

Robottibussikokeilut SOHJOA-hankkeessa

Meri Jalonen, Johtamisen laitos, Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulu

Julkaistu: 12.4.2018

Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittama Smart Energy Transition -hanke (293405) viitoittaa, millä toimialoilla ja miten Suomi voi menestyä globaalissa energiamurroksessa.

Tiivistelmä

Tämä case-julkaisu liittyy Suomen akatemian strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamaan Smart Energy Transition (SET) -hankkeeseen (www.smartenergytransition.fi).

Case-raportti kuvaa eri toimijoiden kokemuksia robottibusseilla aidossa liikenneympäristöissä tehdyistä kokeiluista SOHJOA-hankkeessa, jossa kehitetään älykkään sähköisen liikenteen ratkaisuja. Hankkeessa on kokeiltu liikennöintiä automatisoidulla pikkubussilla eli robottibusseilla neljässä suomalaisessa kaupungissa. Hankkeen toteuttaa Metropolia Ammattikorkeakoulu yhdessä kumppaneidensa kanssa. Sen tavoite on tuottaa tietoa automaattibussien luotettavuudesta oikeassa liikenneympäristössä sekä testata automaatiota Suomen olosuhteissa. Tarkoitus on tuoda sähkökäyttöiset pikkubussit saumattomaksi osaksi julkista liikennettä tekemällä robottibusseista toimiva ratkaisu matkaketjujen päiden liikennöintiin.

SOHJOA-hankkeessa ajettiin robottibusseilla neljällä eri reitillä Espoossa, Helsingissä, Tampereella ja Vantaalla kesän 2016 ja loppuvuoden 2017 välillä noin kuukauden mittaisilla kokeilujaksoilla. Kokeilureiteistä haluttiin erilaisia, jotta saadaan kokemusta robottibussien käytöstä eri ympäristöissä. Robottibussit ovat liikenneineet SOHJOA-hankkeen kokeilureiteillä kaikkiaan yli 550 tuntia, ajaneet lähes 2000 kilometriä ja kuljettaneet yli 3900 matkustajaa. Kokeilut osoittivat automaattibussien toimivan turvallisesti aidossa liikenneympäristössä, kunhan liikennejärjestelyjä muutetaan bussin toimintakyvyn mukaisiksi. Ne tuottivat tietoa robottibussien toimintavarmuudesta erilaisissa ympäristöissä, liikennetilanteissa ja sääolosuhteissa. Lisäksi saatiin tietoa bussilla matkustaneiden käyttökokemuksesta sekä suhtautumisesta automaattiseen joukkoliikenteeseen. Ymmärrystä robottibusseille sopivista käyttöympäristöistä ja bussille haastavista liikennejärjestelyistä käytetään uusien kokeilureittien valinnassa. Jatkokossa reittien halutaan vastaavan paremmin kokeilualueiden liikkumistarpeisiin.

Matkustajat ja media ovat ottaneet robottibussit innostuneesti vastaan. Bussit ovat houkutelleet käyttäjiä pitkienkin matkojen päästä ja saaneet näkyvää mediahuomiota niin Suomessa kuin kansainvälisesti. Hankkeen saama julkisuus on tukenut myös yritysten rekrytoimista yhteistyöhön. Hanke tarjoaa robottibussit suomalaisille yrityksille avoimena innovaatioalustana tuodakseen toimijoita yhteen älykkään liikenteen kehittämisessä.

SOHJOA-hanke on toiminut osallistujien käyntikorttina älykkään liikenteen kehittämisessä. Metropolia kumppaneineen on käyttänyt robottibussikokeiluja tunnistaakseen tutkimusaiheita, jotka edistävät joukkoliikenteen automaation kehittämistä ja kaupallistamista. Hankekumppanit ovat saaneet rahoitusta jatkohankkeille, joissa laajennetaan kokeiluja pidempiaikaisille reiteille ja kehitetään digitaalista infrastruktuuria automaattiajoneuvoille. Jatkohankkeet tukevat SOHJOA-hankkeen pitkän aikavälin tavoitetta siirtää ja skaalata kokeilukaupungeissa kehitetyt toimintamalleja toisiin kaupunkeihin. Hankkeen osapuolten mielestä robottibussien kehittämistä ja liikennöintikokeiluja tulee vielä jatkaa, jotta saadaan kokemuksia bussien pidempiaikaisen liikennöinnin vaikutuksista.

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Älykkään liikenteen kokeilut SOHJOA-hankkeessa: tausta ja tavoitteet.....	2
2.1	Liikenteen automaatiokehitys.....	2
2.2	Joukkoliikenteen automaatiokokeilut Suomessa.....	3
2.3	SOHJOA-hanke 2016-2018.....	4
3	Kokeilut robottibusseilla neljässä kaupungissa.....	5
3.1	Robottibussit älykkään liikenteen teknologiana.....	5
3.2	Robottibussikokeilujen valmistelut.....	6
3.3	Kokeilut Hernesaassa, Hervannassa, Otaniemessä ja Helsinki-Vantaan lentokentällä.....	8
4	Oppiminen robottibussikokeiluissa	10
4.1	Kokemuksia robottibussikokeiluista.....	10
4.2	Kokeilujen edellyttämä ja synnyttämä osaaminen.....	13
5	Oppimisen siirtäminen kokeilujen välillä ja niiden yli	14
5.1	Aiempien kokeilujen kokemusten hyödyntäminen.....	14
5.2	Kokeilujen dokumentointi ja arviointi.....	14
5.3	Viestintä kokeiluista ja niiden tuloksista.....	15
5.4	Kokeilujen skaalautuminen ja älykkään liikenteen kehitysnäkymät.....	16
6	Yhteenveto	18
	Lähteet	19

1 Johdanto

Tämä case-julkaisu liittyy Suomen akatemian strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamaan Smart Energy Transition (SET) -hankkeeseen (www.smartenergytransition.fi). SET-hanke tutkii, miten Suomi voi hyötyä hajautetun ja vaihtelevan uusiutuvan energian ympärille nousevista murroksellisista teknologioista. Kyse on ratkaisuisista, joissa energian tarvetta voidaan ohjata vaihtelevan tuotannon mukaan (kysyntäjousto) tai energiaa voidaan varastoida. Näihin ratkaisuihin liittyvät olennaisesti uudet digitaaliset ratkaisut kuten esineiden internet. Samalla murrokseen liittyy myös kehitys, jossa rakennusten ja liikenteen energian tarve pienenee, energiaomavaraisuus kasvaa ja rakennukset ja liikennevälineet muodostavat yhä kiinteämmän osan energiajärjestelmää.

Kokeilut ovat yksi tapa rakentaa uuteen energiajärjestelmään liittyvää osaamista. Kokeilut onkin mainittu Sipilän hallituksen hallitusohjelmassa (Valtioneuvoston kanslia, 2015) tärkeänä uutena keinona edistää innovatiivisuutta ja yrittäjyyttä, parantaa palveluja sekä vahvistaa alueellista ja paikallista päätöksentekoa. SET-hankkeen osahanke 4 (Kokeiluista oppiminen) tutkii, miten uuden energian kokeiluista voitaisiin oppia enemmän. Kokeiluina tässä tarkastellaan kotimaisia demonstraatiohankkeita, pilotteja, koerakentamishankkeita, muita kokeiluja ja varhaisia käyttökokeimuksia uusien energiaratkaisujen soveltamisesta erityisesti rakennuksissa, rakennetussa ympäristössä ja liikenteessä. Tällaisista kokeiluista on koottu yli 100 hankkeen tietopankki, joka löytyy osoitteesta: <http://energiakokeilut.fi>.

SET:n osahankkeessa 4 tehdään 20 tapaustutkimusta, joissa tutkitaan, miten kotimaisista demonstraatioista, piloteista, kokeiluista ja varhaisista käyttökokeimuksista voitaisiin oppia erityisesti sen suhteen mitä osaamisia energiamurroksessa tarvitaan ja mitä osaamisia toimintaympäristöstä puuttuu. Erityisen kiinnostuksen kohteena ovat suunnitteluun, asentamiseen, käyttöönottoon, käytettävyyteen, käyttöön, huoltoon liittyvät osaamiset. Tavoitteena on analysoida kokeiluja sen suhteen, mitä osaamista kokeiluissa tarvitaan ja minkälaista osaamista kokeiluissa huomataan puuttuvan. Tuloksia voidaan hyödyntää koulutuspolitiikassa, käyttöliittymämuotoilussa ja palvelumuotoilussa. Lisäksi pyrkimyksenä on, että julkisesti rahoitetusta kokeilutoiminnasta voitaisiin oppia nykyistä enemmän ja systemaattisemmin, erityisesti teknologiapolitiikassa, energiapolitiikassa ja liikennepolitiikassa. Kaikkien 20 casen tulokset vedetään tätä tarkoitusta varten yhteen ja analysoidaan niistä nousevia oppimisen ja osaamisen haasteita ja mahdollisuuksia.

Tämä case-julkaisu käsittelee älykkään sähköisen liikenteen kehittämistä SOHJOA – Autonominen Last mile -liikenteen fyysinen ja virtuaalinen innovaatioalusta urbaanissa ympäristössä -hankkeessa. Hankkeessa on kokeiltu liikennöintiä automatisoidulla pikkubussilla eli robottibussilla neljässä suomalaisessa kaupungissa vuodesta 2016 lähtien. Hankkeen toteuttaa Metropolia Ammattikorkeakoulu yhdessä kumppaneidensa kanssa. Sen tavoite on tuottaa tietoa automaattibussien luotettavuudesta oikeassa liikennenympäristössä sekä testata automaatiota Suomen olosuhteissa. Tarkoitus on tuoda sähkökäyttöiset pikkubussit saumattomaksi osaksi julkista liikennettä tekemällä robottibusseista toimiva ratkaisu matkaketjujen päiden liikennöintiin.

Raportti perustuu yhteensä 15 hankkeen osapuolen haastatteluun. Haastateltavat ovat kokeilujen toteuttajia ja rahoittajia Metropolia Ammattikorkeakoulusta, Forum Virium Helsingistä, Aalto-yliopistosta, Tampereen teknillisestä yliopistosta, Espoon kaupungilta, liikenteen turvallisuuskeskus Trafista, Uudenmaan liitosta sekä kumppaniryityksistä. Haastattelujen lisäksi tutkimuksessa on seurattu robottibussin reitin valmistelua ja kuljettu robottibussin kyydissä toimintaa havainnoiden. Raportin kirjoittamisessa on hyödynnetty hanketta koskevia tutkimuksia ja raportteja, hankkeesta kirjoitettuja media-artikkeleita sekä hankekumppaneiden tiedotteita.

2 Älykkään liikenteen kokeilut SOHJOA-hankkeessa: tausta ja tavoitteet

2.1 Liikenteen automaatiokehitys

Liikenteen digitalisaation ennakoidaan mullistavan niin liikkumisen ja liikenteen palvelut kuin niitä tarjoavien organisaatioiden liiketoimintamallit (Pilli-Sihvola ym., 2015). Keskeinen osa digitalisaatiota on älykäs automaatio, jota on Suomen viranomaisten toimesta ryhdytty edistämään etenkin tieliikenteessä. Liikenne- ja viestintäministeriön linjauksen mukaan Suomen tulee olla eturintamassa liikenteen automatisaatioon varautumisessa ja mahdollisuuksien hyödyntämisessä (Lumiaho & Malin, 2016). Liikenneviranomaiset toteuttavat nykyisen hallitusohjelman linjauksia hyödyntää kokeiluja ja digitalisaation tarjoamia mahdollisuuksia (Valtioneuvoston kanslia, 2015) pyrkimyksenään vauhdittaa innovaatio- ja palvelualustojen syntyä liikenteessä ja liikkumisessa (Pilli-Sihvola ym., 2015). Viranomaiset toivovat Suomen profiloituvan erityisesti liikenteen automaation arktisena testiympäristönä mottona ”jos se toimii Suomessa, se toimii missä vain!” (em.). Vuonna 2017 julkaistun Liikennealan kansallisen kasvuohtelman tavoitteena on tehdä Suomen liikennealasta ”maailmalla tunnettu ja tunnustettu älykkään ja kestävä liikkumisen sekä innovatiivisten ratkaisujen malliesimerkki” (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017a, s. 6), minkä saavuttamisessa kokeiluilla on merkittävä rooli.

Automaatiokehityksen rinnalla tieliikenteeseen on tulossa uusia palvelu- ja liiketoimintamalleja, kuten liikkuminen palveluna (Mobility as a Service) sekä ajoneuvojen yhteiskäyttö. Viranomaiselliset ovat keskittyneet lähinnä automatisaation vaikutuksiin henkilöautoliikenteessä, mutta automaattiajoneuvojen mahdollisuudet joukkoliikenteessä esimerkiksi syöttöliikenteen mahdollistajina on tunnustettu (Lumiaho & Malin, 2016). Vuodesta 2015 lähtien Suomessa on tehty useita kokeiluja automaattisilla pikkubusseilla kaupunkialueilla automaattikkaa hyödyntävien liikkumispalveluiden kehittämiseksi.

Joukkoliikenteen automaatiolla tavoitellaan joukkoliikenteen kulutapaosuuden kasvattamista suhteessa henkilöautoihin: bussien automatisoinnin toivotaan parantavan joukkoliikenteen palvelutasoa sekä bussiliikenteen ympäristöystävällisyyttä ja tehokkuutta (Huhta, 2017). Automaattiset pikkubussit osana julkista liikennettä voisivat palvella matkustajia lyhyillä matkoilla joukkoliikenteen pysäkillä määränpään ja kasvattaa joukkoliikenteen vetovoimaa parantuneen palvelutason avulla suhteessa henkilöautoihin (Huhta, 2017; Salonen, 2018). Odotusten mukaan liikennöintiä voidaan lisätä automaation laskiessa kuljettajakustannuksia, minkä li-

säksi täyssähköiset ja ajonopeutensa optimoivat automaattibussit voivat säästää kilometrikustannuksissa (Huhta, 2017). Tulevaisuudessa automaattibussien hankintahinnan oletetaan laskevan teknologian kehittymisen ja massatuotannon myötä (Huhta, 2017).

Joukkoliikenteen – kuten henkilöautoliikenteen – automaation kehittämisessä keskeinen haaste on automaattiajoneuvojen toimintaympäristö, jossa ajoneuvo kohtaa sekä ennustettavia että ennalta arvaamattomia tekijöitä (Huhta, 2017). Automaatiolta vaaditaan älykkyyttä avoimessa toimintaympäristössä, jossa ennakoimattomia tekijöitä on paljon. Joukkoliikenteen automaatio onkin pisimmällä suljetussa raideliikenteessä metrolinjoilla. Tieliikenteen automaatiossa joukkoliikenteen etuna pidetään ennalta määriteltyjä reittejä, mikä tekee automaattibussista ennustettavamman muun liikenteen näkökulmasta, vaikka se kulkisi avoimessa ympäristössä. Automaattibussin näkökulmasta määritellyn reitin kulkeminen tarkoittaa ennustamattomien tekijöiden vähentymistä, kun kohdattavia liikennetilanteita voi ennakoida. Kokeilut automaattibusseilla ovat viime vuosina siirtyneet suljetuista ympäristöistä kohti avoimia ympäristöjä, joissa bussin tukena on sen kulkua ja ympäristöä seuraava ihmisoperaattori.

2.2 Joukkoliikenteen automaatiokokeilut Suomessa

Kokeilut automaattisilla pikkubusseilla alkoivat Suomessa kesällä 2015, kun EU:n seitsemännen puiteohjelman rahoittama laaja tutkimushanke CityMobil2 toi automaattiset pikkubussit Vantaan Kivistön asuntomessuille. Hankkeessa tutkittiin automatisoidun pikkubussin käyttöä liikkumisketjun päissä (first and last mile), joissa ajoneuvo voi toimia joukkoliikenteen syöttöliikenteessä. Hankkeen puitteissa robottibusseja kokeiltiin seitsemässä eurooppalaisessa kaupungissa.

Vantaan asuntomessuilla Kivistössä liikennöintiin neljää robottibussia, jotka kuljettivat kävijöitä parkkipaikalta asuntomessualueelle. Reitti kulki 950 metriä asuntomessujen portilta Kivistön juna-asemalle pitkin vastarakennettua jalankulku- ja pyörätietä, joka oli erotettu aidalla muusta liikenteestä. Vaihtoehtoisina reitteinä oli puolentoista kilometrin kävely tai pidempi reitti tavalisella bussilla, jossa oli harvempi vuoroväli. Kuukauden kestäneiden asuntomessujen aikana robottibussit kuljettivat 19 000 matkustajaa ja kulkivat yli 3 900 km (CityMobil2, 2016). Vantaan-reitin matkustajamäärä oli suurin CityMobil2-hankkeen kokeilupaikkakunnista siitä huolimatta, että toisissa kaupungeissa kokeilu-aika oli jopa muutamaa kuukautta pidempi. Matkustajat olivat tyytyväisiä palvelun laatuun ja mukavuuteen ja pitivät kuljettajatonta joukkoliikennepalvelua hyödyllisenä tulevaisuuden liikennemuotona (CityMobil2, 2015).

Kokeilujen lisäksi CityMobil2-hankkeessa selvitettiin automaattiajamisen lainsäädäntöä, mihin Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi osallistui. Vuonna 2014 todettiin tämän selvitystyön yhteydessä, että Suomessa automaattiajamista voi kokeilla koko tieverkolla. Selvityksen yhteydessä todettiin myös automaattiajoneuvojen etäohjauksen olevan mahdollista, vaikka teknologista etäohjauksen ratkaisua ei vielä tuolloin ollutkaan saatavilla. Suomen liikenneviranomaiset ovat tehneet lisäselvityksiä ja rakentaneet liikenteen automatisaation toimenpideohjelman, jonka tarkoitus on edistää automaation vaiheittaista etenemistä koko liikennesektorilla (Arola & Antikainen, 2017; Lumiaho & Malin, 2016; Pilli-Sihvola ym., 2015). Parhaillaan Liikenne- ja

viestintäministeriö on valmistelemassa tieliikennelain kokonaisuudistusta, jossa huomioidaan myös tulevat automaattiajamisen mahdollisuudet.

2.3 SOHJOA-hanke 2016-2018

CityMobil2-hankeen Kivistön myönteisten kokemusten rohkaisemana hankkeeseen osallistunut Metropolia Ammattikorkeakoulu on ryhtynyt laajentamaan älykkään liikenteen kokeiluja automaattibusseilla yhteistyössä kumppaneittensa kanssa. SOHJOA – Autonominen Last mile -liikenteen fyysinen ja virtuaalinen innovaatioalusta urbaanissa ympäristössä -hankkeessa kokeillaan automatisoituja pikkubusseja tavallisen liikenteen seassa suomalaisissa kaupungeissa (<http://sohjoa.fi/>). Alkaessaan kesällä 2016 Helsingissä hankkeen robottibus-sijat olivat ensimmäisiä avoimella tiellä toteutettuja kokeiluja automatisoiduilla pikkubusseilla maailmassa. SOHJOA-hankkeessa tehtyjen kokeilujen myötä rahoitusta on saatu uusille hankkeille, jotka tuovat robottibusseja uusille alueille pidempiaikaisiin kokeiluihin.

SOHJOA-hankkeen tavoite on tuoda sähkökäyttöiset pikkubussit saumattomaksi osaksi julkista liikennettä tekemällä robottibusseista toimiva ratkaisu matkaketjujen päiden liikennöintiin julkisen liikenteen osuuden kasvattamiseksi ja tieliikenteen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi (Metropolia ym., 2016). Hankkeen vetäjät halusivat siitä kansallisen ponnahduslaidan, joka toisi suomalaisia toimijoita yhteen älykkään liikenteen kehittämisessä. Hanke tarjoaa robottibussit suomalaisille yrityksille avoimena innovaatioalustana, jossa ne voivat kokeilla automaattisen liikenteen edellyttämiä ja mahdollistamia tuote- ja palveluideoita. Hankkeen tarkoituksena on tuottaa tietoa automaattibussin luotettavuudesta oikeassa liikenneympäristössä julkisen sektorin toimijoille sekä testata automaatiota Suomen olosuhteissa. Pitkällä aikavälillä hanke pyrkii kehittämään pysyvää joukkoliikenteen automaatiota Suomen suurimmissa kaupungeissa sekä siirtää ja skaalata niissä kehitettyjä toimintamalleja toisiin kaupunkeihin ja kansainvälisiksi ratkaisuksi.

Hanketta koordinoi Metropolia Ammattikorkeakoulu, jonka kumppaneita ovat Aalto-yliopisto, Forum Virium Helsinki, Maanmittauslaitos ja Tampereen teknillinen yliopisto. Hankkeen pääasiallinen rahoitus tulee 6Aika-strategiasta, joka on osa Suomen rakennerahasto-ohjelman Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 toteutusta. Strategiaa toteuttavat Suomen suurimmat, niin sanotut kuutoskaupungit Helsinki, Espoo, Vantaa, Oulu, Tampere ja Turku. Rahoittavana viranomaisena EAKR-rahoituksen osalta toimii Uudenmaan liitto. Lisäksi kokeilut saavat rahoitusta Liikenneviraston ja Liikenteen turvallisuusvirasto Trafic Nordic Way -hankkeesta. SOHJOA-hankkeeseen osallistuvat 6Aika-kaupungeista Espoo, Helsinki, Tampere ja Vantaa. Lisäksi kokeiluihin on osallistunut useita suomalaisia yrityksiä, jotka kehittävät teknologiaa ja palveluita älykkääseen liikkumiseen.

3 Kokeilut robottibusseilla neljässä kaupungissa

SOHJOA-hankkeessa ajettiin robottibusseilla neljällä eri reitillä kesän 2016 ja loppuvuoden 2017 välillä noin kuukauden mittaisina kokeilujaksoina. Lisäksi robottibussit ovat olleet käytössä lyhyillä reiteillä erilaisissa tapahtumissa. Kokeilut alkoivat Helsingin Hernesaassa heinä-elokuussa 2016, mistä siirryttiin Espoon Otaniemeen lokakuussa ja Tampereen Hervantaan marraskuussa. Vuonna 2017 Hervannassa jatkettiin samalla reitillä touko-kesäkuussa, mutta kesäksi suunniteltu kokeilu Helsingissä siirtyi seuraavaan vuoteen. Syksyllä 2017 ajettiin Helsinki-Vantaan lentokentällä lokakuussa ja Otaniemessä loka-marraskuussa. Vuodelle 2018 suunnitellaan uusia reittejä.

3.1 Robottibussit älykkään liikenteen teknologiana

Automaattiset ajoneuvot on luokiteltu ajosuorituksen itsenäisyysasteen mukaan kuuteen eri tasoon, jossa korkeimmalla tasolla 5 ovat autonomiset ajoneuvot (SAE International, 2016). SOHJOA-hankkeessa käytetyt robottibussit ovat korkean automaation tason 4 pikkubusseja (Huhta, 2017). Robottiautoista poiketen robottibussin liikkuminen perustuu ennalta ohjelmoituun reittiin ja reaaliaikaiseen, tarkkaan paikannukseen eri teknologioilla. Laserkeilaukseen perustuva lidar-tutka (light detection and ranging) tunnistaa maaston ajettavalla reitillä ja sen ympärillä ja yhdistää tutkan tiedot GPS-signaalin kautta tulevaan paikkatietoon. Esteet robottibussi tunnistaa ajoneuvon kulmissa sijaitsevilla lidar-tutkilla, jotka muodostavat bussin ympärille turvakehän. Koska tutkat ovat yksitasolasereita, ne tunnistavat vain tietyllä korkeudella havaittavat esteet, minkä takia bussin havainnointikentässä on katvealueita. Seuraavaan bussin kehitysversioon on tulossa monitasolaserit katveiden minimoimiseksi. Robottibussin käyttövoima on sähkö, ja bussi kulkee olosuhteista ja reitistä riippuen noin kymmenen tuntia yhdellä latauksella.

Ohjelmoituun reittiin on kuvattu laserien havaitsema ympäristö, ja reitti muodostaa robottibusseille ikään kuin virtuaaliset kiskot. Niinpä bussi ei itse kykene poikkeamaan reitiltä, esimerkiksi väistääkseen tiellä olevaa estettä. Mikäli se havaitsee esteen, se pysähtyy odottamaan. Jos este ilmestyy yllättäen, bussi tekee hätäpysäytyksen äkkijarrutuksella. Bussi ei tunne liikennesääntöjä, minkä takia sille on kokeilujen aikana annettu etuajo-oikeus ajettulla reitillä. Matkustajien ja muun liikenteen turvallisuuden takaamiseksi robottibussien valmistaja on määrittellyt kokeiluajoin maksiminopeudeksi 11-15 km/h, vaikka ajoneuvo voisi periaatteessa ajaa jopa 40 km/h. Bussin automaattiajosta huolimatta liikennöinnin aikana bussin kyydissä on aina sen toimintaa valvova operaattori, joka tarvitessa ottaa ajoneuvon ohjaukseensa.

SOHJOA-hankkeessa on käytössä kaksi ranskalaisen EasyMilen valmistamaa EZ10-ajoneuvoa, jotka ovat käytössä leasing-sopimuksella (Kuva 1). Saman valmistajan ajoneuvoja kehitettiin jo Kivistössä vuonna 2015. Robottibussien valmistajia on kaikkiaan yli 20, joista näkyvimpiä ovat EasyMilen lisäksi ranskalainen Navya ja yhdysvaltalainen LocalMotors. EasyMilen robottibussi julkistettiin 2014 ja sillä on tehty kokeiluja yli 50 kohteessa 17 maassa Euroopassa, Aasiassa, Lähi-Idässä, Australiassa ja Pohjois-Amerikassa (<http://www.easymile.com/>). Viime aikoihin asti nämä kokeilut ovat olleet pienimuotoisia ja niitä

on tehty pääasiassa suljetun ympäristön reiteillä. Pidempiaikainen kokeilu EasyMilen pikku-busseilla on meneillään Hollannin Wageningessa, jossa robottibusseja kutsutaan WEpodeiksi (<http://wepods.com/>). Saman valmistajan ajoneuvoja käytetään myös Saksassa Bad Birnbachissa, jossa Deutsche Bahn avasi ensimmäisen säännöllisen robottibussilinjan syksyllä 2017¹.



Kuva 1. SOHJOA-robottibussi Helsinki-Vantaan lentokentän kokeilureitillä.

Ajoluvista vastaava Trafi myöntää koelupia organisaatioille, jotka haluavat testata tyyppihyvaksyntää vailla olevaa ajoneuvoa julkisilla teillä. Koenumerotodistuksen ja koekilpien saamiseksi Trafi edellyttää organisaatioiden tekemän riskienhallintasuunnitelman sekä raportoitavan Trafille säännöllisesti kokeilujen tuloksista. Trafi tarjoaa automaattiliikennettä kokeileville organisaatioille myös asiantuntija-apua esimerkiksi Suomen lainsäädännön suhteen, kun nämä suunnittelevat kokeiluja ja liiketoimintamalleja. Robottibussikokeilujen aloittamiseksi Metropolia haki Trafilta koelupaa.

3.2 Robottibussikokeilujen valmistelut

Itse kokeilujen valmistelut alkavat robottibussin reitin valinnalla. Kokeilureiteistä on haluttu erilaisia, jotta saadaan kokemusta robottibussien käytöstä eri ympäristöissä. Reitin valintaan vaikuttaa myös saatavilla oleva säilytys- ja latauspaikka, jonka halutaan olevan päätepysäkin

¹ Deutsche Bahn setzt auf autonomes Fahren: Im Roboterbus ins neue Verkehrszeitalter. Stuttgarter Nachrichten 5.11.2017.

lähellä. Helsingissä mahdollisten reittien kartoituksesta ja niihin liittyvistä neuvotteluista on vastannut Forum Virium Helsinki, Espoossa ja Vantaalla Metropolia ja Tampereella Tampereen teknillinen yliopisto. Reitille tarvitaan myös robottibussien valmistajan hyväksyntä.

Reitin valitsemisen jälkeen suunnittelua jatketaan yhdessä valmistajan kanssa, joka myös suosittelee tiettyjä liikennejärjestelyjä. Reitti hyväksytetään kaupungin edustajilla, joiden kanssa sovitaan väliaikaiset liikennejärjestelyt. Lisäksi reitin perustamiseen tarvitaan kiinteistönomistajien lupa ja näiden kanssa neuvotellaan tarvittaessa myös tarvittavista liikennejärjestelyistä. Esimerkiksi Espoon reitillä kiellettiin katupysäköinti kokeilujen ajaksi ja Metropolia neuvotteli kiinteistönomistajien kanssa korvaavien pysäköintipaikkojen varaamisesta. Lisäksi Metropolia on kertonut pelastusviranomaisille robottibussin erityispiirteistä.

Kokeilureitti opetetaan robottibussille ajamalla sitä pitkin manuaalijolla, jonka aikana bussin ohjelmisto piirtää pistekartan ympäristöstään paikannuslaserien mukaan ja seuraa sijaintiaan GPS-paikannuksen avulla. Valmistaja vastaa reitin ohjelmoimisesta, mutta muutamat Metropolian operaattorit ovat saaneet valmistajan koulutuksen ohjelmointiin ja pystyvät tekemään esimerkiksi olemassa olevien reittien päivityksiä. Mikäli bussi liikkuu maisemassa, josta on vaikea löytää erottuvia kiintopisteitä (esim. metsä tai aukea alue), voidaan sille rakentaa keinotekoisia kiintopisteitä. Reitin liikennöinti aloitetaan, kun reitti on usean ajon perusteella hiottu riittävän varmaksi ja todettu turvalliseksi.

Reittien liikennejärjestelyistä on vastannut Metropolia yhdessä EasyMilen kanssa. Reitin varrelle pystytetään robottibussin liikennöinnistä ja etuajo-oikeudesta kertovia liikennemerkejä muuta liikennettä varten (Kuva 2). Liikennemerkkien pystyttäminen on kuulunut Metropolian operaattorien tehtäviin, lentokentän reitille liikennemerkit asensi Finavia.

Kokeilujen valmisteluihin on kuulunut robottibussin kulkua valvovien operaattorien koulutus, josta on vastannut ajoneuvojen valmistaja. Operaattorit ovat perehtyneet bussin teknologiaan ja toimintatapaan: tarvittaessa heidän pitää olla valmiita ottamaan bussin ohjaus omiin käsiinsä. Lisäksi operaattorien tehtäviin on kuulunut robottibussin toiminnan esittely matkustajille.

Liikennöinnistä kokeilureiteillä on pyritty tiedottamaan mahdollisille matkustajille eri kanavia pitkin. Reitit on julkaistu SOHJOA-hankkeen verkkosivuilla ja operaattorit ovat käyttäneet hankkeen Twitter-tiliä tiedottaakseen päivittäisestä liikennöinti-aiakataulusta. Ennakkotiedottaminen on hoidettu eri tavoin eri kaupungeissa, esimerkiksi Tampereella ensimmäisistä syksyn 2016 kokeiluista kerrottiin yliopiston intranetissä henkilökunnalle ja opiskelijoille, sosiaalisessa mediassa ja paikallisissa taloyhtiöissä. Monet matkustajat ovat saaneet tiedon kokeiluista uutisoinnin kautta, sillä robottibussit ovat nauttineet laajaa mediahuomiota.



Kuva 2. Robottibussien liikennöinnistä tiedottava kyltti Hervannassa (kuva: Tuomas Paloniemi).

3.3 Kokeilut Hernesaassa, Hervannassa, Otaniemessä ja Helsinki-Vantaan lentokentällä

Robottibusseja on kokeiltu SOHJOA-hankkeen puitteissa kesästä 2016 lähtien pääasiassa neljässä kaupungissa – Helsingissä, Espoossa, Tampereella ja Vantaalla – profiileiltaan erilaisilla reiteillä. Kaikkien reittien palvelukuvaus oli kuitenkin samanlainen: reittiä on operoitu arkipäivisin joitakin tunteja päivässä ja bussin käyttö on ollut ilmaista. Näiden pidempien kokeilujaksojen lisäksi robottibussit ovat kuljettaneet ihmisiä erilaisissa tapahtumissa esimerkiksi Hämeenlinnassa ja Helsingissä.

Ensimmäinen reitti avattiin Helsingin Hernesaassa kesällä 2016: se oli Suomen ensimmäinen avoimessa tieliikenteessä tapahtunut automaatiokokeilu. Robottibussin noin 600 metrin pituinen reitti kulki Hernesaarenrannassa suoralla autotiellä, päätepysäkkeinä samana kesänä avautuneet ravintola Löyly ja Hernesaaren ranta -ravintola-alue. Kokeilureitillä kulki muuta autoliikennettä, kaupunkiliikenteen bussilinja, ravintoloiden bussikuljetuksia sekä risteilyaluksille liikennöiviä turistibusseja. Haastateltavien mukaan reitti oli ”showcase”, jolla saatiin näkyvyyttä kokeiluille – liikennepalveluiden näkökulmasta reitillä ei ollut suurta arvoa. Jatkossa Helsinkiin halutaan kokeilureitti, jossa voidaan paremmin arvioida robottibussien liikennehyötyjä.

Espoon Otaniemessä robottibussi liikennöi syksyllä 2016 ja uudestaan vuoden 2017 syksynä. Alun perin robottibussin oli tarkoitus palvella Länsimetron syöttöliikennettä, mutta metron käyttöönoton viivästyttyä reitti suunniteltiin palvelemaan Aalto-yliopiston kampusalueen sisäistä liikennettä (Pikkarainen, 2017). Kokeilureitti kulki tonttikadulla Aalto-yliopiston kampusalueen laidalla noin 700 metrin pituista matkaa Design Factoryn ja Valimon opiskelijaravintolan välillä. Reitin päätepysäkeillä robottibussin piti ajaa parkkipaikalle piha-alueelle, lisäksi katuosuudella oli yksi välipysäkki. Robottibussia varten reitille tehtiin erilaisia poikkeavia liikennejärjestelyjä, kuten kadunvarsien pysäköintikielto sekä robottibussien etuajo-oikeuden varmistavat risteysten liikennevalot. Lisäksi bussi ohjelmoitiin kulkemaan reitin mutkaiset ja mäkiiset osuudet pienemmällä nopeudella.

Tampereen Hervannassa robottibussi ajoi syksyllä 2016 ja keväällä 2017. Kokeilureitti kulki Hervantakeskuksen ja Tampereen teknillisen yliopiston välillä noin 900 metrin pituisen matkan, jossa oli kolme pysäkkiä. Tällä reitillä bussi kulki kävely- ja pyörätiellä sekä huoltoajoon käytettävällä pelastustiellä. Joukkoliikenne ei kulje kampusalueella ja myös autoliikennettä on rajoitettu. Hervannan-reitin valinta on yhteydessä Tampereelle rakennettavaan raitiotielinjaan, joka muuttaisi alueen bussiliikenteen liityntälinjoiksi (Huhta, 2017).

Vantaalla robottibussi operoi Helsinki-Vantaan lentokentällä lokakuun 2017 ajan. Kokeilureitti kulki Terminaali 2:n ja pitkäaikaisen ulkopysäköintialueen välillä noin yhden kilometrin pituista matkaa, jossa oli kolme pysäkkiä. Reitin toinen päätepysäkki oli terminaalin viereisellä pysäköintialueella, muuten se kulki kevyen kävely- ja pyörätietä pitkin. Terminaalien ja pysäköintialueiden väliä kulkee myös Finavian bussi, jonka reitti kulkee lentokenttäalueen teitä pitkin. Kokeilu toteutettiin yhdessä Finavian kanssa, minkä merkiksi robottibussiin laitettiin liikennöinnin ajaksi Finavian tarrat. Lentokentällä bussille ei ollut tarjolla sopivaa yösiilytys- ja latauspaikkaa, minkä takia sille pystytettiin pysäköintialueelle oma telta ja lataukseen saatiin sähkötyövälineitä työmältä.

Robottibussit ovat liikennöineet SOHJOA-hankkeen kokeilureiteillä kaikkiaan yli 550 tuntia, ajaneet lähes 2000 kilometriä ja kuljettaneet yli 3900 matkustajaa (tarkemmat tiedot Taulukossa 1). Lukumääräisesti eniten matkustajia keräsi Tampereen reitti, jossa robottibussia käytti yhteensä 2030 henkilöä vuosina 2016 ja 2017, kun Espoo reitillä matkustajamäärä jäi reiluun 1100 henkilöön. Keskimäärin robottibusseissa on ollut matkustajia alle yhdestä (Vantaa 2017) yli kolmeen (Espoo 2016) ajettua kilometriä kohden bussin kapasiteetin ollessa kahdeksan matkustajaa operaattorin lisäksi. Vuoden 2015 kokeiluissa Kivistön asuntomessuilla keskimääräinen matkustajamäärä oli korkeampi, lähes viisi matkustajaa per kilometri. Haastateltavat kertoivat bussin käytön vaihdelleen paljon kellonajasta ja säästä riippuen – välillä bussit saattoivat ajaa reittiä täysin, toisinaan tyhjiin.

Kokeilujen on tarkoitus jatkua vuoden 2018 keväällä ennen SOHJOA-hankkeen päättymistä toukokuun lopussa. Reittisuunnitelmia erityisesti Helsingissä on pitänyt muuttaa useaan otteeseen, eikä Espoossa ehditä enää ajaa. Kevään reitti on suunnitteilla Helsingin Suvilahteen, sillä muut ehdotetut reitit ovat osoittautuneet ongelmallisiksi liikennejärjestelyjen osalta.

Taulukko 1. Robottibussien kokeilureittien vertailutilastot vuosilta 2016 ja 2017 (Metropolia, 2016, 2017).

Reitti	Ajettu matka	Ajetut tunnit/päivät	Matkustajamäärä
2016			
Helsinki	185 km	73 h	481 hlö
Espoo	179 km	65 h	602 hlö
Tampere	212 km	48 h	670 hlö
<i>Yhteensä</i>	<i>576 km</i>	<i>186 h</i>	<i>1753 hlö</i>
2017			
Espoo	364 km	145 h (29 päivänä)	522 hlö
Tampere	600 km	132 h (27 päivänä)	1360 hlö
Vantaa	439 km	88 h (22 päivänä)	283 hlö
<i>Yhteensä</i>	<i>1403 km</i>	<i>365 h</i>	<i>2165 hlö</i>
Kaikki reitit yhteensä	1979 km	551 h	3918 hlö

4 Oppiminen robottibussikokeiluissa

4.1 Kokemuksia robottibussikokeiluista

SOHJOA-hankkeen osallistajat kertoivat robottibussikokeiluiden tuottaneen ymmärrystä sekä automaattisten ajoneuvojen käytöstä osana joukkoliikennettä että kokeilujen järjestämisen vaatimasta työstä. Hankkeen kokeilut osoittivat automaattibussien toimivan turvallisesti aidossa liikenneympäristössä, kunhan liikennejärjestelyjä muutetaan bussin toimintakyvyn mukaisiksi. Haastateltavat korostivat mahdollisimman aidossa mutta turvallisessa ympäristössä tehtävien kokeilujen merkitystä uuden tekniikan kuten automaattiautojen kehittämisessä. Heidän mielestään automatiikkaa on tärkeä kehittää nimenomaan joukkoliikenteen käyttöön kestävien liikkumistapojen kehittämiseksi. Julkisuudessa liikenteen automatisaatio on näkynyt lähinnä itseohjautuvien henkilöautojen kehityksenä, mutta monet haastateltavat korostivat automaattista joukkoliikennettä keinona vähentää yksityisautoilua. Kokeilut tuottivat tietoa robottibussien toimintavarmuudesta erilaisissa ympäristöissä, liikennetilanteissa ja sääolosuhteissa. Lisäksi saatiin tietoa bussilla matkustaneiden käyttökokemuksesta sekä suhtautumisesta automaattiseen joukkoliikenteeseen. Ymmärrystä robottibusseille sopivista käyttöympäristöistä ja bussille haastavista liikennejärjestelyistä käytetään uusien kokeilureittien valinnassa.

Kokeilujen ajaksi robottibussin reiteillä oli poikkeukselliset liikennejärjestelyt. Väliaikaisia liikennejärjestelyjä, kuten Otaniemen katupysäköintikieltoa, ei aina huomattu tai noudatettu. Operaattorien havaintojen mukaan kokeilualueilla säännöllisesti liikkuvat ihmiset oppivat poikkeusjärjestelyt parissa viikossa, mutta satunnaiset kävijät eivät aina osanneet huomioida niitä. Joillekin hankkeen osapuolille vaadittavien järjestelyiden järeys tuli yllätyksenä: heistä oli kummallista ettei robottibussille voinut opettaa reitin liikennesääntöjä reittiä ohjelmoitaessa. Haastateltavien mielestä erikoisjärjestelyt ovat hyväksyttäviä kokeiluvaiheessa, mutta bussien käyt-

töönotto joukkoliikennevälineenä edellyttää niiden sopeutumista olemassa olevaan liikennejärjestelmään. He odottivat robottibussien jatkossa ymmärtävän liikennesääntöjä ja oppivan kulkemansa reitin tyypillisistä tilanteista, mikä vähentäisi ihmisen puuttumisen tarvetta.

Kokeiluista saatiin tietoa robottibussien soveltumisesta erilaisiin liikenneympäristöihin. Nykyisin käytössä oleva automaatioteknologia soveltuu robottibussin alhaisen ajonopeuden takia paremmin joko omalle kaistalleen tai kävely- ja pyöräteille (Pikkarainen, 2017). Autoliikenteen seassa robottibussin hidas nopeus suhteessa muihin autoihin sotkee liikennevirtaa ja voi aiheuttaa vaaratilanteita, kun henkilöautot ohittavat bussin. Ajonopeuden nostaminen edellyttää kuitenkin automaatioteknologian kehittymistä, jotta liikenteen turvallisuus voidaan taata. Kävely- ja pyöräteillä kulkeneilla reiteillä robottibussi sopeutui jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden vauhtiin, mikä toisaalta turhautti osaa bussin matkustajista. Tampereen reitillä osa pyöräilijöistä pyrki ohittamaan bussin, joka kulki pyöräilijöitä hitaammin. Robottibussit veivät tilaa etenkin pyöräilijöiltä: väylän kapeuden takia ohittavat pyöräilijät aiheuttivat joitakin kertoja bussin hätäpysäytyksen. Tulevien reittien suunnittelussa tulisi huolehtia etteivät robottibussit kilpaile kävelyn ja pyöräilyn kanssa, sillä Suomen kansallinen energia- ja ilmastostrategia tavoittelee käveltävien ja pyöräiltävien matkojen määrän 30 % kasvua vuoteen 2030 mennessä (Huhta, 2017). Jotkut haastateltavat ehdottivatkin, että tulevaisuudessa rakennettaville alueille voitaisiin kaavoittaa robottibusseille omia reittiä tai kaistoja.

Kokeiluissa huomattiin robottibussien kulkemisen olevan epävarmaa tiiviisti rakennetun ympäristön ulkopuolella. Automaattibussien on vaikea tunnistaa ympäristöä esim. metsäisillä tieosuuksilla, sillä ne tarvitsevat pysyviä kiintopisteitä suunnistukseen. Samoin GPS-signaalin heikkeneminen tai häviäminen esim. tunnelissa hankaloittaa bussin kulkemista.

Robottibussin hätäpysähdysksiä sattuu silloin tällöin, kun bussi tulkitsee jonkun esteen olevan liian lähellä. Osa pysähdyksistä on kuitenkin turhia: bussi ei kykene erottelemaan havaitsemiansa esteiden kokoluokkaa, vaan tuulen mukana liikkuvat lehdet ja pöly sekä lumihuutaleet voivat aiheuttaa hätäpysäytyksiä. Haastateltavat pitivät tärkeänä, että esteiden tunnistamiskykyä kehitetään liikennöinnin sujuvuuden turvaamiseksi. Metropolian edustajat korostivat, että robottibussin ajonopeuden nostaminen edellyttäisi bussin uudenlaista varustelua matkustajien turvallisuuden takaamiseksi mahdollisissa hätäpysähdyksissä.

Kokeiluissa havaittiin, että muut liikkujat eivät aina osanneet ennakoida robottibussin käyttäytymistä. Esimerkiksi Espoon reitillä jalankulkijat eivät vaikuttaneet luottavan robottibussin väistämiseen vaan antoivat sille tietä. Bussi suhtautuu liikkujiin esteinä, joihin se reagoi mukauttaen ajonopeuttaan ja tarvittaessa pysähtymällä. Haastateltavien mielestä bussi kuitenkin pysähtyy epämiellyttävän lähelle, mikä voi saada jalankulkijan tai pyöräilijän epäröimään, väistääkö bussi. Bussin keinot kommunikoida muun liikenteen kanssa ovat rajalliset: se voi näyttää vilkkua ja käyttää äänimerkkiä. Vilkku menee kuitenkin päälle vasta kun pyörät jo kääntyvät, ja äänimerkki tulee käyttöön vasta hätätilanteessa. Haastateltavien mielestä bussin vuorovaikutusta ympäristön kanssa tulee kehittää. Lisäksi robottibussin reiteillä kulkevien ihmisten pitäisi ymmärtää robottibussin käyttäytymistä.

Robottibussin toimintavarmuus riippuu myös keliolosuhteista. Tuulenpuuskien kuljettamat lehdet ja pöly sekä räntäsade vaikeuttavat ajamista ja voivat jopa aiheuttaa hätäpysäytyksiä, jos bussi pitää niitä äkillisinä esteinä. Talviolosuhteita ei ole päästy testaamaan, koska bussien valmistaja on määritellyt niiden toimintakyvyn vähimmäislämpötilaksi +2 °C eikä busseissa ole lämmitystä. Mikäli robottibussi liikkuisi talvellakin, lumikinokset ja kiintopisteiden muutokset voisivat sekoittaa bussin paikantamista, kun ympäristö muuttuu yllättäen. Yhdeksi ratkaisuksi ympäristön muutoksiin nähtiin, että robottibussi voisi päivittää ennalta ohjelmoitua reittiä jatkuvasti kulkiessaan. Näin se pystyisi sopeutumaan ympäristön vähittäiseen muuttumiseen sen sijaan että reitti pitäisi ohjelmoida uudelleen.

Eri kokeilureitit tuottivat tietoa liikkumistarpeista, joita robottibussit voivat palvella. Haastateltavat totesivat Hervannan reitin suuren käyttäjämäärän osoittavan, että se täyttää aidon liikkumistarpeen. Sen sijaan Hernesaaren ja Otaniemen reitit eivät palvelleet alueen liikkujien tarpeita yhtä hyvin. Hernesaareen tuli matkustajia robottibussin mediajulkisuuden houkuttelevana, vaikka alueelle kulki sekä kaupunkiliikenteen bussilinja että ravintoloiden bussi. Otaniemen reitillä ei ollut julkista liikennettä, mutta jalankulkijoiden reitit eivät välttämättä noudattaneet bussin reittiä. Helsingissä ja Espoossa halutaankin löytää aitoja liikkumistarpeita palvelevia kokeilureittejä.

Matkustajat ja media ovat ottaneet robottibussit innostuneesti vastaan. Matkustajat ovat olleet uteliaita ja kiinnostuneita – jotkut olivat tulleet paikalle varta vasten busseista kuultuaan. Haastateltavat kertoivat matkustajien olleen pettyneitä, kun robottibussin liikennöinti syksyllä 2016 loppui Tampereella talvien sääolosuhteiden takia. Matkustajia on ollut eri ikäryhmistä, joskin Tampereen kokeilussa noin puolet oli nuoria aikuisia. Tampereen Hervannassa operaattorina toiminut haastateltava kertoi, että osa matkustajista oli odottanut robottibussin olevan täysin autonominen, kun taas osa matkustajista kertoi uskaltaneensa kyytiin vain koska operaattori oli paikalla. Käyttäjäkyselyjen mukaan robottibussin matkaaminen on tasaista ja mukavaa, mutta suurin osa vastaajista toivoi vauhdin olevan nopeampi. Kyselyyn Tampereella vastanneet matkustajat olisivat valmiita käyttämään robottibusseja osana joukkoliikennettä lyhyillä matkoilla – lähes 80 % vastaajista ilmoitti olevansa valmis maksamaan bussin kyydistä lisämaksun joukkoliikenteen lipun lisäksi (Huhta, 2017). Jotkut haastateltavat huomauttivat, ettei robottibussien uutuusarvo ja kokeilujen toteuttaminen teknologiamyönteisissä ympäristöissä (Otaniemessä ja Hervannassa) välttämättä anna oikeaa kuvaa ihmisten valmiudesta käyttää automaattiliikennettä tai muuttaa liikkumiskäytäntöjään. Vuonna 2017 toteutettuun kansalliseen kyselyyn vastanneista suomalaisista yli 60 % suhtautuu automaattiautoihin myönteisesti, mutta noin 25 % kielteisesti (Liljamo ym., 2018). Aalto-yliopiston tutkijan mukaan jatkotutkimusten tulee todentaa robottibussien vaikutus ihmisten liikkumiskäytäntöjen muuttumiseen.

Robottibussin tarjoama älykkään liikkumisen tuotteiden ja palvelujen kokeilualusta on houkuttellut yrityksiä. Osa yrityksistä kiinnostui yhteistyöstä jo hankkeen valmistelun aikana, mutta moni löysi projektin vuoden 2016 mediajulkisuuden myötä. Jotkut yritykset ovat testanneet omia teknologioitaan robottibussin kyydissä pidemmän aikaa, toiset ovat kokeilleet tuotteitaan tai palveluitaan lyhyen aikaa. Esimerkiksi pakettilogistiikkaan liittyvä kokeilu järjestettiin kokei-

levan yrityksen ja Metropolian yhteistyönä Otaniemen reitillä puolentoista kuukauden ajan syksyllä 2017. Lisäksi hankkeella on ollut käytössä kokeilujen edellyttämää paikannustiedon korjausteknologia yhteistyöyrityksen tarjoamana.

4.2 Kokeilujen edellyttämä ja synnyttämä osaaminen

SOHJOA-hankkeen osapuolet ovat tuoneet yhteistyöhön omaa erityisosaamistaan, jota tarvitaan sekä kokeilujen järjestämiseen että niiden tulosten analysointiin ja hyödyntämiseen. Haastateltavien mielestä osaamisalueet ovat toisiaan täydentäviä ja työnjako osapuolten välillä luontevaa. Metropolia on toiminut hankkeen vetäjänä, joka koordinoi koko projektia ja huolehtii yhteistyöstä robottibussien valmistajan kanssa. Lisäksi Metropolia on viestintäosaamista, minkä ansiosta kokeilut ovat saaneet paljon medianäkyvyyttä. Tutkimuskumppaneilla on asiantuntemusta laserkeilauksesta, liikennejärjestelmäsuunnittelusta ja liikenteen simuloimisesta. Forum Virium Helsingillä puolestaan on osaamista yhteistyön tukemisesta kaupunkiorganisaation ja erilaisten toimijoiden välillä. Hankkeeseen osallistuvat kaupungit ovat tuoneet näkemyksiä liikkumisen kehittämisen tarpeista ja tavoitteista. Lisäksi kaupunkiorganisaatioiden asiantuntijat ovat tukeneet paikallisten kokeilujen järjestämistä auttamalla mm. lupaprosesseissa. Viranomaiset ovat tarjonneet hankkeelle lainsäädännön asiantuntemusta sekä kokeilujen puitteiden tuntemusta. Osallistujayrityksillä taas on asiantuntemusta mm. eri tekniikan alueilta sekä näkemyksiä älykkään liikenteen liiketoimintamahdollisuuksista. Robottibussien teknologian ja kokeilureittien liikennejärjestelyjen asiantuntemusta on tarjonnut valmistaja EasyMile, vaikka yritys ei ole hankkeen osapuoli.

Hankkeessa yhteistyötä on tehty Metropolian ja hankekumppaneiden välillä, esimerkiksi robottibussien valmistajan kanssa ja kokeilukaupunkien sekä tutkimuskumppaneiden kanssa. Lisäksi hanke on tarjonnut yhteistyöfoorumeina ohjausryhmän tapaamiset ja avoimet työpajat. Erityisesti kumppaniyrityksen edustaja korosti hankkeen esittelytilaisuuksien ja työpajojen merkitystä tiedonvaihdon ja oppimisen foorumina. Niissä oli päässyt tutustumaan robottibussin toimintaan ja ideoimaan älykkään liikenteen palveluja. Työpajat tarjosivat myös tilaisuuden verkostoitua toisten yritysten kanssa. Metropolian edustajien mukaan työpajoissa syntyi kiinnostavia ja kunnianhimoisia ajatuksia robottibussiliikenteen kehittämisessä, mutta teknologian kehitysvaihe rajoittaa vielä näiden ideoiden kokeilua käytännössä.

Kokeilureittien valmistelussa on kehittynyt erilaisia toimintatapoja kaupunkiin ja kokeilupaikkaan liittyen. Järjestelyissä on hyödynnetty kumppaneiden paikallistuntemusta ja osapuolten työnjakoa on muutettu tämän mukaisesti. Forum Virium Helsinki on vastannut Helsingissä tehtävien kokeilujen valmisteluista, Tampereen teknillinen yliopisto on järjestänyt Tampereen kokeilut ja Metropolia on vastannut muiden kaupunkien kokeilujen järjestelyistä. Nämä kokeilujen järjestäjät kiittelivät kaupunkien ja viranomaisten antamaa tukea kokeilujen toteuttamisessa: kokeiluihin oli suhtauduttu myönteisesti ja apua oli saatu aina tarvittaessa. Kaupunkien joukkoliikenneviranomaiset eivät kuitenkaan osallistuneet kokeilureittien suunnitteluun.

Hankkeen osapuolten joukkoliikenteen automatisaatioon liittyvä osaaminen on kehittynyt kokeilujen myötä. Erityisesti kokeiluja järjestäneet haastateltavat Metropolia, Forum Virium

Helsingistä ja Tampereen teknillisestä yliopistosta kertoivat oppineensa millaisia liikkumistarpeita robottibusseilla voidaan täyttää. Kaupungit ovat oppineet automaattiajoneuvojen toimintalogiikasta sekä niiden vaatimista liikennejärjestelyistä ja muiden tienkäyttäytymisen toimintatavoista robottibussin kohtaamisissa. Trafi on oppinut omien prosessiensa kuten koeajolupien kehittämistarpeista ja hyödyntänyt kokeiluista kertynyttä tietoa automaattiajamista koskevan lainsäädännön valmistelussa. Metropoliasa on perehdytty robottibussien teknologiaan ja käyttäytymiseen, mikä on hyödynnettävissä myös toisten valmistajien ajoneuvojen käytössä. Metropoliasa on myös kehittynyt älykkään liikkumisen hankkeiden valmistelun ja organisoimisen osaamista, jota on hyödynnetty jatkohankkeiden valmistelussa. Lisäksi Metropoliasa hanketta on käytetty eri oppiaineiden, kuten auto- ja kuljetustekniikan, teollisen muotoilun ja mediatekniikan välisen yhteistyön kehittämisessä. Tarkoituksena on jatkossa integroida älykkään liikkumisen hankkeet paremmin myös eri alojen opetukseen.

5 Oppimisen siirtäminen kokeilujen välillä ja niiden yli

5.1 Aiempien kokeilujen kokemusten hyödyntäminen

SOHJOA-hankkeen suunnittelussa ja robottibussikokeilujen järjestelyissä hyödynnettiin CityMobil2-hankkeen tuottamaa tietoa ja kokemusta. CityMobil2-hankkeen tulokset on dokumentoitu kattavasti ja SOHJOA-hankkeen valmistelussa oli mukana henkilöitä, jotka olivat osallistuneet jo Vantaan Kivistön robottibussikokeiluun. Lisäksi SOHJOA-hankkeen projektityöntekijöiden joukossa on henkilöitä, jotka toimivat robottibussin operaattoreina Kivistössä kesän 2015 kokeilussa.

5.2 Kokeilujen dokumentointi ja arviointi

Sekä hankkeen osapuolet että ulkopuoliset tutkijat ovat keränneet robottibussikokeiluista monenlaista tietoa. Dokumentoinnin kohteita ovat olleet robottibussin toiminta erilaisissa tilanteissa, muiden liikkujien käyttäytyminen bussin kohtaamisessa, bussien matkustajamäärä ja matkustajien kokemukset. Osa dokumentoinnista on osapuolten omassa käytössä, osa on julkaistu opinnäytetöissä ja artikkeleissa.

Robottibussien toimintaa dokumentoidaan liikennöinnin aikana jatkuvasti. Bussin järjestelmä kerää tietoa mm. hätäpysäytysistä ajoneuvon mustaan laatikkoon, jota bussin valmistaja analysoi. Operaattorit pitävät lokikirjaa bussien kulkemista kilometreistä sekä hätäpysäytysistä ja niiden syistä. Metropolia raportoi kokeiluista Trafille ja Liikennevirastolle säännöllisin väliajoin koskien mm. turvallisuutta, liikennejärjestelyjä ja eteen tulleita tilanteita. Aalto-yliopiston alustavissa tutkimuksissa selvitettiin bussien reaktioita ja tutkien katvealueita. Tutkimuksia aiotaan jatkaa Otaniemen seuraavan kokeilun aikana, jolloin voidaan seurata robottibussin vaikutusta alueen liikkumistapoihin aiemmin kerätyn pohjatiedon avulla.

Kokeilujen tuottama tieto robottibussien toiminnasta erilaisissa tilanteissa ja ympäristöissä on olennaista bussien teknologien kehitykselle. Tätä tietoa bussien valmistaja hyödyntää tuotekehityksessään, muttei ole jakanut sitä hankkeen osapuolten kanssa.

Robottibussin ja muiden liikkujien kohtaamisia on selvitetty Espoon kaupungin tilaamassa tutkimuksessa. Kaupunki oli kiinnostunut robottibussikokeiluja varten Otaniemessä tehtyjen poikkeavien liikennejärjestelyjen vaikutuksista alueen liikenteeseen. Tietoa kerättiin liikennekameroiden sekä havainnoinnin ja haastattelujen perusteella. Tutkimuksen tulokset on julkaistu opinnäytetyössä (Pikkarainen, 2017). Lisäksi on meneillään tutkimus robottibussin kohdanneiden tielläliikkujien kokemuksista ja suhtautumisesta, jonka tulokset julkaistaan opinnäytetyössä.

Bussien matkustajista ja heidän kokemuksistaan on kerätty tietoa jokaisella kokeilureitillä. Kokeilureittien matkustajamäärää seurataan operaattorien ajovuoroکوhtaisen kirjanpidon avulla. Matkustajat ovat myös vastanneet erilaisiin kyselyihin koskien robottibussin käyttökokemusta sekä suhtautumista erilaisiin älykkään liikenteen palveluita. Tampereen teknillisen yliopiston kyselyyn saatiin Hervannan kokeilujen aikana noin 200 vastausta. Metropolia on pyytänyt kaikkien neljän reitin matkustajilta vastauksia kahteen eri kyselyyn, joista toiseen on vastannut 119 ja toiseen 62 henkilöä. Lisäksi matkustajia on haastateltu ja operaattorit ovat saaneet käsitystä matkustajien kokemuksesta liikennöinnin aikaisten keskustelujen kautta. Kyselyjen tuloksia on esitelty hankkeen seminaareissa ja Tampereen syksyn 2016 kyselyjen tulokset on julkaistu opinnäytetyössä (Huhta, 2017). Matkustajien haastatteluihin perustuva tutkimus on tarkoitus julkaista tieteellisessä lehdessä.

Kokeilujen järjestäjät ovat arvioineet kunkin kokeilureitin kokemuksia, esimerkiksi reitin sijaintia ja sen vastaamista alueen liikkumistarpeisiin sekä reitin liikennejärjestelyitä. Lisäksi tietoa robottibussille sopivista ympäristöistä on saatu, kun potentiaalisilta vaikuttaneista reiteistä on jouduttu luopumaan. Seuraavia reittejä suunnitellaan näiden kokemusten pohjalta muodostuneiden valintakriteerien sekä jatkotutkimustarpeiden pohjalta. Sopivien reittien löytäminen on kuitenkin osoittautunut haastavaksi, sillä robottibussien automaation kehitysaste ei mahdollista esimerkiksi vilkkaiden teiden ylittämistä. Toisaalta osaaminen on saanut kansainvälistä tunnustusta: Metropolian asiantuntijat saavat konsultointipyyntöjä paikkakunnilta, joissa suunnitellaan robottibussien kokeilemistä.

Hankkeen välituloksista on raportoitu rahoittajalle säännöllisin väliajoin. Raportoinnissa käytetään myös hankkeen suunnitteluvaiheessa määriteltyjä määrällisiä indikaattoreita, kuten osallistuneiden yritysten lukumäärää. Hankkeen päättyessä vuonna 2018 kokeilujen onnistumista arvioidaan laajemmin loppuraportissa.

5.3 Viestintä kokeiluista ja niiden tuloksista

Robottibussikokeiluista tiedottaminen on ollut hankkeessa tärkeää niin yhteistyökumppaneiden kuin potentiaalisten matkustajien tavoittamiseksi. Jo hankkeen suunnitteluvaiheessa tunnistettiin robottibussien julkisuuspotentiaali ja tiedotuksella on tavoiteltu laajaa medianäkyvyyttä. Tiedotuksessa on tehty yhteistyötä hankekumppaneiden kanssa ja Metropolian viestintäosasto on toiminut tukena. Pääasialliset viestintäkanavat ovat olleet hankkeen nettisivut sekä Twitter-tili, joihin on päivitetty reitit ja niiden aikataulut. Syksyn 2017 aikana robottibusseille avattiin Facebook-sivu. Hervannan reitin liikennöinnistä tiedotettiin myös Tampereen

teknillisen yliopiston intranetissä. Metropolia ja Forum Virium Helsinki ovat uutisoineet kokeiluista myös omilla nettisivuillaan, samoin hankkeeseen osallistuvat kaupungit ja Aalto-yliopisto. Myös bussien valmistaja EasyMile on esitellyt kokeiluja nettisivuillaan. Lisäksi Metropolia on julkaissut robottibusseista videoita, joita on katsottu YouTubessa useita tuhansia kertoja.

Kokeilut robottibusseilla ovat saaneet näkyvää mediahuomiota niin Suomessa kuin kansainvälisesti. Erityisesti Hernesaaren kokeilusta uutisoitiin laajalti kesällä 2016, mutta myös Espoon ja Tampereen kokeilut ovat näkyneet mediassa. Haastateltavat luonnehtivat Hernesaaren reittiä ”showcaseksi”, joka toimi hankkeen käyntikorttina sidosryhmille ja suurelle yleisölle. Reitin avajaiset olivat näyttävä tilaisuus, jossa oli läsnä myös Helsingin apulaiskaupunginjohtaja. Robottibusseista ovat uutisoineet niin CNN, Guardian ja New York Times kuin kotimaiset valtakunnalliset ja paikalliset tiedotusvälineet – yksin Aamulehti on julkaissut busseista kymmenisen juttua. Kokeilujen saaman mediahuomion mittakaava ja bussien vastaanoton myönteisyys yllätti monet SOHJOA-hankkeen osallistujat. Tiedotusvälineissä robottibusseista on raportoitu positiiviseen sävyyn tulevaisuuden teknologiana, joka voi parantaa joukkoliikettä sekä vähentää päästöjä ja yksityisautojen määrää. Tiedotusvälineiden lisäksi monet paikalliset ihmiset sekä liikenteestä ja autoilusta innostuneet harrastajat ovat kirjoittaneet robottibusseilla matkustamisesta omilla foorumeillaan ja julkaisseet videoita YouTubessa.

5.4 Kokeilujen skaalautuminen ja älykkään liikenteen kehitysnäkymät

SOHJOA-hanke on toiminut osallistujien käyntikorttina älykkään liikenteen kehittämisessä: sen avulla he ovat saaneet näkyvyyttä ja tunnustusta osaamisestaan. Hanke oli ehdokkaana EU:n alueellisia innovaatioita palkitsevan RegioStars-kilpailun kaupunkien digitalisaation kategoriassa syksyllä 2017. Robottibussit olivat esillä myös Euroopan robottiviikolla Brysselissä marraskuussa 2017, jonka avajaistilaisuudessa yleisö pääsi bussien kyytiin.

SOHJOA-hankkeen rinnalla Metropolia kumppaneineen on kehitellyt uusia aloitteita robottibussien ja älykkään liikenteen saralla. Kokeilujen perusteella on tunnistettu tutkimusaiheita, jotka edistävät joukkoliikenteen automaation kehittämistä ja kaupallistamista. Jatkohankkeissa tutkitaan mm. automaattiajoneuvojen etäoperointiratkaisuja ja laajennetaan kokeiluja pidempiaikaisille reiteille. Lisäksi hankkeissa kehitetään automaattiautoille digitaalista infrastruktuuria, kuten digitaalisia liikennesääntöjä. Kokeilut laajenevat myös Suomen ulkopuolelle uusien yhteistyökumppanien kanssa Sohjoa Baltic -hankkeessa, jossa robottibussit liikennöivät Itämeren alueella.

Liikenteen ja liikennepalvelujen murroksen tutkimiseksi Metropoliaan on perustettu Älykkään liikemisen osaamiskeskittymä, joka saa rahoitusta kilpaillun hankerahoituksen lisäksi Liikenne- ja viestintäministeriöltä, Trafilta ja Liikennevirastolta. Osaamiskeskittymä koordinoi lähes kymmentä liikkumispalveluja kehittävää hanketta, joista monet käsittävät kokeiluja robottibusseilla.

SOHJOA-hankkeen piirissä on syntynyt myös uusi yritys Sensible4, joka kehittää vaikeiden olosuhteiden automaatioteknologiaa autoihin, erityisesti joukkoliikenteen käyttöön. Lisäksi yritys kehittää automaattiajoneuvojen etäoperointitekniologiaa.

Haastateltavat arvioivat myös automaattisen joukkoliikenteen ja liikennepalvelujen lähivuosien kehitystä. Kaikkien mielestä kokeiluja robottibusseille tulee vielä jatkaa, jotta saadaan kokemuksia bussien pidempiaikaisen liikennöinnin vaikutuksista. Monet haastateltavat uskoivat lähivuosien kokeilujen olevan lähempänä markkinatoteutusta, robottibussi voisi esimerkiksi operoida liityntälinjalla. Toisten mielestä robottibussien tulisi lähitulevaisuudessa kulkea vain suljetuilla tai rajatuilla reiteillä automaatioteknologian rajoitteiden takia. Kiinnostavaa oli, että tutustuminen robottibussien toimintaan kokeilujen kautta oli saanut jotkut osallistujat uskomaan automaation nopeaan kehitykseen, kun taas toiset olivat tulleet aiempaa skeptisemmiksi ja näkivät kehityksen vaativan pidemmän aikaa. Monet haastateltavat kuitenkin uskoivat, että robottibussit voisivat olla joukkoliikennekäytössä kymmenen vuoden sisällä, jotkut odottivat vielä nopeampaa kehitystä. Robottibussien odotettiin tulevan liikennekäyttöön automaattisia henkilöautoja aiemmin, sillä bussien operoidessa vain tiettyjä reittejä niiden kohtaamat liikennetilanteet ovat rajatumpia. Myös raskaan kuljetusliikenteen automatisaation uskottiin etenevän lähivuosina erityisesti polttoaineen säästömahdollisuuksien kannustamana.

Kaupallisen liikennöimisen ehtona haastateltavat pitivät robottibussien etäoperointia, jotta automaattibussit lunastaisivat paikkansa kustannustehokkaana joukkoliikenteen palvelutasoa parantavana viimeisen kilometrin ratkaisuna. Yksikään ajoneuvojen valmistaja ei vielä ole tarjonnut teknologiaa etäoperointiin, mutta SOHJOA-hankkeesta poikineet jatkohankkeet pyrkivät bussien etähallintaratkaisun kehittämiseen. Haastateltavat nostivat myös muita kriittisiä tekijöitä, jotka on ratkaistava liikenteen automatisaation mahdollistamiseksi. Yksi haaste on digitaalisen infrastruktuurin kehittäminen, kuten liikennesääntöjen ja tiestön karttojen digitaalinen esittäminen automaattiautojen käyttöön. Liikennetiedon tulisi olla standardoitua, jotta eri valmistajien automaatiojärjestelmät kykenisivät käyttämään sitä. Digitaalisen infrastruktuurin kehittäminen vaatisi kuitenkin huomattavan rahoituksen samalla kun tiestön kunnossapidon rahoitus on tiukalla. Lisäksi automatisaation eteneminen edellyttää lainsäädännön uudelleenarviointia esimerkiksi vastuukysymysten ja ajolupien osalta. Mikäli automaattiautot tulevaisuudessa hoitavat ajamisen siten että ihmiset istuvat niiden kyydissä puuttumatta ohjaukseen, ei autolla liikkumiseen ehkä tarvitakaan ajokorttia. Tällöin on epäselvää, minkä tahon vastuulla vaaratilanteet ja onnettomuudet ovat, mikä heijastunee liikennevakuutusten ehtoihin. Eräs haastateltava huomautti automaattiautojen monimutkaisten teknisten järjestelmien haastavan myös katsastustoiminnan ja edellyttävän auton toimintavarmuuteen liittyvien vastuukysymysten uudelleenarviointia.

Arviot automatisaation pitkäaikaisista vaikutuksista liikkumistottumuksiin ja liikennesektorin päästöihin ovat osittain ristiriitaisia: yhtäältä automaattiautojen odotetaan vähentävän päästöjä ajosuoritetta kohden mm. optimoidun energiankäytön ansiosta, toisaalta henkilöautoilla tehtyjen matkojen osuus voi nousta joukkoliikenteen kustannuksella (Liljamo ym., 2018). Suuret autonvalmistajat ja teknologiayritykset tekevät merkittäviä investointeja automaattisten henkilöautojen kehittämiseen. Joukkoliikenteen automaatiota kehittävät yritykset ovat näiden

rinnalla pieniä toimijoita, joskin jotkut valmistajat ovat onnistuneet keräämään huomattavaa rahoitusta. Julkisesti rahoitetut tutkimushankkeet ja niiden mahdollistamat kokeilut vaikuttavat erityisen tärkeiltä joukkoliikenteen automatisaation etenemiselle. Jotkut haastateltavat korostivat liikkumispalvelujen kehittämisen tärkeyttä liikennesektorin kestävyuden takaamiseksi, jotta automaattiautot eivät vain korvaisi henkilöautoja vaan automatisaatio johtaisi autokannan pienenemiseen. Toiset haastateltavat kantoivat huolta siitä, ettei robottibussien innostuneen vastaanoton antama noste joukkoliikenteen automaatiolle laimenisi uutuudenviehätyksen vähentyessä. He pitivät teknologian kehityksen hitautta riskinä julkisen tuen menettämiseksi, mikäli lähiaikojen kokeiluilla ei pystytä lunastamaan ”hopen” nostattamia odotuksia.

SOHJOA-hankkeen yhtenä tavoitteena on älykkääseen liikenteeseen liittyvän osaamisen ja liiketoiminnan kehittäminen Suomessa. Haastateltavat pitivät suomalaista anturiteknologian, keinoälyn ja säähavainnoinnin osaamista kansainvälisesti korkealuokkaisena, mutta ajoneuvoteollisuuden isojen toimijoiden puuttumista pidettiin haasteena. Haastateltavat arvelivat suomalaisten yritysten voivan saada siivun älyliikennemarkkinoista tarjoamalla ohjelmistoja ja laitteita ajoneuvoteollisuudelle. Eräs heistä visioi Suomesta ”robottibusseilun mallimaata”, josta toiset maat tulisivat etsimään innoitusta ja ratkaisuja suomalaisten peruskoulujen tapaan.

6 Yhteenveto

SOHJOA-hankkeen robottibussikokeilut ja tulevat jatkohankkeet tuottavat monipuolista tietoa automaattisen joukkoliikenteen kehittämisen edellytyksistä. Tätä tietoa on tarkoitus käyttää liikennejärjestelmiä koskevan lainsäädännön kehittämisessä. Lisäksi hankeyhteistyö suomalaisten kaupunkien kanssa mahdollistaa automatisaation huomioimisen tulevien liikennejärjestelmien suunnittelussa. Robottibussikokeilujen vaikutusta liikkumiskäytäntöjen muutoksiin päästään kuitenkin arvioimaan vasta joidenkin vuosien kuluttua.

Vaikka kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa tunnustetaan liikennesektorin päästöjen merkittävä vähennystarve ja asetetaan tavoitteeksi henkilöautoilla ajettujen matkojen osuuden kasvun pysähtyminen kaupunkiseuduilla (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017b), toistaiseksi politiikkatoimet henkilöautoilla kulkemisen rajoittamiseksi ovat olleet varovaisia. Automaattiautojen vaikutuksia liikkumiskäytäntöihin koskevan selvityksen mukaan joukkoliikenteen osuutta voidaan Suomessa kasvattaa ja automatisaation edistämä autojen yhteiskäyttö voi vähentää tarvetta auton omistukseen ja vapauttaa katutilaa pysäköintitarpeen vähentyessä (Liljamo ym., 2018). OECD:n tutkimuksen mukaan ajoneuvojen yhteiskäyttöratkaisuilla voidaan vähentää liikenteen hiilidioksidipäästöjä ja kasvattaa raideliikenteen kulkutapaosuutta Suomen pääkaupunkiseudulla, jos yhteiskäyttöautot onnistutaan tuomaan liityntäliikenteen muodoksi (International Transport Forum, 2017). Selvitysten suosittama yhteistyö liikennehallinnon, tulevien maakuntien ja kaupunkiseutujen välillä on tärkeää, jotta voidaan kehittää liikennejärjestelmäsuunnittelun keinoja henkilöautolla kuljettujen matkojen kasvun estämiseksi (Liljamo ym., 2018). Liikkumiskäytäntöjen aiheuttamien päästöjen huomattava vähentäminen edellyttää muutoksia myös liikkumistarpeita aiheuttaviin elämänalueisiin, kuten asumiseen, työssäkäyntiin, päivähoitoon, ostoksiin ja harrastuksiin, mikä korostaa tarvetta yhdistää eri alojen politiikkatoimet systeemisten muutosten aikaansaamiseksi (Cass & Faulconbridge, 2016).

Lähteet

Arola, T., & Antikainen, P. (2017). Liikenteen automaation ja robotiikan kehittämistoimenpiteiden tiekartta 2017-2019. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 10/2017.

Cass, N., & Faulconbridge, J. (2016). Commuting practices: New insights into modal shift from theories of social practice. *Transport Policy*, 45, 1–14.

CityMobil2. (2015). Vantaan demonstraatio -tiivistelmä. Suomenkielinen tiivistelmä raportista D25.3 Vantaa ex-post evaluation report.

CityMobil2. (2016). CityMobil2: Experience and recommendations.

Huhta, R. (2017). Automaattisten pikkubussien hyväksyttävyyden ja kustannusrakenne osana joukkoliikennettä. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.

International Transport Forum. (2017). Shared Mobility Simulations for Helsinki. OECD Case-Specific Policy Analysis.

Liljamo, T., Liimatainen, H., Pöllänen, M., Tiikkaja, H., Utriainen, R., & Viri, R. (2018). Automaattiautojen vaikutukset liikkumistottumuksiin. *Trafin tutkimuksia 1/2018*. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, Helsinki.

Lumiaho, A., & Malin, F. (2016). Tieliikenteen automatisoinnin etenemissuunnitelma ja toimenpideohjelma 2016–2020. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 19/2016. Liikennevirasto, Helsinki.

Metropolia. (2016). SOHJOA Project report autumn 2016.

Metropolia. (2017). Autonomous robot bus experiments on public roads – SOHJOA Project report, autumn 2017.

Metropolia ym. (2016). 6AIKA: SOHJOA - Autonominen Last mile -liikenteen fyysinen ja virtuaalinen innovaatioalusta urbaanissa ympäristössä.

Pikkarainen, M. (2017). Robottibussit: Espoon Otaniemen kokeilujakso. Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu.

Pilli-Sihvola, E., Miettinen, K., Toivonen, K., Sarlin, L., Kiiski, K., & Kulmala, R. (2015). Robotit maalla, merellä ja ilmassa. Liikenteen älykkään automaation edistämissuunnitelma. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 7/2015. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki.

SAE International. (2016). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.

Salonen, A. O. (2018). Passenger's subjective traffic safety, in-vehicle security and emergency management in the driverless shuttle bus in Finland. *Transport Policy*, 61, 106–110.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2017a). Liikennealan kansallinen kasvuohjelma. TEM oppaat ja muut julkaisut 15/2017. Työ- ja elinkeinoministeriö, Helsinki.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2017b). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 4/2017. Työ- ja elinkeinoministeriö, Helsinki.

Valtioneuvoston kanslia. (2015). Ratkaisujen Suomi. Pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma 29.5.2015.