Metron automatisoinnin liikenteellinen ja yhteiskuntataloudellinen arviointi

26.5.2015

HKL HST
www.hkl.fi

STRAFICA

Kannen kuva: Länsimetro Oy

YHTEENVETO JA SUOSITUKSET

Yhteenveto

Metron liikenteenohjausjärjestelmän uudistamisen tavoitteena on mahdollistaa vuorovälin tihentäminen siten, ettei vaunujen matkustajakuormitus ylitä asetettuja maksimiarvoja. Liikenteen tulee olla myös kustannustehokasta, häiriötöntä ja toimintavarmaa.

Laadittujen kuormitusennusteiden mukaan metroliikenteen tihentäminen nykyisen kulunvalvonnan arvioidusta maksimitiheydestä 2,5 minuutista tulee tarpeelliseksi 2020-luvun alkuvuosina. Jo vuoden 2025 ennustetilanteessa matkustajamäärät ylittävät 5 minuutin linjakohtaisella ja 2,5 minuutin yhteisellä vuorovälillä suunnitteluohjeen maksimikuormitukset, jolloin metrovaunujen maksikuormitus olisi noin viidenneksen nykyistä suurempi.

Jos Kruunuvuorenselän raitioyhteys toteutuu vuoteen 2024 mennessä, riittää 5/2,5 minuutin vuoroväli Itämetron osalta noin vuoteen 2030 saakka. Tässä tilanteessa pullonkaulaksi jäisi Länsimetron Kivenlahden linja, jonka kuormitusta voidaan keventää siirtämällä Tapiolassa kääntyvän linjan kääntöpaikka Kivenlahteen. Tämä ratkaisisi Länsimetron kuormittumiseen liittyvät haasteet, mutta on liikennöintikustannusten osalta kallis ratkaisu.

Metron suunniteltu linjakohtainen 4 minuutin ja yhteinen 2 minuutin vuoroväli on ennusteiden mukaan todennäköisesti riittävä vuoteen 2040 saakka ja mahdollisesti pidempäänkin. Jos itäisen tai läntisen metrokäytävän työpaikkakasvu jää selvästi ennustettua pienemmäksi, mutta asukasmäärät kasvavat ennustetusti, voi vuorovälin tihentäminen 4/2 minuutista tulla ajankohtaiseksi jo ennen vuotta 2040.

Viimeistään vuonna 2050 on syytä varautua metrojunien liikennöintiin radan runko-osuudella 1,75 minuutin vuorovälillä. Tällöin molempien linjojen vuoroväli on 3,5 minuuttia. Liikennejärjestelmän, maankäytön ja erityisesti työpaikkamäärien pitkän aikavälin kehitykseen sisältyy huomattavaa epävarmuutta, joka voi muuttaa maksimikuormituksia suuntaan tai toiseen.

Ilman vuorovälin tihentämistä metrovaunujen kuormitusasteen tuntuva kasvu uhkaa pidentää operointiaikoja asemilla, kun ovista ulos ja sisään pyrkivien matkustajien määrä kasvaa. Tämä puolestaan hidastaa junien kulkua, mikä lisää liikennöintikustannuksia ja heikentää matkustajien palvelutasoa. Myös matkustusmukavuus heikkenee.

Liikenteenohjausjärjestelmä tulee uudistaa myös siinä tapauksessa, että metroa ei automatisoida. Uudistetullakaan käsinajojärjestelmällä ei kuitenkaan päästä asiantuntija-arvioiden perusteella 2,5 minuuttia tiheämpään yhteiseen vuoroväliin. Uudistetun käsinajovaihtoehdon investointikustannusarvio on noin 55 milj. euroa ja se toimii tässä selvityksessä automatisointivaihtoehtojen vertailuvaihtoehtona.

Automatisointivaihtoehtoina on tarkasteltu puoliautomaattia, jossa junissa on kuljettajamiehitys sekä täysautomaattia, jossa kuljettajamiehitystä ei ole. Molemmissa automaattivaihtoehdoissa liikennöidään yhteisellä 2 minuutin vuorovälillä, kun vertailukohtana olevassa käsinajovaihtoehdoissa vuoroväli on 2,5 min.

Tihennetty puoliautomaattiajo lisää metroliikenteen kustannuksia noin 5 milj. euroa/v. Täysautomaattiajossa metroliikenteen linjatuntihinnan on arvioitu laskevan kuljettajatarpeen vähentyessä noin 80 %, jolloin metroliikenteen kustannukset vähenevät vuorovälin tihentymisestä huolimatta lähes 2 milj. euroa/v ja ovat lähes 7 milj. euroa/v puoliautomaattiajoa pienemmät.

Matkustajien palvelutasoon puoli- ja täysautomaattiajon välillä ei ole merkittävää eroa, joskin täysautomaatin etu on, että henkilökunta keskittyy asiakkaiden palvelemiseen. Molemmilla tavoilla voidaan saavuttaa vuoden 2025 ennustetilanteessa noin 10 milj. euron vuosittaiset matkustajahyödyt, jotka syntyvät vuorovälin lyhenemisestä, asemaviiveiden pienentymisen synnyttämästä liikenteen nopeutumisesta sekä matkustusväljyyden kasvusta. Vuoteen 2040 mennessä matkustajahyötyjen on arvioitu kasvavan vuositasolla jo yli 14 milj. euroon.

Puoliautomaattivaihtoehdon investointikustannusarvio on ilman laituriovia noin 214 milj. euroa, joka on noin 158 milj. euroa suurempi kuin vertailukohtana olevan käsinajovaihtoehdon edellyttämät lisäinvestoinnit. Tarkastellun täysautomaattivaihtoehdon kustannusarvio on laituriovin noin 250 milj. euroa, joka on noin 195 milj. euroa vertailuvaihtoehtoa enemmän. Täysautomaatin hinta-arvio vaihtelee välillä 226-277 milj. euroa riippuen mm. laituriovista ja automatisoinnin toteutustavasta. Lisäksi automatisointi edellyttää

noin 170 milj. euron junakalustoinvestointia, joka on tehtävä myös käsinajo-vaihtoehdossa 2020 luvun puolivälissä tai melko pian sen jälkeen.

Kun automatisoinnin rahamääräisiä hyötyjä ja kustannuksia tarkastellaan 30 vuoden ajalta diskontattuna, on puoliautomaattivaihtoehdon hyöty-kustannussuhde 0,64 ja täysautomaattivaihtoehdon 1,26. Nykyarvoiset diskontatut kokonaiskustannukset ovat täysautomaatilla noin 110 milj. euroa pienemmät kuin puoliautomaatilla.

Mikäli henkilöstöä sitoutuu täysautomaattivaihtoehtoon selvästi oletettua enemmän, pienenee täysautomatisoinnin hyöty puoliautomaattiajoon nähden vastaavasti. Täysautomaattivaihtoehto oli kuitenkin kaikissa laadituissa herkkyystarkasteluissa kokonaistaloudellisesti puoliautomaattivaihtoehtoa edullisempi vaihtoehto.

Mikäli automatisointi ja vuorovälin tihentäminen toteutetaan jo vuoden 2021 alussa, joudutaan nykyisestä junakalustosta luopumaan arviolta noin 5 vuotta ennenaikaisesti, mutta toisaalta vältetään todennäköiset tilapäisinvestoinnit Kivenlahden metron ja nykymetron osalta. Täysautomatisoinnin liikennöinti- ja matkustajahyödyt näiltä 5 vuodelta ovat suuremmat kuin investoinnin ja kalustohankinnan aikaistamisesta syntyvät lisäkustannukset, joten täysautomatisoinnin siirtäminen noin viidellä vuodella myöhemmäksi ei ole yhteiskuntataloudellisesti perusteltua. Puoliautomaattivaihtoehdossa tilanne on päinvastainen, koska liikennöintikustannusvaikutukset ovat negatiiviset.

Automatisoinnin käyttöönotolla Kivenlahden metron avaamiseen mennessä vältetään myös uusien kuljettajien rekrytointi ja koulutus ylimenokauden tarpeisiin ja varmistetaan HKL:ään jo kertyneen hankintaosaamisen hyödynnettävyys automatisointiprosessin käynnistyessä nopeasti uudestaan. Automatisoinnin aikaisemmalla käyttöönotolla on siis merkittäviä rahamääräisiin arvioihin ja laskelmaan sisältymättömiä hyötyjä. Myös nämä ei-rahamääräiset hyödyt ovat osaltaan tärkeitä argumentteja, kun arvioidaan liikenteenohjauksen uudistamista Kivenlahden metron käyttöönoton yhteydessä 2020-luvun alussa.

Suositukset

Laadittujen kuormitusennusteiden perusteella metron vuorovälin tihentäminen yhteiseen 2 minuutin vuoroväliin tulee tarpeelliseksi 2020 luvun alkuvuosina. Tarvittavaa vuorotiheyttä ei asiantuntija-arvioiden perusteella saavuteta ilman automatisointia. Automatisointi on tarkoituksenmukaista toteuttaa niin, että Kivenlahden metro voidaan toteuttaa ja ottaa käyttöön automatisoidulla liikenteenohjausjärjestelmällä. Tämän hetken arvioiden mukaan Kivenlahden metro voitaisiin avata liikenteelle noin vuonna 2021.

Metron suunniteltu linjakohtainen 4 minuutin ja yhteinen 2 minuutin vuoroväli on ennusteiden mukaan todennäköisesti riittävä vuoteen 2040 saakka, mutta ennusteisiin sisältyy aikajänteen kasvaessa epävarmuutta, joka voi muuttaa vuorovälitarvetta suuntaan tai toiseen. Uudistettavalla liikenteenohjausjärjestelmällä liikennöidään todennäköisesti noin vuoteen 2050 saakka, jolloin matkustajamääräennusteiden epävarmuustekijät ovat jo varsin suuret. Uudistettavalla liikenteenohjausjärjestelmällä on syytä varautua metrojunien liikennöinnin tihentämiseen aikanaan linjakohtaiseen 3,5 minuutin ja yhteiseen 1,75 minuutin vuoroväliin.

Puoliautomaattisen metron rahamääräiset kokonaishyödyt jäävät huomattavasti pienemmäksi kuin täysautomaatissa, koska puoliautomaatin liikennöintikustannukset ovat suuremmasta henkilöstökustannuksesta johtuen yli 7 milj. euroa/vuosi suuremmat kuin täysautomaatissa. Kokonaistaloudellisesti täysautomaattivaihtoehto on tästä syystä huomattavasti edullisempi vaihtoehto, ja se on hyöty-kustannussuhteella mitattuna selkeästi kannattava. Täysautomaattimetro tulee varustaa laituriovin matkustajaturvallisuuden ja laiturialueiden ilmanlaadun parantamiseksi.

Sisältö

Yhteenveto ja suositukset ... 1

1. Lähtökohdat ... 4

Johdanto ... 4

Liikenteenohjausjärjestelmän uudistamisen tavoitteet ... 4

2. Metrojärjestelmien ominaisuudet ... 5

Automaatiotasot ... 5

Käsinajetut metrojärjestelmät ... 5

Automaattiajo ... 6

Laituriovet ... 7

GIDS-järjestelmä ... 7

Täysautomaattimetron modulaarinen eli perinteinen toteutustapa ... 8

Täysautomaattimetron integroitu arkkitehtuuri ... 8

Käyttöönotto ... 8

Vuorovälit ... 9

3. Vertailuskenaariot ... 10

Vertailtavat vaihtoehdot ... 10

Liikenneskenaariot ... 10

4. Matkustajakapasiteetin riittävyys ... 11

5. Häiriöherkkyys ... 12

6. Vaikutukset liikennöintikustannuksiin ... 13

Laskentaperiaatteet ... 13

Metroliikenteen tihentäminen puoliautomaattiajolla ... 13

Täysautomaattiajo ... 13

Vaikutukset lipputuloihin ... 14

Ylläpitokustannukset ... 14

Herkkyystarkastelut ... 14

7. Muut liikenteelliset vaikutukset ... 15

Vaikutukset kulkutapojen käyttöön ... 15

Vaikutukset matkustajahyötyihin ... 15

Vaikutukset tieliikenteeseen ja sen haittoihin ... 16

8. Yhteiskuntataloudelliset kokonaisvaikutukset ... 17

Yhteiskuntataloudellinen näkökulma ... 17

Automatisoinnin investointikustannukset ... 17

Kalustonhankintakustannukset ... 17

Hyödyt vuositasolla 2025 ja 2040 ... 18

Kannattavuuslaskelma ... 18

Automatisoinnin ajoitusvertailu 2021/2026 ... 19

Herkkyystarkastelut ... 20

Liite 1. Vaihtoehtojen investointi- ja huoltokustannukset ... 22

Liite 2. Metroliikenteen kustannuslaskelmat ... 23

Liite 3. Diskonttauslaskelmat ... 24

1. LÄHTÖKOHDAT

Johdanto

Metron automatisoinnin etenemisvaihtoehtojen liikenteellisiä ja yhteiskuntataloudellisia vaikutuksia on vertailtu marraskuussa 2014 valmistuneessa selvityksessä. Joulukuussa 2014 ja tammikuussa 2015 tehtyjen päätösten perusteella metron automatisoimiseksi tehdyt hankintasopimukset on purettu HKL:n toimesta.

Metron automatisointi on siirtymässä sopimusten purkauduttua vuoden 2016 jälkeiseen aikaan. Tarkkaa aikataulua hankkeelle ei ole määritelty, mutta nopeimmillaan automatisointi voisi tapahtua 2020-luvun alussa.

Metron automatisoinnin vanhan hankepäätöksen aineisto on pääosin vuosilta 2005 ja 2006, eikä aineisto ole enää välttämättä kaikilta osin ajan tasalla.

Arvioinnin tavoitteena on:

- osoittaa metroliikenteen tihentämisen tarve ja sen ajoittuminen matkustajakapasiteetin riittävyyden näkökulmasta
- osoittaa automatisoinnin keskeisimmät liikenteelliset vaikutukset eri aikajänteillä
- osoittaa automatisoinnin kumulatiiviset yhteiskuntataloudelliset hyödyt ja kustannukset vuoteen 2050 ulottuvalla aikajänteellä
- vertailla automatisoinnin aikatauluvaihtoehtojen (nopea/hitaampi toteutus) liikenteellisiä ja yhteiskuntataloudellisia eroja.

Arviointi on laadittu HKL:n toimeksiannosta. Työn ohjausryhmään ovat kuuluneet seuraavat henkilöt:

Ville Lehmuskoski, pj	HKL
Tapio Hölttä	HKL
Kimmo Reiman	HKL
Raimo Kaunismäki	HKL
Yrjö Judström	HKL
Olli-Pekka Heikkilä	HKL
Matti Kokkinen	Länsimetro Oy

Valmistelun yhteydessä arvioitavista ratkaisuista on keskusteltu lisäksi HSL:n joukkoliikennesuunnitteluosaston johtaja Tero Anttilan kanssa.

Konsulttina työssä on toiminut Strafica Oy, jossa työstä on vastannut Hannu Pesonen. Luvun 2 ”Metrojärjestelmien ominaisuudet” sekä vaihtoehtojen investointi- ja huoltokustannusarvioiden laadinnasta on vastannut Kimmo Reiman HKL:stä. Työ on käynnistynyt tammikuussa 2015 ja sen on valmistunut toukokuussa 2015.

Liikenteenohjausjärjestelmän uudistamisen tavoitteet

Liikenteenohjausjärjestelmän uudistamiselle voidaan asettaa seuraavat liikenteelliset vähimmäistavoitteet:

1. Liikenteenohjausjärjestelmän tulee mahdollistaa metron vuorovälin tihentäminen kasvavien matkustajamäärien mukaisesti. Suurimpana hyväksyttävänä kuormitusasteena pidetään maksimikuormitusastetta, joka on suunnitteluohjeen mukaisen maksimimäärän mukainen (100 %). Tällöin metrovaunujen maksimikuormitukset ovat enintään noin viidenneksen vuoden 2012 tilannetta suuremmat.
2. Liikenteenohjausjärjestelmän suorituskyvyn tulee olla riittävä, jotta aikataulun mukainen liikenne kyetään hoitamaan ilman kertautuvia häiriöitä ja että häiriötilanteessa liikenne saadaan toipumaan kohtuullisessa ajassa.
3. Liikenteenohjausjärjestelmän tulee olla toimintavarma.

Lisäksi liikenteenohjausjärjestelmälle voidaan asettaa erilaisia teknisiä, taloudellisia ja turvallisuuteen liittyviä tavoitteita ja vaatimuksia, joita ei käsitellä tarkemmin tässä selvityksessä.

2. METROJÄRJESTELMIEN OMINAISUUDET

Automaatiotasot

GoA eli *grade of automation* suom. automaation taso luokittelee metrojärjestelmät kuljettajan mukanaolon ja roolin sekä kulunvalvonnan toteutuksen perusteella.

	Junassa henkilöstöä	Junan ajaminen	Kulunvalvonta	Tietojen päivitys
GoA 1 a	Kuljettaja	Kuljettaja	Pistemäinen	Pistemäinen
GoA 1 b	Kuljettaja	Kuljettaja	Jatkuva	Pistemäinen
GoA 1 c	Kuljettaja	Kuljettaja	Jatkuva	Jatkuva
GoA 2	Kuljettaja	Automaatti	Jatkuva	Jatkuva
GoA 3	Matkustamossa	Automaatti	Jatkuva	Jatkuva
GoA 4	Ei	Automaatti	Jatkuva	Jatkuva

Käsinajetut metrojärjestelmät

Helsingin metron nykyinen järjestelmä

Helsingin metron nykyinen liikenteenohjaus- ja kulunvalvontajärjestelmä vastaa alinta tasoa eli GoA 1 a. Järjestelmä koostuu asetinlaitteista ja käytönohjauksesta. Lisäksi käytössä on junien pakkopysäytyslaitteet, jotka ovat tekniikaltaan vanhanaikaisia, eikä laitteiden aikaansaama turvallisuustaso vastaa uusille metrojärjestelmille asetettuja turvallisuusvaatimuksia. Ajonopeutta valvotaan ainoastaan pistemäisesti vain muutamassa kohdassa koko metrossa. Esimerkki nykyisistä turvallisuuspuutteista on, ettei järjestelmä valvo, mikäli kuljettaja ajaa ylinopeutta poikkeavalle raiteelle. Syynä tähän on, ettei järjestelmä kykene valvomaan ajonopeutta vaihteissa. Suuri ylinopeus vaihteessa aiheuttaa aina vakavan raiteilta suistumisen vaaran. Seuraavassa on lueteltu nykyjärjestelmän merkittävimmät heikkoudet turvallisuuden kannalta:

- Ylinopeusvalvonnan puute vaihteissa
- Nopeusvalvonnan pistemäisyys ja mittauspisteiden määrän vähäisyys
- Ei nykyvaatimusten mukaista luokiteltua turvallisuustasoa (SIL-taso standardien EN 50126/50129 mukaan)
- Ei kokonaisuutena noudata fail-safe -periaatetta

Muut käsinajojärjestelmät

GoA 1-taso jaetaan kulunvalvonnan toteutuksen perusteella alatasoihin. Sen ylimmillä tasoilla kulunvalvonta on ns. jatkuva eli junan ajonopeutta valvotaan jatkuvasti. Opastintiedot ja nopeusrajoitukset välittyvät junaan joko koodattavien raidevirtapiirien tai baliisien (GoA 1 b) kautta ja kehittyneemmissä järjestelmissä radioteitse (GoA 1 c).

Baliiseihin perustuva järjestelmä on käytössä mm. Liikenneviraston rataverkolla. Tällaisen järjestelmän heikkous on, että tiedot välittyvät junaan pistemäisesti eli järjestelmä ei ole aidosti jatkuva. Radiota hyödyntävässä järjestelmässä opastin- ja muut tiedot päivittyvät jatkuvasti, mikä sujuvoittaa liikennettä, sillä muuttuneen opastintiedon vastaanottamiseksi ei tarvitse ajaa seuraavan opastinbaliisin yli.

Edellä mainittujen järjestelmien suorituskyky riippuu raidevirtapiiri- ja opastinjaosta. Kuljettajan ajama järjestelmä on mahdollista toteuttaa myös ns. moving block- eli liikkuvan suojavälin periaatteella, milloin junat voivat ajaa lähempänä toisiaan kuin perinteisessä ns. fixed block-periaatteella toteutetussa järjestelmässä. Tällaista järjestelmää ei kuitenkaan ole kuljettajan ajamana tarkoitettu metrokäyttöön, jossa vuorovälit ovat lyhyet (120 s tai alle).

Junien välistä etäisyyttä voidaan perinteisessä järjestelmässä lyhentää raidevirtapiiriosuuksia lyhentämällä ja vastaavasti opastimien määrää kasvattamalla. Tähdätessä kapasiteetin kasvattamiseen nousee kuljettaja-ajossa ongelmaksi kuljettajien yksilöllinen ajotapa, koska liikennöitäessä tiheällä vuorovälillä hitaimmin ajava kuljettaja määrittää teoriassa järjestelmän suorituskykyyn.

Länsimetron jatkeen valmistuttua metrossa on reitillä Mellunmäki-Kivenlahti 27 asemaa eli linja on erittäin pitkä. Pituudesta aiheutuu ongelma, jota on mahdollista konkretisoida seuraavalla esimerkillä: mikäli nopein kuljettaja on hitaimpaan verrattuna jokaisella asemalla ja asemavälillä esim. vähäiseltä

vaikuttavan yhden (1) sekunnin verran nopeampi, muodostuu linjan päästä päähän ajettaessa ajoajan eroksi näiden kuljettajien ajamien junien välillä 53 sekuntia eli lähes minuutti. Näin vuoroväli vaihtelisi linjan päässä minuutin ja kolmen minuutin välillä, mikä mm. vaikeuttaa toimintaa kääntöraiteella. Tulee huomioida, että edessä oleva muutos Länsimetron ja sen jatkeen avautuessa on nykytilanteeseen eli lyhyeen linjaan ja neljän minuutin vuoroväliin nähden erittäin suuri.

GoA 1 b-tasosta alkaen järjestelmään sisältyy ns. ohjenopeusnäyttö, joka kullakin hetkellä näyttää kuljettajalle suurimman sallitun nopeuden riippuen mm. junan sijainnista. Tämä ei kuitenkaan eliminoi kuljettajien välisiä eroja. Käytännössä asian huomaa maantieliikenteessä, jossa ajoneuvojen nopeudet vaihtelevat, vaikka nopeusrajoitus koskee kaikkia ajoneuvoja.

Automaattiajo

Puoliautomaattimetro

Automaattiajo on puoliautomaattisen metron merkittävin toiminnallinen ero GoA 1-tasoon eli kuljettajan ajamaan metroon nähden. Puoliautomaattimetrot toteutetaan moving block-periaatteella eli junat voivat ajaa lähempänä toisiaan kuin perinteisessä asetinlaitteen ohjaamassa järjestelmässä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että vuoroväliä voidaan lyhentää ilman muutoksia raidevirtapiiri- ja opastinjakoon.

Automaattiajossa vuorovälin säätely toimii tehokkaasti, eikä asemien välisissä ajoajoissa synny eroa junien välillä toisin kuin kuljettaja-ajossa. Puoli- ja täysautomaattimetron ominaisuuksiin sisältyvä jonoutumisen esto -toiminto estää ruuhkautumisen häiriötilanteessa. Sen ansiosta liikenne normalisoituu nopeasti häiriön päätyttyä.

Puoliautomaattisessa metrossa on täysautomaattiin nähden joitakin etuja. Asemien välille vikaantuneen junan ajaminen seuraavalle asemalle on helppoa, mikäli juna on edelleen ajettavissa käsin. Ongelmatilanteessa paikalla on jo valmiiksi henkilökuntaa, mikä vaikuttaa matkustajien kokemaan turvallisuuden tunteeseen. Kuljettajan läsnäolon takia asemia ei tarvitse varustaa laituriovilla tai GIDS-järjestelmällä, eikä ulkoalueiden erityispiirteet, kuten radalle joutuvat ajoneuvot tai kaatuvat puut, ole vastaava ongelma kuin täysautomaattimetrossa. GoA 2-tasosta alkaen järjestelmään voidaan kuitenkin tarvittaessa liittää laituriovet.

Puoliautomatisoidussa metrojunassa on oltava ohjaamo, mikä vähentää matkustajapaikkojen määrää. Puoli- ja täysautomaattisessa metrojärjestelmässä on runsaasti rata-, keskus- ja junalaitteita manuaalimetroon verrattuna. Laitekannan suuruus kasvattaa huollon tarvetta ja heikentää käytettävyyttä. Junalaitteiden määrä puoliautomaattimetrossa on kuitenkin hieman vähäisempi kuin täysautomaattimetrossa, sillä raiteiltasuistumis- ja esteentunnistimia ei tarvita. Junien tila- ja vikatietoja ei lisäksi ole välttämätöntä välittää valvomoon.

Puoliautomaattisessa metrossa junan ovia voi käyttää kuljettaja tai ne voivat toimia automaattisesti. Ovien kuljettajakäytöllä asemapysähdysaika on useissa tapauksissa optimaalinen eli ovia ei yritetä sulkea liian aikaisin, mutta toisaalta ei odoteta turhaan. Kuljettajien väliset erot nousevat kuitenkin esiin toisen kuljettajan halutessa palvella asiakkaita odottaen laiturille viime tingassa kiirehtivien matkustajien ehtimistä kyytiin, kun taas toinen kuljettaja keskittyy junassa jo olevien matkustajien matkanteon nopeuttamiseen. Kun näin tapahtuu jokaisella asemalla, viivästyy ensiksi mainitun kuljettajan ajama juna jatkuvasti lisää. Tähän liittyykin ovien automaattikäytön etu eli kuljettajien väliset erot eliminoituvat.

Puoliautomaattimetrossa on mahdollista toteuttaa junan automaattinen kääntö pääteaseman kääntöraiteella ja varikolle ajo ilman kuljettajaa.

Täysautomaattimetro

Täysin automaattisen metrojärjestelmän suurin etu on miehittämätön ajo, joka tekee operoinnista kuljettajista riippumatonta. Junien määrää voidaan joustavasti lisätä ja vähentää kysynnän mukaan sekä reagoida tehokkaasti häiriötilanteissa esimerkiksi syöttämällä kääntöraiteella odottanut varajuna liikenteeseen tai ohjaamalla ylimääräinen juna kääntöraiteelle odottamaan. Lisäksi junia voidaan poikkeustilanteissa reitittää vapaasti välittämättä kuljettajien työvuoroista.

Täysautomaattimetrossa kääntymisaika kääntöraiteella on lyhyt, koska juna vaihtaa kulkusuuntaa itsestään toisin kuin kuljettaja-ajossa, jossa kuljettajan siirtyminen ajo-ohjaamoon vie aikaa. Täysautomaattimetro vähentää liiken-

teessä tarvittavien junien määrää ja säästää mahdollisen ylimääräisen kääntökuljettajan palkkakustannuksissa.

Häiriötilanteiden varalta asemille tarvitaan kuitenkin henkilöstöä, jonka määrään vaikuttavat turvallisuusvaatimukset (mm. ISA:n suositus). Lyhyellä vuorovälillä liikennöitäessä vuorojen määrä koko järjestelmässä on kuitenkin suurempi kuin asemien määrä, joten asemahenkilöstön mitoitusperusteen ollessa esimerkiksi yksi ihminen asemaa kohti, riittää täysautomaattisen liikenteen hoitamiseen pienempi henkilöstömäärä. Normaalitilanteessa asemahenkilöstö keskittyy asiakaspalvelutyöhön, mikä on merkittävä etu kuljettajattomassa ajossa.

Täysautomaattisessa liikenteessä yksittäisen junan vikaantumisesta asemien välillä seuraa aina häiriötilanne. Tällaisten tilanteiden hallitseminen on hankalampaa ilman junassa olevaa henkilöstöä. Ajovirta on voitava katkaista turvallisesti, mikä edellyttää erillisen liitynnän ja mahdollisten muutosten toteuttamista sähkönsyöttöjärjestelmään. Täysautomaattimetro edellyttää turvallisuusratkaisuilta ja dokumentoinnilta enemmän kuin muut vaihtoehdot.

Täysautomaattisen metron merkittävin haittapuoli on kuljettajan puuttumisesta aiheutuva laituriovien tai GIDS-järjestelmän eli *guideway intrusion detection system* suom. laituriosuuden valvontajärjestelmän tarve. Molemmat vaihtoehdot aiheuttavat lisäkustannuksia hankinta- ja ylläpitokustannusten muodossa.

Laituriovet

Laituriovet estävät radalle joutumisen ja parantavat siten turvallisuutta. Lisäksi ne erottavat laiturialueen radasta, mikä vaimentaa melua tehden junan odottamisesta miellyttävämpää. Täyskorkeat ovet mahdollistavat osaltaan savun hallinnan tulipalotilanteessa. Täyskorkeat laituriovet myös estävät tehokkaasti junan jarruista, virroittimista ja pyöristä irtoavien terveydelle haitallisten pienhiukkasten pääsyä laiturialueen ilmaan.

Laituriovet ovat huomattavan kalliit GIDS-järjestelmään verrattuna. Lisäksi niiden kunnossapitokustannukset ovat korkeat. Ovien asentaminen lähes jatkuvassa liikennekäytössä oleville metrolaitureille on hankalaa. Asennusten takia laituri voidaan joutua tilapäisesti sulkemaan. Ovet saattavat pidentää pysähdysaikoja asemilla.

Uutena innovaationa korealainen toimittaja on kehittänyt ”köysilaituriovet”, jotka avautuvat ylöspäin ja ulottuvat useamman junan oven alueelle, eivätkä näin edellytä tarkkaa junan pysähtymistä. Ovea on kokeiltu Tukholmassa talven 2014-2015 aikana. Sieltä saatujen tietojen mukaan oven hankintakustannukset ovat noin 20 – 30 % perinteisten laituriovien hankintakustannuksista. Tällaisten ovien asennus on myös nopeampaa.

GIDS-järjestelmä

GIDS-järjestelmän asentaminen on huomattavasti yksinkertaisempaa laituriovien verrattuna, eikä laitureita jouduta sen takia sulkemaan. Hankintahinta on merkittävästi laituriovia edullisempi. Ilman laituriovia pysähtymistarkkuudelle ei ole tarpeen asettaa tiukkoja vaatimuksia.

GIDS-järjestelmää käytettäessä junan ovien on oltava riittävän turvalliset eli ovet eivät saa missään tilanteessa lukittua, mikäli väliin on jäänyt matkustaja. Järjestelmä on altis ulkoisille häiriötekijöille. Hälytys aiheuttaa aina asemaa lähestyvän junan pysäyttämisen. On lisäksi huomioitava, että matkustajien aiheettomista radalla käynneistä aiheutuu liikennehäiriöitä GIDS-järjestelmää käytettäessä.

Saksassa (München) tehdyissä koeasennuksissa ulkoasemille on saatu lupaavia tuloksia, ja ulkoisista tekijöistä, kuten lumesta ja linnuista, ei ole aiheutunut vääriä hälytyksiä. Vastaava GIDS-järjestelmä on matkustajakäytössä Nürnbergin metron täysautomaattisella linjalla U3. Tällä linjalla ei kuitenkaan ole varsinaisia ulkoasemia. Kokemuksia matkustajakäytöstä Helsinkiä vastaavista olosuhteista ei ole, ja referenssejä on ylipäätään niukasti. Tukholmassa talven 2014 - 2015 aikana suoritetun koeasennuksen alustavat testitulokset kertovat, että riittävän käytettävyyden saavuttaminen edellyttänee kahden rinnakkaisen eri periaatteilla toimivan GIDS-järjestelmän käyttöä. Kööpenhaminassa useita vuosia ulkoasemilla käytössä olleita GIDS-järjestelmiä ollaan parhaillaan vaihtamassa laituriovii käytössä ilmenneiden ongelmien takia.

Vaikka viime vuosina GIDS-järjestelmät ovat selvästi kehittyneet ja perinteisten laituriovien rinnalle on tullut uusia laituriovi ratkaisuja (ns. köysilaitu-

riovet), uusissa tuotteissa on edelleen ratkaisemattomia ongelmia ja niiden valinta sisältää riskin, että järjestelmiä joudutaan kehittämään, mikä voi vaarantaa projektin aikataulun ja budjetin. Matkustajalle turvallisin ja projektin toteutuksen kannalta varmin ratkaisu on toteuttaa perinteiset laituriovet asemasta riippuen joko täyskorkeina tai matalina (n. 1700 mm). Myös HKL:n omat kokemukset laituriovista Vuosaaren testiasennuksessa vuosina 2012 – 2015 ovat olleet pääosin myönteisiä.

Täysautomaattimetron modulaarinen eli perinteinen toteutustapa

Modulaarinen ratkaisu eli erilliset asetinlaitteet täydellisine tai lähes täydellisine ratalaitteineen ja vyöhykeohjaimet (ZC) mahdollistavat käsinajettujen ja automaattijunien yhtäaikaisen liikennöinnin eli sekakäytön. Arkkitehtuuri tuo kuitenkin mukanaan rajoitteita mm. junien kulkusuunnan kääntämiseen, millä on suuri merkitys poikkeustilanteissa, ja lisäksi raidevirtapiiriviat aiheuttavat liikennehäiriöitä.

Täysautomaattimetron integroitu arkkitehtuuri

Täysautomaattimetron ns. integroidussa laitteistoarkkitehtuurissa asetinlaite ja radanvarren vyöhykeohjain on yhdistetty. Järjestelmä on TVD-järjestelmästä eli *track vacancy detection* suom. raideosuuden vapaanaolon ilmaisujärjestelmästä riippumaton. TVD-järjestelmä koostuu raidevirtapiireistä tai akselinlaskennasta. TVD-järjestelmän puuttuessa järjestelmä yksinkertaistuu, mikä alentaa kunnossapitokustannuksia. Helsingin ja Länsimetron tapauksessa tästä ei kuitenkaan kustannusmielessä saada täyttä hyötyä, koska käytössä on jo raidevirtapiirit. Nykyiset, Helsingin alueella jo ikääntyneet raidevirtapiirit on toisaalta mahdollista korvata akselinlaskennalla siten, että osuuksien määrää vähennetään huomattavasti kustannusten säästämiseksi. Näin voidaan täyttää minimivaatimukset rata-autojen liikkumista ja rikkoutuneiden junien siirtämistä varten. Normaaliliikenteessä kaikki junat ovat täysautomaattikäytössä.

Merkittävin heikkous ilman TVD-järjestelmää toimivassa metrossa on sekakäyttötoiminnon puuttuminen. Junan automaattiajolaitteiden rikkoutumisesta seuraa aina liikennehäiriö, koska liikenne täytyy sulkea laajahkolta alueelta rikkinäisen junan ajamiseksi käsin varikolle. Metron topologia on ongelmallinen, koska pistoraiteiden määrä on vähäinen.

Käyttöönotto

Automatisoinnin myötä M100- ja M200-junat poistetaan liikenteestä ja korvataan uusilla junilla. Järjestelmätoimittajien kanssa käytyjen alustavien keskusteluiden perusteella Länsimetron jatkeen liikennöinti on aikataulun kannalta mahdollista aloittaa puoliautomaattisena.

Käyttöönotto on sitä hankalampaa, mitä automatisoidummasta eli korkeamman GoA-tason järjestelmästä on kyse. Vaikka metro toteutettaisiin täysautomaattisena, on uudet junat varustettava väliaikaisella ohjaamolla, jota tarvitaan liikennöitäessä mahdollisten Helsingissä ja Länsimetron ensimmäisellä osuudella tapahtuvien laiturioviasennusten aikana tai vaihtoehtoisesti tulee löytää ratkaisu ovien avaamiseksi käsin ajettaessa. Mikäli päädytään täysautomatisointiin, riippuu valittava käyttöönottostrategia arkkitehtuurista, sillä ainoastaan modulaarinen toteutustapa mahdollistaa sekakäytön.

Modulaarinen järjestelmä

Valitsemalla GIDS-järjestelmä laituriovien tilalle väliaikaisen ohjaamon toteuttamiselta voitaisiin välttyä sekakäyttöä hyödyntäen. Junien korvaaminen uusilla on yksinkertaista, koska vanhat käsinajetut voidaan korvata yksitellen uusilla junilla, jotka voivat liikennöidä alusta alkaen automaattisina.

Integroitu järjestelmä

Mikäli täysautomaattimetro toteutetaan integroidulla arkkitehtuurilla, ei sekakäyttö ole mahdollista. Junien korvaamiseen liittyy niiden säilytystä koskeva ongelma, koska metron raiteistolla ei ole samanaikaisesti tilaa vanhoille ja uusille junille, joten junat voidaan korvata uusilla ainoastaan niiden toimitusaikataulun määrittämässä tahdissa. Uudet junat joudutaan tästä syystä (ja lisäksi mahdollisten laiturioviasennusten takia) varustamaan väliaikaisella ohjaamolla, koska niillä joudutaan liikennöimään käsinajettuina niin kauan, kunnes kaikki vanhat junat on korvattu. Vasta tämän jälkeen voidaan aloittaa automaattiliikenne.

Toisin kuin modulaarisessa järjestelmässä, saadaan käyttöönoton aikana vähemmän käyttökokemuksia automaattijunista, koska junat liikennöivät käsinajettuina automaattiliikenteen aloittamiseen saakka. Automatisoitaessa Länsimetron jatke tällä toteutustavalla voitaisiin liikenne kuitenkin käynnistää niin, että M300-junat automatisoidaan ja ainoastaan ne jatkavat Matin-

kylästä länteen. Länsimetron ja sen jatkeen rajalla kuljettaja valitsee automaatti- / käsinajotilan. Alkuvaiheessa siis nykymetron ja Länsimetron ensimmäisen osuuden alueella liikennöidään käsinajettuna ja koko metron automaattiliikenteeseen siirrytään myöhemmin, kun M100- ja M200-junat on kokonaisuudessaan korvattu automaattijunilla.

Vuorovälit

Asiantuntija-arvioiden perusteella 4/2 minuutin vuorovälin saavuttaminen GoA 1 -metrojärjestelmällä on Helsingin metrossa käytännössä mahdotonta; jo vuorovälin lyhentäminen nykyisestä 8/4 minuutista 5/2,5 minuuttiin kasvattaa selvästi häiriöherkkyyttä. GoA2 - GoA4 -järjestelmät mahdollistavat 4/2 minuutin käytännön vuorovälin.

3. VERTAILUSKENAARIOT

Vertailtavat vaihtoehdot

Käsinajovaihtoehdossa metroa oletetaan liikennöitävän ruuhka-aikaan linjakohtaisella 5 minuutin ja yhteisellä 2,5 minuutin vuorovälillä sekä vuosien 2025 että 2040 ennustetilanteissa. Teknisesti järjestelmä on tasoa GoA1b/c. Vaihtoehto ei sisällä laituriovia tai laiturinvalvontajärjestelmää (GIDS). Käsinajovaihtoehto on vertailuvaihtoehto, johon automatisointivaihtoehtoja vertaillaan.

Puoliautomaattivaihtoehdossa metroa liikennöidään ruuhka-aikaan linjakohtaisella 4 minuutin ja yhteisellä 2 minuutin vuorovälillä sekä vuosien 2025 että 2040 ennustetilanteissa. Ruuhka-aikojen ulkopuolella matkustajakapasiteetin kannalta tarvittava vuoroväli on harvempi, eikä automatisointi välttämättä vaikuta tähän. Tästä syystä kaikki vertailut on tehty siten, että kulunvalvonnan uudistamisen on oletettu tihentävän vain ruuhka-ajan liikennettä (noin 6 h/arki-vrk), muina aikoina vuoroväli on oletettu samaksi automatisoinnista riippumatta. Teknisesti järjestelmä on tasoa GoA2. Vaihtoehto ei sisällä laiturinovia tai laiturinvalvontajärjestelmää (GIDS). Asetinlaite on erillinen.

Täysautomaattivaihtoehdossa metroa liikennöidään samalla vuorotiheydellä ja nopeudella kuin puoliautomaattivaihtoehtoa, mutta ilman kuljettajamiehitystä. Teknisesti järjestelmä on tasoa GoA4 ja sisältää laituriovet. Asetinlaite on integroitu.

Metron vuorovälierojen vaikutuksia liityntäliikenteeseen tai muiden linjojen liikennöintiin ei ole arvioitu tai huomioitu. Bussiliikenne on HLJ 2015-työn ennustekuvausten 2025 ja 2040 mukainen.

Liikenneskenaariot

Liikenteelliset analyysit on tehty vuosien 2025 ja 2040 skenaarioissa, ja välivuosien tilanteet on arvioitu näistä poikkileikkauksista interpoloiden.

Vuoden 2025 liikenne-ennusteiden lähtökohtana on HLJ 2015-suunnitelmaluonnoksen mukainen skenaario vuodelle 2025, jossa metro liikennöi Kivenlahteen ja linjojen yhteinen vuoroväli Tapiolan ja Itäkeskuksen välillä on 2 minuuttia. Vertailuvaihtoehdossa (käsinajo) yhteinen vuoroväli on 2,5 minuuttia. Vuoden 2025 skenaario on automatisoinnin vaikutustarkastelujen pääskenaario.

Ennusteskenaario sisältää mm. Espoon kaupunkiradan, Pisara-radan sekä Raide-Jokerin. Sen sijaan Kruunuvuorenselän raitioyhteys ei sisälly skenaarioon. Skenaario sisältää ajoneuvoliikenteen kilometripohjaisen hinnoittelujärjestelmän toteutumisen Helsingin seudulla. Maksu on Kehä III-vyöhykkeen sisällä 8 snt/ajokilometri ruuhka-aikoina, muina aikoina ja Kehä III-vyöhykkeen ulkopuolella 4 snt/ajokilometri.

Skenaario-oletuksiin sisältyy väistämättä epävarmuutta. Varsinkin ajoneuvoliikenteen hinnoittelulla ja Kruunuvuorenselän raitioyhteyden puuttumisella on metron kuormittumista lisäävä vaikutus erityisesti itäsuunnan maksimikuormien osalta. Toisaalta Espoon kaupunkiradalla on Länsimetron kuormitusta lisäävä vaikutus.

Vuoden 2040 liikenne-ennusteiden lähtökohtana on HLJ 2015-suunnitelmaluonnoksen mukainen skenaario vuodelle 2040, jossa metro liikennöi idässä Östersundomiin ja linjojen yhteinen vuoroväli on 2 minuuttia Tapiolan ja Itäkeskuksen välillä. HLJ-maankäyttölukujen sijaan Etelä-Espoossa on käytetty Espoon liikenneverkon kehittämisohjelman asukas- ja työpaikkamääriä, joiden taustalla on Kivenlahteen ulottuvan metrokäytävän maankäytön tiivistäminen (noin 20 000 asukasta enemmän kuin HLJ-ennusteissa). Vertailuvaihtoehdossa (ei automatisointia) yhteinen vuoroväli on 2,5 minuuttia. Skenaariota on käytetty automatisoinnin vaikutusten kehittymisen arvioinnissa vuodesta 2025 eteenpäin.

Ennusteskenaario sisältää mm. Kruunuvuorenselän raitioyhteyden sekä Tiederatikan Tapiolasta Pasilan kautta Viikkiin. Östersundomin ja Etelä-Sipoon maankäytöt ovat HLJ 2015-suunnitelman arvioiden mukaiset. Vuoden 2040 ennustetilanteessa Östersundomiin ja Etelä-Sipooseen kaavailtu maankäyttö on ennusteen mukaan toteutunut vasta osittain, joten vielä pidemmän aikavälin ennusteissa tulee varautua tätäkin suurempaan maankäytön kasvuun. Myös Helsingin uuden yleiskaavan maankäyttöluvut vuodelle 2050 ovat monin paikoin selvästi suurempia kuin ennusteskenaarion maankäyttöarvio vuodelle 2040.

4. MATKUSTAJAKAPASITEETIN RIITTÄVYYS

Metron vuorovälin tihentämisen taustalla on ensisijaisesti riittävän matkustajakapasiteetin varmistaminen. Metroliikenteen matkustajakuormitusta ja kapasiteetin riittävyyttä on tarkasteltu perusteellisemmin huhtikuussa 2015 valmistuneessa HSL:n, HKL:n ja Espoon kaupungin teettämässä selvityksessä ”Metron matkustajakuormitus- ja liikennöintiselvitys”. Seuraavassa on tiivistettynä selvityksen keskeisemmät tulokset.

HSL:n joukkoliikenteen suunnitteluohjeen mukaan metrojunien suurin suunnittelussa sallittu tunnin keskimääräinen matkustajamäärä on 288 matkustajaa/vaunupari eli 576 matkustajaa/kahden vaunuparin metrojuna. Tällöin seisovien matkustajien määrä on enintään 3 hlö/lattia-m^2 ja seisovien matkustajien osuus on enintään 55 %. Nykyiset maksimikuormitukset ovat noin 85 % suunnitteluohjeen raja-arvosta.

Metroliikenteen mitoittava matkustajien huippukuormitus osuu aamuruuhkassa Kulosaaren ja Kalasataman asemien välille Helsingin suuntaan. Iltapäiväruuhkassa kuormitushuippu itään ei ole yhtä terävä. Länsimetron valmistuessa myös Matinkylästä tai myöhemmin Kivenlahdesta aamuisin lähtevät vuorot kuormittuvat voimakkaasti, jos toinen junalinja käännetään suunnitellusti Tapiolassa. Vuorojen suurimmat kuormitukset osuvat Urheilupuiston ja Otaniemen välille. Myös länsisuunnalla aamun huippukuormitukset ovat ennusteiden mukaan iltapäivää suuremmat.

Vuonna 2017 käyttöön otettavaksi suunniteltu uusi taksa- ja lippujärjestelmä laskee huomattavasti joukkoliikennelipun hintoja esimerkiksi Tapiolasta ja Matinkylästä Helsinkiin, mikä lisää ennusteiden mukaan selvästi Länsimetron matkustajamääriä. Taksajärjestelmän ennustetuista vaikutuksista osa tapahtuu pidemmällä aikavälillä ja vain osa heti muutoksen astuttua voimaan.

Ennusteiden mukaan metron 5 minuutin linjakohtaisella ja 2,5 minuutin yhteisellä vuorovälillä kuormitusasteen raja-arvo saavutetaan Länsimetron Kivenlahden linjan osalta noin vuonna 2022 ja Itämetron osalta noin vuonna 2024. Jos Kruunuvuorenselän raitioyhteys toteutuu vuoteen 2024 mennessä, riittää 5/2,5 minuutin vuoroväli Itämetron osalta noin vuoteen 2030 saakka.

Tässä tilanteessa pullonkaulaksi jäisi Länsimetron Kivenlahden linja, jonka kuormitusta voidaan keventää siirtämällä Tapiolassa kääntyvän linjan kääntöpaikka Kivenlahteen tai Finnooseen. Tämä ratkaisisi Länsimetron kuormittumiseen liittyvät haasteet, mutta on liikennöinti- tai rakentamiskustannusten osalta kallis ratkaisu. Tästä syystä vuorovälin tihentäminen on länsisuunnan ja samalla koko metroliikenteen osalta tarpeen 2020-luvun alkuvuosina.

Ilman liikenteen tihentämistä Länsimetron matkustajamäärä ylittää suunnitteluohjeen mukaisen maksimikuormituksen noin 3 %:lla vuoden 2025 ennustetilanteessa ja 8-10 %:lla vuoden 2030 ennustetilanteessa Etelä-Espoon maankäytön kehityksestä riippuen. Ennusteskenaariot sisältävät ruuhkamaksut ja Espoon kaupunkiradan vuodesta 2025 eteenpäin. Näistä ruuhkamaksuilla on metron kuormitusta hieman lisäävä vaikutus ja Espoon kaupunkiradalla puolestaan hieman Länsimetron kuormitusta keventävä vaikutus.

Metron suunniteltu 4/2 minuutin vuoroväli on todennäköisesti riittävä vuoteen 2040 saakka ja mahdollisesti pidempäänkin. Jos itäisen tai läntisen metrokäytävän työpaikkakasvu jää selvästi ennustettua pienemmäksi, mutta asukasmäärät kasvavat ennustetusti, voi vuorovälin tihentäminen 4/2 minuutista tulla ajankohtaiseksi jo ennen vuotta 2040.

Viimeistään vuonna 2050 on syytä varautua metrojunien liikennöintiin linjakohtaisella 3,5 minuutin ja yhteisellä 1,75 minuutin vuorovälillä. Liikennejärjestelmän, maankäytön ja erityisesti työpaikkamäärien pitkän aikavälin kehitykseen sisältyy huomattavaa epävarmuutta, joka voi muuttaa maksimikuormituksia suuntaan tai toiseen.

5. HÄIRIÖHERKKYYS

Vertailutilanteessa metroa liikennöidään yhteisellä 2,5 minuutin vuorovälillä kuljettajaohjauksella, mutta nykyistä kehittyneemmällä jatkuvaan kulunvalvontaan perustuvalla järjestelmällä.

Metroliikenteen häiriöherkkyyteen vaikuttaa erityisesti liikenteenohjausjärjestelmän ja kulunvalvonnan ominaisuudet sekä metroliikenteen tiheys eli vuoroväli. Häiriöherkkyyteen vaikuttaa muitakin tekijöitä, mutta tässä on keskitytty vain kulunvalvontajärjestelmien ominaisuuksien ja vuorotiheyden eroista johtuvien näkökulmien arviointiin. Koska häiriöherkkyydestä ei ole saatavissa luotettavaa määrällistä tietoa, on tässä keskitytty kuvaaman erilaisten järjestelmien ominaisuuksia ja häiriötilanteiden syntymekanismeja.

Häiriöherkkyyteen vaikuttaa erityisesti, kuinka hyvin järjestelmä toipuu yksittäisistä viivästyksistä. Tähän puolestaan vaikuttaa se, kuinka paljon matka-aika- ja vuorovälireserviä (aikataulutetun vuorovälin ja minimivuorovälin välinen erotus) järjestelmä tarjoaa.

Häiriö voi saada alkunsa esimerkiksi siten, että yksittäisellä asemalla junan pysähdysaika venyy matkustajaruuhkan tai metron ovea auki pitävän matkustajan takia. Pienehkökin viivästyminen ruuhka-aikana voi johtaa siihen, että seuraavalle asemalle ehtii kertyä enemmän matkustajia, mikä voi edelleen lisätä viivettä junan kulussa. Näin viivästymien voi kertautua asema asemalta, jolloin kääntöasemalle varattu reserviaika ei välttämättä ole riittävä myöhästymisen kiinni ottoon, jolloin viivästyminen uhkaa siirtyä myös paluuvuorolle ja niin edelleen. Tilannetta voi helpottaa osittain siten, että edellinen juna hidastaa hieman kulkuaan, mikä vähentää myöhässä olevaan junaan pyrkivien matkustajien määrää. Tarvittaessa myös tätä edeltävä juna voi hidastaa kulkuaan, jotta vuorovälejä saadaan tasattua.

Vertailutilanteessa (käsinajo ja 2,5 minuutin vuoroväli) vuorovälireservi on pieni. Matka-aikareserviä puolestaan syö vaunukohtaisen matkustajakuormituksen kasvusta syntyvät viivytykset. Matka-aikareserviä voidaan lisätä aikatauluttamalla liikenne väljemmin eli hidastamalla junien aikataulun mukaista kulkua. Tämä puolestaan sitoo enemmän kalustoa, lisää liikennöintikustannuksia ja heikentää palvelutasoa. Häiriöherkkyyden ja aikataulutetun liikenteen palvelutasolla on siis toisiaan heikentävä kytkentä. Käsinajojärjestelmä ei myöskään tasaa vuorovälejä automaattisesti. Myöhästymisestä toipumista voidaan edistää käyttämällä myöhässä olevien junien osalta kääntäjää eli kääntöpaikalla odottavaa lisäkuljettajaa, joka ottaa vuoron ajaakseen ilma että varsinaisen kuljettajan täytyy kävellä junan läpi toiseen päähän. Tämä voi ottaa vastaavasti seuraavan junan ajaakseen, jos sekin on myöhässä ja niin edelleen, kunnes liikenne on saatu toipumaan.

Puoliautomaattiajossa vuorovälireservi kasvaa, kun junat voivat ajaa lähempänä edellistä. Vuorovälejä voidaan myös tasoittaa paremmin, kun juna kulkee asemien välillä automaatin ohjauksessa. Vahvuutena käsinajoon nähden on se, että pienet myöhästymiset saadaan hallintaan nopeasti, ennen kuin ne ehtivät kertaantua suuremmiksi. Puoliautomaatissa kääntö voidaan tarvittaessa hoitaa automaatilla, jolloin säästetään kuljettajan kävelyaika junan päästä toiseen. Junien lähtö asemilta tapahtuu kuljettajan ohjaamana, jolloin kuljettaja voi antaa lähtökäskyn heti, kun matkustajavirta on loppunut. Toisaalta osa kuljettajista odottaa pidempään liukuportailta tulevia matkustajia kuin toiset, mikä varsinkin kertautuessaan aiheuttaa hajontaa junien vuoroväliin.

Täysautomaattiajossa automaatti ohjaa junia myös asemilta lähdön osalta, jolloin kuljettajien väliset yksilölliset erot ajotyylin osalta poistuvat kokonaan. Automaattiliikenteessä kääntö on nopea, koska kuljettajan ei tarvitse kävellä junan toisen pään ohjaamoon. Täysautomaattiliikenteessä myöskään kuljettajien työvuoroihin tai taukoihin liittyvät asiat eivät muodosta ongelmaa häiriötilanteissa, eikä kuljettajan puuttumisesta johtuvia ajamattomia lähtöjä tapahdu. Ruuhka-ajan ulkopuolella varajunia voidaan säilyttää kääntöraiteilla, jolloin varikkoajokilometrit vähenevät ja toisaalta ruuhka-aikojen ulkopuolella häiriötilanteissa ylimääräinen juna saadaan nopeasti kääntöraiteelta liikenteeseen, jolloin häiriöstä toipuminen on nopeampaa.

Automaattiajon haasteita puolestaan ovat järjestelmän monimutkaisuuteen ja varmistuksiin liittyvät asiat, jotka voivat heikentää sen toimintavarmuutta. Automaattijärjestelmän vikaantumiseen liittyvien metroliikenteen suurhäiriöiden riski voi kasvaa.

6. VAIKUTUKSET LIIKENNÖINTIKUSTANNUKSIIN

Laskentaperiaatteet

Metroliikenteen kustannustarkastelut on tehty vuoden 2025 ennusteskenaariossa. Vertailukohtana on metroliikenne 2,5 minuutin yhteisellä vuorovälillä kuljettajamiehityksellä. Varsinainen laskelma suoritemuutoksineen on esitetty raportin liitteessä. Metroliikenteen tihentämisen mahdollisia vaikutuksia bussiliikenteen kustannuksiin ei ole arvioitu.

Metroliikenteen kustannusten laskenta perustuu seuraaviin laskentaperiaatteisiin ja yksikkökustannuksiin:

Liikennöintiaika on 18 h/arki-vrk, joista 5,5 h tiheää ja loput harvennettua liikennettä. Vuosilaajennus on tehty kertomalla arkivuorokauden suoritteet ja kustannukset luvulla 320, jolloin liikennemallilla tuotetut linjatunnit vastaavat HKL:n omaa laskelmaa. Länsimetron käyttöönoton jälkeen metroa liikennöidään 2 vaunuparin eli 4 vaunun kokoonpanoilla.

Metroliikenteen yksikkökustannuksina on käytetty HSL:n Joukkoliikenteen yksikkökustannukset 2011 –julkaisun lukuja. Vaunukilometrin hinta on 0,48 eur/vaunu-km. Yksikkötunnin tuntihinta on päivitetty tuoreimpaan HKL:n ilmoittamaan tietoon (50,9->52,9 eur/h) ja se kuvaa kokonaisen metrojunan tuntikustannusta (linjatuntihinta).

Automaattimetron tuntihinnaksi on arvioitu 20 % manuaalimetron tuntihinnasta eli 10,6 eur/h. Tuntihinnan taustalla on arvio, että automaattiliikenteessä viittä poistuvaa kuljettajaa kohti tarvitaan yksi uusi henkilö asiakaspalvelu- tai valvontatehtäviin. Arvio perustuu Nurnbergin metron automatisointiprojektin tietoihin. Automatisoinnin alkuvuosina henkilöstövähennys on todennäköisesti pienempi, mutta toiminnan tasaannuttua mahdollisesti jopa suurempi.

Vaunupäivän yleiskustannusosan yksikköhinta on 205,8 euroa/vaunupäivä ja laskennallisen osan yksikköhinta on 278,8 euroa/vaunupäivä. Näistä jälkimmäinen kuvaa mm. pääoman poistoa ja korkokuluja.

Metroliikenteen tihentäminen puoliautomaattiajolla

Liikenteen tihentäminen lisää vaunukilometrejä, linjatunteja ja kalustotarvetta. Nämä lisäävät kuljettajilla miehitetyn metroliikenteen kustannuksia noin 6,9 Meur/v, mikäli metroliikenteen nopeus on sama kuin nykyliikenteessä.

Koska tiheämmällä vuorovälillä asemilla poistuvien ja nousevien matkustajien määrä vaunua kohti laskee noin viidenneksellä, lyhenee myös asemaoperaatioiden kesto. Tässä laskelmassa on oletettu, että vuoden 2025 ennustetilanteessa tiheämmällä vuorovälillä pysähdysaika asemilla olisi keskimäärin noin 3 sekuntia pienempi kuin harvemmalla vuorovälillä. Tällöin Tapiolassa kääntyvällä linjalla ajoaika nopeutuisi suuntaansa 57 sekuntia ja Kivenlahden linjalla 81 sekuntia. Nopeutuminen olisi tällöin noin 2,2 sekuntia/linja-km. Tämä vähentää liikennöinnin mitoituslaskelman mukaan liikenteeseen sitoutuvien metrojunien määrää yhdellä, mikä laskee vaunupäivä- ja linjatuntikustannuksia yhteensä noin 0,9 Meur/v. Näin ollen metroliikenteen tihentämisen kustannuksiksi manuaaliajolla jää noin 6,0 Meur/v vuoden 2025 ennustetilanteessa.

Vuoden 2040 ennustetilanteessa metrovaunujen ylikuormitus 2,5 minuutin yhteisellä vuorovälillä pahenee edelleen, jolloin myös asemaviipeet kasvavat. Toisaalta liikenteen tihentämisen kustannusvaikutus on suurempi, kun liikennettä on jatkettu Östersundomiin. Näiden kahden muutoksen on arvioitu likipitäen kompensoivan toisensa.

Täysautomaattiajo

Täysautomaattiajo vähentää metroliikenteen linjatuntikustannuksia tihennetyllä liikenteellä noin 7,7 Meur/v vastaavaan puoliautomaattiliikenteeseen nähden. Näin ollen metroliikenteen kustannukset olisivat automaattiajolla 2,0 minuutin yhteisellä vuorovälillä noin 1,7 Meur/v pienemmät kuin käsinajovaihtoehdossa 2,5 minuutin yhteisellä vuorovälillä.

Automaattiajon kustannusvaikutus on voimakkaasti riippuvainen linjatunnin yksikköhinnan muutoksesta. Laskelma perustuu arvioon, että linjatunnin hinta laskee noin 53 eurosta noin 11 euroon/h eli noin 42 eur/h. Mikäli automaattiajon vaikutus henkilöstön kokonaismäärään jää arvioitua pienemmäksi, jää myös automaattiajon kustannussäästö vastaavasti pienemmäksi.

Myös täysautomaattiajossa liikennöintikustannuserojen muutokset vuodesta 2025 vuoteen 2040 kompensoivat likipitäen toisensa.

Vaikutukset lipputuloihin

Puoli- tai täysautomatisointi lisää joukkoliikenteen lipputuloja noin 0,8 Meur/v vuoden 2025 ennusteskenaariossa ja 0,9 Meur/v vuoden 2040 ennusteskenaariossa. Lipputulot kasvavat, koska tiheämpi liikenne houkuttelee joukkoliikenteeseen hieman lisää matkustajia. Vastaavat lippumenojen muutokset on huomioitu kulkutapaa muuttavien matkustajien kokonaishyödynmuutoksessa.

Ylläpitokustannukset

Huoltokustannuksina on käytetty nykyisen huolto-organisaation kustannuksia lisättynä arviolla tarvittavista varaosista ja ulkopuolisesta tuesta (puhelintuki, asiantuntijatuki). Länsimetron vaiheiden investointi- ja huoltokustannukset on suhteutettu nykymetroon ratapituuksien ja laiturimäärien suhteessa. Vertailtavien sekä muiden automaatiovaihtoehtojen huoltokustannusarviot on esitetty liitteessä 1.

Jatkuvaan kulunvalvontaan perustuvassa käsinajovaihtoehdossa kulunvalvonnan huoltokustannusten on arvioitu olevan noin 0,4 Meur/v suuremmat kuin vastaavan laajuisessa nykytyyppisessä, pistemäiseen kulunvalvontaan perustuvassa järjestelmässä.

Puoliautomaattivaihtoehdossa kulunvalvonnan huoltokustannusten on arvioitu olevan noin 0,5 Meur/v suuremmat kuin vertailuvaihtona olevassa käsinajovaihtoehdossa.

Täysautomaattivaihtoehdossa erityisesti laituriovet kasvattavat huoltokustannuksia, joiden on arvioitu olevan vuositasolla noin 0,9 Meur suuremmat kuin vertailuvaihtona olevassa käsinajovaihtoehdossa.

Kulunvalvonnan huoltokustannusten lisäksi metrojunat edellyttävät myös muuta huoltoa, joka sisältyy edellä esitettyihin liikenteen hoidon yksikkökustannuksiin.

Vuosihyödyt 2025 ennusteskenaariossa Meur/v	**Käsinajo 2,5 minuutin vuorovälillä**	**Puoliautomaatti 2,0 minuutin vuorovälillä**	**Täysautomaatti 2,0 minuutin vuorovälillä**
Liikennöintikustannussäästöt	0.0	-6.0	1.7
Kunnossapitosäästöt	0.0	-0.5	-0.9
Lipputulot	0.0	0.8	0.8
Liikenteenhoidon nettohyödyt yht.	***0.0***	***-5.7***	***1.6***

Vaikutukset liikenteen hoidon kustannuksiin.

Liikenteenhoidon nettokulut on laskettu vähentämällä liikennöinti- ja kunnossapitokustannusten muutoksesta lipputulojen kasvu. Liikenteen hoidon nettokustannukset tai –hyödyt koskevat siten HKL:n ja HSL:n yhdessä muodostamaan liikenteen hoidon näkökulmaa.

Herkkyystarkastelut

Vuoden 2025 ennusteskenaario ei siis sisällä Kruunuvuorenselän raitioyhteyttä. Jos Kruunuvuorenselän raitioyhteys toteutuu suunnitellusti vuonna 2022, riittää 5/2,5 minuutin vuoroväli Itämetron välityskyvyn osalta noin vuoteen 2030 saakka. Tässä tilanteessa pullonkaulaksi jäisi Länsimetron Kivenlahden linja, jonka kuormitusta voidaan keventää siirtämällä Tapiolassa kääntyvän linjan kääntöpaikka Kivenlahteen. Tämä kuitenkin lisäisi metron liikennöintikustannuksia yli 8 Meur/v, kun vastaavat matkustajahyödyt olisivat vain 4-5 Meur/v.

Tapiolassa kääntyvän linjan pääteaseman siirtäminen Finnooseen lisäisi metroliikenteen kustannuksia noin 4 Meur/v, kun matkustajahyödyt olisivat noin 3 Meur/v. Lisäksi kääntöraiteet kasvattaisivat metron rakentamiskustannuksia yli 20 Meur.

Metroliikenteen kustannuksiin vaikuttaa myös erot eri vaihtoehtojen häiriöherkkyydessä, jota on periaatteellisella tasolla arvioitu edellisessä luvussa. Häiriöherkkyyden hallinta voi edellyttää eri vaihtoehdoissa erilaisia varautumistoimia, jotka voivat vaikuttaa myös liikenteen hoidon kustannuksiin.

7. MUUT LIIKENTEELLISET VAIKUTUKSET

Vaikutukset kulkutapojen käyttöön

Kulkutapavaikutuksia on tarkasteltu siten, että vuorovälin tihentäminen koskee vain ruuhka-ajan liikennettä (laskelmassa 5,5 h/vrk).

Metron yhteisen vuorovälin tihentäminen vuoden 2025 ruuhkaliikenteessä 2,5->2,0 minuuttiin lisää joukkoliikennematkoja arkisin noin 2 100 matkaa/vrk ja vuoden 2040 ennustetilanteessa noin 2 400 matkaa/vrk. Kulkutapasiirtymästä noin 60 % on ennusteen mukaan peräisin henkilöautoista ja noin 40 % jalankulusta ja pyöräilystä.

Vaikutukset matkustajahyötyihin

Vertailukohtana on käsinajo 2,5 yhteisellä vuorovälillä. Puoli- tai täysautomaattiajolle ei ole osoitettavissa olennaisia eroja matkustajien palvelutason kannalta.

Vuorovälin tihentyminen

Metron ruuhkaliikenteen tihentäminen 5/2,5->4/2 minuuttiin synnyttää vuoden 2025 ennustetilanteessa noin 5,1 milj. euron vuosittaisen matkustajahyödyn, josta noin 60 % on matka-aikaa ja 40 % muita palvelutasotekijöitä, lähinnä odotusajan matkavastuspainotusta. Luvuissa on mukana myös kulkutapaa muuttavien matkustajien kokonaishyödynmuutos.

Vuoden 2040 ennustetilanteessa vuorovälin tihentymisen hyöty kasvaa matkustuskysynnän kasvun myötä, jolloin matkustajahyöty on noin 5,9 Meur/v.

Aikahyöty on laskettu siten, että keskimääräinen odotusaika on puolet vuorovälistä ja odotusajan painokerroin on 1,5.

Liikenteen nopeutuminen

Koska tiheämmässä metroliikenteessä pysähdysajat ovat pienemmistä vaunukohtaisista matkustajamääristä johtuen arviolta 3 sekuntia/asema lyhyemmät, syntyy tästä myös matkustajille aikahyötyjä. Matkustajien aikakustannusmuutoslaskelma perustuu laskelmaan, että metrokyytien keskimääräinen pituus on hieman yli 8 km ja nopeutuma keskimäärin 2,2 sekuntia/km, jolloin nopeutuma olisi keskimäärin noin 18 sekuntia/matka. Metromatkoja tehdään vuoden 2025 ruuhka-ajan liikenteessä (5,5 h/arki) 50-60 miljoonaa/vuosi. Tämän perusteella matkustajien aikakustannukset vähenevät noin 2,5 Meur/v.

Vuoden 2040 ennustetilanteessa metrovaunujen ylikuormitus 2,5 minuutin yhteisellä vuorovälillä pahenee edelleen, jolloin myös asemaviipeet kasvavat. Vuorovälin tihentämisen nopeutusvaikutuksen on arvioitu olevan 1,5-kertainen vuoden 2025 ennustetilanteeseen nähden eli 27 sekuntia/matka. Lisäksi hyödyt kasvavat matkustusmäärien kasvamisen seurauksena. Liikenteen nopeutumisen matkustajahyödyksi vuoden 2040 ennustetilanteessa on laskettu olevan näillä perustein noin 4,2 Meur/v.

Matkustusväljyyden kasvu

Metrolinjojen ruuhkahuippujen (1 aamuhuipputunti+1 iltahuipputunti) matkustajamäärä kuormittuneimmilla linjaosuuksilla on yhteensä vuoden 2025 ennustetilanteessa noin 40 000 matkustajaa/arki ja arvioitu kesto matkustajaa kohti arviolta noin 7 minuuttia (5 km) jolloin huippukuormitusten aikana matkustajien aikasuorite on vuodessa noin 1,2 milj.h. Jos metrojunien ruuhkaisuuden kasvun arvioidaan lisäävän matkustajien kokemaa ajanarvoa/kustannusta 20 %, on vaikutus työssäkäyntimatkojen ajanarvolla 10,7 eur/h laskettuna 2,1 eur/h näiden kuormittuneimpien kyytien osalta. Näin ollen vuorovälin tihentäminen väljyyden kasvaessa synnyttäisi 2,5 milj.euron vuosittaisen palvelutasohyödyn. Vertailun vuoksi Liikenneviraston Ratahankkeiden arviointiohjeessa aika kulkuvälineessä seisten on painotettu kertoimella 1,35 istuvan matkustajan aikaan nähden.

Vuoden 2040 ennustetilanteessa metrovaunujen ylikuormitus 2,5 minuutin yhteisellä vuorovälillä pahenee edelleen, jolloin myös palvelutasoero tiheään liikenteeseen kasvaa. Vuorovälin tihentämisen synnyttämän väljyysmuutoksen matkustajahyödyn on arvioitu olevan 1,5-kertainen vuoden 2025 ennustetilanteeseen nähden. Lisäksi hyödyt kasvavat matkustusmäärien kasvamisen seurauksena. Väljyyskasvun matkustajahyödyksi vuoden 2040 ennustetilanteessa on arvioitu olevan näillä perustein noin 4,3 Meur/v.

Häiriöherkkyys

Vaihtoehtojen erot liikennöinnin täsmällisyydessä ja häiriöherkkyydessä vaikuttavat myös matkustajien palvelutasohyötyihin. Vuorovälin hajonta ja kertautuvat viivästymiset voivat aiheuttaa usein toistuessaan merkittävää palve-

lutason heikennystä. Koska vaihtoehtojen häiriöherkkyydestä ei ole käytettävissä riittävästi tietoa, ei näitä vaikutuksia ole arvioitu rahamääräisenä.

Yksittäisen suurhäiriön rahamääräinen haitta palvelutasolle on myös merkittävä. Yhden tunnin kestoinen liikennekatkos ruuhka-aikana koskisi noin 50 000 henkilöä. Mikäli haitta vastaisi keskimäärin noin puolen tunnin matka-aikaa, syntyisi yksittäisestä liikennekatkoksesta noin 0,2 milj. euron suuruinen palvelutasohaitta. Koska järjestelmien erosta liikenteen toimintavarmuuden kannalta ei ole tarkempaa tietoa, ei rahamääräistä arviota vaihtoehtojen välisistä eroista ole arvioitu.

Vuosihyödyt 2025 ennusteskenaariossa **Meur/v**	**Käsinajo 2,5 minuutin vuorovälillä**	**Puoliautomaatti 2,0 minuutin vuorovälillä**	**Täysautomaatti 2,0 minuutin vuorovälillä**
Matkustajahyödyt, vuoroväli	0.0	5.1	5.1
Matkustajahyödyt, nopeus	0.0	2.5	2.5
Matkustajahyödyt, väljyys	0.0	2.5	2.5
Matkustajien hyödyt yht.	***0.0***	***10.1***	***10.1***
Vuosihyödyt 2040 ennusteskenaariossa	**Käsinajo 2,5 minuutin vuorovälillä**	**Puoliautomaatti 2,0 minuutin vuorovälillä**	**Täysautomaatti 2,0 minuutin vuorovälillä**
Matkustajahyödyt, vuoroväli	0.0	5.9	5.9
Matkustajahyödyt, nopeus	0.0	4.2	4.2
Matkustajahyödyt, väljyys	0.0	4.3	4.3
Matkustajien hyödyt yht.	0.0	***14.4***	***14.4***

Vaikutukset metromatkustajien palvelutasohyötyihin.

Vaikutukset tieliikenteeseen ja sen haittoihin

Metroliikenteen tihentäminen vaikuttaa kulkutapamuutosten kautta hieman myös tieliikenteeseen ja sen haittoihin Henkilöautokilometrit vähenevät vuositasolla noin 3 milj. autokilometriä. Tämä vaikuttaa hieman myös liikenneonnettomuuksia ja päästöjä vähentävästi, mutta rahamääräisenä vaikutukset jäävät hyvin vähäisiksi.

8. YHTEISKUNTATALOUDELLISET KOKONAISVAIKUTUKSET

Yhteiskuntataloudellinen näkökulma

Taloudellinen tarkastelu on tehty yhteiskuntataloudellisesta näkökulmasta. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki liikenteeseen liittyvät rahamääräiseksi muunnetut vaikutukset on huomioitu laskelmassa riippumatta siitä, mille taholle ne kohdistuvat. Laskelma sisältää näin ollen mm. matkustajille kohdistuvat hyödynmuutokset. Kaikki rahamääräiset hyödyt, säästöt ja kustannukset on laskelmassa kohdistettu niiden syntyvuoteen, ja ne on diskontattu nykyarvoiseksi 3 %:n diskonttauskorolla. Mahdolliset rahoituskustannukset tai muut pelkästään liiketaloudelliset vaikutukset eivät sisälly laskelmaan.

Peruslaskelmat on tehty 30 vuoden laskenta-ajalta olettaen automatisoidun liikenteen alkavan vuoden 2021 alusta. Lisäksi on arvioitu yhteiskuntataloudellisesta näkökulmasta vaikutuksia, jos automatisoidun liikenteen alku siirtyy viidellä vuodella vuoden 2026 alkuun.

Lisäksi on tehty joukko herkkyystarkasteluja, joissa laskentaoletuksia tai rajauksia on muutettu yksi kerrallaan.

Automatisoinnin investointikustannukset

Tarkastellun puoliautomaattivaihtoehdon investointikustannusarvio on noin 214 Meur, joka on noin 158 Meur suurempi kuin vertailukohtana olevan käsinajovaihtoehdon edellyttämät lisäinvestoinnit (55 Meur). Kustannusarvio ei sisällä laituriovia tai niitä korvaavaa GIDS-järjestelmää, koska junissa on kuljettajat. Laituriovet nostaisivat hintaa arviolta noin 50 Meur.

Täysautomaattivaihtoehdon kustannusarvio on noin 250 Meur, joka on noin 195 Meur vertailuvaihtoehtoa enemmän. Kustannusarvio sisältää laituriovet ja integroidun asetinlaitteen. Täysautomaatin hinta-arvio vaihtelee välillä 226-277 Meur riippuen mm. laituriovista ja automatisoinnin toteutustavasta.

Vertailtavien sekä muiden automaatiovaihtoehtojen investointikustannukset on esitetty liitteessä 1. Laskelmissa GoA1a-vaihtoehdon hintana on käytetty nykyisen Mipron sopimuksen hintoja lisättynä 15 % lisätyövarauksella. GoA1b/c-vaihtoehto on arvioitu 50 % edellistä kalliimmaksi. GoA4/laituriovet/erillinen asetinlaite –vaihtoehdon hintana on käytetty Siemensin sopimuksen hintoja korjattuna indeksikorotuksella (7 vuotta, yhteensä 14,4 %) ja 20 % lisätyövarauksella. GoA2 laituriovet/erillinen asetinlaite –vaihtoehdon hinnaksi on arvioitu 95 % edellisestä. GoA4/laituriovet/integroitu asetinlaite –vaihtoehdon hinnaksi on arvioitu 90 % GoA4/laituriovet/erillinen asetinlaite –vaihtoehdon hinnasta.

Laituriovien hintana nykymetron osuudella on käytetty 20 milj. euroa korjattuna indeksikorotuksella (7 vuotta, yhteensä 14,4 %) ja 20 % lisätyövarauksella. Laituriosuuksien valvontajärjestelmän (GIDS) hintana on käytetty 50 % laituriovien hinnasta. Laituriovien metrojärjestelmän käytön aikaisen asennuksen lisähinnaksi länsimetron alueella on käytetty 2 milj. euroa.

M300-junien junalaitteiden asennuksen hintana on käytetty Siemensin sopimuksen hintoja korjattuna indeksikorotuksella (7 vuotta, yhteensä 14,4 %) ja 20 % lisätyövarauksella. M400-junien junalaitteiden asennuksen hintana on käytetty Siemensin sopimuksen hintoja M100- ja M200-junien asennuksesta korjattuna indeksikorotuksella (7 vuotta, yhteensä 14,4 %) ja 20 % lisätyövarauksella.

Nykyvarikon laajennuksen hintana on käytetty 15 milj. euroa 20 % lisätyövarauksella lisättynä ja Sammalvuoren varikon automatisoinnin hintana on käytetty 10 milj. euroa.

Liikenteenohjauksen investointikustannuserot on ajoitettu diskonttauslaskelmassa vuoteen 2020. Matinkylän metron asetinlaite (n. 23 Meur) on uponnut kustannus kaikissa vaihtoehdoissa, ja sen on oletettu olevan hyödynnettävissä pidemmällä aikavälillä vain käsinajovaihtoehdossa. Mikäli asetinlaite voidaan hyödyntää myös automaattivaihtoehdoissa, ovat niiden investointikustannukset vastaavasti pienemmät.

Kalustonhankintakustannukset

Automatisointivaihtoehdoissa nykyiset metrojunat joudutaan korvaamaan uusilla noin 5 vuotta ennenaikaisesti, koska vanhojen junien automatisointi olisi ongelmallista. Tämä merkitsee laskelmassa noin 170 milj. euron kalustohankintakustannuksen kohdistumista vuodelle 2020 vuoden 2025 sijaan. Tämä lisää hankinnan diskontattua nykyarvoa noin 24 Meur. Lisäksi 5 vuotta

aikaisemmin hankitulla kalustolla on vuoden 2050 jälkeen noin 21 Meur pienempi jäännösarvo, jonka diskontattu nykyarvo on noin 9 Meur.

Uudella kalustolla noin viisi ensimmäistä vuotta 2021-2025 sujuvat ilman suurempia ylläpitokorjauksia, josta syntyvä kustannussäästö on arviolta noin 0,4 Meur/v koko aikaistetusti hankittavan kalustomäärän osalta. Käsinajovaihtoehdossa uudet junat hankitaan viisi vuotta myöhemmin, jolloin vastaava kunnossapitohyöty ajoittuu viisi vuotta myöhemmäksi (2026-2030). Tällöin kunnossapitokustannusten nykyarvoinen hyöty jää käsinajovaihtoehdossa koko tarkasteluajanjaksolta yhteensä 0,3 Meur pienemmäksi.

Hyödyt vuositasolla 2025 ja 2040

Vuoden 2025 ennustetilanteessa puoliautomaattiliikenteen kokonaishyödyt ovat noin 4,4 Meur/v ja täysautomaatin noin 11,7 Meur/v. Matkustajahyödyt ovat molemmissa samat, mutta puoliautomaatin kuljettajakustannukset johtavat liikenteen hoidon kustannusten kasvuun 5,7 Meur/v, kun täysautomaattivaihtoehdossa ne laskevat 1,6 Meur/v.

Vuoden 2040 ennustetilanteessa vastaavat puoliautomaatin kokonaishyödyt ovat noin 8,8 Meur/v ja täysautomaatin noin 16,1 Meur/v. Hyötyjen kasvu vuodesta 2025 syntyy lähes kokonaan matkustajahyödyn kasvusta, josta suurin osa syntyy kuormituksen keventymisen vaikutuksesta matkanopeuteen ja väljyyspalvelutasoon. Häiriöherkkyyden rahamääräisiä muutoksia ei ole tässä yhteydessä kyetty osoittamaan.

Vuosihyödyt 2025 ennusteskenaariossa Meur/v	**Käsinajo 2,5 minuutin vuorovälillä**	**Puoliautomaatti 2,0 minuutin vuorovälillä**	**Täysautomaatti 2,0 minuutin vuorovälillä**
Matkustajahyödyt, vuoroväli	0.0	5.1	5.1
Matkustajahyödyt, nopeus	0.0	2.5	2.5
Matkustajahyödyt, väljyys	0.0	2.5	2.5
Liikennöintikustannussäästöt	0.0	-6.0	1.7
Kunnossapitosäästöt	0.0	-0.5	-0.9
Lipputulot	0.0	0.8	0.8
Liikenteenhoidon nettohyödyt yht.	***0.0***	***-5.7***	***1.6***
Matkustajien hyödyt yht.	***0.0***	***10.1***	***10.1***
Hyödyt yhteensä (Meur/v)	***0.0***	***4.4***	***11.7***

Liikenteen hoidon ja matkustajien yhteiskuntataloudelliset hyödyt vuoden 2025 ennusteskenaariossa.

Vuosihyödyt 2040 ennusteskenaariossa Meur/v	**Käsinajo 2,5 minuutin vuorovälillä**	**Puoliautomaatti 2,0 minuutin vuorovälillä**	**Täysautomaatti 2,0 minuutin vuorovälillä**
Matkustajahyödyt, vuoroväli	0.0	5.9	5.9
Matkustajahyödyt, nopeus	0.0	4.2	4.2
Matkustajahyödyt, väljyys	0.0	4.3	4.3
Liikennöintikustannussäästöt	0.0	-6.0	1.7
Kunnossapitosäästöt	0.0	-0.5	-0.9
Lipputulot	0.0	0.9	0.9
Liikenteenhoidon nettohyödyt yht.	***0.0***	***-5.6***	***1.7***
Matkustajien hyödyt yht.	0.0	***14.4***	***14.4***
Hyödyt yhteensä (Meur/v)	***0.0***	***8.8***	***16.1***

Liikenteen hoidon ja matkustajien yhteiskuntataloudelliset hyödyt vuoden 2040 ennusteskenaariossa.

Kannattavuuslaskelma

Peruslaskelmat on tehty 30 vuoden laskenta-ajalta olettaen automatisoidun liikenteen alkavan vuoden 2021 alusta, joka on myös diskonttauslaskelman nollavuosi.

Liikenteenohjausjärjestelmän taloudelliseksi käyttöajaksi on arvioitu 30 vuotta, jonka jälkeen jäännösarvo vuonna 2050 on nolla. Matkustajahyötyjen ja

liikenteen hoidon nettokustannusten kehittyminen 2021-2050 on arvioitu vuosien 2025 ja 2040 liikennetilanteiden perusteella lineaarisesti.

Laskelman mukaan puoliautomaattivaihtoehdon hyöty-kustannussuhde on 0,64 ja täysautomaattivaihtoehdon 1,26. Nykyarvoiset diskontatut kokonaiskustannukset ovat täysautomaatilla noin 110 Meur pienemmät kuin puoliautomaatilla.

Peruslaskelmien diskonttaustaulukot on esitetty raportin liitteessä 3.

	Diskontatut (3 %) kustannukset					
	Investoinnit	Kalusto	Liik.hoito	Matkustajat	*Yhteensä*	*H/K-suhde*
Puoliautomaatti	163.2	32.8	114.0	-251.9	***58.0***	***0.64***
Täysautomaatti	200.3	32.8	-33.4	-251.9	***-52.2***	***1.26***
Ero Täys-Puoli	*37.2*	*0.0*	*-147.4*	*0.0*	***-110.2***	***0.62***

Diskontatut kustannuserot käsinajovaihtoehtoon nähden.

Automatisoinnin ajoitusvertailu 2021/2026

Ajoitusvertailun tavoitteena on osoittaa liikenteelliset ja yhteiskuntataloudelliset erot automatisoinnin nopeamman tai hitaamman toteuttamisen osalta.

Vertailtavina vaihtoehtoina ovat automatisoinnin valmistuminen vuonna 2021 alussa perustarkastelun mukaisesti tai viisi vuotta myöhemmin vuoden 2026 alussa.

Hitaammassa vaihtoehdossa Kivenlahden metroa liikennöidään aluksi manuaalisesti, mikä edellyttää arviolta lähes 13 Meur hintaisen asetinlaitehankinnan, jota ei välttämättä voida hyödyntää automaattivaihtoehdoissa. Myös Helsingin nykymetron asetinlaite joudutaan todennäköisesti uusimaan, mikäli automatisointi viivästyy. Tämä johtuu siitä, että automatisointisopimuksen purkauduttua nykyinen asetinlaite ei ole HKL:n omaisuutta eikä sen käytöstä ole saatu sovittua. Tämä lähes 17 Meur investointi ei myöskään ole välttämättä hyödynnettävissä automaattivaihtoehdoissa. Näin ollen hitaammassa automatisointivaihtoehdossa vuodelle 2020 on kohdistettu lisäkustannus 29,4 Meur, ja varsinainen automatisointi-investointi on siirretty 5 vuotta myöhemmäksi, jolloin myös jäännösarvoa on vuoden 2050 jälkeen 5 vuoden verran.

Toisaalta nykyiset metrojunat voidaan korvata 5 vuotta myöhemmin eli samalla aikataululla kuin käsinajovaihtoehdossa, jolloin vältetään aikaistetun kalustohankinnan tuomat lisäkustannukset. Koska sekä automatisointi että uudet junat hankitaan 5 vuotta myöhemmin, ovat niiden jäännösarvot vuonna 2050 viiden vuoden verran suuremmat. Kaluston osalta nykyarvoiset hyödyt ovat yhteensä noin 33 Meur.

Koska automatisointi siirtyy 5 vuodella eteenpäin, menetetään automatisoinnin tuottamat liikennöinti- ja matkustajahyödyt 5 ensimmäisen vuoden ajalta, mistä seuraa nykyarvoiseksi diskontattuna puoliautomaatilla noin 18 Meur ja täysautomaatilla noin 52 Meur hyödyn menetys.

Puoliautomaatilla liikenteen hoidon kustannukset kasvavat, joten viivästyminen synnyttää liikenteen hoidolle kustannussäästöjä, kun täysautomaatilla tilanne on päinvastainen. Puoliautomaatilla automatisoinnin siirtäminen 5 vuodella vähentää tästä syystä diskontattuja kokonaiskustannuksia noin 18 Meur ja hyöty-kustannussuhde nousee noin 0,1 yksikköä.

Jos täysautomatisointi otetaan käyttöön v. 2026, ovat diskontatut kokonaiskustannukset lähes 9 Meur suuremmat kuin vuoden 2021 käyttöönotolla. Hyöty-kustannussuhde laskee 0,03 yksikköä. Vähäinen ero johtuu siitä, että matkustajahyötyjen menetys on vain hieman suurempi kuin säästöt investointi- ja kalustokustannuksissa.

	Diskontatut (3 %) kustannukset					
	Investoinnit	Kalusto	Liik.hoito	Matkustajat	*Yhteensä*	*H/K-suhde*
Puoliautom. 2021	163.2	32.8	114.0	-251.9	***58.0***	***0.64***
Puoliautom. 2026	159.8	0.0	87.0	-207.0	***39.8***	***0.75***
Ero	*-3.3*	*-32.8*	*-27.0*	*44.9*	***-18.2***	***0.11***
	Diskontatut (3 %) kustannukset					
	Investoinnit	Kalusto	Liik.hoito	Matkustajat	*Yhteensä*	*H/K-suhde*
Täysautom. 2021	200.3	32.8	-33.4	-251.9	***-52.2***	***1.26***
Täysautom. 2026	189.3	0.0	-25.9	-207.0	***-43.6***	***1.23***
Ero	*-11.0*	*-32.8*	*7.5*	*44.9*	***8.5***	***-0.03***

Automatisoinnin myöhemmän (2026) käyttöönoton yhteiskuntataloudelliset vaikutukset aikaisempaan (2021) käyttöönottoon verrattuna.

Automatisoinnin myöhäisemmällä käyttöönotolla on lisäksi seuraavia, taloudellisiin laskelmiin sisältymättömiä vaikutuksia:

- Matkustajakuormitus ylittää ennusteiden mukaan suunnitteluohjeen maksimiarvon, ja metrovaunujen maksimikuormitus on noin 15 % nykytilannetta suurempi. Liikenteen häiriöherkkyys ja vuorovälihajonta kasvavat jolloin palvelutaso on heikompi.
- Kivenlahteen jatkettavaa metroa joudutaan liikennöimään alkuvaiheessa manuaaliajolla. Tämä lisää uusien kuljettajien määrää vain muutaman vuoden ajaksi, jolloin uusien kuljettajien rekrytoinnista ja koulutuksesta syntyvät kustannukset tulevat huonosti hyödynnetyksi.
- Automatisointiprosessi viivästyy, ja riski tilaajaosaamisen häviämisestä kasvaa.

Herkkyystarkastelut

Metromatkustajien palvelutasoon kohdistuvia vaikutuksia ei huomioida

Metron kuten liikennejärjestelmän muidenkin osien perustarkoitus on tuottaa saavutettavuushyötyjä seudun asukkaille ja elinkeinoelämälle. Tästä syystä yhteiskuntataloudellisissa laskelmissa huomioidaan rahamääräiset vaikutukset niin liikenteen tuottajien kuin käyttäjien osalta. Esimerkiksi myös Pisara-radalla, Raide-Jokerilla ja Kruunusiltojen raitioyhteydellä matkustajahyötyjen osuus on yli 80 % kokonaishyödyistä.

Jos laskelmista poistetaan kokonaan matkustajille tulevat rahamääräiset vaikutukset, ei metron automatisointi ole kannattavaa. Tällä rajauksella metroliikenteen tihentäminen puoliautomaattivaihtoehdossa vain lisää kustannuksia, jolloin hyöty-kustannussuhde on negatiivinen. Täysautomaattivaihtoehdossa liikenteen hoidon säästöt ovat lähes samat kuin aikaistetusta kalustohankinnasta syntyvät lisäkustannukset, joten hyöty-kustannussuhde on nolla. Huomioitavaa on kuitenkin myös se, että ilman automatisointia metron suurimmat matkustajakuormitukset ylittävät suunnitteluohjeen mukaiset raja-arvot.

	Diskontatut (3 %) kustannukset					
	Investoinnit	Kalusto	Liik.hoito	Matkustajat	*Yhteensä*	*H/K-suhde*
Puoliautomaatti	163.2	32.8	114.0	0.0	***309.9***	***-0.90***
Täysautomaatti	200.3	32.8	-33.4	0.0	***199.7***	***0.00***
Ero Täys-Puoli	*37.2*	*0.0*	*-147.4*	*0.0*	***-110.2***	***0.90***

Täysautomaatin henkilöstökustannukset

Täysautomaatin kustannusero puoliautomaattiin nähden syntyy edellä olevissa laskelmissa kokonaan linjatuntihinnan eli käytännössä kuljettajakustannusten muutoksesta. Peruslaskelmassa on oletettu, että täysautomaattiajossa linjatuntihinta on 80 % pienempi kuin manuaaliajossa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että viittä kuljettajaa kohti tarvitaan yksi uusi samanpalkkainen tehtävä.

Mikäli henkilöstöä sitoutuu automaattiajoon alkuvaiheen jälkeenkin selvästi oletettua enemmän, pienenee täysautomatisoinnin hyöty puoliautomaattiajoon vastaavasti. Jos viittä kuljettajaa kohti tarvitaankin kolme uutta samanpalkkaista tehtävää, vähenee täysautomatisoinnin ja puoliautomaattiajon välinen hyötyero puoleen edellä esitettyihin laskelmiin nähden. Myös tällä olettamuksella täysautomaatti on kannattavampi kuin puoliautomaatti, mutta hyöty-kustannussuhde laskee arvoon 0,87.

Täysaut. henkilöstös. -50 %	Diskontatut (3 %) kustannukset					
	Investoinnit	Kalusto	Liik.hoito	Matkustajat	*Yhteensä*	*H/K-suhde*
Puoliautomaatti	163.2	32.8	114.0	-251.9	***58.0***	***0.64***
Täysautomaatti	200.3	32.8	45.4	-251.9	***26.7***	***0.87***
Ero Täys-Puoli	*37.2*	*0.0*	*-68.5*	*0.0*	***-31.4***	***0.22***

Nykyisillä junilla käsinajolla vuoteen 2030 saakka

Peruslaskelmat on tehty siten, että vertailuvaihtoehdossa (käsinajo) nykyinen junakalusto korvataan uusilla junilla vuoden 2026 alussa. Automaattivaihtoehdoissa nykykalusto joudutaan korvaamaan uudella 2021 alussa eli 5 vuotta ennenaikaisesti.

On mahdollista, että nykyisellä junakalustolla voidaan liikennöidä taloudellisesti vielä muutaman vuoden pidempään. Herkkyystarkastelu on tehty siten, että vertailuvaihtoehdossa nykyiset junat korvataan uusilla vasta vuoden 2030 alusta, jolloin automaattivaihtoehdoissa kalustohankinta olisi 9 vuotta aikaisemmin ja kaluston ennenaikaisesta hankinnasta ja pienemmästä jäännösarvosta v. 2050 syntyvä diskontattu kustannusero olisi noin 58 Meur eli noin 25 Meur suurempi kuin peruslaskelmissa.

Näillä oletuksilla puoliautomaatin hyöty-kustannussuhteeksi tulee 0,49 ja täysautomaatin 1,13.

Vanhoilla junilla	Diskontatut (3 %) kustannukset					
2030 saakka	Investoinnit	Kalusto	Liik.hoito	Matkustajat	*Yhteensä*	*H/K-suhde*
Puoliautomaatti	163.2	58.5	114.0	-251.9	***83.7***	***0.49***
Täysautomaatti	200.3	58.5	-33.4	-251.9	***-26.5***	***1.13***
Ero Täys-Puoli	*37.2*	*0.0*	*-147.4*	*0.0*	***-110.2***	***0.65***

Automatisointi 2026, käsinajolla Kivenlahteen molemmilla linjoilla 2021-2025.

Jos metroliikenteen tihentäminen siirtyy vuoteen 2026, saavutetaan Länsimetrossa suunnitteluohjeen mukainen maksikuormitus noin vuonna 2022. Jos Kruunuvuorenselän raitioyhteys toteutuu vuoteen 2024 mennessä, riittää 5/2,5 minuutin vuoroväli Itämetron osalta noin vuoteen 2030 saakka.

Tässä tilanteessa länsisuunnalla linjojen kuormitusta voidaan tasata siirtämällä Tapiolassa kääntyvän linjan kääntöpaikka Kivenlahteen. Tämä nostaa metron liikennöintikustannuksia noin 8,3 Meur/v, mutta toisaalta tihentyvä tarjonta ja matkustusväljyyden kasvu lisää länsisuunnan matkustajahyötyjä noin 5,1 Meur yhteissumman jäädessä noin 3,2 Meur/v negatiiviseksi. Toisaalta automatisoinnin viivästyttäminen poistaa aikaistetusta kalustohankinnasta syntyvän lisäkustannuksen, mutta edellyttää todennäköisesti tilapäisinvestointeja Kivenlahden haaran ja nykymetron asetinlaitteisiin.

Tällä asetelmalla täysautomatisoinnin siirtäminen vuoteen 2026 lisää diskontattuja kokonaiskustannuksia noin 24 Meur ja laskee hyöty-kustannussuhdetta noin 0,1 yksikköä.

Käsinajo K/K	Diskontatut (3 %) kustannukset					
	Investoinnit	Kalusto	Liik.hoito	Matkustajat	*Yhteensä*	*H/K-suhde*
Täysautom. 2021	200.3	32.8	-33.4	-251.9	***-52.2***	***1.26***
Täysautom. 2026	189.3	0.0	13.2	-231.1	***-28.5***	***1.15***
Ero	*-11.0*	*-32.8*	*46.6*	*20.8*	***23.6***	***-0.11***

Automatisointi 2030, käsinajolla Kivenlahteen molemmilla linjoilla 2021-2029.

Laskelma on tehty sillä oletuksella, että nykyiset metrojunat ovat taloudellisesti liikennöitävissä vuoden 2029 loppuun käsinajovaihtoehdossa, jolloin automaattivaihtoehdoissa kalustohankinta olisi 9 vuotta aikaisemmin kuin vertailuvaihtoehdossa. Kruunuvuorenselän raitioyhteyden on oletettu siirtävän itämetron liikenteen tihentämistarvetta vuoteen 2030 ja länsisuunnalla ylikuormittuminen ratkaistaan jatkamalla Tapiolassa kääntyvä linja Kivenlahteen vuosina 2021-2029. Kun liikenne tihenee automatisoituna vuoden 2030 alusta, ei Kivenlahteen ole enää kapasiteettisyistä tarvetta liikennöidä molemmilla linjoilla, jolloin toisen linjan kääntöpaikka siirretään takaisin Tapiolaan.

Tällä asetelmalla täysautomatisoinnin siirtäminen vuoteen 2030 lisää diskontattuja kokonaiskustannuksia noin 15 Meur ja laskee hyöty-kustannussuhdetta 0,06 yksikköä.

Vanhoilla junilla	Diskontatut (3 %) kustannukset					
2030, Käsinajo KK	Investoinnit	Kalusto	Liik.hoito	Matkustajat	*Yhteensä*	*H/K-suhde*
Täysautom. 2021	200.3	58.5	-33.4	-251.9	***-26.5***	***1.13***
Täysautom. 2030	156.3	0.0	50.8	-218.7	***-11.5***	***1.07***
Ero	*-44.0*	*-58.5*	*84.2*	*33.2*	***15.0***	***-0.06***

LIITE 1. VAIHTOEHTOJEN INVESTOINTI- JA HUOLTO-KUSTANNUKSET

numero	1	2 (vertailuvaihtoehto)	3 (vertailtu puoli-automaattivaihtoehto)	4	5	6	7 (vertailtu täys-automaattivaihtoehto)	8
kuvaus	Nykyinen taso: kuljettaja ajaa, pakkopysäytyslaite	Kuljettaja ajaa, ohjaamossa tieto opasteesta, jatkuva nopeudenvalvonta	Puoliautomaattinen ajo: ohjaamossa kuljettaja vastaa junan lähdöstä, automaatti ajaa	Puoliautomaattinen ajo: ohjaamossa kuljettaja vastaa junan lähdöstä, automaatti ajaa	Täysautomaattinen ajo: junassa ei kuljettajaa, muuta henkilöstöä vain ajoittain	Täysautomaattinen ajo: junassa ei kuljettajaa, muuta henkilöstöä vain ajoittain	Täysautomaattinen ajo: junassa ei kuljettajaa, muuta henkilöstöä vain ajoittain	Täysautomaattinen ajo: junassa ei kuljettajaa, muuta henkilöstöä vain ajoittain
GoA-taso	GoA1a	GoA1b/c	GoA2	GoA2	GoA4	GoA4	GoA4	GoA4
laiturivalvonta	ei	ei	ei	laiturioviet	laiturioviet	GIDS	laiturioviet	GIDS
asetinlaite	erillinen	erillinen	erillinen	erillinen	erillinen	erillinen	integroitu	integroitu
Investointikustannukset								
Junalaitteet	0	10 000 000	56 866 014	56 866 014	59 858 962	59 858 962	53 873 066	53 873 066
Nykymetro	16 560 000	21 654 159	79 505 713	106 963 953	112 593 634	98 864 515	101 334 271	88 978 063
LM 1. vaihe, asetinlaite + lisäkustannukset	22 655 000	6 969 093	44 576 821	57 129 159	60 135 957	53 859 788	54 122 361	48 473 809
-lisähinta laiturioviasennuksesta liikenteessä				2 000 000	2 000 000		2 000 000	
LM 2. vaihe	12 765 000	16 691 748	32 816 148	40 661 360	42 801 431	38 878 826	38 521 288	34 990 943
YHTEENSÄ	***51 980 000***	***55 315 000***	***213 764 697***	***263 620 485***	***277 389 985***	***251 462 090***	***249 850 986***	***226 315 881***
Järjestelmän huoltokustannukset								
Nykymetro								
oma työ	1 200 000	1 200 000	1 200 000	1 200 000	1 200 000	1 200 000	1 200 000	1 200 000
varaosat, ulkopuolinen työ	400 000	600 000	870 000	1 100 000	1 200 000	1 050 000	1 100 000	950 000
LM 1. vaihe	880 000	990 000	1 138 500	1 265 000	1 320 000	1 237 500	1 265 000	1 182 500
LM 2. vaihe	480 000	540 000	621 000	690 000	720 000	675 000	690 000	645 000
YHTEENSÄ	***2 960 000***	***3 330 000***	***3 829 500***	***4 255 000***	***4 440 000***	***4 162 500***	***4 255 000***	***3 977 500***
ERO VERTAILUVAIHTOEHTOON 2 NÄHDEN								
milj.euroa								
Junalaitteet			46.9	46.9	49.9	49.9	43.9	43.9
Nykymetro			57.9	85.3	90.9	77.2	79.7	67.3
LM 1. vaihe			37.6	50.2	53.2	46.9	47.2	41.5
-lisähinta laiturioviasennuksesta liikenteessä			0.0	2.0	2.0	0.0	2.0	0.0
LM 2. vaihe			16.1	24.0	26.1	22.2	21.8	18.3
YHTEENSÄ			***158.4***	***208.3***	***222.1***	***196.1***	***194.5***	***171.0***
Järjestelmän huoltokustannukset			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nykymetro			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
oma työ			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
varaosat, ulkopuolinen työ			0.3	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4
LM 1. vaihe			0.1	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2
LM 2. vaihe			0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1
YHTEENSÄ			***0.5***	***0.9***	***1.1***	***0.8***	***0.9***	***0.6***

LIITE 2. METROLIIKENTEEN KUSTANNUSLASKELMAT

Linjakohtaiset suoritelaskelmat 2025 ennusteskenaariossa

Nykyinen kulunohjaus 5/2,5 min					Kääntö-	Kierros-	Juna-		Vaunu-							Muu kuin ruuhka	
	Vuoroväli		Linja-	Ajoaika	aika	aika	määrä	Juna-	paria/	Vaunua/	Vaunu-	Vaunukilometrit		Linjatunnit		Junam.	Junam.
	ruuhka	muu aika	pituus		(minimi)	(minimi)	(minimi)	määrä	juna	juna	tarve	ruuhka	muu aika	ruuhka	muu aika	(minimi)	
Tap-Mel	5	7.5	25	35	4	78	15.68	16	2	4	64	2390	1594	16	11	10.5	11
Kiv-Vuo	5	7.5	35	50	4	108	21.6	22	2	4	88	3401	2268	22	15	14.4	15
Yht.								***39***			***152***	***5792***	***3861***	***39***	***26***		***26***
Uudistettu kulunohjaus 4/2 min					Kääntö-	Kierros-	Juna-		Vaunu-							Muu kuin ruuhka	
	Vuoroväli		Linja-	Ajoaika	aika	aika	määrä	Juna-	paria/	Vaunua/	Vaunu-	Vaunukilometrit		Linjatunnit		Junam.	Junam.
	ruuhka	muu aika	pituus		(minimi)	(minimi)	(minimi)	määrä	juna	Juna	tarve	ruuhka	muu aika	ruuhka	muu aika	(minimi)	
Tap-Mel	4	7.5	25	34	4	75	18.9	19	2	4	76	2988	1594	19	11	10.1	11
Kiv-Vuo	4	7.5	35	49	4	104	26.0	26	2	4	104	4252	2268	26	14	13.9	14
Yht.								***46***			***180***	***7240***	***3861***	***46***	***25***		***25***

Laskennalliseen ruuhka-ajan junamäärään lisätty kaikissa vaihtoehtoidassa +1 juna käytännön tarpeena

Täysautomatisoinnin vaikutus	**Yksikkö-kustannus**	**Suoritemuutos ruuhkat.**	**muu tunti**	**arki**	**vuosi**	**Kustannus-muutos/v**
Vaunukilometrit	0.48	1448	0	7 964	2 548 339	1.22
Linjatunnit						
- manuaalit	52.9	-39	-26	-540	-172 640	-9.13
- automaatit	10.6	46	25	566	180 960	1.91
Vaunupäivät				28	8 960	
- yleiskustannukset	205.8			28	8 960	1.84
- laskennallinen osa	278.8			28	8 960	2.50
Yhteensä						***-1.65***

Puoliautomatisoinnin vaikutus	**Yksikkö-kustannus**	**Suoritemuutos ruuhkat.**	**muu tunti**	**arki**	**vuosi**	**Kustannus-muutos/v**
Vaunukilometrit	0.48	1448	0	7 964	2 548 339	1.22
Linjatunnit		0	0			
- manuaalit	52.9	7	-1	26	8 320	0.44
- automaatit	10.6				0	0.00
Vaunupäivät				28	8 960	
- yleiskustannukset	205.8			28	8 960	1.84
- laskennallinen osa	278.8			28	8 960	2.50
Yhteensä						***6.01***

LIITE 3. DISKONTTAUSLASKELMAT

Ve1. Puoliautomaattiajo 2021

Vuosi	Lask. vuosi	Disk.korko 3.0 %	Diskonttaamattomat					Diskontatut				
		Disk.tekijä	Investoinnit	Kalusto	Liik.hoito	Matkustajat	Yhteensä	Investoinnit	Kalusto	Liik.hoito	Matkustajat	Yhteensä
2020	-1	1.030	158.40	170.00	0.00	0.00	328.40	163.15	175.10	0.00	0.00	338.25
2021	0	1.000	0.00	-0.40	5.73	-8.95	-3.63	0.00	-0.40	5.73	-8.95	-3.63
2022	1	0.971	0.00	-0.40	5.72	-9.24	-3.92	0.00	-0.39	5.55	-8.97	-3.81
2023	2	0.943	0.00	-0.40	5.71	-9.53	-4.21	0.00	-0.38	5.39	-8.98	-3.97
2024	3	0.915	0.00	-0.40	5.71	-9.81	-4.51	0.00	-0.37	5.22	-8.98	-4.12
2025	4	0.888	0.00	-170.40	5.70	-10.10	-174.80	0.00	-151.40	5.06	-8.97	-155.31
2026	5	0.863	0.00	0.40	5.69	-10.39	-4.29	0.00	0.35	4.91	-8.96	-3.70
2027	6	0.837	0.00	0.40	5.69	-10.67	-4.59	0.00	0.33	4.76	-8.94	-3.84
2028	7	0.813	0.00	0.40	5.68	-10.96	-4.88	0.00	0.33	4.62	-8.91	-3.97
2029	8	0.789	0.00	0.40	5.67	-11.25	-5.17	0.00	0.32	4.48	-8.88	-4.08
2030	9	0.766	0.00	0.40	5.67	-11.53	-5.47	0.00	0.31	4.34	-8.84	-4.19
2031	10	0.744	0.00	0.00	5.66	-11.82	-6.16	0.00	0.00	4.21	-8.80	-4.58
2032	11	0.722	0.00	0.00	5.65	-12.11	-6.45	0.00	0.00	4.08	-8.75	-4.66
2033	12	0.701	0.00	0.00	5.65	-12.39	-6.75	0.00	0.00	3.96	-8.69	-4.73
2034	13	0.681	0.00	0.00	5.64	-12.68	-7.04	0.00	0.00	3.84	-8.63	-4.79
2035	14	0.661	0.00	0.00	5.63	-12.97	-7.33	0.00	0.00	3.72	-8.57	-4.85
2036	15	0.642	0.00	0.00	5.63	-13.25	-7.63	0.00	0.00	3.61	-8.51	-4.90
2037	16	0.623	0.00	0.00	5.62	-13.54	-7.92	0.00	0.00	3.50	-8.44	-4.94
2038	17	0.605	0.00	0.00	5.61	-13.83	-8.21	0.00	0.00	3.40	-8.37	-4.97
2039	18	0.587	0.00	0.00	5.61	-14.11	-8.51	0.00	0.00	3.29	-8.29	-5.00
2040	19	0.570	0.00	0.00	5.60	-14.40	-8.80	0.00	0.00	3.19	-8.21	-5.02
2041	20	0.554	0.00	0.00	5.59	-14.69	-9.09	0.00	0.00	3.10	-8.13	-5.03
2042	21	0.538	0.00	0.00	5.59	-14.97	-9.39	0.00	0.00	3.00	-8.05	-5.05
2043	22	0.522	0.00	0.00	5.58	-15.26	-9.68	0.00	0.00	2.91	-7.96	-5.05
2044	23	0.507	0.00	0.00	5.57	-15.55	-9.97	0.00	0.00	2.82	-7.88	-5.05
2045	24	0.492	0.00	0.00	5.57	-15.83	-10.27	0.00	0.00	2.74	-7.79	-5.05
2046	25	0.478	0.00	0.00	5.56	-16.12	-10.56	0.00	0.00	2.66	-7.70	-5.04
2047	26	0.464	0.00	0.00	5.55	-16.41	-10.85	0.00	0.00	2.58	-7.61	-5.03
2048	27	0.450	0.00	0.00	5.55	-16.69	-11.15	0.00	0.00	2.50	-7.52	-5.02
2049	28	0.437	0.00	0.00	5.54	-16.98	-11.44	0.00	0.00	2.42	-7.42	-5.00
2050	29	0.424	0.00	21.25	5.54	-16.98	9.81	0.00	9.02	2.35	-7.21	4.16
Kust. yht.			**158.40**	**21.25**	**168.91**	**-393.01**	**-44.46**	**163.15**	**32.82**	**113.96**	**-251.90**	**58.03**
											H/K	***0.64***

Ve2. Täysautomaattiajo 2021

Vuosi	Lask. vuosi	Disk.korko 3.0 % Disk.tekijä	Diskonttaamattomat Investoinnit	Kalusto	Liik.hoito	Matkustajat	Yhteensä	Diskontatut Investoinnit	Kalusto	Liik.hoito	Matkustajat	Yhteensä
2020	-1	1.030	194.50	170.00	0.00	0.00	364.50	200.34	175.10	0.00	0.00	375.44
2021	0	1.000	0.00	-0.40	-1.57	-8.95	-10.93	0.00	-0.40	-1.57	-8.95	-10.93
2022	1	0.971	0.00	-0.40	-1.58	-9.24	-11.22	0.00	-0.39	-1.53	-8.97	-10.89
2023	2	0.943	0.00	-0.40	-1.59	-9.53	-11.51	0.00	-0.38	-1.50	-8.98	-10.85
2024	3	0.915	0.00	-0.40	-1.59	-9.81	-11.81	0.00	-0.37	-1.46	-8.98	-10.80
2025	4	0.888	0.00	-170.40	-1.60	-10.10	-182.10	0.00	-151.40	-1.42	-8.97	-161.79
2026	5	0.863	0.00	0.40	-1.61	-10.39	-11.59	0.00	0.35	-1.39	-8.96	-10.00
2027	6	0.837	0.00	0.40	-1.61	-10.67	-11.89	0.00	0.33	-1.35	-8.94	-9.95
2028	7	0.813	0.00	0.40	-1.62	-10.96	-12.18	0.00	0.33	-1.32	-8.91	-9.90
2029	8	0.789	0.00	0.40	-1.63	-11.25	-12.47	0.00	0.32	-1.28	-8.88	-9.85
2030	9	0.766	0.00	0.40	-1.63	-11.53	-12.77	0.00	0.31	-1.25	-8.84	-9.78
2031	10	0.744	0.00	0.00	-1.64	-11.82	-13.46	0.00	0.00	-1.22	-8.80	-10.02
2032	11	0.722	0.00	0.00	-1.65	-12.11	-13.75	0.00	0.00	-1.19	-8.75	-9.94
2033	12	0.701	0.00	0.00	-1.65	-12.39	-14.05	0.00	0.00	-1.16	-8.69	-9.85
2034	13	0.681	0.00	0.00	-1.66	-12.68	-14.34	0.00	0.00	-1.13	-8.63	-9.76
2035	14	0.661	0.00	0.00	-1.67	-12.97	-14.63	0.00	0.00	-1.10	-8.57	-9.67
2036	15	0.642	0.00	0.00	-1.67	-13.25	-14.93	0.00	0.00	-1.07	-8.51	-9.58
2037	16	0.623	0.00	0.00	-1.68	-13.54	-15.22	0.00	0.00	-1.05	-8.44	-9.48
2038	17	0.605	0.00	0.00	-1.69	-13.83	-15.51	0.00	0.00	-1.02	-8.37	-9.39
2039	18	0.587	0.00	0.00	-1.69	-14.11	-15.81	0.00	0.00	-0.99	-8.29	-9.28
2040	19	0.570	0.00	0.00	-1.70	-14.40	-16.10	0.00	0.00	-0.97	-8.21	-9.18
2041	20	0.554	0.00	0.00	-1.71	-14.69	-16.39	0.00	0.00	-0.94	-8.13	-9.08
2042	21	0.538	0.00	0.00	-1.71	-14.97	-16.69	0.00	0.00	-0.92	-8.05	-8.97
2043	22	0.522	0.00	0.00	-1.72	-15.26	-16.98	0.00	0.00	-0.90	-7.96	-8.86
2044	23	0.507	0.00	0.00	-1.73	-15.55	-17.27	0.00	0.00	-0.87	-7.88	-8.75
2045	24	0.492	0.00	0.00	-1.73	-15.83	-17.57	0.00	0.00	-0.85	-7.79	-8.64
2046	25	0.478	0.00	0.00	-1.74	-16.12	-17.86	0.00	0.00	-0.83	-7.70	-8.53
2047	26	0.464	0.00	0.00	-1.75	-16.41	-18.15	0.00	0.00	-0.81	-7.61	-8.42
2048	27	0.450	0.00	0.00	-1.75	-16.69	-18.45	0.00	0.00	-0.79	-7.52	-8.30
2049	28	0.437	0.00	0.00	-1.76	-16.98	-18.74	0.00	0.00	-0.77	-7.42	-8.19
2050	29	0.424	0.00	21.25	-1.76	-16.98	2.51	0.00	9.02	-0.75	-7.21	1.07
Kust. yht.			**194.50**	**21.25**	**-50.09**	**-393.01**	**-227.36**	**200.34**	**32.82**	**-33.42**	**-251.90**	**-52.17**
											H/K	***1.26***