



TAITO
-työelämäkirjat

SOHJOA- robottibussi

Oscar Nissin ja
Milla Åman (toim)

Suomen urbaaneissa
olosuhteissa

Toim.
Oscar Nissin
Milla Åman

Artikkelikokoelma

SOHJOA-robottibussi

Suomen urbaaneissa
olosuhteissa

Metropolia Ammattikorkeakoulun julkaisusarja
TAITO-TYÖELÄMÄKIRJAT 16 • 2018



FORUM
VIRIUM
HELSINKI

Metropolia

A!
Aalto-yliopisto
Suomen Akatemia

MML
MAAN-
MITTAUS-
LAITOS

TAMPEREEN
TEKNILLINEN
YLIOPISTO

Liik
enne
vira
sto

Trafi



Tämä teos on lisensoitu Creative Commons Nimeä-
EiKaupallinen-JaaSamoin 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä

Kustantaja / Julkaisija
Metropolia Ammattikorkeakoulu 2018

Taitto
Lena Malm

Valokuvat, kuvat, grafiikat ja kansikuva
Oscar Nissin, Milla Åman, Matias Lehmusjärvi, Ville Arffman,
Eetu Rutanen, Azat Ismailogullari, Iisakki Kosonen, Juha Hyypä,
Antero Kukko, Anttoni Jaakkola, Leena Matikainen, Matti
Lehtomäki, Tuomas Palonen, Teemu Hartikainen, Joonatan Merikivi,
Raimo Tengvall

Painopaikka
Kopio Niini 2018

ISBN 978-952-328-080-9 (nid.)
ISBN 978-952-328-079-3 (pdf)
ISSN 1799-599X (nid.)
ISSN 1799-6007 (pdf)

www.metropolia.fi/julkaisut

”Robottibussit olivat hauska lisä Design Factoryn päivittäisessä härvellissä. Niiden nukkumapaikka aulassamme oli hyvin keskeinen, ja tämä näkyvyys herätti runsaasti kysymyksiä, mielenkiintoa ja muuta keskustelua.”

Vesa Saarijärvi, Aalto-yliopisto, Design Factory

”Yhteistyö Sohjoa -projektin totentusporukan kanssa on ollut minulle mieleen. Tarkoitan, että porukka osaa asiansa ja tietää mitä on tekemässä, on täsmällistä ja jämäptiä, ja vielä haluaa venyäkin tarpeen tullen – aika hyvät eväät yhteistyölle!”

Kalevi Ekman, Aalto-yliopisto, Design Factory

”Urban Mill osallistui robottibussikokeiluun yhteistyökumppanina mm. tarjoamalla bussille pysäkein Otaniemen Innovaatiokujalla 2016 ja 2017. Urban Mill ohjasi myös omia vieraitaan kokeilemaan bussilla liikkumista Espoo Innovation Gardenissa sekä järjesti fyysistä ja digitaalista näkyvyyttä kokeilulle.”

Lars Miiikki, tuottaja, Urban Mill

”SOHJOA oli uraauurtava projekti, jossa automaattiliikennettä tehtiin tunnetuksi ja jossa se konkretisoitui myös tamperelaisille liikekunnille.”

”Sohjoa-hankeessa on tehty maailmanlaajuisesti uraauurtavaa tutkimusta ja kehitystyötä automaattibussien liikkumisesta muun liikenteen joukossa. Hankekumppanit Metropolian johdolla ovat tuoneet uudenlaisen liikkumisratkaisun ihmisten kokeiltavaksi jo tänään - Sohjoa on siis ollut ikkuna tulevaisuuteen, mahdollisuuksineen ja haasteineen. Liikenteen viranomaisen näkökulmasta hanke on tarjonnut ensikäden tietoa ja kokemuksia esimerkiksi tulevaisuuden liikennesääntöjen suunnittelun tueksi sekä tietoa siitä, mitä automaattisten bussien tuominen liikenteeseen vaatii infrastruktuurilta ja millaisia vaikutuksia sillä voisi olla liikennejärjestelmään. Sohjoan kautta on saatu lisäksi tärkeää tietoa käyttäjien kokemuksesta automaattisesta liikenteestä. Tämä näkökulma on tuonut oivalluksia siitä, millaisiin asioihin teknologian ohella tulee kiinnittää huomiota automaattibusseja kehittäessä. Hankkeen saama kansainvälinen näkyvyys sekä syntyneet uudet liiketoimintamahdollisuudet ovat suurin todiste tehdyn työn uutuusarvosta ja tärkeydestä. Trafi ja Liikennevirasto ovat olleet mielellään hankeessa mukana tukemassa ja kehittämässä yhdessä uusia liikkumismahdollisuuksia.”

Eetu Pilli-Sibvola, Trafi, johtava asiantuntija & Anni Hytti, Livi, Liikkumisen palveluiden ja älyliikenteen asiantuntija



SISÄLLYS

Esipuhe	5
Sohjoa-projektin osatoteuttajat ja kokeiluyritykset	6
Harri Santamala	
1 SOHJOA – automaattibussipilottiprojekti – ensimmäiset oppimiskokemukset 2016 vuoden avoimen tien piloteista	11
Oscar Nissin	
2 SOHJOA-projektin pilottiajot 2016-2017 ja niissä käytetty robottibussitekniologia	20
Ville Arffman & Azat Ismailogullari	
3 Robottibussipilotti Finavialla	29
Eetu Rutanen & Ville Arffman	
4 Robottibussin hankinta ja rekisteröintiprosessi	41
Matias Lehmusjärvi	
5 Robottibussin pysäkin muotoilu	47
Iisakki Kosonen	
6 Liikennesimulaatiot ja robottiliikenne	58
Juha Hyyppä, Antero Kukko, Harri Kaartinen, Leena Matikainen ja Matti Lehtomäki	
7 Autonomiset ajoneuvot ja karttojen ajantasaistus	65

Noora Haavisto, Ville Nousiainen ja Roope Ritvos

8 Kaupungin liikkumisen kehittyminen..... 74

Tuomas Palonen

9 Robottibusseihin suhtautuminen ja niiden hyväksyttävyys..... 78

Raimo Tengvall

10 Automaattisesti liikkuva auto tieliikenteen vuorovaikutuksessa 84

Noora Haavisto

11 Robottibussin matkustajien kokemukset..... 92

Johanna Nyberg & Matias Pikkarainen

**12 Kokemuksia robottibussin ja muun liikenteen vuorovaikutuksesta
Otaniemessä 98**

Kirjoittajat 102

Oscar Nissin, projektipäällikkö

LUKIJALLE

Tämä kirja on kokoelma artikkeleita, jotka syntyivät vuosina 2016–2018 toteutetun projektin pohjalta. Artikkeleissa esitellään SOHJOA-projektia niin yleisellä kuin teknisemmälläkin tasolla. Vaikka artikkelit ovatkin sidoksissa SOHJOA-projektiin, toimivat ne myös yleisenä ohjenuorana ja oppaana siihen, mitä automaattiliikkuminen tällä hetkellä on ja mitä haasteita alalla piilee tulevaisuuteen ratkottavaksi.

SOHJOA-projekti oli Euroopan Unionin Aluekehitysrahastosta Uudenmaan liiton kautta 6Aika-ohjelman puitteissa rahoitettu projekti, jonka ydinajatuksena oli tarjota suomalaisille innovaatioalustaa, jonka avulla voidaan kehittää älykkään liikkumisen innovaatioita ja palveluita. Konkreettisin ilmentymä tästä innovaatioalustasta oli kaksi automaattibussia. Niiden vuokraaminen oli rahoitettu osana Trafin ja Liikenneviraston NordicWay-hanketta, jotka ilmestyivät Helsingin, Espoon ja Tampereen katukuvaan vuosien 2016–2018 aikana. Suomen innovatiivinen tulkinta tieliikennelainsäädännöstä yhdistettynä vuoden 2015 aikana kerättyyn kokemukseen automaattibussien operoimisesta Citymobil 2 -projektissa mahdollisti SOHJOA-projektille maailman ensimmäiset avoimilla teillä tehdyt automaattiajokeilut. Uusi ja kiinnostava teknologia uudessa ympäristössä keräsi merkittävästi huomiota niin kotimaassa kuin Suomen rajojen ulkopuolellakin ja SOHJOA-projektin merkittävimpiä saavutuksia onkin Suomen maineen perustan valaminen robottiliikenteen globaalina edelläkävijänä. Tälle perustalle rakennetaan tulevat, Euroopan-laajuiset, projektit, joista hyvin moni on jo aloitettu tätä kirjoitettaessa keväällä 2018.

*Oscar Nissin, projektipäällikkö
Metropolia Ammattikorkeakoulu*

SOHJOA-PROJEKTIN OSATOTEUTTAJAT JA KOKEILUYRITYKSET

OSATOTEUTTAJAT

SOHJOA-projektin kokeilijakonsortiossa osatoteuttajien joukko oli varsin tiivis, mutta osaamista älykkäämmän liikkumisen kentältä heillä oli varsin laajalti. Sohjoa-projekti kuuluu 6Aika-strategiaan, joten luonnollisesti mukana olevat yhteisöt ovat kotoisin strategiaa toteuttavan Suomen kuuden suurimman kaupungin alueelta.

AALTO-YLIOPISTO

Aalto-yliopiston Rakennetun ympäristön laitoksen liikennetekniikan tutkimusryhmä tuottaa tutkimustietoa liikennejärjestelmien kehittämiseksi muuttuvassa toimintaympäristössä, jossa älyliikenne kasvattaa jatkuvasti rooliaan. Työkaluina tutkimusryhmällä on liikenteen ja sen vaikutusten mallintaminen ja simulointi. Sohjoa-projektissa Aalto-yliopiston tehtävänä on ollut tutkia ja selvittää minkälaisia vaikutuksia uudentyypisellä liikennemuodolla, autonomisilla ajoneuvoilla, on liikennevirtaan.

FORUM VIRIUM HELSINKI

Forum Virium Helsinki on Helsingin kaupungin omistama kehitysyhtiö, jonka tehtävänä on kehittää uusia digitaalisia palveluja Helsingin kaupungin, julkisten toimijoiden, kaupunkilaisten ja yritysten kanssa yhteistyössä. Tavoitteena FVH:lla on kehittää parempia kaupunkipalveluja ja synnyttää uutta liiketoimintaa. Sohjoa-projektissa Forum Virium on toiminut suunnittelutukena sekä koordinaattorina Helsingin kaupungin eri virastojen ja hallintokuntien kesken. Forum Virium Helsingin tehtävänä Sohjoa-projektissa on liittynyt kaupunkilaisten ja käyttäjien sekä yritysten osallistamiseen omien laajojen verkostojensa kautta.

MAANMITTAUSLAITOS

Maanmittauslaitoksen kaukokartoituksen ja fotogrammetrian osasto on alallaan maailman johtavia instituutiota ja osasto keskittyy nykyaikaisten kaukokartoitusmenetelmien ja -sensorien kehittämiseen, uusien aineisten laatututkimuksiin ja niiden käyttöönoton edistämiseen Suomessa. Osastoa johtava tohtori Juha Hyyppä johtaa myös Laserkeilauksen huippuyksikköä, jonka tutkimus laserkeilauksen alalla on maailman huippua. SOHJOA-projektissa Maanmittauslaitos on tutkinut keilausaineiston käyttämistä automaattiliikenteessä sekä sensoriratkaisuja robottibussialustan näkökulmasta.

METROPOLIA AMMATTIKORKEAKOULU

Metropolia Ammattikorkeakoulu on Suomen suurin ammattikorkeakoulu ja Suomen kolmanneksi suurin korkea-asteen oppilaitos. Metropolian omistajapohjaan kuuluu pääkaupunkiseudun kuntia, suurimpina omistajina Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupungit ja toiminta jakautuu useisiin toimipisteisiin kyseisten kaupunkien alueelle. Metropolia Ammattikorkeakoulu on laaja-alainen oppilaitos, jossa on 68 tutkinto-ohjelmaa liiketalouden, kulttuurin, sosiaali- ja terveystieteiden sekä tekniikan osa-aloilla.

Metropolia Ammattikorkeakoulun auto- ja kuljetustekniikan osasto on toteuttanut monimutkaisia ja vaativia ajoneuvopilottiprojekteja jo vuodesta 1991, jolloin oppilaitos tunnettiin nimellä Helsingin teknillinen oppilaitos ja myöhemmin Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Metropolian ajoneuvotekniikan projekteissa on opiskelijavoimin, yhteistyössä yritysten kanssa, luotu muun muassa maailman nopein sähköauto Electric Raceabout sekä uudentyypisiä, biopohjaisia muovimateriaaleja käyttävä kompakti kaupunkiauto Biofore Concept Car. Varsin uniikkina piirteenä nämä laajemmat ajoneuvoprojektit on saatu erillishyväksyntämenettelyn kautta hyväksytyksi tieliikenteeseen, joka kertoo osaltaan toteutuksen korkeasta tasosta ja vaatavuudesta.

Vuonna 2015 Metropolia Ammattikorkeakoulu oli mukana tuomassa robottibusseja ensimmäistä kertaa Suomeen Citymobil 2 -hankkeen puitteissa. Vantaan asuntomessuille Kivikkoon tuotiin kolme ranskalaisen Easymile-valmistajan EZ10-robottibussia ja niillä matkusti yli 19000 matkustajaa messujen aikana. Suljetulla kaistalla toteutettu kokeilu oli lähtölaulus automaattiajoneuvojen kokeiluun Suomessa, ja seuraavana askeleena oli Sohjoa-projektin aloittaminen vuonna 2016.

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Tampereen Teknillisen yliopiston liikenteen tutkimuskeskus Verne tukee ja edistää tutkimuksen, opetuksen ja yhteiskunnallisen vaikuttamisen keinoin kestävä, tehokas ja ihmisläheinen liikennejärjestelmän kehittämistä. Verne on noin kymmenen hengen tutkimusyksikkö Tampereen Teknillisen yliopiston sisällä ja sen toiminta pohjautuu lähes 50 vuoden historiaan liikennejärjestelmien opetuksessa ja tutkimuksessa. Tampereen yliopiston Hervannassa sijaitseva kampus on yksi Suomen harvoja laajoja yliopistokampusalueita ja SOHJOA-projektissa robottibussit kulkivat kahteen otteeseen kampusalueella. Tämän lisäksi TTY on SOHJOA-projektissa tutkinut robottibussien integroimista osaksi liikennejärjestelmää ja bussien käyttöä osana julkista liikennettä.

KOKEILIJAYRITYKSET

Vinka on suomalainen start-up -yritys, jonka tähtäimessä on *fleet automation*, eli useamman liikkuvan yksikön automaation hallinta. Vinkan vahva valttikortti piilee automaattisessa kyödinjakamisessa ja reitinvalinnan optimoinnissa. Sohjoa-projekti antoi Vinkalle arvokkaan mahdollisuuden ottaa ensimmäisiä askelia kohti liikkumisen tulevaisuutta.

Tuup on uusi suomalainen liikkumispalvelu-start-up, joka kehittää monimuotoisia ratkaisuja jokapäiväisen liikkumisen helpottamiseksi. Tuup luo uusia bisnesmalleja täyttämään liikkumispalvelujen tarjonnassa olevia aukkoja ja rohkaisee käyttämään julkista liikennettä oman auton sijaan. Tuupilla on merkittävää kokemusta erilaisten liikkumispalvelujen suunnittelusta, mallintamisesta, analyysistä ja operoinnista.

Geotrim on johtavia paikannuspalveluiden jälleenmyyjiä Suomessa, jonka tuotekattaukseen sisältyy kokonaisvaltaisia ratkaisuja maankäyttöön, rakennustekniikkaan, infrastruktuurirakentamiseen, paikkatietojärjestelmiin ja maanviljelykseen. Vuonna 2001 perustettu Geotrim on markkinajohtaja Suomessa ja kykenee tarjoamaan ainutlaatuisia paikkatietoratkaisuja myös automaattisen liikkumisen tarpeisiin, SOHJOA-projektissa bussien paikannuksessa käytettiin hyväksi Geotrimin tuottamaa RTK-palvelua

Taipale Telematics tuottaa tietoa fleetinhallintaan ja tarjoaa laajalti työkaluja ammattilaisfleetien hallintaan, oli kyseessä sitten bussit, kuorma-autot tai vaikka maastossa toimivat työkonet. Taipale Telematicsin erikoisalaa

on kuljettajan käyttäytymismallin analysointi, ja yritys keräsi SOHJOA-projektissa dataa robottibussin liikkumisesta matkustajan näkökulmasta bussiin tuodun anturinuken avulla.

LeViteZerin ydinosamisalue koostuu elokuvateollisuuden, virtuaaliteollisuuden ja ihmisvirtojen ratkaisujen kehittämisestä, ja yritys tarjoaa konsultointia, kameranvakautusjärjestelmiä sekä integroituja, huipputeknisiä sensoreita erilaisiin ratkaisuihin. Kehittyneet sensoriteknologiat tulevat jatkuvasti edullisimmaksi ja jatkuvasti näin niille kyetään jatkuvasti kehittämään uusia sovelluskohteita. LeViteZer oli osana SOHJOA-projektia kokeilemassa ihmisvirtoja käsittelevää sensoria, jonka avulla voitaisiin ratkaista automaattiliikkumisen matkustajien tunnistautumiseen liittyviä haasteita turvallisella ja tehokkaalla tavalla.

Citynomadin osaamisaluetta ovat kartat, applikaatiota, avoin ja sensoridata, interaktio ja pelit. Citynomadin tuotteissa on keskeisenä osana paikakatieto ja SOHJOA-projektissa Citynomadi tarjosi loppukäyttäjille reaaliaikaisen bussin sijainnin kartalla käyttäjän paikkaan suhteutettuna, kokeillen palvelua, jolla voitaisiin tuottaa lisäarvoa ja uusia palveluita matkustajien liikkumisen sujuvoittamiseksi.

FLOU on tutkimus- ja konsultointiyritys, joka keskittyy palvelemaan yrityksiä ja organisaatioita, jotka toimivat kuljetuksen ja liikkumisen pelikentällä. FLOU näkee itsestään ajavat ajoneuvot yhtenä kriittisenä osana tulevaisuuden liikkumisjärjestelmiä ja SOHJOA-projektissa FLOU on yhdistänyt kokemuksena ja tietotaitonsa käyttäjien tarpeista nykyisiin ja tuleviin automaattisiin ajoneuvoihin

Vionice demonstroi, kuinka infrastruktuurin ja liikenteen automaattinen tarkkailu voidaan toteuttaa julkisen liikenteen ajoneuvoja hyväksi käyttäen. Vionicen ratkaisu keskittyy varmistamaan jatkuvan tilannetietoisuuden liikenneympäristön tilasta, käyttäen edullisia, automaation mahdollistamia ratkaisuja. Vionicen tuotteet voivat auttaa kaupunkia ja tien ylläpitäjiä parantamaan infrastruktuurin datanhallintaa. Automaattinen liikenne voi olla hyvin riippuvainen ympäristön kiintopisteistä, kuten liikennemerkkeistä ja tämän vuoksi infrastruktuurin toimivuus ja hyvä ylläpito on ensiarvoisen tärkeää tulevaisuuden liikkumisessa. SOHJOA-projektissa Vionice tutki robottiajoneuvoihin asennetuilla kameroilla automaattista tieympäristön kunnan tarkkailua pilottiprojektissa.

Harri Santamala

1. SOHJOA – AUTOMAATTIBUSSI- PILOTTIPROJEKTI – ENSIMMÄISET OPPIMISKOKEMUKSET 2016 VUODEN AVOIMEN TIEN PILOTEISTA

Tiivistelmä

Tieliikenteen automaatiolla on suuri liikenneturvallisuuden ja tehokkuuden kasvattamispotentiaali kun ihminen saadaan pois liikenneturvallisuuden yhtälöstä. SOHJOA-hankkeen alkaessa maailmalla oli muutamia pilotteja menossa, mutta kokemukset todellisessa liikenneympäristössä olivat vielä vähäisiä. Suomen lainsäädäntö mahdollistaa automaattiajoneuvojen testaamisen avoimessa liikenneympäristössä käyttäen koenumerotodistusta. Loppukesästä 2016 alkaen kahta sähkökäyttöistä automaattibussia operoitiin Helsingin, Espoon ja Vantaan alueilla avoimessa liikenneympäristössä. Näiden pilottien kokemusten perusteella automaattibussit ovat lähellä kaupallista toimintatasoa, kunhan tietyt erityisesti teknologiakehikseen liittyvät ongelmat saadaan ensin ratkaistua. Toiminnan avainasemassa on ymmärtää paikallinen liikenneympäristö ja kulttuuri sekä miten uusi liikkumisen muoto muuttaa koko julkisen liikenteen palvelutarjontaa.

Avainsanat:

automaattiajaminen, julkinen liikenne, pilotointi

JOHDANTO

Automaatiolla on suuri muutospotentiaali tieliikenteessä. Teknologia lupaa lisää turvallisuutta ja tehokkuutta kun ihminen otetaan pois yhtälöstä. Tällä hetkellä kehitys ei ole valmis ja siksi onkin keskitytty pilotoimaan sekä tutkimaan liikenteen vaikutusta. Uusia entistä laajempia ja fokuusoituneempia

pilotteja tarvitaankin teknologian validoimiseksi sekä automation tuomien uusien haasteiden ratkaisemiseksi.

Monet nykykuksesta ovat jo kokeneet automaation sen alkumuodoissa osana erilaisia ajonavustimia, kuten kaista-ajovahti, adaptiivinen vakionopeudensäädin tai automaattinen hätäjarrutus. Hitaisiin nopeuksiin suunnitellut automaattishuttlebussit ovat kuitenkin verraten uusi sovellusalue joita on testattu ensi kerran suomessa osana EU rahoitteista CityMobil2 projektia.

Suomen nykyinen tieliikennelaki mahdollistaa automaattiautojen testaamisen avoimessa tieympäristössä ja jopa ilman fyysistä kuljettajaa mikäli etäajoteknologia on teknisesti siihen kypsä. Tämä antaa Suomelle uniikin etulyöntiaseman maana jossa voidaan pilotoida kaupallisiakin ratkaisuja. Muut euroopan maat kuten Viro ja Norja ovat seuranneet Suomen käytäntöä, samoin muutamit osavaltiot USAssa kuten Arizona ja Kalifornia.

SUOMI TESTIYMPÄRISTÖNÄ AUTOMAATTIAUTOILLE

Automaattiautojen testaaminen (SAE tasot 0–5) on mahdollista suomessa käyttäen koenumerotodistuksia (Trafi 2016 – 1). Testien aikana autolla on oltava ihmiskuljettaja joko autossa tai etäyhteydessä autoon. Vakuutus- sekä korvausasioissa ihminen on vastuullinen kuljettaja.

Yritys, tutkimuslaitos tai muu rekisteröity organisaatio voi hakea koenumerotodistuksia Trafista (Trafi 2016 – 2). Koenumerotodistus antaa väliaikaisen testiluvan jota voidaan käyttää tarvittaessa kunnes lainsäädäntö mahdollistaa pysyvät luvat. Koenumerotodistus on voimassa vuoden kerrallaan mutta se uusitaan automaattisesti. Ensimmäiset koenumerotodistukset myönnettiin Heinäkuussa 2016 kahdelle organisaatiolle; Metropolia Ammattikorkeakoululle sekä VITille.

AUTOMAATTIBUSSIEN PILOTOINTI

Itsestään ajavia busseja operoitiin Suomessa avoimessa tieympäristössä elokuusta marraskuuhun 2016. Tavoitteena oli ratkaista urbaanien alueiden liikkumishaasteita osana 6Aika-rahoitteista SOHJOA-hanketta. Nämä pienet sähkökäyttöiset bussit kykenevät kuljettamaan yhdeksän henkilöä. Kaksi busssia operoi ensin Helsingin Hernesaaressa, sitten Espoon Otaniemessä ja lopulta Tampereen Hervannassa joissa ne ajoivat juuri ennen talven tuloa marraskuussa. Keväällä 2017 pilotit jatkuivat uusin päivitysin tavoittein ja lisätyin toiminnallisuuksin. Reitit valittiin siten että ne toivat esiin hieman erityyppisiä liikkumistarpeita siten tuottaen mahdollisimman erityyppisiä oppimiskokemuksia.

SOHJOA-projektin tavoitteena on saada Suomi mukaan automaattiliikenteen

kehittäjien eturintamaan. Kehityksen etunojassa oleminen luo uusia vientiliiketoimintamahdollisuuksia. Tämän vuoksi osana pilotteja projekti on operoinut avointa innovaatioalustaa johon kuka tahansa yritys on päässyt mukaan testaamaan ja kehittämään omia tuote tai palveluideoitaan. Uudet liikkumismuodot, tuotteet ja palvelut joko tukevat tai käyttävät hyväkseen automaattista liikennettä.

LIIKENNEJÄRJESTELYT

Koska automaattibussit ovat liikenteessä kokonaan uusi kulkumuoto, jokaisen pilotin tärkein huolehdittava asia on turvallisuus. Tiellä liikkuja pitää varoittaa ja opastaa bussin käyttäytymisestä ja miten se esimerkiksi ohitetaan turvallisesti. Tämä toteutetaan varoituksin, hidastetöyssyillä ja varoittamalla alueen vakinaisia toimijoita esimerkiksi pressitiedotteiden, lehtisten ja aktiivisen kommunikoinnin avulla. Ennen pilottia liikennejärjestelyt tulee suunnitella, keskustella eri sidosryhmien kanssa sekä hyväksyttää ne Trafilla ja kaupungilla. Kuvassa 1 näkyy Hernesaaren 2016 liikennejärjestelyjä; hidastetöyssi, varoituskyltti sekä pysäköintikielto.



Kuva 1. Hernesaaren liikennejärjestelyt alueelle tultaessa

REITIN KUVAUS: HERNESAARI, HELSINKI

Ensimmäinen automaattibussipilotti operoitiin Helsingin Hernesaassa kesä–syyskuussa 2016. Automaattibussipilottia ajettiin varsin vilkkaalla tieosuudella muiden ajoneuvojen seassa mukaan lukien kuorma-autot ja bussit. Pyörille ja jalankulkijoille oli oma kevyen liikenteen väylänsä. Reitti itsessään (kuva 2) oli varsin simppele: suora tie jonka molemmissa päissä oli kääntöpaikka. Alueen vilkas liikenne teki siitä kuitenkin itse asiassa kaikista hankalimman pilottireitin. Liikennehaasteista huolimatta operointi alueella sujui verrattaen hyvin kunhan operointiajat huomioivat alueen liikennemäärien voimakkaan vaihtelun vuorokausien ja päivien mittaan.

Reitti oli noin 500 metriä pitkä yhteen suuntaan (1 km yhteensä) ja siinä oli kaksi pysäkkiä nimiltään Löyly ja Hernesaarenranta. Aluksi oli tarkoitus ajaa satamaan asti ottamaan vastaan turistilaivojen matkustajia mutta siitä luovuttiin tietyömaan vuoksi.



Kuva 2. Hernesaaren reitti Helsingissä

REITIN KUVAUS: OTANIEMI, ESPOO

Toinen automaattibussipilotti toteutettiin Aalto yliopiston kampusalueella Espoon Otaniemessä syys–lokakuussa 2016. Verrattuna Hernesaareen, Otaniemen reitti (kuva 3) oli monimuotoisempi ja vaativampi sisältäen enemmän käännoksiä, risteyskiä ja muita liikennetilanteita. Siitä huolimatta se oli helpompi toteuttaa koska alueen liikenne oli varsin rauhallista. Metallimiehenkujalla ei ollut erillistä kevyen liikenteen väylää joka johti siihen että jalankulkijat olivat osan aikaa samalla ajotiellä automaattibussin kanssa.

Otaniemen reitti oli noin 400 metriä pitkä yhteen suuntaan (yhteensä 800 metriä). Sillä oli kolme pysäkkiä: Innovation Alley, Acre ja Valimo. Valimon pysäkki oli ensimmäiset kaksi viikkoa pois käytöstä rakennustyömaan vuoksi ja operointi toteutettiin Innovation Alleyn ja Acren välillä. Bussi pysähtyi joka pysäkillä kun se ajoi menosuuntaan Innovation Alleylta kohti Valimoa. Valimolta bussi ajoi suoraan Innovation Alleylle pysähtymättä Acrella. Tämä johtui siitä että bussi tuli nk. perä edellä takaisinpäin eikä sen ovea voitu avata tien puolella.



Kuva 3. Otaniemen reitti Espoossa

REITIN KUVAUS: HERVANTA, TAMPERE

Vuoden 2016 viimeinen pilotti operoitiin Tampereen Hervannassa TTYn kampusalueella loka–marraskuussa 2016. Reitti (kuva 4) poikkesi aiemmis-

ta siten että se operoi pääosin kevyen liikenteen seassa ja kohtasi matkaltaan vain satunnaisia huoltoajoneuvoja.

Reitin pituus yhteen suuntaan oli noin 500 metriä (1 km yhteensä) ja siinä oli neljä pysäkkiä; Pääatalo, Tietotalo, Hervantakeskus ja Obeliski. Reitillä oli myös alikulkutunneli joka aiheutti haasteita pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden kanssa. Tunnelin alueella tie on leveä eikä siinä ole millään tavalla eroteltu eri tienkäyttäjiä. Tämä johti satunnaiseen ja siten vaikeasti ennakoitavaan käyttäytymiseen.



Kuva 4. Hervannan reitti Tampereella

RISKIEN HALLINTA

Muun liikenteen seassa tehtyjen pilottien tärkein asia on huolehtia riskitasosta ja siten liikenneturvallisuudesta. Kaikki kohteet tarkastettiin ensin Metropolian tiimin toimesta. Ennen operoinnin aloittamista Metropolia laati riskienhallintasuunnitelman yhdessä bussitoimittajan kanssa. Tätä seurattiin ja tarvittaessa päivitettiin itse operoinnin aikana. Havaitut riskit tunnistettiin riskianalyysin avulla. Taulukko 1 näyttää riskin vakavuuden ja todennäköisyyden. Jos riski on pieni tai tapahtuu harvakseltaan, se saa arvon 1. Numero kasvaa mikäli riski on vakava tai tapahtuu useammin.

Taulukko 1. Riskin vakavuus ja todennäköisyys

Characteristics of their seriousness		Characteristics of their probability	
1 Minimal	The event is random and overreaching expectational situation not requiring and additional measures	1 Unlikely	The event occurs rarely. For example mechanical fault or collision
2 Severe	The event causes severe harm to operation of the fleet, caused for example by heavy rain or vandalism	2 Possible	The event occurs repeatedly, but not regularly. Heavy rain for example
3 Serious	The event causes human injuries or serious long lasting problems for the operation, caused for example from collision or mechanical fault	3 Propable	The event which occurs frequently and on regular basis. For example illegal roadside parking

Vakavuus ja todennäköisyys summataan yhteen ja lajitellaan sen perusteella järjestykseen (Taulukko 2). Kun riski on kokonaisuutena pieni, toimenpiteitä ei välttämättä tarvita mutta kun summan suuruus kasvaa, toimenpiteet ovat välttämättömiä. Osa toimenpiteistä ei noudata perinteisiä työsuojeluriskien toimintamalleja koska toiminta tapahtuu monimutkaisessa ympäristössä mutta periaatteet ovat samat.

Taulukko 2. Toimenpiteet eri riskien tasoille

Risk rate	Sum value	Necessary measures needed
Meaningless risk	1	The risk is small, measures are not needed
Low risk	2	Situation should be monitored. Measures may not be required
Moderate risk	3	Requires constant monitoring and possible measures must be taken to reduce the risk
Significant risk	4	Reducing the risk is necessary
Unacceptable risk	5	Eliminating the risk is necessary

TULOKSET JA KOKEMUKSET

YMPÄRISTÖRISKIT

Väärinpysäköinti oli suurin havaittu ympäristöriski. Sen hallitsemiseksi pysäköintiä rajoitettiin kyltein, tolpin sekä ilmoittamalla alueen toimijoille poikkeusjärjestelyistä. Nämä keinot toimivat pääosin hyvin, erityisesti Otaniemessä, jossa suurin osa alueen liikkujista on päivittäin samoja henkilöitä.

Riskienhallinnan näkökulmasta ympäristöriskejä hallittiin liikennemerkein, hidastein ja liikennevaloin. Lisäksi ennen jokaista ajopäivää reitti ajettiin ilman matkustajia jotta voitiin varmistaa palvelun moitteeton toiminta. Ympäristön muutokset ovat yksi laajemman käytön suurimmista esteistä. Melkein puolet ongelmista johtui muuttuvasta säästä ja vuodenajoista (huono sää, puista irtoavat lehdet, hiekka) (Kuva 5.) Yksittäisenä ongelmana luvaton pysäköinti oli suurin ongelmista aiheuttaen noin 30 % kaikista ongelmista, tosin tämä oli kesäaikaan. Tyypillisin tapa ongelman ratkaisemiseen oli lopettaa operointi kunnes tie oli taas vapaana.



Kuva 5. Ympäristön aiheuttamat ongelmat osuuksittain

HERNESAARI, HELSINKI – TYYPILLISET ONGELMAT

- ◆ Laiton pysäköinti
- ◆ Muut ajoneuvot väistivät hidastetöyssyä vastapuolen kaistalta
- ◆ Puusto ja pysäköidyt ajoneuvot peittivät väliaikaiset liikennejärjestelyt
- ◆ Ihmiset ja muut liikenne eivät noudata liikennesääntöjä
- ◆ Bussin ohitus liian läheltä sitä
- ◆ Nopeusrajoitusten noudattamatta jättäminen

OTANIEMI, ESPOO TYYPILLISET ONGELMAT

- ◆ Laiton pysäköinti pilotin alussa
- ◆ Valimolle ja Innovation Alleylle kääntyttäessä bussi aiheutti aikaajoin muiden tienkäyttäjien kesken hämmennystä
- ◆ Jalankulkijat Metallimiehenkujalla jotka eivät aina huomaa takaa tulevaa äänetöntä bussia tai haluavat testata bussin toimintaa kävelemällä sen edessä.
- ◆ Kapeassa kohtaa bussi pitää oman ajolinjansa eikä mukauta sitä esimerkiksi antamalla muille tilaa.
- ◆ Jalankulkijat ja pyöräilijät eivät aina noudata liikennesääntöjä
- ◆ Puista putoavat lehdet aiheuttivat pysähdyksiä

HERVANTA, TAMPERE TYYPILLISET ONGELMAT

- ◆ Osa reitistä oli pelastusväylällä jossa ei ole tilaa kahdelle ajoneuvolle samaan aikaan
- ◆ Bussipysäkit olivat lähellä kääntöalueita ja tienvarsipysäköintejä
- ◆ Huoltoreitit menivät osan pysäkeistä lävitse
- ◆ Osa reitistä kulki kävely- ja pyöräteillä ja järjestelyt aiheuttivat hämmennystä

YHTEENVETO

Perustuen vuoden 2016 pilotteihin, automaattibussit ovat varsin lähellä kaupallista tasoa kunhan ympäristö on niille sopiva. Tämä tulee turvata prioriteetin ja muiden liikennejärjestelyjen avulla. Pysyvät liikennejärjestelyt sekä V2X kommunikaatio tulevat tukemaan turvallista ja luotettavaa operointia. On huomattava että todellinen operointi tulee tarvitsemaan toimivan etäoperointimallin sekä ympäristöongelmien ratkaisua. Ensimmäiset kaupalliset operaatiot alkanevatkin reiteillä joissa on selvä kausipohjainen kysyntä ja automaatiolle sopiva liikenneympäristö. Avainasemassa tulee olemaan automaation kannalta paikallisen liikenneympäristön ymmärrys sekä kuinka toteutetaan uudenlainen automaation mahdollistama liikkumispalvelu.

LÄHTEET

Finnish Transport Safety Agency. 2016. Automated vehicle trials.
(12.3.2018). Haettu osoitteesta
http://www.trafi.fi/en/road/automated_vehicle_trials

Finnish Transport Safety Agency. 2016. Testing automated vehicle
guidelines.(12.3.2018) Haettu osoitteesta
[http://www.trafi.fi/filebank/a/1475139801/
c715fc7cabf057b9320be4bbd6714cbe/22483-Testing_automated_
vehicles_in_Finland_2016.pdf](http://www.trafi.fi/filebank/a/1475139801/c715fc7cabf057b9320be4bbd6714cbe/22483-Testing_automated_vehicles_in_Finland_2016.pdf)

Oscar Nissin

2. SOHJOA-PROJEKTIN PILOTTIAJOT 2016-2017 JA NIISSÄ KÄYTETTY ROBOTTIBUSSITEKNOLOGIA

SOHJOA-projekti oli maailman ensimmäinen yleisessä liikenteessä toteutettu automaattibussikokeilu, jossa vuosien 2016-2018 välisenä aikana kokeiltiin pieniä, sähköisiä automaattibusseja pilottireiteillä Helsingissä, Espoossa ja Tampereella sekä lyhyissä demoajoissa Vantaalla ja Hämeenlinnassa. Liikkumisketjun nk. viimeisen mailin ongelman ratkaisuun tarkoitettut pienet automaattibussit ovat tekniseltä toteutukseltaan vielä varsin pilottiasteella ja kehittymättömiä. SOHJOA-projektin aikana kerätty oppi on tärkeää tietotaitoa siitä, mitä rajoitteita teknologialla on ja mihin se kykenee, sekä mitä ympäristöltä ja kehitykseltä vaaditaan, jotta automaattiset minibussit saataisiin kustannustehokkaasti liitettyä osaksi liikkumisketjua.

HERNESAARI, HELSINKI



Ensimmäinen robottibussireitti toteutettiin Helsingin Hernesaarella, Hernesaarenranta-nimisellä kadulla kesäkuun lopulta alkaen syyskuun puolivä-

liin 2016. Robottibussin reitti kulki suoralla tieosuudella noin 500 metriä etäisyydellä toisistaan olevan kahden pysäkin väliä. Tie itsessään oli varsin vilkkaasti liikennöity ja alueella kulki paljon raskasta liikennettä sekä erittäin paljon turistibusseja. Kevyelle liikenteelle oli tien kummallakin puolen omat kulkureittinsä ja reitin varrella yksi suojatieylitys.

Reitti itsessään on pintapuolisesti tarkasteltuna varsin yksinkertainen, kulkiessaan suoraa tiepätkää kahden pysäkin välissä, mutta myöhemmin huomattiin, että vilkkaasta liikenteestä johtuen Hernesaaren reitti oli kaikista vuoden aikana ajetuista reiteistä vaativin.

Kaksi pysäkkiä, jotka reitille valikoituivat, oli nimetty pysäkkien lähistöllä sijaitsevien ravintolakompleksien mukaan Löylyksi ja Hernesaarenrannaksi. Alkuperäinen suunnitelma oli ajaa bussilla matkustaja-aluslaituriin asti Hernematalankatua pitkin, mutta tieosuudella pilottikokeilun aikana tehdyt tietyöt estivät reitin käyttämisen kokonaisuudessaan. Alkuperäisenä ajatuksena oli toimia tukevana liikennemuotona laiturin saapuville risteilyalusmatkustajille, mutta alueella toimivat, perinteiset bussiratkaisut ruuhkauttivat Hernesaarenrannan siinä määrin, että robottibussilla ei ollut laivojen saapumisen aikaan toimintaedellytyksiä reitillä. Kokeilun aikana päätettiin turvallisuussyistä välttää robottibussilla ajamista reitillä silloin, kun laiturin saapuu risteilyalus, aiheuttaen alueelle ruuhkaisuutta.

OTANIEMI, ESPOO



Toinen reitti kulki Espoon Otaniemessä syys–lokakuussa 2016. Verratuna edelliseen reittiin Hernesaarella, Otaniemen reitti on näennäisesti monimutkaisempi useamman käännöksen, risteyksen, mutkan, ja pysäkin

sekä korkeuserojen vuoksi. Tie itsessään on varsin rauhallinen ja kapeahko katualue, jossa liikenne koostuu pääosin työmatkalaisista ja opiskelijoista. Pysäkkien ACRE ja Valimo välillä (Metallimiehenkujalla) ei kulkenut kevyen liikenteen väylää, joten kevyt liikenne kulki usein robottibussin reitillä. Reitti kulki Aalto Yliopiston Design Factoryn ja Urban Millin välistä Valimo-nimiselle rakennukselle, jossa sijaitsee opiskelijaruokala. Ensimmäiset kaksi viikkoa bussi kulki vain väliä Innovation Alley - ACRE, sillä Valimon pysäkillä tehdyt tietyöt pakottivat katkaisemaan reitin töiden valmistumisen ajaksi. Otaniemen reitin pituus yhteen suuntaan oli noin 400 metriä. Otaniemen reitille palattiin sen erinomaisen toimivuuden vuoksi 16. loka-kuuta ja lopetettiin 1. joulukuuta vuonna 2017.

HERVANTA, TAMPERE



Tampereen Hervannassa kulkenut robottibussireitti sijoittui miltei kokonaan Tampereen teknillisen yliopiston kampusalueelle ja reitti kulki miltei kokonaan kevyen liikenteen väylällä. Lisäksi reitillä oli, poikkeuksena aiempiin reitteihin useita kohtia, joissa kaksi robottibussia ei mahtunut kohtaamaan toisiaan sekä kohta, jossa bussi joutui kulkemaan alikulkutunnelin läpi, Hervannan valtavyölyän alitse. Reitillä oli neljä pysäkkiä, Pääatalo, Tietotalo, Hervantakeskus ja Obeliski ja sen pituus oli noin 500 metriä yhteen suuntaan.

Hervannassa ajettiin vuonna loka–marraskuussa 2016, kunnes liian huonoksi muuttanut talvikeli esti ajojen jatkumisen pidempään. Samalle reitille palattiin keväällä 2017, ja reittiä operoitiin 8. toukokuuta–16. kesäkuuta.

LYHYEMMÄT KOKEILUT

Osana SOHJOA-projektia toteutettiin myös muutama koeluontoinen, pienempi kokeilu eri yhteistyötahojen pyynnöstä. Nämä kokeilut toteutettiin pääosin ilman laitevalmistajan läsnäoloa myös oman henkilöstön osaamisen kehittämiseksi ja kaikkien näiden reittien ominaispiirteitä oli lyhyt (n. 250 metriä) reitti sekä muulta liikenteeltä suljettu alue. Näiden lyhyiden ja suljettujen kokeilujen lisäksi toteutettiin myös yksi muihin reitteihin verrattavissa oleva kokeilu Finavialla. Finavia-kokeilua käsitellään tämän artikkelikokoelman artikkelissa numero kolme, Ville Arffman & Azat Ismailogullari: Robottibussipilotti Finavialla.

HAAGA-HELIA, PASILA (HELSINKI)



Haaga-Helian lyhyt demoreitti kulki Haaga-Helia -ammattikorkeakoulun Pasilan toimipisteen edessä osana Nordic Business Forum -tapahtumaa, joka järjestettiin Messukeskuksessa lokakuun alussa 2017. Reitin pituus oli 95 metriä ja sillä oli kaksi pysäkkiä, *Messukeskus* ja *Haaga-Helia*. Kulkuväylä, puolikas kevyen liikenteen väylä, oli suljettu muulta liikenteeltä tolpin ja lippusiimoin ja bussi kulki reitillä n. 5,5 km/h.

NOKIA CAMPUS, KARAKALLIO (ESPOO)

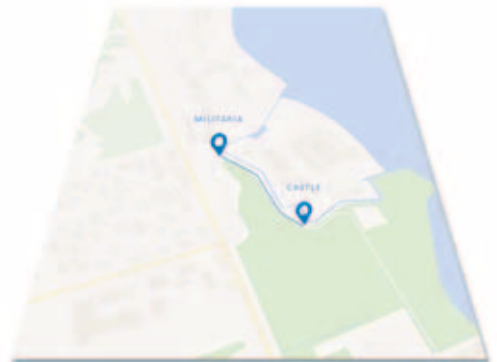
Nokian pääkonttorilla, Karakalliossa, Espoossa järjestettiin lyhyt demonstraatioajo suljetulla parkkialueella. Kokeilun pääasiallisena tarkoituksena oli paitsi esitellä automaattiajamisteknologiaa Reboot Finland D.Day-tapahtuman aikana 20.6.2017, myös kokeilla Nokian omaa, alueelle rakennettua koeverkkoa automaattiajamisessa.

Yhteistyössä bussien laitevalmistajan kanssa bussiin tehtiin väliaikaisia modifikaatioita, joilla pystyttiin käyttämään Nokian testiverkkoa hyväksi ja keräämään dataa alueella liikkumisesta. Nokian koalueella oli kaksi pysäkkiä ja reitti oli ympyrän muotoinen, n. 150 metriä pitkä. Testialuetta käytettiin myös tapahtuman jälkeen robottibussioperaattorien kouluttamiseen.



HÄMEEN LINNA, LINNAPUISTO (HÄMEENLINNA)

Hämeenlinnan lyhyt robottibussidemo ajoittui Hämeenlinnan kaupungin järjestämän nuorisotapahtuman Kaupunkijamboreen aikaan heinä-elokuun taitteessa 2017. Bussi kulki reitillä, jonka pituus oli n. 340 metriä kokonaisuudessaan ja se kulki suljetulla patkällä kevyen liikenteen väylää Hämeen Linnan länsipuolella. Tapahtuman aikana kevyen liikenteen väylän suuntaisesti kulkenut autotie oli suljettu ajoneuvoliikenteeltä, joten kevyt liikenne oli tapahtuman ajaksi ohjattu kulkemaan autotiellä. Tapahtuman aikana robottibussilla oli 713 kävijää ja kokeilusta tehtiin juttu YLE Hämeen tv-uutisiin sekä radioon.



ROBOTTIBUSSITEKNOLOGIA

Sohjoa-projektissa käytetään kahta EZ10-ajoneuvoa, joita voi luonnehtia automaattisiksi minibusseiksi. Suomen tieliikennelainsäädännön perusteella ne on luokitellaan M1-luokan ajoneuvoiksi, ts. henkilöautoiksi ja niitä koskee samat säännöt (esimerkiksi matkustajamäärän ja sallittujen tietyyppien osalta) kuin henkilöautojakin.

EZ10 on ranskalaisen Easymilen valmistama ajoneuvo, joka tietyissä olosuhteissa (operational design domain) pystyy täyttämään yhdysvaltalaisen SAE J3016 -standardin automaattisen ajamisen tason 4.

SENSORITEKNOLOGIA

Automaattibussien tulee paitsi havainnoida ympäristöään esteiden ja muiden tienkäyttäjien varalta, mutta myös kyetä paikallistamaan itsensä. Ihminen tekee tämän vaistomaisesti sekä opitun kokemuksen perusteella pääasiassa näköaistinsa avulla, joten automaattiajoneuvojen sensorit jäljittelevät usein jollain tapaa ihmisen näköaistia (ns. konenäkö). Hyvänä puolena konenäköratkaisuissa on vapaus suunnitella nimenomaan ajamiseen soveltuva sensoripankki, jolla on merkittävästi paremmat ominaisuudet kuin ihmisen kahden silmän muodostamalla stereonäöllä. Useissa automaattiajamisen ratkaisuissa käytetään stereonäkökameran muodostamaan kuvaa konenäköalgoritmeille, mutta todennäköisesti käytetyin sensorityyppi on lasereihin perustuva etäisyysmittauslaitteisto, LiDAR (light detection and ranging), jolla muodostetaan sensorin lähettämän laserpulssin heijasteista kuva ympäristöstä. Käyttämällä useita lidar-antureita yhdessä bussissa, voidaan luoda kuva bussin ympäristöstä koko 360 asteen näkökentällä.

Lisäksi automaattiautoissa on usein monia muita, erityyppisiä ajamiseen liittyviä sensoreita, kuten aiemmin mainitut stereonäkökamerat, esimerkiksi mikroaaltotutkia (RADAR), ääniaaltotutkia eli kaikuluotaimia (SONAR) sekä kiihtyvyyden- ja kiertokulma-antureita. Käyttämällä usean erityyppisen sensorin tuottamaa dataa yhdessä, voidaan paikata yhden sensorityypin puutteita ja täydentää eri sensorien tuottamia datavirtoja ja tämän kautta voidaan mahdollistaa entistä monimutkaisemmissa ympäristöissä ajaminen automaattisesti. Erityyppisten sensorien tuottaman datan yhdistämistä kutsutaan sensorifuusioksi.

ESTEENTUNNISTUS

EZ10 käyttää esteentunnistukseen neljää LIDAR-anturia, jotka on asennettu ajoneuvon nurkkiin oleviin ulokkeisiin. Kukin sensori toimii noin 270 asteen laajuudella, ja näin saadaan luotua täyden 360 asteen havainnointikehä bussin ympärille. Esteentunnistuslaserit toimivat yhdessä tasossa, n. 30 senttimetrin korkeudella maanpinnasta ja noin 40 metrin etäisyydelle bussista. Yhdessä tasossa toimivan laserin ongelmana on, että se ei havaitse alle 30 senttimetrin korkuisia esteitä tai tiessä olevia kuoppia eikä yli 30 senttimetrin korkeudessa olevia esteitä, kuten roikkuvia oksia, puomeja tai kuorma-auton perälautoja. Tähän esteentunnistuskatveeseen on kehitetty uudemmissa EZ10-malleissa keulalle asennettu monitasolaser, joka pystyy havaitsemaan esteet myös yksitasolaserien katvealueilla.

Esteentunnistuskehä havainnoi bussin ympärillä olevia esteitä ja tarkkailee mikäli esteet joko leikkaavat bussin kulkureittiä tai liikkuvat siten, että ne saattavat reitin leikata. Bussi reagoi esteisiin joko hidastamalla nopeutta aina pysähtymiseen asti tai, mikäli reagointiaika on lyhyt, pysäyttämällä bussin nopeasti hätäjarruttamalla. EZ10:n esteentunnistusalgoritmeissa ei ole hahmontunnistusta, joten mikä tahansa heijaste tulkitaan esteeksi, jolloin hätäjarrutuksia saattaa aiheuttaa esimerkiksi maasta nouseva pöly ja vesihöyry tai puista putoavat lehdet.

PAIKANNUSTEKNOLOGIA

Automaattiajoneuville itsensä paikantaminen on hyvin tärkeää turvallisen kulkemisen mahdollistamiseksi, EZ10 vaatii senttimetrien tarkkuudella tiedon sijainnistaan tai se ei pysty kulkemaan reitillään. Paikannus toteutetaan EZ10:ssä käyttämällä useiden eri sensorien dataa, mutta ehdottomasti merkittävin rooli on ajoneuvon katolle asennetuilla kahdella lidar-yksiköllä, eli paikannuslasereilla. Nämä kaksi laseria havaitsee n. 110 asteen keilalla ajoneuvon kulku- ja tulosuunnassa ympäristöä n. 120 metrin etäisyydellä. Keilaimien muodostamasta pistepilvestä muodostetaan pohjakartta ajoneuvon kulkemasta reitistä. Näin muodostetusta kartasta ajoneuvo havaitsee kulkiessaan tiettyjä piirteitä, kuten rakennusten muotoja, joiden perusteella ajoneuvo paikallistaa itsensä (ns. *piirrepohjainen paikallistaminen, feature-based localization*). Lisäksi ajoneuvo käyttää apuna paikallistamisessa satelliittipaikannusmenetelmiä (*GNSS, Global Navigation Satellite System*), joiden tarkkuutta parannetaan käyttämällä maa-aseamista saatua korjausdataa (*reaaliaikainen kinemaattinen mittaus, real-time kinematic, RTK*), jolla päästään senttimetriluokan paikannustarkkuuksiin. Myös kiih-

tyvyys- ja kiertokulma-antureita käytetään merkintälaskunavigointiin (*dead reckoning*), jolla voidaan nopeus- ja kiihtyvyydatasta arvioida ajoneuvon sijaintia.

HAVAINTOJA JA OPITTUJA KOKEMUKSIA

SOHJOA-projektin kolmelle vuodelle ja useaan eri paikkaan ulottuvat pilotit ovat antaneet projektitiimille varsin monipuolista ja vankkaa kokemusta automaattisen ajoneuvojen käyttämisestä sekaliikenteessä. Projektin aikana päällimmäiseksi havainnoksi on noussut, että **käytössä olevien robottibussien teknologinen taso ei mahdollista niiden käyttämistä sekaliikenteessä tai osana julkista liikennettä.**

Syitä tähän on useita, ja osa syistä nousi esiin jopa matkustajilta kerättyssä palautteessa. Merkittävimpiä syitä ovat:

1. Etävalvomon ja -hallintajärjestelmän puute ei mahdollista ihmisoperaattorin poistamista ajoneuvosta. Tämä puolestaan romuttaa robottiajoneuvojen taloudellisen hyödyn, joka saavutetaan henkilöstökustannusten vähentämisellä. Ongelma voidaan ratkaista luomalla järjestelmä, jolla yksi etäoperaattori voi valvoa (ja ongelmatilanteissa hallita) useaa robottibussia yhdestä paikasta käsin (etävalvomo).
2. Liikennesääntöjen ja -tilanteiden hallinta bussissa itsessään on alkeellisella tasolla. Jotta robottibussi voisi kulkea sekaliikenteessä tehokkaasti, sen tulisi kyetä reagoimaan liikennesääntöihin hyvin paljon ihmisen lailla. Tällä hetkellä EZ10-robottibussi reagoi vain reitillään oleviin esteisiin, mutta ei esimerkiksi punaisiin valoihin tai tasa-arvoisiin risteyksiin.
3. Päärreohjainen paikallistaminen sopii rakennetulle alueelle, mutta ei optimaaliselle kohdealueelle. Robottibussin laserskannauksen perustuva paikallistaminen tarvitsee paikannuksen onnistumiseksi suurikokoisia, korkeita, liikkumattomia ja selkeästi tunnistettavissa olevia muotoja (kuten yli kolme metriä korkeiden rakennusten nurkat ja kulmat), mutta paikannus ei onnistu esimerkiksi metsässä. Asiaa voidaan kiertää asentamalla reitille erillisiä paikannustauluja (case Finavia), mutta tämä on heikko hätäratkaisu, eikä reitintekoa ajatellen kovin joustavaa. Robottibussille olisi projektin kokemusten perusteella eniten kysyntää viimeisen mailin liikenteen ratkaisuksi haja-asutusalueilla ja lähiöissä sekä erilliskohteissa (museot,

eläintarhat, lentokentät jne.), joissa ei ole jo kattavaa julkisen liikenteen palvelua. Useat tämänkaltaiset kohteet kuitenkin kärsivät rakennusten puutteesta ja reitin rakentaminen on paikallistamisen kiintopisteiden puuttumisen vuoksi vaikeaa tai mahdotonta. Lisäksi, optimaalinen toiminta-alue (tiheästi rakennettu urbaani ympäristö) on epäsuotuisa robottibussille sen vaatiman tilan (leveys 2 metriä, lisäksi kulku-uralta tarvitaan 1,5 metriä kummallekin puolelle tyhjää tilaa esteenhavaitsemisensoreiden vaatimusten vuoksi) ja tiheästi liikenneöityjen tieverkkojen vuoksi.

4. Ajoneuvojen hidas nopeus (operointinopeus n. 5–12 km/h) ei sovellu sekaliikenteeseen. Suurin yksittäinen valituksen aihe robottibussien käyttäjiltä liittyy robottibussin alhaiseen nopeuteen. Kävely- tai juoksuvauhtia kulkeva robottibussi ei ole kilpailukykyinen liikkumismuoto käytännössä mihinkään muuhun liikkumismuotoon verrattuna ja muita tienkäyttäjiä selvästi hitaammin liikkuva ajoneuvo aiheuttaa vaaratilanteita liikenteessä. Hidas liikkumisnopeus on pakollista erityisesti EZ10-ajoneuvossa, koska sen penkkien sijoittelun vuoksi kolme matkustajaa istuu aina kasvot menosuuntaan, eikä penkeissä ole turvavöitä. Mikäli bussi tekee hätäjarrutuksen yli 12 km/h nopeudesta, on penkillä istuvat (ja bussissa seisovat) matkustajat loukkaantumisvaarassa, ja riski kasvaa merkittävästi nopeuden kasvaessa. Matala nopeus myös karsii pois käytettäviä tiealueita, käytännössä reitin on kuljettava tiellä, jonka suurin sallittu nopeus on 30 km/h. EZ10 kykenee mekaanisten rajoitteiden puolesta kulkemaan n. 40 km/h, mutta valmistaja ei turvallisuussyistä anna ajoneuvon kulkea tuota nopeutta. Matala nopeus karsii pois myös suurten tieosuuksien käytön, jolloin käytettävissä olevat alueet ovat hyvin rajattuja ja rajallisia.
5. Lisäksi on joukko muita pieniä seikkoja, kuten bussin säilytys (suojatussa paikassa, reitin lähellä, kuivassa) ja lataus (8 h lataus sähköpistokkeesta), jotka voi aiheuttaa reitin valinnassa ylitsempääsemättömiä ongelmia.

Ville Arffman & Azat Ismailogullari

3. ROBOTTIBUSSIPILOTTI FINAVIALLA

Helsinki-Vantaan lentoasemalla toteutettiin robottibussipilotti syksyllä 2017. Pilotin toteutti Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy Finavia Oyj:n tilauksesta. Pilotin avulla Finavia tähtää yhä sujuvampaan matkustamiseen. Finavia testaa uusien teknologioiden mahdollisuuksia tulevaisuuden lentoasemaa varten. Sähkökäyttöiset bussit kytkeytyvät myös Finavian ilmastohjelmaan, jonka tavoitteena ovat energiatehokkaat ja vähäpäästöiset lentoasemat. Robottibussipilotilla demonstroitiin liikumista Lentokentän T2-terminaalin ja P4-parkkialueen läheisyyteen.

Robottibussipilotti toteutettiin osana Metropolian SOHJOA-hanketta, mutta Finavian reitti oli ensimmäinen ulkopuolisen tahon tilaama kokeilu. Pilottiin vuokrattiin yksi EasyMilen EZ10 robottibussi.

FINAVIAN PILOTTIREITTI

Pilottireitti Helsinki-Vantaan lentoaseman ympäristössä oli noin 750 metriä pitkä yhteen suuntaan. Reitillä oli kolme pysäkkiä, yksi tilausajoliikenteen parkkipaikan reunaan terminaali 2:n lähellä ja kaksi reitin loppupäässä lähellä pysäköintialueita P4a ja P4b (kuva 1). Kokeilussa käytetty EasyMile EZ10 robottibussi ei kääntynyt ympäri reitin päässä vaan se vaihtoi suuntaa päätepysäkeillä. EZ10 on rakenteeltaan symmetrinen ja sillä voidaan operoida molempiin suuntiin, rajoituksena ovien sijainti ainoastaan bussin toisella kyljellä.



Kuva 1. Finavia reitti (Finavia 2017).

RISKIENHALLINTA

Operointireitti tarkastettiin etukäteen bussin valmistajan (EasyMile) kanssa. Ennen operoinnin aloittamista, mahdolliset riskit tunnistettiin ja niiden vähentämiseksi suunniteltiin liikennejärjestelyt. Riskien minimoimiseksi operaattorit olivat koulutettu toimimaan bussin kanssa ja tunnistamaan mahdolliset vaaratilanteet.

Joihinkin riskeihin, kuten säätilaan tai määräysten vastaisesti parkkeerattuihin ajoneuvoihin ei ole mahdollista vaikuttaa etukäteen vaan tilanteissa on toimittava tapauskohtaisesti. Hätätapausätykseen johtaneet ongelmat kirjattiin ylös lokiin, josta tiedot menevät valmistajalle. Useimmiten hätätapausätyksen jälkeen riittää, että operaattori tarkistaa operoinnin turvallisen jatkamisen ja kuittaa hätätapausätyksen, jolloin matka jatkuu automaattitilassa.

JÄRJESTELYT

Robottibussit ovat uusi ilmiö julkisilla teillä ja väylillä, joten yllättävien tilanteiden välttämiseksi on tärkeää informoida muita alueella liikkuja robottibusseista. Informointi toteutettiin julkisilla tiedotteilla ja sijoittamalla ”Muu vaara”-varoituskolmioita sekä lisäkilpiä risteyksiin operointireitin varrelle. Robottibussireitin alueella nopeusrajoitus oli alennettu 30 km/h (kuva 2). Liikennejärjestelyt kartoitettiin etukäteen vierailemalla pilotin toteutuspaikalla. Liikennejärjestelyitä ja niiden laajuutta suunniteltaessa otettiin huomioon lain vaatimukset sekä EasyMilen ja Finavian asettamat ehdot. Liikennejärjestelyiden asennuksesta vastasi pääosin Finavia.



Kuva 2. Lentäjätien risteyksen liikennejärjestelyitä.

Robottibussireitti Finavialla oli pääasiassa kevyenliikenteenväylää, tämän vuoksi liikennejärjestelyt olivat hieman helpompia kuin ajettaessa autotielä:

- ◆ Reitin vierellä ja sen läpi kulkevien tieosuuksien nopeuden rajoittaminen 30 km/h
- ◆ Varoituskyltit risteyksissä
- ◆ Stop-merkit risteävälle liikenteelle risteyksissä
- ◆ Merkit kevyenliikenteenväylän käyttäjille vaihtochoitoisen reitin käyttämisestä

Liikennejärjestelyiden lisäksi ainoa ympäristöön tehty muutos oli kolmen lokalisointitaulun asentaminen Ilmailutien vierellä oleville nurmialueille (kuva 3). Tauluja jouduttiin käyttämään, koska reitin loppupäässä ei ole rakennuksia tai muita hyviä referenssipisteitä bussin paikantamistekniikkaa varten. Puut soveltuvat huonosti lokalisointiin, koska ne heiluvat ja muuttavat muotoaan. Taulut asennettiin betoniporsaiden avulla.



Kuva 3. Robottibussi päätepysäkillä P4a. Lokalisointitaulu bussin vasemmalla puolella.

Haastavimmat kohdat reitillä oli Lentäjätien ja Tutkatien risteykset, joissa bussi ylitti tien suojatietä pitkin. Reitillä oli myös yksi todella kapea kohta, jossa bussi joutui hidastamaan vauhtiaan. Kapean kohdan viereltä suljettiin yksi ajokaista Terminaalitieltä noin 70 metrin matkalta, jotta bussi voisi ajaa mahdollisimman lähellä tien reunaa (kuva 4).



Kuva 4. Suljettu kaista Terminaalitiellä.



Kuva 5. EZ10 robottibussi parkkialueen P4a pysäkillä.

TALVIOLOSUHTEET

EZ10 bussia ei ole suunniteltu, eikä kunnolla testattu pohjoisiin talviolosuhteisiin. Valmistajan antamat operoinnin olosuhdestandardit ylittyvät usein suomen talviolosuhteissa:

- ◆ Lämpötila 2°C ja 40°C välillä
- ◆ Kosteus < 95 %
- ◆ Tuuli < 55 km/h jatkuvana
- ◆ Tuuli < 85 km/h puuskissa
- ◆ Ei rankkaa sadetta (< 5 mm/h)
- ◆ Ei lunta tiellä
- ◆ Ei jäätä tiellä
- ◆ Ei sumua
- ◆ Ei savua tai höyryä



Kuva 6. Olosuhdevaatimukset ylittävä keli Finavian reitillä.

OPEROINTI FINAVIALLA

OPEROINNIN AJANKOHTA

Operointi aloitettiin iltapäivällä 2.10.2017, kun viimeiset liikennejärjestelyt oli saatu hyväksytysti paikoilleen. Bussilla operoitiin arkipäivisin kello 12–14 ja 15–17, pilotti päättyi 1.11.2017. Operoinnin ajoittuminen syksyyn aiheutti haasteita lehtien putoamisen, tuulen ja lumisateen vuoksi. Lehtien putoaminen lasereiden eteen aiheutti runsaasti ylimääräisiä hätäpysäytyksiä. Laserit on säädetty herkiksi, jotta mahdollisen oikean esteen ollessa edessä, bussi pysähtyy varmasti. Toisinaan tuulen pyörteily nosti jo maahan pudonneita lehtiä uudelleen lasereiden eteen. Operointi estyi kahtena päivänä (26–27.11) runsaan lumisateen vuoksi (kuva 7).



Kuva 7. Talvinen keli esti operoinnin kahtena päivänä lokakuussa.

LIIKENNEJÄRJESTELYIDEN TOIMIVUUS

Liikennejärjestelyt toimivat bussin osalta pääasiassa hyvin. Finavian pilottireittialue oli osittain kapea ja tämä hidasti bussin nopeutta. Tutkatien risteyksessä ollut stop-merkkiä jouduttiin siirtämään kauemmaksi robottibussin reitiltä, koska se toisinaan pysäytti bussin. Stop-merkkien vaikutus autoilijoihin ei ollut aina toivotun mukainen. Kuten liikenteessä muutenkin, eivät kaikki liikkujat aina noudata sääntöjä. Havaittavissa oli myös alueella työskentelevien rutinoitumista alueen normaaleihin liikennejärjestelyihin ja täten vähäistä huomion kiinnittämistä uusiin liikennemerkkeihin.

Bussin operaattori painoi pilotin aikana hätäpysäytyspainiketta kaksi kertaa vaaratilanteen välttämiseksi. Molemmissa tapauksissa bussi oli matkalla parkkialueilta terminaalille päin, kun auto lähestyi Lentäjäntieltä ylinopeutta ja stop-merkeistä piittaamatta. Näissäkään tapauksissa kolariä ei olisi välttämättä tapahtunut, mutta oli järkevää pelata varman päälle kuin ottaa turha riski. On muistettava, että vaikka bussi pysäyttää itsensä ennen törmäystä, ei se voi estää jotain muuta ajamasta sitä kohti.

Bussin säilytys ja lataus

Bussia säilytettiin ensimmäiset kolme ja puoli viikkoa teltassa, tilausajoparkkipaikan nurkassa. Telttaan oli vedetty virtakaapeli bussin latausta varten. Teltta romahti märän lumen painosta 26.10 ja painui bussin kattoon vasten (kuva 8).



Kuva 8. Säilytysteltta romahti märän lumen painosta.

Bussin katolla oleva LiDAR tutka jäi onneksaasti teltan tukirakenteiden väliin, eikä bussi vaurioitunut teltan romahtaessa. Tämän jälkeen teltta ka-
sattiin pois ja bussia säilytettiin loppukokeilun aikana Finavian ajoneuvo-
hallissa (kuva 9).



Kuva 9. Robottibussin uusi säilytyspaikka Finavian hallissa.

Uusi säilytyspaikka soveltui paremmin bussille, kuin aiemmin käytetty teltta. Hallissa bussi välttyi pakkaselta, tuulelta ja sateelta. Ainut negatiivinen puoli uudessa säilytyspaikassa oli manuaalisen ajomatkan pidentyminen automaattisen reitin aloituspysäkillä.

OPEROINTISTATISTIIKKA

Ajopäiväkirjaan kerätystä informaatiosta selviää tietoja operoinnista (taulukko 1). Kokeilun aikana automaattitilassa ajettuja kilometrejä kertyi yhteensä 439 km. Operointia suoritettiin 22 päivänä, keskimäärin 20 km päivässä.

Taulukko 1. Ajopäiväkirjan tilastot.

Finavia-pilotti		
Ajettu matka (km)		439
Pysäkkien lukumäärä		3
Matkustajien lukumäärä		283
Ajetut päivät		22
Keskimääräinen operointiaika päivässä (h)		4
Operoinnin kokonaisaika (h)		88
Keskimääräiset operointikilometrit/päivä		20
Matkustajia kyydissä keskimäärin/km/hlö		0,6

HÄTÄPYSÄYTYKSET

Kuten taulukosta käy ilmi, yli 95 % hätäpysäytyksistä johtui ulkoisesta syystä (taulukko 2). Pyöräilijät sekä jalankulkijat aiheuttivat hätäpysäytyksiä ohittaessaan bussin liian läheltä. Suurin osa hätäpysäytyksistä tapahtui kuitenkin putoavien lehtien takia tai tuuli lennätti jo maahan pudonneita lehtiä lasereiden eteen. Ennakoivaa pysäyttämistä (operaattori pysäytti bussin manuaalisesti) käytettiin muun muassa ongelmatilanteiden välttämiseksi, kuten risteyksissä suojatiellä olevan ajoneuvon siirtymistä odottaessa. Lumisateiden jälkeisenä päivänä tehtiin useampi ennakoiva pysäyttäminen, kun operaattori kävi siirtämässä bussia häiritseviä lumipaakkuja kauemaksi. Manuaalitulissa ajaminen johtui useimmiten reitille pysäköidyn ajoneuvon kiertämisestä.

Taulukko 2. Hätäpysäytyksiin johtaneet syyt.

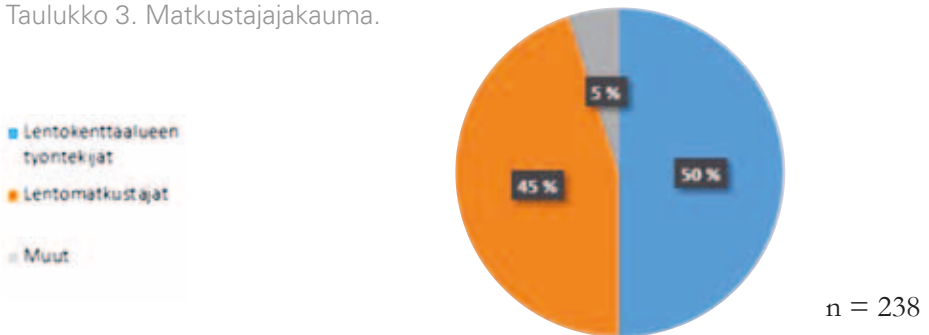
Pysäytykset operoinnissa		
Hätäpysäytykset:		
	Bussin järjestelmän laukaisemia	1
	Ulkoisen tekijän aiheuttamia (Sää, muut tielläliikujat, putoavat lehdet yms.)	60
	Operaattorin tekemiä	2
Hätäpysäytyksiä yhteensä:		63
	Hätäpysäytyksiä/pv	2,9
Operaattorin puuttuminen bussin kulkemiseen:		
	Ennakova pysäyttäminen	44
	Bussin ajaminen manuaalisesti	11

MATKUSTAJAT

MATKUSTAJAMÄÄRÄT JA KOKEMUKSET

Pilotin aikana bussilla matkustaneita oli 283. Matkustajista arviolta noin 50 % olivat lentokenttäalueen työntekijöitä, 45 % lentomatkustajia ja muita, kuten toimittajia tai bussin takia paikalle saapuneita oli 5 % (taulukko 3). Bussin operoinnista lentokentällä kuvattiin juttu Huomenta Suomeen 31.10.

Taulukko 3. Matkustajajakauma.



KEVYENLIIKENTEEN SUHTAUTUMINEN ROBOTTIBUSSIIN

Jalankulkijat sekä pyöräilijät suhtautuivat robottibussiin pääosin suotuisasti. Koko pilotin aikana ainoastaan yksi henkilö antoi negatiivista viestiä puimalla nyrkkiä bussille. Suurimmassa osassa bussi ja sen liikkuminen aiheutti vain hieman hämmennystä tai ihmettelyä, kun taas joillekin bussi oli reaktioista päätellen jo entuudestaan tuttu. Monet kuvasivat bussia, joko selkeästi tai sitten hieman piilotellen.

PÄÄTELMÄT

OPITUT ASIAT

Tämän hetkiset robottibussit eivät ole vielä valmiita toimimaan ilman operaattoria. Operaattorin poistaminen vaatisi vakaan etäohjauksen sekä matkustajien perusteellisen informoimisen. Operaattorin läsnäolo vaikuttaa joidenkin ihmisten turvallisuudentunteeseen sekä päätökseen nousta bussin kyytiin. Matkustajat kysyivät myös paljon kysymyksiä operaattorilta. Operaattorin kanssa ajaminen ei ole suinkaan turhaa, sillä siinä saadaan uutta teknologiaa ja liikennemuotoa ihmisille tutuiksi. Tämä on hyvä väliaskel ennen etäohjausta. Kokeiluissa saadaan myös tarkemmin selville optimaalisia sijainteja reiteille ja pysäkeille. Todennäköisesti autoilijat kunnioittavat bussia paremmin, kun sen sisällä on ihminen.

EZ10 robottibussin tarvitsemat kehityskohteet ympärivuotista etäohjattua operointia varten:

- ◆ Sensorit ympärivuotisen operoinnin mahdollistamiseksi
- ◆ Suuntavilkkujen kytkeytymisen ennakointi
- ◆ Tulevien liikennetilanteiden ennakointi
- ◆ Esteiden kiertäminen automaattisesti

Edellä mainitut ongelmat ovat nykyisin ratkaistu operaattorin läsnäololla sekä liikennejärjestelyillä.

SUOSITUKSET JATKOA VARTEN

Suosittellemme seuraavia asioita mahdolliseen jatkokokeiluun tai pysyvään robottibussiliikenteeseen:

- ◆ Operointireitin liikenteen nopeuden rajoittaminen 30 km/h
- ◆ Operointireitin leveys min 4 m turhien hidastamisien välttämiseksi
- ◆ Operointi rakennetussa ympäristössä (hyvät kiintopisteet lokalisoinnille)
- ◆ Pysäkkien sijainnin tarkempi kartoitus etukäteen (potentiaaliset matkustajat)
- ◆ Selkeiden opasteiden lisääminen
- ◆ Robottibussin reitistä tiedottaminen ennakoon



Kuva 10. Robottibussi terminaalin pysäkillä.

4. ROBOTIBUSSIN HANKINTA JA REKISTERÖINTIPROSESSI

AUTOMAATTIBUSSIN HANKINTA – KOKEMUKSIA KILPAILUTUKSESTA

Helsinki RobobusLine- ja mySMARTLife-projekteja varten ostettu automaattibussin hankinta toteutettiin EU-laajuisena hankintana avoimella menettelyllä. Hankinta käynnistettiin julkaisemalla hankinnasta hankintailmoitus HILMA-portaalissa jossa kaikki tarjoamisesta kiinnostuneet, tarjoajille asetetut soveltuvuusvaatimukset täyttävät toimittajat voivat tehdä tarjouksen. Kun hankintailmoitus oli jätetty portaaliin, tarjoajilla oli 35 päivää aikaa jättää tarjous. Tätä ennen oltiin tosin jo tehty markkinakartoitus potentiaalisista bussitoimittajista, ja käyty vuoropuhelua näiden kanssa. Soveltuvia toimittajia todettiin olevan kolme ja tämän pohjalta alettiin valmistella tarjouspyyntöä ottamalla huomioon automaattibussien erityispiirteet.

Automaattibusseille ei ole olemassa esimerkiksi normaaleille henkilöautoille säädelyjä normeja turvavarusteista tai yleisiä Euro-päästöluokituksia ajamisesta aiheutuvien päästöjen osalta. Lisäksi automaattibussien valmistajia on maailmalla toistaiseksi vain kourallinen, joten tarjouspyyntö tai lähinnä sen vaatimukset piti pystyä laatimaan niin, ettei suosita tiettyä valmistajaa vaikkakin bussien ominaisuudet tietyltä osin ovatkin melko yhteneväiset.

Ensimmäinen tarjouskilpailu avattiin maaliskuun lopulla ja päättyi 23. huhtikuuta 2017. Tarjouspyyntö koostui toimittajien soveltuvuusdokumenteista sekä automaattibussin vähimmäisvaatimuslistasta, joka keskittyi bussin vaadittuihin teknisiin ominaisuuksiin ja palveluihin. Hankintapäätöksessä ainut määräävä tekijä oli tarjottu hinta, joten voittaja olisi ollut ehdot täyttävä ja halvimmalla hinnalla bussin tarjoava toimittaja. Huolellisesta valmistelusta huolimatta tämä tarjouskilpailu ei johtanut hyväksyttävään tarjoukseen (kaksi saatua tarjousta). Tarjoaja 1 (Navya) ei pystynyt täyttämään kaikkia vaadittuja lisäpalveluita halutulta ajalta asetetun hintarajan puitteissa. Tarjoaja 2 (Easymile) osalta vaatimusten täyttämättömyys liittyi teknisiin vähimmäisvaatimuksiin sekä tarjouksesta puuttuneisiin palveluihin.

Tarjouskilpailun päätyttyä ja hankintapäätöksen (tässä tapauksessa päätös olla hankkimatta bussia kummaltakaan tarjoajalta) julkaisun jälkeen tarjoajilla oli 14 vuorokautta aikaa valittaa päätöksestä. Tänä aikana mietittiin myös automaattibussin hankintaa suorahankintana. Tämän todettiin olevan kuitenkin liian riskialtista, sillä bussitoimittajien (bussien) ominaisuudet olivat kuitenkin niin yhteneväisiä ja päätöstä olisi ollut hankala perustella.

Toinen tarjouskilpailu rakennettiin niin, että hankintapäätökseen vaikutti tarjotusta hinnasta sekä vaadituista bussin teknisistä ominaisuuksista sekä palveluista saadut pisteet (suhteessa hinta 65 % ja ominaisuudet 35 %). Tarjouspyynnössä oli edelleen tietyt pakolliset vähimmäisvaatimukset, mutta tarjoajat pystyivät saamaan enemmän pisteitä tarjoamalla parempia ominaisuuksia ja palveluita. Näin ainoa hankintapäätöksessä määräävä tekijä ei ollut hinta, ja tarjouspyynnön pakollisia vaatimuksia voitiin keventää. Toisaalta tällä tavoin taattiin varmemmin, että saataisiin ominaisuuksiltaan paras mahdollinen bussi suhteessa hintaan.

Vaatimukset muun muassa teknisten ominaisuuksien, ylläpitopalveluiden ja bussin ohjelmoinnin osalta koottiin Excel-taulukkoon, jossa tietyt vaatimukset oli listattu pakollisiksi ja tietyt optionaalisiksi. Nämä pakolliset vaatimukset oli välttämätöntä täyttää tai tarjota, jotta tarjous voitiin hyväksyä. Valinnaisia vaatimuksia ja palveluita tarjoamalla pystyi saamaan lisäpisteitä, jotka yhdessä tarjotun hinnan kanssa määrittivät tarjoajan saadut kokonaispisteet sekä lopulta tarjouskilpailun voittajan.

Toinen tarjouskilpailu avattiin 9. kesäkuuta ja päättyi 18. heinäkuuta 2017. Tarjouskilpailu tuotti kaksi hyväksyttävää tarjousta toimittajilta Easymile ja Navya. Voittajaksi kokonaispisteiden perusteella valikoitui Navyan ARMA-automaattibussi. Hankintapäätös julkaistiin 27. heinäkuuta. Hankintapäätöksen valitusaika loppui 9. elokuuta, jonka jälkeen bussin tilaus oli mahdollista.

Automaattibussin hankinnassa tällä hetkellä on syytä huomioida se että, bussin liikennöinti on riippuvainen valmistajan vuosittain tarjoamista palveluista. Tämä tarkoittaa käytännössä muun muassa ohjelmistolisenssejä, yksinkertaista etävalvontaa ja huoltoa. Bussin hankintahinnan lisäksi voi joutua siis maksamaan huomattavan suuria vuosittaisia kuluja siitä, että bussi voi liikkua. Bussin hankintaa tehdessä olisi syytä tarkalleen tietää etukäteen, kuinka kauan bussilla aiotaan operoida esimerkiksi jonkin projektin aikana, ja rakentaa kilpailutus niin, ettei makseta turhaan bussin seisotamisesta hallissa. Suomessa ei esimerkiksi tällä hetkellä voi markkinoilla olevilla busseilla operoida ympäri vuoden, tai ainakaan ei voida luvata, että bussilla voisi luotettavasti operoida ympäri vuoden. Bussin vuosittaisiin kuluihin liittyen on syytä tietenkin huomioida myös se, että bussissa on

toistaiseksi (teknisistä rajoitteista johtuen) oltava kyydissä vastuussa oleva henkilö, operaattori, jonka tehtävänä on valvoa bussin toimintaa.

ROBOTTIBUSSIN REKISTERÖINTI

Suomessa on mahdollista testata automaattiajoneuvoja (SAE-tasot 0-5), koska Suomen lainsäädännöstä uupuu kohta joka vaatii, että kuljettajan täytyy pitää kädet ohjauspyörässä tai että hänen tarvitsee olla fyysisesti ajoneuvossa kyydissä. Testattavalla automaattiajoneuvolla on kuitenkin toistaiseksi oltava henkilö, käytännössä siis kuljettaja, joka on laillisesti vastuussa ajoneuvolla liikkumisesta. Kuljettajan täytyy pystyä valvomaan ja puuttumaan ajoneuvon liikkeisiin sekä tarvittaessa pystyttävä pysäyttämään se. Automaattiajoneuvojen testaamiseen liittyvin edellytyksin, robottibusseja voidaan testata Suomen tieliikenteessä Trafín myöntämällä koenumerotodistuksella sekä tämän todistuksen oikeuttamilla ajoneuvon asennettavilla koenumerokilvillä.

Automaattiajoneuvoja ei voi tieliikenteessä testata kuka tahansa. Testauksen edellyttämää koenumerotodistusta voi hakea automaattiajoneuvojen tutkimus- ja kehitystoimintaa harjoittava liike, laitos tai muu yhteisö. Todistus oikeuttaa käyttämään testattavaa ajoneuvoa rajoitetusti sekä tilapäisesti liikenteessä ja muissa soveltuviissa paikoissa.

Koenumerotodistusta voi hakea lomakkeella (kuva 1), joka löytyy verkkosivulta: <https://www.suomi.fi/palvelut/lomake/6466fddd-005d-4ea3-9ead-ca543b2fc269>. Koenumerotodistus on voimassa vuoden todistuksen myöntämispäivästä ja se uusitaan vuosittain ilman eri hakemusta. Automaattiautokokeiluja varten koenumerotodistuksen saanut saa väliaikaisesti käyttää ajoneuvoa koenumerokilvin liikenteessä maksamatta auto- ja ajoneuvoveroa. Koenumerotodistushakemukseen on liitettävä mukaan korkeintaan kolme kuukautta vanha hakijan kotimaan kaupparekisteriote. Lisäksi hakemukseen on liitettävä mukaan koesuunnitelma, johon tulisi kuvata seuraavat kohdat:

1. Yleiskuvaus kokeilusta
 - a. Mitä, missä, milloin
 - b. Kuinka monta autoa
 - c. Mikä ajanjakso
 - d. Mihin aikoihin
 - e. Kuka operoi
 - f. Kuljettajatiedot

2. Tutkimussuunnitelma
 - a. Mitä tutkitaan
 - b. Loppuraportti

3. Ajoneuvon tekniset tiedot
 - a. Auton perustiedot
 - b. Erot tyyppihyväksytyyn ajoneuvoon

4. Koalueen tiedot
 - a. Kartat alueesta
 - b. Onko infrastruktuuriin tehty muutoksia
 - c. Onko kaupungin/kunnan kanssa keskusteltu

5. Selvitys liikenneturvallisuuden varmistamisesta
 - a. Miten varmistutaan riskittömästä liikkumisesta
 - b. Riskien arviointi; vakavuus vs. todennäköisyys
 - c. Miten ajoneuvo havainnoi ympäristön
 - d. Miten tapahtuneisiin riskeihin reagoidaan / selvitetään
 - e. Datan kerääminen / jakaminen
 - f. Yksityisyyden suoja
 - g. Kyberturvallisuus
 - h. Onko liikennöintiin esteitä; ympäristö, olosuhteet ym
 - i. Miten operoijat / kuljettajat koulutetaan.

Koenumerotodistushakemuksen hyväksymisen perusteena on myö se, että hakijalla on voimassa oleva koenumerovakuutus – pakollinen liikennevakuutus. Automaattiajoneuvon testauksen päätyttyä, kokeilun tekijän tulee toimittaa raportti testauksen tuloksista Trafille. Raportissa pitää kuvata esimerkiksi miten testisuunnitelma toteutettiin ja miten kokeilu poikkesi suunnitelmasta.



Trafi Liikenteen turvallisuusvirasto

Koenumerotodistushakemus

suojattu sähkö

Hakemus lähetetään sähköisesti
 Liikenteen turvallisuusvirasto
 PL 520
 00101 Helsinki
 tai
 koenumero@trafi.fi

Näkö	Hakijan nimi		Etunimi	
	Puhelinnumero		Postinumero ja -postilaatiko	
	Sähköpostiosoite		Häätalonumero	
Väsymysto	<input type="checkbox"/> Vähyä tai muu syyntö <input type="checkbox"/> Vähyä <input type="checkbox"/> Kurtti			
Koenumero- sääntö	Käytän koenumeroa jättämättä hakijan asematodistusta esittämättä, että hakijalla on vähintään yksi koenumeroalusta, joka on voimassa. Hakijalla tulee olla koenumeroalusta, joka on voimassa vähintään kahden kuukauden ajan hakemusta ennen hakemusta. Hakemusta varten hakijalla on koenumeroalusta ei ole koenumeroalustan esittämättä.			
Ajoneuvo tai ajoneuvoyhtiö	Koenumerotodistus on ajoneuvoyhtiökohtainen, koenumerotodistus ei ole ajoneuvoyhtiökohtainen, ajoneuvoyhtiön mukainen ajoneuvo. Hakijalla koenumerotodistusta esittämättä on vähintään yksi koenumeroalusta, jolla on ajoneuvoyhtiön, joka on voimassa koenumerotodistusta varten.			
	<input type="checkbox"/> 6 Auto <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> 7 Moottorikäyttö <input type="checkbox"/> ei		<input type="checkbox"/> Taksi <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> Ajoneuvoyhtiö <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> MAO <input type="checkbox"/> ei <input type="checkbox"/> Moottori <input type="checkbox"/> ei	
Hakemuksen syy	<input type="checkbox"/> Olen kaupankäynnistä tai elinkeinotoimasta: - haluan kokea kaupankäynnin ja sen oire 3 kuukautta vanhempi. Kaupankäynnin toiminta on ilmeistä, että koenumerotodistuksen käyttö on perusteltu laissa, esim. maastajajärjestöjen jäsenyyttä tai vastaavaa. <input type="checkbox"/> Muu syy: - Maailman kauppakamari on ilmeistä haluan kokea kaupankäynnin toimintaa ja sen oireita. <input type="checkbox"/> Vastalaji: - Vastalaji, jolla hakemusta esittämättä ei kaupankäynnin mukaan ole toimintatodistusta.			
Hakijan sääntö	Koenumerotodistus lähetetään vain ajoneuvojen (1090/2002) ja 1 ja 2 ajoneuvojen käyttökohtainen. Lisäksi ajoneuvojen käyttöä maastajajärjestöjen (1992/1994) sääntöjä ajoneuvojen käyttöä varten on otettava huomioon.			
	Nimi ja piti		Alkuperäinen nimenosoite	
	<input type="text"/> <input type="text"/>			
Koenumero- sääntö	Koenumerotodistus on voimassa vähintään sen myöntämisen jälkeen. Koenumerotodistus voidaan lähettää hakijalle, jos hakijalla on koenumeroalusta, joka on voimassa vähintään kahden kuukauden ajan hakemusta ennen hakemusta. Hakemusta varten hakijalla on koenumeroalusta, joka on voimassa vähintään kahden kuukauden ajan hakemusta ennen hakemusta. Hakemusta varten hakijalla on koenumeroalusta, joka on voimassa vähintään kahden kuukauden ajan hakemusta ennen hakemusta.			

Liikenteen turvallisuusvirasto PL 520 00101 Helsinki • www.trafi.fi • Puhelin 02017553

Kuva 1. Koenumerotodistushakemus

LÄHTEET

Trafi. Automaattiautojen testaaminen Suomessa. (4.5.2018) Haettu osoitteesta https://www.trafi.fi/filebank/a/1475139801/5e1513a2255cfea5681aace64b718036/22482-Automaattiautojen_testaaminen_Suomessa_2016.pdf

Trafi. Koenumerotodistushakemus. (4.5.2018) Haettu osoitteesta <https://www.suomi.fi/palvelut/lomake/6466fddd-005d-4ea3-9ead-ca543b2fc269>

Matias Lehmusjärvi

5. ROBOTTIBUSSIN PYSÄKIN MUOTOILU

Olen teollisen muotoilun opiskelija ja olen ollut Sohjoa-hankkeessa alusta saakka mukana. Suurin painopisteeni on ollut Robottibussipysäkin rakentamisessa.

Aloitin kolmen muun opiskelijan kanssa Innovaatiokurssin syksyllä 2016, jossa suunnittelimme konseptia tulevaisuuden pysäkille. Koko syksyn kestäneen työskentelyn jälkeen, esittelimme tuotokset Sohjoa-6aika-hankkeelle. Tiesin entuudestaan, että hankkeeseen kuuluu työpaketti, jossa suunnitellaan ja valmistetaan bussipysäkki, joten työmme oli pohjatyö alkavalle W.P. 2 työpaketille. Kurssin jälkeen meiltä kysyttiin halukkuutta osallistua pysäkin rakentamiseen. Minä, Joonatan Merikivi ja Teemu Hartikainen tartuimme haasteeseen.



Kuva: Joonatan Merikivi



Kuva: Teemu Hartikainen



Kuva: Matias Lehmusjärvi

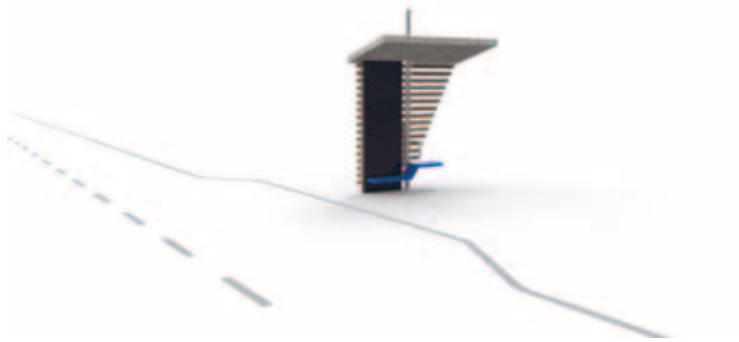


Kuva: Matias Lehmusjärvi

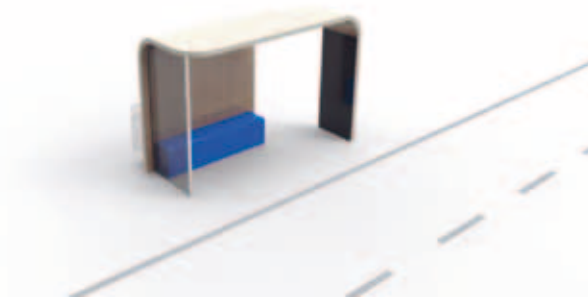
Työpaketti alkoi alkuvuonna, jolloin saimme tietää aikataulusta, budjetista ja pysäkkiä koskevista toiveista. Kevääseen asti teimme konsepteja, joista päädyimme yhteen toteutettavaan malliin. Teimme pysäkistä täyellisen 3D-mallin, joka toimi samalla pohjapiirrustuksena. Saimme apua autotekniikan puolelta rakenteen vahvuudesta ja materiaalia suosituksista. Tässä vaiheessa olimme myös palaverien yhteydessä miettineet pitkälle bussipysäkin älynäyttöä ja sen ominaisuuksia. Ensimmäiset konseptit UI:stä tuli valmiiksi.



Kuva: Matias Lehmusjärvi



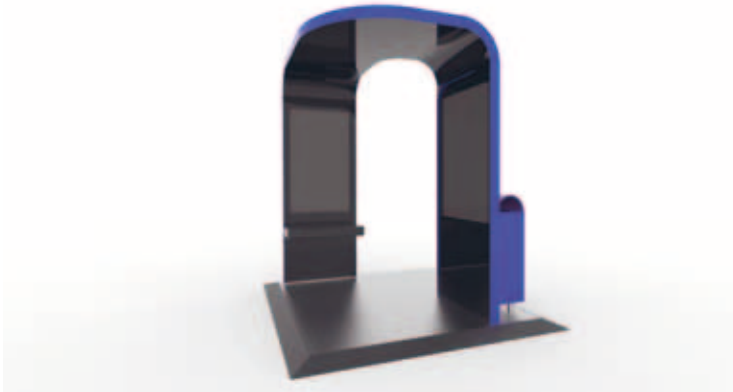
Kuva: Matias lehmusjärvi



Kuva: Joonatan Merikivi

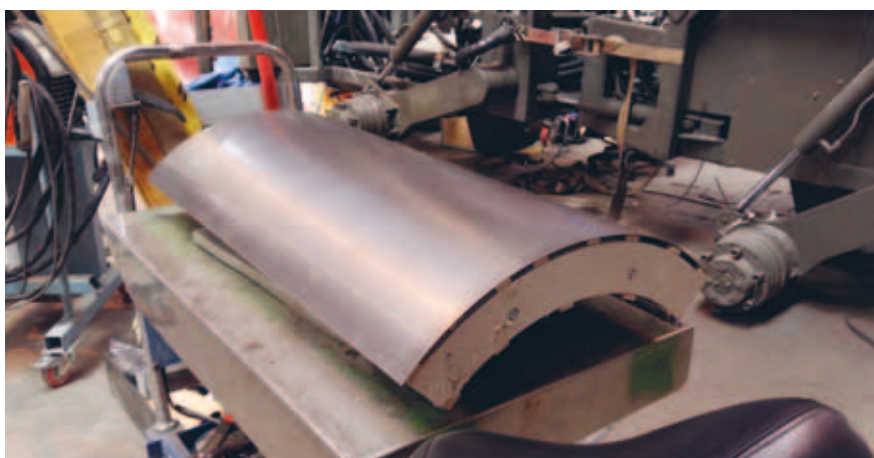
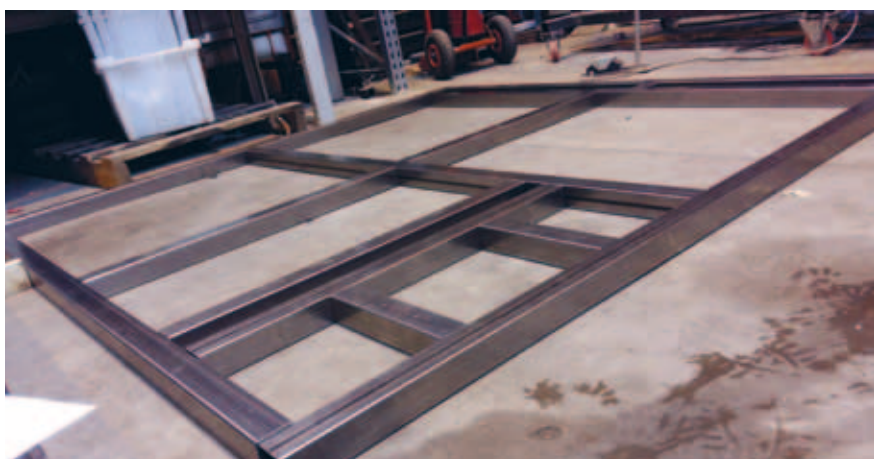


Kuva: Joonatan Merikivi



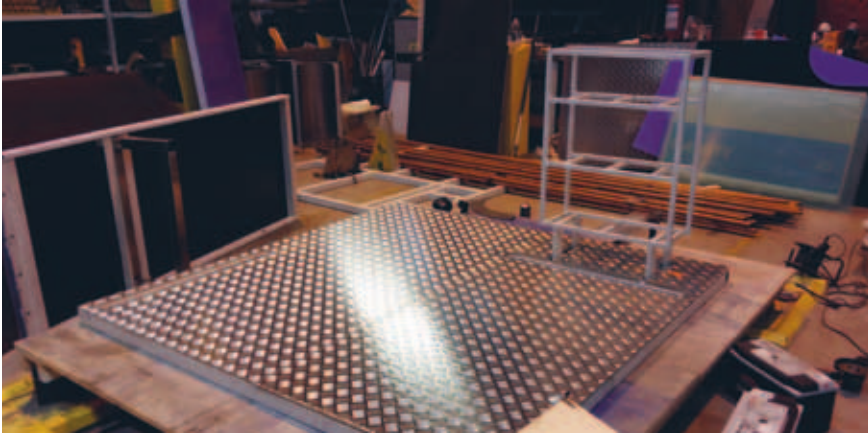
Kuvat: Matias Lehmusjärvi

Varsinainen pysäkin rakentaminen alkoi Hernesaassa keväällä ensimmäisten materiaalitoimituksen saavutta. Aloitimme runko-osien sahaamisesta neliöputkesta ja niiden hitsaamisesta. Runko oli suunniteltu siten, että seinät, katto ja lattia on omina elementteinä, jolloin valmistaminen ja kokoaminen olisi helpompaa. Pinnoitimme osat filmivanerilla ja pellillä. Suurin osa peleistä käytettiin levytavarana, mutta kattoa varten teimme taivutettuja osia. Katon sivuille tilasimme valmiiksi laserleikattuja levyjä, koska vastaavaa tarkkaa muotoa ei pystytty valmistamaan koulun tiloissa. Kokosimme rungot osia jo paikoilleen ja pääsimme testaamaan myös pysäkin UI:n ilmettä ensimmäistä kertaa.



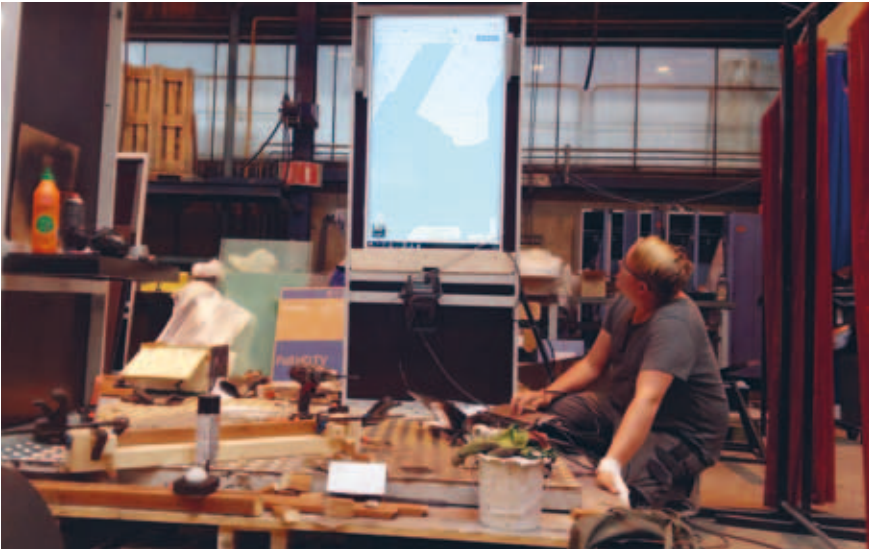


Kuvat: Teemu Hartikainen



Kuvat: Matias Lehmusjärvi

Loppukesästä saimme maalaukset valmiiksi ja aloimme keskittymään enemmän sähkötöihin. Budjettimme ei antanut myöten kalliille kosketusnäytölle, jonka takia tyydyimme tavalliseen tv-monitoriin, jonka vierelle asensimme näppäimet käyttöjärjestelmää varten. Olimme varanneet pysäkkiin tulleesta roskiksesta tilaa akuille, jos pysäkki tulee demokäyttöön alueelle mihin ei saada lähettyviltä virtaa. Asensimme liiketunnistimen valoihin, jolloin pysäkillä saapuva matkustaja herättää valot päälle. Sähkötyöt saimme muuten valmiiksi tietokonetta lukuunottamatta, joka pyörittää varsinaista käyttöjärjestelmää. UI:tä pyörittävä kone varmistui vasta sen jälkeen kun Metropolian Leppävaaran tietotekniikan opiskelijat olivat saaneet omat version käyttöliittymästä valmiiksi.



Kuvat: Matias Lehmusjärvi



Kuva: Teemu Hartikainen

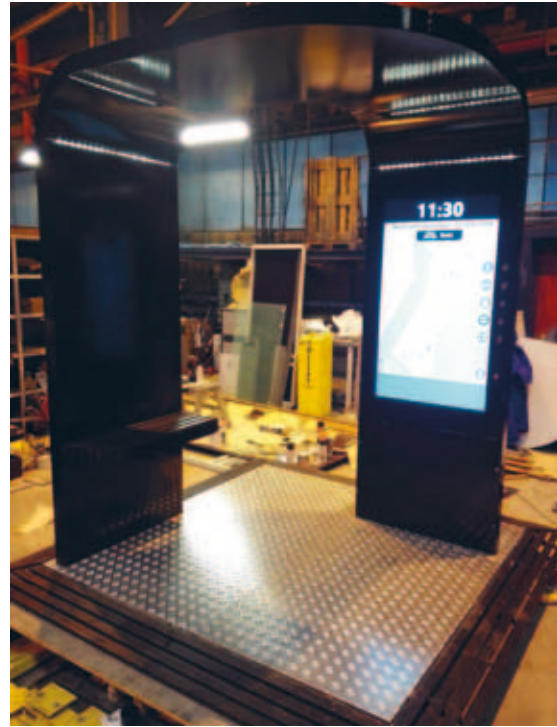


Kuva: Matias Lehmusjärvi



Kuva: Teemu Hartikainen





Kuvat: Matias Lehmusjärvi

Auto- ja konetekniikan tuotekehitystilat siirtyivät Hernesaaresta Espoon Koskeloon, jolloin luonnollisesti siirsimme pysäkkimmekin sinne. Leppävaaran opiskelijaryhmät tulivat esittelemään versioitaan toimivista käyttöjärjestelmistä. Tämä varmisti sen, ettei Raspberry Pi riittänyt käyttöjärjestelmän pyörittämiseen vaan vaatisi tehokkaamman tietokoneen. Tietokonetta ja UI:tä vailla valmis demokäyttöön.

6. LIIKENNESIMULAATIOT JA ROBOTTILIIKENNE

Liikenne on kompleksinen järjestelmä, joka koostuu infrastruktuurista, ajoneuvoista, ihmisistä ja tavaroista. Erityisesti kaupunkiympäristö kaikkinen liikkumismuotoineen muodostaa kompleksisen, monitasoisen ja dynaamisen verkoston, jonka mallinnus ja simulointi on haastavaa. Tämän lisäksi liikenne on parhaillaan voimakkaassa murroksessa monella eri alueella. Kehityksen ajureina ovat mm. sähköistyminen, digitalisaatio, kytkeytyvyys, automaatio, palveluistuminen ja alustatalous. Erityisesti yksityisautoilun haasteita ovat mm. kaupungistuminen, pysäköinti, ruuhkautuminen, liikenneonnettomuudet, ilmansaasteet ja ilmastomuutos.

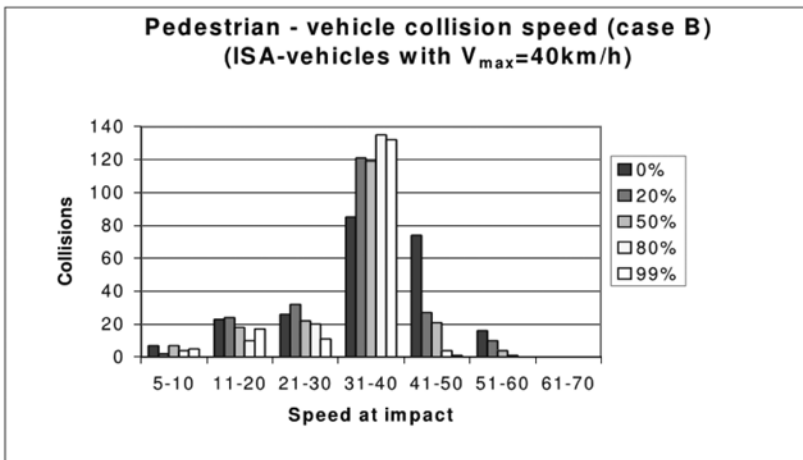
Jotta uusia teknologioita, ilmiöitä, liiketoimintamalleja ja ihmisten toimintaa voitaisiin luotettavasti tarkastella, tarvitaan uudentyyppejä mallinnuksen ja simuloinnin työkaluja. Automaation lisääntyminen liikenteessä on ehkä merkittävin murros ja myös sitä voidaan tarkastella simulaation keinoin.

Liikennettä voidaan simuloida monella eri tasolla. Ensimmäiset simulointimallit tarkastelivat liikennettä yhtenäisenä virtana, kuten nestettä tai kaasua. Tämä makroskooppinen tarkastelutaso on edelleen käyttökelpoinen, kun tarkastellaan suuria liikenneverkkoja ja halutaan tutkia mm. liikenteen jakautumista verkolle. Robottiajoneuvojen tuominen makroskooppiseen mallinnukseen on haastavaa, koska eri ajoneuvotyyppien liikennevirrassa ei erotella. Robottiautojen vaikutus liikennevirtaan voidaan silti ottaa karkeasti huomioon.

Liikenteen mikrosimulointi on erittäin suosittu tapa tarkastella liikennettä. Nykyisin tietokoneiden tehot sallivat hyvinkin yksityiskohtaiset mallit, mutta suurten mallien tekemisen pullonkaulana on niiden vaatima suuri määrä työtä ja dataa. Tavallisesti tutkitaan välityskykyyn liittyviä asioita kuten liikenteen infrastruktuuria ja ohjausta. Aluksi simulointimalliin luodaan uusi robottiajoneuvotyyppi, jonka ajodynamiikka voidaan mitata tai saada valmistajan spesifikaatioista. Robottiajoneuvo käyttäytyy ennustettavammin kuin ihmiskuljettaja ja siinä on vähemmän hajontaa. Näin ollen

robottiajoneuvon mallinnus on yleensä helpompaa kuin ihmiskuljettajien, joiden ajotavat, ajotaidot, reaktioajat jne. vaihtelevat huomattavasti kuljettajasta toiseen.

Jo EU:n INCOME-projektissa (1996–98) tutkittiin HUTSIM-simulaattorilla mukautuvan vakionopeussäätimen (ACC) ja älykkään nopeusrajoituksen (ISA) vaikutusta liikennevirtaan. Havaittiin, että jo varsin alhaisella penetraatioasteella oli liikennevirran häiriöitä tasaava vaikutus. Myös liikenneturvallisuuden lisääntyminen näkyi tuloksissa. Esimerkiksi kuvassa 1. esitetään ajoneuvon törmäysnopeus jalankulkijaan risteysalueella, jossa ISA-rajoittaa nopeudeksi enintään 40 km/h. Simulaatioskenaariossa jalankulkijoita tuotetaan satunnaisella hetkellä ajoradalle. Kuvasta havaitaan, että jo 20% osuus ACC/ISA-ajoneuvoja leikkaa korkeat yli 40 km/h törmäysnopeudet tehokkaasti pois (Davidsson & Kosonen 1998). Myöhemmissä tutkimuksissa on simuloitu mm. autojen välistä kommunikaatiota ja yhteistyötä liikennevirran sujuvoittamiseksi (Van Arem 2006). Myös kriittisiä arvioita automaattiajosta on esitetty simulointitutkimuksiin perustuen (Calvert ym. 2017). Tämän tutkimuksen johtopäätös on, että liikennevirralle edullisia vaikutuksia saavutetaan vasta yli 70% penetraatioasteella. Lisätutkimukselle on ilmeistä tarvetta, koska tulokset ovat osittain ristiriitaisia.



Kuva 1. Ajoneuvon törmäysnopeus satunnaisella hetkellä ilmestyvään jalankulkijaan. ACC/ISA-ajoneuvojen penetraatioaste vaihtelee välillä 0–99% (Davidsson & Kosonen 1998).

Mikrosimuloinnin toimintaperiaatteet, kuten esim. ajoneuvonseuraamislaki, on yleensä johdettu siitä periaatteesta, ettei törmäyksiä ajoneuvojen välillä satu. Lisäksi simulointimallin kaikki ajoneuvon ”kuljettajat” edustavat yleensä ns. keskiverta ihmiskuljettajaa. Vähitellen on syntynyt tarve simulointimallille, joka lähtee ihmisen psykologiasta ja fysiologiasta yhdistettynä ajoneuvon ominaisuuksiin. Tällaisesta simulointimallista käytetään termiä ”nanoskooppinen” simulointi. Nanosimuloinnilla voi olla merkittäviä vaikutuksia robottiliikenteen mallinnukseen. Automaattiset ajoneuvot yleistyvät vähitellen ja niiden on liikuttava normaalin liikenteen seassa. Tällöin on tärkeää, että simulointimalli pystyy todenmukaisesti kuvaamaan ihmiskuljettajat ja robottiajoneuvot sekä näiden väliset vuorovaikutukset. Robottiauton tulisi simulointimallissa myös kyetä ennakoimaan ihmiskuljettajan, jalankulkijan tai pyöräilijän toimintoja. Aalto-yliopisto yhdessä Helsingin Yliopiston kanssa kehittää mallia, jossa mm. kuljettajien heterogeenisyys ja kyky ennakoida on otettu mukaan simulointimalliin (Itkonen ym. 2017).

Liikenteen simuloinnissa perinteisesti tarkastelun kohteena on ollut ajoneuvo tai ajoneuvon ja kuljettajan yhdistelmä. Matkustus- ja liikkumiskäyttäytymistä ei näissä malleissa yleensä tarkastella. Uusien liikkumispalvelujen ja automaation myötä tarve matkustajapohjaiselle simuloinnille on kasvanut. Simuloinnin perusyksikkönä on tällöin ihminen, jonka jokapäiväistä liikkumista pyritään mallintamaan. Usein käytetään myös termejä toimijapohjainen (agent-based) tai aktiviteettipohjainen (activity-based) mallinnus. Aktiviteettipohjaisessa mallinnuksessa huomio on matkustamisen lisäksi niissä aktiviteeteissa, joihin matkustaminen liittyy. Matkustaminen näissä malleissa voi liittyä mihin tahansa kulkutapaan (kävely, pyöräily, auto (kuljettaja/matkustaja), joukkoliikenne sekä muut liikkumispalvelut. Oleellista on mallintaa, millaisia matkaketjuja tehdään päivän aikana, sekä mitä kulkutapoja ja reittejä niissä käytetään.

Matkustajapohjainen simulaatio mahdollistaa uusien, myös liikkumispalvelujen tarkastelun. Esimerkiksi jaettu ajoneuvo, jaettu kyyti tai kaupunkipolkupyörä voi olla osa matkaketjua. Erilaisia liikkumispalvelupaketteja voidaan myös tarkastella (Mobility as a Service). Kun tähän yhtälöön lisätään ajoneuvojen automaatio, syntyy aivan uusi liikkumisen dynamiikka, jonka seurauksia ei vielä täysin voida ennustaa.

Automaattiajoneuvo voidaan liittää osaksi joukkoliikenteen palveluketjua ns. viimeisen mailin palveluksi. Tällöin voidaan tarkastella esim. sitä, miten tiheän vuorovälin robottibussi voi luoda metromaisen palvelutason laajemmalla alueella kuin perinteinen syöttöliikenne. Robottibussi palvelee joukkoliikenteeseen perustuvaa tiivistä ja kestävästä kaupunkirakennetta. Lisäksi vakioireittä kulkeva robottibussi on teknisesti helpompi ratkaista kuin esim. robottitaksi.

Jaetulla robottiautolla, eli käytännössä robottitaksilla voi olla monenlaisia vaikutuksia liikkumiseen. Tarjonnan lisääntyminen ja hinnan alentuminen voi vähitellen johtaa omistusaautoista luopumiseen. Jos robottitaksin käyttöaste on suuri, voidaan yksityisauton palvelutaso saavuttaa huomattavasti pienemmällä ajoneuvomäärällä kuin nykyisin (Bischoff & Maciejewski M., 2016). Jäljelle jää silti edelleen ongelmia. Jos lähes kaikki tarvitsevat yksityistä kyytiä yhtäaikaan ruuhka-aikoina, niin silloin robottitaksien määrän pitää edelleen olla suuri. Robottitaksilla ja digitaalisilla tilausjärjestelmillä voidaan kuitenkin helposti optimoida myös kyytien yhdistämistä, jolloin ajoneuvomäärää saadaan edelleen pienennettyä ja arvokasta kaupunkitilaa voidaan säästää muuhun kuin pysäköintiin.

Matkustajapohjaisella simulaatiolla voidaan tutkia eri muuttujien riippuvuutta toisistaan, eli esim. miten robottitaksien määrä vaikuttaa odotus- ja matkustusaikoihin sekä sitä kautta palvelun suosioon. Tällöin tosin oletetaan, että matkustaja on melko rationaalinen toimija, joka pyrkii minimoimaan mm. matka-aikaa ja kustannuksia. Simulaatiota iteroidaan niin kauan, että saavutetaan tasapainotila, jossa yksittäiset toimijat eivät enää saavuta lisäetua siitä, että muuttavat matkustuskäyttäytymistään.

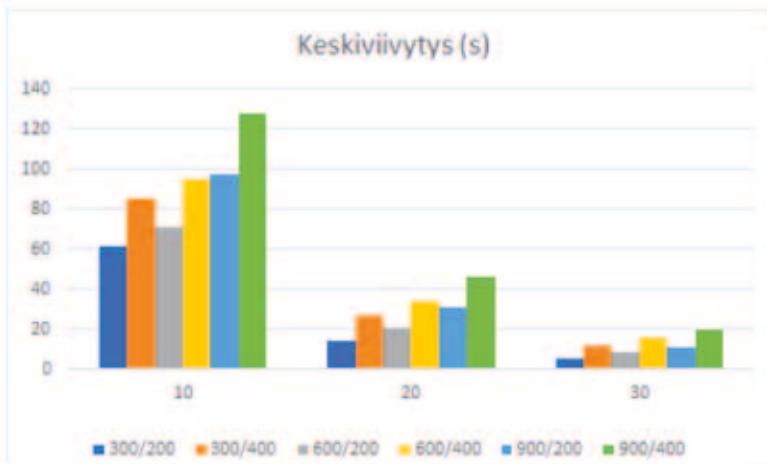
Simulaatio on yleisesti ottaen mallin/mallien käyttöä ja simulaattori on ns. tapahtumageneraattori, joka käyttää malleja automaattisesti ajan funktiona. Simulaation tulokset riippuvat täysin taustalla olevista malleista, sekä niihin sisältyvistä oletuksista ja yksinkertaistuksista. Tuloksiin on siis aina syytä suhtautua kriittisesti ja miettiä mihin kysymyksiin simuloinnilla haetaan vastausta. Tämä kysymys ratkaisee, millaista simulointimallia kulloinkin kannattaa käyttää.

Mitä enemmän malliin liittyy inhimillisiä valintoja, sitä epävarmemmaksi tulokset voivat muuttua. Kaikkia ihmisen toimintaa ohjaavia tunteita, tarpeita, tapoja, muutosvastarintaa ym. on mahdotonta sisällyttää malleihin. Toisaalta suurten joukkojen simulointi tasaa yksittäisten toimijoiden vaihtelua. Simuloinnilla ei ole tarpeen toistaa täsmälleen mitä tapahtuu, vaan riittää että simulointia ja todellisuutta ei voida tilastollisesti erottaa toisistaan.

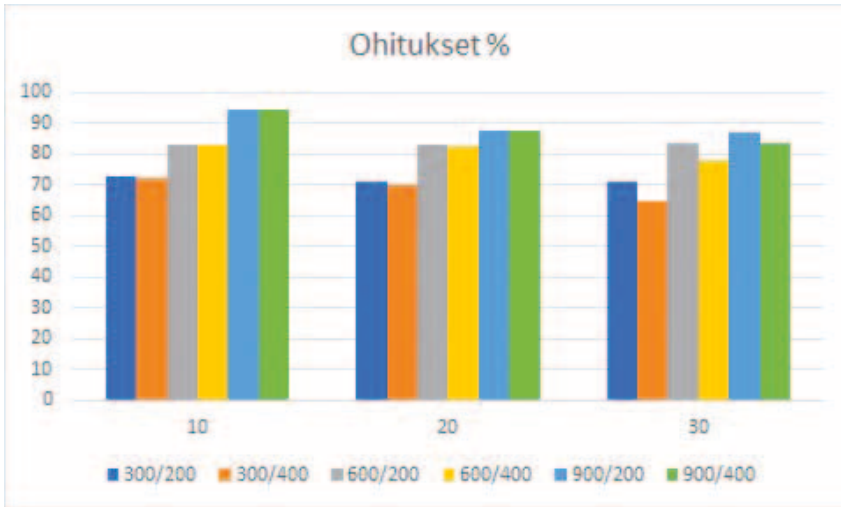
Vaikka mallit ovat muuttumassa entistä monimutkaisemmiksi ja hienojakoisemmiksi, myös uutta dataa mallien kalibrointiin ja validointiin on tarjolla entistä enemmän. Kuljettajakäyttäytymistä ja liikennevirtaa voidaan mitata mm. instrumentoiduilla ajoneuvoilla. Matkustuskäyttäytymistä voidaan mitata mm. älypuhelin sovelluksilla. Esimerkiksi TrafficSense-sovellus mittaa matkan kaikki oleelliset matkustustiedot ja tunnistaa käytetyn kulkutavan (kävely, pyöräily, yksityisauto, joukkoliikenne/linja) (Rinne ym. 2017). Matkapuhelinverkoista voidaan operaattorin suostumuksella saada suuri määrä liikkumistietoa. Lisäksi geokoodatut sosiaalisen median viestit

tuottavat lisäinformaatiota ei pelkästään matkasta, vaan myös aktiviteeteistä, joihin matka liittyy. Myös joukkoliikenteen lippujärjestelmästä voidaan saada matkustustietoa. tulevaisuudessa robottiautot voivat tuottaa suuren määrän tietoa infrastruktuurista, matkoista ja liikennetilanteesta. Kaikissa tapauksissa tärkeää on, että matkustustiedot ovat anonyymejä ja että järjestelmien tietoturva on korkealla tasolla.

SOHJOA-hankkeessa tutkittiin simuloimalla robottibussien vaikutusta muuhun liikenteeseen. Simulaattorilla voidaan tarkastella mm. sitä, kuinka paljon viivytystä ja ohituksia robottibussit voivat tuottaa muulle liikenteelle. Muuttujina voidaan antaa bussien nopeus, muun liikenteen määrä bussin menosuuntaan ja vastakkaiseen suuntaan. Lisäksi voidaan vaihtaa mm. nopeusrajoitusta, bussien vuoroväliä, liittymäväliä ja pysäkkien väliä. Kuvissa 1.–2. näkyy robottibussin vaikutus liikennevirtaan bussin nopeuden funktiona (km/h). Eri väriset palkit kuvaavat liikennemääriä (bussin menosuunta / vastakkainen suunta, ajon/h). Esimerkkiskenaariossa robottibussin vuoroväli on 2 minuuttia, ohitustilaa 800 metriä ja yleinen nopeusrajoitus 50 km/h.



Kuva 1. Keskiviivytys robottibussin nopeuden funktiona eri liikennemäärillä (menosuunta/vastakkainen suunta)



Kuva 2. Ohitusprosentti robottibussin nopeuden funktiona eri liikennemäärillä (menosuunta/vastakkainen suunta)

Alustavat tulokset (kuvat 1-2) osoittavat, että hitaimmin liikkuvat robottibussit (10 km/h) tuottavat runsaasti viivytystä hieman liikennemääristä riippuen. Ohitusten määrä silti pysyi suurena robottibussin nopeudesta riippumatta. Tämä selittyy sillä, että ohitustilaa oli tässä tapauksessa melko paljon, joten useimmat autot pääsivät ohittamaan, mutta osa joutui odottamaan ohitusmahdollisuutta pidempään kuin toiset. Laajempia simulointitarkasteluja tarvitaan ja tullaan tekemään. Lopulliset simulointitulokset julkaistaan tieteellisessä julkaisussa.

LÄHTEET

- Bischoff J., Maciejewski M., 2016. Simulation of City-wide Replacement of Private Cars with Autonomous Taxis in Berlin. *Procedia Computer Science*.
- Calvert, S., Schakel, W., Lint, J. 2017. Will Automated Vehicles Negatively Impact Traffic Flow?, *Journal of Advanced Transportation*, 2017, pp. 1–17. doi: 10.1155/2017/3082781.
- Davidsson F., Kosonen I. 1998. Strategies for driver information systems and urban traffic control in Gothenburg. The INCOME-project deliverable 16. Contract No: UR-95-SC.107. European Commission, Directorate General for Transport (DGVII). 55 p.
- Itkonen T., Pekkanen J., Lappi O., Kosonen I., Luttinen T., Summala H. 2017. Trade-off between jerk and time headway as an indicator of driving style. *PLoS ONE* 12(10): e0185856. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185856>
- Rinne, M., Bagheri M., Tolvanen T., Hollmén J. 2017. Automatic Recognition of Public Transport Trips from Mobile Device Sensor Data and Transport Infrastructure Information. Springer International Publishing.
- Van Arem, B., van Driel, C. J. G. and Visser, R. (2006) ‘The Impact of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic-Flow Characteristics’, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7(4), pp. 429–436. doi: 10.1109/TITS.2006.884615.

Juha Hyyppä, Antero Kukko, Harri Kaartinen, Leena Matikainen ja Matti Lehtomäki

7. AUTONOMISET AJONEUVOT JA KARTTOJEN AJANTASAISTUS

Autonomisten ajoneuvojen keräämä sensoridata mahdollistaa ympäristön mittauksen ajantasaisesti. Laserkeilauksen huippuyksikkö asensi SOHJOA-hankkeessa omat konenäkölaitteensa autonomiseen pikkubussiin ja omiin kartoitusautoihinsa sekä testasi tekniikoiden toimivuutta karttojen ajantasaistukseen. Minkälaisia sensoreita autonomisissa ajoneuvoissa on ja miten niiden tietoja voidaan käyttää ympäristön ajantasaisessa kartoituksessa?

TIEYMPÄRISTÖ MUUTTUU JATKUVASTI

Autonomisen auton haasteena on jatkuvasti muuttuva tieympäristö. Mitä enemmän on muutoksia, sitä vaikeampaa on autonomisen auton paikantaa itsensä ja sitä vaikeampaa on havaita väisteltävät liikenympäristön kohteet. Mitä enemmän muutoksia tieympäristössä on, sitä kiinnostavempaa aineisto on kartoituksen näkökulmasta. Kuvilla 1-2 esitetään tieympäristöä ja sen muutoksia yhdistämällä kaksi eri aikana tehtyä mittausta samasta kohteesta käyttäen Paikkatietokeskuksen keräämää SOHJOA-aineistoa.

Jotta paremmin ymmärrämme karttojen ajantasaistusmahdollisuuksia autonomilla autoilla, on syytä hiukan perehtyä autonomisen auton kartoitusratkaisuihin.

MITÄ KARTOITUSSENSOREITA AUTONOMISISSA AJONEUVOISSA ON?

Autonominen ajoneuvo (robottiauto) kykenee suoriutumaan ajotehtävästään ilman kuljettajaa ja ilman yhteyttä infrastruktuuriin. Ajoneuvojen tekniikka on jaettu viiteen tasoon, joista taso 5 vastaa täyttä automaatiota, jossa ihmistä ei tarvita kuljettajana. Ajoneuvo kykenee itsenäisesti suunnittelemaan reittinsä ja toimimaan liikenteen seassa. On ennustettu, että täy-



Kuva 1. Laserkeilaimella tuotettu pistepilvi kahdella eri ajanhetkellä (eri värisinä) tieympäristöstä. Mitä enemmän muutoksia tiealueella on, sitä vaikeampaa on paikantaa autonominen auto reaaliajassa. Mitä enemmän muutoksia tieympäristössä on, sitä kiinnostavempaa aineisto on kartoituksen näkökulmasta. © Antero Kukko.



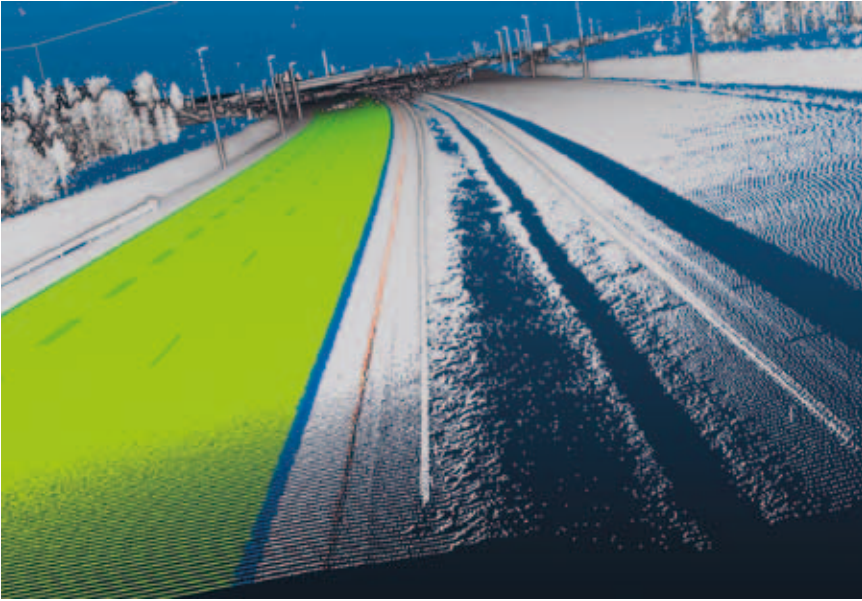
Kuva 2. Tietyön vuoksi muuttunut tieympäristö. Huonosti toteutettu autonominen auto pysähtyy tilanteeseen, jossa auton omat karttatiedot poikkeavat merkittävästi todellisuudesta. © Antero Kukko.

sin autonomiset ajoneuvot ovat teknologisesti valmiita noin vuonna 2030 ja tällöin uusista myydyistä autoista 15% on autonomisia.

Autonomisen ajoneuvon tarvitsee sekä paikantaa itsensä tieympäristöön että seurata ympäristöä oman toimintansa suunnittelemiseksi ja onnettomuuksien välttämiseksi. Ympäristöä havainnoidaan monisensorijärjestelmillä, jotka koostuvat toisiaan tukevista teknisistä ratkaisuista. Paikannukseen ja törmäyksen estoon voidaan käyttää osittain samoja sensoreita.

Tyypillisin paikannussensori on satelliittipaikannin GNSS (Global Navigation Satellite System). Lisäksi inertiamittalaitteet (Inertial Measurement Unit, IMU) eli kiihtyvyyssanturit ja kulmanopeutta mittaavat gyrokoopit mittaavat jatkuvasti ajoneuvon asentoa ja sen muutoksia. Pyörien asentoa ja etenemistä voidaan mitata omilla sensoreillaan. Paikannukseen voidaan käyttää myös SLAM-teknikkaa (Simultaneous Localization And Mapping), jossa esimerkiksi laserkeilaimen peräkkäisiä mittauksia verrataan toisiinsa ja määritetään siten ajoneuvon paikka, asento ja niiden muutokset. Robottiajoneuvo pystyykin paikantamaan itsensä näillä tekniikoilla muutaman sentin ja huonoimmillaankin muutaman kymmenen senttimetrin tarkkuudella. Robottiauto voi käyttää paikannuksen apuna myös ajoratamerkintöjä ja tieympäristöön asennettua infrastruktuuria. Mm. 5G mahdollisuutta paikannukseen keskustellaan ja tutkitaan paljon.

Satelliittipaikannus toimii alueilla, joissa ei ole rakennusten ja puuston katveja satelliittisignaaleille. Koska satelliittipaikannus on myöskin herkkä auringon aktiivisuudelle, autonominen auto ei voi luottaa satelliittipaikannukseensa. Inertiamittalaitteen IMUn avulla satelliittipaikannuksen tarkkuudeksi saadaan noin 5 cm liikkuvalla kohteilla tilanteissa, joissa satelliittipaikannuksella ei ole katveja. Katveisilla alueilla tarkkuus vaihtelee, mutta esimerkiksi 1 m virheitä esiintyy runsaasti. Niinpä autonominen auton paikannusratkaisut ovatkin monisensori- ja -teknologiaratkaisuja. Alueilla, joilla on paljon satelliittipaikannuksen katveja, on myös paljon SLAM-teknikalle piirteitä, joiden avulla peräkkäiset laserkeilainten näkemät pistepilvet voidaan sovittaa toisiinsa ja saada sitä kautta luetettava paikannusratkaisu. Kaupunkialueilla autonominen auton paikannukseen käytetäänkin erityisesti High-definition/Hing-density Map ratkaisuja eli HD-karttaratkaisuja. HD-kartta voi olla esimerkiksi laserkeilaimen intensiteetistä ja pistepilvestä laskettu tilastollinen kartta tien tienpinnasta, kuva 3. Keilaimen tuottama intensiteettitieto kuvaa mm. ajotien maalauksia, päällystettä ja kasvillisuutta maanpinnassa. Kun tällainen tieto on auton käytettävissä edellisiltä ajokerroilta, voidaan auton paikka tuottaa sovittamalla keilaimen tuottamaan pistepilveä suhteessa HD-karttaan. Mitä enemmän HD-kartta kattaa tilastollisesta tietoa ympäristöstä, sitä helpommin paikannus voidaan ratkaista. HD-kartan avulla tapahtuva paikannus on tyypillisesti 5-10 cm tarkkuista.



Kuva 3. Laserkeilauksella tuotettu HD-kartta. © Antero Kukko

Ympäristön havainnoinnin ja törmäyksen eston osalta robottiautojen tekniikat poikkeavat toisistaan. Waymon autoissa tärkein anturi on katolle sijoitettu pyörivä laserkeilain, joka muodostaa 360 asteen kuvan ympäristöstä käyttäen laserpulsseiden mittaamia etäisyyksiä aina 200 metriin asti. Teslan nykystrategiana on toistaiseksi toimia ilman laserkeilainta, koska kehittyvä laserkeilaintekniikka muuttuu nopeasti ja on vielä kallista. Laserkeilaimen etuna on nopeus, etäisyysmittauksen tarkkuus ja pieni kulmaresoluutio. Mikro- ja millimetriaaltotutkalla voidaan mitata etäisyyttä, suuntaa ja kohteen nopeutta, mutta leveämmän keilansa (lasereihin verrattuna) takia kohteiden erottamiskyky on huonompi. Perinteisellä kameralla ja videolla voidaan havaita lisäksi hyvin liikennevaloja, liikennemerkkejä ja nopeasti liikkuvia kohteita kuten pyöräilijöitä. Lämpökameroilla voidaan tunnistaa mm. eläimiä tien reunoilta. Etäisyysmittauksessa stereomittauksella voidaan tuottaa kameroilla laserkeilainta vastaava pistepilvi. Kameroihin nojaavien tekniikoiden ongelmana kuitenkin on, että kuvissa kohde ei aina erotu taustastaan pelkän sävyarvon avulla, ja voi siksi jäädä havaitsematta. Joissain tapauksissa ympäristön tarkkailussa voidaan hyödyntää myös muutostulkintaa ja ihmistä. Osa nykyisistä robottiautoista vaatii, että reitti ensin opetetaan autolle käsiohjauksella, jonka jälkeen auto kykenee tarkkailemaan reitillä tapahtuvia muutoksia ja välttämään törmäyksiä. Käsiohjauksella tuotettu ajoreitti muodostaa autolle valmiin ”punaisen langan”,

jota seurata, jolloin havainnointikyvyn vaatimukset hieman kevenevät. Tulevaisuudessa autonomisen auton sensorit konvergoituvat. Laserkeilain ja kamera yhdistyvät sensoriksi, joka tuottaa itse aktiivisen valaistuksen, mitataan kohteesta sekä etäisyyden että sävyarvot saman tien. Tähän perustuu mm. Paikkatietokeskuksen tekemä start-up.

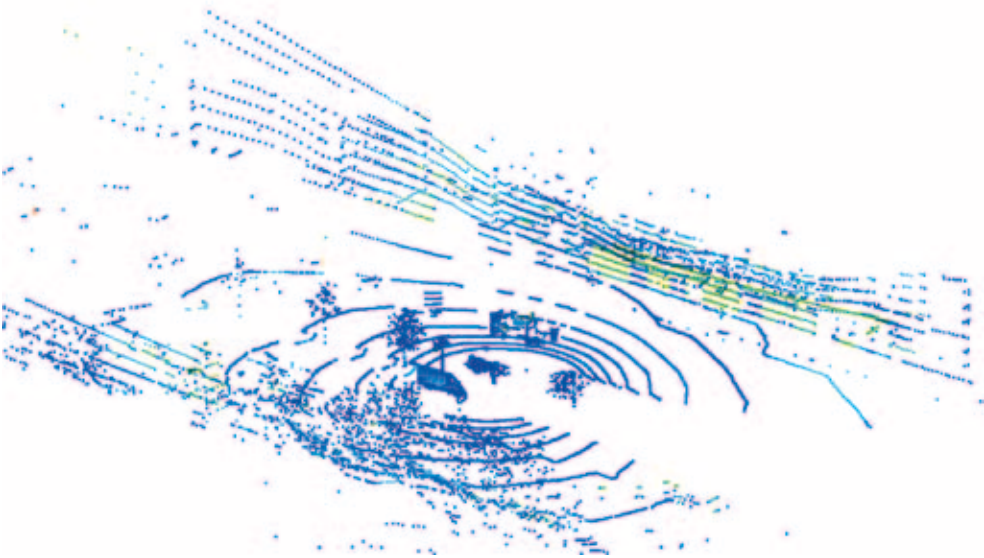
KARTTOJEN AJANTASAISSUS AUTONOMISEN AUTON SENSOREILLA

Liikkuvaa kartoitusta, erityisesti liikkuvaa laserkeilausta, on maanmittauksessa tutkittu intensiivisesti 2000-luvun alusta. Esimerkkejä yritysten samanlaisista kartoitusaktiiviteeteistä ovat olleet HEREn True Car ja Googlen Street View Car -teknologiat, joissa auton päälle on asennettu paikkaa ja asentoa mittaavat sensorit ja ympäristöä kuvantavat laitteet (laserkeilain, kamerat, jne). Näillä sensoreilla on tuotettu liikenneympäristöstä tilannekuvaa ja 3D-mallia. Tätä tutkimusta on tehty myös Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksessa jo 15 vuoden ajan. Käytännössä liikkuvaan kartoitukseen käytettävät teknologiat ovat identtisiä nykyisten autonomisissa autoissa sovellettavien teknologioiden kanssa.



Kuva 4. Laserkeilauksen huippuyksikkö asensi omat konenäkölaitteet autonomisen SOHJOA-robottibussin eteen. © Juha Hyyppä

SOHJOA-hankkeessa koekäytössä on kaksi Ligierin EZ10 sähköbussia, jotka on rakennettu 10 käyttäjälle (6 istuin- ja 4 seisomapaikkaa). Sensoreina toimivat GNSS, kamerat, kuhunkin auton kulmaan asennetut 2D-tasokeilaimet ja katolla oleva laserkeilain. Omat konenäkölaitteet olivat tarpeen, sillä Ligierin sensoreiden dataa ei luottamuksellisuussyistä voitu käyttää tutkimuksessa. Autonomisen ajoneuvon tuottama data ei periaatteiltaan poikkea liikkuvan laserkeilauksen tuottamasta aineistoista, joka voisi mahdollistaa autonomisen ajon lisäksi karttojen reaaliaikaisen ajantasaistamisen. Kuvassa 5 on esitetty VLP-16 keilaimen tuottamaa aineistoa. Tämä on esimerkki aineistosta, mihin perustuu HD-kartoitus ja myös ympäristön havainnointi ja törmäyksen esto. Moderneissa autonomisissa autoissa on tyypillisesti noin 4kpl VLP-16 kaltaista keilainta ja 1-2 vielä tehokkaampaa keilainta, joilla voidaan kartoittaa ympäristö aina 100-200 m asti. VLP-16 toimii 30-50m etäisyyksille riippuen olosuhteista.



Kuva 5. Autonomisen auton pistepilvi kuvaa niin ympärillä olevia rakennuksia, puita kuin liikenteessä olevia ajoneuvojakin. © Anttoni Jaakkola

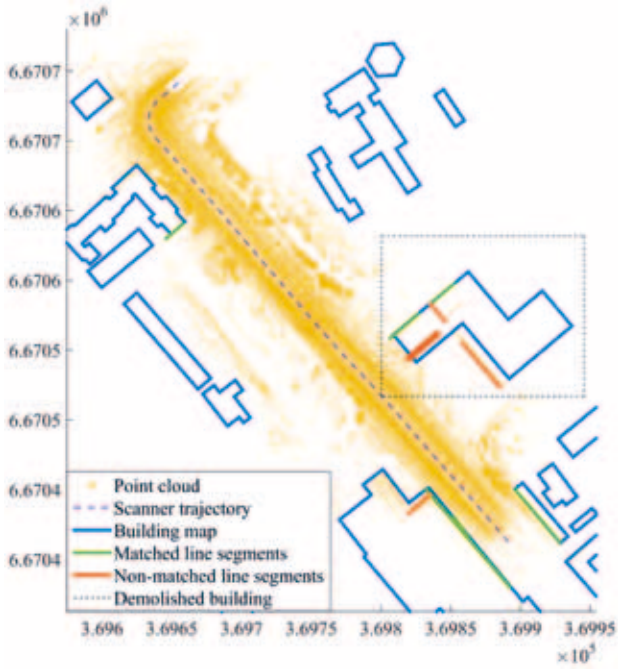
Kun autonominen auto tuottaa karttatietoa ympäristöstä reaaliajassa, karttojen ajantasaistuksen näkökulmasta aineistosta saadaan tarkempaa, jos prosessointi tehdään jälkilaskentana. Jälkilaskennassa ensin määritetään ajoneuvon ajorataratkaisu ja sen avulla laserkeilaimesta saatu pistepilvi georeferoidaan. Tämän jälkeen jokaisella pisteellä on koordinaatit. Pistepilvistä voidaan mallintaa ympäristön kohteita kolmiulotteisesti. Kahden ajankohdan välille voidaan tuottaa pintamallien erotuskuvia muutosten havaitsemiseksi ja kartoittaa mm. muuttuneet kohteet.

Todelliset sovellukset syntyvät kun hallitaan sekä reaaliaikainen prosessointi ja jälkilaskenta. Jos reaaliaikaratkaisut ovat tarpeeksi laadukkaita, jälkilaskentaa ei tarvittane. Seuravassa on esimerkki kuitenkin molemmista, mitä voidaan tehdä autonomisen autojen pistepilvillä.

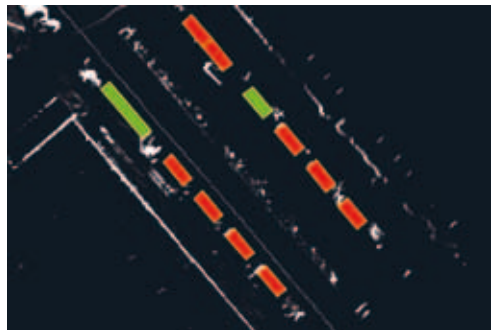
Laitteiston avulla tutkittiin kahta eri sovellusta: karttojen ajantasaistusta ja parkkipaikkojen reaaliaikaista tilannekartoitusta. Ajoimme muuttuvan alueen ohitse ja kartoitimme tilanteen omilla SOHJOA-sensoreillamme. Määritimme tästä aineistosta tien varrelta olevien rakennusten sokkelivektorit. Tämä sensoridata oli tarkkuudeltaan ja kattavuudeltaan riittävää uuden rakennuksen määrittämiseksi ja kartan ajantasaistukseen. Sokkelivektorit voitiin määrittää 10 cm:n tarkkuudella ja vapaat parkkipaikat selvisivät datasta 100% tarkkuudella, kuvat 6-7.

Karttojen ajantasaistus voi toimia mm. siten, että georeferoituihin pistepilviin sovitetaan automaattisesti vektoreita. Kuvassa 6 on esimerkki, jossa siniset vektorit kuvaavat vanhaa karttaa, vihreät vektorit kuvaavat löydettyjä uusia sokkerivektoreita, jotka ovat sopusoinnussa vanhan kartan kanssa ja punaisella on uusia sokkelivektoreita, jotka eivät ole sopusoinnussa kartan kanssa. Vektoreiden lisäksi voidaan käyttää myös tasoja. Esimerkin avulla voidaan kuitenkin havaita nopeasti muutoksia, ja muuttuneet rakennukset voidaan määrittää kerätystä georeferoidusta pistepilvestä. Kuinka hyvin tulkinta onnistuu on riippuvainen käytetystä aineistosta. Osa rakennusten seinistä ei näy jokaiselle autolle. Niinpä karttojen ajantasaistussovelluksissa kannattaa ajantasaistusosioon käyttää riittävää määrää autojen tuottamaa pistepilveä, jotta rakennus tulee mallinnetuksi tarpeeksi tarkasti. Muuttuneet rakennukset voidaan sen sijaan havaita yksittäisenkin auton datasta. Virhettä syntyy lähinnä, jos rakennussijaitsee kaeumpana tiestä.

Parkkipaikkojen käyttö voidaan tulkita helposti tutkimalla, onko tiedossa olevan parkkipaikan sisällä pisteitä, jotka ovat tienpintaa sopivasti korkeammalla. Koetyömme tuotti 100% oikean tilanteen parkkipaikoista.



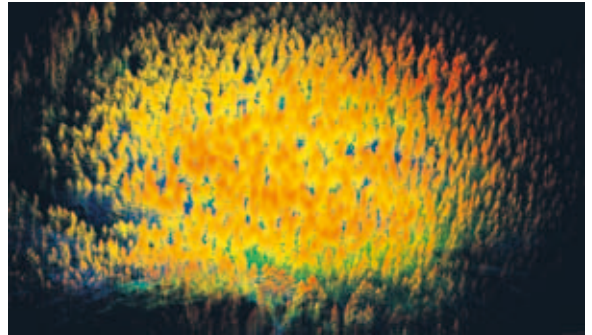
Kuva 6. Rakennusten sokkelivektoreiden automaattinen ajantasaistus autonomisen auton datasta. © Matti Lehtomäki



Kuva 7. Vapaiden parkkipaikkojen määrittäminen autonomisen ajoneuvon sensoridatasta. © Leena Matikainen

MITÄ TULEVAISUUDESSA?

Autonomiset ajoneuvot muuttavat yleistyessään yhteiskuntaa. Mercedes Benz on esittänyt, että tulevaisuudessa pakettiautot yhdistävät robottilennokkiteknologian ja autonomisen ajoneuvon tekniikan – ja paketit tuodaan ovelle robottilennokkien avulla. Samaa synergiaa voidaan käyttää myös karttojen ajantasaistuksessa: autonominen auto vie lennokit halutulle alueella ja lennokeissa olevat sensorit kuvaavat kohteen halutulla tavalla. Moni maanmittauksen ja kartoituksen ajantasaistustehtävistä voidaan automatisoida tällä yhdistelmällä. Kuvassa 8 on esitetty Paikkatietokeskuksen kehitteillä oleva autonominen auto jasiin yhdistettävän lennokkilaserkeilaimen tuottama aineisto metsästä. Koetyössä, joka on raportoitu lehdessä Remote Sensing, esitettiin tällainen konsepti metsien koalamittauksiin.



Kuva 8. Paikkatietokeskuksen kehitteillä oleva autonominen auto ja lennokkilaserkeilauksen tuottama pistepilvi suomalaisesta metsästä.
© Juha Hyyppä ja Anttoni Jaakkola

Autosta tulee varsinainen karttojen ajantasaistuslaite, kun liikennetiedon ja tierakenteiden tunnistuksen lisäksi havaitaan ja paikannetaan vaikkapa rengasurien välissä oleva jääpolanteen paksuus. Tällöin Suomenkin teillä kulkisi muutamien kansallisten ja kansainvälisten kartoitusajoneuvojen lisäksi satojatuhansia autoja ”mittaushommissa”.

8. KAUPUNGIN LIIKKUMISEN KEHITTYMINEN

Paine muuttaa liikkumistottumuksiamme kasvaa koko ajan muun muassa lisääntyvien päästöjen ja ruuhkien takia. Monissa kaupungeissa suurin osa kasvihuonepäästöistä tulee liikenteestä, mutta hiilineutraalin liikkumisen suunnittelu ja toimeenpano eurooppalaisten kaupunkien keskustoissa on ollut erittäin vaikeaa. Esimerkiksi Oslon yritys kieltää autoilu kaupungin keskustassa jouduttiin perumaan päätökseen kohdistuneen kovan paineen takia. Sen sijaan yksityisautoilusta pyritään tekemään julkisilla päätöksillä yhä haastavampaa muun muassa parkkipaikkoja poistamalla ja muuttamalla autoteitä pyöräteiksi. Autojen kieltämisen sijaan tulisikin kehittää kannustimia muuttaa liikkumistottumuksiamme. Kaupunkisuunnittelulla on tässä iso rooli.

Kestävien tavoitteiden saavuttaminen on ollut erittäin vaikeaa kustanustehokkaiden ”last mile” -ratkaisujen puutteen takia. Laskelmat vaihtelevat 400 metristä 800 metriin siitä, kuinka pitkän matkan ihmiset ovat valmiita kävelemään lähimmälle julkisen liikenteen pysäkille (kts. Agrawal ym. 2008, Mavoa ym. 2012, Daniels & Mulley 2011). Käytännössä jos matka pysäkille on siis pidempi, ihmiset valitsevat mieluummin auton. Liikennesektori kuitenkin muuttuu paraikaa nopeasti palvelumarkkinoinnin ja digitalisaation myötä ja monet ovat ennustaneet tulevaisuuden liikkumisen olevan hyvin erilaista kuin tänään. Moni näkee, että liikennevirrat ovat oleellisesti erilaisia uudenlaisen suunnittelun, autonomisten kulku-
neuvojen, personoitujen ja kutsupohjaisten palvelujen myötä. Euroopassa perinteisellä joukkoliikennesuunnittelulla on ollut vaikeuksia lähestyä näitä ilmiöitä ja startupit ovat ryhtyneet täyttämään kysyisiä aukkoja.

Osa uusista liikkuvuuspalveluista, kuten Uber, eivät ole linjassa Euroopan talous ja ympäristö strategiassa. Überin kaltaisten ”ride-hailing” palveluiden pelätään jopa lisäävän autoilua ja syrjäyttävän julkisen liikenteen. Myös autonomisten henkilöautojen uskotaan lisäävän ajettujen kilometrien määrää sekä vähentävän matkustajien määrää per ajoneuvo, mikä ei vastaa kaupunkien tavoitteita luoda kestävää liikennettä.

Julkisen puolen tuleekin varmistaa, että uudet liikkumisen muodot tulevat painottumaan ennen kaikkea jakamiseen, eikä yksityiseen omistukseen. Monet kokeilut ja tutkimukset ehdottavat, että pienet kuskittomat minibussit voisivat olla kaikista lupaavin liikkumisen muoto tulevaisuuden joukkoliikenteen viimeisellä maililla, kun nämä yhdistetään joukkoliikenteen runkoverkkoihin eli metroon, junaan ja bussiin. Kestävyystavotteissa minibussi on ollut optimaalisin ajoneuvotyyppi saavuttamaan merkittäviä taloudellisia hyötyjä autonomisista liikenne ratkaisuksista. Isommissa busseissa ja junissa kuljettajan kustannukset matkustajaa kohden ovat pienet ja autonomisessa liikenteessä taas isommat yksiköt eivät tarjoa merkittäviä säästöjä.

Se, että uudet edistykselliset liikkuvuuspalvelut ovat saaneet uskollisen käyttäjäkunnan viittaa siihen, että myös automaatio ja jakaminen tullaan hyväksymään osaksi tapaamme liikkua (Bouton ym. 2017). Jotta näin tapahtuisi myös Suomessa, on sille ehdoton edellytys tiiviin kaupunkirakenteen rakentaminen. Toimivat palvelut vaativat aina korkeaa asiakasvolyyymiä, jota ei ole mahdollista saavuttaa ilman tiivistä kaupunkirakennetta. Parhaat edellytykset uusille liikkumisen palveluille luo tiiviin kaupunkirakenteen lisäksi kaupunkien hyvä käveltävyys sekä toimiva julkinen liikenne. Uudet liikkuvuuspalvelut eivät kuitenkaan ratko ongelmiamme ollessaan ainut liikkumisen muoto. Kaiken liikkumisen tulee aina pohjautua julkiseen liikenteeseen, jonka puutteita uudet palvelut pystyvät paikkaamaan. (Spulber ym. 2016.) Tästä syystä hyvän julkisen liikenteen suunnittelu on yhä yksi kaupunkisuunnittelun tärkeitä tehtäviä.

Kaupunkien tulisi ruveta pohtimaan, millaisen liikkumisen skenaarion he toivoisivat toteutuvan heidän kaupunkinsa kohdalla, ja ryhtyä toimenpiteisiin tämän saavuttamiseksi (Spulber ym. 2017). Automaatio on kaksiteräinen miekka. Jakamisen ja automaation avulla voidaan vähentää parkkitilan tarvetta, jolloin kaupungeissa vapautuu pinta-alaa tiivistymiseen. Toisaalta taas automaation mahdollistama liikenteen sujuvoittaminen voi rohkaista ihmisiä tai yrityksiä muuttamaan kauemmas keskustasta halvemman tontin perässä, joka taas aiheuttaa kaupunkirakenteen hajautumista sekä matkustettujen kilometrimäärien kasvua. (DuPuis 2015.)

Helsingin kaupunkiympäristö toimialan liikenneinsinööri Mikko Lehtonen kommentoi Sohjoa-hanketta kaupunkisuunnittelun näkökulmasta.

”Helsingin uusi yleiskaava viitoittaa kaupungin kasvua tulevaisuudessa. Yleiskaavan yhtenä tavoitteena on, että kestävästä liikkumismuodoista eli kävelystä, pyöräilystä ja joukkoliikenteestä tulee aidosti kilpailukykyinen vaihtoehto henkilöautolle. Yleiskaavan joukkoliikenne ratkaisu perustuu verkostomaiseen rakenteeseen, jossa uusilla säteittäisillä ja poikittaisilla pi-

karaitiolinjoilla on merkittävä rooli. Tavoitteena on varmistaa hyvä joukko-liikenteen palvelutaso koko Helsingin alueella.

Automaattibusseilla voidaan tulevaisuudessa ratkaista ensimmäisen ja viimeisen kilometrin ongelma, jolloin matkat ovat liian lyhyitä autoiltavaksi ja liian pitkiä käveltäväksi. Tulevaisuudessa automaattibussit voivat toimia myös kutsuliikenteenä tai palvella nopeana joukkoliikenneyhteytenä kahden liikenteellisesti tärkeän paikan välillä. Tällä hetkellä on tärkeää kerätä kokeilujen ja pilottien kautta tietoa siitä, kuinka automaattibusseja voidaan käyttää kaupunkiliikenteessä.

Tulevaisuudessa automaattiautojen yleistyminen kaupungeissa on osa käynnissä olevaa liikenteen ja liikkumisen murrosta. Uudet palvelut ja teknologiat lisäävät kulkutapavaihtoehtoja ja vähentävät tarvetta autoilulle ja auton omistamiselle. Automaattiautot tukevat liikenteen resurssien nykyistä tehokkaampaa käyttöä; esimerkiksi ajoneuvojen ja pysäköintipaikkojen tarve voi vähentyä murto-osaan nykyisestä. Automaattiautot kasvattavat ajoneuvojen käyttöastetta, kun ne kytketään osaksi matkaketjuja. Liikennejärjestelmän tasa-arvoisuus lisääntyy, sillä autottomien ihmisten liikkumisvaihtoehdot lisääntyvät. Lisäksi automatisoituminen lisää liikennejärjestelmän turvallisuutta.

Automaattiautojen yleistyminen voi kuitenkin johtaa kehitykseen, joka ei vastaa kaupunkisuunnittelun tavoitteita. Tällä tarkoitetaan tilanteita, joissa autoilun kulkutapaosuus kasvaa kävelyyn, pyöräilyyn ja joukkoliikenteeseen verrattuna. Erityisen suureksi riskit muodostuvat skenaariossa, jossa ihmiset omistavat itse autonsa. Automaattiautot lisäävät ovelta ovelle -autoilun helppoutta ja houkuttelevuutta sekä mahdollistavat autoilun niille, jotka aiemmin käyttivät muita kulkutapoja. Lisäksi osa autojen ajosta tapahtuu ilman kuljetettavia. Nykyisin autoliikenteen suoritetta rajoittaa myös kuljettajan ajankäyttö. Jatkossa tällaista rajoitinta ei ole, kun autot kulkevat ilman kuljettajaa.”

LÄHTEET

- Agrawal, A., Schlossberg, M. & Irvin, K. 2008. How Far, by Which Route and Why? A Spatial Analysis of Pedestrian Preference. *Journal of Urban Design* 13 (1), 81–98.
- Bouton, S., Hannon, E., Knupfer, S. & Ramkumar, S. 2017. The future(s) of mobility: How cities can benefit. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/the-futures-of-mobility-how-cities-can-benefit>
- Daniels, D. & Mulley, C. 2011. Explaining walking distance to public transport: the dominance of public transport supply. *World Symposium on Transport and Land Use Research, Whistler Canada*, 28-30 July 2011.
- DuPuis, N., Martin, C. & Rainwater, B. 2015. City of the Future. Technology and Mobility. <http://www.nlc.org/resource/city-of-the-future-technology-mobility>
- Mavoja, S., Witten, K., McCreanor T. & O’Sullivan, D. 2012. GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand. *Journal of Transport Geography* 20(1), 15–22.
- Spulber, A., Brugeman, V., Dennis, E. & Fard Z. 2017. Future Cities: Navigating the New Era of Mobility. <http://www.cargroup.org/publication/future-cities-navigating-new-era-mobility/>
- Spulber, A., Dennis, E., Wallace, R. & Schultz, M. 2016. The Impact of New Mobility Services on the Automotive Industry. <http://www.cargroup.org/publication/the-impact-of-new-mobility-services-on-the-automotive-industry/>

9. ROBOTIBUSSEIHIN SUHTAUTUMINEN JA NIIDEN HYVÄKSYTTÄVYYS

Teknologian kehitys voi mahdollistaa autonomisten ajoneuvojen käytön osana liikennejärjestelmää, mutta samalla on tärkeää huomioida myös autonomisten ajoneuvojen potentiaaliset käyttäjät ja käyttäjäryhmät sekä ihmisten suhtautuminen autonomisiin ajoneuvoihin yleensä. Autonomiset ajoneuvot vaativat yhteiskunnan hyväksynnän ollakseen toteuttamiskelpoisia (Huhta 2017).

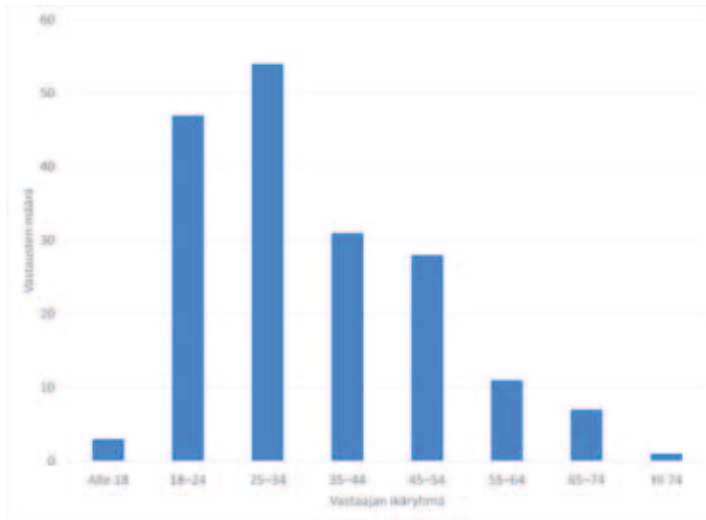
Osana SOHJOA-hanketta tutkittiin Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) kampuksella Hervannassa, miten ihmiset suhtautuvat autonomisiin pikkubusseihin eli robottibusseihin. SOHJOA-hankkeen robottibussit liikennöivät noin 500 metrin pituisia reittejä TTY:n ja Hervannan keskustan välillä syksyllä 2016 ja keväällä 2017.

Riku Huhta tutki diplomityössään SOHJOA-hankkeen aikana robottibussien hyväksyttävyyttä sekä kustannusrakennetta ja toimintamallia osana joukkoliikennettä (Huhta 2017). Työtä varten tehtiin matkustajahaastatteluita Hervannassa syksyllä 2016, joita jatkettiin vielä keväällä 2017. Haastattelut toteutettiin jälkikäteen täytettävällä internet-kyselylomakkeella, jonka avulla pyrittiin selvittämään ihmisten suhtautumista robottibusseihin. Tämän lisäksi bussin kyydissä aina ollut operaattori keskusteli robottibussin toiminnasta matkustajien kanssa ja kuunteli kommentteja ja ajatuksia liittyen robottibusseihin yleensä.

Robottibussit olivat liikenteessä Hervannassa syksyllä 2016 ja keväällä 2017 yhteensä 33 päivän aikana noin 180 tuntia. Nousuja tehtiin tuona aikana noin 2030. Kyselyyn saatiin yhteensä 187 vastausta, eli noin joka kymmenes (10,9 %) bussiin noussut henkilö vastasi kyselyyn. Huhdan työssä hyödynnettiin vain syksyllä 2016 saatuja vastauksia, joita oli 63 (Huhta 2017).

Kyselyyn saatiin vastaajia kaikista ikäluokista. Vastaajien enemmistö, noin puolet, oli nuoria ja nuoria aikuisia, 18–24- ja 25–34-vuotiaita. Vastaajista yli 55-vuotiaita oli noin joka kymmenes. Vastaajien ikäjakama

on esitetty kuvassa 1. Vastaajien sukupuolta ei kysytty. Operaattorien havaintojen perusteella vanhempia matkustajia oli todellisuudessa kuitenkin enemmän kuin mitä kyselyyn vastanneiden ikäjakaumasta on pääteltävissä. Operaattorien käymien keskustelujen perusteella merkittävä osa matkustajista oli TTY:n opiskelijoita tai henkilökuntaa. Reitin toisessa päässä olevan Hervannan Seniorikorttelin asukkaat matkustivat myös huomattavan aktiivisesti robottibussilla.



Kuva 1. Kyselyyn vastanneiden ikäjakauma (n=182)

Kyselyyn vastanneista 30 % käytti joukkoliikennettä päivittäin pääasiallisena kulkumuotonaan, ikäryhmästä riippumatta. Vain muutama vastaaja ilmoitti, että ei matkusta joukkoliikenteellä lainkaan. Joukkoliikenteen matkustajilla on tietyt toimintatavat, mutta koska robottibussi poikkeaa tavallisesta bussista monella tavalla, matkustajat olivat usein epävarmoja siitä, miten robottibussin kanssa pitäisi toimia.

Osa matkustajista vaikutti miettivän, mitä bussiin noustessa kuuluisi tehdä. Jotkut tarkastelivat pysäkinäyttöä, ja pohtivat, että pitääkö näytöllä esimerkiksi osoittaa haluttu pysäkki. Osalle matkustajista oli epäselvää, pitääkö bussille tilata pysähtyminen ennen pysäkkiä (kuten busseissa nykyään). Bussin pysähtymisen ja ovien automaattisen avaamisen välillä kuluisen verran pitkään, että osa matkustajista oli painamassa ovenavauspainiketta. Osa matkustajista pohti, olisiko robottibussissa tarvittu turvavöitä.

Robottibussien ja muiden mahdollisten tulevaisuuden autonomisten julkisten kulkuvälineiden käyttäminen pitäisi olla yhtä intuitiivista kuin jul-

kisen liikenteen käyttäminen nykyään. Hankala tai epäintuitiivinen käyttöliittymä saattaa vähentää autonomisten kulkuvälineiden hyväksyttävyyttä.

Yli puolet kyselyyn vastanneista ilmoitti olevansa innoissaan robottibussilla matkustamisesta ja hieman yli 40 % suhtautui matkustamiseen positiivisesti. Vain muutama matkustaja suhtautui robottibussiin neutraalisti tai varauksella. Yksikään vastaaja ei myöntänyt pelkäävänsä. Ikäryhmiä vertailtaessa eniten innoissaan olivat 45–54-vuotiaat, ja tätä vanhemmatkin ikäryhmät suhtautuivat robottibussiin positiivisesti. Kyselyn vastausten ja matkustajien kommenttien perusteella robottibussia pidettiin kuitenkin hienona, jännittävänä ja futuristisena kulkuvälineenä.

Osa vanhemmista matkustajista totesi, että ei olisi uskaltanut tulla bussin kyytiin ilman operaattoria. Toisaalta muutama matkustaja oli hieman pettynyt siihen, että kyydissä oli valvoja. Matkustajat pohtivat, miten robottibussi toimisi ilman operaattoria: esiin nousi ajatuksia ja kysymyksiä liittyen turvallisuuteen. Miten matkustajien turvallisuus taataan, jos kuitenkin kuka tahansa voi nousta kyytiin? Miten matkustajia suojellaan ahdistelulta ja väkivallalta sekä kalustoa ilkivallalta? Matkustajien mielestä kameravalvonnalla voitaisiin parantaa turvallisuudentunnetta, mutta kameravalvonta ja yhteys operaattoriin todettiin riittämättömiksi, jos apua ei saa paikalle nopeasti. Matkustajat olivat huolissaan sosiaalisesta turvallisuudesta, mihin pitää ehdottomasti kiinnittää erityistä huomiota robottibusseissa ja muissa mahdollisissa tulevaisuuden autonomisissa julkisissa kulkuvälineissä.

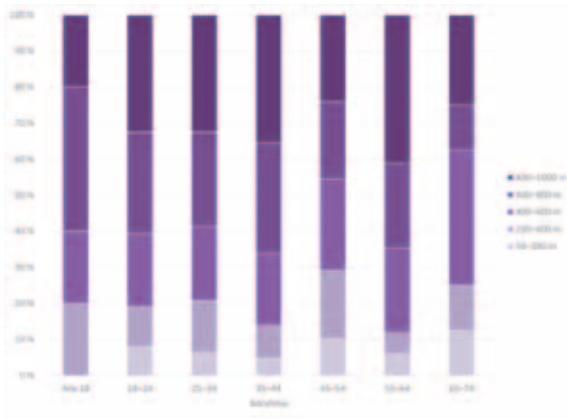
Robottibussit kulkivat Hervannan reitillä suorilla osuuksilla korkeintaan noin 11 km/h. Kyselyyn vastanneista noin 55 % piti tätä nopeutta liian hitaana, 45 % vastaajista ilmoitti nopeuden olevan sopiva. Vain muutamien vastaajien mielestä bussi kulki liian nopeasti. Hidas nopeus harmitti eniten 25–34- ja 35–44-vuotiaita vastaajia. Kyydissä olleet matkustajat ymmärsivät, että jalankulkijoiden väylällä liikuttaessa nopeutta ei voi nostaa kovin suureksi.

Usein toistuva kysymys oli, mitä tapahtuu, jos robottibussin edessä on ihminen tai jokin muu este johon ei saisi törmätä. Matkustajat olivat epä-tietoisia siitä, väistääkö robottibussi esimerkiksi jalankulkijoita. Osalle matkustajista robottibussin toiminta esteiden suhteen selvisi matkan aikana, kun robottibussi hidasti tai pysähtyi edessä olevan esteen takia. Otettaessa käyttöön uusia, autonomisia julkisia kulkuvälineitä, hyväksyttävyyden lisäämiseksi on suotavaa järjestää ennalta erilaisia tiedotustilaisuuksia ja näytöksiä, joissa kerrotaan autonomisen kulkuvälineen toimintaperiaatteista.

Päivittäin ongelmana olivat robottibussin edessä kävelevät ihmiset, jotka eivät havainneet takana kulkevaa robottibussia. Usein jalankulkijoilla oli kuulokkeet korvissa ja katse älylaitteessa, jolloin saattoi mennä pitkäänkin, ennen kuin jalankulkija havaitsi melko äänettömästi kulkevan robottibus-

sin takanaan, yleensä hieman pelästyen. Jalankulkijat (ja pyöräilijät) eivät odota omalla väylällään kohtaavansa robottibussin kokoista kulkuvälinettä, minkä perusteella robottibussit eivät sovellu kävely- ja pyöräteille.

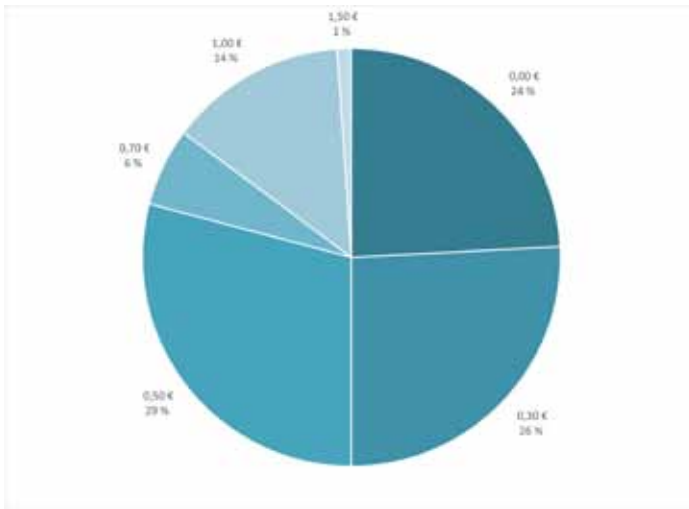
Kyselyssä selvitettiin, käyttäisivätkö vastaajat joukkoliikennettä enemmän, jos robottibussia voisi käyttää osana joukkoliikennettä. Myönteisen vastauksen antoi 88 % ja kielteisen 12 % vastaajista. Kyselyssä kysyttiin myös, kuinka pitkillä matkoilla vastaajat käyttäisivät robottibussia. Vastauksen perusteella robottibussilla kuljettaisiin pääasiassa yli 400 metrin matkoja, mutta myös tätä lyhyemmät matkat saivat hieman kannatusta, varsinkin vanhemmissa ikäryhmissä (kuva 2).



Kuva 2. Kuinka pitkiä matkoja robottibussilla voisi tehdä, vastaajien näkemykset ikäryhmittäin (n=389, vastaajien oli mahdollista valita useampi vaihtoehto).

Normaalisti liikkumaan kykenevät matkustajat pohtivat, että robottibussista ei heille välttämättä olisi hirveästi hyötyä, jos lähimmälle runkolinjan pysäkillä pääsee kävellen käytännössä yhtä nopeasti kuin robottibussilla. Robottibussia pidettiin kuitenkin hyödyllisenä viimeisen kilometrin matkalla esimerkiksi huonolla säällä.

Kyselyllä selvitettiin myös, kuinka paljon matkustajat olisivat valmiita maksamaan lisää robottibussin käytöstä osana joukkoliikennettä, kun arvolippu normaalisti maksaa 1,80 €. Noin neljäsosa ei haluaisi maksaa mitään lisämaksua, toinen neljäsosa voisi maksaa 0,30 €. Puolet vastaajista olisi valmiita maksamaan 0,50 € tai jopa enemmän (kuva 3). Kyselyn perusteella ihmiset olisivat valmiita maksamaan hieman lisää siitä, että robottibussilla pääsisi lähemmäs lähtöpaikkaa tai määränpäättä.



Kuva 3. Vastaajien näkemys siitä, kuinka paljon he olisivat valmiita maksamaan lisää robottibussin käytöstä osana joukkoliikennettä (n=182)

Robottibussin kyydissä kävi useampaan kertaan kuurosokea henkilö avustajan kanssa. Kuurosokealle robottibussilla liikkuminen oli omanlaisensa kokemus. Kyydissä kävi myös kaksi sähköpyörätuolilla liikkuvaa henkilöä. Molemmat sähköpyörätuolilla liikkuneet henkilöt olivat ilahuneita siitä, että bussi oli hyvin pitkälle esteetön. Osalle vanhemmista matkustajista bussin korkea kynnys oli haastava ja se hidasti merkittävästi robottibussiin nousemista ja sieltä poistumista. Kaupunkien joukkoliikenteen runkolinjat ovat enenevässä määrin esteettömiä. Jotta robottibusseista saataisiin suurin hyöty viimeisen kilometrin ongelman ratkaisussa, pitää myös robottibussien ja muiden mahdollisten tulevaisuuden julkisen liikenteen kulkuneuvojen olla mahdollisimman esteettömiä, sillä huonosti liikkuvia tai liikuntarajoitteisia mutta potentiaalisia matkustajia on tulevaisuudessa väestön ikääntyessä entistä enemmän.

Kyselyn ja matkustajien kanssa käytyjen keskustelujen perusteella robottibusseja pidetään kiinnostavana ja jännittävänä kulkuvälineenä, jolla on potentiaalia täydentää nykyistä julkista liikennettä tulevaisuudessa. Matkustajat ja muu liikenneympäristö pitää kuitenkin huomioida tarkkaan, ja varmistaa, että liikenneturvallisuuden lisäksi myös sosiaalinen turvallisuus, esteettömyys ja helppokäyttöisyys ovat korkealla tasolla.

LÄHTEET

Huhta, R. 2017. Automaattisten pikkubussien hyväksyttävyys ja kustannusrakenne osana joukkoliikennettä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, liikenne ja kuljetusjärjestelmät. Tampere. 97 s.

Raimo Tengvall

10. AUTOMAATTISESTI LIIKKUVA AUTO TIELIIKENTEEN VUOROVAIKUTUKSESSA



Yleisessä tieliikenteessä liikkuvan automaattiajoneuvon yhteydessä on huomioitava myös muu liikenne. Kuinka automaattiajoneuvo toimii todellisissa liikennetilanteissa kohdatessaan muita tielläliikkuja? Entä kuinka muut tielläliikkuajat toimivat kohdatessaan automaattiajoneuvon? Millaisia liikennetilanteita näiden osapuolten kohtaamisista syntyy ja miten muut tielläliikkuajat kokevat kohtaamisen?

SOHJOA-hankkeessa vuonna 2016 ajetuilla Hernesaaren ja Otaniemen reiteillä havaittiin haasteita muun liikenteen suhteen. Autoilijat ohittivat

hitaasti ajanutta robottibussia ajoittain vaarallisissa paikoissa. Robottibus-
sille esteettömän kulun antavia liikennevaloja ei aina noudatettu. Suorat
kohtaamistilanteet autoliikenteen kanssa oli kuitenkin saatu liikennevaloilla
varsin onnistuneesti minimoitua. Haastavimmat tilanteet havaittiin ro-
bottibussin ja kevyen liikenteen kohtaamisissa. (Pikkarainen 2017, 37-45.)

Matias Pikkarainen tiivistää Hämeen ammattikorkeakoulun opinnäyte-
työssään Otaniemen vuoden 2016 kokeilujaksolla ajoneuvoliikenteen suht-
tautumisen olleen kaksijakoista. Osa pyrki ohittamaan robottibussin heti
mahdollisuuden tullen, osa tyytyi ajamaan robottibussin perässä. Yleisvai-
kutelmanä jalankulkijoiden keskuudessa taas robottibussia pidettiin hie-
man arvaamattomana. He pyrkivät ensisijaisesti mieluummin väistämään
robottibussia kuin luottamaan siihen, että robottibussi väistäisi heitä. (Pik-
karainen 2017, 37.)

Vielä tarkemmin vuorovaikutusta muun liikenteen kanssa tutkittiin tä-
ssä sosiologian pro gradu -työssäni. Liikenteen vuorovaikutuksen sosiaali-
tieteellistä teoriapohjaa käyttäen tutkin, miten ihmisen ja automaattiajo-
neuvon kohtaaminen eroaa ihmisten välisestä kohtaamisesta liikenteessä.

AINEISTO JA MENETELMÄ

Aineisto kerättiin SOHJOA-hankkeessa vuonna 2017 ajetuilla reiteillä,
touko-kesäkuussa Tampereen Hervannassa ja loka-marraskuussa Espoon
Otaniemessä. Tutkimusta varten tein 27 teemahaastattelua, joissa oli yh-
teensä 33 haastateltavaa, iältään 18-80 vuotta. Heistä 10 oli liikkeellä autol-
la ja 3 polkupyörällä. Loput 23 olivat jalankulkijoita, mukaan lukien kaksi
koiran ulkoiluttajaa ja yksi pyörätuolilla liikkunut.

Haastatellut olivat sattumanvaraisia tielläliikkujia, joiden liikkumiseen
robottibussi vaikutti. Heidän oli tehtävä jotakin poikkeavaa verrattuna ti-
lanteeseen, jossa olisi ollut vain tyhjää katutilaa. Tilanteen tapahtuessa he
eivät vielä tienneet osallistuvansa tutkimukseen. Näin he eivät tutkimusta
varten kokeilleet mitään tavallisesta liikennekäyttäytymisestä poikkeavaa.

Tutkimuksen tekijänä kävelin jonkin matkan päässä robottibussin pe-
rässä ja yritin tilanteen jälkeen tavoittaa robottibussin kohdanneita. Moni
jatkoivat matkaansa toiseen suuntaan, joten arviolta noin kolmasosa tutki-
muksen tekohetkillä robottibussin kohdanneista onnistuttiin tavoittamaan.
Tavoitetuista hieman alle puolet suostui haastatteluun.

Haastattelut olivat 5-20 minuutin mittaisia kvalitatiivisia teemahaastat-
teluja. Niissä keskityttiin määrällisten ja mitattavien asioiden sijaan laadul-
lisiin asioihin, eli millaisia ilmiöitä nousee esiin.

Kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä valittiin aihepiirin uutuuden takia.



Kun aikaisemmin ei oltu tutkittu robottiauton kohdanneita muita tielläliikkuja, heidän annettiin sanoittaa heidän kokemuksensa itse.

Haastattelujen avuksi tilanteet kuvattiin robottibussin kulloisenkin menosuunnan tuulilasissa olleella 360 asteen videokameralla. Joka suuntaan kuvaava kamera havaittiin hyödylliseksi tallennusmenetelmäksi, kun tilanteet tapahtuivat osittain myös auton sivuilla ja takana.

Haastateltavilta kysyttiin, halusivatko he tai oliko heillä aikaa katsoa heidän äskeisestä kohtaamisestaan tehty videotallenne. Seitsemän haastateltavan kanssa katsottiin tilanne videolta älypuhelimien ruudulta. Lisäksi kahden haastateltavan kanssa tilanne katsottiin virtuaalitodellisuus- eli VR-laseilla.

Videota katsoneet haastateltavat saivat videon avulla analysoitua tilannetta yleensä vielä hiukan lisää. Ero ei ollut kuitenkaan suuri, sillä äsken tapahtunut tilanne oli vielä tuoreessa muistissa. VR-laseilla videota katsoneet kokivat laseista saatavan lähinnä viihdearvoa, ei todellista lisähyötyä.

Haastatteluista tehtiin äänitallenteet, jotka litteroitiin ja vietin kvalitatiivisen tutkimuksen ATLAS.ti-analyysiohjelmaan. Aineisto koodattiin teemoittain ja analysoitiin sekä liikenteen sosiaalitieteellisen vuorovaikutustutkimuksen teoriapohjan että tutkimuksessa nousseiden ilmiöiden pohjalta.



HAVAINNOT JA TULOKSET

Lähes kaikki haastateltavat tunnistivat robottibussin automaattisesti ajavaksi ajoneuvoksi. Monet liikkuvat alueilla päivittäin, joten he olivat nähneet kokeilusta kertovat kyltit ja osa myös itse bussin. Osalle se oli myös mediasta tuttu. Vain kolme haastateltavaa oli ollut sen kyydissä.

Kaksi haastateltavaa ei tiennyt kyseessä olevan automaattisesti ajava ajoneuvo. Toinen epäili sen olevan jokin testiajoneuvo, muttei ajatellut sen liikkuvan automaattisesti. Toisen kohdalla tilanne meni melko nopeasti, ja hänellä oli omassa ajamisessaankin vaikeuksia. Tämä on kuitenkin muistettava robottiautokokeiluissa: edes laajalla kyltityksellä ei saada asiaa tiedetuksi kaikille.

Yleisesti eri ihmiset kokevat robottibussin kohtaamisen hyvin eri tavoin. Osaa häiritsee ihmiskuljettajista poikkeava ajotyyl. Toiset taas kokevat robottibussin ennustettavampana kuin ihmiskuljettajan.

Häiritseviä asioita oli erityisesti perässä ajaneiden autoilijoiden mielestä robottibussin hidaskuori, korkeintaan 11 km/h. Jalankulkijat taas arvosivat hidasta vauhtia, eivätkä sen ansiosta kokeneet robottibussia vaarallisena. Epäloogiset muutokset nopeudessa häiritsivät sekä jotain autoilijoita että jalankulkijoita.



Liikennesosiologi Kalle Toiskallio on käyttänyt näistä muutoksista syntyvästä kommunikaatiosta käsitettä reittineuvottelu. Se on minimaalisen vähäeleistä neuvottelua, jossa osallistujat osoittavat nopeuksillaan ja nopeuksiensa muutoksilla sekä suunnillaan ja niiden muutoksilla aikeitaan, joita neuvotteluissa sovitetaan yhteen (Toiskallio 2002, 44). Robottibussi muuttaa nopeuttaan osin eri lailla kuin ihmiset. Se ei myöskään käytä nopeudenmuutoksia reittineuvottelullisena keinona. Siksi haastateltavien oli ajoittain vaikea ymmärtää, mitä robottibussi oli tekemässä.

Toisaalta nopeuden hidastamattomuus auttoi ymmärtämään, että robottibussi ei ehkä ole havainnut toista tielläliikkujaa eikä aio väistää tai hidastaa tämän vuoksi. Tällaisessa tilanteessa robottibussi tavallaan osallistuu reittineuvotteluun ja ilmaisee joustamattomuuttaan. Väistämisen puute tuntui joissain tilanteissa häiritsevältä, kun robottibussin reitti pyrki toista tielläliikkujaa kohti, vaikka vieressä olisi ollut tilaa väistää.

Osa haastatelluista taas päinvastoin koki robottibussin ennustettavampana kuin ihmisen. Pääsyy tähän oli jatkuvasti samana pysyvä ajoreitti. Myös inhimillisen tekijän eli esimerkiksi tunnetilojen puuttumisen pari haastateltavaa koki ennakoitavuutta lisäävänä tekijänä.



ETÄINEN JA VAHVAKUORINEN AJONEUVO

Toisille taas puuttuva ihminen teki robottibussista etäisemmän. Muiden tielläliikkujien oli vaikea arvioida, oliko robottibussi havainnut heidät. Monet kertoivat liikenteessä hakevansa katsekontaktia autoilijoiden kanssa varmistukseksi havainnosta. Robottibussin kanssa tämä ei ollut mahdollista. Ratkaisuksi jotkut miettivät havainnosta viestivää valomerkkiä, toiset taas eivät halunneet enää ylimääräistä vilkkuvaloa liikenteeseen. Tulevasta toiminnasta viestivät nopeudenmuutokset ja vilkun käyttö ajoissa olivat monien mielestä riittäviä kommunikaatiokeinoja.

Uusimmat haastateltavat pyrkivät antamaan robottibussille enemmän tilaa kuin olisivat antaneet ihmisen ajamalle autolle. Liikenteen sosiaalisen vuorovaikutuksen teoriassa Erving Goffman on jo kauan ennen robottiautoja käyttänyt tällaisesta kömpelömmiin liikkuvasta ja kuljettajan piilotavasta ajoneuvosta käsitettä *vahvakuorinen* (Goffman 1971, 7). Puuttuva näköyhteys kuljettajaan tekee robottibussista etäisemmän. Sitä ikään kuin ajetaan vahvemman kuoren sisältä verrattuna kulkuneuvoihin, joissa kuljettaja on selvästi näkyvillä.

Osin tämän vahvakuorisuuden vuoksi vaikeammissa kohtaamistilanteissa ihmiset päätyivät aina antamaan tilaa robottibussille. Eräs autoilija

päätti peruuttaa, kun robottibussi tuntui tulevan päälle. Jalkakäytävän reunaan tehdyn loivenuksen ansiosta hän tajusi robottibussin olevan kääntymässä sinne. Suuntavilkkuu robottibussi EasyMile EZ10 näytti vasta kääntymässä, joten sen avulla bussin liikkeitä ei voinut ennakoita.

EZ10:n automaattiajotilasta kertovaa vihreää vilkkuvaloa moni haastateltava luuli virheellisesti suuntavilkkuksi. Osa taas ymmärsi sen olevan jotain muuta kuin vilkku, mutta jäi hämmentyneeksi. Liikenteessä kaikki vilkkuvalot otetaan vakavasti, joten vakiintuneista käytännöistä poikkeavia vilkkuvaloja ei saisi olla.

Muutama jalankulkija huomasi, ettei robottibussi hidastanut heidän lähestyessään. He päättivät väistää tai olla menemättä sen eteen. EZ10:n turvaetäisyydet olivat hidastaminen 4 metriä ennen kohdetta ja pysähtyminen 1,2 metriä ennen kohdetta (Pikkarainen 2017, 45). Ne ovat paljon pienemmät kuin liikenteessä koetaan kohteliaana tai turvallisen varmana.

Niillä, jotka eivät joutuneet tällaiseen tilanteeseen, oli liikenteessä tyyppinen vankka ”moraalinen usko” (Goffman 1971, 13) myös robottibussiin. He pitivät sitä turvallisena, varmasti pysähtyvänä ja liikenteen pelisääntöjä noudattavana. Lähempään kohtaamistilanteeseen joutuneilla usko kuitenkin meinasi horjua, jos robottibussi ei näyttänyt hidastamisaikeita yhtä aikaisin kuin ihminen olisi näyttänyt.

Kiinnostavana havaintona robottibussin operoijat kysyivät välillä huolestuneina tutkimuksen tekijältä, mitä haastateltavat ajattelivat. He kokivat hankalimmat tilanteet hieman noloina todennäköisesti siksi, että he olisivat itse ajaneet eri lailla kuin bussi ajoi. Tämä voi olla oleellinen kokemus varsinkin ajatellen autoja, joita voi ajaa yhtä lailla automaatti- kuin manuaalilassakin. Ihmiset eivät välttämättä käytä automaattiajajoa, jos kokevat sen huonompana kuin oman ajamisensa.

Vakioreittiä ajavan robottibussin tapauksessa kokonaisuutena muut tielläliikkujat suhtautuivat siihen vaihtelevasti, mutta pääosin positiivisesti. Tähän saattoi vaikuttaa kokeilut teknologiayönteisillä yliopistoalueilla. Haastatelluista noin puolet olivat jollakin lailla yliopistolaisia.

Vakioreittisen automaattiajoneuvon kohdalla muiden tielläliikkujien on myös helpompi ennakoita sen toimintaa, kun reitti on tiedossa. Sitä pidettiin vähän kuin raitiovaununa. Ihmisautoilijoihin nähden kömpelömpi vuorovaikutus annetaan osin anteeksi, kun vastineeksi saadaan autoja ennakoitavampi kulkureitti.

LÄHTEET

Goffman, Erving. 1971. *Relations in Public – Microstudies of the Public Order*. Harper & Row.

Pikkarainen, Matias. 2017. *Robottibussit – Espoon Otaniemen kokeilujakso*. Hämeen ammattikorkeakoulu, ammattikorkeakoulun opinnäytetyö.

Toiskallio, Kalle. 2002. *Liikenteen sosiologiaa – Taksimatkan seurallisuus, liikenteen neuvottelut, automainosten näkökulmat*. Helsingin yliopiston sosiologian laitoksen tutkimuksia, no. 240, 2002.

Noora Haavisto

11. ROBOTTIBUSSIN MATKUSTAJIEN KOKEMUKSET

”No kyl se aina vähä yllättää että kuinka hyvin ne pystyy liikkuu ilman mitään objaamista. Yllätyin positiivisesti.”

”Nyt tämän koeajon jälkeen mun mielikuva on selkeesti positiivisempi kun ennen.”

Automaatio muuttaa liikkumistapojamme jo lähitulevaisuudessa. Uusien teknologioiden hyväksyminen osaksi yhteiskuntaa on kuitenkin kansalaisista kiinni. (McKerracher ym. 2016). Tutkittua tietoa keinoälyohjautuvasta liikenteestä on erittäin niukasti.

Metropoliassa on paneuduttu keinoälyä solveltavan robottibussin matkustajakokemusten tutkimiseen. Ensimmäinen tutkimus liittyi Vantaan asuntomessujen robottibussikokeiluihin. Se julkaistiin Transport Policy -journalissa keväällä 2018 (Salonen 2018). Tulokset viittasivat siihen suuntaan, että matkustajat kokivat liikenneturvallisuuden samalla reitillä liikennöivää tavanomaista bussia paremmaksi, mutta haasteen muodosti suhteellisen pienikokoisen bussin sisällä koettu henkilökohtainen turvallisuus.

Halusimme perehtyä paremmin matkustajien kokemuksiin. Sen vuoksi haastattelimme syksyn 2017 aikana 44 robottibussimatkustajaa Otaniemessä, Espoossa. Tavoitteena oli saada selville millaisia välittömiä tunteita robottibussilla matkustaminen matkustajissa herättää, millaisia asenteita heillä on robottibusseja kohtaan ja mitä he arvelivat lähipiirinsä ajattelevan robottibusseista. Pyysimme matkustajia myös kuvailemaan tuntemuksiaan robottibusseja kohtaan kokonaisuutena. Toisin sanoen tarkoituksenamme oli tunnistaa, miltä ihmisistä tuntuu jättää osa arkisesta päätöksenteosta keinoälylle. Mitkä seikat vaikuttavat positiivisesti ja mitkä negatiivisesti robottibusseista syntyviin mielikuviiin. Mitkä avaintekijät saisivat ihmiset käyttämään robottibusseja.

Tunnistimme matkustajien ajattelussa viisi teemaa, (1) tarpeita vastaavien palveluiden tärkeys, (2) asenne keinoälyä kohtaan, (3) robottibussin vaikutus yksityisautoiluun, (4) turvallisuus sekä (5) kokonaisvaltainen mielikuva robottibusseista. Robottibussien ehdottomana vahvuutena pidettiin niiden tarjoamaa mahdollisuutta parantaa tarjolla olevia joukkoliikennepalveluita. Robottibussin nähtiin tarjoavan joustavuutta, täsmällisyyttä ja tiheämpiä vuorovälejä, kun taas perinteisen joukkoliikenteen huonona puolena pidettiin sen kykenemättömyyttä toimittaa matkustaja suoraan toivottuun määränpäähän. Robottibusseista toivottiinkin seuraavaa Kut-suplus-palvelua niin, että reitti määrittäisi matkustajien tarpeiden mukaan. Näin ollen robottibussin ehdottomasti tärkein ominaisuus, joka tulee määrittelemään sen käytön tulevaisuudessa, on sen reitti, ja palveleeko se ihmisten oikeita tarpeita. Tuloksista ilmenee, että ihmiset kaipaavat ehdottomasti yksilöllisempiä liikkumispalveluita, sillä massoille suunnitellut palvelut harvoin kohtaavat yksilöiden tarpeet.

Matkustajat kokivat, ettei heille ole loppujen lopuksi väliä, millainen bussi on kyseessä, ja kuka sitä ohjaa, jos sen reitti vain palvelee heidän tarpeitaan. Tämä onkin tärkeää ymmärtää, koska pelkkä hyvä tekninen suorituskyky ei vielä takaa uuden teknologian hyväksymistä (Ghazizadeh ym. 2012). Ihmiset eivät käytä bussia kuljettajan tähden, vaan päästäkseen määränpäähän. Tästä syystä vastaajista tuntui, että he käyttäisivät robottibussia samalla tavalla kuin normaaliakin bussia. Kuljettajat eivät tavallaan enää palvele mitään tarkoitusta, joten kuljettajaa ei nähdä oleellisena tekijänä. Kuljettajilla, ja busseilla muutenkin, on vain välinearvoa, sillä perille pääsy on tärkeintä.

Vaikka matkustajat kokivat käyttävänsä robottibussia samoin kuin tavanomaista bussia, monet vertasivat kokemustaan kuitenkin enemmän raitieliikenteeseen, kuten metroon ja raitiotievaunuun. Robottibussi muistutti rautapyöräliikennettä esimerkiksi siinä mielessä, ettei niissäkään välttämättä näe kuskia. Tällä oli positiivinen vaikutus matkustajien turvallisuuden tunteeseen. Tuntiessaan olevansa tutussa ympäristössä, ei bussi ilman kuskia tuntunutkaan enää niin epätavalliselta.

Tuloksista yllättävintä oli, kuinka vahva vaikutus robottibussilla voi mahdollisesti olla autoilijoihin. Vastaajien mukaan robottibusseilla pystytään mahdollisesti vähentämään yksityisautoilua. Kiinnostavinta oli, että itseään elämäntapa-autoilijoiksi kuvailleet ihmiset näkivät itsensä käyttämässä robottibusseja tulevaisuudessa, vaikka eivät muuten käytä julkista liikennettä. ”Mä ite oon harras yksityisautoilija, oon autoillut koko elämäni (...) ehdottomasti voisin käyttää tätä” (Mies, 25-34, Yrittäjä). Osa elämäntapa-autoilijoista ei pitänyt ajamisesta, mutta eivät nähneet muitakaan kannattavia vaihtoehtoja, toiset taas epäilivät, että autoilua tullaan kaupungin

keskustoissa tulevaisuudessa rajoittamaan, jolloin robottibussit voisivat palvella heidän tarpeitaan.

Robottibussien turvallisuus mietitytti vastaajia sekä henkilökohtaisen turvallisuuden näkökulmasta ajoneuvon sisällä että robottibussien yleisen turvallisuuden perspektiivistä. Kaiken kaikkiaan vastaajat kuitenkin tunsivat olonsa turvalliseksi robottibussin kyydissä. Moni matkustajista mainitsi todellisen kokemuksen olleen parempi, kuin mikä heidän ennakkoluulonsa oli. Toisin sanoen ihmisten on vaikea kuvitella, miltä autonomisessa ajoneuvossa matkustaminen tuntuu, ilman aiempaa kokemusta. Havaittavissa oli, että kokemus turvallisuudesta kohenee kokemusten karttuessa. Osa vastaajista oli kokeillut robottibussia jo aikaisemmissa kokeiluissa, eikä turvallisuus enää mietityttänyt heitä.

Vastaajien turvallisuudentunnetta paransi alhainen nopeus, alueen rauhallinen liikenne, operaattori robottibussin sisällä sekä robottibussien saama mediahuomio, mikä sai ajoneuvon tuntumaan tutulta. Myös reitin visualisointi näkyvästi bussissa paransi matkustajien turvallisuuden tunnetta. Eli myös selkeällä viestinnällä voidaan vaikuttaa positiivisesti turvallisuuden tunteeseen. Selvää kuitenkin on, että ihmiset epäilivät vielä voiko robottibusseihin luottaa, koska vastuussa olevan ihmisen toivotaan yhä olevan heidän kanssaan bussin sisällä, vaikkei tämän tarvitsekaan tehdä mitään kontrolloidakseen bussia.

Robottibussin turvallisuus herätti kuitenkin myös epäilystä vastaajien joukossa. Yleisesti ihmisiä pidettiin parempina toimimaan yllättävissä tilanteissa, vaikka robottibussien eduksi laskettiin inhimillisen virheen häviäminen. Toisaalta robottibussien nähtiin pystyvän tarkkailemaan ympäristöään paremmin sensoreidensa avulla. Vaikka vastaajat tunsivat olonsa turvalliseksi ajoneuvon sisällä, haasteena pidettiin liikenteen kaikkien palasten sovittamista yhteen. Mutta vaikka ihmiset tunsivat olonsa mukavaksi keinoälyn ohjaamassa ajoneuvossa, selvää oli, ettei robottibussien aiheuttamia onnettomuuksia suvaita. Kuullessaan robottibussin aiheuttamasta onnettomuudesta, vastaajat totesivat lopettavansa robottibussin käytön.

Kaiken kaikkiaan vastaajilla oli hyvin positiivinen kuva robottibusseista ja se herätti matkustajissa paljon kiinnostusta. Ihmisten ennakkoluulot robottibusseja kohtaan listattiin kuitenkin haasteeksi. Vaikka teknologian uskottiin kehittyvän siihen pisteeseen, että robottibussit ovat täysin turvallisia ja luotettavia, ihmisten asenteiden muutos koettiin haastavaksi. Uusi teknologia ei nimittäin poista ihmisten perustarvetta olla vuorovaikutuksessa toisten ihmisten kanssa ajatuksia ja tunteita jakaen. Kun kuljettajaa ei enää ole, ei ole myöskään luonnollista kanavaa, jolle purkaa näitä tunteita. Vaikka kuljettajilla olisi vain välinearvoa, sosiaalisesti heitä pidetään kuitenkin edelleen tärkeinä.

MITEN NÄITÄ TULOKSIA VOIDAAN HYÖDYNTÄÄ KÄYTÄNNÖSSÄ?

Robottibussien onnistuneen käyttöönoton tulee määrittämään niiden tarjoamien palveluiden kyky vastata ihmisten tarpeisiin. Jos robottibussit palvelevat ihmisten tarpeita paremmin kuin tavanomainen julkinen liikenne, ihmiset omaksuvat robottibussien käytön helpommin. Vaikka robottibussit herättävät tunteita, vaikuttaa siltä, että päätöksentekoa ohjaa kuitenkin lopujen lopuksi enemmän rationaalinen ajattelu. Näin ollen on oleellista lähteä kehittämään robottibusseja ja niiden toimintaa ihmisten tarpeista käsin.

Ihmisten luottamuksen puutteeseen voidaan vaikuttaa informaatiota jakamalla, sillä matkustajat kaipasivat tietoa robottibussin toimintaa ohjaavista periaatteista. Ihminen toimii yleensä moraalinsa pohjalta, mutta minkä pohjalta robottibussi tekee päätöksen yllättävässä tilanteessa? Selittämällä ihmisille, miten robottibussi toimii erilaisissa tilanteissa, voidaan rakentaa luottamusta. Samalla tieto siitä, mitä matkustajilta odotetaan robottibussin kyydissä, voi vähentää epäluuloja ja jännitystä.

Tuloksiamme voidaan myös hyötykäyttää mielikuvien luomisessa ja asenteiden muokkaamisessa. Olisikin hyvä pohtia millaisia mielikuvia ihmisille halutaan lähteä robottibusseista välittämään. Jos ihmisten mielikuva on se, että robottibusseilla lähdetään korvaamaan jo jotain olemassa olevaa, se saattaa herättää negatiivisia ajatuksia, sillä ihmisen tekemää työtä pidetään arvokkaana. Mutta jos robottibussi brändätään täysin uutena liikkumisen muotona, joka täydentää nykyisiä palveluita, ovat mielikuvat mahdollisesti paljon positiivisempia. Myös tuomalla selkeästi esiin robottibussien tarkoitus, tavoitteet ja positiiviset puolet, on mahdollista estää vääristyneiden mielikuvien synty ja mahdollisesti jopa luoda kiinnostusta (Hengstler ym. 2016).

Robottibusseja pidetään jo helppokäyttöisinä ja henkilökohtaisella tasolla turvallisina (Nordhoff ym. 2017, Merat ym. 2017). Näin ollen suurin este robottibussien käytölle ovat juuri mielikuvat ja asenteet, joihin vaikuttaminen on siksi tärkeää. Varsinkin kokemattomuudella ja tietämättömyydellä on negatiivisia vaikutuksia asenteisiin. Ennakkoluuloihin pystytään vaikuttamaan parhaiten tosielämän kokemusten kautta, pienen askelin (Nordhoffin ym. 2017). Asenteisiin voidaan vaikuttaa tarjoamalla mahdollisuuksia kokeilla robottibussia turvallisessa ja kontrolloidussa ympäristössä, luomalla miellyttäviä käyttäjäkokemuksia. Torjuntaan voidaan myötävaikuttaa robottibussien konkreettisia hyötyjä esittämällä (Heidenreich & Kraemer 2016). Pelkkä toiminnallinen turvallisuus ei kuitenkaan yksistään takaa uuden teknologian hyväksyntää (Hengstler ym. 2016), ja siksi tärkeää on miettiä myös miten vastata ihmisten sosiaalisiin tarpeisiin.

Loppujen lopuksi robottibussien käytön ratkaisee todennäköisesti sen positiivisten ja negatiivisten vaikutusten suhde. Jos positiivisia puolia on enemmän, ihmiset muuttavat liikkumiskäyttäytymistään. Keinoälysovelteen teknologian omaksuminen osaksi omaa arkea on ilmeisen luontevaa. Matkustajien silmissä robottibusseilla on sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia, ja jos positiiviset hyödyt voittavat negatiiviset, on robottibussien ongelmaton käyttöönotto todennäköisempää.

LÄHTEET

- Ghazizadeh, Mahtab, John D. Lee & Linda Ng Boyle (2012). Extending the Technology Acceptance Model to assess automation. *Cognition, Technology & Work*, 14 (1), 39-49.
- Heidenreich, Sven & Kraemer, Tobias (2016). Innovations—Doomed to Fail? Investigating Strategies to Overcome Passive Innovation Resistance. *Journal of Product Innovation Management*, 33 (3), 277–297.
- Hengstler, Monika, Ellen Enkel & Selina Duelli (2016). Applied artificial intelligence and trust—The case of autonomous vehicles and medical assistance devices. *Technological Forecasting & Social Change* 105, 105-120.
- McKerracher C., Orlandi I., Wilshire M., Tryggestad C., Mohr D., Hannon E., Morden E., Nijssen J. T., Bouton S., Knupfer S., Ramkumar S., Ramanathan S. & Moeller T. (2016). *An Integrated Perspective on the Future of Mobility*. McKinsey & Company.
- Merat, Natasha, Ruth Madigan & Sina Nordhoff (2017). Human Factors, User Requirements, and User Acceptance of Ride-Sharing In Automated Vehicles. Discussion Paper No. 2017-10, OECD.
- Nordhoff, Sina, Bart van Arema, Natasha Merat, Ruth Madigan, Lisa Ruhrort, Andreas Knieb & Riender Happee (2017). User Acceptance of Driverless Shuttles Running in an Open and Mixed Traffic Environment. 12th ITS European Congress, Strasbourg, France, 19-22 June 2017.
- Salonen, A. (2018). Passenger's subjective traffic safety, in-vehicle security and emergency management in the driverless shuttle bus in Finland. *Transport Policy* 61(1), 106–110.

Johanna Nyberg & Matias Pikkarainen

12. KOKEMUKSIA ROBOTTIBUSSIN JA MUUN LIIKENTEEN VUOROVAIKUTUKSESTA OTANIEMESSÄ



Suomen lainsäädäntö mahdollistaa automaattisten ajoneuvojen kokeilua aidossa liikenneympäristössä ja SOHJOA-hanke on ensimmäisenä vienyt tämän mahdollisuuden käytäntöön. Hanke koostuu kolmesta eri liikenneympäristössä järjestettävässä robottibussikokeilusta, joista yksi sijoittui Espoon Otaniemeen.

SOHJOA-hanke on osa Suomen kuuden suurimman kaupungin yhteistä 6Aika-hankekokonaisuutta. Kokeilujaksoissa käytettiin Ligierin valmistamaa EasyMile (EZ10) robottibussia. Robottibussin kyydissä oli aina toiminnanvalvoja.

Kaupungin näkökulmasta robottibussikokeilu antoi mahdollisuuden oppia ymmärtämään mitä automaattiajoneuvojen mahdollinen yleistymisen kaupunkiliikenteessä tarkoittaa liikenneympäristön ja etenkin liikenteenohjauksen ja liikenneturvallisuuden näkökulmasta.

Vaikka robottibusseja voidaan lain puolesta kokeilla aidossa liikenneympäristössä, jouduttiin liikenneympäristöä kuitenkin muokkaamaan robottibussin reitin varrella kokeilun ajaksi, sillä robottibussi ei vielä osaa tulkita liikennesääntöjä, vaan kulkee ennalta ohjelmoitua reittiä pitkin.

LIIKENTEN OHJAUS KOKEILUN AIKANA

Robottiautolle toteutettiin etuajo-oikeutettu reitti. Tässä ensimmäisessä kokeilussa oli tärkeää varmistaa turvallinen liikkuminen alueella estämällä mahdollisimman monta konfliktitilannetta robottibussin ja muun liikenteen välillä.

Otaniemen kokeilussa kokeilualan reuna-alueilla varoitettiin muita liikenteessä liikkuvia robottiautokokeilusta. Alueen nopeusrajoitusta laskettiin 30 km/h:iin. Robottibussin ajonopeus oli noin 10–15 km/h.

Kadunvarsipysäköinti kiellettiin koko robottibussin reitin varrella. Robottiauton etuajo-oikeus muodostettiin STOP-merkeillä sekä manuaalisesti ohjattavilla liikennevaloilla. Lisäksi liikenteenohjausta selkeytettiin lisäämällä ajoratamerkintöjä.

ROBOTTIBUSSIN JA MUUN LIIKENTEN VUOROVAIKUTUS

Espoon kokeilua videoitiin kahdella liikennekameralla robottiautojen ja muun liikenteen vuorovaikutuksen analysointia varten. Silmämääräisten havaintojen perusteella pyrittiin arvioimaan minkälaisia riskejä robottiautojen ja muun liikenteen kohtaamiseen mahdollisesti liittyy. Lisäksi haluttiin selvittää, miten muut liikenteessä liikkuvat ymmärtävät ja noudattavat robottibussia varten tehtyjä liikenteen poikkeusjärjestelyjä.

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. Merkittävä osa ajoneuvoliikenteestä pyrki ohittamaan robottibussin heti mahdollisuuden tullen, loput tyytyivät ajamaan robottibussin perässä.

Ohitustilanteita tapahtui ensisijaisesti suorilla katuosuuksilla. Ohittava ajoneuvo palaa useasti liian nopeasti omalle kaistalleen, jolloin robottibussi havaitsee ohittavan ajoneuvon esteenä ja pysähtyy. Ajoneuvoliikenteen käyttäytymistä voidaan perustella robottibussin alhaisella ajonopeudella.

SUOJATIET ONGELMALLISIA

Espoon kokeilujakson aikana ei tapahtunut ainuttakaan todellista vaaratilannetta. Robottibussi joutui tekemään hätäjarrutuksia erinäisistä syistä johtuen noin kerran päivässä. Hätäjarrutukset olivat joko toiminnanvalvojan tai itse robottibussin tekemiä hätäjarrutuksia.

Toiminnanvalvojen tekemien hätäjarrutusten taustalla oli pyrkimys ennaltaehkäistä mahdollisia vaaratilanteita eli ei luotettu täysin siihen, että robottibussi itse havaitsee mahdollista estettä tai vaaratilannetta. Robottibussin itse tekemä hätäjarrutus syntyy tilanteesta, jolloin jokin este ilmaantuu turvaetäisyyden (1,2 metriä) sisälle. Syitä robottibussin itse tekemiin hätäjarrutuksiin olivat mm. ajoradalla lentävät lehdet, pöly, jalankulkija suoja tiellä tai kadunvarteen pysähtynyt jakeluajoneuvo.

Yleisesti ottaen robottibussi tunnisti hyvin suojatietä ylittäviä jalankulkijoita, jos suoja tie sijaitti kohtisuoraan robottibussin reittiin nähden. Suoja tie mutkassa taas osoittautui hieman ongelmalliseksi. Kokeilun aikana syntyi muutamia tilanteita, jossa jalankulkija lähti ylittämään suoja tietä robottibussin kääntyessä suoja tietä kohti.

Robottibussi tunnisti ajoradalle tulevan jalankulkijan ja hiljensi vauhtia välittömästi, mutta ei pysähtynyt. Tilanne päättyi lopulta robottibussin hätäjarrutukseen. Tilanne on myös jalankulkijan kannalta epämiellyttävä, jos robottibussi ajautuu liian lähelle.

TÄRKEIMMÄT OPIT SEURAAVIIN KOKEILUIHIN

Muut tienkäyttäjät noudattivat poikkeavia liikennejärjestelyitä vaihtelevasti. Kokeilujakson aikana ilmaantui tapauksia, jolloin ajoneuvot eivät noudattaneet poikkeusopastusta, kuten esimerkiksi liikennevaloja. Oli kuitenkin selkeästi huomattavissa, että muut tienkäyttäjät huomioivat alueen poikkeavat liikennejärjestelyt.

Nyt kun robottibusseja on onnistuttu testaamaan onnistuneesti erilaisissa liikenneympäristöissä, olisi seuraavassa vaiheessa syytä jäljitellä astetta aidompaa liikennetilannetta. Tämä todennäköisesti vähentäisi liikennerikkomuksia ja toimihenkilöiden tarvetta puuttua robottibussin toimintaan.

Robottibussien toimivuuden kannalta olisi tärkeää kokeilla sen toimivuutta myös vaihtelevissa keliolosuhteissa. Otaniemessä järjestetty kokeilujakso toteutettiin harvinaisen hyvissä sääolosuhteissa, jolloin havaintoja robottibussin toiminnasta vaihtelevissa olosuhteissa olivat vähäiset. Yleinen käsitys on kuitenkin se, että rankkasade, sumu, lumi, lentävät lehdet ja

pöly aiheuttavat vaikeuksia robottibussin toiminnalle ja nimenomaan ympäristön havainnointiin liittyvissä tekijöissä.

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 SOHJOA-hankkeen kokeilujaksoissa +2 °C.

Nyt suoritettut kokeilut ovat antaneet hyvät lähtökohdat seuraavien kokeilujen suunnittelulle. Tavoiteltavaa seuraavissa kokeiluissa olisi myös robottibussin nopeuden nostamista. Tämä edellyttää robottibussiteknologian kehittymistä.

Teksti on lyhennelmä artikkelijulkaisusta Tie&Liikenne -lehden numerossa 1/2017.



KIRJOITTAJAT

Ville Arffman

On toiminut SOHJOA-6aika -hankkeessa projekti-insinöörinä. Kokemusta robottibusseista on karttunut myös aiemmin kesällä 2015 järjestetyn CityMobil2-hankkeen tiimoilta Kivistön asuntomessujen yhteydessä järjestetystä demonstraatiosta. Koulutukseltaan Ville on ajoneuvoasentaja, tradenomi ja Auto- ja kuljetustekniikan insinööri. Pääpainona SOHJOA-6-aika hankkeessa Villen työnkuvana on ollut robottibussireittien kartoitus- sekä valmistelu, operointi ja raportointi. Hänen mielestään SOHJOA-6aika -hankkeen tärkein oppi on ollut robottibussien kokeilu- ja niiden toimivuuden kartoitus tieliikenteessä muun liikenteen seassa. Tieliikenne kokeiluilla on kartoitettu lähtötilanne sekä selvitetty sen tuomat haasteet ja kehityskohteet robottibussien liikennöinnille.

Noora Haavisto

On suorittanut käyttäjätutkimusta SOHJOA-6aika ja ROBUSTA-hankkeiden parissa. Noora on hallintotieteiden maisteri ja opiskelee tällä hetkellä toisena tutkintonaan kaupunkitutkimusta ja -suunnittelua. Tärkein oppi Nooran mielestä on se, kuinka tärkeää ihmisten kuuntelu ja tarpeiden tunnistaminen on tällaisten hankkeiden onnistumisen kannalta.

Azat Ismailogullari

On toiminut SOHJOA-6aika -hankkeessa projektiassistenttina kesästä 2017 alkaen. Kokemusta robottibusseista on karttunut myös aiemmin CityMobil2-hankkeen tiimoilta. Azat viimeisteli opintonsa tekemällä opinnäytetyön robottibussipilottien kaupallistamisesta ja valmistui auto- ja kuljetustekniikan insinööriksi maaliskuussa 2018. Hankkeen tärkein oppi on hänen mielestään ollut tutustuminen kotimaisten sekä ulkomaisten yhteistyötahojen kanssa toimimiseen.

Matias Lehmusjärvi

On toiminut SOHJOA-6aika-hankkeessa projektiassistenttina. Hän on teollisen muotoilun opiskelija ja painopisteenä hänellä on ollut robottibus-sipysäkin suunnittelu ja valmistus. Hän näkee tärkeänä olla kehityksessä mukana.

Oscar Nissin

On toiminut SOHJOA-6aika -hankkeen projektipäällikkönä. Koulutukseltaan hän on autotekniikan insinööri (AMK). Oscar on toiminut Metropolian hankkeissa yli 8 vuoden ajan ja on vahvasti mukana älykkään liikkumisen projekteissa. Hankkeen tärkein oppi hänen mielestään on älykkään liikkumisen kentän nykytilan realistinen näkemys ja tuntemus.

Ville Nousiainen

On toiminut SOHJOA-6Aika -hankkeessa Forum Virium Helsingillä projektisuunnittelijana. Koulutukseltaan Ville on auto- ja kuljetustekniikan insinööri. Robottibuseista Villellä on kokemusta CityMobil2-hankkeesta, jossa robottibusseilla ajettiin Kivistön juna-asemalta Vantaan asuntomesujen 2015 porteille. Ville on ollut toteuttamassa ja suunnittelemassa yhdessä Metropolian kanssa Helsingissä ajettavia robottibussireittejä.

Johanna Nyberg

Toimii Espoon kaupungin liikenteenhallintapäällikkönä. Koulutukseltaan hän on diplomi-insinööri (liikennetekniikka). Espoon liikenteenhallintayksikkö vastaa mm. liikenteen sujuvuudesta, pysäköinnin järjestämisestä kaduilla ja sen kehittämisestä, kaupunkipyöräjärjestelmästä sekä älyliikenteen kehittämisestä. Kaupungin näkökulmasta robottibussikokeilun tärkein oppi oli saada parempi ymmärrys siitä, mitä automaattiajoneuvojen mahdollinen yleistyminen kaupunkiliikenteessä tarkoittaa liikennesuunnittelun ja liikenneturvallisuuden näkökulmasta.

Tuomas Palonen

On toiminut SOHJOA-hankkeessa robottibussien operaattorina ja yhteyshenkilönä TTY:llä. Hän on tekniikan kandidaatti ja suorittaa diplomi-insinöörin tutkintoa (liikenne- ja kuljetusjärjestelmät). Hankkeen tärkeimmät opit liittyvät hänen mielestään siihen, miten ihmiset suhtautuvat automaattiseen liikenteeseen ja miten ihmiset omaksuvat uusilla kulkutavoilla liikkumisen osana päivittäistä liikkumista.

Roope Ritvos

On toiminut Forum Virium Helsingin osalta Sohjoa-6Aika-hankkeessa projektipäällikkönä. Forum Virium Helsingillä Roope toimii hankevalmistelun johtajana.

Eetu Rutanen

On toiminut SOHJOA-6aika -hankkeessa projekti-insinöörinä. Kokemusta robottibusseista on karttunut myös projektipäällikön töistä mySMART-Life-hankkeen robottibussikokeilun osalta sekä tähän liittyvästä Helsinki RobobusLine -hankkeesta. Koulutukseltaan Eetu on Auto- ja kuljetustekniikan insinööri. Hänen mielestään SOHJOA-6aika -hankkeen tärkein oppi on käytännönläheinen ymmärrys robottibussien testauksesta, kyvyistä sekä kytkemisestä osaksi liikennejärjestelmää.

Arto O. Salonen

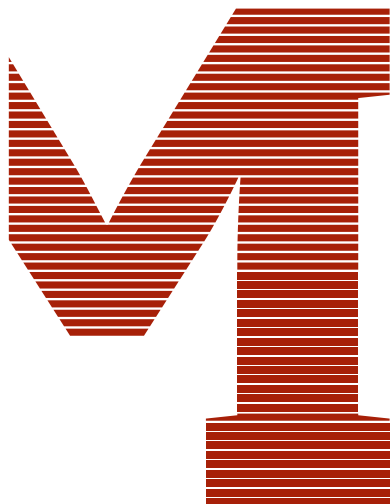
Toimii Älykkäämmän liikkumisen osaamiskeskittymän tutkimusjohtajana Metropoliassa. Hänellä on dosenttuuri sekä Helsingin että Itä-Suomen yliopistossa. Oleellisinta SOHJOA-hankkeessa on Salosen mukaan ollut aitojen käyttäjäkokemusten saaminen itseajavien kulkuneuvojen matkustajilta. Tällä tavoin kerätyn datan perusteella toteutetut ja kansainvälisissä joutaleissa julkaissut tutkimukset lisäävät hankkeen ainutlaatuisuutta.

Harri Santamala

Loi SOHJOA hankkeen yhdessä Markku Haikosen kanssa sekä toimi sen projektipäällikkönä ensimmäiset 6 kk. Koulutukseltaan hän on diplomi-insinööri (konetekniikka). Harri on toiminut Metropoliassa vetämässä useita hankkeita yli vuosikymmenen ja toimii nykyään perustamansa yrityksen, Sensible 4, toimitusjohtajana. Tärkein oppi hänen mielestään on liittynyt teknologiaan sekä erityisesti verkostotoimintaan jota hän on hankkeessa ollut luomassa.

Raimo Tengvall

On toiminut SOHJOA-6Aika -hankkeessa pro gradu -työn aineiston kerääjänä robottibussin ja muun liikenteen välisestä vuorovaikutuksesta. Koulutukseltaan hän on valtiotieteiden kandidaatti ja suorittaa maisterin tutkintoa Helsingin yliopistolla, pääaineenaan sosiologia. Hän on työskennellyt monipuolisesti liikenteen parissa vuodesta 2005 alkaen auto- ja liikennealan journalistina. Konkretian ystävänä hän on SOHJOA-hankkeessa arvostanut paljon puhutun automaattiajamisen rohkeaa kokeilua todellisessa liikenteessä.



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

SOHJOA-robottibussi Suomen urbaaneissa olosuhteissa

SOHJOA-6aika -hanke paikallisti vuosina 2016–2018 käytännön ajokokeiluun, miten automatisoitu, sähköinen liikenneväline solahtaa suomalaiseen kaupunkiliikenteeseen.

Käsillä oleva artikkelikokoelma kattaa robobussikokeilujen koko kirjon, avaa automaattiajoneuvon teknologiaa ja käytännön toimenpiteitä sellaista käyttöön otettaessa. Se ulottaa tutkivan otteensa myös automaattibussin ensi kertoja kohdanneiden tienkäyttäjien ja kyytiin hypänneiden matkustajien mielenmaisemaan.

Suomessa ensimmäinen julkisilla teillä ajellut robottibussi ja Euroopan Komission RegioStars Awards -palkintoonkin ehdolle nimetty SOHJOA-hanke on ollut laajan globaalin kiinnostuksen kohteena.

SOHJOA-robottibussin mukana kulkeneet kirjoittivat omista kokemuksistaan ja artikkelit luettuasi olet viisaampi automatisoidun julkisen liikenteen nykytilasta ja tulevaisuudesta.



6Aika

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



ISBN 978-952-328-080-9 (nid.)
ISBN 978-952-328-079-3 (pdf)

ISSN 1799-599X (nid.)
ISSN 1799-6007 (pdf)


Metropolia
metropolia.fi