää, että tämä laskelmissa käytetty suurempi investointi heikentää entisestään käyttötaloudesta saatavia hyötyjä kannattavuuslaskelmaan verrattuna. Tämän lisäksi yhteiskuntataloudellisista vaikutuksista saatavat säästöt ovat osittain mallinnukseen perustuvia arvioita, joihin sisältyy epävarmuutta erityisesti reittiään tai kulkumuotoaan vaihtavien matkustajien määrän osalta. Esimerkiksi Saksan Nürnbergissä, jossa kaksi uudemmaa metrolinjaa on jo aiemmin automatisoitu, päätettiin luopua vanhimman linjan automatisoinnista juuri siksi, ettei sen automatisoinnilla katsottu saavutettavan riittäviä yhteiskuntataloudellisista hyötyjä (VAG Nürnberg 2012).

Helsingin tapauksessa mahdollisina riskeinä ovat oletettuja pienempien yhteiskuntataloudellisten hyötyjen lisäksi myös varsinkin vanhojen junien automatisointiin liittyvät haasteet, joista saattaa seurata esimerkiksi henkilöstökulujen kasvua suunniteltua laajemman puoliautomaattiliikenteen myötä tai kalustoinvestointien kasvua, mikäli esimerkiksi uuden junasarjan hankinnassa käytetään lisäoptioita (Hölttä 2013). Myös järjestelmän lopullinen toimivuus tulee väistämättä vaikuttamaan kannattavuuteen: mikäli metrolinjan luotettavuus heikkenee nykyisestä korkeasta tasostaan, lieenee selvää, ettei metron houkuttelevuus kasva toivotusti. Kaikki nämä tekijät voivat heikentää automaattimetron kannattavuutta selvästi. Tätä työtä tehdessä ei kuitenkaan ollut käytettävissä aineistoa, jolla varsinaisia herkkyystarkasteluja olisi ollut mahdollista tehdä.

5 Yhteenveto

Tämän kandidaatintyön yhtenä tavoitteena oli selvittää, millaista automatisointiratkaisua Helsingin metron pyrittiin 1970-luvulla rakentamaan, ja miksi automatisoinnista kuitenkin luovuttiin ennen varsinaisen liikenteen alkua. Tältä osin työssä tukeuduttiin erityisesti Helsingin Kaupunginarkistossa säilytettäviin metrotöimiston arkistoihin, minkä lisäksi tietoa haettiin myös HKL-Metroliikenteen arkistoista. Joitain täsmäntäviä tietoja hankittiin lisäksi haastattelujen perusteella.

Aineiston pohjalta selvisi, että metron koeradalla kokeiltu automaattiajojärjestelmä perustui Siemensin LZB-kulunvalvontaan. Järjestelmän kanssa suoritettiin varsin laajat koeajosarjat, jotka sujuivat pääpiirteissään hyvin. Automaattiajon mahdollistavalla kulunvalvontajärjestelmällä ei kuitenkaan missään vaiheessa saavutettu haluttua luotettavuustasoa. Erityisesti liukkaan kelin seurannaisvaikutuksiin ja tiedonsiirtohäiriöihin liittyneet ongelmat aiheuttivat käytännön toimivuutta ajatellen liaksi häiriöitä.

Samaan aikaan metron lopullista liikenteenohjausjärjestelmää suunnitteli ja osin myös toteutti Hampurin liikennelaitoksen tytäryhtiö, Hamburg-Consult GVV. Ennen matkustajaliikenteen aloittamista automaattiajosta päätettiin kuitenkin luopua. Tähän vaikuttivat teknisten järjestelmien suunnittelu- ja kehitystyön viivästykset sekä toisaalta metron vaikeutunut rahoitustilanne. Kun asetinlaitetoimituksiin kuulunut pakkopysäytyslaitteisto vielä mahdollisti liikenteen turvallisen hoitamisen ilman erillisen kulunvalvontajärjestelmän hankintaa, eikä tiheän vuorovälin tarvetta ollut vielä näköpiirissä, tehtiin päätös metroliikenteen aloittamisesta kuljettajien ajamana. Ennen liikenteen alkua luovutettiin myös kaavailluista erillisten lähtölupien antamisesta junille. Kuljettajat ovatkin paitsi ajaneet, myös arvioineet itse junan lähtövalmiuden koko metroliikenteen ajan vuodesta 1982 lähtien.

Toisena tavoitteena tässä työssä oli selvittää nyt käynnissä olevan automatisointiprojektin vaiheita ja ongelmia sekä arvioida hankkeelle esitettyjä perusteluja. Lähteinä käytettiin päätösasiakirjoja, niihin liittyviä hankesuunnitelmia sekä lukuisia haastatteluja.

Nyt käynnissä oleva automatisointiprojekti sai alkusysäyksensä 2000-luvun alussa, jolloin alkoi ilmetä tarvetta vastikään 1990-luvulla hankitun käytönohjausjärjestelmän uusimiselle. Yritys järjestelyiden myötä sille ei ollut enää saatavissa valmistajan tukea, eikä käytönohjaus näin ollen ollut enää laajennettavissa. Myös vanhimmat releasetinlaitteet alkoivat lähestyä käyttöikänsä loppua. Samassa yhteydessä nähtiin järkevänä selvittää myös toistaiseksi puuttuneen, erillisen kulunvalvontajärjestelmän hankkimista. Jatkuva-toimisella kulunvalvonnalla voidaan saavuttaa entistä parempi junaturvallisuus, minkä lisäksi se mahdollistaa myös vuorovälien tihentämisen.

HKL:n Suunnitteluyksikössä laadittujen laskelmien perusteella päädyttiin lopulta tilaamaan täysautomaattisen, miehittämättömän metroliikenteen mahdollistava järjestelmä, jolla nähtiin olevan suurimmat käyttö- ja yhteiskuntataloudelliset hyödyt. Lisäksi tavoitteena oli mahdollisimman nykyaikainen ratkaisu. Ensimmäinen tarjouskilpailu kariutui, minkä jälkeen toisen kierroksen valmistelua jatkettiin Metroliikenneyksikön sijasta Suunnitteluyksikössä. Sittemmin hankesuunnitelma jouduttiin vielä hyväksyttämään uudelleen merkittävästi kohonneen hinnan vuoksi. Järjestelmän toimittajaksi valittiin Siemens vuonna 2008.

Automaattimetroyrjekti on edennyt vaivalloisesti ja se on myöhästynyt alkuperäisestä aikataulustaan kevääseen 2013 mennessä lähes kolme vuotta. Sitä ovat leimanneet jatkuvat erimielisyydet HKL:n ja Siemensin välillä, minkä lisäksi erityisesti vanhojen metroyunien muuttaminen automaattiajioon soveltuvaksi on osoittautunut luultua vaikeammaksi. Toimitusta oltiin yhdessä vaiheessa jo muuttamassa täysautomaattisesta puoliautomaattiseksi, ja välillä sopimus oli määrä purkaa kokonaan. Lopulta toteutusta päätettiin kaikesta huolimatta jatkaa alkuperäisessä laajuudessaan. Projektii on kuitenkin vielä tätä työtä kirjoitettaessa edelleen täysimääräisen onnistumisensa kannalta epävarmassa tilassa, ja vähintäänkin aikataulullisesti kriittisessä tilassa. Uhkana on Länsimetron suunnitellun avaamisen viivästyminen.

Automaattimetroya on perusteltu muun muassa vuorovälin lyhenemisellä saavutettavilla eduilla. Tällöin voidaan siirtyä käyttämään lyhyempiä junia, joiden avulla metroliiikenteen kapasiteettia voidaan nostaa verrattain taloudellisesti. Myös kierrosaikojen lyheneminen erityisesti nopeampien kääntöaikojen ansiosta tuottaa hyötyjä, samoin henkilöstösäästöt siirryttäessä kuljettajista asemilla olevaan henkilökuntaan. Järjestelmän joustavuus helpottaa lisäksi poikkeustilanteiden hoitoa. Toisaalta miehittämättömään liikennöintiin liittyy luotettavuuden kannalta monia potentiaalisia riskejä. Käyttötaloudshyödyt ovat kuitenkin investointiin nähden varsin pieniä, ja laskelmien valossa automaattimetroyon tekevätkin kannattavaksi yhteiskuntataloudelliset hyödyt, erityisesti matkustajien aikasäästöt. Säästöjä nähdään saatavan myös siitä, että matkustajia siirryy metroyon muilta reiteiltä ja muista kulkumuodoista. Laskelmissa esitetyt hyödyt ovat kuitenkin monelta osin arvioita, joiden toteutumisesta lasketussa laajuudessaan ei ole varmuutta.

Aikanaan on perusteltua tutkia erityisesti esitettyjen kustannushyötyjen ja kannattavuuden realisoitumista sekä liikennöinnin luotettavuuden kehitystä automaattisen liikenteen myötä. Myös projektinohjaukseen liittyviä erimielisyyksiä olisi hedelmällistä tutkia syvällisemmin. Mikäli automaattimetroyrjektin ei syystä tai toisesta toteudukaan suunnitellulla tavalla, on lisäksi syytä tutkia yksityiskohtaisemmin ongelmien taustalla olevia tekijöitä.

Lähteet

Alku, A. 2008. *Espoo*. <http://www.kaupunkiliikenne.net/Espoo/essaasto.html>. Päivitetty 13.5.2008. Viitattu 24.4.2013.

Eronen, U & Pasanen, E & Saarinen L. *Helsingin metroliikenne alkuun 1979*. Eripainos Helsingin Sanomista 29.9.1973. 4 s.

Hamburg-Consult GVV. 1972. *U-Bahn-Helsinki. Fahrplanentwurf*. 138 SK 1. Suunnittelutyön osatulostus. 17.11.1972.

Heinlahti-Guillén, T. 2005. *Metron kulunvalvontatekniikan uusiminen. Osaraportti 1. Hankkeen tekninen kuvaus*. HKL-SUY C: 2/2005. Helsingin kaupungin liikennelaitos.

Heinlahti-Guillén, T. 2013. Suunnitteluinsinööri, HKL-Metroliikenne. Haastattelu 10.4.2013. Espoo.

Heselius, M. 2013. Valvomopäällikkö, HKL-Metroliikenne. Sähköpostiviesti. 22.4.2013.

Hietaranta, J. 2006. *Herttoniemen varalähetyspaikka ja junanlähetysopasteet*. Valokuvat. Helsinki 20.6.2006.

Hietaranta, J. 2009. *Periaatekuva automaattimetron liikennöinnistä*. Julkaistu aiemmin [www-osoitteessa: http://www.hel.fi/hki/HKL/fi/HKL-Metroliikenne/Metroliikenteen+kehitt_mishankkeita/Automaattimetro/Liikenne](http://www.hel.fi/hki/HKL/fi/HKL-Metroliikenne/Metroliikenteen+kehitt_mishankkeita/Automaattimetro/Liikenne) . Viitattu 22.4.2013.

Hietaranta, J. 2012. *Metron laituriovet koekäytössä Vuosaaressa*. Valokuva. Helsinki 20.2.2012.

Hietaranta, J. 2013a. *Metron koejunan vaunun M3 ohjauspöytä*. Valokuva. Helsinki 26.3.2013.

Hietaranta, J. 2013b. *M100-sarjan junan automatisointityöt käynnissä*. Valokuva. Helsinki 5.2.2013.

HKL-Metroliikenne. 2013a. *Valvomoaikataulu*.

HKL-Metroliikenne. 2013b. *Aikataulusuunnitteludata*.

HKL-Metroliikenne. 2013c. *Automaattimetron tekniikkaa*. WWW-sivu: http://www.hel.fi/hki/HKL/fi/HKL-Metroliikenne/Metroliikenteen+kehitt_mishankkeita/Automaattimetro/Tekniikka Viitattu 18.4.2013.

HSL Helsingin seudun liikenne. 2011. *HSL-alueen poikittaisliikenteen kehittämissuunnitelma 2012-2022*. Saatavilla: <http://www.hsl.fi/FI/suunnittelu/Documents/Poikittaislinjaston%20kehitt%C3%A4missuunnitelma%202012-2022.pdf>

Hölttä, T. 2013. Metroliikennejohtaja, HKL-Metroliikenne. Haastattelu 5.4.2013. Helsinki.

Joukkoliikennelautakunta. 2008a. *Metron kulunvalvonta- ja liikenteenohjausjärjestelmän (automaattimetro) hankinta*. Esityslistateksti joukkoliikennelautakunnan kokoukseen 15.5.2008. Päätös esityksen mukaan. Helsingin kaupunki.

Joukkoliikennelautakunta. 2008b. *Metron kulunvalvontatekniikan uusimisen hankepäättöksen tarkistaminen / päivitetty hyöty-kustannuslaskelmat*. Esityslistateksti joukkoliikennelautakunnan kokoukseen 30.4.2008. Helsingin kaupunki.

Joukkoliikennelautakunta. 2008c. *Hankepäättös länsimetron toteuttamisesta*. Esityslistateksti joukkoliikennelautakunnan kokoukseen 20.3.2008. Helsingin kaupunki.

Joukkoliikennelautakunta. 2012. *Metron kapasiteettiselvitys*. Pöytäkirja liitteineen joukkoliikennelautakunnan kokouksesta 17.9.2012. Helsingin kaupunki.

Judström, Y. & Reiman K. 2013. *Automaattimetroprojektin tilannekatsaus 3/2013*. Katsaus johtokunnalle. 22.3.2013. 21 s. Helsingin kaupunki, Liikennelaitos-liikelaitos.

Kaiser Engineers: Daniel, Mann, Jonson & Mendenhall. 1967. *A Rapid Transit Control Philosophy*. 92 s. Kaiser Engineers. California. 1967.

Kaupunginhallitus. 2012. *Kaupunginhallituksen käsiteltäväkseen ottama asia: Liikennelaitos -liikelaitoksen päätös 16.5.2012 § 92 metron automatisointia koskevista sopimuksista*. Pöytäkirjateksti, kaupunginhallituksen kokous 28.5.2012. Helsingin kaupunki.

Kaupunginvaltuusto. 2006. *Metron kulunvalvontatekniikan uusimisen hankesuunnitelma*. Esityslistateksti kaupunginvaltuuston kokoukseen 17.5.2006. Päätös esityksen mukaan. Helsingin kaupunki.

Kaupunginvaltuusto. 2008. *Metron kulunvalvontatekniikan uusimista koskevan hankesuunnitelman enimmäishinnan tarkistaminen*. Esityslistateksti kaupunginvaltuuston kokoukseen 18.6.2008. Päätös esityksen mukaan. Helsingin kaupunki.

Klemetti, K. 2013. Projektikoordinaattori, HKL-Metroliikenne. Sähköpostiviesti. 18.4.2013.

Koskinen, H. 2006. Turvalaitetyönjohtaja, HKL-Metroliikenne. Haastattelu 20.6.2006 sekä haastattelun pohjalta tehty www-artikkeli (Hietaranta, J & Kari, M. 2006): <http://www.seisake.net/olliliisa.php>. Viitattu 29.3.2013.

Koskinen, H. 2013. Valvomomestari, HKL-Metroliikenne. Haastattelu 31.1.2013.

Lahdenranta, M. 2013. Toimitusjohtaja, HKL. Tilannekatsaus metrojunankuljettajien keskustelutilaisuudessa 9.4.2013. Helsinki.

Liikennelautakunta. 1990. *Metron käytönohjausjärjestelmän hankinta*. Esityslistateksti ja liitteet lautakunnan kokoukseen 14.11.1990. Helsingin kaupungin liikennelaitos. Päättös esityksen mukaan.

Metroliikenneosasto. 1987. *Metron käytönohjausprojekti*. Muistio. 14.5.1987. Helsingin kaupungin liikennelaitos.

Metronsuunnittelutoimisto. 1967a. *Hakaniemen-Puotinharjun metron ohjelmaselostuksen ja ohjelmapiirustusten perustelut*. s. 40–41. PM 53b/1967. Helsingin kaupunki. 31.12.1967.

Metronsuunnittelutoimisto. 1967b. *Perusteluita koskien junan kulun turvaamisen, juna-toimintojen ja keskusvalvonnan automatisointia*. s. 2-5. PM 71/1967. Helsingin kaupunki. 6.11.1967.

Metronsuunnittelutoimisto. 1969a. *Helsingin metron yleissuunnitteluohjeet, muistio*. s. 11-12. PM 4/1969. Helsingin kaupunki.

Metronsuunnittelutoimisto. 1969b. *Junaohjauksen automaation kannattavuuslaskelma*. 13 s. PM 16/1969. Helsingin kaupunki.

Metronsuunnittelutoimisto. 1969c. *Metro - Mitä, missä, milloin*. Esite. PM 19/1969. Helsingin kaupunki. 4.5.1969.

Metrotoimisto. 1969. *Ehdotus Helsingin metron junaohjausjärjestelmän teknilliseksi erittelyksi*. 45 s. + liitteet. 7.11.1969.

Metrotoimisto. 1971a. *Metrotoimikunnan toimintakertomus vuodelta 1970*. s. 11. PM 5/1971. Helsingin kaupunki. 30.3.1971.

Metrotoimisto. 1974a. *Metrotoimikunnan toimintakertomus vuodelta 1973*. s. 8-9. Helsingin kaupunki.

Metrotoimisto. 1974b. *Koeradon ATC-järjestelmään kuuluvan LZB-laitteiston käyttöohje*. 16 s. PM 8/1974. Helsingin kaupunki.

Metrotoimisto. 1974c. *Metron koeradon kokeilutoimintaan liittyvät ohjeet*. 37 s. PM 6/1974. Helsingin kaupunki. 8.10.1974.

Metrotoimikunta. 1973a. *Metroliikenteen ohjauksen ja valvonnan periaatteita, käyttöorganisaatiota sekä tarvittavia laitteita koskevan tutkimuksen valmistuminen*. Esityslistateksti Metrotoimikunnan kokouksen 31.10.1973 (29/1973) asiaan n:o 14. Helsingin kaupunki. 31.10.1973.

Metrotoimikunta. 1973b. *Selostus metroliikenteen ohjauksen ja valvonnan periaatteita, käyttöorganisaatiota sekä tarvittavia laitteita koskevan tutkimuksen tulostamasta toimintamallista*. Esityslistan liite Metrotoimikunnan kokouksen 31.10.1973 (29/1973) asiaan n:o 14. Helsingin kaupunki. 18.10.1973.

Metrotoimikunta. 1974a. *Liikenteenohjausjärjestelmän jatkosuunnittelu- ja toteutustyön tilaaminen*. Lisälista I metrotoimikunnan kokoukseen 4.9.1974 (22/1974). Helsingin kaupunki. 4.9.1974.

Metrotoimikunta. 1974b. *Raportti rasisajoista ajalta 16.9.-15.11.1974*. Raportti metrotoimikunnan kokoukseen. 7 s. Helsingin kaupunki. 11.12.1974.

Metrotoimikunta. 1975. *Raportti rasisajoista ajalta 16.11.1974-30.3.1975*. Esityslistateksti metrotoimikunnan kokouksen 23.5.1975 (15/1975) asiaan n:o 3. 9 s. Helsingin kaupunki. 23.5.1975.

Metrotoimikunta. 1976a. *Asetinlaitteen hankkiminen Hakaniemen aluevalvomoon ja varikolle sekä pakkopysäytyslaitteiden hankkiminen metrovaunuihin*. Lisälista metrotoimikunnan kokouksen 22.12.1976 (37/1976) asiaan n:o 4. Helsingin kaupunki. 22.12.1976.

Metrotoimikunta. 1976b. *Raportti rasisajoista ajalta 31.3.1-31.12.1975*. Esityslistateksti metrotoimikunnan kokouksen 11.2.1976 (6/1976) asiaan n:o 5. 9 s. Helsingin kaupunki. 23.5.1975.

Metrotoimikunta. 1978a. *Selvitys metron liikenteenohjausjärjestelmän tämänhetkisestä suunnittelu- ja toteutusvaiheesta*. Lisälista metrotoimikunnan kokouksen 12.4.1978 (15/1978) asiaan n:o 4. Helsingin kaupunki. 12.4.1978.

Metrotoimikunta. 1979a. *Metron liikenteenohjausjärjestelmä*. Lisälista I metrotoimikunnan kokouksen 21.3.1979 (9/1979) asiaan n:o 9. Helsingin kaupunki. 21.3.1979.

Metrotoimikunta. 1979b. *Metrotoimikunnan kokouksen 21.3.1979 (9/1979) pöytäkirja*. Päätös §86 esityksen (1979a) mukaan. Helsingin kaupunki. 21.3.1979.

Metrotoimikunta. 1981a. *Metron liikenteenohjausjärjestelmään sisältyvien käytönohjauslaitteiden toteutuksen siirtäminen*. Esityslista metrotoimikunnan kokoukseen 4.2.1981 (4/1981) asia n:o 5. Helsingin kaupunki. 4.2.1981.

Metrotoimikunta. 1981b. *Metrotoimikunnan kokouksen 4.2.1981 (4/1981) pöytäkirja*. Päätös §34 esityksen (1981a) mukaan. Helsingin kaupunki. 4.2.1981.

Metrotoimikunta. 1981c. *Herttoniemen ja Hakaniemen aluevalvomoiden käytönohjausjärjestelmään ja keskusvalvomon liikenteenjohtopaikalle tarjottujen automatiikkalaitteiden tarjouksen hylkääminen ja lisämäärärahan myöntäminen projektointityöhön*. Esityslista metrotoimikunnan kokoukseen 4.2.1981 (4/1981) asia n:o 6. Helsingin kaupunki. 4.2.1981.

Palin, J. 2005. *Metron kulunvalvontatekniikan uusiminen. Osaraportti 3. Automatisointivaihtoehtojen vaikuttavuus*. HKL-SUY C: 4/2005. Helsingin kaupungin liikennelaitos.

Parkinson, T. E. 1968. *Automation in urban transport*. Electronics and Power. Vol. 14:10. October 1968. S 392–396. DOI: 10.1049/ep.1968.0354.

Reiman, K. 2013. Projektipäällikkö, HKL-Metroliikenne. Haastattelu. 12.4.2013. Helsinki.

Siemens. 1973. *Junaohjaussysteemi LZB 203. Selostus ja käyttöohje*. Saksasta suomentanut Tuomi, 3.8.1973. [HKL-Metroliikenteen varastosta].

Silfverberg, B. & Vanhanen, K. & Sihvola, T. *Metron kulunvalvontatekniikan uusiminen. Osaraportti 4. Toteutetut automaattimetrot*. HKL-SUY C: 5/2005. Helsingin kaupungin liikennelaitos

Strömberg Oy Ab. 1971. *Metro. Koejunan sähkölaitteet. Rakenne ja huolto. Toiminta*. Piirrustuskansio, lehdet 44 M 852 DA 962/1 ... 4.

Tolmunen, T. 2007. *Tunnelijunasta suosikiksi - Helsingin metro 25 vuotta*. s. 72-75. HKL. Helsinki 2007. ISBN 978-952-5640-05-2.

VAG Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg. 2012. *Weiterhin konventioneller Betrieb auf der U1*. Lehdistö tiedote. Saatavilla: <http://www.vag.de/mod/pressearchiv/view/cp-m89/pressid-1765/usetmpl-presseprint>. Viitattu 24.4.2013.

Vepsäläinen, S. 2003. *Automatisoitu metro*. Ajatuksia Helsingin joukkoliikenteen kehittämiseksi. HKL-SUY C: 2/2003.

Vepsäläinen, S. 2005a. *Metron kulunvalvontatekniikan uusiminen*. HKL-SUY C: 1/2005. (Julkaisu päivitetty 14.3.2006). Helsingin kaupungin liikennelaitos.

Vepsäläinen, S. 2005b. *Metron kulunvalvontatekniikan uusiminen. Osaraportti 2. Hankkeen liikenteelliset vaikutukset*. HKL-SUY C: 3/2005. (Julkaisu päivitetty 14.3.2006). Helsingin kaupungin liikennelaitos.

Vepsäläinen, S. 2013. *Suunnittelujohtaja 1994-2006*, HKL. Haastattelu. 3.4.2013. Espoo.