

# **Robottibussit**

Espoon Otaniemen kokeilujakso



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Liikennealan koulutusohjelma

Riihimäki, kevät 2017

Matias Pikkarainen

Liikenneala  
Riihimäki

---

<b>Tekijä</b>	Matias Pikkarainen	Vuosi 2017
<b>Työn nimi</b>	Robottibussit- Espoon Otaniemen kokeilujakso	
<b>Työn ohjaajat</b>	Johanna Nyberg, Teppo Sotavalta	

---

## TIIVISTELMÄ

Työn ensisijaisena tavoitteena oli selvittää automaattisten robottibussien toimintakykyä ja vaikutuksia liikenteellisestä näkökulmasta Espoon Otaniemen kokeilujakson yhteydessä. Tarkoituksena oli tutkia robottibussin vaikutusta muuhun liikenteeseen sekä tutkia mitä automaattiajoneuvon tuleminen kaupunkiympäristöön vaatii liikenteenohjauksen ja liikenneturvallisuuden näkökulmasta. Työssä tutkittiin Espoon Otaniemen kokeilujakson yhteydessä myös tieliikenteen automaation kehitystä sekä aikaisempia robottibussien kokeilujaksoja Euroopassa. Työn toimeksiantajana toimi Espoon kaupungin kaupunkitekniikan keskus.

Työn tutkimusmenetelmät perustuivat kahden eri liikennekameran kuvaamaan videomateriaaliin Espoon Otaniemen kokeilujakson yhteydessä. Liikennekameroiden avulla pystyttiin havainnoimaan silmämääräisesti robottibussien toimintaa ja vaikutuksia liikenneympäristössä. Muita tutkimusmenetelmiä olivat alueelle tehdyt maastokäynnit ja robottibussien toiminnasta vastaavien operaattorien haastattelu. Työn pohjatietoina käytettiin Sohjoa-hankkeen yhteydessä järjestettyjä työpajoja, liikenteen automaation selvityksiä ja CityMobil2-projektiryhmän muodostamia tutkimuksia ja tuloksia aikaisemmista robottibussien kokeilujaksoista.

Robottibussien kokeilujakso Espoon Otaniemessä sujui onnistuneesti ja onnettomuuksilta ja todellisilta vaaratilanteilta vältyttiin, vaikka kokeilujakson aikana kohdattiin useampia robottibussin hätäjarrutustilanteita erinäisistä syistä johtuen. Pieniä vaaratilanteita syntyi lukuisista ohitustilanteista, joita voidaan perustella robottibussin ja ajoneuvoliikenteen ajonopeuden eroavaisuudella. Seuraavissa kokeilujaksoissa on entistä enemmän kiinnitettävä huomiota robottibussin ja muiden tienkäyttäjien välisiin kohtaamisiin. Tulevaisuudessa robottibussien kokeilujaksot voitaisiinkin viedä lähemmäs aitoja liikennetilanteita, mutta samalla turvallisuuden olisi pyrittävä hyvällä tasolla. Robottibussin toimintaa olisi myös tärkeää kokeilla eri sääolosuhteissa sekä ajonopeutta nostaa robottibussiteknologian kehityessä. Tulevaisuudessa robottibussin muodostamaa joukkoliikennepalvelua voitaisiin hyödyntää joukkoliikenteen runkolinjojen syöttöliikenteessä tai suurien yleisötapahummien yhteydessä.

**Avainsanat** robottibussi, kokeilujakso, joukkoliikennepalvelu  
**Sivut** 59 s. + liitteet 1 s.

Degree Programme in Traffic and Transport Management  
Riihimäki

---

**Author** Matias Pikkarainen

Year 2017

**Subject** Automated buses – an experimentation period in Otaniemi, Espoo

**Supervisors** Johanna Nyberg, Teppo Sotavalta

---

ABSTRACT

The primary objective in this project was to find out how automated buses operate and influence the traffic environment from a traffic perspective. The purpose of the work was to study the effects of automated buses in traffic and to see what automated buses need when they become a part of the urban environment from a traffic control and a road safety point of a view. The work also included inferences on the development of road traffic automation and on the results from previous test periods of automated buses in Europe. The thesis was commissioned by the City of Espoo.

The research methods were based on the data acquired from two traffic cameras which recorded video material when automated buses operated during the test period in Otaniemi. The video material allowed us to analyze the operations of automated buses and their effect in the traffic environment. Other research methods included visits to the testing area and interviews of operators. The gathered information from the Sohjoa-project workshops, reports from traffic automation and CityMobil2-project documents and results from earlier automated trial periods were also used as a basis for the thesis.

The test period of automated buses was successfully conducted at Otaniemi and there were no collisions or considerable dangerous situations during the period. However, the automated buses were forced to do several emergency brakings due to various reasons during the test period. There were numerous overtaking situations between an automated bus and the vehicular traffic which developed slightly dangerous situations. Overtaking situations can be explained by the speed difference between an automated bus and the vehicular traffic. It is important to focus on the conflicts between an automated bus and the other road users in future test periods. In the future automated buses must be brought closer to real traffic situations but at the same time road safety should still stay at a good level. It is also vital to test how automated buses operate in versatile weather conditions and increase the speed level of automated buses as the technology in automated buses evolves. Eventually, automated bus services can be utilized in feeder transport and major events for the years to come.

**Keywords** automated bus, test period, transport service

**Pages** 59 p. + appendices 1 p.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
2	TIELIIKENTEEEN AUTOMAATION KEHITYS.....	2
2.1	Automaattisen ja autonomisen ajoneuvon määritelmät .....	2
2.2	Tieliikenteen automaation tasot .....	3
2.3	Kuljettajan roolin muuttuminen.....	4
2.4	Syyt tieliikenteen automaatiolle.....	5
3	JOUKKOLIIKENTEEEN AUTOMAATIO - CITYMOBIL2-PROJEKTI EUROOPASSA .....	6
3.1	Robottibussien kokeilujaksot Euroopassa .....	6
3.2	Suuret kokeilujaksot.....	8
3.3	Kaupunkiympäristöt .....	9
3.3.1	Trikala, Kreikka .....	9
3.3.2	Lausanne, Sveitsi .....	10
3.3.3	La Rochelle, Ranska .....	11
3.4	Liikenteellinen näkökulma .....	12
3.4.1	Ajoratamerkinnät .....	12
3.4.2	Liikennemerkkit ja varoitusmerkit .....	13
3.4.3	Liikennevalot .....	14
3.4.4	Muut järjestelyt liikennejärjestelmässä .....	15
3.5	Suurten kokeilujaksojen kokemukset ja tulokset .....	16
4	TIELIIKENTEEEN AUTOMAATIO SUOMESSA .....	18
4.1	Tieliikenteenlainsäädäntö Suomessa.....	19
4.1.1	Automaattisen ajoneuvon kuljettaja ja ajoneuvo.....	19
5	ROBOTTIBUSSIEN TOIMINTA.....	20
5.1	Robottibussin teknologia .....	20
5.2	Robottibussien toiminta-alue .....	21
5.3	Robottibussien tarkoitus ja tavoite .....	21
5.4	Robottibussien potentiaali ja haasteet .....	22
5.4.1	Potentiaali.....	22
5.4.2	Haasteet.....	22
6	ROBOTTIBUSSIEN KOKEILUJAKSOT SUOMESSA.....	23
6.1	CityMobil2- projekti - Vantaan kokeilujakso (2015).....	23
6.2	Sohjoa-hanke (2016) .....	24
7	ROBOTTIBUSSIEN KOKEILUJAKSO ESPOON OTANIEMESSÄ.....	28
7.1	Kehittämistyön tavoite ja tarkoitus .....	28
7.2	Kokeilujakson suunnittelu ja lähtökohdat .....	29
7.3	Automaattisen robottibussin kulkureitti ja ympäristö .....	31
7.4	Liikennejärjestelyiden toteutus kokeilualueella.....	32
7.4.1	Liikennemerkkit.....	33
7.4.2	Liikennevalot .....	34
7.4.3	Ajoratamerkinnät .....	35

7.5	Tutkimusmenetelmät.....	36
7.5.1	Kameroiden sijainnit ja tarkoitus.....	36
8	KOKEILUJAKSON HAVAINNOT JA TULOKSET.....	37
8.1	Liikenteellisestä näkökulmasta.....	37
8.1.1	Soveltuvuus liikennejärjestelmään.....	37
8.1.2	Liikennetilanteet.....	38
8.1.3	Vaaratilanteet.....	40
8.1.4	Ohitustilanteet.....	41
8.1.5	Suorat kohtaamiset ajoneuvoliikenteen kanssa.....	43
8.1.6	Kohtaamiset kevyen liikenteen kanssa.....	45
8.2	Liikennejärjestelmän näkökulmasta.....	48
8.2.1	Poikkeavien liikennejärjestelyiden merkitys.....	48
8.2.2	Yleinen liikennekäyttäytyminen.....	48
8.3	Muita tutkittavia asioita.....	50
8.3.1	Robottibussin ajonopeuden vaikutukset.....	50
8.3.2	Olosuhteiden vaikutus robottibussien toimintaan.....	51
8.3.3	Matkustajien palaute.....	51
9	YHTEENVETO.....	52
9.1	Tulosten ja havaintojen yhteenveto.....	52
10	ROBOTTIBUSSIN ASEMA TULEVAISUUDESSA.....	54
10.1	Operoiminen omalla erillisellä ajokaistalla.....	54
10.2	Operoiminen ajoneuvoliikenteen seassa.....	55
10.3	Yhdistelemällä eri liikenneväyliä.....	55
11	KOLME TULEVAISUUDEN VISIOTA.....	55
11.1	Robottibussi syöttöliikenteessä.....	56
11.2	Suuret yleisötapahtumat.....	57
11.3	Kutsuliikenne- mahdollisuus?.....	58
	LÄHTEET.....	59

---

Liite 1. Mallinnus Otaniemen kokeilualueelle toteutuneesta liikenteenohjauksesta

---

## Käsitteet

Automaattinen ajoneuvo	Automaattisella ajoneuvolla tarkoitetaan ajoneuvoa, joka pystyy ainakin osin suoriutumaan ajotehtävästään automaattisesti eli ilman kuljettajaa.
Autonominen ajoneuvo	Autonomisella ajoneuvolla tarkoitetaan ajoneuvoa, joka pystyy suoriutumaan ajotehtävästään täysin automaattisesti ilman kuljettajaa.
Ajoneuvoliikenne	Ajoneuvoliikenne tarkoittaa yleistä ajoneuvoliikennettä eli esimerkiksi henkilöauto liikennettä.
Kokeilujakso	Kokeilujakso tarkoittaa tietyn pituista ajanjaksoa, jolloin tietyllä alueella on suoritettu automaattisten ajoneuvojen testiajoja.
Konfliktitilanne	Konfliktitilanne tarkoittaa tilannetta, jolloin esimerkiksi robottibussi ja ajoneuvoliikenne kohtaavat tietyssä kohdassa tai tilanteessa.
Liikenteen poikkeus-opastus	Liikenteen poikkeusjärjestelyt tarkoittavat alueen liikennejärjestelyjä, joita toteutettiin robottibussien testiajojen ajaksi.
Liikenteenohjauskeinot	Liikenteenohjauskeinot tarkoittavat menetelmiä, joilla liikennettä pyritään ohjaamaan. Liikenteenohjauskeinot ovat muun muassa liikenteenhallinnanlaitteet kuten liikennemerkkit, ajoratamerkinnot sekä liikennevalot.
Liikenteellinen näkökulma	Liikenteellisessä näkökulmassa otetaan huomioon liikenteen yleinen toimivuus, liikennejärjestelyt ja liikenneturvallisuus.

---

Letka-ajo (platooning)

Useamman raskaan ajoneuvon muodostama letka. Ajoneuvot pystytään kytkemään elektronisesti yhdeksi saattueeksi, joka mahdollistaa ajoneuvojen jarrutuksen ja kiihdytyksen yhdenaikaisesti. Tämän avulla pystytään nostamaan tieosuuksien kapasiteettia, koska letkassa olevat ajoneuvot pystyvät ajamaan hyvin lähellä toisiaan.

Robottibussi

Robottibussilla tarkoitetaan automaattisesti ilman kuljettajaa kulkevaa bussia.

Syöttöliikenne

Tarkoitetaan liikennettä, joka keskittää matkustajia joukkoliikennepalveluiden runkolinjalle eli esimerkiksi lähimmälle juna-asemalle.



---

## 1 JOHDANTO

Ajoneuvoteknologian kehitys on ollut nopeaa ja tulevaisuudessa tieliikenteen seassa voidaan nähdä jopa täysin automaattisia ajoneuvoja. Aikaisemmin tieliikenteen automaatioon perustuvat kokeilut ovat sijoittuneet pääosin suljetuille väylille, mutta viime vuosien aikana automaattisia ajoneuvoja on nähty myös ajoneuvoliikenteen seassa osana avointa liikenneympäristöä. Yksi tulevaisuuden joukkoliikennepalveluista ovat automaattiset robottibussit. Robottibussien kokeilujaksoja on järjestetty City-Mobil2-projektin yhteydessä Euroopassa vuosien 2014-2016 aikana. Suomessa robottibusseja kokeiltiin ajoneuvoliikenteen seassa Sohjoa-hankkeen yhteydessä vuonna 2016 ja kokeilujaksot jatkuvat vuoden 2017 aikana.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään robottibussien ja muun liikenteen vuorovaikutusta Espoon Otaniemen kokeilujakson yhteydessä. Tavoitteena oli tutkia robottibussin toimintaa ja vaikutuksia liikenteellisestä näkökulmasta. Automaattisten ajoneuvojen kokeilujaksot ajoneuvoliikenteen seassa ovat vielä harvinaisia, joten on tärkeää saada kokemuksia, mitä automaattisen ajoneuvon tuleminen osaksi avointa liikenneympäristöä vaatii muun muassa liikenteenohjauksen ja liikenneturvallisuuden näkökulmasta. Tällä hetkellä kokeilujaksojen kokemuksia ja ajatuksia tulee avoimesti jakaa, jotta kehityskohteita ja vaikutuksia pystytään tarkastelemaan.

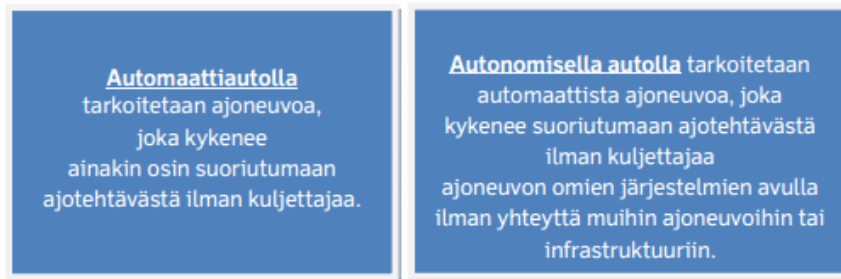
Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Espoon kaupunkitekniikan keskus. Espoon kaupungilla työnohjaajana toimi Espoon kaupungin liikenteenhallintapäällikkö Johanna Nyberg. Ajatus opinnäytetyön aiheesta ja teosta syntyi työharjoittelujaksonei aikana Espoon kaupungilla kesällä 2016. Opinnäytetyön aiheesta minua erityisesti kiinnosti aiheen ajankohtaisuus sekä tutkimuksen näkökulma.

## 2 TIELIIKENTEEN AUTOMAATION KEHITYS

Ajoneuvoteknologia on kehittynyt viime vuosien aikana paljon. Muutamien vuosien päästä tieliikenteen seassa voi hyvin mahdollisesti kulkea jo lähes täysin automaattisia ajoneuvoja. Tieliikenteen automatisaatio tulee etenemään nopeasti, koska nykyisten ajoneuvojen teknologia on jo hyvin kehittyntä. Tieto- ja viestintäteknologian sekä anturiteknologian kehitys luovat mahdollisuuksia kehittää automaattisia tai jopa täysin autonomisia ajoneuvoja tulevaisuudessa.

Keskeisessä roolissa tieliikenteen automatisoinnin mahdollistamisessa ovat erilaiset anturiteknologiaan perustuvat lyhyen- ja keskimatkan kantaman tutkat, kamerat, ultraäänianturit ja lasertutkat. Anturiteknologia mahdollistaa sen, että ajoneuvolla on käsitys ympärillä olevasta ympäristöstä. Antureiden avulla ajoneuvo pystyy havainnoimaan ympäristöä, muita tienkäyttäjiä tai mahdollisia esteitä. Anturiteknologian lisäksi tärkeää on tieto- ja viestintäteknologian kehitys. Tieto- ja viestintäteknologian kehittyminen mahdollistaa digitaalisten karttojen ja tarkan paikannuksen hyödyntämistä ajoneuvon sijainnin paikantamisessa suhteessa siihen ympäristöön, joita ei antureilla pystytä havaitsemaan. Paikannuksessa käytetään hyödyksi satelliittipaikannusta, jolloin ajoneuvo saadaan mahdollisimman tarkasti kartalle. (Pilli-Sihvola, Miettinen, Toivonen, Sarlin, Kiiski, Kulumala & muut asiantuntijat 2015, 15.)

### 2.1 Automaattisen ja autonomisen ajoneuvon määritelmät



Kuva 1. Automaatti- ja autonomisen auton määritelmät (Liikennevirasto 2016, 13).

Automaattisen ja autonomisen ajoneuvon määritelmien välillä ei ole suurta eroa, ja usein automaatti- ja autonomisella ajoneuvolla tarkoitetaan samaa asiaa (Kuva 1). Automaattinen ajoneuvo on kuitenkin vielä osittain riippuvainen ajoneuvon kuljettajasta verrattuna täysin autonomiseen ajoneuvoon, joka pystyy teknisten järjestelmien avulla suoriutumaan ajosuorituksesta täysin itsenäisesti. Automaattisen- ja autonomisen ajoneuvon määritelmien lisäksi on puhuttu myös kauko-ohjatuista ajoneuvoista. Tällä hetkellä tieliikenteen automaatio perustuu pääosin ajoneuvoissa oleviin älykkäisiin järjestelmiin kuten esimerkiksi kaistavahdin tai mukautuvan vaki-onopeuden säätimen kaltaisiin sähköisiin ratkaisuihin. Tieliikenteen automaation kehitys vaatii myös paljon ympärillä olevalta ympäristöltä. Tien varressa oleva tie- ja taustajärjestelmien infrastruktuuri tulee olemaan tärkeässä roolissa tieliikenteen automatisoinnin kehittämisessä ja toteutuksessa. (Lumiaho & Malin 2016, 13–14.)

## 2.2 Tieliikenteen automaation tasot

Tieliikenteen automaatiolle on asetettu tietyt teknologiatasot (Kuva 2). Tässä työssä esitelty luokittelu on SAE:n (Society of Automotive Engineers) tekemä. Kyseistä luokittelua suositellaan käytettäväksi Suomessa, kunnes luokittelulle saadaan eurooppalainen standardi. (Innamaa, Kanner, Rämä & Virtanen 2015, 3.) Teknologiatasot kuvastavat hyvin automaation kehitysaskelia tieliikenteessä ja kuvaavat hyvin esimerkiksi kuljettajan roolia tulevaisuudessa.

Taso	Nimi	Määritelmä	Ohjaus, kiihdytys, jarrutus	Ympäristön monitorointi	Dynaamisen ajamisen varasuorittaja	Automaation kattavuus
Ihminen monitoroi ajoympäristöä			Ihminen	Ihminen	Ihminen	
0	Ei automaatiota	Ihminen suorittaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, vaikka ajamista tuettaisiinkin varoituksilla tai ajamiseen puuttuvilla järjestelmissä.				–
1	Kuljettajan tuki	Ajotilannekohtaisia kuljettajan tukijärjestelmiä, jotka liittyvät joko ohjaamiseen tai kiihdyttämiseen/ jarruttamiseen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Ihminen ja järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
2	Osittainen automaatio	Yksi tai useampi ajotilannekohtainen kuljettajan tukijärjestelmä, joka kattaa sekä ohjaamisen että kiihdyttämisen/jarruttamisen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
Järjestelmä monitoroi ajoympäristöä			Järjestelmä	Järjestelmä	Ihminen	
3	Ehdollinen automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet (kuten pituus- ja poikittaissuuntaisen kontrollon). Ihminen täytyy kuitenkin ottaa auto hallintaansa, kun järjestelmä näin pyytää.				Joitakin ajotilanteita
4	Korkea automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet myös silloin, kun ihminen ei ota autoa hallintaansa, vaikka järjestelmä näin pyytää. Ellei kuljettaja ota ajoneuvoa haltuunsa, järjestelmä ohjaa auton hallitusti tien sivuun ja pysäyttää sen.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Suurin osa ajotilanteista
5	Täysi automaatio	Kaiken kattava automaattiajojärjestelmä, joka kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet kaikissa tie- ja ympäristö-olosuhteissa.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Kaikki ajotilanteet

Kuva 2. Tieliikenteen automaatiotasot (Innamaa ym. 2015, 4).

## 2.3 Kuljettajan roolin muuttuminen

Alapuolella on lyhyesti kerrottu automaatiotasojen määritelmät ja kerrottu erityisesti kuljettajan roolin muuttumisesta (Innamaa ym. 2015, 4-7).

### 0. Ei automaatiota

- Ajoneuvon toiminta on kokonaan kuljettajan vastuulla.
- Kuljettajalla voi olla ajoneuvossa pieniä ajamista tukevia järjestelmiä kuten esimerkiksi pysäköintiavustin.

### 1. Kuljettajan tuki

- Kuljettajalla on ajoneuvossa huomattavia ajamista helpottavia tukijärjestelmiä, jotka liittyvät esimerkiksi ohjaamiseen, kiihdyttämiseen tai jarruttamiseen. Tukijärjestelmiin kuuluvat esimerkiksi mukautuva vakionopeuden säädin tai kaistavahti.
- Kuljettaja kuitenkin vastaa pääsääntöisesti ajotehtävistä ja seuraa ajoympäristöä.

### 2. Osittainen automaatio

- Kuljettajan vastuulla on seurata ajoympäristöä sekä kuljettaja vastaa edelleen pääsääntöisesti ajotehtävästä.
- Kuljettajalla on yksi tai useampi ajamiseen liittyvä tukijärjestelmä kuten esimerkiksi ruuhka-avustin, jonka avulla ajoneuvo pystyy automaattisesti seuraamaan liikennevirtaa alhaisissa ajonopeuksissa (korkeintaan 60 km/h).

### 3. Ehdollinen automaatio

- Ajoneuvo pystyy kulkemaan pääsääntöisesti automaattisesti moottoriteillä tai maanteilla (korkeintaan 130 km/h). Kuljettajan täytyy kuitenkin tarkkailla ajoneuvon toimintaa jatkuvasti ja ottaa ajoneuvo haltuunsa tarvittaessa.
- Ajosuoritus ja ympäristönhavainnointi siirtyvät kuljettajalta ajoneuville, jolloin ajoneuvo on vastuussa pääsääntöisestä ajo-toiminnasta.

### 4. Korkea automaatio

- Korkean automaation tason ajoneuvo pystyy suoriutumaan ajo-toiminnasta ja ympäristönhavainnoinnista lähes täysin itsenäisesti. Ajoneuvo ei ole enää riippuvainen kyydissä olevasta kuljettajasta.
- Häiriötilanteen sattuessa ajoneuvo pystyy automaattisesti ohjaamaan auton ajoradan sivuun.

### 5. Täysi automaatio

- Kuljettajaa ei enää tarvita.
- Ajoneuvo pystyy toimimaan täysin automaattisesti kaikissa tie- ja ympäristöolosuhteissa. Ajoneuvot eivät ole enää riippuvaisia kuljettajista, jolloin ajoneuvot voivat kulkea jopa ilman kyydissä olevaa kuljettajaa.

## 2.4 Syyt tieliikenteen automaatiolle

Syyt tieliikenteen automaatiolle liittyvät keskeisesti tieliikenteen turvallisuuden parantamiseen, liikenteestä aiheutuvien haitallisten päästöjen vähentämiseen sekä liikenteen sujuvuuden parantamiseen. Olennainen osa tieliikenteen automaation kehittymistä on tieto- ja viestintäteknologian kehittyminen, joka mahdollistaa lähtökohdat autonomisten ajoneuvojen käyttöönotolle.

Lumiahon & Malinin (2016, 40–41) mukaan tieliikenteen automatisointi sulkisi pois inhimillisten tekijöiden aiheuttamia liikenneonnettomuuksia, joiden on arvioitu olevan osasyynä arviolta noin 90 - 95 % kaikista liikenneonnettomuuksista. ”Tutkimuksen mukaan automatisoidut autot voivat vähentää 50 % onnettomuuksista, kun niiden penetraatioaste on 10 % ajoneuvojen määrästä, ja jopa 90 % onnettomuuksista, kun penetraatioaste on 90 % ” (Lumiaho & Malin 2016, 40.) Tutkimuksessa on myös huomioitu teknologian kehitys, koska penetraatioasteen nousu vie useita vuosia.

Tieliikenteen automatisointi vähentäisi myös yleisesti tieliikenteen päästöjä. Tieliikenne olisi sujuvampaa etenkin alueilla, joissa liikenteen ruuhkautuminen on yleistä. Automatisoinnin avulla ajoneuvojen ajonopeudet pystytään säätämään samanlaisiksi eri ajoneuvojen välille. Tämä vähentäisi ajoneuvojen energiankulutusta sekä liikenteen jonoutumista. Raskas ajoneuvoliikenteen kohdalla automaatio on kehittymässä letka- tai saatueajoon (platooning). Letka-ajo voi vähentää polttoaineen kulutusta jopa 8 % letkaa vetävän kuorma-auton kohdalla, ja perässä kulkevien ajoneuvojen kohdalla noin 16 % verrattuna itsekseen ajavaan kuorma-autoon. Myönteiset vaikutukset liikennevirtaan ovat kuitenkin näkyvissä vasta pitkällä aikajänteellä, koska tutkimusten mukaan vasta automaatiotasoa (3) mahdollistaa ajoneuvojen kulun pienemmillä ajoetäisyyksillä toisiinsa, jolloin liikennevirran välityskyky paranee huomattavasti. (Lumiaho & Malin 2016, 40–41.)



Kuva 3. Mikä ajaa meitä kohti automaatiota (Kotilainen 2016).

### 3 JOUKKOLIIKENTEN AUTOMAATIO - CITYMOBIL2-PROJEKTI EUROOPASSA

CityMobil2 -projekti on Euroopan Unionin tukema pilottialusta, jonka tavoitteena on testata automaattisia ajoneuvoja erilaisissa liikenneympäristöissä. CityMobil2 -projekti on perehtynyt nimenomaan automaattisten joukkoliikennepalveluiden mahdollisuuksiin sekä niiden testaamiseen useassa kaupunkimaisessa ympäristössä ympäri Euroopan. Automaattiset joukkoliikennepalvelut on toteutettu ajoneuvoista, jotka operoivat ilman kuljettajaa (automaatiotaso 4). CityMobil2 -projektin automaattisena ajoneuvona toimii automaattinen robottibussi, jonka avulla pyritään luomaan hyödyllinen joukkoliikennepalvelu muun joukkoliikenteen tueksi.

#### 3.1 Robottibussien kokeilujaksot Euroopassa

CityMobil2 on toteuttanut jo muutamia vuosia robottibussien demonstroituja kokeilujaksot, joiden pituudet vaihtelevat muutamista viikoista jopa puolen vuoden pituisiin testijaksoihin. CityMobil2 -projektiryhmä valitsi heidän mielestään sopivimmat kaupunkiympäristöt robottibussien kokeiluille. Yksi CityMobil2 -projektin pää tavoitteista oli testata robottibusseja erilaisissa kaupunkiympäristöissä. Jokaisen demonstroidun kokeilujakson suorittavan kaupungin oli kuitenkin tehtävä kattava tutkimus, jossa muun muassa tutkittiin taloudellisia, teknisiä, lainsäädännöllisiä, kulttuurillisia sekä maankäyttöpölitikaan näkökulmia. Tutkimuksessa tuli käydä ilmi myös se, miten uudet automaattiset liikennejärjestelmät eli robottibussit sopisivat sekä tulisivat toimimaan yhdessä nykyisen liikenneinfrastruktuurin kanssa.

Automaattisia joukkoliikennepalveluja on kokeiltu ympäri Eurooppaa, ja kokeilujaksot on suoritettu pääsääntöisesti ympäristöissä, joissa robottibussit operoivat alueilla, joissa muu joukkoliikennepalvelu kuten linja-autot eivät pystyneet operoimaan. Robottibussit palvelevat parhaiten niin sanottuna ”ensimmäisen ja viimeisen kilometrin” kuljetuspalveluna, jolloin robottibussit pystyvät palvelemaan esimerkiksi kaupungin sisäistä liikennettä lyhyen välimatkojen operoinnissa.

Robottibussit operoivat kokeilujaksojen aikana pääsääntöisesti kevyen liikenteen väyliä pitkin, mutta myös ajoneuvoliikenteen vieressä, tosin vain heille osoitetulla omalla ajoväylällä. Robottibussin matkustajakapasiteetti oli kokeilujaksojen aikana 10 henkilöä, 6 istumapaikkaa ja 4 seisomapaikkaa (Experience and recommendations 2016, 22). Robottibussin ajonopeus oli kokeilujaksojen aikana 10 - 13 km/h välillä, vaikka ajoneuvolla on mahdollista ajaa yli 40 km/h ajonopeutta. Liikenteen turvallisuuden näkökulmasta lähtökohtana oli pitää robottibussin ajonopeus alhaisena, jotta operoinnin aikana mahdollisiin vaaratilanteisiin tai reitillä oleviin esteisiin voitaisiin reagoida ajoissa. (Lumiaho & Malin 2016, 28.)



Kuva 4. Automaattisten robottibussien kokeilujaksoja Euroopassa (CityMobil2 - Final video 2016).

Euroopassa on tehty useita robottibussien kokeilujaksoja viime vuosien aikana (Kuva 4). Robottibusseja on kokeiltu seitsemässä eri Euroopan kaupungissa, ja ne ovat keränneet yhteensä yli 60 000 matkustajaa kokeilujaksojen aikana. Osassa kaupungeista on päätetty suorittaa suuremman luokan kokeiluja ja osaan taas pienemmän luokan kokeiluja. Suuremman luokan kokeilujaksot ovat kestäneet jopa puoli vuotta. Pienemmät kokeilujaksot ovat kestäneet noin kolmen kuukauden ajan. CityMobil2 -projektiryhmä on myös järjestänyt pienimuotoisia robottibussien esittelytilaisuuksia, jotka ovat kestäneet vain muutamia päiviä.

#### Suuret kokeilujaksot

- Trikala, Kreikka
- Lausanne, Sveitsi
- La Rochelle, Ranska

#### Pienet kokeilujaksot

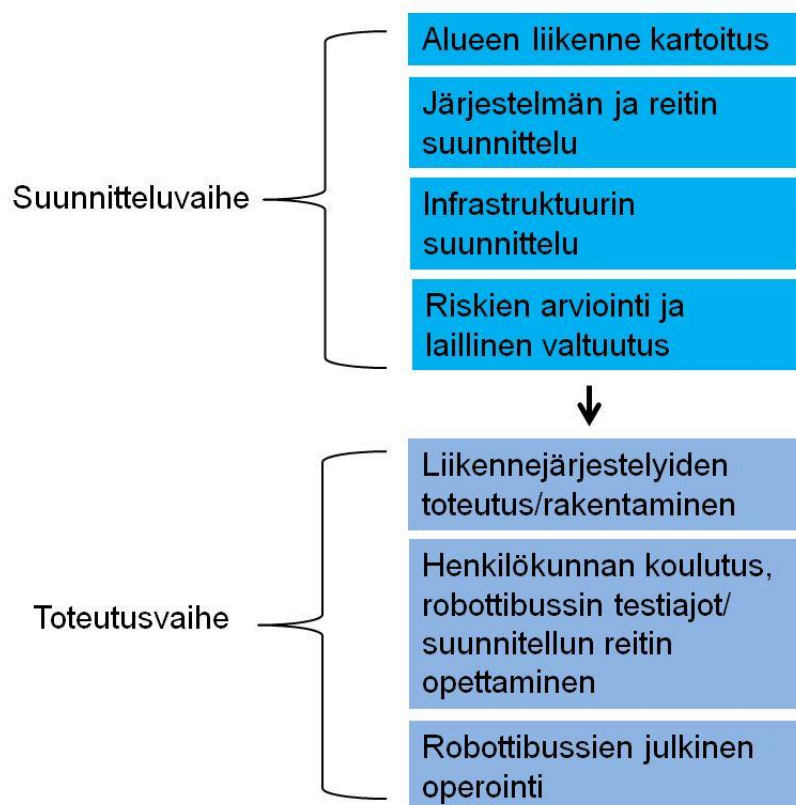
- Vantaa, Suomi
- San Sebastian, Espanja
- Oristano, Italia
- Sophia Antipolis, Ranska

### 3.2 Suuret kokeilujaksot

Taulukko 1. Euroopan suurien kokeilujaksojen ajankohdat. (CityMobil2 2016, 17).

Valtio	Kaupunki	Vuosi	Ajankohta	Kesto
<b>Kreikka</b>	Trikala	2015- 2016	Marraskuu-Helmikuu	4 kk
<b>Sveitsi</b>	Lausanne	2015	Maaliskuu- Elokuu	6 kk
<b>Ranska</b>	La Rochelle	2014–2015	Joulukuu- Huhtikuu	5 kk

CityMobil2-projektin suuret kokeilujaksot sijoituivat vuosien 2014 ja 2016 välille (Taulukko 1). Suurten demonstroitujen kokeilujaksojen tarkoituksena oli tuoda robottibussit kaupungin tieliikenneverkolle osaksi joukkoliikennepalveluja. Robottibusseja on pyritty testaamaan erilaisissa kaupunkiympäristöissä, ja näin saamaan mahdollisimman paljon kokemusta erilaisista olosuhteista sekä tietoa automaattisiin ajoneuvoihin kohdistuvista haasteista ja mahdollisuuksista. Jokaisen demonstroidun kokeilujakson täytyy olla myös erityisen hyvin suunniteltu, jotta robottibussit pystyivät operoimaan tieliikenneverkolla turvallisesti. Jokaisen kaupungin oli myös kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, miten robottibussit tulevat soveltumaan ympärillä olevaan liikenneverkkoon ja ympäristöön (Kuva 5).



Kuva 5. Robottibussien operoinnin suunnittelun pohja (tiedot: Holguin & Stam 2016, 10 ja kuva: Pikkarainen 2016).



Robottibussien kokeilut vaativat pitkän suunnittelun lisäksi myös paljon eri sidosryhmien välistä yhteistyötä. Tärkeässä roolissa on myös valtion lainsäädäntö, koska useiden maiden lainsäädäntö kieltää automaattisten ajoneuvojen käytön yleisillä tieosuksilla. Valtiot joutuivat hakemaan poikkeuslupia lainsäädäntöön, jotta robottibussien testaus olisi mahdollista maan tieverkolla. Robottibussien testiajajien kannalta oli myös todella tärkeää, että kaupungin asukkaat olivat tietoisia alueella tapahtuvasta automaattisten ajoneuvojen kokeilujaksosta, näin pystyttiin varmistamaan automaattisten ajoneuvojen turvallinen operointi kohdealueella.

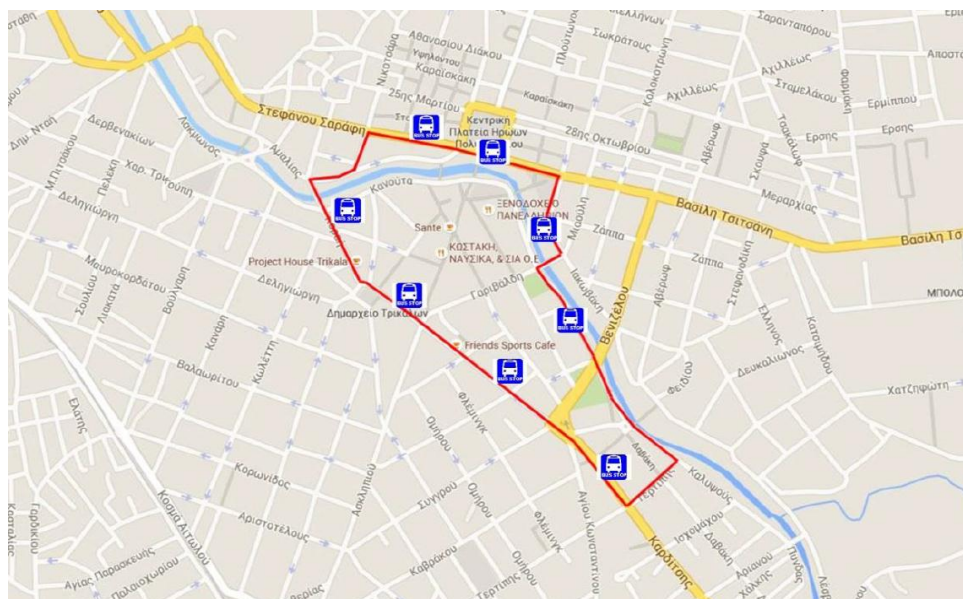
### 3.3 Kaupunkiympäristöt

#### 3.3.1 Trikala, Kreikka

Kreikan Trikalassa robottibussit operoivat aivan kaupungin keskustassa, ja näin palvelivat kaupungin sisäistä liikennettä (Kuva 6). Robottibussit kuljettivat matkustajia kaupungin ydinkeskustan alueella, missä joukkoliikennettä ei ole järjestetty missään muodossa. Joukkoliikenne puuttui alueelta, koska alueella on kielletty raskas ajoneuvoliikenne. Trikalan kaupungin ongelmana olivat suuret ruuhkat sekä kaupungin keskustan alueelle keskittynyt pysäköinti. (Local transport plans reviewed and automated road transport system assessment 2013, 19, 21.)

Taulukko 2. Trikalan kokeilujakso. (CityMobil2 2016, 25).

Trikala, Kreikka	
Kokeilujakson pituus	4 kuukautta
Reitin pituus (suunta)	2,4 km
Robottibussin ajonopeus	10 km/h
Kokeilujakson matkustajamäärä	12 000 matkustajaa
Robottibussien määrä	6 robottibussia
Pysäkkien määrä	8 pysäkkiä



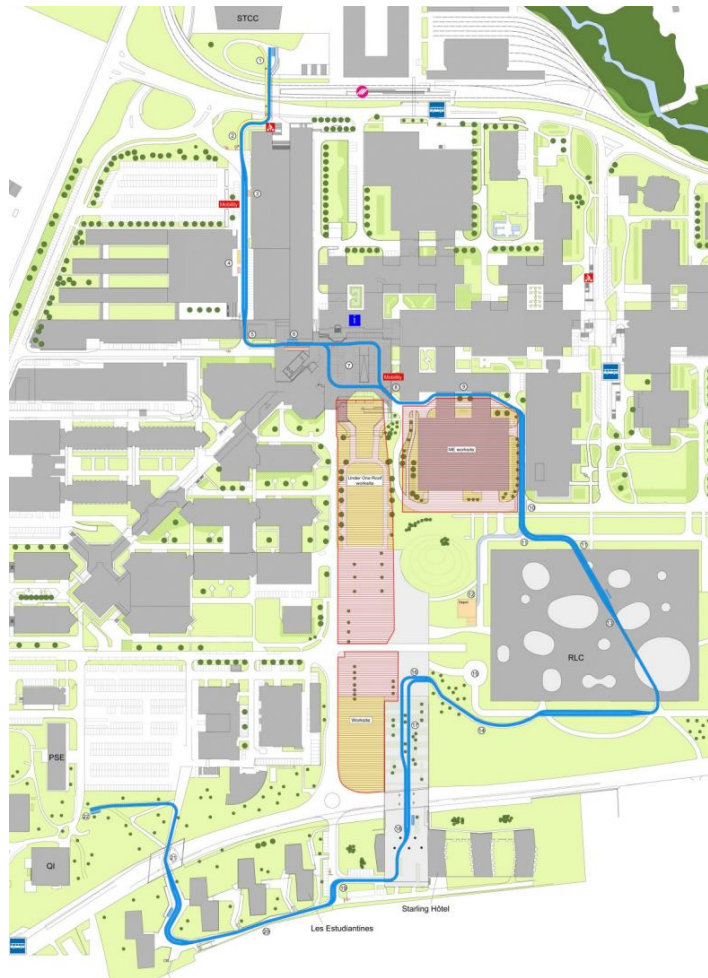
Kuva 6. Automaattisen robottibussin kulkureitti Trikalassa (Raptis 2016, 3).

### 3.3.2 Lausanne, Sveitsi

Sveitsin Lausannessa robottibussit operoivat Lausannen teknillisen yliopiston kampusalueella. Robottibussit suunniteltiin ratkaisemaan kampusalueella vallitsevat ”viimeisen kilometrin” ongelmat. Kampusalueella ajoneuvoliikennettä on rajoitettu eikä paikallinen joukkoliikenne pysty operoimaan alueella. Kampusalueen ongelmana ovat pitkät etäisyydet, ja opiskelijat joutuvat kulkemaan pitkän matkan kampusalueelle lähimmältä joukkoliikenteen asemalta. Robottibussien operoiman kulkureitin suunniteltiin yhdistävän kampusalueen pohjoiset ja eteläiset osat, ja näin helpottavan opiskelijoiden liikkumista kampusalueen sisällä (Kuva 7). (Lausanne West Region city study 2013, 51–52.)

Taulukko 3. Lausannen kokeilujakso. (CityMobil2 2016, 25).

Lausanne, Sveitsi	
Kokeilujakson pituus	6 kuukautta
Reitin pituus (kierrospituus)	1,5 km
Robottibussin ajonopeus	10 km/h
Kokeilujakson matkustajamäärä	7000 matkustajaa
Robottibussien määrä	4 bussia
Pysäkkien määrä	8 pysäkkiä



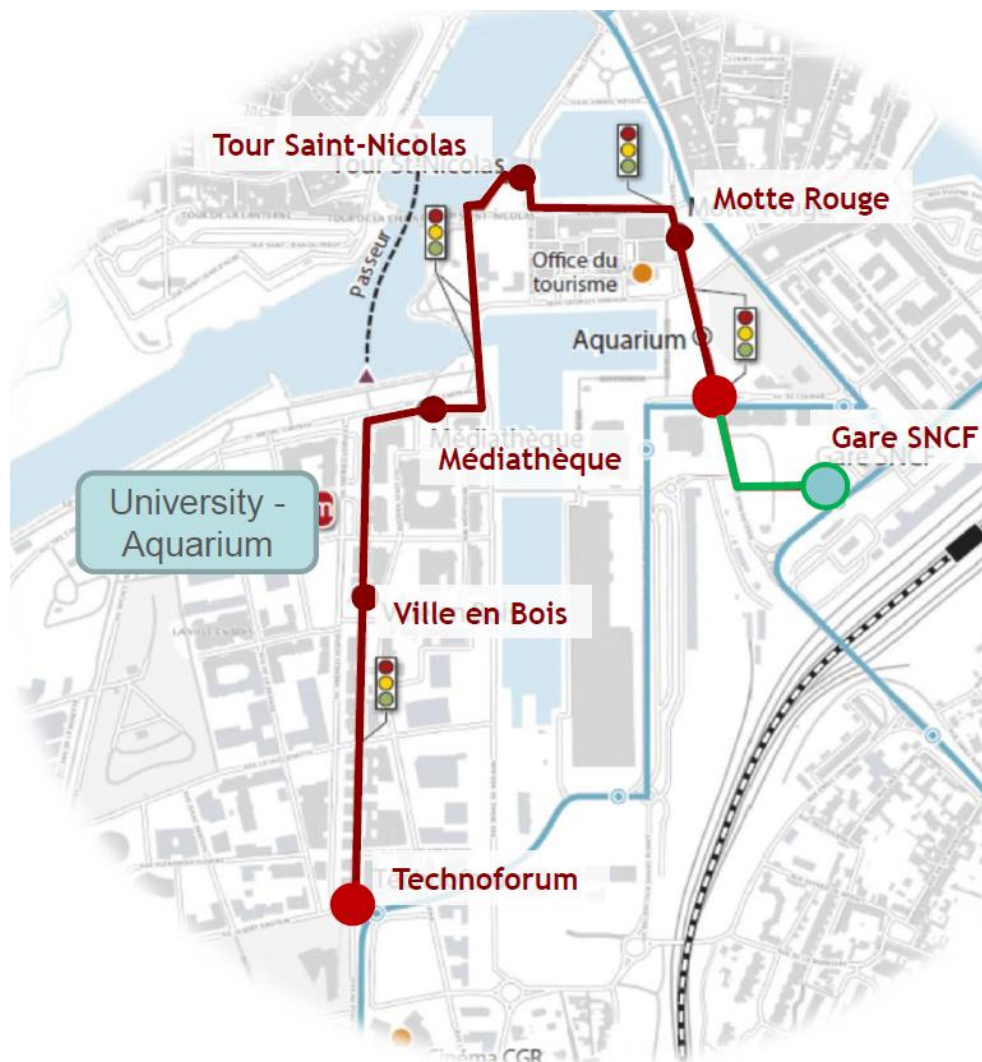
Kuva 7. Automaattisen robottibussin kulkureitti Sveitsin Lausannessa (CityMobil2 2013, 90).

### 3.3.3 La Rochelle, Ranska

Ranskan La Rochellessa robottibussit kulkivat keskellä kaupungin ydinkeskustaa, jossa muu joukkoliikenne ei operoi. Robottibussien kulkureitti suunniteltiin kulkemaan läpi kaupungin keskeisimmät kohteet (Kuva 8). Robottibussin ajoreitti suunniteltiin muun muassa kuljettamaan opiskelijoita kaupungin rautatieasemalta paikallisen yliopiston alueelle. Kulkureitin lähtökohtana oli, että se palvelisi alueella mahdollisimman montaa kohderyhmää kuten turisteja, kaupungin työntekijöitä ja alueen opiskelijoita.

Taulukko 4. La Rochellen kokeilujakso. (CityMobil2 2016, 25).

La Rochelle, Ranska	
Kokeilujakson pituus	5 kuukautta
Reitin pituus (suunta)	1,9 km
Robottibussin ajonopeus	10 km/h
Kokeilujakson matkustajamäärä	15 000 matkustajaa
Robottibussien määrä	6 bussia
Pysäkkien määrä	6 pysäkkiä



Kuva 8. Automaattisen robottibussin kulkureitti Ranskan La Rochellessa (Graindorge 2016, 3).

### 3.4 Liikenteellinen näkökulma

Robottibussien operointi erilaisissa kaupunkiympäristöissä vaatii myös selkeät suunnitelmat siitä, minkälainen rooli automaattisella ajoneuvolla tulee olemaan tieverkolla. Tulisiko robottibussi kulkemaan muusta liikenteestä erotetulla ajoväylällä, kevyen liikenteen väylällä vai muun ajoneuvoliikenteen seassa. CityMobil2- projektin kokeilujaksojen lähtökohtana oli kuitenkin, että robottibussi tulisi kulkemaan yhdistetysti niin kevyen liikenteen väylillä kuin yleisillä katuosuuksilla. Automaattisten ajoneuvojen toiminta yleisellä tieverkolla ajoneuvoliikenteen ja kevyen liikenteen seassa vaatii erilaisia muutoksia liikennejärjestelmään. Jokaisen kokeilujakson tavoite on ollut luoda robottibusseille ja muille tienkäyttäjille mahdollisimman turvallinen liikenneympäristö.

Kokeilujaksojen aikana robottibussit operoivat pääsääntöisesti kevyen liikenteen väyliä pitkin tai automaattisille ajoneuvoille tarkoitettua muusta liikenteestä erotettua ajoväylää pitkin. Ranskassa ja Sveitsissä automaattisten robottibussien ainoat kohtaamiset ajoneuvoliikenteen kanssa olivat ne kohdat, joissa robottibussien kulkureitti ristesii ajoneuvoliikenteen ajoväylän kanssa. Kreikan Trikalassa robottibussit operoivat onnistuneesti myös ajoneuvoliikenteen rinnalla, mutta kulkivat kuitenkin pääsääntöisesti heille tarkoitettua muusta liikenteestä erotettua ajoväylää pitkin.

Alapuolella on listattu liikenteenohjauskeinoja, joiden avulla suuret kokeilujaksot pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman turvallisesti. Jokaiseen kohteeseen tuli luoda liikenteellinen ”poikkeus”-opastus, jossa täytyi ottaa huomioon niin liikenteen toimivuus kuin turvallisuus.

#### 3.4.1 Ajoratamerkinnät

Robottibussien kulkureitti pyritään osoittamaan mahdollisimman hyvin erilaisten ajoratamerkintöjen avulla. Tiemerkitöjä lisättiin erityisesti risteyskohtiin, joissa robottibussien kulkureitti risteäisi ajoneuvoliikenteen kanssa. Ajoratamerkinnät voivat olla joko viivoja tai koko kaistan levyisiä merkintöjä. Ajoratamerkinnät myös usein sisälsivät automaattisten ajoneuvojen merkinnän, jotta muut tienkäyttäjät tietäisivät ajoratamerkintöjen tarkoituksen. (Lausanne West Region city study 2013, 92.)

### 3.4.2 Liikennemerkkit ja varoitusmerkit

Liikennemerkkejä ja robottibussin toiminnasta varoittavia liikennemerkkejä pyrittiin lisäämään robottibussin ajoreitin varrelle. Varoitusmerkkien ensisijainen tavoite oli varoittaa muita tienkäyttäjiä alueella liikkuvista automaattisista ajoneuvoista (Kuva 9). Liikennemerkkejä ja varoitusmerkkejä lisättiin erityisesti risteyskohtiin, joissa robottibussien kulkureitti risteäisi ajoneuvoliikenteen kanssa. Liikennemerkkejä lisättiin myös kevyen liikenteen väylien näkyville paikoille kuten esimerkiksi asemien tai suurten kohtauspaikkojen yhteyteen. Pysäköintikieltomerkkejä sijoiteltiin robottibussien kulkureitin varrelle alueilla, joissa tienvarsipysäköinti oli kiellettyä. Tällöin pystyttiin varmistamaan robottibussin esteetön operointi liikenneverkolla. Pysäköintikiellot olivat tärkeässä roolissa etenkin Kreikan Trikalassa järjestetyssä kokeilujaksossa, jolloin robottibussin ajoreitti kulki myös ajoneuvoliikenteen rinnalla heille osoitetulla erillisellä ajoväylällä. Muun ajoneuvoliikenteen väärinpysäköinti robottibussille tarkoitetulle ajoväylälle olisi aiheuttanut merkittäviä ongelmia robottibussin operoinnin kannalta. (Lausanne West Region city study 2013, 92.)



*Kuva 9. Automaattisesta robottibussista varoittava liikennemerkki Kreikan Trikalassa (Raptis 2016, 7).*



### 3.4.3 Liikennevalot

Liikennevalojen avulla pyrittiin luomaan robottibusseille mahdollisimman turvallinen ympäristö operoida. Liikennevaloja lisättiin paikkoihin, joissa robottibussien kulkureitti risteäisi tai ylittäisi ajoneuvoliikenteen ajoväyliä eli pyrittiin välttämään mahdolliset kohtaamiset robottibussien ja ajoneuvoliikenteen välillä (Kuva 11). Liikennevalojen tavoite oli myös osoittaa robottibussien etuajo-oikeus risteyskohdissa. Tällöin on erityisen tärkeää, että liikennevalot tunnistavat risteysalueelle saapuvan robottibussin. Ranskan La Rochellen kokeilujakson aikana käytetyt liikennevalot olivat samantyyliisiä, mitä käytetään Ranskassa myös raitiovaunuliikenteessä (Kuva 10). R24-liikennevalon tarkoituksena oli ohjata ja varoittaa ajoneuvoliikennettä automaattisesta ajoneuvosta (Kuva 10). R24-liikennevalo muuttuu punaiseksi automaattisesti, kun se havaitsee automaattisen ajoneuvon lähestyvän. R17-liikennevalo sallii kulun automaattiselle ajoneuvolle tienilyksessä. (La Rochelle City Study 2013, 101, 114.)



Kuva 10. Ranskan La Rochellessa käytettyjä liikennevaloja (CityMobil2 2013, 101).



Kuva 11. Ajoneuvoliikenteen ja robottibussin kohtaaminen risteysalueella Ranskan La Rochellessa (CityMobil2 - Final video 2016).

### 3.4.4 Muut järjestelyt liikennejärjestelmässä

Robottibussien kokeilualueelle täytyi tehdä liikenteenohjausmenetelmien ohella myös muita liikenteellisiä järjestelyjä ja muutoksia. Liikenteelliset järjestelyt koostuivat muun muassa robottibussin pysäkkialueiden rakentamisesta sekä kulkureitin varrella olevien pysäköintipaikkojen vähentämisestä. Robottibussille rakennettiin osittain myös uutta ajoväylää ajoneuvoliikenteen viereen, Kreikan Trikalassa järjestetyssä kokeilujaksossa.

Robottibusseille tarkoitettu ajoväylä erotettiin yleensä kevyen liikenteen väylästä erilaisten tolppien tai pollareiden avulla. Automaattisen ajoneuvon ja ajoneuvoliikenteen erottaminen tapahtui esimerkiksi ajoväylälle asetettujen heijastavien ja vilkkuvien valojen avulla (Kuva 12).

Robottibussien operoimalla alueella vähennettiin myös ajoneuvoliikenteen käytössä olevien pysäköintipaikkojen määrää. Tämä ilmeni erityisesti alueilla, joilla robottibussien kulkureitti kulkisi. Robottibussien kulkureitin varrella pysäköinti oli ehdottomasti kielletty, jotta pystyttäisiin varmistamaan robottibussien esteetön operointi. Kevyen liikenteen väylien sisään-tulojen kohdille asennettiin automaattisia puomeja tai maasta nousevia ”pollareita”, jotka estivät muun ajoneuvoliikenteen kulun robottibussien ajoväylällä silloin kun automaattiset robottibussit eivät kulkeneet reitillä. (Holguin & Stam 2016.)



*Kuva 12. Automaattisen ja muun ajoneuvoliikenteen erottaminen Kreikan Trikalan kokeilujakson aikana (Raptis 2016, 5).*

### 3.5 Suurten kokeilujaksojen kokemukset ja tulokset

Jokainen laajamittainen kokeilujakso oli menestys niin saatujen tulosten kuin yleisen palautteen muodossa. Robottibussit operoivat onnistuneesti liikenneverkolla niin kevyen liikenteen kuin ajoneuvoliikenteen rinnalla. Kokeilujaksot antoivat viitteitä siitä, että robottibussit pystyvät operoimaan turvallisesti liikenneverkolla, jossa on myös muita tienkäyttäjiä. Kokeilujaksojen aikana ei tapahtunut ainuttakaan robottibusseista aiheutunutta onnettomuutta.

Suurimmat ongelmat kokeilujaksojen aikana liittyivät pääsääntöisesti robottibussien tekniikkaan. Kokeilujaksojen aikana tapahtui myös yksi vaaratilanne Kreikan Trikalassa, jolloin robottibussiin iski tekninen vika, jonka johdosta robottibussi poikkesi ajoreitiltään (Kuva 13). Turvalaitteistot saivat kuitenkin pysäytettyä ajoneuvon ennen mahdollista onnettomuutta. (CityMobil2 Newsletter 2016, n.7,1.) Kokeilualueilla vallitseva lämmin ilmasto oli myös yksi ongelmatekijä. Lämmin ilmasto aiheutti ongelmia robottibussien ilmastoinnissa sekä teki ajoväylästä pölyisen. Pöly vaikeutti robottibussin antureiden toimintaa ja kuuma ilmasto vähensi myös sähköisten akkujen kestoja. Robottibussin antureiden toiminnalle haasteita aiheuttivat myös rankat sade- ja raekuurot, jolloin robottibussin anturit tunnistivat nämä mahdollisena esteenä. Liikenteellisestä näkökulmasta tarkasteltuna käynnissä olevat tietyömaat, logistiset kuljetukset ja väärinpysäköidyt ajoneuvot aiheuttivat haasteita sekä vaativat erityistä huomiota kokeilujaksojen aikana. (CityMobil2 Newsletter 2015, n.5,1.)

Robottibussien käyttäjäkokemukset olivat hyvin positiivisia, ja robottibussit herättivät paljon kiinnostusta kansan keskuudessa. Kansalaiset pitivät tärkeänä, että he saivat ennakkoon mahdollisimman paljon tietoa alueella tapahtuvasta kokeilujaksosta sekä itse robottibussista. Vaikka robottibussien turvallisuus oli kokeilujen aikana hyvällä tasolla, matkustajat pitivät kuitenkin tärkeänä, että robottibussissa oli myös kydyssä ”operaattori” eli ajoneuvon toiminnanvalvoja. Tätä pidettiin myös yleisesti hyvin tärkeänä osana onnistunutta kokeilujaksoa, koska operaattori lisäsi matkustajien turvallisuuden tunnetta. Kaupungeissa useimmat käyttäjät käyttivät robottibusseja pääsääntöisesti niiden kokeiluun eivätkä jokapäiväiseen liikuttamiseen. (McDonald & Alessandrini 2016; Experience and recommendations 2016, 24.)



Yleinen mielipide oli myös se, että kevyen liikenteen ja robottibussien välisiä kohtaamisia saadaan turvallisemmiksi, kun robottibussien kulkureitti väylällä merkitään selkeillä ja yksinkertaisilla ajoratamerkinnöillä. Ajoratamerkintöjen ja muiden liikenteenohjausmenetelmien avulla voidaan helposti antaa muille tienkäyttäjille tieto siitä, että tietty ajoväylä tai osa siitä on robottibussin käytössä. Tällöin muiden tienkäyttäjien kuten kevyen liikenteen ja muun ajoneuvoliikenteen on helpompi tiedostaa ja ennakoida robottibussin kulkua. Robottibusseista pystytään tekemään houkuttelevampi joukkoliikennepalvelu sen käyttäjille nostamalla yksinkertaisesti robottibussin ajonopeutta. Robottibussista täytyy kuitenkin ensin tulla vähintään yhtä turvallinen kuin normaali ajoneuvo, jotta ajonopeutta pystytään nostamaan. (CityMobil2 Newsletter 2016, n.8, 6; Experience and recommendations 2016, 29.)



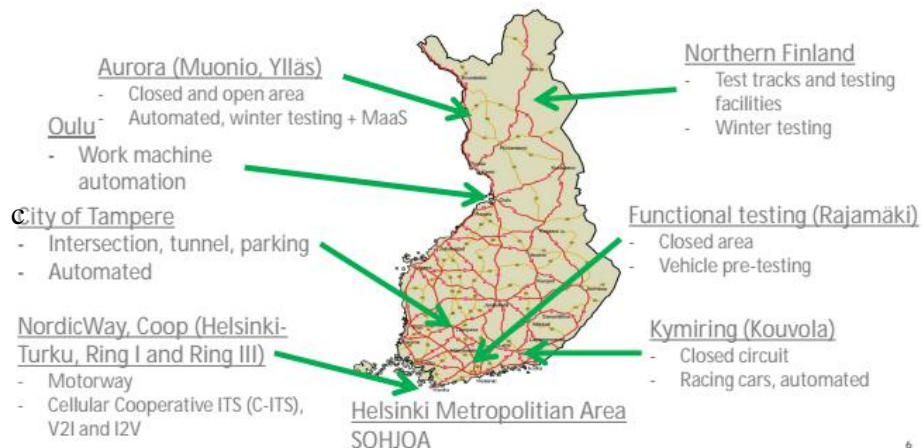
*Kuva 13. Kreikan Trikalassa tapahtunut vaaratilanne, jolloin automaattinen robottibussi poikkesi ajoreitiltään (Raptis 2016, 9).*

## 4 TIELIIKENTEEN AUTOMAATIO SUOMESSA

Suomessa on jo pitkään seurattu tieliikenteen automaation kehitystä. Suomessa on laadittu Liikenneviraston toimesta selvitys ”*Tieliikenteen automatisoinnin etenemissuunnitelma ja toimenpideohjelma 2016–2020*” vuonna 2016. Selvityksen tavoitteena on kartoittaa toimenpiteitä, joiden avulla tieliikenteen automaatio voitaisiin toteuttaa Suomessa.

Suomessa tieliikenteen automaation kehittämistä on perusteltu sen markkinapotentiaalin kuin liikenteenturvallisuuden parantumisen näkökulmasta. Suomessa on ollut paljon kiinnostusta toteuttaa erilaisia tieliikenteen automaatioon liittyviä kokeiluja (Kuva 14). Tieliikenteen automaatio tulee perustumaan jatkuvasti kehittyvään ajoneuvoteknologiaan, joka tulee mahdollistamaan tulevaisuudessa jopa täysin autonomiset ajoneuvot. Viime vuosien aikana ajoneuvoteknologia on ottanut suuria askelia eteenpäin erityisesti ajoneuvon ajamiseen liittyvissä tukijärjestelmissä kuten ajoympäristön havainnoinnissa.

Liikenteen turvallisuusvirasto ja Liikennevirasto mahdollistivat automaattisten ajoneuvojen testausten Suomen liikenneverkolla osana ajoneuvoliikennettä vuonna 2015. Ajoneuvojen automaation liittyvät kokeilut ovat perustuneet viime vuosien aikana suljetuille alueille, mutta uudistuksen myötä automaattiset ajoneuvot voidaan tuoda järkevin askelin myös avoimeen liikenneympäristöön. Uudistus luo mahdollisuuksia kokeilla automaattisia ajoneuvoja erilaisissa liikenneympäristöissä. Automaattisten ajoneuvojen merkittävämpiä kokeiluja Suomessa ovat olleet automaattisten joukkoliikennepalveluiden eli robottibussien kokeilujaksot. Suomi oli osana CityMobil2-projektia vuonna 2015, jolloin automaattiset robottibussit operoivat asuntomessujen yhteydessä Vantaalla. Robottibussien testaus jatkui vuonna 2016, jolloin robottibusseja kokeiltiin kolmessa erilaisessa kaupunkiympäristössä Sohjoa-hankkeen yhteydessä. Suomi on kokenut tieliikenteen automaation mahdollisuutena, ja Suomessa pyritäänkin edistämään tieliikenteen automaatiota erilaisin testi- ja kokeiluympäristöjen avulla. Suomen lainsäädäntöä voidaan myös katsoa hyvin mahdollistavaksi.



Kuva 14. Automaation perustuvia kokeiluja Suomessa (Kotilainen 2016).

## 4.1 Tieliikenteenlainsäädäntö Suomessa

Suomessa on haluttu olla lainsäädännön suhteen edelläkävijä, ja Suomen lainsäädäntöä voidaankin sanoa hyvin kokeiluja mahdollistavaksi. Verratuna moniin muihin valtioihin, Suomessa on jo pystytty toteuttamaan viime vuosien aikana tieliikenteen automaatioon liittyviä kokeiluja laajalla rintamalla.

Suomen tieliikennelaki perustuu ajatukselle, että ajoneuvosta vastaava kuljettaja on ihminen. Laki ei kuitenkaan ole määrittänyt käsitettä ajoneuvon kuljettaja, joka tarkoittaa sitä, että kuljettajan ei välttämättä tarvitse olla fyysisesti ajoneuvon sisällä. Tämä mahdollistaa sen, että ajoneuvo voi periaatteessa kulkea tieverkolla ilman läsnä olevaa kuljettajaa. Lainsäädännön näkökulmasta katsottuna Suomessa on siis mahdollista järjestää suuriakin automaattisten ajoneuvojen kokeilujaksoja tieliikenneverkolla. (Lumiaho & Malin 2016, 42 – 43.)

Suomen tieliikennelainsäädäntöön on myös lisätty vuoden 2016 aikana Wienin tieliikennesopimuksen määräykset. Nämä määräykset sallivat automaattiset kuljettajaa avustavien laitteiden käytön ajoneuvoissa. Määräysten tavoitteena on kehittää ja kokeilla konkreettisesti erilaisia teknisiä ratkaisuja, jotka voisivat edesauttaa tieliikenteen automaation kehitystä tulevaisuudessa. Määräykset eivät kuitenkaan vaikuta kuljettajan vastuun perusteisiin, ja muutoksilla ei ole vaikutuksia Suomen tieliikennelainsäädäntöön. (LVM 2016.)

### 4.1.1 Automaattisen ajoneuvon kuljettaja ja ajoneuvo

Ajoneuvon kuljettajan rooli on vahvassa murrosvaiheessa, ja tulevaisuudessa kuljettajan rooli tulee muuttumaan ajoneuvon hallitsijasta ajoneuvon toiminnan tarkkailijaksi. Automaattiset ajoneuvot voivat olla myös teknisesti hyvin monimutkaisia, ja tulevaisuudessa voi tulla esimerkiksi ajan-kohtaiseksi miettiä omaa ajokorttiluokkaa automaattisten ajoneuvon käyttäjälle.

Sillanpään (2016) mukaan automaattisen ajoneuvon kuljettajalla tulee edelleen olla voimassa oleva ajo-oikeus sekä tarvittava ammattipätevyys. Kuljettajan ei kuitenkaan tarvitse olla itse läsnä ajoneuvossa. Kuljettaja on ensisijaisesti myös vastuussa ajoneuvon toiminnasta. Automaattisen ajoneuvon käsite muuttuu fyysisestä laitteesta tekniseksi järjestelmäksi. Automaattisella ajoneuvolla tulee olla tyyppihyväksyntä, koenumerotodistus ja vakuutus.

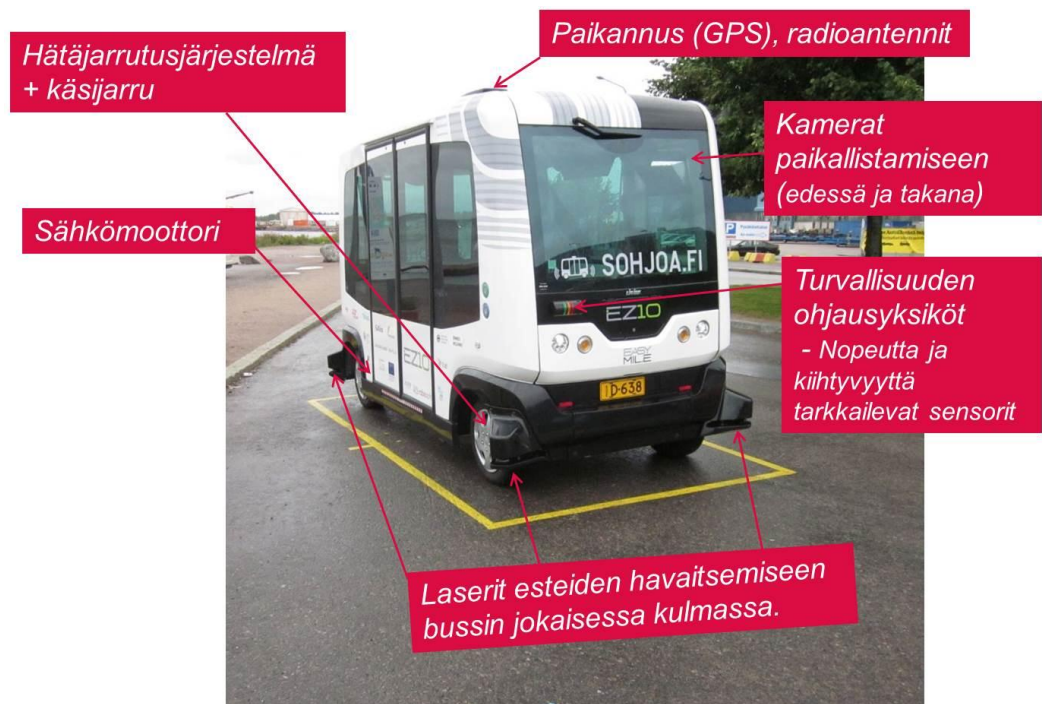
## 5 ROBOTIBUSSIEN TOIMINTA

### 5.1 Robottibussin teknologia

Sohjoa-hankkeen kokeilujaksoissa käytettiin Ligierin valmistamaa EasyMile (EZ10) robottibussia. Robottibussilla on pituutta noin 4 metriä ja leveyttä 2 metriä. EasyMile (EZ10) toiminta perustuu sähkömoottoriin ja siinä käytettävään (LiFePo4) litium akkuun. Akun toimintamatra on yleisesti 10–12 tunnin välillä, riippuen ympäristöstä ja olosuhteista. (Santamala 2016.)

Robottibussin toiminta perustuu jonkun tietyn reitin tai matkan opetteluun. Reitin opettaminen tarkoittaa lähtökohtaisesti sitä, että robottibussille täytyy opettaa kulkemaan jokin tietty reitti ennen kuin se pystyy operoimaan sitä itsenäisesti. Reitin opettelun jälkeen robottibussi pystyy kulkemaan sille määritettyä reittiä pitkin täysin automaattisesti. Voidaan jopa puhua, että robottibussi kulkee niin sanottuja ”sähköisiä raiteita” pitkin.

Santamalan (2016) mukaan robottibussin katolla olevan GPS:n ja neljässä tasossa kulkevan laserin avulla robottibussi pystyy paikallistamaan sijaintinsa määritellyllä reitillä. Robottibussin havainnointi ympärillä olevaan ympäristöön tapahtuu bussin jokaisessa kulmassa olevien lasereiden avulla. Näiden lasereiden pääsääntöisenä tehtävänä on havainnoida ympärillä olevia esteitä. Neljän laserin yhteenlaskettu toimintasäde on 360 astetta, joten laserit pystyvät tunnistamaan niin robottibussin ohitse kulkevia tai edestä kulkevia, noin 40 metrin matkalta. Robottibussi reagoi esteisiin ensisijaisesti silloin, kun jokin este on sille määritetyllä kulkureitillä. Robottibussi reagoi aluksi hiljentämällä ja loppujen lopuksi pysähtymällä, mikäli este on vieläkin reitillä. Turvaetäisyys on 1,2 metriä, jolloin robottibussi pysähtyy välittömästi.



Kuva 15. Robottibussin tekniikkaa (tiedot: Santamala 2016 ja kuva: Pikkarainen 2016).

## 5.2 Robottibussien toiminta-alue

Santamalan (2016) mukaan automaattisten robottibussien potentiaali joukkoliikennepalveluna perustuu ensimmäisen- ja viimeisen kilometrin kuljetuksiin. Robottibusseja ei ole suunniteltu kulkemaan pitkiä joukkoliikennereittejä vaan näiden pienbussien potentiaali kiteytyy lyhyiden välimatkojen operointiin. Robottibussit olisivat oiva palvelukonsepti etenkin kaupungin sisäiseen liikenteeseen. Viimeisen kilometrin kuljetuspalvelu voisi käytännössä tarkoittaa joukkoliikennepalvelua, joka kuljettaisi esimerkiksi matkustajia juna-asemalta kaupungin keskeisiin kohteisiin. Palvelua voitaisiin hyödyntää myös syöttöliikenteen muodossa, jolloin robottibussit kuljettaisivat matkustajia ympäröiviltä alueilta runkolinjayhteyksien läheisyyteen. Robottibussit voisivat olla käytännöllinen vaihtoehto alueelle, johon muu joukkoliikennepalvelu olisi vaikeasti järjestettävissä.

## 5.3 Robottibussien tarkoitus ja tavoite

Robottibussien tarkoituksena on vähentää yksityisautoilua etenkin kaupunkialueilla. Robottibussien avulla pyritään myös kehittämään kustannustehokas liikkumismuoto kaupungin sisäisen liikenteen toteuttamiseen. Robottibussien avulla säästetään myös ympäristöä, koska bussien toiminta perustuu sähköllä ladattaviin akkuihin. Tavoitteena on tehdä joukkoliikenteestä robottibussien avulla tehokkaampi sekä houkuttelevampi vaihtoehto sen käyttäjälle. (Santamala 2016.)

Tärkeää on, että robottibussi pystytään integroimaan muun joukkoliikenteen yhteyteen, ja näin luomaan palvelusta sujuva ja luonteva osa matkustajan matkaketjua. Robottibusseilla matkustaminen tulee olla myös mahdollisimman turvallista sekä ajoneuvotekniikan osalta luotettavaa, jotta siitä pystyttäisiin luomaan toimiva ja turvallinen joukkoliikennepalvelu. Tavoitteena on myös tieliikenteen turvallisuuden parantaminen, kun robottibussien toiminta saadaan kokeilujaksojen sekä kokemusten avulla vaaditulle tasolle. Pilli- Sihvola ym. (2015, 15) mukaan automaattisilla ajoneuvoilla pyritään vähentämään nimenomaan kuljettajan inhimillisestä virheestä johtuvia vaaratilanteita sekä onnettomuuksia. Toisaalta robottibussien tekniikka luo myös todennäköisesti uusia vaara- ja onnettomuustilanteita esimerkiksi antureiden ja ohjelmistojen vikatilanteissa.

---

## 5.4 Robottibussien potentiaali ja haasteet

### 5.4.1 Potentiaali

Robottibussien etuja ovat sen kustannus- ja energiatehokkuus verrattuna esimerkiksi linja-autoliikenteeseen. Robottibussien palveluita voidaan hyödyntää myös hyvin vaikeasti saavutettavissa kohteissa, joten robottibussien luomaa palvelua voidaan pitää hyvin joustavana. (Santamala 2016.) Robottibussien potentiaali perustuu myös sen käytännöllisyyteen, esimerkiksi kaupunkiseuduilla robottibussin kulkureitin voisi muodostaa yhdistelemällä kevyen kuin ajoneuvoliikenteen väyliä hyödyntäen. Tämä voisi tuoda uusia mahdollisuuksia joukkoliikennepalveluiden toteuttamiseen.

### 5.4.2 Haasteet

Robottibussien kehitys on vasta alkuvaiheessa, joten ongelmia pystytään parhaiten ratkaisemaan sekä havainnoimaan tekemällä robottibussien testiajoja erilaisissa liikenneympäristöissä. Tällä hetkellä kuitenkin näyttää siltä, että robottibussien kohtaamat ongelmat liittyvät keskeisesti robottibussin ajoneuvotekniikkaan. Esimerkiksi robottibussien kokovuotista opeointia voidaan pitää ongelmallisena, koska robottibussia ei ole vielä kehitetty talvisissa olosuhteissa. Suomessa lumen ja jään oletetaan tuovan haasteita ainakin akun kestävyys ja robottibussin paikallistamiseen sekä esteiden tunnistukseen liittyvissä tapauksissa. Robottibussien toimintaa erilaisissa sääolosuhteissa voidaan pitää pienenä kysymysmerkkinä, mutta aikaisempien kokeilujaksojen perusteella rankat sadepäivät sekä kuuma ilmasto ovat luoneet haasteita robottibussin toiminnalle. (CityMobil2 Newsletter 2015, n.5-6, 1.)

Robottibussien liikennekäyttäytyminen on hieman rajoittunutta, koska se perustuu vahvasti esteiden tunnistamiseen sekä tällä hetkellä jo ennalta ohjelmoidun ajoreitin kulkemiseen. Tämä voi aiheuttaa ongelmia erityisesti normaalista poikkeavista liikennetilanteista. Normaalista tilanteesta poikkeavia tilanteita voivat olla väärinpysäköidyt ajoneuvot, tietyömaat, logistiset kuljetukset tai hälytysajoneuvot. (CityMobil2 Newsletter 2015, n.5, 1.) ”Yleinen automaattisten ajoneuvojen haaste on saada ajoneuvon tilan tietoisuus sille tasolle, että pystyttäisiin olemaan varmoja sen kyvystä havaita sekä reagoida oikein kaikkiin liikenneympäristössä tapahtuviin tilanteisiin” (Innamaa ym. 2015, 68). Haasteena on myös se, että miten muut tienkäyttäjät kuten ajoneuvoliikenne tai kevyt liikenne sopeutuvat liikenteessä liikkuviin robottibusseihin. Tulevien vuosien aikana robottibussin ajonopeus tulisi myös saada samalle tasolle muun ajoneuvoliikenteen kanssa, mikäli robottibussi operoisi ajoneuvoliikenteen seassa.



## 6 ROBOTIBUSSIEN KOKEILUJAKSOT SUOMESSA

Liikenteen turvallisuusviraston (Trafin) ja Liikenneviraston myöntämä uudistus kokeilla automaattiajoneuvoja osana tieliikennettä avasi mahdollisuuden suomalaisille yrityksille ja toimijoille tuoda automaattisia ajoneuvoja asteittain osaksi yleistä liikenneverkkoa. (Santamala 2016.) Robottibussien kokeilujakso Vantaan Kivistössä vuonna 2015, antoi hyvät lähtökohdat kokeilla robottibusseja avoimessa liikenneympäristössä ajoneuvoliikenteen seassa Sohjoa-hankkeen yhteydessä vuonna 2016.

### 6.1 CityMobil2- projekti - Vantaan kokeilujakso (2015)

Suomi oli osana CityMobil2- projektia vuonna 2015, jolloin robottibussit saapuivat Vantaalle. Kyseessä oli pienimuotoinen kokeilujakso, jolloin robottibussit operoivat vuoden 2015 asuntomessujen yhteydessä. Kyseinen kokeilujakso on merkittävin Suomessa järjestetty automaattisten ajoneuvojen kokeilu. Kokeilujakso kesti kaksi kuukautta, jonka aikana robottibussit kuljettivat noin 19 000 matkustajaa asuntomessujen yhteydessä. Kulkureitin pituus oli yksi kilometri ja se muodostui Kivistön rautatieaseman ja asuntomessujen pääsisäänkäynnin välille. Robottibussit operoivat muulta liikenteeltä suljetulla kevyen liikenteen väylällä noin 13 km/h ajonopeudella. (Lumiaho & Malin 2016, 28.)

*Taulukko 5. Vantaan kokeilujakso (CityMobil2 2016, 25).*

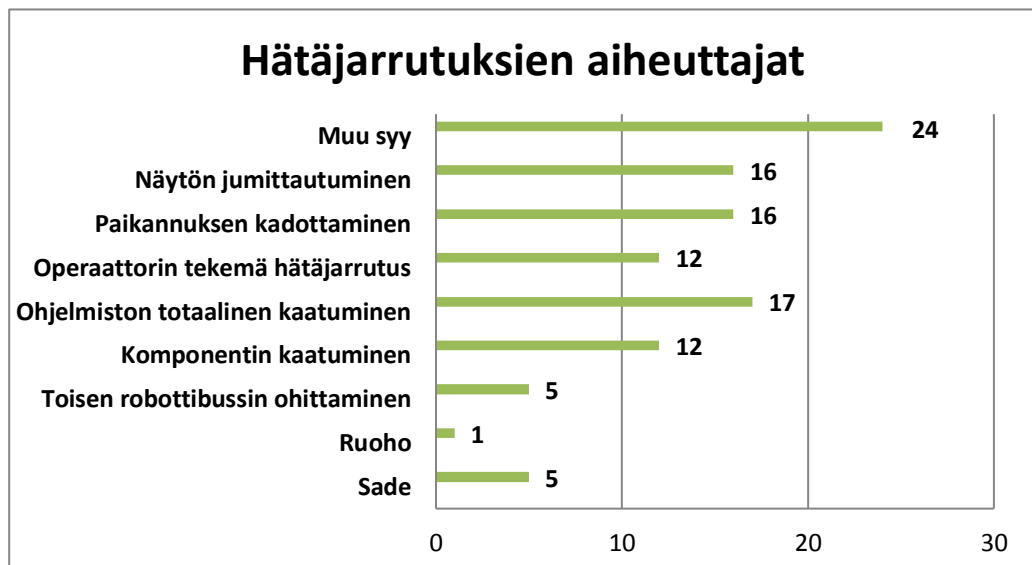
Vantaa	
Kokeilujakson pituus	2 kuukautta
Reitin pituus (suunta)	0,9 km
Robottibussin ajonopeus	13 km/h
Kokeilujakson matkustajamäärä	19 000 matkustajaa
Robottibussien määrä	4 bussia
Pysäkkien määrä	2 pysäkkiä



*Kuva 16. Robottibussit Vantaalla 2015 (Koskela 2016, 7).*

Koskelan (2016) mukaan robottibussit saivat positiivisen vastaanoton, ja kulkureitti muodosti luontevan jatkon alueen muun joukkoliikenteen yhteyteen. Kokeilujakso oli myös onnistunut turvallisuuden näkökulmasta. Kokeilujakson aikana ei tapahtunut ainuttakaan onnettomuutta tai vaaratilannetta. Robottibusseissa havaittiin kuitenkin jonkin verran teknisiä ongelmia, ja robottibussi joutui tekemään hätäpysähdyksen yhteensä noin 50 kertaa kokeilujakson aikana. Syitä hätäpysäytyksille oli useita, mutta pääosa näistä liittyi itse robottibussin tekniikkaan kuin todellisiin vaaratilanteisiin (Taulukko 6).

Taulukko 6. Vantaan kokeilujakso - Hätäjarrutuksien aiheuttajat (Koskela 2016,10).



## 6.2 Sohjoa-hanke (2016)

Sohjoa-hanke on osa 6Aika- kaupunkien Euroopan aluekehitysrahaston tukemaa hankekokonaisuutta. Automaattijoneuvojen toimintaa on tarkoitus testata suomalaisissa olosuhteissa osana Liikenneviraston ja Trafain rahoittamaa NordicWay -hanketta. Sohjoa-hanke on kaksivuotinen (2016 - 2018) hankekokonaisuus, jonka tarkoituksena on luoda yrityksille avoin pilottialusta. Pilottialustan tarkoituksena on, että yritykset voivat osallistua robottibussien tuottaman palvelun kehittämiseen kokeilujen yhteydessä järjestettävissä työpajoissa. (Sohjoa 2016.)

Hankkeen tavoitteena on testata robottibusseja erilaisissa kaupunkimaisissa liikenneympäristöissä sekä testata robottibusseja ajoneuvoliikenteen seassa. Robottibussien avulla yritetään myös löytää ratkaisuja kaupungin sisäisen liikenteen haasteisiin. Sohjoa (2016) mukaan hanke koostui kolmesta eri liikenneympäristöön järjestetystä kokeilusta, jotka sijoittuvat Helsingin Hernesaareen, Espoon Otaniemeen ja Tampereen Hervantaan vuoden 2016 aikana. Tarkoituksena oli kerätä mahdollisimman paljon kokemusta robottibussien toiminnasta sekä osaltaan valmistautua uudentyyppisiin liikenteen palveluihin sekä tieliikenteen automaatioon.



---

Kokeilujaksot perustuivat myös kolmen erilaisen kaupunkiympäristön kokeiluun. Tämän taustalla oli tavoite kerätä mahdollisimman paljon tietoa robottibussien toiminnasta erilaisissa liikenneympäristöissä. Jokainen kokeiluympäristö oli tarkkaan valittu, joten jokaisella kohteella oli myös selkeä palvelutarve tämänkaltaiselle joukkoliikennepalvelulle. Tavoitteena oli, että robottibussien testiympäristö tuottaisi mahdollisimman vähän haittaa muulle ajoneuvoliikenteelle. Jokainen kokeilujakso kesti noin kuukauden, jonka jälkeen robottibussit siirtyivät seuraavaan kohteeseen. Robottibussit operoivat ajoneuvoliikenteen seassa Helsingin- ja Espoon kokeilujaksoissa sekä kevyen liikenteen väylällä Tampereen kokeilujaksossa.

Robottibussien ajonopeus kokeilujaksojen aikana oli noin 10–15 km/h. Robottibussin ajonopeus oli samaa luokkaa verrattuna robottibussien aikaisempiin kokeilujaksoihin Euroopassa. Alhainen ajonopeus johtui pääosin siitä, että kokeilujaksot pyrittiin pitämään mahdollisimman turvallisinakin niin robottibusseissa matkustaville ihmiselle kuin ympärillä liikkuville muille tienkäyttäjille. Alhaista ajonopeutta voidaan perustella myös sillä, että Sohjoa-hankkeen yhteydessä robottibussin asema liikennejärjestelmässä olisi ajoneuvoliikenteen seassa. Alhainen ajonopeus mahdollisti paremman mahdollisuuden ennakoita liikennöinnin aikana tapahtuviin vaaratilanteisiin. Jokaiseen kohteeseen täytyi myös suunnitella erilaisia liikennejärjestelmällisiä muutoksia, jotta automaattisten robottibussien operointi alueella olisi mahdollisimman sujuvaa sekä turvallista. Kohteisiin luotiin liikennejärjestelyiden osalta poikkeusopastus, joka sisälsi erilaisten liikenteenohjausmenetelmien toteuttamista alueella missä robottibussit operoivat. Liikenteenohjausmenetelmien avulla pyrittiin luomaan robottibusseille etuajo-oikeus liikenneverkolle. Liikenteenohjausmenetelmät muodostuivat liikenteenohjauslaitteista eli liikennemerkeistä, liikennevaloista ja ajoratamerkinnoista. Muutokset liikennejärjestelmässä olivat ensisijaisesti tarkoitettu takaamaan alueen liikenneturvallisuus robottibussin toiminnan aikana, koska robottibussit eivät kykene väistämään muuta liikennettä liikennesääntöjen mukaan.

## 6.2.1 Helsinki, Hernesaari

Helsingin Hernesaari oli ensimmäinen etappi, johon robottibussit saapuivat Sohjoa-hankkeen yhteydessä syyskuussa 2016. Kyseessä oli ensimmäinen Suomessa järjestettävä robottibussien testiajo ajoneuvoliikenteen seassa. Kokeilualue sijaitsi Hernesaaren kansainvälisellä satama-alueella (Kuva 17). Hernesaaren alue on suurilta osin teollisuusaluetta, mutta viime vuosien aikana sinne on rakennettu turistien suosima Hernesaaren ravintola ja festivaalialue. Hernesaarella järjestettävässä kokeilujaksossa oli tarkoituksena muodostaa robottibusseista hyödyllinen kulkumuoto etenkin alueella vieraileville turisteille.



Kuva 17. Hernesaarella ajettu reitti (Sohjoa 2016).

Robottibussit olivat Hernesaarella 25.7 - 16.9.2015 välisenä aikana, josta robottibussi liikennöi aikataulullisesti noin kolmen viikon ajan. Robottibussit kulkivat ennalta määriteltä kulkureittiä pitkin ajoneuvoliikenteen seassa. Reitin pituus oli noin 0,6 kilometriä. Robottibussit kohtasivat myös matkan varrella kevyen liikenteen käyttäjiä, kulkureitin kulkiessa läpi myös muutaman tienylittävän suojatien. Kokeilualueelle suunniteltiin ylimääräisiä liikennejärjestelyjä eli poikkeus-opastus, jonka tarkoituksena oli luoda robottibusseille etuajo-oikeus. Tieosuuden nopeusrajoitusta laskettiin 30 km/h, ja tienvarsipysäköinti kiellettiin useasta kohtaa kulkureittiä. Alueelle lisättiin myös neljät liikennevalot, joita robottibussin kyydissä oleva operaattori operoi matkan aikana. Liikennevaloja sijoiteltiin kohtiin, joissa robottibussin ja ajoneuvoliikenteen välille syntyy konfliktitilanne eli esimerkiksi robottibussin tehdessä U-käännöksen (Kuva 19). Reitin varrelle lisättiin myös liikennemerkkejä, jotka varoittivat alueella liikkuvista

robottibusseista. Liikennemerkkit sijoitettiin kulkureitin molempien sisään-  
tulojen kohdille.

Kokeilujaksoa voidaan pitää onnistuneena, koska vaara- ja onnettomuusti-  
lanteet pystyttiin välttämään. Liikenteellisestä näkökulmasta ongelmia  
tuottivat robottibussin ja ajoneuvoliikenteen välinen ajonopeuden ero, jo-  
ten robottibussi pyrittiin ohittamaan heti mahdollisuuden tullen. Ohitusti-  
lanteet aiheuttivat myös ongelmia robottibussin liikennöinnin sujuvuuteen.  
Ohittava ajoneuvo palasi useasti liian nopeasti omalle kaistalleen, jolloin  
robottibussi havaitsi ohittavan ajoneuvon useasti esteenä. Ongelmia ai-  
heuttivat myös ajoneuvojen väärinpysäköinti sekä liikennevalojen noudat-  
tamattomuus. (Haikonen 2016.)



*Kuva 18. Robottibussi Hernesaarella (Pikkarainen 2016).*



*Kuva 19. Robottibussi vaihtamassa kulkusuuntaa, jolloin liikennevalot pysäyttä-  
vät ajoneuvoliikenteen molemmista suunnista (Pikkarainen 2016).*

## 7 ROBOTIBUSSIEN KOKEILUJAKSO ESPOON OTANIEMESSÄ

### 7.1 Kehittämistyön tavoite ja tarkoitus

Opinnäytetyön päätarkoituksena oli tutkia yksityiskohtaisesti robottibussien toimintaa ja vaikutuksia Espoon Otaniemessä järjestettävässä kokeilujaksossa. Työn toimeksiantajan eli Espoon kaupungin haluna oli tutkia robottibussien toimintaa ja vaikutuksia etenkin liikenteellisestä näkökulmasta. Espoon Otaniemessä järjestettävässä kokeilujaksossa robottibussit liikkuvat muun liikenteen seassa. Pää tavoitteena oli tutkia robottibussien vaikutusta muuhun liikenteeseen sekä tutkia mitä automaattiajoneuvon tuleminen kaupunkiympäristöön vaatii liikenteenohjauksen ja liikenneturvallisuuden näkökulmasta. Tarkastelun alla oli myös liikennekäyttäytyminen muiden tienkäyttäjien osalta, kun alueelle toteutettiin liikenteen poikkeus-opastus.

Tutkimuskysymysten pääpaino liittyi olennaisesti robottibussien liikenteelliseen toimintakyvyn arvioimiseen liikenneverkolla muiden tienkäyttäjien seassa.

#### Liikenteellisestä näkökulmasta

- *Miten robottibussi soveltuu muun liikenteen joukkoon?*
- *Miten robottibusseihin reagoidaan eri kulkumuotojen osalta?*
- *Syntykö konflikti- tai vaaratilanteita?*
- *Syntykö ohitustilanteita?*
- *Poikkeavat liikennetilanteet*

#### Liikennejärjestelmän näkökulmasta

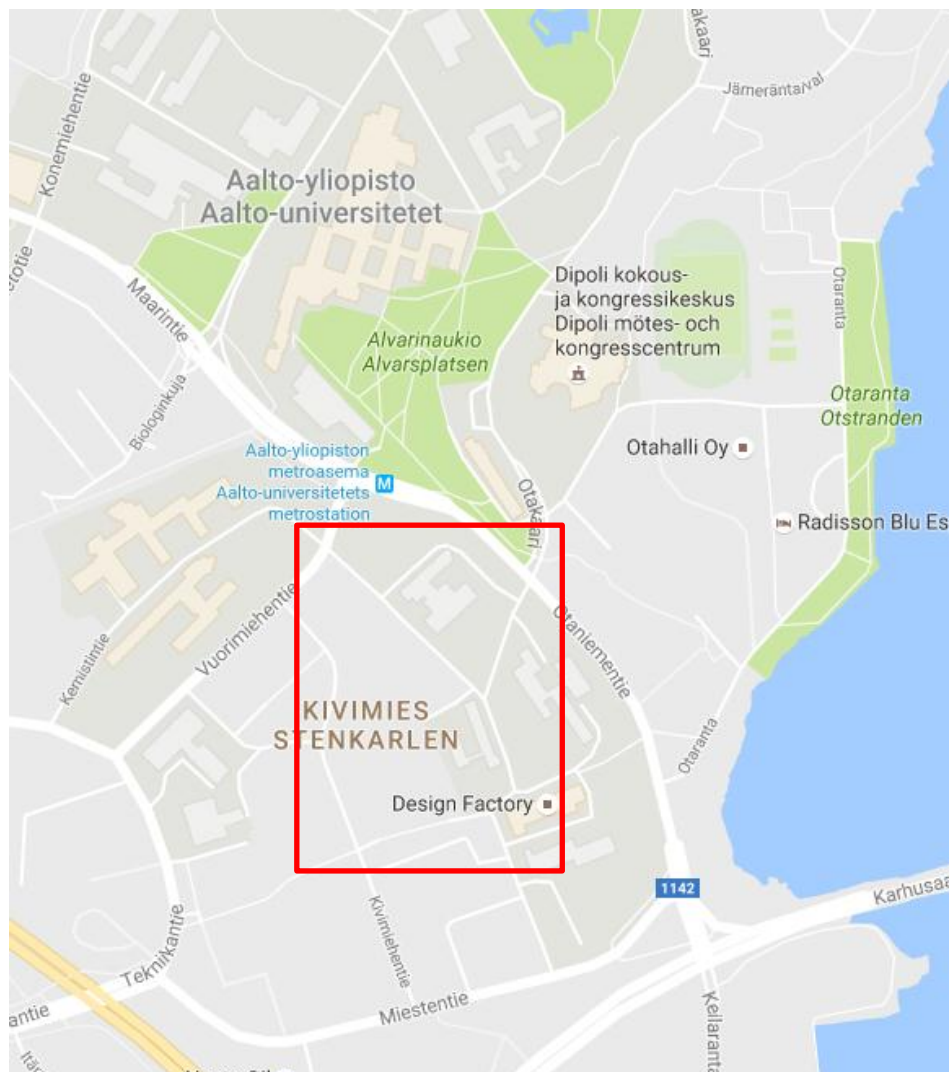
- *Minkälaisia liikennejärjestelyjä kokeilu vaatii?*
- *Liikennejärjestelyiden merkitys kokeilualueella?*
- *Osaavatko muut tienkäyttäjät käyttäytyä robottibussien kokeilualueella poikkeus-opastuksen mukaisesti?*

#### Muita tutkittavia asioita

- *Olosuhteiden vaikutus robottibussien toimintaan?*
- *Robottibussin ajonopeuden vaikutukset?*
- *Matkustajien palaute*

## 7.2 Kokeilujakson suunnittelu ja lähtökohdat

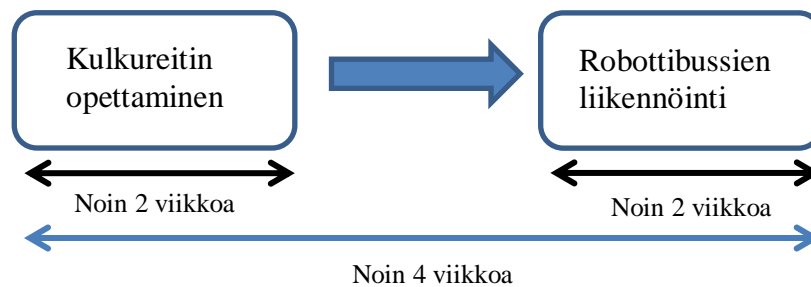
Robottibussit operoivat Espoon Otaniemessä 5.10-21.10.2016 välisenä aikana. Otaniemen kokeilujakson järjestäjä toimi jo edellä mainittu Sohjo-hanke, jonka päätavoitteena oli luoda suomalaisille yrityksille avoin innovaatioalusta sekä kehittää tieliikenteen automaatiosta syntyviä palveluideoita. Robottibussit saapuivat Espoon Otaniemeen Helsingin Hernesaaresta, missä robottibussit olivat operoineet syyskuun puoleen väliin asti. Otaniemessä järjestettävän kokeilujakson lähtökohdaksi oli kerätä kokemusta robottibussien toimivuudesta liikenneverkolla muiden tienkäyttäjien seassa. Tavoitteena oli myös nähdä robottibussin edellytykset liikkua hieman haasteellisemmassa liikennenympäristössä verrattuna Hernesaaren kokeilujaksoon. Kivimiehen alueelle Otaniemeen sijoittunut kokeilujakso oli hyvä testiympäristö robottibusseille, koska alueen liikennemäärät olivat suhteellisen vähäisiä (Kuva 20). Näin robottibusseja voitiin testata häiritsemättä liikaa alueen ajoneuvoliikennettä.



Kuva 20. Robottibussien kohdealue merkitty punaisen neliön sisälle. (Pohjakaartta: Google Maps 2016).

Robottibussit suunniteltiin palvelemaan Espoon Otaniemen kampusalueen sisäistä liikennettä. Ajatuksena oli myös palvella Länsimetron syöttöliikennettä, koska Aalto-yliopiston suunniteltu metroasema sijaitsi aivan suunnitellun kulkureitin läheisyydessä. Länsimetron viivästyessä, robottibussit kohdennettiin palvelemaan pääosin kampusalueen sisäistä liikennettä. Kampusalueen sisäinen liikenne koostui pääosin alueella opiskelevista opiskelijoista sekä osittain myös alueen työntekijöistä.

Robottibussit saapuivat Espoon Otaniemeen jo syyskuun lopulla. Ennen virallista liikennöintiä, robottibussit joutuivat opettelemaan kulun suunniteltua kulkureittiä pitkin (Kuva 21). Kulkureitin opetteluun jälkeen robottibussit pystyivät GPS paikannuksen sekä ympäristöä havainnoivien anturien avulla kulkemaan heille asetettua reittiä pitkin. Kulkureitin opettamisella on myös muita hyviä puolia. Samaan aikaan pystytään myös havainnoimaan alueen liikenneverkon toimintaa sekä kartoittamaan mahdollisia riskejä sekä vaaranpaikkoja. Kulkureitin opettamisen aikana tehdään myös tarvittavat muutokset liikennejärjestelmään erilaisten liikenteenohjausmenetelmien avulla.



Kuva 21. Kokeilujakson eteneminen (Pikkarainen 2016).

Espoon Otaniemen kokeilujakso koostui yhdestä robottibussista, joka operoi ennalta määrättyä kulkureittiä kaksi kahden tunnin jaksoa päivässä. Robottibussille ei ollut määrätty suoranaista aikataulua, vaan robottibussi kulki pääsääntöisesti matkustajien tarpeiden mukaisesti. Robottibussilla kulkeminen kokeilujakson aikana oli maksutonta. Robottibussin matkustajakapasiteetti oli 8+1 eli bussiin mahtui kahdeksan matkustajaa sekä robottibussin kyydissä aina oleva toiminnanvalvoja. Matkustajamäärän kapasiteetti perustuu Suomen B-ajokorttiluokan maksimihenkilömäärään, joka tarkoittaa, että lain nojalla robottibussi rinnastetaan henkilöajoneuvoksi (Santamala 2016). Otaniemen kokeilujaksossa robottibussin kyydissä oli kuitenkin aina kaksi henkilökuntaan kuuluvaa henkilöä. Toisen toiminnanvalvojan pääsääntöisenä tehtävänä oli operoida alueella olevia liikennevalvoja manuaalisesti.

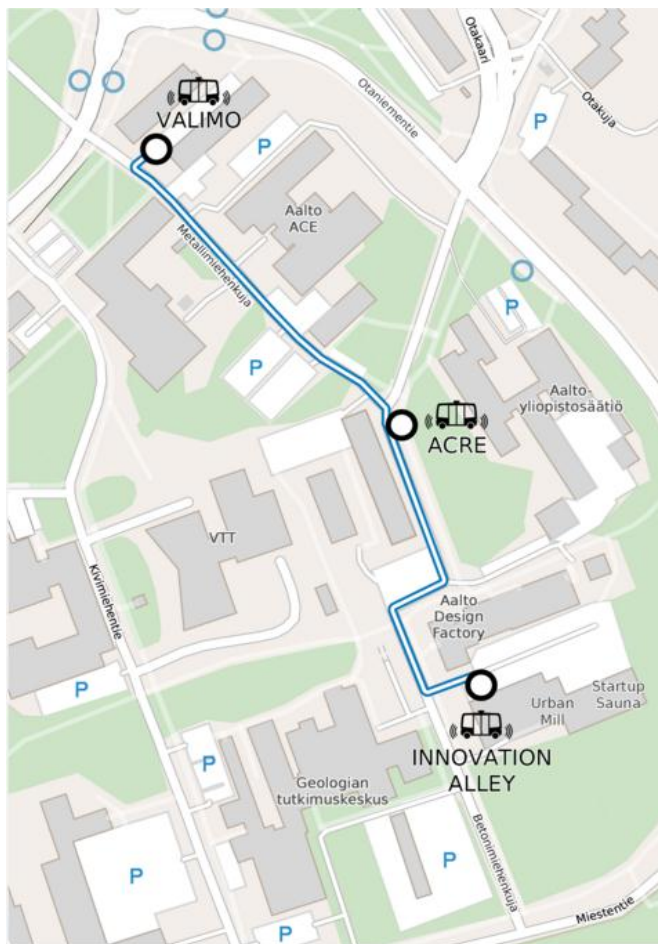


### 7.3 Automaattisen robottibussin kulkureitti ja ympäristö

Robottibussien tarkoitus oli kulkea Betonimiehenkujan - Lämpömiehenkujan - Metallimiehenkujan välistä matkaa. Valimon alueella olevan tietömaan takia, robottibussit pääsivät kuitenkin vasta kokeilujakson viimeisellä viikolla ajamaan koko reitin matkalta eli Valimon pysäkillle asti. Robottibussin kulkureitti sijoittui siis kokeilujakson alkuvaiheessa Innevation Alley:n ja ACRE:n eli Taiteiden talon väliselle matkalle (Kuva 22). Robottibussien kulkureitti kulki tonttikatuja pitkin ajoneuvoliikenteen seassa. Alueen liikennemäärät ovat suhteellisen pieniä ja ne koostuvat pääosin alueella asioivista käyttäjistä sekä jakeluliikenteestä. Alueella liikkui ajoneuvoliikenteen lisäksi paljon kevyt liikennettä. Robottibussi operoi siis usean eri tienkäyttäjän joukossa.

Taulukko 7. Otaniemen kokeilujakso (Pikkarainen 2016).

Otaniemi, Espoo	
Kokeilujakson pituus	2 viikkoa
Reitin pituus (suunta)	0,4 km
Robottibussin ajonopeus	10-11 km/h
Matka-aika (suunta)	5 minuuttia
Matkustajakapasiteetti	8+1 matkustajaa
Robottibussien määrä	2 bussia
Pysäkkien määrä	3 pysäkkiä

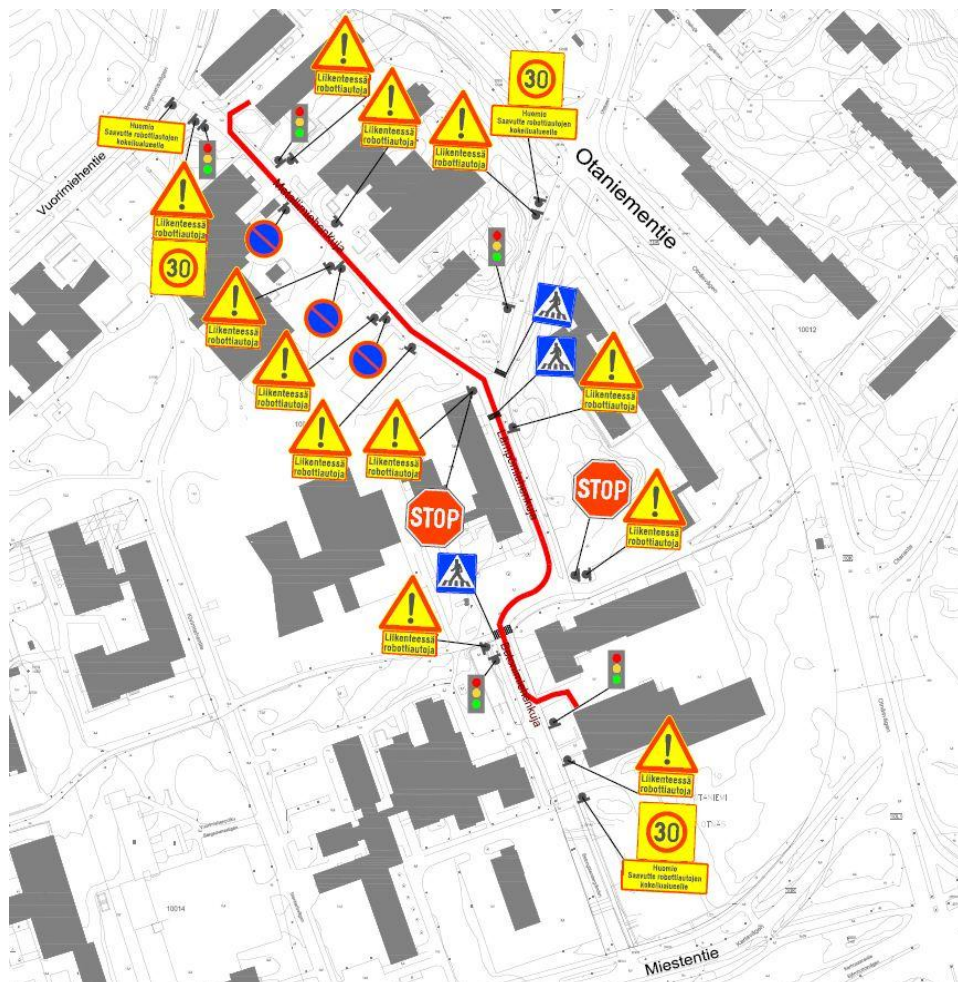


Kuva 22. Robottibussin kulkureitti Espoon Otaniemessä (Sohjoa 2016).

## 7.4 Liikennejärjestelyiden toteutus kokeilualueella

Espoon Otaniemen kokeilualueelle toteutettiin myös liikennejärjestelmällisiä muutoksia. Liikennejärjestelyitä jouduttiin hieman muuttamaan kokeilujakson aikana, koska robottibussi pääsi operoimaan suunnitellusti koko reitin pituudeltaan vasta viimeisellä viikolla. Tässä kappaleessa käsitellään liikennejärjestelyjä, jotka olivat voimassa, kun robottibussi liikennöi koko reitin pituudelta.

Espoon Otaniemen kokeilualan nopeusrajoitus laskettiin kokeilujakson ajaksi 40 km/h → 30 km/h. Kokeilualueelle luotiin niin sanottu liikenteen poikkeus-opastus (Kuva 23). Liikenteen poikkeus-opastuksen luomisen ensisijaisena tavoitteena oli luoda etuajo-oikeus alueella liikennöivälle robottibussille. Liikennejärjestelmään toteutetut muutokset varmistivat myös sen, että kokeilujakso pystyttiin viemään läpi mahdollisimman turvallisesti. Liikenteenohjauslaitteina käytettiin liikennemerkkejä, liikennevaloja sekä ajoratamerkintöjä.



Kuva 23. Mallinnus alueelle toteutuneesta liikenteenohjauksesta (Pikkarainen 2016). Punainen viiva esittää robottibussin kulkureittiä. Mallinnuksen suurempi kuva löytyy liitteistä (liite 1).



## 7.4.1 Liikennemerkkit

Liikennemerkkien ensisijainen tavoite oli varoittaa alueella liikkuvista automaattisista ajoneuvoista, kuten alueelle vievillä sisääntuloväylillä sekä alueen sisällä olevien tonttiliittymien kohdalla (Kuva 24). Tienvarsi-pysäköinti on kielletty robottibussin reitin varrella, joten Metallimiehenkujalla ennen sallittu tienvarsi-pysäköinti jouduttiin kieltämään (Kuva 25). Ajoradan viereen pysäköidyt ajoneuvot voivat aiheuttaa ongelmia robottibussin operoinnille, jos ne sijaitsevat robottibussin ennalta määritetyn reitin läheisyydessä.



*Kuva 24. Kokeilualueelle saapuminen Vuorimiehentien suunnasta (Pikkarainen 2016).*



*Kuva 25. Vanhat pysäköinnin sallivat liikennemerkkit on peitetty, ja pysäköintikielto on asetettu voimaan koko Metallimiehenkujan pituudelta (Pikkarainen 2016).*

## 7.4.2 Liikennevalot

Liikennevalojen avulla liikenneverkosta pyrittiin luomaan mahdollisimman turvallinen. Liikennevalokojeita sijoiteltiin reitin kohtiin, jossa robottibussin ja ajoneuvoliikenteen konfliktit olivat mahdollisia. Nämä kohdat olivat reitin keskivaiheilla sijaitseva risteys sekä kohdat, jossa robottibussi liittyi pysäkkialueelta kadulle. Liikennevalojen avulla varmistettiin robottibussien etuajo-oikeus liikenneverkolla. Liikennevaloja operoitiin manuaalisesti robottibussissa olevan toiminnanvalvojan toimesta.



*Kuva 26. Vasemmanpuoleisessa kuvassa robottibussi liittyy pysäkkialueelta kadulle (Betonimiehenkujalla). Tarkoituksena oli sulkea molemminpuolinen liikenne, kun robottibussi liittyy kadulle. Oikeanpuoleisessa kuvassa robottibussi on liittynyt kadulle, joten valot vaihtuvat jälleen molemmin puolin vihreäksi (Pikkarainen 2016).*



*Kuva 27. Liikennevalot Metallimiehenkujalla (Pikkarainen 2016).*



### 7.4.3 Ajoratamerkin­nät

Espoon Otaniemen kokeilualueelle tehtiin myös muutamia ajoratamerkin­to­jä. Betonimiehen- ja Lämpömiehenkujan väliseen mutkaan toteutettiin keskiviiva, jonka avulla mutkassa ajettava ajolinja olisi helpommin hahmotettavissa (Kuva 28). Tämä oli ensisijaisen tärkeää robottibussien toiminnan kannalta, koska keskiviiva jakoi molemminpuolisen liikenteen omille ajokaistoilleen. Robottibussin oli turvallisempi liikennöidä, koska ajoneuvoliikenne ei eksynyt robottibussin ennalta määritetylle reitille. Muita tiemerkin­to­jä olivat muun muassa pysäytysviivat, joita toteutettiin liikennevalojen sekä STOP-merkkien yhteydessä.



*Kuva 28. Keskiviivan merkintä Betonimiehen- ja Lämpömiehenkujan välisessä mutkassa (Pikkarainen 2016).*



*Kuva 29. Pysäytysviiva STOP-merkin yhteydessä (Pikkarainen 2016).*

## 7.5 Tutkimusmenetelmät

Robottibussien toimintaa ja vaikutusta liikenteellisestä näkökulmasta tarkasteltiin lähtökohtaisesti kahden eri liikennekameran tuottaman videomateriaalin pohjalta. Kameran sijoitettiin kahteen eri paikkaan kulkureitin varrelle, ja niiden avulla pystyttiin havainnoimaan robottibussin kulkua liikenneverkolla (Kuva 30). Videokuvaa saatiin molemmista kameroista 17.10 - 21.10.2016 väliseltä ajalta, sekä toisesta kamerasta myös päiviltä 10,14 ja 17.10.2016. Robottibussin toimintaa tarkasteltiin myös maastokäyntien aikana tehtyjen havaintojen perusteella. Robottibussin toiminnanvalvojen haastattelu suoritettiin 21.10.2016.

### 7.5.1 Kameroiden sijainnit ja tarkoitus

Videokuvan ensisijainen tavoite oli tehdä havaintoja robottibussin liikennöinnistä muiden tienkäyttäjien seassa. Kameran oli sijoitettava tutkimuksen kannalta tärkeisiin kohtiin, jotta robottibussin ja ajoneuvo- ja kevyen liikenteen välisiä kohtaamisia pystyttäisiin tarkastelemaan. Kameroiden avulla pystyttiin havainnoimaan myös muun liikenteen yleistä liikennekäyttäytymistä sekä poikkeavien liikennejärjestelyiden toimivuutta.



Kuva 30. Kameroiden sijainnit ja suuntaukset (Pohjakartta: HERE-maps 2016).

## 8 KOKEILUJAKSON HAVAINNOT JA TULOKSET

### 8.1 Liikenteellisestä näkökulmasta

Liikenteellisen näkökulman tarkastelu painottui ensisijaisesti havaintoihin, jotka liittyivät olennaisesti liikenteen yleiseen turvallisuuteen ja toimivuuteen. Lähtökohtana oli tutkia robottibussin edellytyksiä liikkua yleisellä tieverkolla muiden tienkäyttäjien joukossa. Alla olevassa taulukossa on tutkimuskysymyksiä, joiden pohjalta pystyttiin tarkastelemaan robottibussin edellytyksiä operoida yleisellä liikenneverkolla.

Liikenteellisestä näkökulmasta
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Miten robottibussi soveltuu muun liikenteen joukkoon?</i></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Miten robottibusseihin reagoidaan eri kulkumuotojen osalta?</i></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Syntykö konflikti- tai vaaratilanteita?</i></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Syntykö ohitustilanteita?</i></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Poikkeavat liikennetilanteet</i></li></ul>

#### 8.1.1 Soveltuvuus liikennejärjestelmään

Robottibussien soveltuvuutta muun liikenteen joukkoon pystyttiin tarkastelemaan aika hyvin, vaikka robottibussien ja ajoneuvoliikenteen väliset suoranaiset kohtaamiset olivat liikenteenturvallisuuden takaamisen takia poissuljettu. Robottibusseihin suhtauduttiin muiden tienkäyttäjien osalta hyvin luonnollisesti. Yleinen vaikutelma oli, että robottibussia pidettiin hieman arvaamattomana, jolloin etenkin kevyt liikenne pyrki ensisijaisesti mieluummin väistämään robottibussia kuin luottamaan siihen, että robottibussi väistäisi heitä. Ajoneuvoliikenteen osalta robottibusseihin suhtautuminen oli kaksijakoista. Osa ajoneuvoliikenteestä pyrki ohittamaan robottibussin heti mahdollisuuden tullen, ja osa tyytyi ajamaan robottibussin perässä. Ajoneuvoliikenteen suhtautumista robottibusseihin voidaan kuitenkin perustella robottibussin ajonopeudella, joka oli huomattavasti alhaisempi ajoneuvoliikenteeseen verrattuna.



## 8.1.2 Liikennetilanteet

Liikennetilanteina voidaan kuvailla tilannetta, jonka aiheuttaa esimerkiksi väärinpysäköity ajoneuvo, jakeluliikenteen kuljetus tai esimerkiksi väliaikainen tietyömaa. Väärinpysäköidyt ajoneuvot nousivat yhdeksi ongelmatekijäksi erityisesti Hernesaaren kokeilujaksossa. Väärinpysäköidyt tai ajoradalle pysähtyneet ajoneuvot voivat aiheuttavat ongelmia robottibussin toiminnalle, jolloin robottibussin kulku pysähtyy, jos se havaitsee esteen ennalta määritellyllä reitillä. Havaintojen ja robottibussin toiminnanvalvojen haastattelun perusteella voidaan todeta, että Otaniemen kokeilujakson aikana ei ollut väärinpysäköityjä ajoneuvoja eli väärinpysäköinnistä ei aiheutunut haittaa robottibussien toiminnalle (Nissin & Rutanen, haastattelu 21.10.2016). Sen sijaan ajoradan viereen hetkeksi pysähtyneet ajoneuvot olivat videomateriaalin perusteella aiheuttanut pientä viivästyistä robottibussin näkökulmasta. Ajoradan sivuun pysähtyneiden ajoneuvojen ja robottibussin välisiä kohtaamisia oli kokeilujakson aikana muutamia.



*Kuva 31. Betonimiehenkuja, kamera 2. Robottibussi joutuu hiljentämään, koska ajoradan viereen oli pysähtynyt ajoneuvo. Robottibussin ajosuunta on merkitty kuviin punaisella viivalla (Espoon kaupunki 2016).*



*Kuva 32. Betonimiehenkuja, kamera 2. Kuvassa pysäköityä linja-autoa jouduttiin lopulta siirtämään hieman eteenpäin, jotta robottibussi ei havainnoisi linja-autoa mahdollisena esteenä ajoradalla (Espoon kaupunki 2016).*



*Kuva 33. Lämpömiehenkuja, kamera 1. Linja-auto pysähtyneenä risteysalueelle. Linja-autosta ei lopulta aiheutunut häiriötä robottibussin toiminnalle (Espoon kaupunki 2016).*

Robottibussin testialueelle oli myös paljon jakeluliikenteen kuljetuksia, ja ainakin kerran robottibussi joutui tekemään hätäpysähdysten ajoradan viereen pysäköidyn ajoneuvon takia (Kuva 34). Ajoneuvo esti robottibussin kulkemisen sille määritetyllä ajoreitillä.

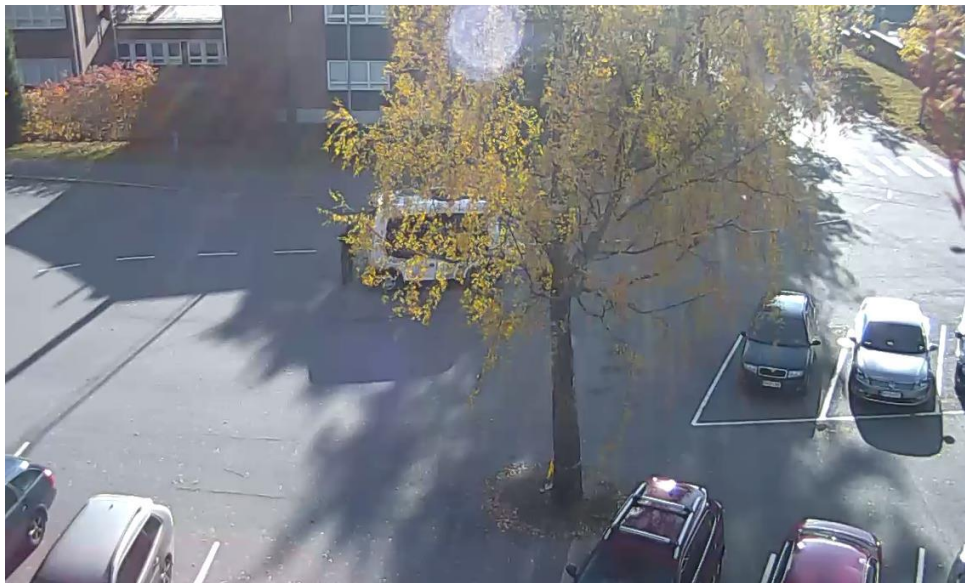


*Kuva 34. Lämpömiehenkuja, havainto maastokäynniltä. Jakeluliikenteen ajoneuvo pysäköitynä robottibussin kulkureitin varteen, jolloin robottibussin joutui tekemään hätäjarrituksen toiminnanvalvojan toimesta (Pikkarainen 2016).*



### 8.1.3 Vaaratilanteet

Kokeilujakson aikana ei tapahtunut ainuttakaan todellista vaaratilannetta, joka olisi liittynyt tai johtunut robottibussien testiajoista. Robottibussi joutui kuitenkin tekemään hätäjarrutuksia erinäisistä syistä johtuen noin kerran päivässä. Hätäjarrutuksia ei voida suoraan rinnastaa liikenteen vaaratilanteiksi vaan hätäjarrutuksen taustalla on erinäisiä syitä, jotka johtivat lopulta hätäjarrutukseen. Hätäjarrutukset voidaan jakaa kahteen osioon, toiminnanvalvojan tekemään hätäjarrutukseen ja itse robottibussin tekemään hätäjarrutukseen. Toiminnanvalvojen Nissin & Rutasen (haastattelu 21.10.2016) mukaan robottibussin itse tekemiä hätäjarrutuksia oli noin 5-6 kappaletta koko kokeilujakson aikana. Loput hätäjarrutuksista olivat toiminnanvalvojen tekemiä hätäjarrutuksia. Toiminnanvalvojen tekemien hätäjarrutusten taustalla oli pyrkimys ennaltaehkäistä mahdollisia vaaratilanteita eli ei luotettu täysin siihen, että robottibussi itse havaitsee mahdollista esteettä tai vaaratilannetta. Robottibussin itse tekemä hätäjarrutus syntyy tilanteesta, jolloin jokin este ilmaantuu turvaetäisyyden (1,2 metriä) sisälle, jolloin robottibussi pysähtyy välittömästi. Syitä robottibussin itse tekemiin hätäjarrutuksiin olivat ajoradalla lentävät lehdet, pöly ja yksi jalkakulkija sekä ajoneuvo (Nissin & Rutanen, haastattelu 21.10.2016). Hätäjarrutukset voivat aiheuttaa liikenteellisiä vaaratilanteita, etenkin ajoneuvoliikenteen näkökulmasta, jos robottibussi pysähtyy edessä nopeasti ja yllättävästi ilman näkyvää syytä.



*Kuva 35. Betonimiehenkuja, kamera 2. "Näkymättömän" esteen eli roskan, pölyn tai lehtien aiheuttama hätäjarrutus keskellä mutkaa. Kuvassa toiminnanvalvoja tarkastaa robottibussin lähiympäristöä varatoimenpiteenä (Espoon kaupunki 2016).*

#### 8.1.4 Ohitustilanteet

Ohitustilanteita tapahtui useasti robottibussin ja ajoneuvoliikenteen välillä. Ohitustilanteita tapahtui ensisijaisesti ”suorilla”, mutta havaintojen perusteella ohitustilanteita tapahtui useampaan kertaan myös risteysalueella sekä ainakin kertaalleen keskellä mutkaa. Ohitustilanteita tapahtui myös useampia robottibussin ollessa pysähtyneenä välipysäkin kohdalla. Ajoneuvouden eron seurauksena, ajoneuvoliikenne pyrki ohittamaan robottibussin heti sopivan paikan tullen. Ohitustilanteista voi seurata hyvinkin vaarallisia vaaratilanteita, jos ohitustilanteita tapahtuu vaarallisissa paikoissa. Vaaratilanteen riski myös kasvaa, mitä enemmän ohitustilanteita tapahtuu.



*Kuva 36. Lämpömiehenkuja, havainto maastokäynniltä. Ajoneuvo on ohittamassa robottibussia ennen risteysaluetta (Pikkarainen 2016).*



*Kuva 37. Lämpömiehenkuja, kamera 1. Ajoneuvo on ohittamassa robottibussia risteysalueella. Kuvaan merkitty myös ajoneuvon ”tuleva” menosuunta- mustalla (Espoon kaupunki 2016).*





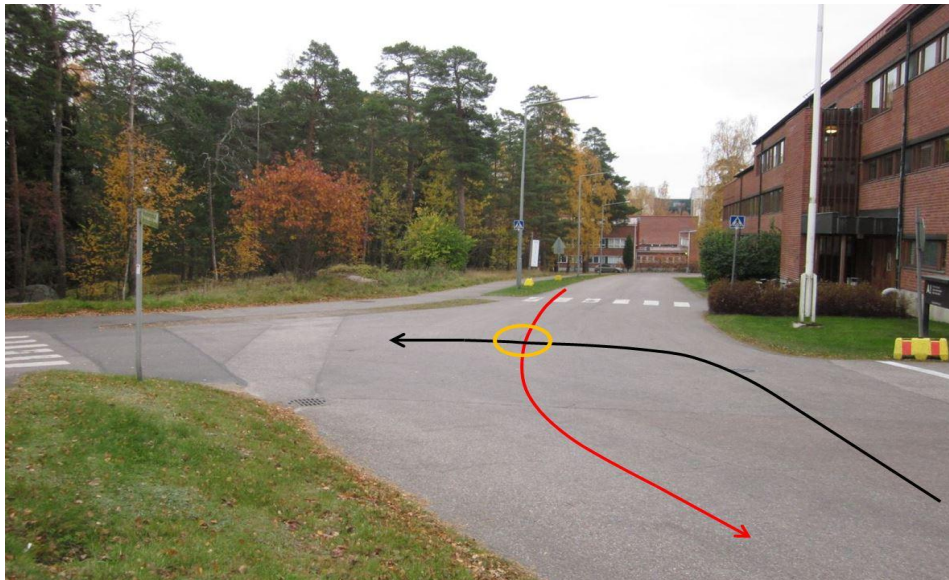
Kuva 38. Lämpömiehenkuja, kamera 1. Ajoneuvo on ohittamassa robottibussia risteysalueella. Liikennevalot ovat estäneet robottibussin ja ajoneuvon suoran kohtaamisen keskellä risteystä, mutta ajoneuvo pyrkii kuitenkin ohittamaan robottibussin mahdollisimman nopeasti valojen vaihduttua vihreäksi. Ajoneuvon tulo- ja menosuunta on merkitty mustalla (Espoon kaupunki 2016).



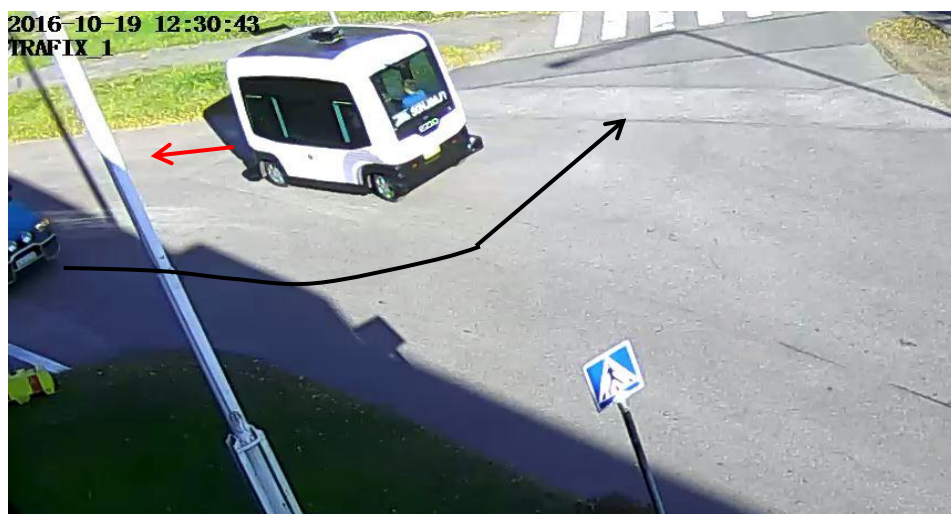
Kuva 39. Betonimiehenkuja, kamera 2. Robottibussin ja ajoneuvoliikenteen välinen ohitustilanne keskellä mutkaosuutta (Espoon kaupunki 2016).

### 8.1.5 Suorat kohtaamiset ajoneuvoliikenteen kanssa

Robottibussin ja ajoneuvoliikenteen välisiä suoria kohtaamistilanteita poissuljettiin liikennevalojen avulla. Ainoa potentiaalinen konfliktipiste muodostui Lämpömiehenkujan ja Metallimiehenkujan risteykseen. Tällöin ajoneuvoliikenne oli väistämisvelvollinen kääntyessä vasemmalle, mikäli robottibussi tulisi vastaan (Kuva 40). Suoralla kohtaamisella tarkoitetaan siis tapahtumaa, jolloin esimerkiksi vastakkaisista suunnista tulevien robottibussin ja ajoneuvon kohtaaminen olisi mahdollinen tietyssä pisteessä, kuten risteysalueella tai robottibussin liittyessä tai poistuessa katualueelta. Tällöin muodostuisi tilanne, jolloin robottibussin tai ajoneuvon tulisi väistää toista. Havaintojen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että ajoneuvoliikenteen ja robottibussin mahdolliset kohtaamiset tässä pisteessä jäivät minimiin. Videomateriaalin perusteella ajoneuvon ja robottibussin välille syntyi tämänkaltainen tilanne vain kerran kokeilujakson aikana, jolloin kuitenkin kääntyvä ajoneuvo väisti robottibussia liikennesääntöjen mukaisesti.



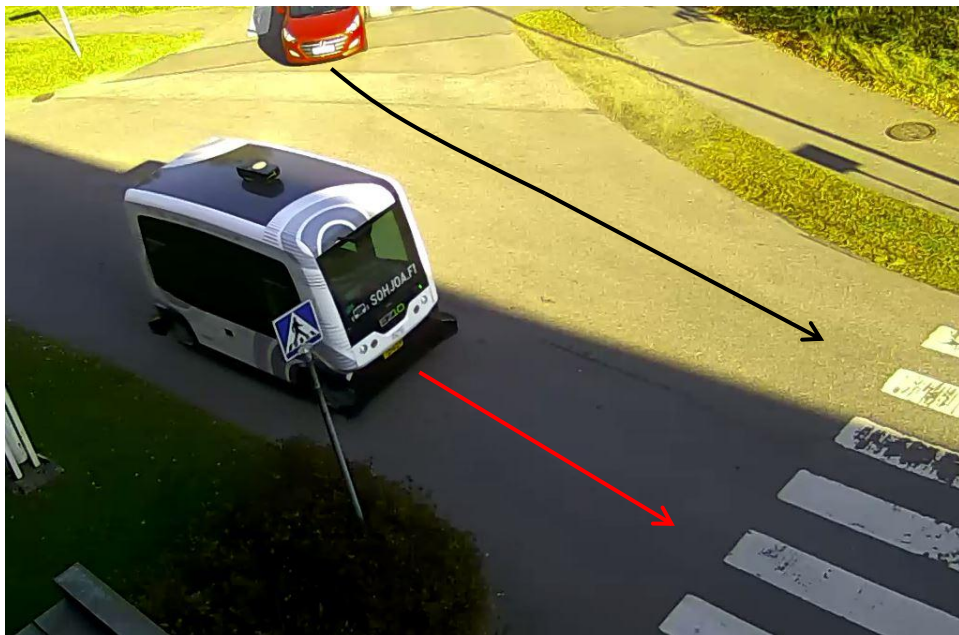
Kuva 40. Metallimiehen- ja Lämpömiehenkujan risteys. Robottibussin ja ajoneuvoliikenteen mahdollinen konfliktipiste. Punainen viiva kuvastaa robottibussin ajolinjaa ja musta viiva ajoneuvoliikenteen (Pikkarainen 2016).



Kuva 41. Lämpömiehenkuja, kamera 1. Kääntyvä ajoneuvo väistää robottibussia risteysalueella (Espoon kaupunki 2016).



Toinen mahdollisuus robottibussin ja ajoneuvoliikenteen kohtaamisille syntyi joko manuaalisesti toimivien liikennevalojen toimintahäiriöistä tai ajoneuvoliikenteen kohdalla kokeilualueella vallitsevan poikkeusopastuksen noudattamattomuudesta. Videomateriaalin perusteella ajoneuvoliikenne kohtasi robottibussin risteysalueella muutamia kertoja kokeilujakson aikana. Voidaan olettaa, että suurin syy tähän oli poikkeusopastuksen noudattamattomuus ajoneuvoliikenteen kohdalla. Kyseiset kohtaamiset risteysalueella johtivat yleensä myös vaaralliseen ohitustilanteeseen, jos molemmilla ajoneuvoilla oli sama ajosuunta (Kuva 42). Havaintojen perusteella robottibussin ja ajoneuvoliikenteen välisiä kohtaamisia ei tapahtunut paikoissa, joissa robottibussi liittyi tai poistui katualueelta. Risteysalueella kohtaamisia oli vaikeampi välttää etenkin Metallimiehenkujan suunnasta tultaessa, jolloin robottibussi oli jo täydessä vauhdissa.



Kuva 42. Lämpömiehenkuja, kamera 1. Ajoneuvoliikenteen ja robottibussin kohtaaminen risteysalueella. Tilannetta seurasi ohitustilanne suojatien kohdalla (Espoon kaupunki 2016).



Kuva 43. Lämpömiehenkuja, kamera 1. Ajoneuvoliikenteen ja robottibussin kohtaaminen risteysalueella (Espoon kaupunki 2016).

### 8.1.6 Kohtaamiset kevyen liikenteen kanssa

Robottibussin ja kevyen liikenteen välisiä kohtaamisia tapahtui kokeilujakson aikana useampia. Robottibussin ja kevyen liikenteen välisiä kohtaamisia ei pyritty pois sulkemaan eli suojatiet eivät olleet valo-ohjattuja. Kohtaamisia tapahtui pääsääntöisesti suojateilla, mutta myös ajoradalla ja sen läheisyydessä. Kevyttä liikennettä oli alueella ajoneuvoliikenteeseen verrattuna hyvin paljon liikkeellä.

Suurin osa robottibussin ja kevyen liikenteen välisistä kohtaamisista oli ennalta suunniteltua, ja tavoitteena oli saada kokemuksia robottibussin edellytyksistä tunnistaa ja väistää jalankulkijoita. Kaikki suojatiellä tapahtuneet kohtaamiset tapahtuivat Betonimiehenkujalla sijaitsevalla suojatiellä. Robottibussin toiminta perustui jalankulkijan kohtaamisessa ajonopeuden hiljentämiseen (4 metriä ennen kohdetta) ja pysähtymiseen (1,2 metriä ennen kohdetta). Videomateriaalin ja maastokäyntien havaintojen perusteella voidaan todeta, että robottibussi havainnoi ja reagoi hyvin jalankulkijoihin niin suojatiellä, ajoradalla kuin sen läheisyydessäkin. Yleisesti ottaen robottibussi tunnisti hyvin suojatietä ylittäviä jalankulkijoita, mutta joutui turvautumaan muutamissa tilanteissa äkillisiin hätäjarrutuksiin ylittävän jalankulkijan tullessa hieman sivusuunnasta. Nämä hätäjarrutukset olivat pääsääntöisesti toiminnanvalvojan tekemiä.

Robottibussi tunnisti hyvin suojatietä ylittäviä etenkin sen tullessa Betonimiehenkujaa pitkin (Kuva 44). Tällöin robottibussin toimintaa ja havainnointia edesauttoi, se että robottibussi ja suojatietä ylittävä jalankulkija olivat toisiinsa nähden kohtisuorassa. Jalankulkija oli myös selkeästi robottibussin ajoradalla jo astuessaan suojatielle, jolloin robottibussi pystyi havainnoimaan sen selkeänä esteenä sekä pysähtymään turvaetäisyyden mukaisesti ennen jalankulkijaa.



Kuva 44. Betonimiehenkuja, kamera 2. Robottibussi tunnistaa hyvin suojatietä ylittävän jalankulkijan. Jalankulkijan menosuunta on merkitty vihreällä (Espoon kaupunki 2016).



Kyseinen suojatie oli kuitenkin haasteellinen paikka, etenkin robottibussin tullessa Lämpömiehenkujan suunnasta. Tällöin robottibussi joutui tekemään tiukan käännöksen juuri ennen suojatietä. Tämä aiheutti pieniä vaikeuksia suojatietä ylittävän jalankulkijan tunnistamisessa ja etenkin siihen reagoimisessa. Tällöin suojatiellä jo oleva jalankulkija ei sijainnut suoraan robottibussin ajoradalla. Kuvassa 45, jalankulkija lähtee ylittämään suojatietä robottibussin kääntyessä suojatietä kohti, jolloin robottibussi tunnistaa ajoradalle tulevan jalankulkijan ja hiljentää välittömästi, mutta ei pysähdy. Tilanne päättyy lopulta robottibussin hätäjarrutukseen (Kuva 46). Tilanne oli hyvä esimerkki siitä, miten sensorien avulla ympäristöä havainnoiva automaattinen ajoneuvo eroaa ajoneuvosta, jonka ympäristöä ihminen pystyy ennakoitavasti tunnistamaan. Tämänkaltaisia tilanteita tapahtui muutama kokeilujakson aikana. Tilanne on myös jalankulkijan kannalta epämiellyttävä, jos robottibussi ajautuu liian lähelle. Tämänkaltaisen tilanteen olisi myös muodostunut vaarallisemmaksi, jos kyseessä olisi ollut esimerkiksi pyöräilijä, jonka vauhti on suurempi.



*Kuva 45. Betonimiehenkuja, kamera 2. Jalankulkija lähtee ylittämään suojatietä, robottibussilla on vaikeuksia tunnistaa sivusta tulevaa jalankulkijaa (Espoon kaupunki 2016).*

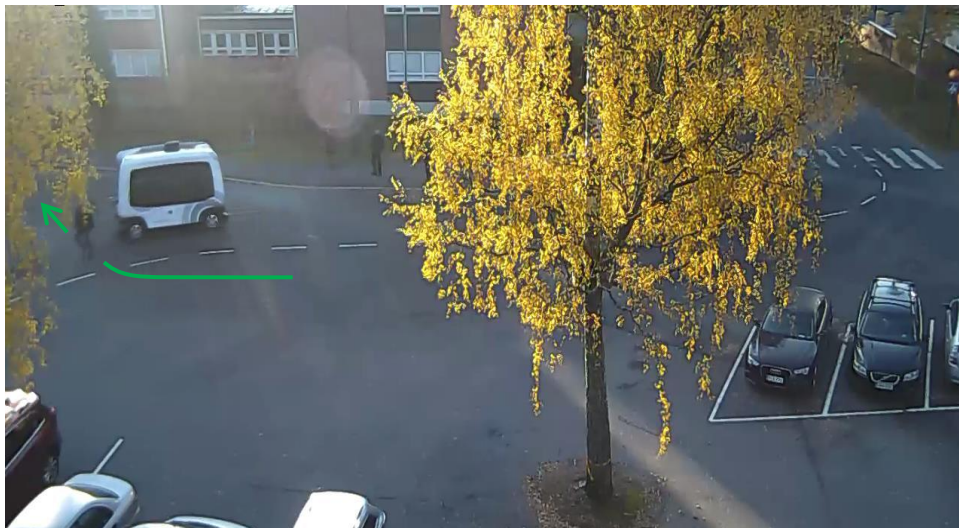


*Kuva 46. Betonimiehenkuja, kamera 2. Robottibussi tekee lopulta hätäjarrutuksen suojatien kohdalla, kun jalankulkija jatkaa suojatien ylitystä (Espoon kaupunki 2016).*

Ajoradan laidassa kulkevat jalankulkijat robottibussi ohitti hienosti, ja oli tunnistamatta niitä mahdollisina esteinä, koska ne eivät sijainneet ennalta määritetyn kulkureitin edessä vaan vieressä. Kyseisiä kohtaamisia tapahtui ensisijaisesti Metallimiehenkuja, koska kadulla ei ollut erillistä kevyen liikenteen väylää (Kuva 47). Videomateriaalin havaintojen perusteella itse ajoradalla tapahtunut kohtaaminen muodostui tilanteesta, jolloin robottibussin edestä juostiin tarkoituksenomaisesti testimielessä. Ensisijaisena tavoitteena oli saada robottibussi reagoimaan jollakin tavalla. Kyseinen tapaus päättyi robottibussin itse tekemään hätäjarrutukseen (Kuva 48).



*Kuva 47. Metallimiehenkuja, havainto maastokäynniltä. Robottibussi ei tunnistaa ohikävelevää jalankulkijaa mahdollisena esteenä, kuva otettu robottibussin sisäl- tältä (Pikkarainen 2016).*



*Kuva 48. Betonimiehenkuja, kamera 2. Jalankulkija juoksee robottibussin edes- tältä testimielessä (Espoon kaupunki 2016).*

## 8.2 Liikennejärjestelmän näkökulmasta

Liikennejärjestelyiden näkökulmasta tavoitteena oli tarkastella mitä automaattisten ajoneuvojen operoiminen yleisellä liikenneverkolla vaatisi liikenteenohjauksen näkökulmasta. Tavoitteena oli myös havainnoida yleistä liikennekäyttäytymistä sekä kokeilualueelle toteutetun poikkeusopastuksen toimivuutta.

### Liikennejärjestelmän näkökulmasta

- *Minkälaisia liikennejärjestelyjä kokeilu vaatii?*
- *Liikennejärjestelyiden merkitys kokeilualueella?*
- *Osaavatko muut tienkäyttäjät käyttäytyä robottibussien kokeilualueella poikkeusopastuksen mukaisesti?*

### 8.2.1 Poikkeavien liikennejärjestelyiden merkitys

Poikkeavien liikennejärjestelyiden merkitys robottibussin toiminnalle oli elintärkeää. Alueella ei olisi voitu järjestää robottibussin testiajoja ilman alueelle toteutettavia liikenteen poikkeusjärjestelyjä, joiden tavoitteena oli luoda turvallinen liikenneympäristö kaikille alueella liikkuville tienkäyttäjille (Nissin & Rutanen, haastattelu 21.10.2016). Alueelle toteutetut liikenteenohjauslaitteet on esitelty kuvassa 23.

### 8.2.2 Yleinen liikennekäyttäytyminen

Havaintojen ja videomateriaalin perusteella voidaan todeta, että muut tienkäyttäjät noudattivat poikkeavia liikennejärjestelyitä vaihtelevasti. Oli kuitenkin selkeästi huomattavissa, että muut tienkäyttäjät huomioivat alueen poikkeavat liikennejärjestelyt. Kokeilujakson aikana ilmaantui myös tapauksia, jolloin ajoneuvot eivät noudattaneet poikkeusopastusta kuten esimerkiksi liikennevaloja (Kuva 49). Ajoneuvoliikenteen ajonopeuksia oli kokeilualueella vaikea arvioida silmämääräisesti, mutta yleisesti ottaen ajonopeudet pysyivät maltillisina, ja ajonopeudet tippuivat entisestään robottibussin läheisyydessä. Ajoneuvoliikenteellä oli myös vaikeuksia sopeutua robottibussin hitaaseen ajonopeuteen, joka ilmeni lukuisina ohitus-tilanteina. Robottibussin ja ajoneuvoliikenteen väliset ohitus-tilanteet olivat ajoittain hyvin vaarallisia, kun ajoneuvo lähti ohittamaan robottibussia heti tilaisuuden tullen. Videomateriaalin perusteella ajoneuvoliikenne rikkoi useasti myös alueelle tehtyjä tiemerkin-  
töjä, jolloin ajoneuvoliikenteen ajolinjat harhailivat useasti myös vastaantulevien kaistoille (Kuvat 49–50). Yleinen liikennekäyttäytyminen parani kuitenkin kokeilujakson loppua kohti, jolloin kohdealueella liikkuvat olivat jo tottuneet liikennejärjestelyihin sekä alueella operoiviin robottibusseihin (Nissin & Rutanen, haastattelu 21.10.2016).

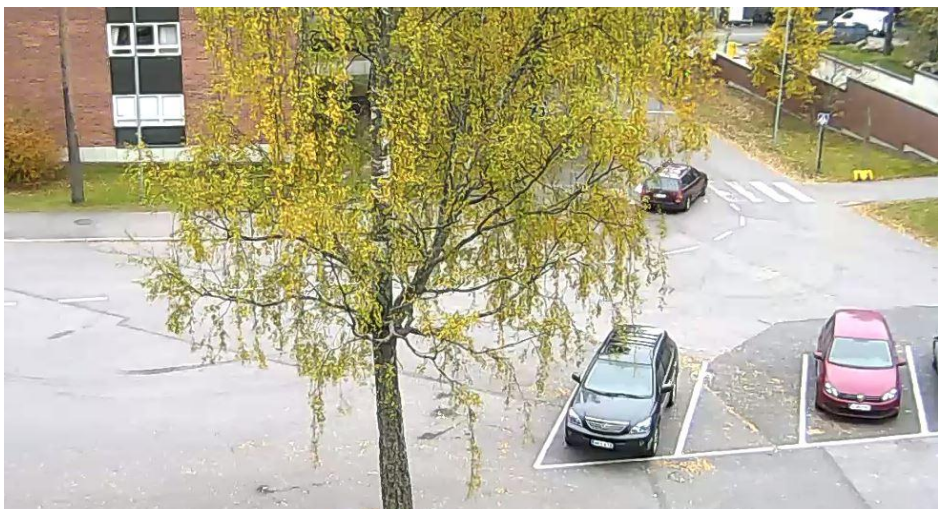




*Kuva 49. Betonimiehenkuja, kamera 2. Ajoneuvot eivät noudata punaista liikennevaloa (Espoon kaupunki 2016).*



*Kuva 50. Betonimiehenkuja, kamera 2. Robottibussi kohtaa väärällä kaistalla ajaneen ajoneuvon (Espoon kaupunki 2016).*



*Kuva 51. Betonimiehenkuja, kamera 2. Esimerkitapaus ajoneuvosta, joka leikkaa mutkan vastaantulevan ajokaistaa hyödyntäen (Espoon kaupunki 2016).*

### 8.3 Muita tutkittavia asioita

Tässä luvussa pohditaan muun muassa robottibussin ajonopeuden vaikutuksia, olosuhteiden vaikutuksia robottibussin toimintaan sekä lyhyesti myös matkustajien antamaa palautetta robottibusseista.

#### Muita tutkittavia asioita

- *Olosuhteiden vaikutus robottibussien toimintaan?*
- *Robottibussin ajonopeuden vaikutukset?*
- *Matkustajien palaute*

#### 8.3.1 Robottibussin ajonopeuden vaikutukset

Robottibussin ja ajoneuvoliikenteen välinen nopeusero oli noin 20 km/h luokkaa. Ajoneuvojen välinen nopeusero aiheutti kokeilujakson aikana lukuisia ohitustilanteita sekä paikoittain myös pientä liikenteen jonoutumista. Kokeilun alueen liikennemäärät olivat kuitenkin niin vähäisiä, että liikenteen paikoittaisesta jonoutumisesta ei ollut suoranaista haittaa liikenteellisestä näkökulmasta. Liikenteen turvallisuuden näkökulmasta ajonopeuden eroista syntyneet ohitustilanteet voivat muodostua hyvinkin vaarallisiksi etenkin näin kapeilla katuosuuksilla.



Kuva 52. Betonimiehenkuja, kamera 2. Paikoittaista liikenteen jonoutumista, syynä ajonopeuden eroavaisuus (Espoon kaupunki 2016).

### 8.3.2 Olosuhteiden vaikutus robottibussien toimintaan

Robottibussien toimivuuden kannalta olisi tärkeää kokeilla sen toimivuutta myös vaihtelevissa keliolosuhteissa. Espoon Otaniemessä järjestetty kokeilujakso saatiin kuitenkin vietyä läpi harvinaisen hyvissä olosuhteissa, jolloin havaintoja robottibussin toiminnasta vaihtelevissa olosuhteissa ei saatu. Yleinen käsitys on kuitenkin se, että rankkasade, sumu, lumi, lentävät lehdet ja pöly aiheuttavat vaikeuksia robottibussin toiminnalle ja nimenomaan ympäristön havainnointiin liittyvissä tekijöissä. Lentävät lehdet tai pöly aiheuttivat Otaniemen kokeilujakson aikana ainakin kertaalleen robottibussin hätäpysähdyksen keskelle ajorataa. Nissin & Rutasen (haastattelu 21.10.2016) mukaan aikaisempien kokeilujaksojen kokemusten perusteella pieni sade ei vaikuta robottibussin toimintaan, mutta kaatosateessa robottibussilla ei voida ajaa. Myös operoiminen talviolosuhteissa on poissuljettu, koska minimiraja robottibussin toiminnalle oli Sohjoahankkeen kokeilujaksoissa +2 °C. Kylmä ilma vaikuttaa myös sähköisten akkujen keston, jolloin akkujen toimintasäde tulee pienenevään jonkun verran normaalista. (Nissin & Rutanen, haastattelu 21.10.2016.)

### 8.3.3 Matkustajien palaute

Otaniemessä robottibussilla matkustaneet olivat yllättyneitä siitä, kuinka tasainen kyyti robottibussilla voidaan luoda. Matkustajat suhtautuivat robottibusseihin innostuneesti, koska robottibussilla kulkeminen on vielä niin uutta ja harvinaista. Omien kokemuksieni perusteella robottibussin kulku oli hyvin sujuvaa, ja toiminnanvalvojan läsnäolo lisäsi etenkin turvallisuudentunnetta. Minun mielestäni muutamat kokemani hätäjarrutustilanteet olivat tietysti matkustajan kannalta epämieluisia tilanteita, mutta näissä ajonopeuksissa tuleviin vaaratilanteisiin pystyttiin ennalta jo hyvin varautumaan. Useat käyttäjät tulivat, myös tarkoituksenomaisesti kokeilemaan robottibusseja, koska olivat kuulleet niistä median kautta. Robottibussien kokeilut saivat todella paljon näkyvyyttä lehdissä ja sosiaalisessa mediassa niin Suomessa kuin kansainvälisestikin.



## 9 YHTEENVETO

Tässä osiossa pohditaan Espoon Otaniemen kokeilujakson tuloksia ja havaintoja. Tuloksille pyritään hakemaan vertailupohjaa myös aikaisemmista robottibussien kokeilujaksoista. Osiossa pohditaan myös johtopäätöksiä tulevaisuuden kokeilujaksoja ajatellen. Tarkastelun alla ovat myös robottibussin mahdollisuudet toimia osana monimuotoista liikennejärjestelmää tulevaisuudessa.

### 9.1 Tulosten ja havaintojen yhteenveto

Espoon Otaniemen kokeilujaksoa voidaan pitää onnistuneena siitä muodostuneiden tulosten ja havaintojen perusteella. Kokeilujakson aikana saatiin havaintoja niin robottibussin toimintakyvystä kuin myös sen vaikutuksista liikenneympäristöön. Onnettomuuksilta ja todellisilta vaaratilanteilta vältyttiin, vaikka robottibussi joutui tekemään hätäjarrutuksia erinäisistä syistä johtuen noin kerran päivässä. Robottibussi antoi toiminnallisesti viitteitä siitä, että se pystyisi tulevaisuudessa toimimaan osana avointa liikenneympäristöä. Kehitettävää on kuitenkin vielä tällä hetkellä etenkin robottibussin ja muiden tienkäyttäjien välisissä kohtaamisissa, jotta liikenneturvallisuus saadaan vaaditulle tasolle. Kokeilujakson aikana robottibussin ympäristön havainnoinnin tasosta saatiin viitteitä erityisesti robottibussin ja kevyen liikenteen välisissä kohtaamisissa. Robottibussilla oli pieniä vaikeuksia kevyen liikenteen kohtaamisissa suojatiellä, jos jalankulkija lähestyi robottibussia sivusuunnasta. Tulevaisuudessa robottibussiteknologian kehittyessä robottibussin ja ajoneuvoliikenteen kohtaamiset tulisi myös sallia laajemmin, jolloin saataisiin aitoja kokemuksia myös robottibussin ja ajoneuvoliikenteen kohtaamisista esimerkiksi risteysalueella. Tällöin päästäisiin lähemmäs aitoja liikennetilanteita, jolloin myös robottibussin teknologiaa voitaisiin kehittää näiden kokemusten avulla. Täytyy huomioida myös se, että robottibussien kehitys on ollut todella nopeaa. Muutaman vuoden aikana robottibussit ovat siirtyneet suljetuilta väyliltä osaksi avointa liikenneympäristöä ja tulevaisuudessa myös robottibussiteknologia tulee varmasti kehittymään entisestään.

Otaniemen kokeilujaksoa ei voida suoranaisesti vertailla Suomessa tai Euroopassa toteutettuihin kokeilujaksoihin, koska liikenneympäristöt ja robottibussin asema liikenneverkolla on ollut hyvin vaihteleva eri kokeilujaksojen välillä. Kaupunkiympäristön näkökulmasta Kreikan Trikalassa järjestettyä kokeilujaksoa voidaan pitää lähimpänä Otaniemen testiympäristöä. Robottibussin toiminnan näkökulmasta tulokset ovat kuitenkin positiivisia, koska lähtökohtia Otaniemen kapeilla kaduilla operoinnille voitiin pitää vähintäänkin haastavina. Otaniemen kokeilujakson aikana robottibussin toiminnan näkökulmasta olisi ollut toivottavaa saada kokemuksia myös vaihtelevista sääolosuhteista sekä niiden vaikutuksista robottibussin toimintaan.

Robottibussin ajonopeus pyrittiin pitämään alhaisena niin Suomen kuin Euroopan kokeilujaksoissa. Alhainen ajonopeus korostaa sitä, että kokeilujaksojen pääprioriteetti on ollut turvallisuuden maksimointi. Tulevaisuudessa robottibussin ajonopeus tulee nousemaan tärkeään asemaan, jolloin

---

robottibussin ajonopeutta tulisi kasvattaa, mikäli robottibussi asema liikennejärjestelmässä olisi ajoneuvoliikenteen seassa. Tällä hetkellä ajonopeuden kasvattaminen vaatii kuitenkin myös robottibussiteknologian kehittymistä. Ajonopeuden kasvattamisen seurauksena robottibussista voitaisiin saada kilpailukykyinen vaihtoehto joukkoliikenteeseen. Hernesaaren ja Otaniemen kokeilujaksot todistivat, että ajonopeuden ero robottibussin ja ajoneuvoliikenteen välillä on myös riskitekijä lukuisien ohitustilanteiden takia. Robottibussin ajonopeutta tulisikin kehittää tulevaisuudessa, mutta samalla turvallisuuden tulisi kuitenkin säilyä hyvällä tasolla.

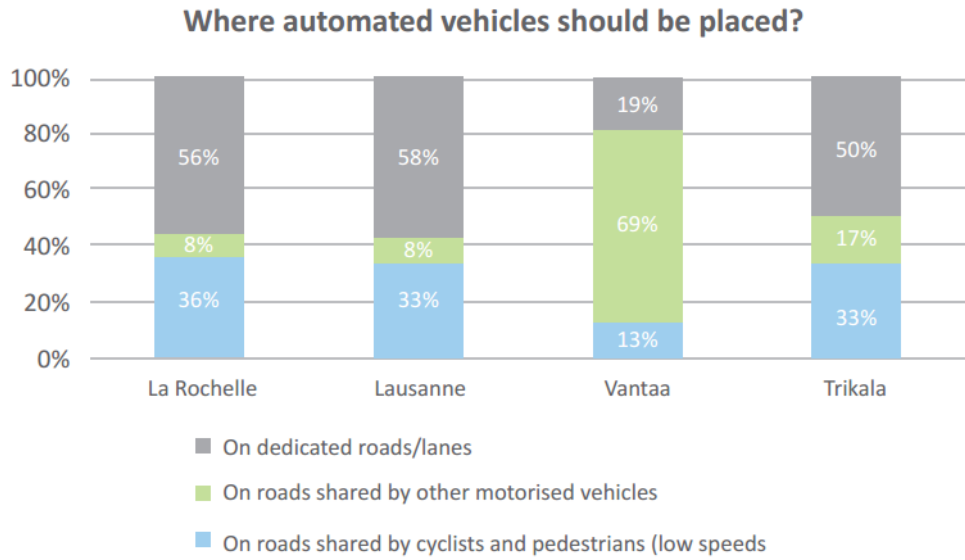
Poikkeavien liikennejärjestelyiden avulla robottibussin testiajoja pystyttiin järjestämään turvallisissa ympäristöissä. Tämä oli ensisijaisen tärkeää, jotta robottibussien toiminnasta saataisiin kokemuksia sekä mahdollisia ongelmakohtia voitaisiin ratkaista tulevaisuudessa. Otaniemen kokeilujakson aikana muut tienkäyttäjät noudattivat liikenteen poikkeusjärjestelyitä vaihtelevasti. Liikennekäyttäytyminen parani kuitenkin kokeilujakson loppua kohti. Tulevaisuudessa poikkeavia liikennejärjestelyitä tulisi kuitenkin vähentää tai minimoida, jotta robottibussien toiminta voisi laajentua. Tulevaisuudessa robottibussin etuajo-oikeutta ei tulisi pitää selvänä lähtökohdana, vaikka robottibussien testiajoissa radikaalit liikenteen poikkeusjärjestelyt olivatkin perusteltuja. Mikäli tavoitteena pysyisi kuitenkin etuajo-oikeuden määrittäminen robottibussille, olisi robottibussin etuajo-oikeus pyrittävä ilmoittamaan esimerkiksi vain turvallisuuden kannalta oleellisissa paikoissa kuten risteyksissä tai robottibussin operointi alueen sisään-tuloväylien kohdalla.

Robottibussin liikkuminen osana liikenneympäristöä on myös hyvin uusi asia monelle meistä. Jokaisessa kokeilujaksossa pidettiin tärkeänä, että kohdealueella asuvat ja liikkuvat ihmiset olivat tietoisia alueella tapahtuvasta kokeilujaksosta. Tämä on hyvin tärkeää, myös tulevaisuuden kokeilujaksoja ajattelen. Niin Suomessa kuin Euroopassa robottibussit ovat saaneet paljon kansainvälistä huomiota sekä ihmiset ovat olleet hyvin kiinnostuneita tulevaisuuden joukkoliikennepalvelusta. Tulevaisuudessa on tärkeää myös jakaa tietoa ja kokemusta robottibussien kokeilujaksoista eri toimijoiden keskuudessa.

Teknisestä näkökulmasta robottibussin toimintaa voidaan pitää onnistuneena. Otaniemen kokeilujakson aikana robottibussin toiminta oli luotettavaa myös teknisestä näkökulmasta, ja esimerkiksi Vantaan Kivistön kokeilujakson aikana kohdattuja teknisiä ongelmia ei esiintynyt lähes ollenkaan kokeilujakson aikana (Taulukko 6). Tulevaisuudessa robottibussin teknisiä ominaisuuksia tulisi kuitenkin kehittää, jotta robottibussista syntyvää palvelua saataisiin joustavammaksi. Toiminta perustuu tällä hetkellä suuresti ennalta määritettyyn reittiin, joka rajoittaa osittain robottibussin palvelukykyä.

## 10 ROBOTIBUSSIN ASEMA TULEVAISUUDESSA

Robottibussi voi olla hyvinkin joustava joukkoliikennepalvelu, mutta ennen sitä sen asema liikennejärjestelmässä tulevaisuudessa täytyy tarkoin suunnitella. Robottibussien kokeilujaksot Euroopassa ja myöhemmin Suomessa ovat todistaneet, että robottibussilla on potentiaalia toimia erilaisissa kaupunkiympäristöissä. Alapuolella on muutamia havaintoja, siitä miten robottibussin palveluja voitaisiin mahdollisesti toteuttaa avoimessa liikenneympäristössä.



Kuva 53. Sidosryhmien ajatuksia robottibussin sijoittamisesta liikenneverkolle CityMobil2-projektin yhteydessä (CityMobil2 2016, 33).

### 10.1 Operoiminen omalla erillisellä ajokaistalla

Robottibussille suunniteltu muusta ajoneuvoliikenteestä erotettu ajokaista olisi hyvä vaihtoehto etenkin kaupunkialueille, joissa katualueet ovat leveät sekä ylimääräisen ajokaistan määrittäminen tai rakentaminen robottibussin käyttöön olisi mahdollista. Erillinen ajokaista voisi olla robottibussin käytössä esimerkiksi vain ruuhka-aikoina ja muina ajankohtina se olisi muun liikenteen vapaassa käytössä. Erillinen ajokaista tarkoittaisi myös sitä, että robottibussin ajonopeus olisi vapaasti säädeltävissä. Tällöin omalla erillisellä ajokaistalla operoivalla robottibussilla voisi olla lähtökohtaisesti eri ajonopeus kuin ympärillä olevalla muulla ajoneuvoliikenteellä. Tällöin ajonopeutta ei tarvitsisi suunnitella ajoneuvoliikenteen mukaan, jolloin erilaisia ajonopeudentasoja voitaisiin hyödyntää kulkureittiä suunnitellessa. Ajonopeus voisi olla alhaisempi kapealla katuosuudella tai erityistä huomiota vaativissa kohdissa. Ajonopeutta voitaisiin tarvittaessa nostaa suurempien katuosuuksien kohdalla. Robottibussin toiminnan rajaaminen omalle erilliselle ajokaistalle olisi myös helpompi vaihtoehto liikenteenohjauksen näkökulmasta. Liikenteenohjaus pystyttäisiin lähtökohtaisesti kohdentamaan vain niihin kohtiin, missä robottibussi joutuisi kohtaamaan muita tienkäyttäjiä.

## 10.2 Operoiminen ajoneuvoliikenteen seassa

Ajoneuvoliikenteen kanssa samalla ajokaistalla operoiminen aiheuttaa haasteita etenkin ajonopeuden ja liikenneturvallisuuden näkökulmasta. Robottibussin ajonopeuden tulisi olla yhteensopiva muun ajoneuvoliikenteen kanssa, jotta se pystyisi operoimaan ajoneuvoliikenteen seassa sujuvasti. Lähtökohtana olisi, että robottibussille tulisi järjestää etuajo-oikeus yleiselle katuverkolle, jotta robottibussin siirtyminen eri katuluokkien välillä olisi mahdollisimman turvallista. Robottibussi olisi myös altis muiden tienkäyttäjien kuten ajoneuvoliikenteen kohtaamisille. Robottibussin operoiminen yleisellä tieverkolla ajoneuvoliikenteen seassa vaatisi myös poikkeuksetta liikenteen poikkeusjärjestelyjä, koska tällä hetkellä robottibussi ei kykene väistämään muuta liikennettä liikennesääntöjen mukaan esimerkiksi risteysalueella.

## 10.3 Yhdistelemällä eri liikenneväyliä

Robottibussin kulkureitti voidaan muodostaa myös käyttäen hyödyksi eri liikenneväyliä. Kulkureitti voi koostua kevyen liikenteen ja ajoneuvoliikenteen väyliä yhdistelemällä. Robottibusseja on myös kokeiltu molemmissa ympäristöissä aikaisemmissa kokeilujaksoissa. Pyöräilijät ja kävelijät on otettava erityisesti huomioon kevyen liikenteen väylillä kuljettaessa. Pyöräilijöiden nopeatemponen liikkuminen saattaa olla vaikea sovittaa robottibussien hitaaseen liikkumisrytmiin, mikä lisää onnettomuusriskiä. Robottibussille tarkoitettu ajoväylä tulisi olla hyvin merkitty tai eroteltu muusta kevyen liikenteen väylästä esimerkiksi ajoratamerkinnoin. Kevyen liikenteen väylän tulisi olla myös tässä tapauksessa tarpeeksi leveä.

# 11 KOLME TULEVAISUUDEN VISIOTA

Robottibusseissa on potentiaali nousta kilpailukykyiseksi joukkoliikennepalveluksi lyhyiden välimatkojen kuljetuspalveluna. Tällä hetkellä realistisin vaihtoehto robottibussin toiminnalle olisi lyhyiden välimatkojen operoinnissa syöttöliikenteen tai suurien yleisötapahdemien yhteydessä. Suurin syy tähän on se, että tässä vaiheessa robottibussin käyttö rajoittuu ennalta määritetyn reitin kulkemiseen. Syöttöliikenteessä ja suurien yleisötapahdemien yhteydessä robottibussien toimintaa voitaisiin järjestää, vaikka robottibussi kulkisi vain tiettyä pakotettua reittiä. Tulevaisuudessa robottibussista voitaisiin kuitenkin kehittää käyttäjälähtöisempi palvelu, jolloin robottibussi olisi käytössä asiakkaan kutsusta tai palvelu perustuisi asiakkaan matkan tarpeeseen perustuvasta palvelusta. Tällöin robottibussista tavoiteltaisiin kutsuliikenne tyyppistä palvelua. Tämä vaatisi kuitenkin robottibussilta mahdollisuutta operoida kulkureittiä, joka ei ole ennalta määritetty.

## 11.1 Robottibussi syöttöliikenteessä

Robottibussilla on potentiaalia toimia tulevaisuudessa osana joukkoliikenteen runkolinjan syöttöliikennettä. Robottibussin tarkoituksena olisi muodostaa joustava joukkoliikennepalvelu esimerkiksi liikenteen solmukohtien yhteyteen, jolloin matkustajat voisivat käyttää palvelua mahdollisena jatkoyhteytenä lyhyen etäisyyksien matkoissa (Kuva 54). Tulevaisuudessa mahdollisia liikenteen solmukohtia ovat muun muassa Länsimetron uudet metroasemat.

Robottibussin muodostama palvelu olisi esimerkiksi matkustajan mahdollinen jatkoyhteys juna- tai metroasemalta läheiselle työpaikalle, oppilaitokselle tai läheisiin palvelukeskittymiin. Tällöin palvelu on kuitenkin riippuvainen selkeästä kuljetustarpeesta eli robottibussin muodostamalle palvelulle olisi luotava selkeä palvelutarve ja matkustajat. Syöttöliikenteessä robottibussien matkustajakapasiteettia tulisi myös kasvattaa ja vaihtoehtona voisi olla esimerkiksi useamman robottibussin käyttö letkassa. Tällöin pystyttäisiin myös vastamaan suuriin ja hetkittäisiin matkustajavirtoihin, joita joukkoliikenteen runkolinja tuottaisi. Robottibussin käyttö voitaisiin hinnoitella esimerkiksi matkakortin yhteyteen, jolloin robottibussi palveluna toisi matkustajan lipun hinnalle lisäarvoa.

Kuvassa 54 on havainnollistettu robottibussin toimintaa syöttöliikenteessä. Kohdealueena on käytetty Espoon Otaniemen aluetta ja tarkoituksena oli mallintaa tulevaisuuden Aalto-yliopiston metroaseman syöttöliikenteen toteutusta robottibussien avulla. Tulevaisuudessa Otaniemen alue ja siellä sijaitseva Aalto-yliopiston alue voisi olla hyvä kohde robottibusseille. Robottibussien avulla voitaisiin järjestää metroaseman syöttöliikenne kätevästi. Potentiaalisia käyttäjiä olisivat alueen opiskelijat ja työntekijät, joille voitaisiin tarjota robottibussia lyhyiden välimatkojen kulkemiseen kuten metroasemalta kampusalueelle.



Kuva 54. Esimerkki syöttöliikenteen toteutuksesta Otaniemessä Länsimetron valmistuessa (Pohjakartta: HERE-Maps 2017 ja kuva: Pikkarainen 2016).

## 11.2 Suuret yleisötapahtumat

Robottibussi olisi myös toimiva palvelu suurien yleisötapahtumien, kuten esimerkiksi suurien messu- tai musiikkitapahtumien tai jopa huvipuistojen yhteydessä. Suomessa on jo positiivisia kokemuksia robottibussien käytöstä Vantaan asuntomessujen yhteydessä vuonna 2015. Robottibussin ensisijainen tarkoitus olisi kuljettaa asiakkaita suurien tapahtumien läheisyyteen esimerkiksi lähimmältä juna-asemalta tai pysäköintipaikalta. Myös teknisestä näkökulmasta robottibussin operointi suurien yleisötapahtumien yhteydessä olisi mahdollista, koska robottibussit pystyttäisiin opettamaan kulkemaan tiettyä reittiä pitkin. Tällöin lähtökohtaisena tavoitteena olisi asiakkaan kuljettaminen paikasta A paikkaan B. Tämänkaltaisten tapahtumien yhteydessä robottibussi palvelulla olisi myös selkeä palvelutarve, jolloin myös asiakas tavoitettaisiin. Robottibussin toimintaa voitaisiin myös kätevästi ajoittaa tapahtuman keston mukaan, oli kyse sitten viikonlopun tai useamman viikon ajan kestävästä tapahtumasta.



---

### 11.3 Kutsuliikenne- mahdollisuus?

Tulevaisuudessa joukkoliikennepalvelut tulevat muuttumaan yhä enemmän käyttäjälähtöisiin palveluihin, jotka perustuvat asiakkaan tekemään kutsuun tai matkan tarpeeseen. Viime vuosien aikana kutsuliikennettä on toteutettu pääkaupunkiseudulla muun muassa Kutsuplus-palvelun kautta. Kutsuliikenne tyyppinen palvelu vaatisi robottibussilta kuitenkin kykyä kulkea muuttuvissa reittiympäristöissä, mikä tulevaisuudessa voi olla kuitenkin mahdollista.

Robottibussien toimiminen osana kutsuliikennettä ei ole mahdoton ajatus, joka tuli ilmi jo Lausannen kokeilujaksossa vuonna 2015. Robottibussille kehitettiin kutsu-mobiilisovellus, jonka avulla opiskelijat pystyivät kutsuun robottibussin pysäkillä älypuhelimien avulla. Robottibussit toimivat siis ”osittaisena” kutsupalveluna vaikka robottibussin kulki vain tiettyä reittiä. Kutsupalvelu oli mahdollista toteuttaa robottibusseihin Lausannessa asennetun etähallintajärjestelmän ansiosta. Etähallintajärjestelmän kautta pystyi hallitsemaan ja valvomaan robottibussien liikkumista reaaliajassa sekä tarvittaessa antamaan toiminnallisia ohjeita. (West-Lausanne`s large-scale demonstration 2015.)

---

## LÄHTEET

CityMobil2 (2013). Local transport plans reviewed and automated road transport system assessment. 19, 21. Haettu 7.10.2016 osoitteesta [http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/D9.1\\_Trikala.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/D9.1_Trikala.pdf)

CityMobil2 (2013). West Lausanne Region city study. 51-52, 92. Haettu 7.10.2016 osoitteesta [http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/D3.1\\_Saint-Sulpice.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/D3.1_Saint-Sulpice.pdf)

CityMobil2 (2013). La Rochelle City Study. 101, 114. Haettu 7.10.2016 osoitteesta [http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/D8.1\\_LaRochelle.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/D8.1_LaRochelle.pdf)

CityMobil2 (2015). CityMobil2 Newsletter. Uutisnumero (5).1. Haettu 2.10.2016 osoitteesta [http://www.citymobil2.eu/en/upload/Dissemination\\_materials/citymobil2%20newsletter%205\\_v03.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Dissemination_materials/citymobil2%20newsletter%205_v03.pdf)

CityMobil2 (2015). CityMobil2 Newsletter. Uutisnumero (6).1. Haettu 5.10.2016 osoitteesta [http://www.citymobil2.eu/en/upload/public-docs/citymobil2%20newsletter%206\\_v02.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/public-docs/citymobil2%20newsletter%206_v02.pdf)

CityMobil2 (2015). CityMobil2 Newsletter. Uutisnumero (7).1. Haettu 5.10.2016 osoitteesta <http://www.citymobil2.eu/en/upload/public-docs/CityMobil2%20newsletter%207.pdf>

CityMobil2 (2015). CityMobil2 Newsletter. Uutisnumero (8).6. Haettu 15.10.2016 osoitteesta [http://www.citymobil2.eu/en/upload/Dissemination\\_materials/citymobil2%20newsletter%208%20v\\_final.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Dissemination_materials/citymobil2%20newsletter%208%20v_final.pdf)

CityMobil2 (2016). Experience and recommendations. 22, 24, 29. Haettu 12.2.2017 osoitteesta [http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/CityMobil2%20booklet%20web%20final\\_17%2011%202016.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/CityMobil2%20booklet%20web%20final_17%2011%202016.pdf)

CityMobil2 (2015). West Lausanne's large-scale demonstration. Haettu 5.2.2017 osoitteesta <http://www.citymobil2.eu/en/City-activities/Large-Scale-Demonstration/West-Lausanne-region/>

Haikonen, M (2016). Automated vehicles on the public street Hernesaari - first site of the SOHJOA -project. Avoin luento 23.9.2016, Sohjoa-6aika Workshop Otaniemi, Espoo.

---

Holguin, C & Stam, D (2016.) Implementation of ARTS. Avoin luento 2.6.2016. CityMobil2 Final Conference, San Sebastian. Haettu 7.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final\\_conference/2%20-%20Implementation%20of%20ARTS%20-%20Carlos%20Holguin%20and%20Daniele%20Stam.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final_conference/2%20-%20Implementation%20of%20ARTS%20-%20Carlos%20Holguin%20and%20Daniele%20Stam.pdf)

Innamaa, S., Kanner, H., Rämä, P. & Virtanen, A. 2015. Automaation lisääntymisen vaikutukset tieliikenteessä. Helsinki: Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. 3, 5-7, 68.

Koskela, G (2016.) Demonstration Vantaa. Avoin luento 1.6.2016. CityMobil2 Final Conference, San Sebastian. Haettu 17.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final\\_conference/2%20-%20Demonstration%20Vantaa%20-%20Gilbert%20Koskela.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final_conference/2%20-%20Demonstration%20Vantaa%20-%20Gilbert%20Koskela.pdf)

LVM, 2016. Kansainvälinen tieliikennesopimus automaation tasalle. Haettu 17.10 osoitteesta

<https://www.lvm.fi/-/kansainvalinen-tieliikennesopimus-automaation-asialle>

Lumiaho, A. & Malin, F. 2016. Tieliikenteen automaatisoinnin etenemissuunnitelma ja toimenpideohjelma 2016–2020. Liikennevirasto. 13 - 14, 40 - 41, 28, 42–43.

McDonald, M & Alessandrini, A (2016.) Lessons learned from the demonstrations. Avoin luento 1.6.2016. CityMobil2 Final Conference, San Sebastian. Haettu 7.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final\\_conference/8%20-%20Lessons%20learned%20from%20the%20demonstrations%20-%20Mike%20McDonald%20and%20Adriano%20Alessandrini.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final_conference/8%20-%20Lessons%20learned%20from%20the%20demonstrations%20-%20Mike%20McDonald%20and%20Adriano%20Alessandrini.pdf)

Pilli-Sihvola, E., Miettinen, K., Toivonen, K., Sarlin, L., Kiiski, K., Kulmala, R. & muut asiantuntijat (2015). Robotit maalla, merellä, ilmassa. Liikenne- ja viestintäministeriö.15.

Santamala, H (2016). SOHJOA-Automaattibussit pilotointialustana. Avoin luento 16.8.2016, Sohjoa-6-Aika Kick-off Yritystyöpaja, Helsinki

Santamala, H (2016). Robottibussit liikenteeseen. Ylen aamu-tv, 27.7.2016. Haettu 12.12.2016 osoitteesta

<http://areena.yle.fi/1-3637980>

Sillanpää, M. (2016). Mitä lainsäädäntö sanoo automaattiajamisesta? Avoin luento 16.8.2016, Sohjoa-6Aika Kick-off Yritystyöpaja, Helsinki

Sohjoa (2016). Sohjoa.fi (etusivu). Haettu 20.10.2016 osoitteesta

<http://sohjoa.fi/>

---

## Haastattelut

Nissin, O & Rutanen, E. Otaniemi, 21.10.2016.

## Kuvat

**Kuva 1:** Liikennevirasto 2016. Automaatti- ja autonomisen auton määritelmät. Haettu 6.10.2016 osoitteesta

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts\\_2016-19\\_tieliikenteen\\_automatisoinnin\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2016-19_tieliikenteen_automatisoinnin_web.pdf)

**Kuva 2:** Liikenteen turvallisuusvirasto 2015. Tieliikenteen automaationtasot. Haettu 6.10.2016 osoitteesta

[https://www.trafi.fi/filebank/a/1461576365/fdb4c6b311fb1da01cf40bdf8fd33b5c/20473-Trafi\\_tutkimuksia\\_01-2015\\_-\\_Automaattiajaminen.pdf](https://www.trafi.fi/filebank/a/1461576365/fdb4c6b311fb1da01cf40bdf8fd33b5c/20473-Trafi_tutkimuksia_01-2015_-_Automaattiajaminen.pdf)

**Kuva 3:** Kotilainen, I (2016). Tieliikenteen automaatio ja verkottuneiden ajoneuvojen kokeilut. Avoin luento 16.8.2016, Sohjoa-6Aika Kick-off Yritystyöpaja, Helsinki

**Kuva 4:** Polisvideo 2016, CityMobil2 - Final video. [YouTube-video.] ”Kuvakaappaus” videosta. Julkaistu 20.6.2016. Haettu 6.10.2016 osoitteesta

<http://www.citymobil2.eu/en/About-CityMobil2/Overview/>

**Kuva 5:** Holguin, C & Stam, D (2016). Implementation of ARTS. Avoin luento 2.6.2016. CityMobil2- loppuseminaari, San Sebastian, Espanja. Haettu 8.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final\\_conference/2%20-%20Implementation%20of%20ARTS%20-%20Carlos%20Holguin%20and%20Daniele%20Stam.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final_conference/2%20-%20Implementation%20of%20ARTS%20-%20Carlos%20Holguin%20and%20Daniele%20Stam.pdf)

**Kuva 6:** Raptis, O (2016). Demonstration Trikala. Avoin luento 1.6.2016, CityMobil2- loppuseminaari, San Sebastian, Espanja. Haettu 9.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final\\_conference/5%20-%20Demonstration%20Trikala%20-%20Odiseas%20Raptis.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final_conference/5%20-%20Demonstration%20Trikala%20-%20Odiseas%20Raptis.pdf)

**Kuva 7:** CityMobil2 (2013). Lausanne West Region city study. Haettu 6.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/D3.1\\_Saint-Sulpice.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/D3.1_Saint-Sulpice.pdf)

**Kuva 8:** Graindorge, M (2016). La Rochelle`s ARTS demonstration. Avoin luento 1.6.2016. CityMobil2- loppuseminaari, San Sebastian, Espanja. Haettu 10.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final\\_conference/6%20-%20Demonstration%20La%20Rochelle%20-%20Matthieu%20Graindorge.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final_conference/6%20-%20Demonstration%20La%20Rochelle%20-%20Matthieu%20Graindorge.pdf)

---

**Kuva 9:** Raptis, O (2016). Demonstration Trikala. Avoin luento 1.6.2016, CityMobil2- loppuseminaari, San Sebastian, Espanja. Haettu 7.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final\\_conference/5%20-%20Demonstration%20Trikala%20-%20Odiseas%20Raptis.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final_conference/5%20-%20Demonstration%20Trikala%20-%20Odiseas%20Raptis.pdf)

**Kuva 10:** CityMobil2 (2013). La Rochelle City Study. Haettu 7.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/D8.1\\_LaRochelle.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/D8.1_LaRochelle.pdf)

**Kuva 11:** Polisvideo 2016, CityMobil2 - Final video. [YouTube-video.] ”Kuvakaappaus” videosta. Julkaistu 20.6.2016. Haettu 6.10 osoitteesta

<http://www.citymobil2.eu/en/About-CityMobil2/Overview/>

**Kuva 12:** Raptis, O (2016). Demonstration Trikala. Avoin luento 1.6.2016, CityMobil2- loppuseminaari, San Sebastian, Espanja. Haettu 10.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final\\_conference/5%20-%20Demonstration%20Trikala%20-%20Odiseas%20Raptis.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final_conference/5%20-%20Demonstration%20Trikala%20-%20Odiseas%20Raptis.pdf)

**Kuva 13:** Raptis, O (2016). Demonstration Trikala. Avoin luento 1.6.2016, CityMobil2- loppuseminaari, San Sebastian, Espanja. Haettu 12.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final\\_conference/5%20-%20Demonstration%20Trikala%20-%20Odiseas%20Raptis.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final_conference/5%20-%20Demonstration%20Trikala%20-%20Odiseas%20Raptis.pdf)

**Kuva 14:** Kotilainen, I (2016). Tieliikenteen automaatio ja verkottuneiden ajoneuvojen kokeilut. Avoin luento 16.8.2016, Sohjoa-6Aika Kick-off Yritystyöpaja, Helsinki.

**Kuva 15 (tiedot):** Santamala, H (2016). SOHJOA-Automaattibussit pilotointialustana. Avoin luento 16.8.2016, Sohjoa-6-Aika Kick-off Yritystyöpaja, Helsinki.

**Kuva 16:** Koskela, G (2016). Demonstration Vantaa, s.7. Avoin luento 1.6.2016. CityMobil2 Final Conference, San Sebastian. Haettu 17.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final\\_conference/2%20-%20Demonstration%20Vantaa%20-%20Gilbert%20Koskela.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final_conference/2%20-%20Demonstration%20Vantaa%20-%20Gilbert%20Koskela.pdf)

**Kuva 17:** Sohjoa (2016). Hernesaaren ajettu reitti. Haettu 19.10 osoitteesta

<http://sohjoa.fi/reitti>

**Kuva 18:** Matias Pikkarainen (oma kuva).

**Kuva 19:** Matias Pikkarainen (oma kuva).

**Kuva 20:** Google Maps (2016). Pohjakartta haettu 10.11.2016 osoitteesta

<https://www.google.fi/maps/@60.1846864,24.8352302,15.88z>



---

**Kuva 21:** Matias Pikkarainen (oma kuva).

**Kuva 22:** Sohjoa (2016). Otaniemessä ajettu reitti. Haettu 25.10 osoitteesta

<http://sohjoa.fi/reitti>

**Kuvat 23-29:** Matias Pikkarainen (omia kuvia).

**Kuva 30:** HERE-maps (2016). Pohjakartta haettu 10.11.2016 osoitteesta

<https://wego.here.com/?map=60.17529,24.84433,15,terrain>

**Kuvat 31-33:** Espoon kaupunki (2016). Tallennetusta videomateriaalista otettuja kuvia eli ”kuvakaappauksia”.

**Kuva 34:** Matias Pikkarainen (oma kuva). Havaintoja maastokäynneiltä.

**Kuva 35:** Espoon kaupunki (2016). Tallennetusta videomateriaalista otettuja kuvia eli ”kuvakaappauksia”.

**Kuva 36:** Matias Pikkarainen (oma kuva). Havaintoja maastokäynneiltä.

**Kuvat 37-39:** Espoon kaupunki (2016). Tallennetusta videomateriaalista otettuja kuvia eli ”kuvakaappauksia”.

**Kuva 40:** Matias Pikkarainen (oma kuva). Havaintoja maastokäynneiltä.

**Kuvat 41-46:** Espoon kaupunki (2016). Tallennetusta videomateriaalista otettuja kuvia eli ”kuvakaappauksia”.

**Kuva 47:** Matias Pikkarainen (oma kuva). Havaintoja maastokäynneiltä.

**Kuvat 48-52:** Espoon kaupunki (2016). Tallennetusta videomateriaalista otettuja kuvia eli ”kuvakaappauksia”.

**Kuva 53:** CityMobil2 (2016). Experience and recommendations, 33. Haettu 12.2.2017 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/CityMobil2%20booklet%20web%20final\\_17%2011%202016.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/CityMobil2%20booklet%20web%20final_17%2011%202016.pdf)

**Kuva 54:** HERE-maps (2017). Pohjakartta haettu 6.2.2017 osoitteesta

<https://wego.here.com/?map=60.17529,24.84433,15,terrain>

---

## **Taulukot**

### **Taulukko 1.**

CityMobil2 (2016). Experience and recommendations, 17.  
Haettu 12.2.2017 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/CityMobil2%20booklet%20web%20final\\_17%2011%202016.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/CityMobil2%20booklet%20web%20final_17%2011%202016.pdf)

### **Taulukot 2-5.**

CityMobil2 (2016). Experience and recommendations, 25.  
Haettu 12.2.2017 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/CityMobil2%20booklet%20web%20final\\_17%2011%202016.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/CityMobil2%20booklet%20web%20final_17%2011%202016.pdf)

### **Taulukko 6.**

Koskela, G (2016). Demonstration Vantaa, 10. Avoin luento 1.6.2016.  
CityMobil2 Final Conference, San Sebastian. Haettu 17.10.2016 osoitteesta

[http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final\\_conference/2%20-%20Demonstration%20Vantaa%20-%20Gilbert%20Koskela.pdf](http://www.citymobil2.eu/en/upload/Final_conference/2%20-%20Demonstration%20Vantaa%20-%20Gilbert%20Koskela.pdf)

### **Taulukko 7.**

Matias Pikkarainen (oma taulukko).

Mallinnus Otaniemen kokeilualueelle toteutuneesta liikenteenohjauksesta.

