

Jani Nuutinen

Joukkoliikenne-etuuksien käyttöönotto Espoon kaupungissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

14.5.2017

Tekijä(t) Otsikko	Jani Nuutinen Joukkoliikenne-etuuksien käyttöönotto Espoon kaupungissa
Sivumäärä Aika	35 sivua + 8 liitettä 14.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Logistiikka
Ohjaaja(t)	Liikenteenhallintapäällikkö Johanna Nyberg Lehtori Markku Haikonen
<p>Länsimetron aloittaessa toimintansa Espoossa kulkevat bussilinjat muuttuvat metroa palvelevaksi syöttöliikenteeksi. Jotta joukkoliikenne erityisesti metron suuntaan olisi sujuvaa, tullaan Espoon kaupungissa bussien liikennöintiä edesauttamaan joukkoliikenteen liikennevaloetuksin.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä dokumentoidaan Helsingin seudun liikenteen (HSL) lippu- ja informaatiojärjestelmäuudistuksen ("LIJ 2014") mahdollistaman yhtenäisen toteutustavan mukaisten joukkoliikenne-etuuksien käyttöönotto Espoon kaupungissa.</p> <p>Opinnäytetyössä kuvataan liikennevalo-ohjauksen periaatteet alkaen siitä, mitä teknisiä laitteita yksittäisen liikennevaloliittymän ohjauksessa käytetään. Lisäksi tarkastellaan liikennevalojen ohjelmallista toimintaa sekä käytännön toimintaperiaatetta. Etuuksia koskevassa osiossa esitellään lyhyesti yleisesti tienkäyttäjien käytössä olevat etuudet. Lisäksi käydään läpi nykyisin olennaisena osana joukkoliikenne-etuuksin varustettavia liikennevaloja oleva SYVARI-ohjaustapa sekä liikennevaloetuksiin liittyvät etuustyypit ja -toiminnot. Myös Espoon kaupungin toimenpiteet joukkoliikenteen toimintaedellytysten parantamiseksi avataan lukijalle. Lopuksi joukkoliikenne-etuusjärjestelmä, sen komponentit ja etuuksien käyttöönotto esitellään dokumentoidaan Espoon kaupungin liikenteenhallinnan käyttöön.</p> <p>Opinnäytetyön tiedot koottiin teorialähteistä sekä sisäisistä kokousmuistiosta ja Länsimetroa, joukkoliikennettä ja liikennevaloetuksia koskevista dokumentoinneista. Lisäksi työssä hyödynnettiin opinnäytetyön tekijän omaa työssä hankittua tietämystä joukkoliikenne-etuusjärjestelmän toiminnasta ja sen komponenteista.</p> <p>Lopputulokseksi opinnäytetyöstä muodostuu läpileikkaus prosessista, jolla joukkoliikenne-etuudet otetaan onnistuneesti käyttöön. Samalla työ toimii periaatteellisena ohjeistuksena niille asioille joita prosessin aikana on huomioitava.</p>	
Avainsanat	Liikennevalot, joukkoliikenne-etuus, liikenteen hallinta

Author(s) Title Number of Pages Date	Jani Nuutinen Implementation of Public Transport Priority System in the City of Espoo 35 pages + 8 appendices 14 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Transport Logistics
Instructor(s)	Johanna Nyberg, Head of Traffic Management and ITS Markku Haikonen, Senior Lecturer
<p>When the operation of the West Metro (Länsimetro) begins, bus services will switch to feeder services in Espoo. To ensure that public transport will operate well especially to metro stations the City of Espoo will equip traffic signal intersections with a traffic signal priority system to allow buses to maintain its schedule and to minimize delays.</p> <p>This Bachelor's thesis examines the implementation of the traffic signal priority system in the City of Espoo that has been made possible by the rollout of the new Helsinki region ticketing and information system by the Helsinki Regional Transport Authority (HSL).</p> <p>The Bachelor's thesis describes the basic principles of traffic signal operation starting from what equipment is used in the operation of a single traffic signal intersection. Additionally the program-wise operation and operational principles of traffic signals are analyzed. In the section consisting of traffic signal priorities some of the available priority types are also described. The SYVARI control mode is introduced as it is an important part of the current way of programming traffic signals that include the public transport priority functionality. Furthermore, the different strategies of adjusting signal timings are introduced. Also the procedures implemented by the City of Espoo to improve public transport services are examined. Finally the priority system, its components and the deployment of the system along with pre-testing is documented and made available for the City of Espoo's traffic management department.</p> <p>The information for this Bachelor's thesis was gathered from theoretical sources, meeting documents and documents concerning the West Metro (Länsimetro), public transport and traffic signal priority systems. Also the practical experience gained by the author of this thesis while working with the priority system was used as a source of information.</p> <p>As a result this Bachelor's thesis forms a cross-section of the process with which the traffic signal priority system is successfully taken to use while at the same time it provides guidance in different aspects of the implementation.</p>	
Keywords	Traffic signal, traffic signal priority, traffic management

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Liikennevalot	3
2.1	Liikennevalojen komponentit	3
2.2	Liikennevalojen toimintaperiaate	7
2.3	Liikennevalojen ohjaus	8
3	Joukkoliikenne-etuudet	11
3.1	Yleisesti tienkäyttäjien saamista etuuksista	11
3.2	Sujuvien joukkoliikenne-etuuksien taustalla SYVARI	12
3.3	Etustyypit ja -toiminnot	13
4	Joukkoliikenne-etuuksien käyttöönotto Espoon kaupungissa	15
4.1	Lähtökohdat	15
4.2	Espoon toimenpiteet joukkoliikenteen toimintaedellytysten parantamiseksi	16
5	Joukkoliikenne-etuusjärjestelmä	18
5.1	Joukkoliikenne-etuudet osana uutta lippu- ja informaatiojärjestelmää	18
5.2	Joukkoliikenne-etuusjärjestelmän osakomponentit	18
5.2.1	Etuslaite	19
5.2.2	Liikennevaloetuuksien suunnittelujärjestelmä JLVEP	23
5.3	Toiminnan testaus sekä tarkastelu ennen ja jälkeen käyttöönoton	27
5.4	Joukkoliikenne-etuuksien käytännön toiminta	28
6	Yhteenveto	31
	Lähteet	33

Liitteet

Liite 1. Ohjeellinen ohjauskojeen tilajärjestelyn periaate

Liite 2. Yleisimpiä opastintyyppjä sekä niiden piirustusmerkinnät

Liite 3. (HSL) Poikittaisten yhteyksien parantaminen

Liite 4. (HSL) Liitynnän suunnat Tapiolaan ja Matinkylään

Liite 5. HSL:n lippu- ja informaatiojärjestelmän infografiikka

Liite 6. Etuuslaitteen asennussijainti nykyaikaisissa liikennevalokojeissa

Liite 7. Linjan 16 reitti, ajosuuntana Matinkylä–Olari–Henttaa

Liite 8. Etuuspisteiden asettelun periaatteet

Lyhenteet

LIVASU	Maanteiden liikennevalojen suunnitteluohje
YTV	Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta
HSL	Helsingin seudun liikenne
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut
TLP-node	Traffic light priority node. Thoreb AB:n mm. liikennevaloetuuksia varten kehittämä laitekokonaisuus.
HeLMi	Helsingin joukkoliikenteen liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmä
LIJ	Lippu- ja informaatiojärjestelmä
JLVEP	Joukkoliikenne-etuuksien suunnittelujärjestelmä

1 Johdanto

Liikennemäärien jatkuva kasvu tuo esiin haasteita sujuvan sekä turvallisen liikenteen toteuttamiselle. Näitä näkökohtia pyritään ottamaan huomioon tieinfrastruktuurin suunnittelussa ja parantamaan teknisillä toteutuksilla sekä tulevaisuuden liikenteen tarpeet että jo käytössä olevan infrastruktuurin muutostarpeet huomioiden.

Länsimetron valmistuminen ja samassa yhteydessä metron tarpeita varten suunnitellun, linja-autoilla toteutettavan syöttöliikenteen käynnistyminen asettavat vaatimukset Espoon kaupungille joukkoliikenteen toimintaedellytysten parantamiseksi. Joukkoliikenteen käyttäjille on tarjottava saumaton jatkoyhteys metron pääsääntöisesti esteettömän ja aikataulussa pysyvän liikennöinnin sekä sään ja muun liikenteen vaikutuspiirissä olevan linja-autoliikenteen yhteistoiminnalla. Linja-autoliikenteen aikataulussa pysyminen etenkin metron suuntaan on ensiarvoisen tärkeässä asemassa, kun joukkoliikenne Etelä-Espoosta Helsingin suuntaan toteutetaan pääosin metron toiminnalla. Espoon tapauksessa joukkoliikenteen toimintaedellytyksiä pyritään lähtökohtaisesti parantamaan teknisin toteutuksin ja tästä esimerkkinä on joukkoliikenne-etuuksien käyttöönotto kaupungin liikennevaloissa.

Espoon kaupungissa on loppuvuonna 2016 käytössä 213 liikennevaloliittymää, joista osaan tullaan metron käyttöönoton yhteydessä toteuttamaan joukkoliikenne-etuudet. Joukkoliikenne-etuudet eivät ole täysin uusi asia Espoossa, sillä Jokeri-linjan (nyk. runkolinja 550) ajoilta on jo toteutuneita joukkoliikenteen liikennevaloetuuksia seitsemässä liikennevaloliittymässä. Etuudet näissä liittymissä noudattavat kutakuinkin samaa teknistä toteutustapaa, mutta edustavat vanhemman sukupolven teknologiaa. Tämän opinnäytetyön yhteydessä käsitellään Länsimetron yhteyteen viimeisimmällä teknologialla toteutettavien joukkoliikenne-etuuksien käyttöönottoa.

Tämän opinnäytetyön tavoite on toimia periaatekuvauksena joukkoliikenne-etuuksien käyttöönotolle. Osiltaan se myös toteutetaan Espoon kaupungin liikenteenhallinnan käyttöön ohjeistukseksi, josta ilmenee tarvittavat osatekijät liikennevaloetuuksien sujuvan käyttöönoton toteuttamiseksi.

Espoon kaupungin liikenteenhallinta kuuluu Infrapalvelut-palvelualueeseen, joka kuuluu kahden organisaation, Teknisen keskuksen ja Espoo kaupunkitekniikka-liikelaitoksen

1.1.2016 yhdistymisestä syntyneeseen Kaupunkitekniikan keskuksen alaisuuteen. Kaupunkitekniikan keskus ("KaKe") turvaa ja ylläpitää Espoon kaupunkirakennetta sekä sen kehittymistä (KaKe yleisesittely 2016). Työntekijöitä KaKen tulosityksikössä on 567 vuonna 2016. Infrapalvelut jakautuu viiteen alajaostoon: katuylläpito, viherylläpito, infran ja urakoiden hallinta, liikenteenhallinta sekä alueiden käytön hallinta. Työntekijöitä tässä nimityksen "IPA" saaneessa palvelualueessa on yli 250 vuonna 2016. Infrapalvelujen hoidettavana on muun muassa 1500 km katuja, 900 ha viheralueita, 4500 ha hoidettavaa metsää ja yli 51000 katuvalopistettä.

Osana Infrapalveluja liikenteenhallinnan tehtäviä on ylläpitää ja kehittää kaupungin infrastruktuuria liikenteen osalta. Osa-alueisiin kuuluu kaupungin katu- ja viheralueiden liikenteenohjaussuunnitelmat, liikenteenhallinnan kehittäminen, liikennevalojen ja kaupungin kunnossapitämien muuttuvien liikennemerkkien ylläpito sekä kaupungin katu- ja viheralueiden ulkovalaistus. Liikenteenhallinnan tehtäviä hoitaa 14 henkilöä vuonna 2016.

2 Liikennevalot

Jokainen suomalaisen autokoulun käynyt tienkäyttäjä tuntee liikennevalot ja tietää niiden merkityksen. Liikennevalojen ollessa osana esimerkiksi päivittäistä työmatkarutiinia harva tulee ajatelleeksi, mikä kaikki vaikuttaa liikennevalojen toimintaan ja mistä osatekijöistä kokonaisuus muodostuu. Tienkäyttäjän näkökulmasta valot vain vaihtuvat ja taas mennään. Tässä luvussa tutustutaan liikennevalojen toimintaperiaatteisiin ja komponentteihin.

2.1 Liikennevalojen komponentit

Liikennevalojen toimintavalmis kokonaisuus koostuu *ohjauskojeesta*, *ilmaisimista*, *liikennevalopylväistä* ja niihin asennettavista *opastimista* sekä tarpeen mukaan lisättävistä kevyen liikenteen *painonapeista*. Lisäksi kokonaisuuteen kuuluu perinteisimmässä toteutuksessa kaapelointi risteyksessä, jossa ohjauskojeelta kulkee rengaskaapeli jokaisen liikennevalopylvään (ja opastimien) kautta takaisin kojeelle sekä kaapelointi tai langaton 3G/4G-yhteys ohjauskojeelta keskusohjausjärjestelmään (”liikennevalopalvelimelle”). Kuvassa 1 on esitetty tyypillisen liikennevaloliittymän osat. Laitteet on korostettu eri värein havaitsemisen helpottamiseksi.



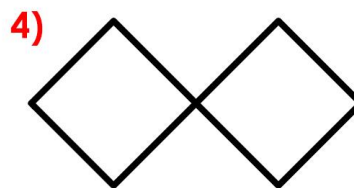
Kuva 1. Tyypillisen liikennevaloliittymän laitteita

Ohjauskoje sisältää kaiken tarvittavan liikennevalojen ohjaamiseen paikallisesti yhdessä liittymässä tai useamman liikennevaloliittymän ohjaamisen samanaikaisesti. Liitteessä 1 on esitettyä Tiehallinnon vuonna 2004 antama ohjeellinen ohjauskojeen tilajärjestelyjen periaate. Siitä näkyy, mitä komponentteja ohjauskoje sisältää ja kuinka ne sijoittuvat kojeen sisällä.

Ilmaisimilla havainnoidaan sekä kevyen että ajoneuvoliikenteen käyttäjiä ja niiden käytöllä voidaan toteuttaa toiminnaltaan joustava sekä sujuvuutta edistävä, liikennetietoon ja -määriin perustuva liikennevalojen ohjaus. Perustoiminnallaan ilmaisimilla on tarkoitus havaita liikennevaloliittymää lähestyvä tienkäyttäjä. Kuvassa 2 on esitetty yleisimmät ilmaisintyyppit valokuvin sekä kuvia vastaavilla, liikennevalosuunnitelmissa käytetyillä piirrosmerkeillä.



- 1) painonappi
- 2) tutkailmaisin
- 3) infrapunailmaisin
- 4) silmukkailmaisin



Kuva 2. Erilaisia ilmaisimia, joilla luodaan joustavuutta liikennevalojen toimintaan

Silmukkailmaisimet voidaan jakaa alaryhmiin:

- läsnäoloilmaisimet, joilla havaitaan liikennevaloliittymän pysäytysviivan eteen pysähtynyt tai viivan ohittava ajoneuvo
- kulkuilmaisimet, joilla havaitaan ilmaisimen ylittävä ajoneuvo
- erikoisilmaisimet, jotka ovat perusilmaisinten yhdistelmiä, kuten pitkien ajoneuvojen ilmaisimien, ruuhkailmaisimien ja polkupyöräilmaisimien (LIVASU 2016: 84).

Lisäksi erityisesti silmukkailmaisimilla on mahdollista tuottaa normaalissa toiminnassa liikennelaskentatietoa, joskin sekä ohjauskojeen että keskusohjausjärjestelmän tulee olla varustettu riittävän uudella teknologialla, joka mahdollistaa tiedon keräämisen ja tallentamisen. Silmukkailmaisimen toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon, jossa metallimassan aiheuttama muutos magneettikentässä tuottaa sähkövirran silmukkaan mikä edelleen muunnetaan kulkuneuvon tuottamaksi ilmaisiksi liikennevalokojeessa.

Infrapunailmaisimen toiminnallisuus perustuu lämpösäteilyssä tapahtuvien muutosten havaitsemiseen. Ilmaisintyyppiä ei käytetä pysyvänä ratkaisuna uusissa liikennevaloissa, koska se on olosuhdeherkkä sekä ilmaisuun käytetyn toteutuksen antaessa helposti ylimääräisiä/turhia ilmaisuja. (LIVASU 2016: 89.)

Tutkailmaisimen toiminnallisuus perustuu ilmaisimen lähettämän ja kohteesta takaisin heijastuvan mikroaaltoenergian havaitsemiseen. Liikennevalojen yhteydessä käytettävä ilmaisintyyppi tarvitsee ilmaisun tuottamiseen liikkuvan kohteen: pysähdyksissä olevaa kulkuneuvoa ei ilmaisimen toimintatavan vuoksi ole mahdollista havaita. (LIVASU 2016: 89.)

Myös joukkoliikenne-etuuden tuottaminen liikennevaloissa perustuu ajoneuvoliikenteestä, tässä tapauksessa bussien liikkumisesta tuotettaviin ilmaisuihin. Joukkoliikenteen etuudet on mahdollista toteuttaa joko perinteisillä ilmaisinsilmukoilla ("erikoisilmaisimet") tai nykyaikaisella GPS-paikannukseen perustuvalla tekniikalla. Aiheesta lisää alkaen luvusta 3.

Liikennevalopylväitä käytetään liikennevaloteknisten laitteiden kuten opastimien, kevyen liikenteen painonappien sekä tutka- ja infrapunailmaisimien kiinnittämiseen. Pylväät jaetaan neljään eri kokoluokkaan, ja valittava koko riippuu sijoituskohteesta. Normaalialia

4,5 metristä pylvästä käytetään yleisimmin. Lisäksi käytettävissä on 4-metrinen ”lyhyt pylvä” taajamien keskusta-alueilla, 6-metrinen ”pitkä pylvä”, jolla pyritään parantamaan liikennevalojen havaittavuutta sekä 1,8-metrinen erillinen painonappipylvä. (LIVASU 2016: 81.) Ajoradan ylittävästä rakennelmasta, johon voidaan sijoittaa sekä liikennevalo-opastimia että opastustauluja, käytetään nimitystä portaali.

Opastimet ovat jokaisen liikennevaloja sisältävän risteuksen näkyvin osa. Näkyvyyttä tarvitaan, sillä liikenteessä liikkujille on pystyttävä tehokkaasti viestittämään kulloinkin voimassaolevasta ajo-oikeudesta sekä samaan aikaan on varmistuttava, ettei tienkäyttäjille välitetä virheellistä tai ristiriitaista tietoa. Liitteessä 2 esitetään muutamia yleisimpiä opastintyyppejä, niiden mahdolliset valokuviot sekä niitä vastaavat Tiehallinnon 2004 julkaiseman liikennevalojen Ty 12/201 -tyyppiopiirustusluettelon mukaiset piirustusmerkinnät.

Ajoneuvoliikenteessä opastimien sijoittelu noudattaa pääopastin-toisto-opastin menettelyä. Pääopastimella osoitetaan ajoneuvon pysähtymispaikka, ellei sitä ole osoitettu pysäytysviivalla, joka taas vastaavasti sijoitetaan enintään 5 metriä ennen pääopastinta. Asetus tieliikenteen liikennevaloista (2001: 13 §) määrää, että pääopastin sijoitetaan ajoneuvon tulosuunnan/osatulosuunnan oikealle puolelle tai yläpuolelle. Siinä tapauksessa, että vasemmanpuoleista kaistaa ohjataan saman tulosuunnan kaistoista erillisenä, sijoitetaan pääopastin vasemmalle puolelle tai vasemman ajokaistan yläpuolelle.

Toisto-opastimella pyritään mahdollistamaan liikennevalojen havaitseminen niissä tapauksissa, joissa pääopastin ei ole enää tienkäyttäjän nähtävissä esimerkiksi toisen ajoneuvon ollessa näköesteenä tai tienkäyttäjän ajettua pääopastimen ohi (osittain risteysalueelle). Toisto-opastimen sijoitus toteutetaan ensisijaisesti ennen liittymää, mutta vastakkaiselle puolelle kuin pääopastin, ellei havaittavuus tai sijoittaminen vaadi muuta sijoitusta tai pääopastimen ja toisto-opastimen väliin jää ajokaista, jota ohjataan saman tulosuunnan kaistoista erillisenä (Asetus tieliikenteen liikennevaloista 2001: 14 §). Kaikki samaa ajosuuntaa ohjaavat opastimet muodostavat *opastinryhmän*.

Edellä esitetyt tiedot opastimien sijoituksesta ovat perusohjeistuksia. Yksityiskohtaisemmat ohjeistukset löytyvät liikenne- ja viestintäministeriön asetuksesta tieliikenteen liikennevaloista (säädös 1012/2001) sekä maanteiden liikennevalojen suunnitteluohjeesta (LIVASU 2016).

2.2 Liikennevalojen toimintaperiaate

Nykyaikaisten liikennevalojen toiminta perustuu edellä olevassa luvussa esitettyjen liikennevalolaitteiden keskinäiseen tiedon vaihtamiseen, jota liikennevalojen ohjauskoje käsittelee ja välittää. Liikennevalojen tekninen toiminta voidaan tiivistää seuraavanlaiseen kaavaan:

- Tienkäyttäjä havaitaan ilmaisimella (kevyen liikenteen painonappi, silmukka-, infrapuna-, tutkailmaisin).
- Riippuen käytössä olevan ilmaisimen omasta tekniikasta, tieto tienkäyttäjistä välittyy liikennevalojen ohjauskojeelle joko langattomasti tai ilmaisimen ja kojeen välistä yhteyskaapelia pitkin.
- Ohjauskojeen logiikkaan ja liittymäkohtaiseen ohjelmointiin perustuen tienkäyttäjän tulosuunnalle voidaan antaa ajo-oikeus vihreällä valolla (kevyen liikenteen tapauksessa oikeus suojatien ylittämiseen), mikäli vastaavanlaisia varauksia muilta tulosuunnilta ei ole.
- Tieto voimassa olevasta oikeudesta tai kiellostä (ajaa, ylittää suojatie) esitetään liikennevalo-opastimissa, joihin tieto välitetään opastimien ja ohjauskojeen välisiä yhdyskaapeleita pitkin.

Edellä mainittu on yksinkertaistettu esitys liikennevalojen teknisestä toiminnasta: käytännössä toiminta ei tule esille yhtä ilmiselvästi, koska liikenne vaihtelee alati sekä siitä aiheutuvien liikennevalojen toimintaa ohjaavien ilmaisujen määrä on moninkertainen. Kaikista liikenteen aiheuttamista ilmaisuista selvittää kuitenkin ohjauskojeen omalla logiikalla ja ohjelmoinnilla.

Liikennevalojen toiminta on mahdollista toteuttaa myös ilman ilmaisimia, mutta tällöin toiminta nojautuu ainoastaan liikennevalokojeeseen asetettuihin aikaohjelmiin. Pelkkien aikaohjelmien varassa oleva liikennevalojen ohjaus on toiminnaltaan jäykkää, sillä jatkuvasti muuttuvia liikennemääriä ei huomioida millään tavoin ja ajo-oikeudet eri tulosuunnille annetaan kiinteään ajastukseen perustuen.

2.3 Liikennevalojen ohjaus

Liikennevalojen ohjaus toteutetaan pääsääntöisesti joko *erillisohjauksena*, silloin kun ohjataan yksittäistä liikennevaloliittymää, tai *yhteenkytkentänä*, kun useampi liittymä on sopivalla etäisyydellä toisistaan ja pääsuunnan liikenteen osuus kokonaisliikenteestä on suuri.

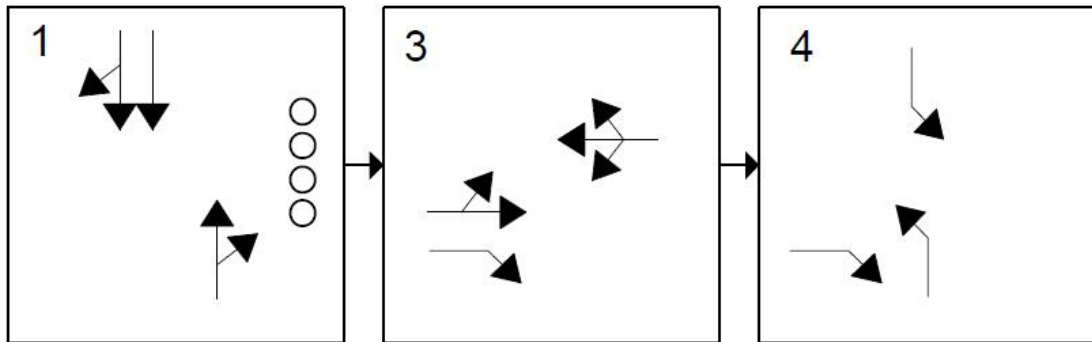
Erillisohjauksessa nojaututaan liikennevaloilmaisimien tuottamaan tietoon (LIVASU 2016: 169). Tällöin vältetään käyttämästä kiinteää kiertoaikaa, joten liittymän toiminnassa on mahdollista saavuttaa hyvä joustavuus (LIVASU 2016: 165).

Yhteenkytkennässä useiden liittymien toiminta on sidottu toisiinsa ajallisesti. Kiinteää kiertoaikaa käyttämällä perättäiset liikennevaloliittymät tahdistetaan ("synkronoidaan") antamaan ajo-oikeus (pääsuunnassa) siten, että tiettyä nopeutta ajamalla kaikkien liittymien läpi on mahdollista päästä joutumatta pysähtymään uudelleen. Tällaisesta toteutuksesta käytetään nimitystä "vihreä aalto". (LIVASU 2016: 165.)

Liikennevaloja ohjaavat *valo-ohjelmat* toteutetaan liikennemäärien ja niiden suuntautumisen pohjalta. Erillisohjattuihin liikennevaloliittymiin tarvitaan vähintään kaksi valo-ohjelmaa, yksi ruuhkahuipputunteja varten ja toinen vähäistä liikennettä varten. Yhteenkytkettyjä liikennevaloliittymiä varten toteutetaan 2–4 yhteenkytkentäohjelmaa ja yksi erillisohjausta varten esimerkiksi seuraavasti: yksi ruuhkahuipputunteja, yksi päiväliikennettä, yksi vähäistä liikennettä varten ja erillisohjausohjelma vähäistä liikennettä ja yöaikaa varten. (LIVASU 2016: 167–168.)

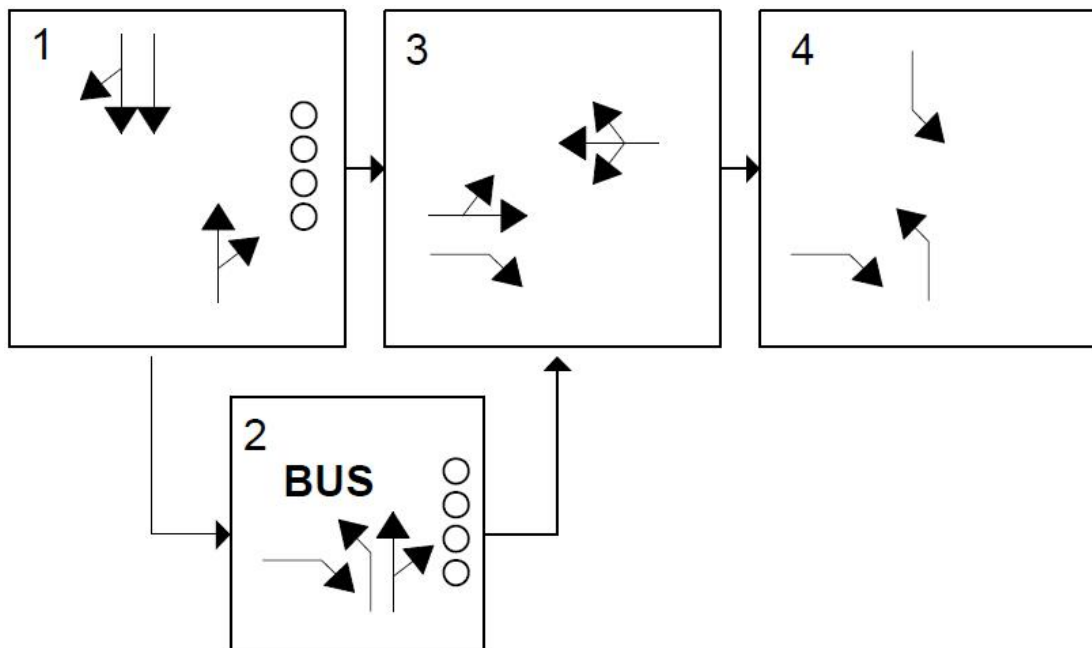
Valo-ohjelmat muodostetaan *vaiheista*, joissa eri ajosuunnille annetaan "vuoroittain" mahdollisuus ajaa liittymään (ja liittymästä läpi). Vaihe voi olla joko *suojattu* tai *sekavaihe*. Suojatussa vaiheessa ajosuunta pääsee kulkemaan liittymän läpi ilman, että vastakkaiselta ajosuunnalta tai ajolinjalla olevasta suojatiestä aiheutuu väistämisvelvollisuuksia. Sekavaiheessa useampi ajosuunta ajaa liittymään, jolloin jollekin tulosuunnalle muodostuu väistämisvelvollisuus vastaantulevasta liikenteestä tai ajolinjalla olevasta suojatiestä: tällöin normaalit väistämissäännöt ovat voimassa. Jokainen opastinryhmä sijoitetaan yhteen tai useampaan vaiheeseen tavoitellen tieliikenteen tarpeisiin mahdollisimman sujuvaa (viivytyksetöntä) valo-ohjausta ja kuitenkin samalla ylläpitäen edellytykset turvallisen liikennöinnin toteutumiseksi. Yksittäiset vaiheet peräkkäin aset-

tamalla muodostuu *vaihejärjestys*, joka esitetään *vaihekaaviona*. (LIVASU 2016: 97–98, 104.) Kuvassa 3 esitetään vaihekaavio, jossa esiintyy sekä suojattu että sekavaihe.



Kuva 3. 1 ja 3 ovat sekavaiheita, 4 kaikki ajosuunnat pääsevät suojatussa vaiheessa. Muokattu kuvasta 4.

Vaihekaavio sisältää valo-ohjauksen päävaiheet sekä mahdolliset välivaiheet. Välivaiheita käyttämällä lisätään liikennevalojen toiminnan joustavuutta, kun opastinryhmät voivat näyttää ajo-oikeutta peräkkäisissä vaiheissa. Välivaiheen toteutuminen tarvitsee jonkin liikenteellisen ja/tai ohjelmallisen ehdon täyttymisen, kuten esimerkiksi joukkoliikenteen etuuspyynnöstä muodostuneen ilmaisun. (LIVASU 2016: 105.) Kuvassa 4 on kuvan 3 vaihekaavio, jossa esitetään joukkoliikenteen etuuspyynnön aiheuttama välivaihe valo-ohjauksessa.



Kuva 4. Edellisen kuvan 3 vaihekaavio lisättynä välivaiheella 2 (Tuominen 2016: 4).

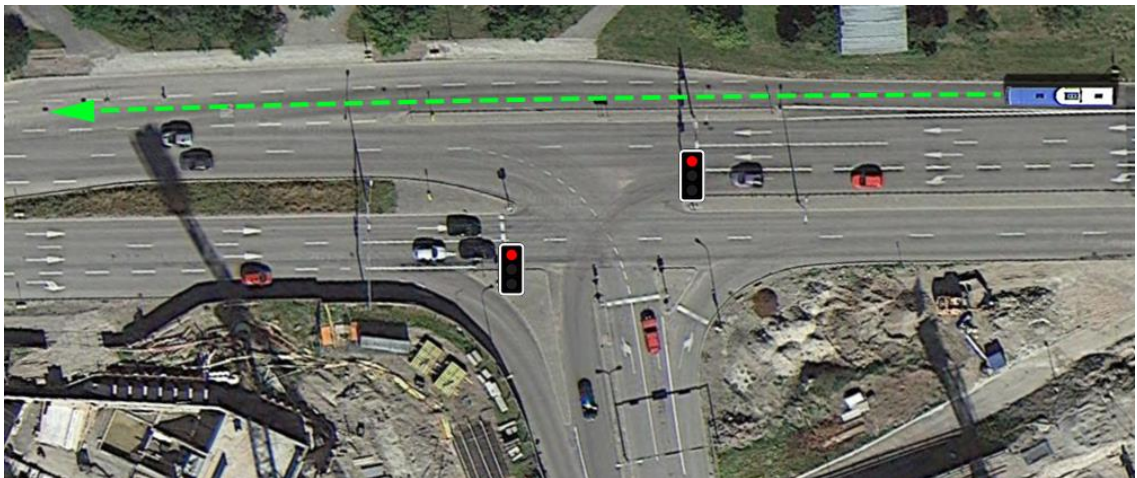
Luvussa 2 perehdyttiin liikennevalo-ohjauksen lähtökohtiin. Tarkoituksena oli lähestyä opinnäytetyön aihekokonaisuutta (jossa joukkoliikenne-etuudet ovat yksi osatekijä) perusteiden kautta. Liikennevaloista asetettuihin säädöksiin, liikennevalojen suunnitteluun ja toimintaan voi tutustua lähemmin esimerkiksi liikenne- ja viestintäministeriön asetuksesta tieliikenteen liikennevaloista (säädös 1012/2001), maanteiden liikennevalojen suunnitteluohjeesta (LIVASU 2016) ja internetin tietolähteissä, kuten osoitteessa <http://liikennevalot.info/>.

3 Joukkoliikenne-etuudet

3.1 Yleisesti tienkäyttäjien saamista etuuksista

Yleisesti käytössä olevia, tienkäyttäjien liikenteessä saamia etuuksia ovat joukkoliikenne-etuus sekä raskaan liikenteen ja hälytysajoneuvojen etuus. Myös kevyelle liikenteelle on olemassa erityisesti pyöräilyn saralla ratkaisuja kuten: *Supercykelstier* Kööpenhaminassa, Siemensin Mobility-yksikön *Sittraffic SiBike* sekä *Swarcon pyöräilijän liikennevaloetuudet*.

Raskaan liikenteen sekä hälytysajoneuvojen etuuksia toteutetaan *toiminnallisilla etuuksilla* ja joukkoliikenteen etuuksia sekä toiminnallisilla että *rakenteellisilla etuuksilla*. Rakenteellisissa etuuksissa sujuvaa liikennöintiä varten rakennetaan erillisiä kaistoja, väyliä sekä katuja joilla haluttu liikennetyyppi erotetaan muusta liikenteestä (Mäntynen ym. 2006: 120). Tällaisesta etuudesta esitetään esimerkki kuvassa 6, jossa liikennevaloliittymän ohi on rakennettu erillinen kaista joukkoliikenteelle.



Kuva 5. Bussin matkan jatkuminen joukkoliikennekaistalla liikennevaloliittymän ohi pysähtymättä.

Toiminnallisissa etuuksissa liikennevaloliittymää lähestyvät ajoneuvot pyritään tunnistamaan niiden tunnistamiseen soveltuvilla tekniikoilla. Raskas sekä joukkoliikenne tunnistetaan pitkien ajoneuvojen ilmaisinsilmukoilla. Joukkoliikenne sekä hälytysajoneuvot voivat käyttää hyödykseen GPS-paikannusta, ja hälytysajoneuvoille on mahdollista toteuttaa erityisiä tärkeisiin ajoreitteihin perustuvia etuuksia. (LIVASU 2016: 20–21, 24–26.)

3.2 Sujuvien joukkoliikenne-etuuksien taustalla SYVARI

Aina vuoteen 2009 asti joukkoliikenne-etuuksien käyttöönotto liikennevalo-ohjauksessa oli vaativaa ja aikaa vievää niin liikennevalojen ohjauskojeiden ohjelmoinnin kuin liikennevalosuunnittelun saralla. Tämä johtui siitä, ettei etuuksien toteuttamista varten ollut olemassa yhtenäistä, hyväksi todettua tapaa samalla tavoin kuten liikennevalosuunnittelussa oli ollut. (Salonen 2010: 2.) Liikennevalo-ohjaukseen liittyvän joukkoliikenne-etuuksien suunnitteluperiaatteiden kehittäminen lähti liikkeelle vuonna 2006 Turun joukkoliikenteestä päättävien tahojen kokouksessa esittämästä vaatimuksesta. Kokouksen sanomana oli, että Turun liikennevaloissa tuli ottaa laajemmin käyttöön joukkoliikenne-etuudet. Tämä alkusysäys johti lopulta siihen, että vuoden 2007 aikana valmistui ensimmäinen SYVARI-ohjaustavan periaate, jota sovellettiin ensimmäistä kertaa käytäntöön saman vuoden syksyllä Turun kaupungin liikennevaloissa. (Salonen 2010: 6.) Ohjaustapaa käytiin toteuttamaan kansalliseksi toimintatavaksi JENKA-hankkeessa (”Joukkoliikenne-etuudet jokaiseen kaupunkiin”), joka käynnistyi maaliskuussa 2008 ja päättyi onnistuneeseen toteutukseen vuoden 2010 lopulla (Sane 2010: 1). Edellä mainittujen vaiheiden kautta SYVARI on käynyt vakiintumaan yhtenäiseksi tavaksi suunnitella ja toteuttaa joukkoliikenteen liikennevaloetuudet.

SYVARIn (synkronoitu vaiherinki) toiminnallisuus pohjautuu erillisohjauksen ja yhteenkytketyn ohjauksen ominaisuuksiin, jonka ytimessä ovat erillisohjattujen liikennevalojen toiminnot ohjaussuuntakohtainen ohjaus ja *vaiherinki*. Vaiheringillä voidaan joustavasti antaa ja poistaa vihreiden valojen aloituslupia ja mikä tahansa valo-ohjauksen vaihe on mahdollista ohittaa ja siirtyä seuraavaan vaiheeseen, mikäli ilmaisupyynnöjä ei muilta tulosuunnilta ole. Vaiheringissä on myös varmistus, jolla taataan vihreä valo jokaiselle suunnalle, jolle vihreä pyyntö on olemassa. Joukkoliikenteen etuuspyynnön saapuessa liikennevalojen ohjauskojeelle yhteenkytketty liittymä irrotetaan tahdistuksesta (synkronoinnista), jolloin tahdistustoiminnallisuus jää valo-ohjauksessa taka-alalle ja liittymä käy toimimaan etuuspyynnön ollessa voimassa erillisohjatun liittymän tavoin. (Salonen 2010: 4.)

SYVARIn etuna on, ettei sen käytön yhteydessä ole väliä, millä tekniikalla tieto liikennevaloliittymää lähestyvistä bussista tuotetaan: periaatteen mukanaan tuomat toiminnot voidaan ottaa käyttöön, kunhan liikennevalojen ohjauskojeelle välittyy jollakin tavoin tieto joukkoliikenteen kulkuvälineestä ja sen tulosuunnasta (Salonen 2010: 13).

Espoon kaupungin liikennevaloissa joukkoliikenne-etuuksia sisältävät valo-ohjelmat toteutetaan kaupungin liikennevalojen suunnitteluperiaatteiden mukaisesti SYVARI-ohjaustavan periaatteita käyttäen.

3.3 Etuustyypit ja -toiminnot

Joukkoliikenne-etuudet jaetaan kahteen päätyyppiin sekä useampaan (etuus)toimintoon, joilla määritellään se miten etuudet toteutuvat valo-ohjelmissa. Päätyypeissä tieliikenteen etuuksia varten on olemassa nk. *tavallinen etuus* sekä *pakkoetus*. Tavallinen etuus annetaan tienkäyttäjän näkökulmasta mahdollisimman sopivasti eikä se yleensä poista vaihekierrosta muita vaihteita, jolloin pääsääntöisesti kaikki ajosuunnat pääsevät ajamaan omalla vuorollaan saman vaihekierron aikana. Sen sijaan pakkoetuudessa muiden ajosuuntien ajo-oikeus katkaistaan viipymättä (vaihtamalla opastin näyttämään punaista valoa) ja ajosuunnalle, joka on pyytänyt etuutta, vaihdetaan opastin näyttämään vihreää valoa. Johtuen pakkoetuuden tavasta toimia voi vaihekierrosta jäädä välistä jokin toinen vaihe. (Sane 2012.)

Joukkoliikenteen käytössä on pääsääntöisesti tavallinen etuus, ellei erityisesti ole tarvetta painottaa viivytyksetöntä liikkumista, jolloin pakkoetuuksien käyttäminen voi tulla tarpeeseen myös joukkoliikenteessä. Pakkoetuuksien mahdollisena esimerkkikohteena saatetaan tulevaisuudessa nähdä *Raide-Jokeri*, jonka hankesuunnitelmassa (2015: 31) todetaan, että vaunujen ei tulisi pysähtyä muulloin kuin vain pysäkeillä. Sen sijaan hälytysajoneuvojen liikennevaloetuuksissa pakkoetus on pääasiallinen toteutustapa.

Etustoimintoja ovat *vihreän pidennys*, *aiennus* ja *rotaatio* sekä *lisävaihe* ja *kierron nopeutus*. Kaikkien tässä yhteydessä esiteltävien toimintojen toteutuminen vaatii jonkin teknisen ratkaisun, jolla haluttu toiminto voidaan käynnistää liikennevalo-ohjelmassa. Joukkoliikenne-etuuksien tapauksessa kyseessä on pyyntö-kuittaustyyppinen järjestelmä, jossa liikennevaloille lähetetty etuuspyyntö käynnistää tietyn liikennevalo-ohjelmaan ohjelmoidun etustoiminnon. Tästä syystä nk. normaaleissa (etuuksettomissa) liikennevalo-ohjelmissa ei tällaisia erityistoimintoja ole tavattavissa.

Vihreän pidennyksessä jo olemassa olevaa ajo-oikeutta (joka esitetään vihreällä valolla) jatketaan normaalin päättymishetken yli. *Vihreän aiennuksessa* vasta seuraavassa vaiheessa alkavaa ajo-oikeuden alkamista aikaistetaan. *Vihreän rotaatiossa* joukkoli-

kenne-etuusvaihe vaihtaa paikkaa edeltävän ”tavallisen” vaiheen kanssa, jolloin etuusvaihe pääsee alkamaan aikaisemmin. *Lisävaihe* toteutuu kahden ajo-oikeudettoman vaiheen välissä, silloin kun bussista lähtevä pyyntöilmaisu on tullut niin myöhässä, ettei aiemmin mainittu vihreän pidennys olisi ehtinyt tulla ennen edeltävän vaiheen päättymistä. *Kierron nopeutus* lyhentää kaikki muut vaiheet siten, että etuusvaihe pääsee alkamaan pikimmiten. (Sane 2012.)

4 Joukkoliikenne-etuuksien käyttöönotto Espoon kaupungissa

4.1 Lähtökohdat

Länsimetro Oy:n vuonna 2008 julkaisemassa hankesuunnitelmassa Helsingin Ruoholahdesta Espoon Matinkylään jatkettavan metrolinjan suunnitelmalinjauksessa on otettu kantaa julkisen liikenteen muutoksiin metron aikana kulkiessa suunniteltua reittiään. Linjaus perustuu YTV:n (lakkautettu v. 2009, nyk. HSL ja HSY) vuonna 2007 laatimaan Länsimetron liityntäliikenneselvitykseen. Periaatteet Länsimetron liityntäliikenteelle laadittiin jo tuolloin seuraavasti:

- Nykyiset Länsiväylää Espoon ja Helsingin välillä kulkevat linjat päätetään Tapiolan tai Matinkylän metroasemille.
- Liityntälinjojen vuoromäärät ovat pääosin samat kuin nykyisillä linjoilla.
- Seutulinja on muutettu tai poistettu, jos metro hoitaa samoja yhteyksiä.
- Nykyisiä Espoon ja Helsingin sisäisiä linjoja on muutettu siltä osin kun metro korvaa niiden yhteyksiä. (Länsimetron hankesuunnitelma 2008: 13.)

Metron liityntäliikenteen yksityiskohtaisempi toteuttaminen jatkui HSL:n toimesta, joka julkaisi vuonna 2015 dokumentin *Länsimetron liityntälinjastosuunnitelma 2014*. Suunnitelmassa metron oheisliikenteestä linjataan yleisellä tasolla seuraavasti:

Linjastosuunnitelmassa bussiliikennettä sopeutetaan tilanteeseen, jossa yhä useampi Espoon sisäinen sekä Espoon ja Helsingin välinen matka tehdään raitteilla. Länsimetron myötä lakkautetaan seutulinjat, jotka tällä hetkellä liikennöivät Länsiväylää pitkin Kamppiin ja Etelä-Espoon sekä Lauttasaaren bussiliikenteestä tulee liityntäpainotteista. Keskeisimmät liityntäterminaalit rakennetaan Tapiolaan ja Matinkylään. (Länsimetron liityntälinjastosuunnitelma 2014: 11.)

HSL:n Länsimetroon liittyviltä internetsivuilta tarkentuu edelleen vaikutus Espoon seudulla tapahtuvaan bussiliikenteeseen metron tullessa käyttöön:

Huomiota on kiinnitetty myös Espoon sisäisiin yhteyksiin, jotta kaupunkikeskusten (Tapiola, Matinkylä, Espoonlahti, Leppävaara, Espoon keskus) välille saadaan luotua tiheästi liikennöity bussilinjasto. Liikennettä on myös keskitetty entistä enemmän samoille katuosuuksille, jolloin eri linjojen yhteisillä osuuksilla voidaan liikennöidä tiheämmin ja tasaisemmin vuorovälein. (Länsimetron liityntälinjasto 2016.)

Ainoat bussilinjat, jotka tulevat kulkemaan Länsiväylää pitkin Helsinkiin päin, ovat 555 sekä 115A: molempien päätepysäkki on Helsingissä Lauttasaaren metroasemalla. Linjat, jotka tulevat edelleen ajamaan Espoosta Helsingin Kamppiin asti ovat yölinjoja metron liikennöintiaikojen ulkopuolella. (15.8. Espoon ja Kauniaisten bussilinjat 2016: 1.) Liitteissä 3 ja 4 esitetään HSL:n tuottamat periaatekuvat Espoon poikittaisten yhteyksien parantamisesta sekä liityntöjen pääsuunnista Tapiolaan ja Matinkylään, jotka toteutetaan metron rakentamisen johdosta. Edellä tässä luvussa mainitut linjaukset toimivat lähtötietona Espoon kaupungin tarpeisiin tehtäville selvityksille, joilla joukkoliikenteen toimintaedellytyksiä parannettaisiin niin teknisesti kuin rakenteellisestikin.

4.2 Espoon toimenpiteet joukkoliikenteen toimintaedellytysten parantamiseksi

Länsimetroon liittyvän joukkoliikenteen toimintaedellytysten parantamisen suunnittelu alkoi Espoossa vuoden 2014 lopulla. Suunnittelun lähtökohtina käytettiin HSL:n dokumenttia *Länsimetron liityntälinjastosuunnitelma 2014* sekä lokakuussa 2014 Trafix Oy:n tuottamaa dokumenttia metron liityntälinjaston infran kipupisteistä. Trafix Oy:n tekemien selvitysten pohjalta joukkoliikenteen toimintaedellytysten parantamiseksi esitettiin käyttöönotettavaksi erinäisiä parannustoimenpiteitä pysäkkien, kevyen liikenteen ja bussiliikenteen sujuvuuteen liittyen. Selvityksessä erityisesti painotettiin liikennevaloetuuksien käyttöönottoa kohteissa joissa on useita liikennevaloliittymiä peräkkäin. Näin joukkoliikenteelle olisi tuotettavissa hyvinkin suuria hyötyjä niin luotettavuuden kuin sujuvuuden parantuessa merkittävästi.

Etuuksien toteutustavaksi ehdotettiin yhteensä 49 liikennevaloliittymän liikennevaloihin asennettavaa, radiosignaalein toimivaa radiomodeemia. Tämä järjestelmä olisi käyttöönotettavissa yhdessä HSL:n toimesta kehityksessä olleen uuden *lippu- ja tietojärjestelmän* kanssa. Selvityksen mukaan ratkaisu tulisi myös olemaan kustannustehokkaampi kuin samaa tarkoitusta ajavat, maahan asennettavat erikoisilmmaisimet (pitkien ajoneuvojen silmukkailmaisimet). (Suhonen ym. 2014: 10.)

Edellä mainituilla lähtötiedoilla Traficon Oy tuotti Espoon kaupungin toimeksiannosta selvityksen joukkoliikenne-etuuksien toteuttamisesta liikennevaloliittymiin Länsimetron liityntälinjaston alueella. Selvityksessä listataan liikennevaloliittymät joihin lähtötietojen perusteella nähdään tarpeelliseksi toteuttaa joukkoliikenne-etuudet sekä näiden liittymien etuuksien toteuttamisen priorisointi. Priorisointiin vaikuttavina tekijöinä listattiin

liikennevalokojien tekniset ja ohjelmalliset valmiudet, mahdollisesti suunnitteilla olevat liikennejärjestelyt sekä linja-autoliikenteen määrä. Selvityksen pohjalta etuuksien toteuttaminen laajennettiin kattamaan yhteensä 68 liikennevaloliittymää Trafix Oy:n selvityksessä ehdotetun alkuperäisen 49 liittymän sijasta. (Kokous 5 2015.)

Espoon kaupungin kanssa yhteistyössä tuotetut Trafix Oy:n kipupisteselvitys että siitä laajennettu yksityiskohtaisempi Traficon Oy:n maaliskuussa 2015 esittämä selvitys ehdotti joukkoliikenne-etuuksien käyttöönottojen toteutusaikataulun vuosille 2015–2017. Traficon Oy:n tarkentaman ehdotuksen mukaisesti etuudet otettaisiin käyttöön seuraavasti:

- 25 liikennevaloliittymässä v. 2015
- 18 liikennevaloliittymässä v. 2016
- 19 liikennevaloliittymässä v. 2017
- 6 Kaitaantien uudessa liikennevaloliittymässä.

Erinäisistä syistä johtuen ensimmäiset joukkoliikenne-etuuslaitteet päästiin asentamaan kuitenkin vasta vuoden 2016 alkupuolella Matinkylän Piispansillalle, jonka varrella olevaan viiteen liikennevaloliittymään asennettiin koekäyttöön saapuneet etuuslaitteet. Lisäksi jo alkujaan etuuslaitteiden hankintaa varten tarkoitettu kilpailutus pääsi alkamaan vasta saman vuoden keväällä, mikä siirsi kilpailutuksessa valituksi tulleen laitteen ensimmäisen toimituserän saapumista aina saman vuoden lokakuuhun asti.

Bussiliikenteen siirtyessä lopullisesti metron liityntälinjaston reiteille Espoon kaupunki tulee hyödyntämään seuraavassa luvussa esiteltävän HSL:n lippu- ja informaatiojärjestelmä uudistuksen myötä käyttöön tullutta bussiliikenteen sujuvuuden analysointityökalua. Työkalusta saatavan sujuvuusdatan pohjalta on mahdollista erotella ne bussilinjat, joihin erityisesti kaivataan toimenpiteitä mm. myöhästymisten johdosta. Tällöin sen sijaan, että etuudet otettaisiin käyttöön laajalti hyvään arvioon perustuen, on liikenteen sujuvuutta analysoimalla ja siitä saatavan tiedon perusteella mahdollista dynaamisesti vaikuttaa bussiliikenteen etenemiseen ottamalla joukkoliikenne-etuudet käyttöön siellä, missä tarve on todellinen.

5 Joukkoliikenne-etuusjärjestelmä

5.1 Joukkoliikenne-etuudet osana uutta lippu- ja informaatiojärjestelmää

Edellä luvussa 4 esitetyt selvitystyöt tähtäsivät siihen, että Espoon kaupungissa käyttöönotettavat joukkoliikenteen liikennevaloetuudet tulitaisiin toteuttamaan HSL:n uuden lippu- ja informaatiojärjestelmän (LIJ) käyttöönoton myötä. Tämän HSL:n järjestelmä-uudistuksen pääkohtina ovat mm. vuodesta 2002 alkaen käytössä olleiden matkakortinlukijoiden uusiminen, joukkoliikennevälineiden reaaliaikaisen sijainti- ja pysäkkien ohitusaikatietojen esittämisen mahdollistaminen sekä uuden kuljettajapäätteen käyttöönotto joka tarjoaa reittiopastusta sekä tiedotteita liikennehäiriöistä ja poikkeusreiteistä. Lisäksi järjestelmä mahdollistaa mm. kuulutuksien esittämisen eri liikennevälineissä, matkustajatiedotteiden tekemisen ajoneuvojen sisänäytöille sekä uuden vyöhykemallin käyttöönoton, jolla jatkossa mahdollistuu uusien kuntien lisääminen järjestelmään ilman mittavia muutoksia. (HSL Uudet laitteet 2016.)

Lippu- ja informaationjärjestelmään siirtyminen mahdollistaa myös koko HSL-seudun alueella yhtenäiseen toteutustapaan perustuvien joukkoliikenne-etuuksien käyttöönoton. Liitteessä 5 on HSL:n tuottama infografiikka, jossa havainnollistetaan tämän uuden järjestelmän mahdollistamia teknisiä uudistuksia. Lippu- ja informaatiojärjestelmä-uudistukseen ei tässä opinnäytetyössä tutustuta muutoin kuin joukkoliikenne-etuuksiin liittyvien osatekijöiden osalta, mutta halutessaan aiheeseen voi perehtyä tarkemmin HSL:n kotisivuilta (HSL Uudet laitteet 2016) tai etsien tietoa internetin hakukoneilla käyttämällä hakusanana *lippu- ja informaatiojärjestelmä 2014*.

5.2 Joukkoliikenne-etuusjärjestelmän osakomponentit

Uuden, lippu- ja informaatiojärjestelmän mukaisen joukkoliikenne-etuusjärjestelmän toimintaperiaatteessa ja käytetyissä komponenteissa on yhtäläisyyksiä Helsingissä vuonna 1999 käyttöönotetussa ja osiltaan uuden toteutuksen tieltä vaiheittain väistyvässä HeLMi-järjestelmässä. Joukkoliikenne-etuudet toteutetaan myös uudessa järjestelmässä GPS-paikannukseen ja radioviesteihin perustuen. Lisäksi uuden järjestelmän pääkomponentit ovat kutakuinkin samat:

- bussi, sekä siihen asennettavat radio- ja paikannuslaitteet

- jo HeLMiä varten käyttöönotettu oma radioverkko
- liikennevalojen ohjauskoje ja siihen asennettava etuuslaite
- liikennevalo-opastimeen asennettava valopilkku.

Sen sijaan poiketen HeLMi-järjestelmästä, uudessa järjestelmässä reaaliaikaista GPS-seurantaa käytetään ensisijaisena tapana liikennevälineiden sijainnin määrittämisessä. HeLMi-järjestelmän tarkkuusmatkamittariperustainen toteutus on saanut uudessa järjestelmässä toissijaisen roolin sijainnin määrittämisessä esim. tunneliosuuksilla sekä silloin, kun GPS-signaali on huono. (Seppänen 2007: 5, 8, 12; Laaksonen 2017.)

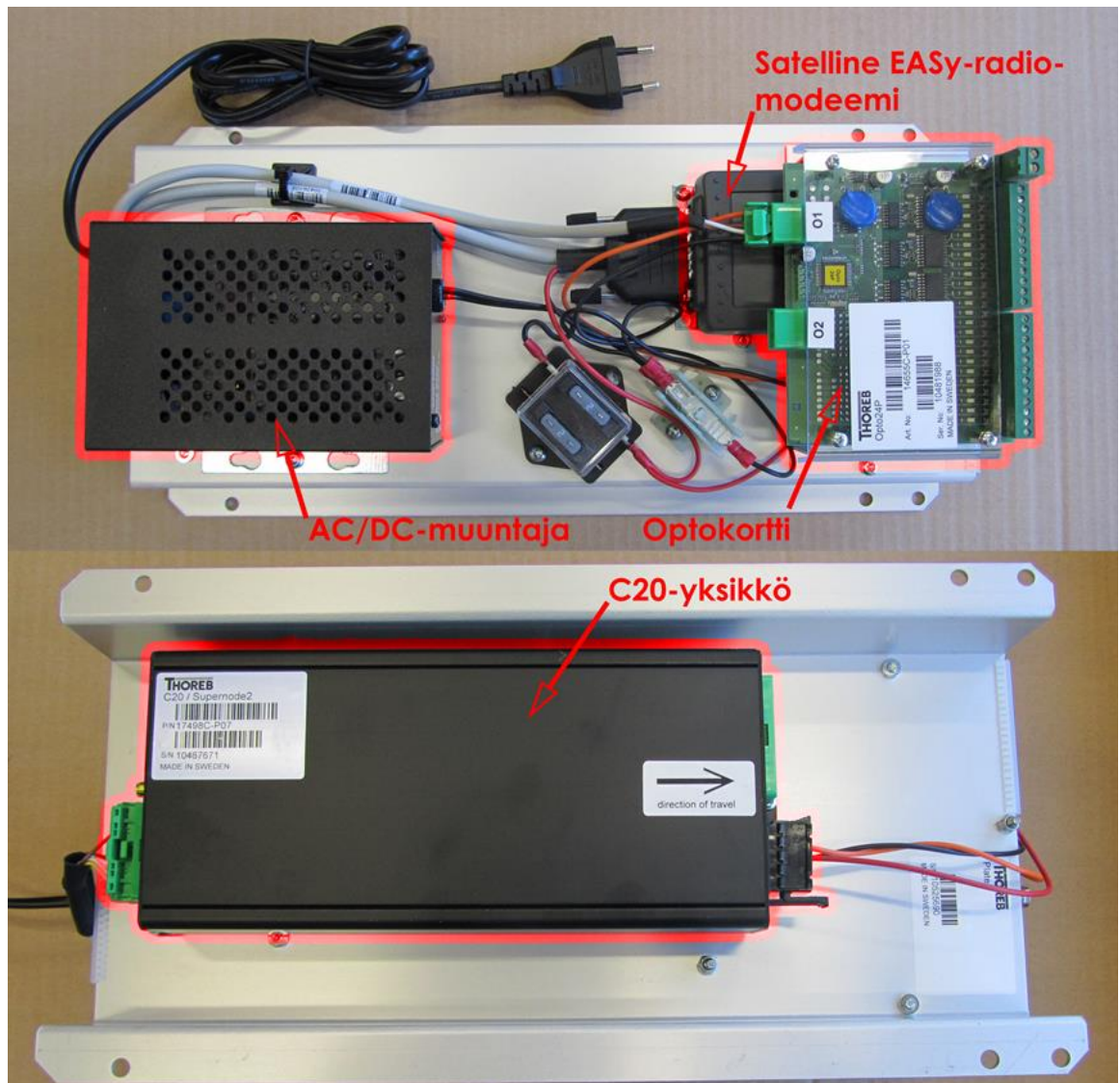
Tämän opinnäytetyön laajuudessa osakomponenteista esitellään liikennevalokojeseen asennettava joukkoliikenne-etuuslaite luvussa 5.2.1 (Etuuslaite). LIJ:n käyttöönoton yhteydessä uutena lisänä on tullut HSL:n sidosryhmilleen tarjoama *liikennevaloetuksien suunnittelujärjestelmä* (JLVEP), jolla HSL-alueen kaupunkien liikennevalovastaavilla on mahdollisuus ottaa joukkoliikenne-etuuksien lisääminen omaan hallintaan. Järjestelmä esitellään luvussa 5.2.2 (Liikennevaloetuksien suunnittelujärjestelmä JLVEP).

Väistyvään HeLMi-järjestelmään on mahdollista tutustua esimerkiksi vuonna 2007 julkaistun raportin *Helsingin joukkoliikenteen liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmä* (Seppänen 2007) välityksellä.

5.2.1 Etuuslaite

Mahdollistaakseen lippu- ja informaatiojärjestelmän mukaisten joukkoliikenne-etuuksien käyttöönoton Espoon kaupunki järjesti kesällä 2016 laitekilpailutuksen, jonka kautta joukkoliikenne-etuuslaitteen toimittajaksi valikoitui ruotsalainen AB Thoreb, joka on noin 40 henkilöä työllistävä yritys. AB Thorebin kilpailutukseen tarjoama ratkaisu on liikennevalokojeseen asennettava, *TLP-node* nimellä kulkeva laitekokonaisuus. TLP-node tulee englanninkielien sanoista ”**T**raffic **L**ight **P**riority-node”, joka vapaasti suomen kielelle käännettynä tarkoittaa liikennevaloetuussolmua. Merkitystä käsitteelle *solmu* voidaan tässä tapauksessa hakea ajatuksesta, jossa etuuslaite toimii bussista saapuvan sekä liikennevalokojelle välitettävän etuuspyynnön solmukohtana.

AB Thorebin etuuslaitteen pääosia ovat C20-yksikkö, Sateline EASy -radiomodeemi ja siihen kuuluva antenni (välikaapelilla), AC/DC-muuntaja sekä optokortti. Kuvassa 6 esitetään itse laite sekä siihen kuuluvat komponentit lukuun ottamatta antennia välikaapeleineen. Komponentit on korostettu punaisella värillä.



Kuva 6. Thoreb TLP-node -etuslaitteen komponentit.

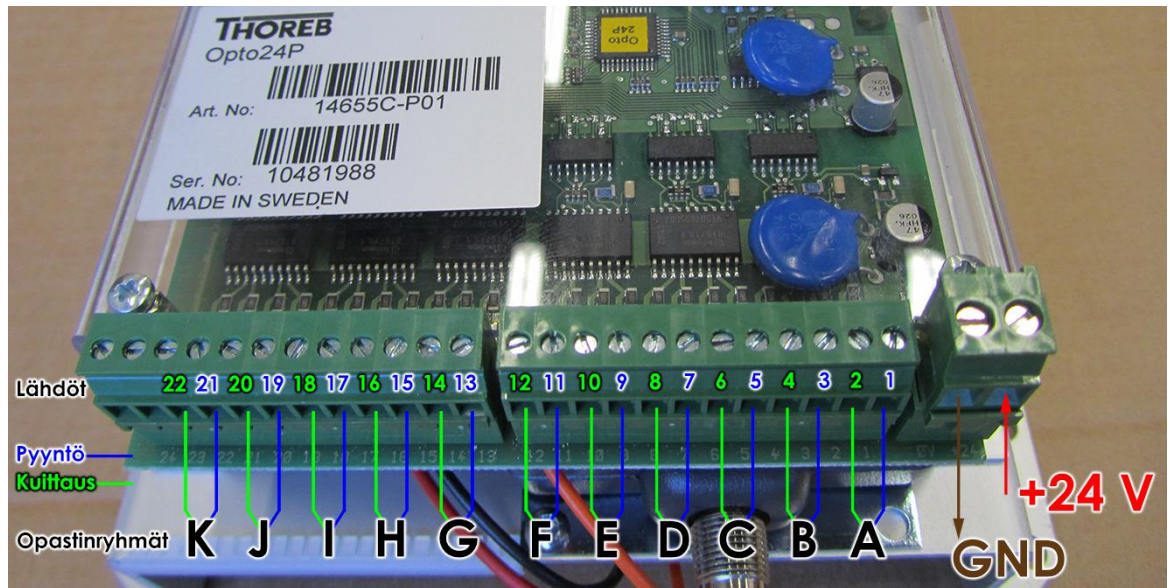
C20-yksikkö toimii liikennevaloetuskäytössä laitekokonaisuuden keskusyksikkönä. Sitä käytetään myös Thorebin muissa sovelluksissa, kuten ajoneuvotietokoneena, jossa se toimii tiedonvälitysväylänä niin ajoneuvon sisäiselle kuin ulkoiselle informaatiolle. Ominaisuuksina on mm. kellonajan synkronointi GPS:n välityksellä, tiedon vastaanottaminen lepotilassa (käyttö tällöin esim. varashälyttimenä), toimiminen hubina muille laitteille sekä mahdollisuus CAN-väylän multipleksaukseen. (AB Thoreb 2016.)

Satellite EASy on suomalaisen SATEL Oy:n etuuslaittekokonaisuuteen toimittama *radiomodeemi*, joka toimii sekä lähettimenä että vastaanottimena langatonta tiedonsiirtoa varten. Radiomodeeilla muodostetaan langaton tiedonsiirtoverkko, joka toimii ilman operaattoreita tai muiden tahojen välissäoloa. Kantama radiomodeemilla on riippuvainen lähetystehosta, antennivahvistuksesta sekä ympäristöstä. Kuitenkin jo 1 watin lähetysteholla kantama voi olla yli 20 kilometriä. (Satel Oy). Modeemissa on TNC-liitäntä LSU-antennia sekä 15-pinninen D-SUB-liitäntä C20-yksikköön yhdistämistä varten.

AC/DC-muuntaja ottaa sisään 230 voltin vaihtojännitteen ja muuntaa sen 24 voltin tasajännitteeksi laitekokonaisuudelle (pl. optokortti).

Optokortti toimii bussista saapuvan etuuspyynnön välittäjänä liikennevalojen ohjauskojeelle. Kortissa on yhteensä 24 lähtöä (output), joista 22:lla on mahdollista lähettää etuuksiin liittyviä pyyntöjä ja kuittauksia. Lähdön 23 LED-valo palaa, kun AC/DC-muuntaja on kytketty verkkovirtaan. Lähdön 24 LED-valo on määritetty vilkkumaan aina, kun bussista lähetetty radioviesti on onnistuneesti vastaanotettu etuuslaitteessa. Käyttöön otettavien lähtöjen järjestys on vapaasti määritettävissä, mutta loogisen asennusjärjestyksen mahdollistamiseksi kytkentä optokortilta liikennevalokojeeseen on syytä muodostaa ”pareittain”. Tällöin vierekkäin olevasta kahdesta lähtöparista toinen toimii etuuspyynnön ja toinen etuuspyynnön kuittauksen välittäjänä.

Etuuslaitteen kytkemistä liikennevalokojeeseen voidaan edelleen selkiyttää määrittämällä lähdöt liitettäväksi opastinryhmiin numero- ja aakkosjärjestyksessä. Tällöin liikennevalojen opastinryhmälle A etuuspyyntö lähetetään optokortin lähdöstä 1 ja etuuspyynnön kuittaus lähdöstä 2, opastinryhmälle B etuuspyyntö lähetetään optokortin lähdöstä 3 ja etuuspyynnön kuittaus lähdöstä 4 jne. Toimivaan pyyntö-kuittausjärjestelyyn tarvitaan siten kaksi lähtöä jokaista ajoneuvo-opastinryhmää kohden. Käytännössä tämä tarkoittaa, että Thorebin toimittaman etuuslaitteen optokortin 22 lähdöllä on mahdollista ohjata yhteensä 11 ajoneuvo-opastinryhmää. Kuvassa 7 esitetään optokortin liitäntöjen sijoittuminen sekä suositeltava ”loogista järjestystä” noudattava kytkeminen liikennevalokojeeseen.



Kuva 7. Optokortin liitännät ja "looginen" kytkentäjärjestys liikennevalokojeeseen

Optokortti on erotettu muista laitekokonaisuuteen liittyvistä osista galvaanisesti. Galvaanisessa erotuksessa saman laitekokonaisuuden eri osuudet on mahdollista eriyttää omiin ohjaaviin ja ohjattaviin sähköpiireihin. Ohjaustieto tällaisten erillisten sähköpiirien välillä siirtyy kapasitanssin, induktanssin tai sähkömagneettisen kentän välityksellä sekä optisin tai akustisin keinoin (Tech-FAQ 2016). Thorebin etuuslaitteen tapauksessa galvaaninen erotus on tehty todennäköisesti *optoerottimella*, josta myös nimitys "optokortti". Tällöin laitteen toiminta perustuu siihen, että ohjaavan piirin sähkövirta syyttää optokortilla olevan LED-valon, joka saa ohjattavalla puolella olevan ilmaisimen (esim. fototransistori) johtamaan sähkövirtaa, kunhan optokorttiin on kytketty erillinen jännite. Tästä sähkövirrasta muodostuu ohjausimpulssi, joka siirtyy optokortin lähdöstä liikennevalokojeelle. Galvaanisen erottamisen johdosta laitekokonaisuuden muut osat saavat käyttöjännitteen laitteessa mukana olevasta AC/DC-muuntajasta ja optokortin toimintaan tarvittava 24 voltin käyttöjännite otetaan joko suoraan liikennevalokojeesta tai erillisestä kojeeseen asennetusta jännitelähteestä.

Etuslaitteen asennukset liikennevalokojeisiin on tämän opinnäytetyön kirjoittamisen aikana tehnyt liikennevalojen järjestelmätoimittaja. Koska asennuksen on tehnyt muu taho kuin Espoon kaupunki tai opinnäytetyön kirjoittaja, ei asennukseen tarvittavien kytkentöjen yksityiskohtaista esittelyä tämän opinnäytetyön laajuudessa tehdä. Yksityiskohtaisen esittelyn sijaan tuodaan tiedoksi etuuslaitteen optimaalinen sijoittelu kolmen laitetoimittajan (Dynniq, Siemens ja Swarco) liikennevalokojeessa (liitteessä 6).

5.2.2 Liikennevaloetuuksien suunnittelujärjestelmä JLVEP

Koska joukkoliikenne-etuusjärjestelmän toiminta nojautuu GPS-paikannustekniikkaan, on HSL:n lippu- ja informaatiojärjestelmän yhteydessä kehitetty taustalle sovellus, jolla bussireiteille luodaan koordinaattitietoihin perustuvia ”virtuaalisia” joukkoliikenne-etuuksien *ilmaisupisteitä*. Näiden virtuaalisten pisteiden käytöllä sekä bussin alati muuttuvan koordinaattitiedon pohjalta etuuspyynnöt ja niiden kuittaukset on mahdollista tehdä halutussa paikassa kohtalaisen kevyin järjestelyin sekä kustannuksin (ei tarvetta esim. erillisille tiehen asennettaville joukkoliikenneilmaisimille). Sovellus on suomalaisen ohjelmistoyhtiö Mattersoftin kehittämä JLVEP, liikennevaloetuuksien suunnittelujärjestelmä.

Liitteessä 7 esitetään Espoon sisäisen linjan 16 reitti välillä Henttaa–Olari–Matinkylä, jonka pohjalta havainnollistetaan periaatteet liikennevaloetuuksien lisäämisestä JLVEP:iin. Ilmaisupisteillä, sekä joukkoliikenne-etuuksin varustettavilla liikennevaloliittymillä on sovelluksessa omat ”symbolinsa”. Nämä symbolit lisätään sovelluksessa valmiina olevalle karttapohjalle. Lisäksi sovellus sisältää jo valmiiksi HSL-alueen bussipysäkit omina symboleinaan, jotka muun pohjadataan tavoin tuodaan HSL:n joukkoliikennerekisteristä (JORE) (Laaksonen 2017). Jokainen kartalle asetettu symboli saa WGS84-koordinaattijärjestelmään perustuvat pituus- ja leveyskoordinaatit. Koordinaattien esitysmuoto on *60.187945, 24.939229*, jossa

- 60.187945 on pohjoista leveyttä
- 24.939229 on itäistä pituutta.

(Yllä olevista koordinaateista löytyy Helsingin yksi tunnetuista maamerkeistä eli Linnanmäen huvipuiston maailmanpyörä, oikealta nimeltään Rinkeli.)

Liikennevaloliittymässä, jossa halutaan ottaa käyttöön joukkoliikenne-etuudet, lisätään *risteyssymboli* kahden bussipysäkin välissä olevalle *linkille*. Tällöin jokainen kahden tietyn bussipysäkin väliä kulkeva yksittäinen bussi voi saada pysäkkien välissä sijaitsevassa liikennevaloliittymässä valoetuuden ilman, että järjestelmässä tarvitsee manuaalisesti lisätä omia etuuspisteitä yksittäisille busseille tai bussilinjoille. Risteyksen järjestelmään lisäämisen jälkeen liittymälle lisätään vielä seuraavat symbolit:

- etuuspyyntö, jonka kohdalta liikennevaloliittymää lähestyvä bussi lähettää joukkoliikenne-etuuspyynnön liikennevalojen ohjauskojeelle

- etuspyynnön kuittaus, jonka kohdalta bussi lähettää uuden ”pyynnön” aiemmin lähetetyn etuspyynnön kuittaamiseksi.

JLVEP:n perussymbolit, joiden käytöllä luodaan toimivia liikennevaloetuksia, esitetään kuvassa 8. Etuspyyntöpisteen symbolin alapuolella näkyvä metrimäärä ilmoittaa etäisyyden kuittauspisteestä.



Kuva 8. JLVEP:n perussymbolit.

Etuspisteiden sijoittelun lähtökohtana käytetään tietoa siitä, mihin liittymään sekä mille opastinryhmille joukkoliikenne-etuudet tullaan kyseessä olevaan liittymään lisäämään. Myös liikennevalosuunnitelmissa esitettävä tieto etuspyynnön metrimääräisestä sijainnista laskien risteuksen pysäytysviivasta on tarpeellinen. Tällä etäisyydellä määritetään laskennallinen sijainti, josta lähetetyllä joukkoliikenne-etuspyynnöllä on ainakin teoreettinen mahdollisuus vaikuttaa edullisesti liikennevalojen vaihekiertoon. Kaikki edellä tässä luvussa mainitut tiedot löytyvät liikennevalosuunnitelmista ja niihin sisällytettävien ohjelmointilomakkeiden ilmaisilogiikkasivulta, josta esimerkki kuvassa 9.

Valopilkkujen asentaminen opastimiin A1 ja B1

bussietuudet																			
Valopilkku A1	A	E	M			U	0,1/0,1/0					estoaika 4s							
Valopilkku B1	B	E	M			U	0,1/0,1/0					estoaika 7s							
pyyntö A												etäisyys 60m							
kuitti A																			
pyyntö B												etäisyys 100m							
kuitti B																			

**Etuspyyntöjen
A ja B etäisyys
pysäytysliivasta**

**Joukkoliikenne-etuksien käyttöönotto
opastinryhmissä A ja B**

LA-ILMAISINJÄRJESTELYT	JAR/FCG	12/2015
	ESPOON KAUPUNKI	
	Tekninen keskus	
LOMAKE 3		
Ilmaisiohjelmoinnit		
21.1.2013	TKa / FCG	266-1.6

**Joukkoliikenne-etuksien käyttöönotto
liittymässä 266**

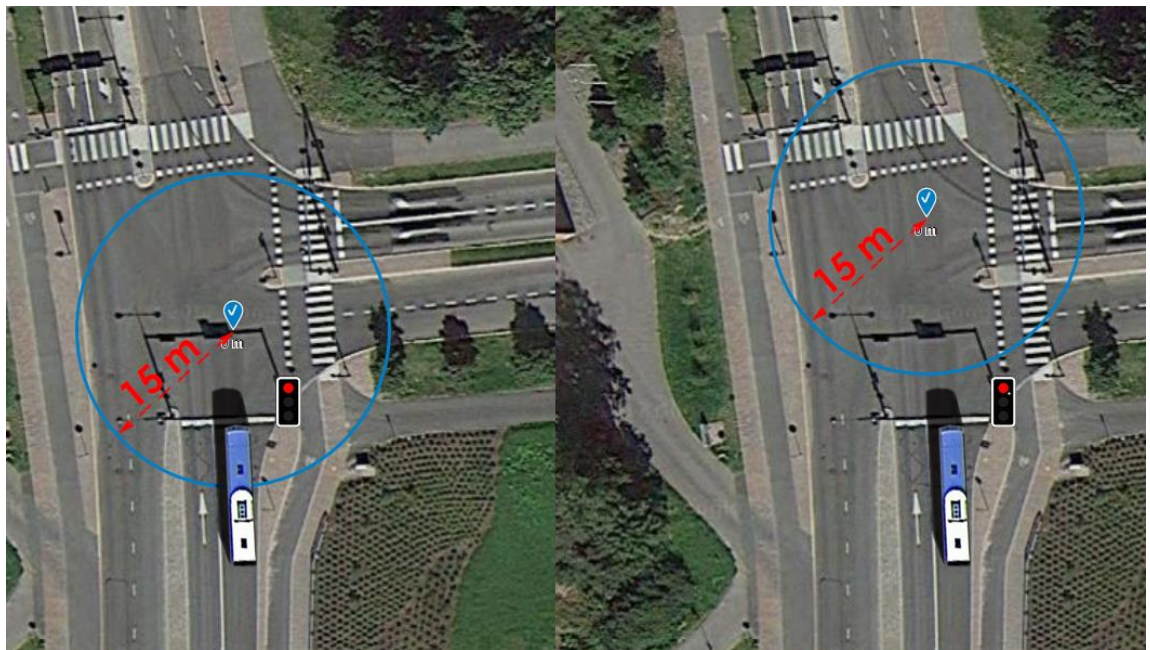
Kuva 9. Ohjelmointilomake, jossa on esitettyä tarpeelliset lähtötiedot (Kalevirta 2013).

Etuspyynnön etäisyys määritellään, jotta joukkoliikenteen olisi mahdollisuus saada liikennevaloetudet oikea-aikaisesti. Liian myöhään liikennevalojen ohjauskojeelle lähetetyllä etuspyynnöllä ei ehditä vaikuttamaan valojen vaihekiertoon riittävän ajoissa. Tällöin usein lopputuloksena on bussin ajautuminen risteykseen odottamaan valojen vaihtumista vihreälle. Taasen liian etäältä lähetetyllä etuspyynnöllä on vaarana vihreän vaihtuminen (punaiselle) liian aikaisin, koska etuusia varten suunniteltu laskennallinen ”vihreän aika” ehtii loppua jo ennen kuin bussi on ehtinyt riittävän lähelle liittymää.

Liitteen 8 esimerkissä on kuva tilanteesta, jossa Espoon sisäisen bussilinjan 16 varrella olevaan liikennevaloliittymään on JLVEP:ssä aluksi lisätty risteyssymboli kahden bus-sipysäkin välissä olevalle linkille sekä tämän jälkeen lisätty etuspyynnön ja sen kuittauksen toteutumista varten niille kuuluvat symbolit. Näin on luotu toimivat pyyntökuittausjärjestelyä noudattavat joukkoliikenne-etuudet erääseen Espoon kaupungin liikennevaloliittymään.

GPS-paikannuksen epätarkkuuksista sekä muista estävistä tekijöistä (rakennukset ym.) johtuen bussin tuottamissa ilmaisuissa esiintyy hajontaa etuspisteen lähetyksillä ja tämän vuoksi ilmaisut harvoin tapahtuvat koordinaattipisteen absoluuttisessa keskipisteessä. HSL:n ohjenuorana on, että ilmaisut voivat tapahtua milloin tahansa noin 15

metrin etäisyydellä koordinaattikeskipisteestä, ja tämä on otettava huomioon aseteltaessa etuuspisteitä sovelluksessa (Laaksonen 2017). Tämän niin kutsutun ”varmuusetäisyyden” huomiotta jättäminen voi johtaa mm. liian aikaiseen kuittauspyynnön lähettämiseen, mikä edelleen johtaa joukkoliikenne-etuusvaiheen (ennenaikaiseen) päättymiseen ja liikennevalojen palaamisen takaisin normaaliin vaihekiertoon. Näin voi tapahtua esimerkiksi silloin, kun kuittauspiste on sovelluksessa asetettu liittymään liian lähelle tulosuunnan pysäytysviivaa, jolloin bussilla on mahdollisuus lähettää kuittauspyyntö esimerkiksi jouduttuaan pysähtymään ennen liikennevaloja (pysäytysviivan tasalle). Kuvassa 10 on esillä kaksi tilannetta, jossa vasemmalla olevassa tapauksessa liian lähelle tulosuunnan pysäytysviivaa asetettu etuuden kuittauspyyntö voi aiheuttaa etuusvaiheen ennenaikaisen päättymisen. Sen sijaan oikealla olevassa tapauksessa esitetyn kuittauspisteen sijainnilla kuittauspyyntö lähtee aikaisintaan, kun bussi on jo ehtinyt ohittamaan pysäytysviivan.



Kuva 10. Kuittauspisteen ei-suositeltu (vas.) ja suositeltu (oik.) sijoittelu.

Pysäkkien sijoittuminen juuri ennen liikennevaloliittymää tuo oman haasteensa etuuspyyntöpisteiden sijoitteluun. Tällöin erikseen huomioonotettavaksi tekijäksi tulee tarve tarkastella mahdollisuutta, miten juuri ennen liikennevaloliittymää bussipysäkillä pysähtyvälle bussille saadaan toteutettua liikennevaloetus. Aiemmin esitellyn ”normaalin” etuustyypin, joka asetetaan useita kymmeniä ja jopa satoja metrejä ennen liikennevaloliittymää, käyttämistä ei estä mikään. Kuitenkin todennäköisesti aina joutuessaan py-

sähtymään bussipysäkille juuri ennen liikennevaloliittymää, bussi menettää jo hetkeä aikaisemmin alkaneen joukkoliikenne-etuusvaiheen.

LIJ-järjestelmässä olevista busseista on saatavilla oven auki-kiinni-tieto ja tätä tietoa voidaan käyttää hyödyksi liikennevaloetuuksien suunnittelujärjestelmässä (JLVEP). Bussista lähtee ovi auki-ilmaisu, kun pysäkillä ollessa vähintään yksi ovi aukeaa sekä ovi kiinni-ilmaisu, kun kaikki ovet suljetaan. Näitä ilmaisutapoja voidaan käyttää tarpeen mukaan tuottamaan joko etuuspyyntöjä tai niiden kuittauksia, sillä sovelluksessa on niitä varten omat *ovi auki* sekä *ovi kiinni* ilmaisutyypinsä. Neljäntenä ilmaisutyypinä on *ennakko*, jolla etuuspyyntö tehdään muista tyypeistä poiketen eri linkiltä, kuin missä etuuspyynnön kuittauspiste on. Ennakko-tyyppinen etuuspyyntöpiste voi kuitenkin sijaita korkeintaan edeltävällä kahden pysäkin väliin muodostuvalla linkillä.

Sovellukseen liittyvät osatekijät ja yksinkertaistettu periaate joukkoliikenne-etuuksien varustettavien liikennevaloliittymien luomisesta esiteltiin edellä tässä luvussa. Järjestelmän laajuuden vuoksi ei HSL:n liikennevaloetuuksien suunnittelujärjestelmään tutustuta edellä olevaa esittelyä tarkemmin.

5.3 Toiminnan testaus sekä tarkastelu ennen ja jälkeen käyttöönoton

Joukkoliikenne-etuudet voidaan ottaa käyttöön liikennevaloliittymässä, kun toimintaa varten tarvittavien komponenttien asennukset on tehty ja liittymä on luotu sekä otettu käyttöön HSL:n liikennevaloetuuksien suunnittelujärjestelmässä. Lopullista käyttöönottoa edeltävä etuuskien toiminnan testaus sekä käyttöönoton jälkeinen toiminnan tarkastelu on olennainen osa käyttöönottoprosessia.

Lopullista käyttöönottoa edeltävä testaus toteutetaan testilaitteistolla, jolla on mahdollista lähettää etuus- ja kuittausilmaisuja. Testilaitteisto itsessään koostuu vastaavanlaisesta radiomodeemista, joka löytyy etuuslaitteesta, sekä tarvittavista kaapeleista virtalähteeseen ja esim. kannettavaan tietokoneeseen liittämistä varten. Lisäksi kaupunkien liikennevalovastaavilla on käytössään tietokonepohjainen ohjelmisto, jolla testipyyntöjä on mahdollista lähettää. Ennalta tehtävien testien perusteella voidaan todeta, että JLVEP:ssä asetetut etuuspyynnöt sekä etuuskien kuittauspyynnöt päätyvät ohjaamaan niille tarkoitettuja opastinryhmiä. Samalla testillä nähdään myös, toimiiko etuuskien varten asennettu valopilkku kuten kuuluu. Valopilkkun käydessä vilkkumaan testietuus-

pyynnön lähetyksen yhteydessä voidaan todeta, että etuuspyynnön saapuminen liikennevalokojelle ohjaa oikein kojeen toimintaa eli käynnistää ohjelmanvaihdon bus-sietuudet sisältävään vaiheeseen.

Lopullisen käyttöönoton jälkeinen toiminnan tarkastelu on luonnollista toteuttaa mene-mällä paikan päälle ja toteamalla etuuksien toteutumisen oikea-aikaisuus (tai, että to-teutuvatko etuudet laisinkaan). Jo pelkästään havainnoimalla opastimeen asennetun valopilkkun syttymistä ja sammumista voi etuuksien alkamisen ja päättymisen oikea-aikaisuudesta päätellä tarvittavat säätötoimenpiteet. Mikäli valopilkku syttyy melkein vasta, kun bussi on jo ajautumassa liittymän pysäytysviivalle odottamaan valojen vaih-tumista, voi tällöin etuuspyyntöpistettä siirtää kauemmas liittymästä. Jos valopilkku syttyy bussin ollessa selvästi liian kaukana, voi etuuspyyntöpistettä siirtää lähemmäs liittymää. Etuuspyyntöpisteiden korjaussirroissa on kuitenkin otettava huomioon, että joukkoliikennevaiheen aiennuksia ja pidennyksiä varten on varattu tietty aika (sekun-neissa). Erityisesti pyyntöpisteen siirtoa kauemmaksi on harkittava tarkkaan (sekä mie-llellään testattava tarkkaan), jotteivät bussit ala menettämään etuutta liian kauas siirre-tyn etuuspisteen johdosta.

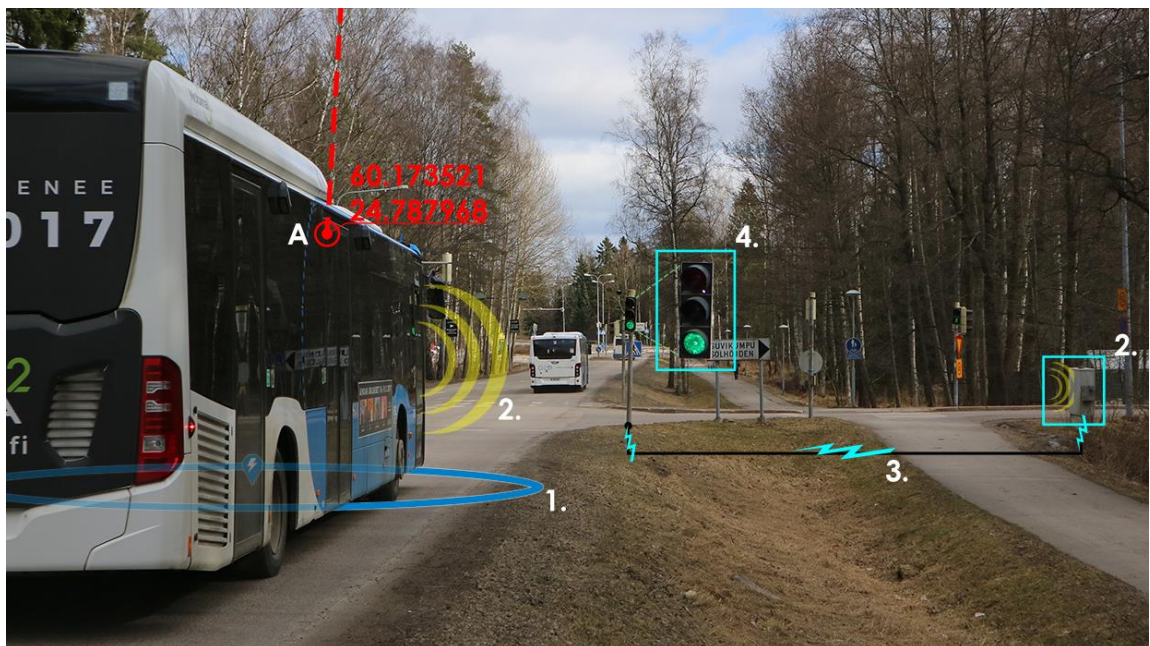
Yhteistyökumppaneilla on myös mahdollisuus saada käyttöönsä HSL:n keräämiä liitty-mäkohtaisia raporteja. Raporteista selviää mm. bussien risteyskohtaiset läpimenoajat ja niitä tutkimalla on pääteltävissä, kuinka ”tehokas” etuus on. Kun liittymän etuuksien tehokkuus tai vaihtoehtoisesti tehottomuus on tiedossa, voidaan JLVEP:iin tehdä muu-toksia tarpeen mukaan. Raporteista on lisäksi nähtävissä bussien sekä etuuslaitteen välillä liikkuvien ilmaisujen perille saapumisen lukumäärä, sekä tästä tiedosta muodos-tettava perille menneiden ilmaisujen prosentuaalinen osuus. Näistä tiedoista on päätel-tävissä, kuinka hyvin ilmaisujen vaihtuminen liikennevälineen ja etuuslaitteen välillä kokonaisuudessaan toteutuu. (Laaksonen 2017.)

5.4 Joukkoliikenne-etuuksien käytännön toiminta

Lopullisen käyttöönoton jälkeinen joukkoliikenne-etuuksien toiminta esitellään seuraava. Tekstissä esiintyviä kohtia (A,1,2,3,4) havainnollistetaan kuvassa 11.

Lippu- ja informaatiojärjestelmään liitetty bussi on jatkuvan GPS-seurannan alla ja tä-män johdosta alati muuttuva sijaintitieto (A) on hyödynnettävissä etuuspyyntöjen tuot-

tamiseen JLVEP:iin asetettujen virtuaalisten ilmaisupisteiden kohdalla. Bussin saavuttua ilmaisupisteen koordinaattien sijaintiin (1.), lähtee bussiin asennetusta laitteistosta ja järjestelmään määritellyllä taajuudella radiosignaali (2.), jonka liikennevalokojeeseen asennettu etuuslaite vastaanottaa (2.). Liikennevalokojeen sisällä radiosignaali välittyy etuuslaitteen lähdestä (output) sähköisenä impulssina liikennevalokojeen tuloon (input), minkä jälkeen kojeeseen ohjelmoitu logiikka aloittaa valo-ohjelman siirron bussietuudet sisältävään vaiheeseen. Samanaikaisesti, kun etuusvaiheeseen vaihtuminen käynnistyy, välittyy liikennevalokojeelta impulssi rengaskaapelia pitkin (3.), jolla opastimen punaisen lampun oikeaan alanurkkaan asennettu valopilkku syttyy vilkkumaan (4.). Joukkoliikenteen etuusvaihe on käynnissä.



Kuva 11. Joukkoliikenne-etuuksien toiminta.

Valopilkku toimii visuaalisena merkinä bussin kuljettajalle siitä, että etuuspyyntö on onnistuneesti vastaanotettu liikennevalokojeessa. Valopilkun vilkkumisella voi olla myös mahdollisuus vaikuttaa kuljettajien ajokäyttäytymiseen, ainakin tapauksissa joissa on annettu tiedoksi a) mikä merkitys valopilkulla yleensä on sekä b) mikä vaikutus joukkoliikenteen etuusvaiheella (joka visualisoidaan valopilkun vilkkumisella) on liikennevalojen käytännön toimintaan. Olettaen, että kuljettaja tietää valopilkun osoittavan joukkoliikenteen etuusvaiheen olevan käynnissä, voi hän tällöin halutessaan sopeuttaa ajotapaansa ennakoivaksi. Ennakoivaksi ajotavaksi tässä yhteydessä tarkoitetaan ajonopeuden sovittamista siten, että liikennevaloista olisi kohtalaisella todennäköisyydellä

mahdollisuus päästä pysähtymättä joko etuusvaiheen mahdollistaman aiennuksen tai pidennyksen turvin.

Kun bussi lopulta ohittaa ajosuunnassaan olevan pysäytysviivan ja sen jälkeen asetetun etuuden kuittauspisteen, toteutuu edellä kuvattu prosessi uudelleen. Tällä kertaa bussista lähetettävällä radiosignaalilla ilmoitetaan liikennevalokojeelle, että ”bussi on ohittanut liittymän, joten joukkoliikenne-etuusvaiheen voi päättää”. Liikennevalokojeen logiikka aloittaa hallitun siirron etuusvaiheesta takaisin normaaliin vaihekiertoon samalla lopettaen valopilkun vilkkumisen etuusvaiheen päättymisen merkiksi. Kojeen toteutettua edellä olevat toimenpiteet joukkoliikenteen etuusvaihe on päättynyt.

6 Yhteenveto

Tämä opinnäytetyö kokosi yhteen Espoon kaupungin läpikäymän prosessin, jonka lopputuloksena on onnistuneesti toteutettu joukkoliikenne-etuuksien käyttöönotto useassa Espoon kaupungin liikennevaloliittymässä. Opinnäytetyön alkuun koostettiin yleiskuva liikennevaloista, niiden tekniikkaa ja toimintaa koskevista näkökohdista. Teknisen toiminnallisuuden läpikäynnin lisäksi esiteltiin liikennevalojen ohjelmallinen puoli sekä vastikään (2010 lähtien) yleiseksi joukkoliikenne-etuuksia sisältävien valo-ohjelmien ohjelmointitavaksi noussut SYVARI.

Edellä mainituilta perustuksilta rakennettiin yhteys joukkoliikenne-etuuksien esittelyn pariin. Tämä osuus aloitettiin yleiskuvauksella mahdollisista joukkoliikenteen hyödyksi toteutettavista ratkaisuista. Lyhyen joukkoliikenteen etuuksien toteutustapojen esittelyn jälkeen siirryttiin osuuteen, josta alkaen dokumentoitiin Espoon kaupungin toimenpiteet joukkoliikenteen liikennevaloetuuksien käyttöönotosta. Tässä osuudessa taustoitettiin sitä, *mikä* johti joukkoliikenne-etuuksien käyttöönottoon sekä tämän jälkeen esittelemällä järjestelmän tekniset näkökohdat avattiin sitä, *miten* etuudet otettiin lopulta käyttöön. Kyseiset osa-alueet läpikäymällä opinnäytetyölle asetetut vaatimukset saavutettiin kohtalaisella tarkkuudella.

Opinnäytetyön alustavassa sisältömäärittelyssä oli mukana etuuksien käyttöönotoilla mahdollisesti saatavien, liikenteen sujuvuuteen vaikuttavien hyötyjen tai haittojen tutkiminen muutamissa etuuksin lisätyissä Espoon kaupungin liikennevaloliittymissä. Työn laajuutta myöhemmin arvioitaessa hyötyjen tutkiminen päätettiin kuitenkin jättää pois, koska sen toteuttaminen olisi ollut teknisesti haastavaa sekä ylittänyt laajuudeltaan tälle opinnäytetyölle asetetut vaatimukset. Joukkoliikenne-etuuksien hyötyjen ja haittojen tutkiminen voisi hyvinkin olla ajankohtaista nyt, kun toteutukseen on löytynyt yhteisen toimintatavan mahdollistava punainen lanka. Erityisesti suuressa mittakaavassa tehtävät tutkimukset voivat hyvinkin hyötyä ja olla toteutettavissa kohtuullisella työmäärällä HSL:n lippu- ja informaatiojärjestelmän yhteydessä käyttöön otettavalla, bussiliikenteen sujuvuuden tarkasteluun tarkoitetulla analysointityökalulla.

Hyötyjen saavuttamista matka-ajoissa on tutkittu aikaisemmin mm. liikenne- ja viestintäministeriön rahoittaman TETRA-ohjelman yhteydessä (Lehtonen ym. 2001) sekä diplomityössä Infrastruktuuritoimenpiteiden vaikutukset linja-autoliikenteen liikennöinnin luotettavuuteen (Suhonen 2012). Kustannuksellisten säästöjen saavuttamisesta on

mainittu HeLMI-raportissa (Seppänen 2007) sekä Joukkoliikenteen luotettavuuden kehittämishjelmassa (Airaksinen ym. 2009). Kootusti näistä lähteistä tähän yhteyteen todettakoon, että joukkoliikenne-etuksilla on tuotettavissa matka-ajan kannalta kohtuullisia ja kustannusten kannalta jopa huomattavia hyötyjä. Etuuksien ”viljely” jokaiseen mahdolliseen liikennevaloliittymään ei kuitenkaan tarkoita, että hyödyt muodostuisivat aina haittoja suuremmiksi, ja sen sijaan niitä tuleekin ottaa harkitusti käyttöön siellä, missä tarve on ilmeisin ja saavutettavat hyödyt todennäköisiä.

Lähteet

15.8. Espoon ja Kauniaisten bussilinjat. 2016. Verkkodokumentti. HSL.
<https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/2016_05_16_infolehdien_keskiosat.pdf>.
Julkaistu 16.5.2016. Luettu 8.1.2017.

AB Thoreb. 2016. C20/Supernode, Art. No. 17498. Esittelymateriaali.

Airaksinen, Simo, Wallin, Johanna & Anttila, Tero. 2009. Joukkoliikenteen luotettavuuden kehittämisohjelma: A-osa. Verkkodokumentti. WSP Finland Oy.
<https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/luotettavuuden_kehittamisohjelma_a_osa.pdf>. Helsinki: Helsingin kaupungin liikennelaitos.

Asetus tieliikenteen liikennevaloista. 2001. 1012/2001.

HSL Uudet laitteet. 2016. Verkkodokumentti. Helsingin seudun liikenne.
<<https://www.hsl.fi/uudetlaitteet>>. Julkaistu 18.3.2016. Luettu 25.2.2017.

Kokous 5 Espoon liikennevalojen suunnitteluperiaatteet ja joukkoliikenne-etuuksien toteutusohjelma 2015-2017. 2015. Kokousmuistio. Luettu 15.1.2017.

KaKe yleisesittely 2016. Verkkodokumentti. Espoon kaupunki/kaupunkiteknikan keskuksen intranet. Luettu 15.11.2016.

Kalevirta, Timo. 2013. Piispansillan liikennevalosuunnitelma: lomake 3, liittymän 266 ilmaisinohjelmoinnit. Finnish Consulting Group Oy.

Kalvosarja länsimetrosta. 2014. Verkkodokumentti. Helsingin seudun liikenne.
<https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/kalvosarja_lansimetrosta_1.pdf>. Julkaistu 3.2.2014. Luettu 15.1.2017.

Laaksonen, Teemu. 2017. Järjestelmäsuunnittelija, Helsingin seudun liikenne, Helsinki. Keskustelut 9.2.2017 ja 18.4.2017.

LIJ infografiikka. Verkkodokumentti. Helsingin seudun liikenne.
<https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/hsl_lij-infografiikka.pdf>. Luettu 25.2.2017.

LIVASU. 2016. Maanteiden liikennevalojen suunnitteluohje. Verkkodokumentti. Helsinki: Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2016-37_livasu_web.pdf>. Julkaistu 7.4.2017. Luettu 17.4.2017.

Lehtonen, Mikko, Anttila, Virpi, Koskinen, Olavi, Kulmala, Risto, Pajunen-Muhonen, Hanna, Pesonen, Hannu, Rintanen, Jouni & Ristola, Tomi. 2001. Liikennevaloetuedet ja ajantasainen tiedotus. Vaikutukset raitiolinjalla 4 ja bussilinjalla 23 Helsingissä. Liikenne- ja viestintäministeriön mietintöjä ja muistioita B 41/2001.

Länsimetron hankesuunnitelma. 2008. Verkkodokumentti. Länsimetro Oy.
<http://data.lansimetro.fi/Ryhmat/HANKESUUNNITELMAN_SELOSTUS_140308.pdf>.
Luettu 8.1.2017.

Länsimetron liityntälinjastosuunnitelma 2014. 2015. Verkkodokumentti. Strafica Oy, Helsingin seudun liikenne.
<https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/hsl_julkaisu_8_2015_lansimetron_liityntalinjastosuunnitelma_2014_netti.pdf>. Luettu 8.1.2017.

Länsimetron liityntälinjasto. 2016. Verkkodokumentti. Helsingin seudun liikenne.
<<https://www.hsl.fi/lansimetro/lansimetron-liityntalinjasto>>. Julkaistu 8.2.2016. Luettu 8.1.2017.

Mäntynen, Jorma, Kallberg, Harri, Kalenoja, Hanna, Kiiskilä, Kati, Rauhamäki, Harri, Salli, Riikka, Vihanti, Kaisuliina, & Alava, Pekka. 2006. Liikennetekniikan perusteet. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Raide-Jokeri hankesuunnitelma. 2015. Verkkodokumentti. Espoon ja Helsingin kaupungit. <<http://raidejokeri.info/wp-content/uploads/2016/01/hankesuunnitelma.pdf>>.
Luettu 26.3.2017.

Salonen, Matti. 2010. Joukkoliikenteen valoetuksien toteuttaminen SYVARI-ohjauksella. Verkkodokumentti. <http://salonen.info/wp-content/uploads/2012/09/SYVARI-ohjekirja_100215.pdf>. Luettu 18.12.2016.

Sane, Kari. 2010. JENKA – Joukkoliikenne-etuudet jokaiseen kaupunkiin, loppuraportti. Verkkodokumentti. <<http://www.liikennevalot.info/download/JENKA-Loppuraportti.pdf>>.
Päivitetty 23.2.2011. Luettu 7.1.2017.

Sane, Kari. 2012. Joukkoliikenteen liikennevaloetudet - miten ne oikein toimivat. Verkkodokumentti. Liikennevalot.info.
<<http://www.liikennevalot.info/tieto/joukkoliikenteenetuudet.shtml>>. Julkaistu 11.2.2012. Luettu 26.3.2017.

Satel Oy. Mikä on radiomodeemi? Verkkodokumentti.
<<http://www.satel.com/fi/tuotteet/mika-on-radiomodeemi>>. Luettu 5.2.2017.

Seppänen, Jari. 2007. Helsingin joukkoliikenteen liikennevaloetus- ja matkustajainformaatiojärjestelmä (Helmi). Verkkodokumentti. Helsinki: Helsingin kaupungin liikennelaitos. <http://www.hel.fi/static/hkl/HKL_Julkaisusarja_D/D1-2007Helmi_raportti_1_2007.pdf>.

Sittraffic SiBike. Verkkodokumentti. Siemens AG (Siemens Mobility division).
<<http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/en/urban-mobility/road-solutions/infrastructure-and-urban-traffic-control/sittraffic-sibike/pages/sittraffic-sibike.aspx>>. Luettu 1.1.2017.

Suhonen, Mikko, Pohjalainen, Essi, Holm, Markus & Ikäheimo, Jouni. 2014. Länsimetron liityntälinjaston infran kipupisteet. Trafix Oy.

Suhonen, Mikko. 2012. Infrastruktuuri-toimenpiteiden vaikutukset linja-autoliikenteen liikennöinnin luotettavuuteen. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Supercykelstier. Verkkodokumentti. The city of Copenhagen (Sekretariatet for Supercykelstier). <<http://supercykelstier.dk/english/>> Luettu 1.1.2017.

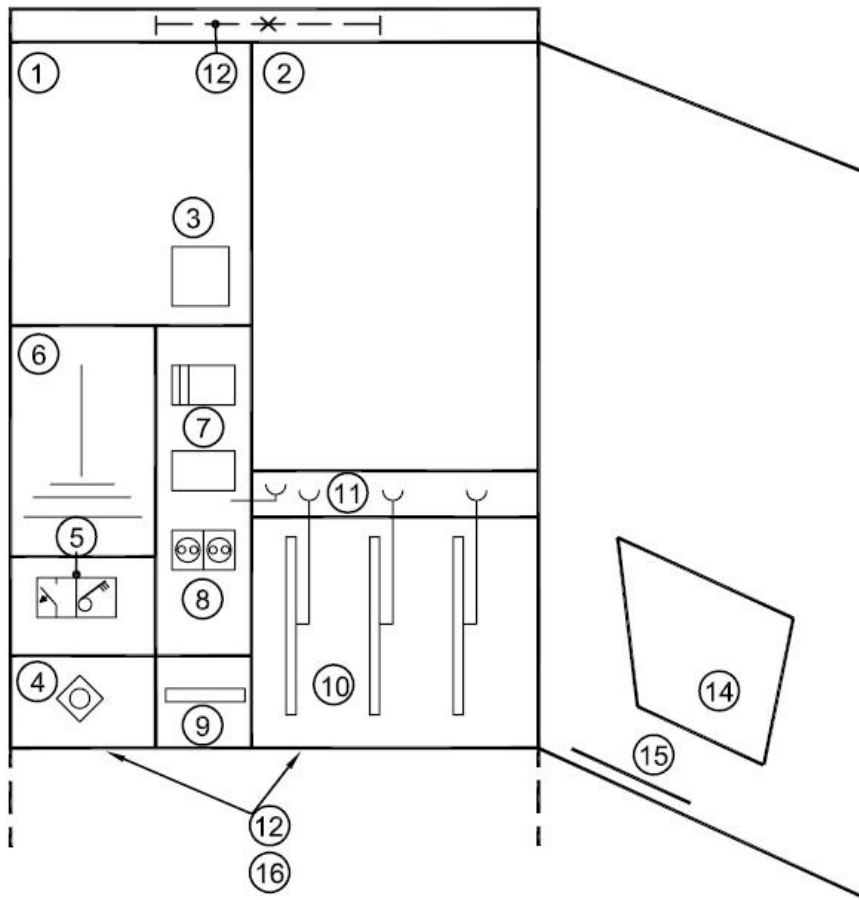
Swarcon pyöräilijän liikennevaloetuedet. Verkkodokumentti. Swarco AG. <<http://www.swarco.fi/Tuotteet-ja-Palvelut/Nykyajan-Kaupungit/Py%C3%B6r%C3%A4ily/PY%C3%96R%C3%84ILJ%C3%84N-LIIKENNEVALOETUUDET>>. Luettu 1.1.2017.

Tech-FAQ. 2016. Galvanic Isolator. Verkkodokumentti. Independent Media. <<http://www.tech-faq.com/galvanic-isolator.html> >. Päivitetty 11.3.2016. Luettu 12.2.2017.

Tiehallinto. 2004. Liikennevalojen tyyppiirustusluettelo. Liikennevalot, piirustusmerkinnät. Verkkodokumentti. <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/liikennevalot_ty12.pdf>. Luettu 21.11.2016.

Tuominen, Jaakko. 2016. Juvan teollisuuskadun ja Juvankartanontien liittymä (965): Liikennevalojen yleissuunnitelma. Traficon Oy.

Ohjeellinen ohjauskojeen tilajärjestelyn periaate

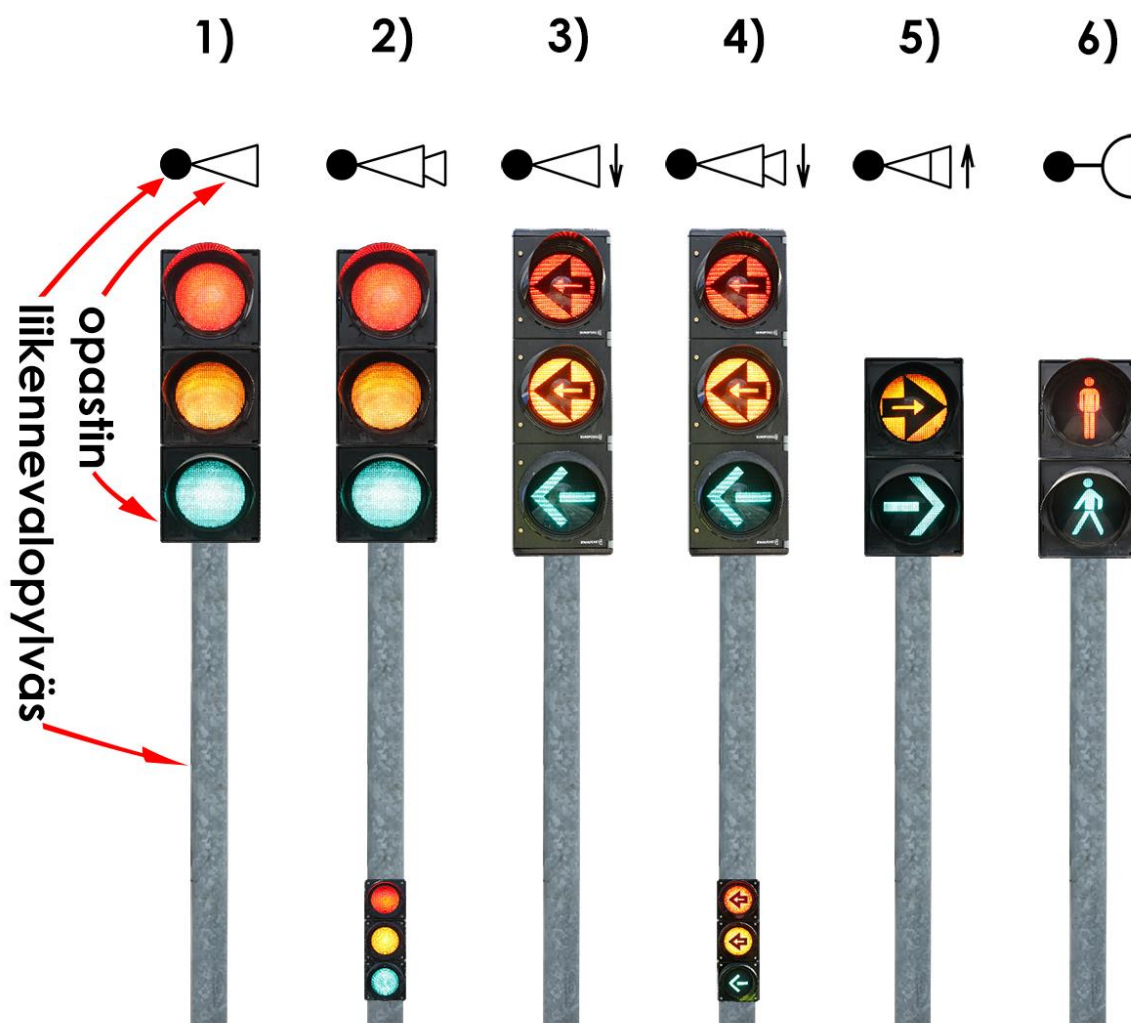


- | | |
|---|--|
| ① Tietoliikenne | ⑨ Maadoituskisko |
| ② Logiikka | ⑩ Kenttäkaapeleiden johdinpoikkipintoja vastaavat jousiriviliittimet, 230 V / pienoisjännite |
| ③ Palk.ohj. kytkin | ⑪ Pikaliittimet logiikkaan |
| ④ Vaihtoliittimet ja sähköyhtiön liittymisjohto | ⑫ Kaapeleiden läpivientilaipat tiivisteineen |
| ⑤ Pääsulake ja -kytkin | ⑬ Työvalaisin, siirrettävä |
| ⑥ KWh-mltaus | ⑭ Piirustustasku |
| ⑦ Ryhmien automaattit | ⑮ Tuullhaka |
| ⑧ Huoltoptstoraslat 2 kpl | ⑯ Jalusta |

Kojeiden suojausluokat: kaappi IP 34; avattuna IP 20

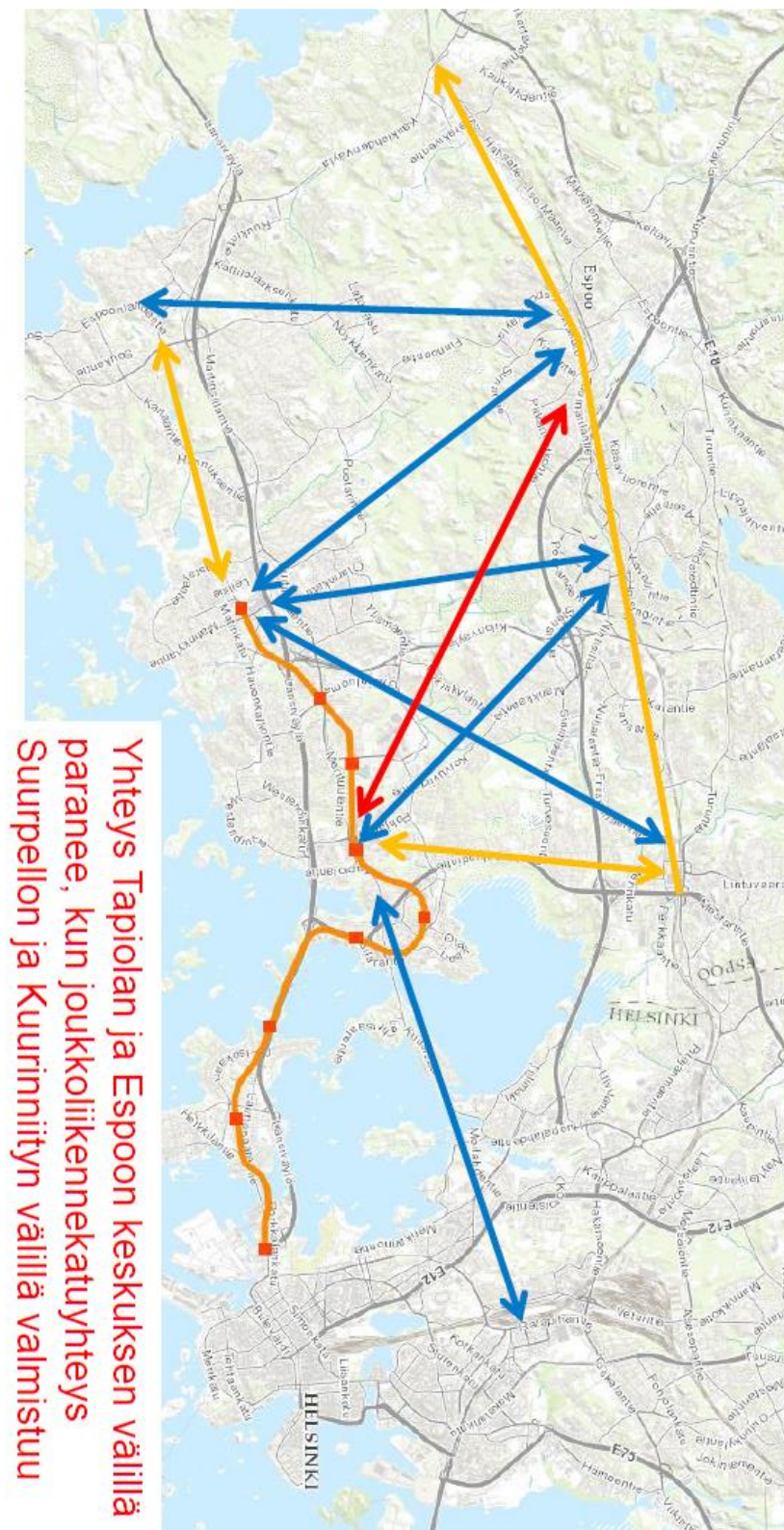
Lähde: Tiehallinto 2004: Ty 12/227.

Yleisimpiä opastintyyppejä sekä niiden piirustusmerkinnät



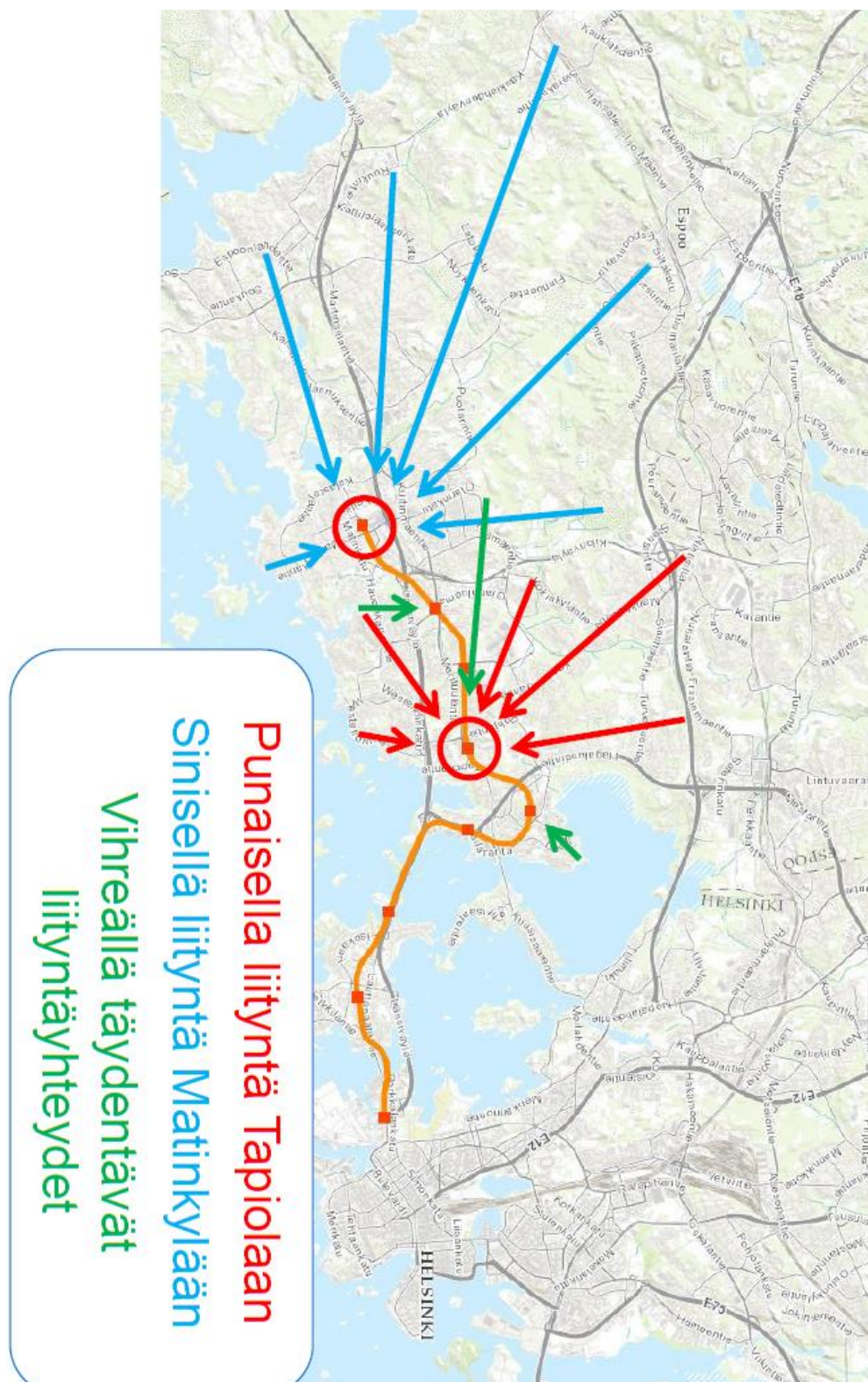
- 1) 3-aukkoinen ajoneuvo-opastin 200 mm valoaukoilla
- 2) 3-aukkoinen ajoneuvo-opastin 200 mm valoaukoilla sekä pieni toisto-opastin 80 mm valoaukoilla
- 3) 3-aukkoinen ajoneuvo-opastin 200 mm valoaukoilla ja nuolikuvioin
- 4) 3-aukkoinen ajoneuvo-opastin 200 mm valoaukoilla sekä pieni toisto-opastin 80 mm valoaukoilla (nuolikuvioin)
- 5) 2-aukkoinen ajoneuvo-opastin 200 mm valoaukoilla ja nuolikuvioin
- 6) Jalankulkijaopastin 200 mm valoaukoilla

(HSL) Poikittaisten yhteyksien parantaminen



Lähde: Kalvosarja länsimetrosta 2014: 9.

(HSL) Liitynnän suunnat Tapiolaan ja Matinkylään



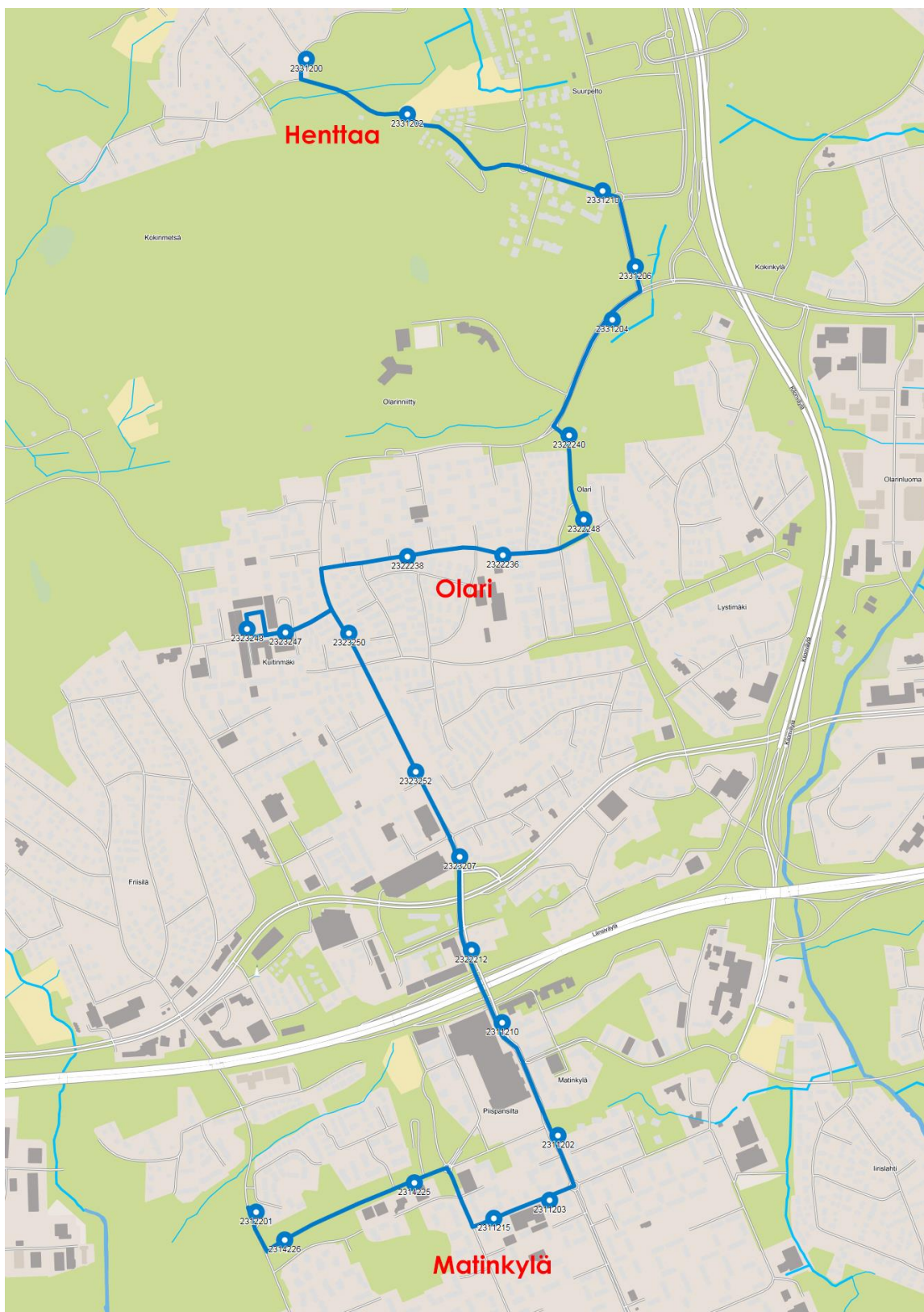
Lähde: Kalvosarja länsimetrosta 2014: 10

Etuuslaitteen asennussijainti nykyaikaisissa liikennevalokojeissa



Liikennevalojen ohjaukkojeita sekä etuuslaitteen asennussijainti niiden sisällä
(vasemmalta oikealle): Dynniq EC-2, Siemens C800, Swarco ITC-2

Linjan 16 reitti, ajosuuntana Matinkylä–Olari–Henttaa



Etuuspisteiden asettelun periaatteet

