

Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen



# Robottibussikokeilut Suomessa

Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry tietoisku 4.12.2018



## Eetu Rutanen

Auto- ja kuljetustekniikan insinööri 2016  
Projektipäällikkö, Ajoneuvo- ja konetekniikka

### KOKEMUSTA ROBOTTIBUSSIEN PARISSA

- Sohjoa 6/2016-5/2018
- mySMARTLife 12/2016-11/2021
- Helsinki RobobusLine 1/2017-12/2019
- Sohjoa Baltic 10/2017-9/2020
- FABULOS 1/2018-12/2020

[eetu.rutanen@metropolia.fi](mailto:eetu.rutanen@metropolia.fi)

P. +358 40 835 6917



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

# Esityksen sisältö

- Robottibussikokeilut Suomessa yleisesti
- Käytössä olleet robottibussit
- Liikennejärjestelyt
- Sopivat operointiympäristöt
- Havaintoja kokeiluista
- Robottibussit osana liikennejärjestelmää ja julkista liikennettä
- Tulevaisuuden näkymiä

Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

# Robottibussikokeilut Suomessa yleisesti

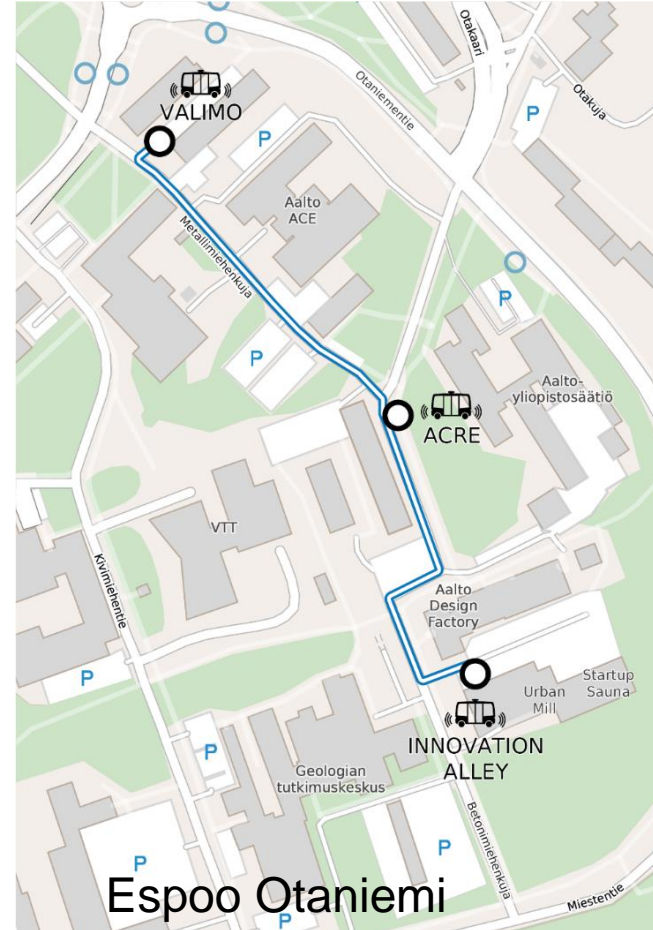
- Citymobil 2 –hankkeessa robottibussit suljetulla reitillä Kivistön asuntomessuilla 2015
- Suomessa lainsäädäntö mahdollistaa kuskittomat tieliikennekokeilut ajoneuvoilla → kuljettajan ei tarvitse pitää ratista kiinni → Sohjoa-hanke
- Sohjoa-hankeen pohjalta muut kokeilut ja hankkeet

# Sohjoa-hanke 6/2016-5/2018

- Ensimmäiset tieliikennekokeilut robottibusseilla Helsingin Hernesaassa 2016
- Lyhyitä noin kuukauden mittaisia demoja Helsingissä, Espoossa, Tampereella ja Helsinki Vantaan lentokentällä + pienempiä suljetun alueen demoja
- Kaksi ranskalaista Easymile EZ10 robottibussia
- Avoin innovaatioalusta kokeilijayrityksille
- Trafin myöntämät koekilvet → robottibussi rekisteröity henkilöautoksi

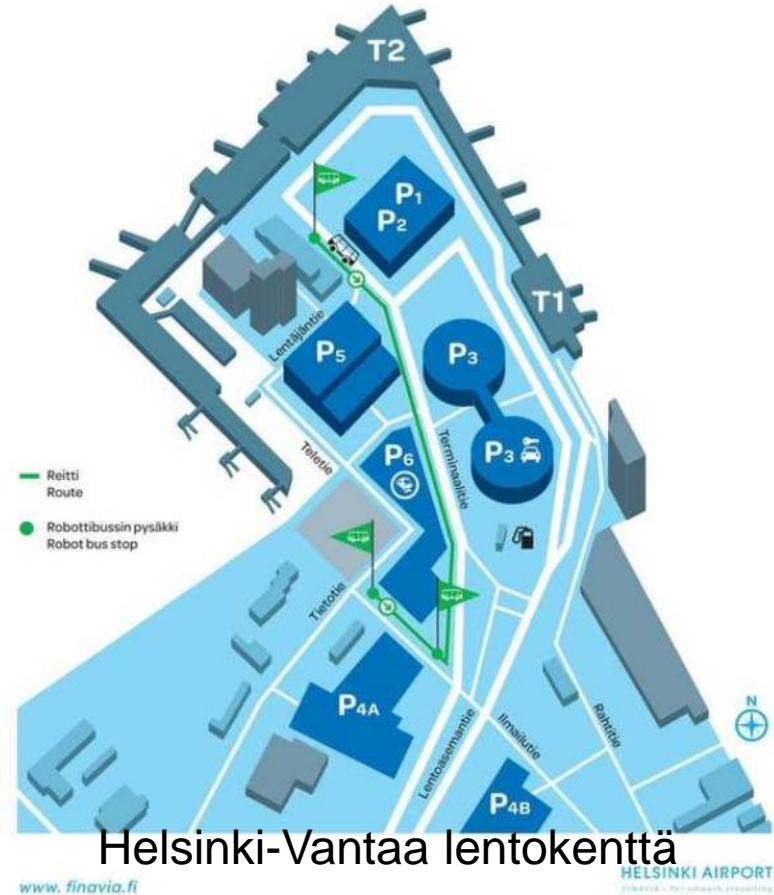
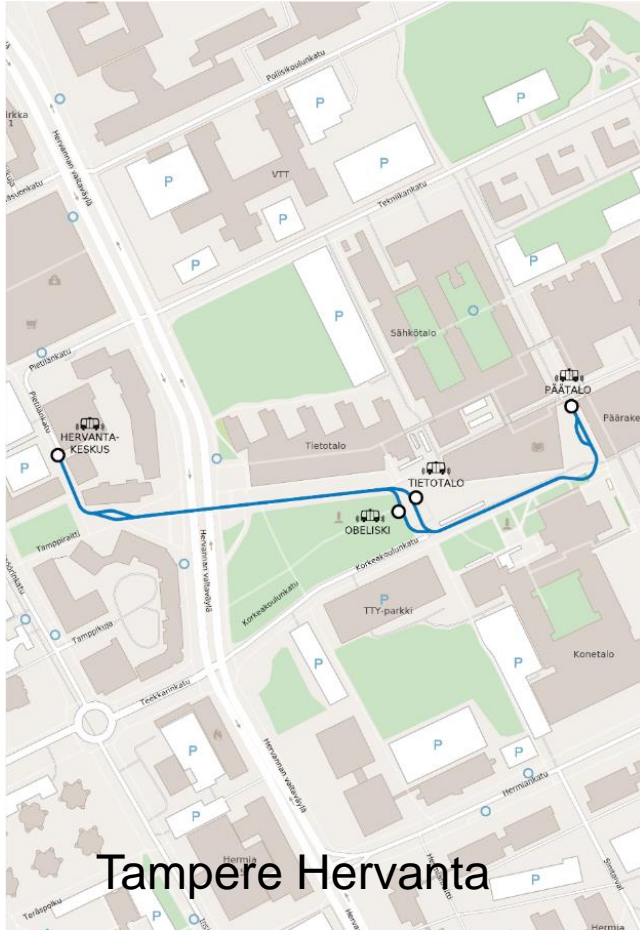
Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

# Robottibussireittejä Sohjoa-hankkeessa

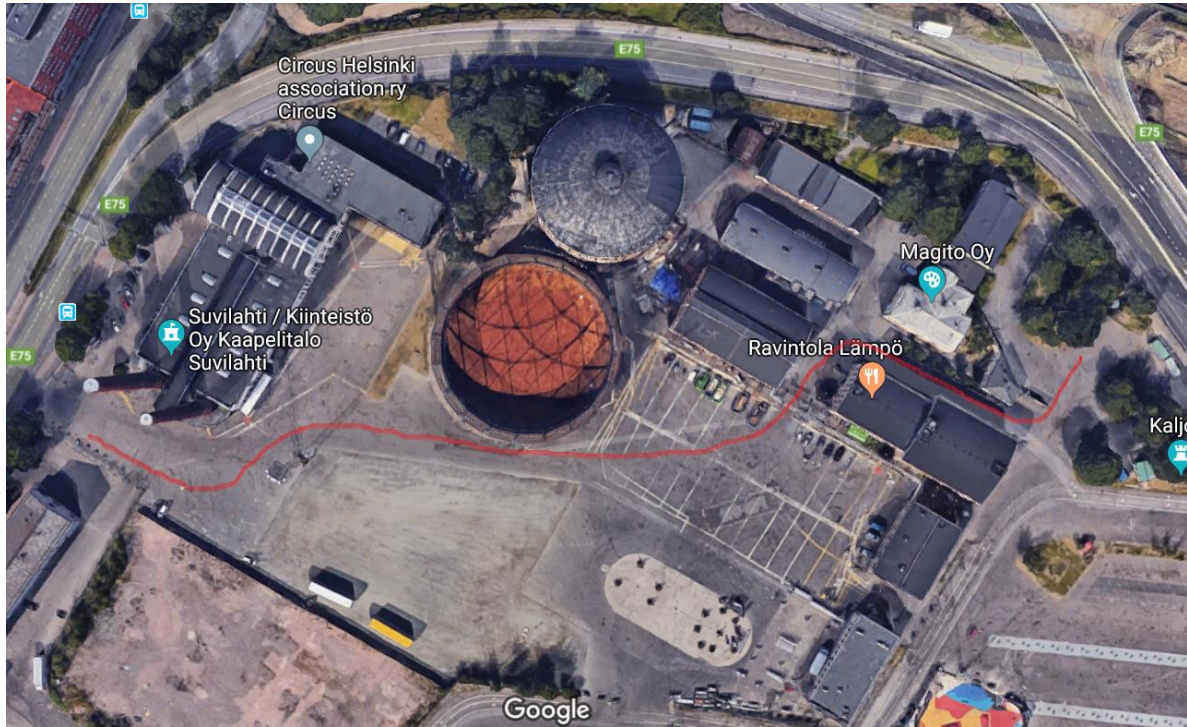




# Robottibussireittejä Sohjoa-hankkeessa



# Robottibussireittejä Sohjoa-hankkeessa



Helsinki Suvilahti

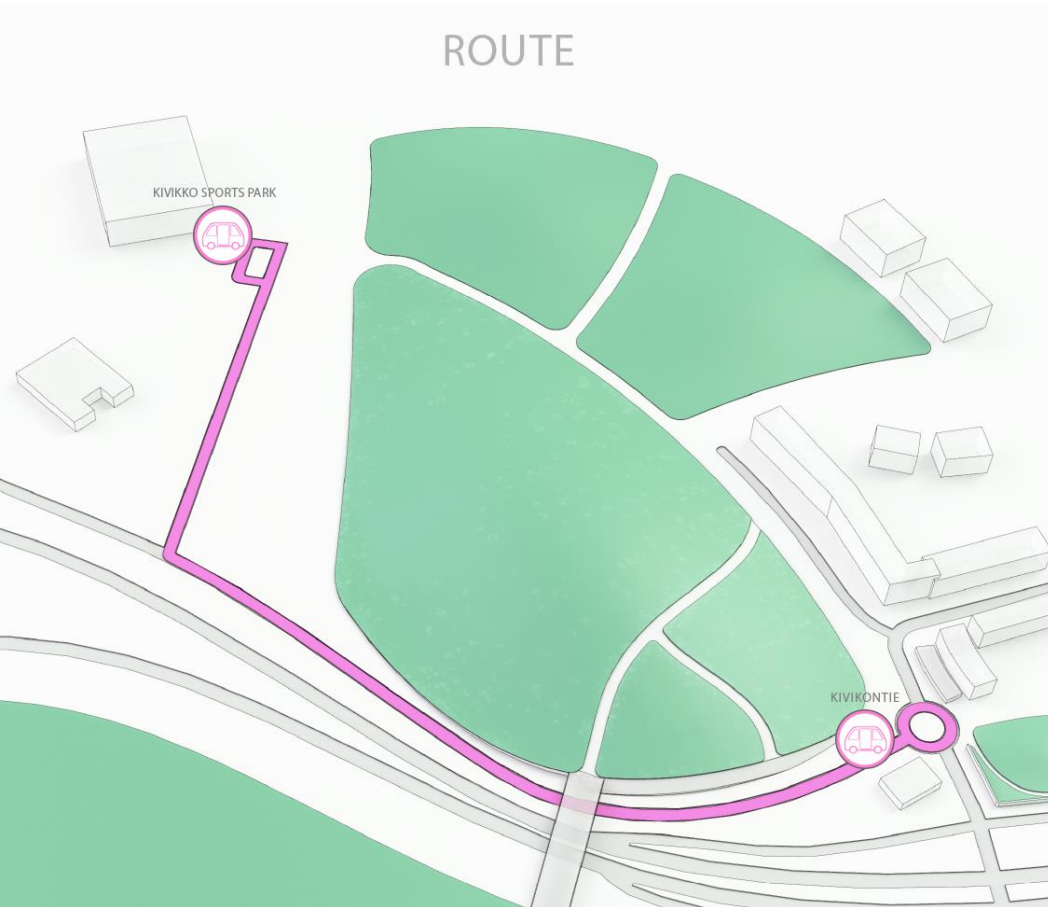


# Helsinki RobobusLine 1/2017-12/2019

- Osa EU-laajuista H2020 mySMARTLife hanketta
- Ensimmäinen pidempikestoinen säännöllisen linjaliikenteen robottibussikokeilu Suomessa
- Tavoitteena selvittää robottibussin pidempiaikaista käytettävyyttä
- Bussi liikennöi Helsingin Kivikossa 14.5-14.11.2018 arkisin klo 9-15
- Integrointi HSL:n Reittioppaaseen linjanumerolla 94R
- Kokeilu jatkuu keväällä 2019 mahdollisesti eri reitillä

Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen


# Kivikon reitti




- Reitin pituus yhteen suuntaan n. 1 km
- Maksiminopeus 18 km/h
- Kaksi pysäkkiä, joista toinen säännöllisen linjaliikenteen linjan 94B pysäkki





# Kivikon reitti

Reittiopas


FI SV EN  HSL.fi

Route

 **94R**

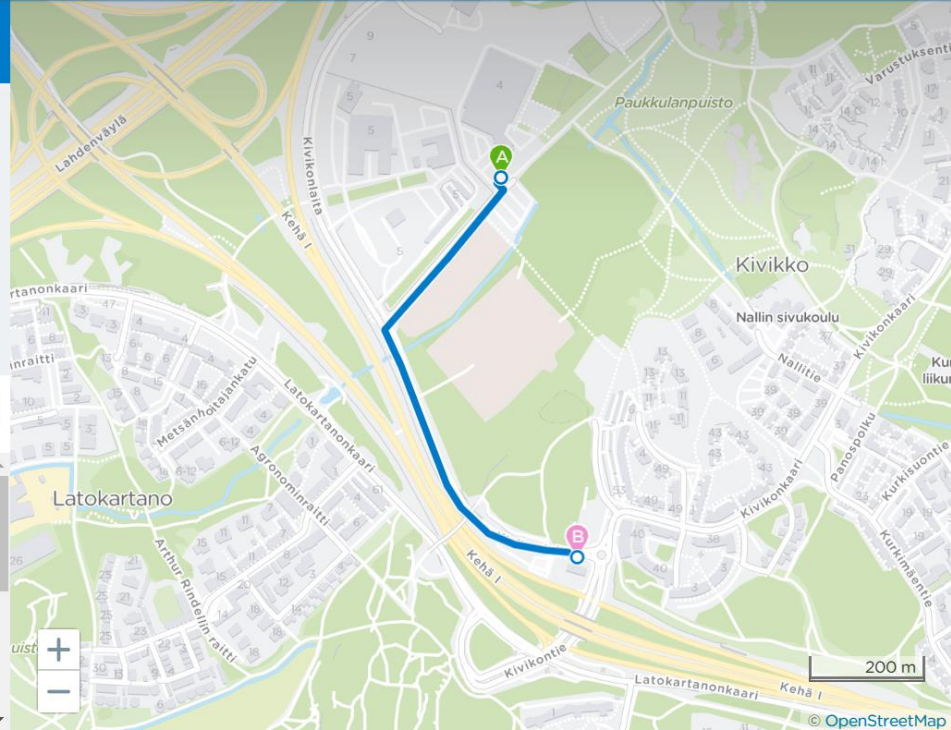
 STOPS  TIMETABLE  DISRUPTIONS 

Kivikon liikuntap. → Kivikontie

TODAY 

Kivikon liikuntap. Kivikontie

09:00	.....	09:05
09:20	.....	09:25
09:40	.....	09:45
10:00	.....	10:05
10:20	.....	10:25
10:40	.....	10:45
11:00	.....	11:05
11:20	.....	11:25
11:40	.....	11:45



© OpenStreetMap  
tekemiseen

# Käytössä olleet robottibussit



Navya Autonom Shuttle –  
Helsinki RobobusLine/mSL

Easymile EZ10 -  
Sohjoa

Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

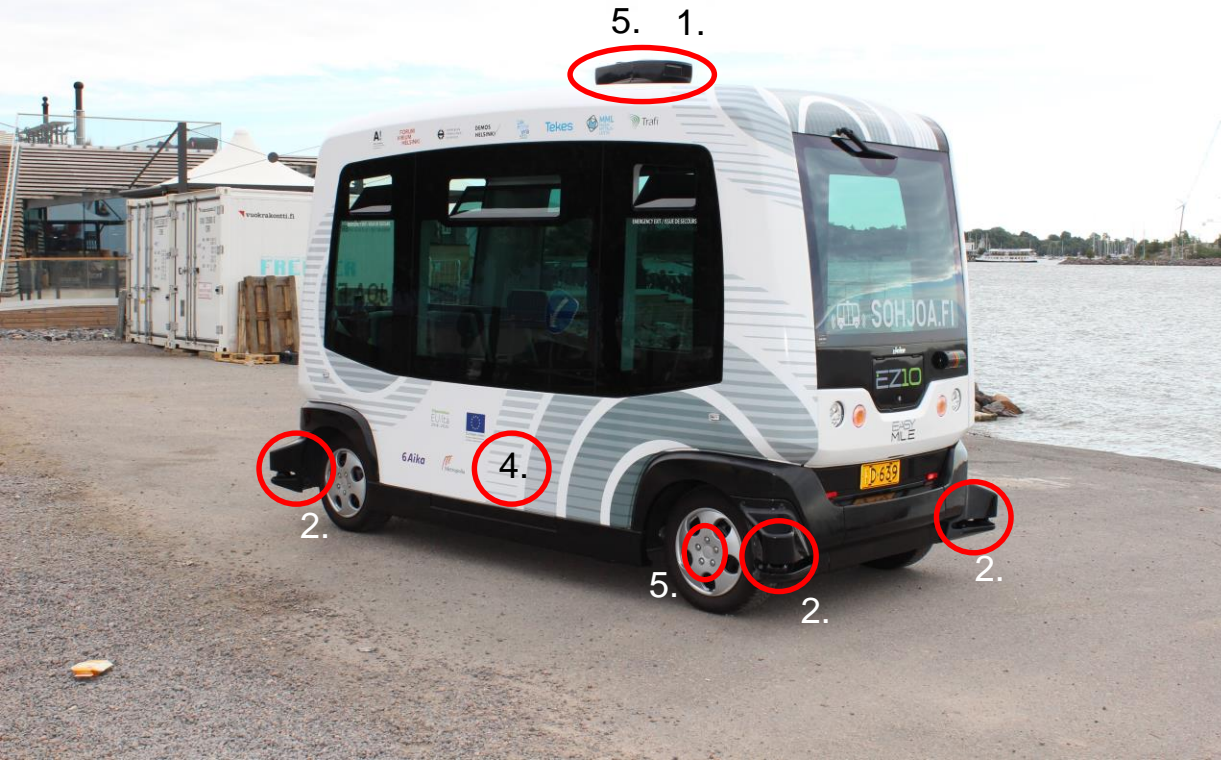


# Käytössä olleet robottibussit yleisesti

- *Sähköinen pikkubussi joka kykenee itsenäiseen ajoon tietyissä olosuhteissa*
- *Verrattavissa raitiovaunuun joka kulkee näkymättömillä kiskoilla – vaakahissi*
- Reitti ohjelmoidaan etukäteen ja tietyt liikennetilanteet ohjelmoitavissa
- *Ei pysty kiertämään esteitä itsenäisesti*
- Paikantaa itsensä satelliiteilla ja optisilla tutkilla (LiDAR = Light Detection and Ranging)
- Tarvitsevat kiinteitä kohteita (kuten rakennuksia) LiDAReille ja/tai avointa maastoa satelliittipaikannukseen
- Esteen tunnistus LiDAR-tutkilla
- Tekninen huippunopeus 45 km/h
- *Käytännön operointinopeus automaattitilassa alle 20 km/h*
- *Operaattori = vastuullinen henkilö/kuljettaja bussin kyydissä turvaamassa operoinnin*
- *Rekisteröity koekilvin henkilöautoksi → 8 matkustajaa + operaattori*
- Ei rattia eikä polkimia – manuaaliohjaus joystickillä

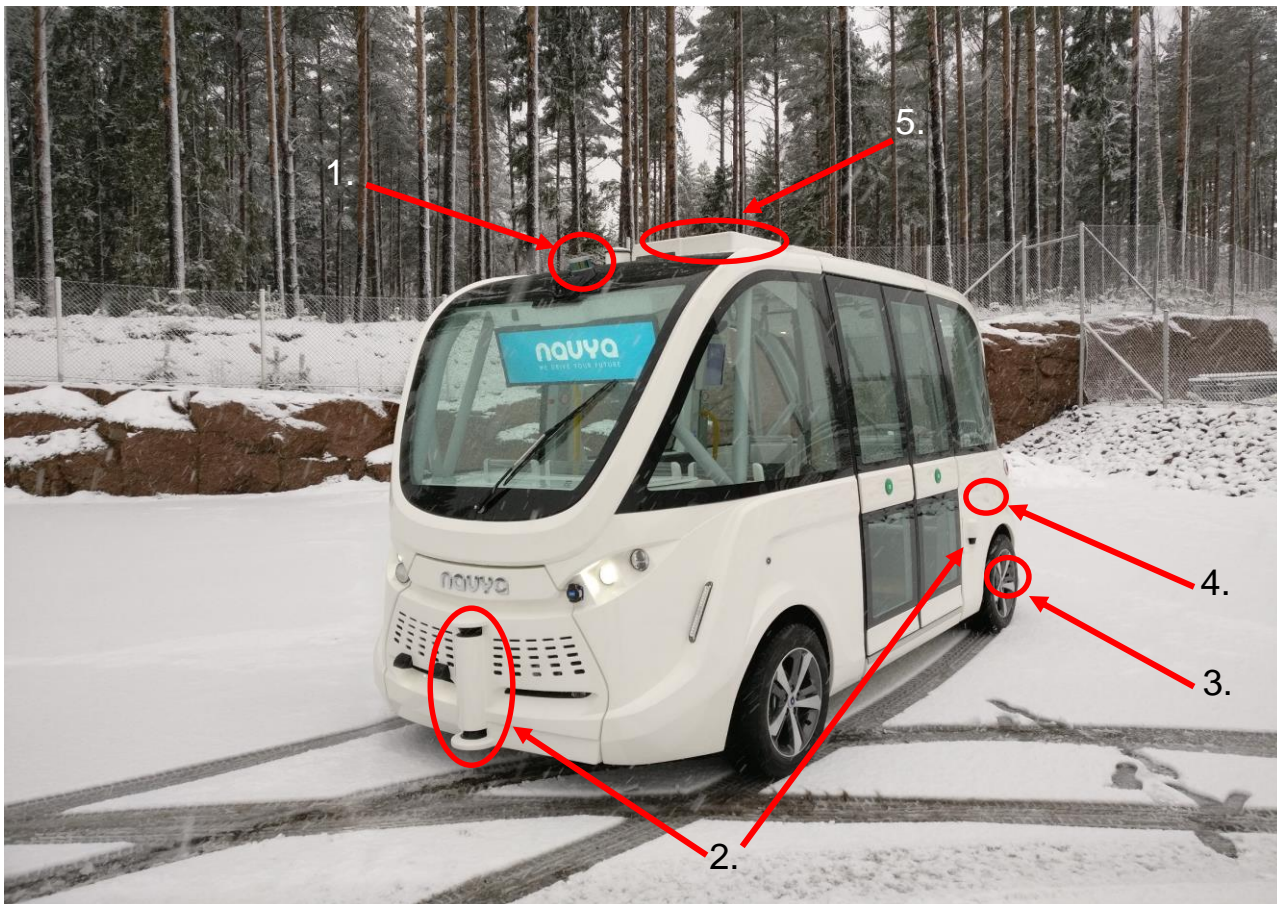


# Easymile EZ10



1. 3D LiDAR (x 2)
2. 2D LiDAR (x 4)
3. Odometry
4. Inertial measurement unit (IMU)
5. Telecommunication
  - D-GPS antenna
  - LTE/MIMO antenna
  - Radio antenna

# Navya Autonom Shuttle



1. 3D LiDAR (x 2)
2. 2D LiDAR (x 6)
3. Odometry
4. Inertial measurement unit (IMU)
5. Telecommunication
  - D-GPS antenna
  - LTE/MIMO antenna
  - Radio antenna

# Eroavaisuudet käytössä olleiden robottibussien välillä

<b>Easymile EZ10</b>	<b>Navya Autonom Shuttle</b>
Esteentunnistus 4 kpl 2D LiDAReilla - katvealueet	Esteentunnistus 2D sekä 3D LiDAReilla
Risteystilanteet eivät ole ohjelmoitavissa	Risteystilanteet ja suojatiet ohjelmoitavissa
Paikantamiseen tarvitaan sekä LiDAR tutkia että satelliitteja	Bussi voi paikantaa itsensä käyttämällä myös ainoastaan satelliitteja
Huippunopeus automaattitilassa 12 km/h	Huippunopeus automaattitilassa 18 km/h



# RTK-tukiaseman (Real Time Kinematic) asennus



ja elämästä  
tulevaisuuden  
tekemiseen

# Liikennejärjestelyt

- Robottibussit ovat uusi ilmiö tieliikenteessä
- Operointialueilla vähintään varoituskylttejä
- Etuajo-oikeus oli tehtävä liikennejärjestelyin EZ10 robottibussille

Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen



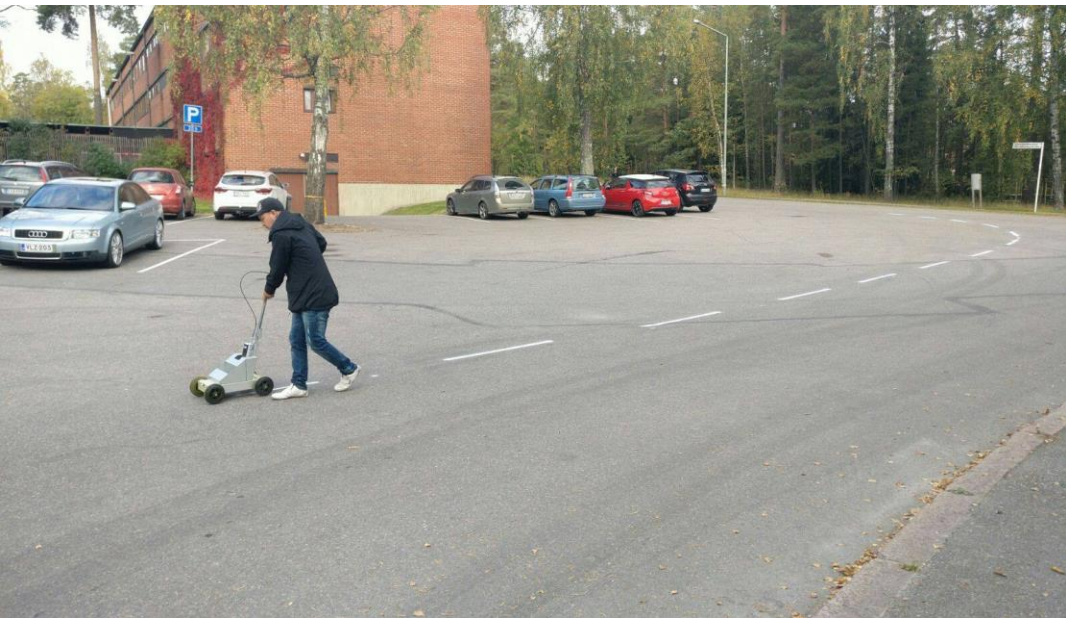


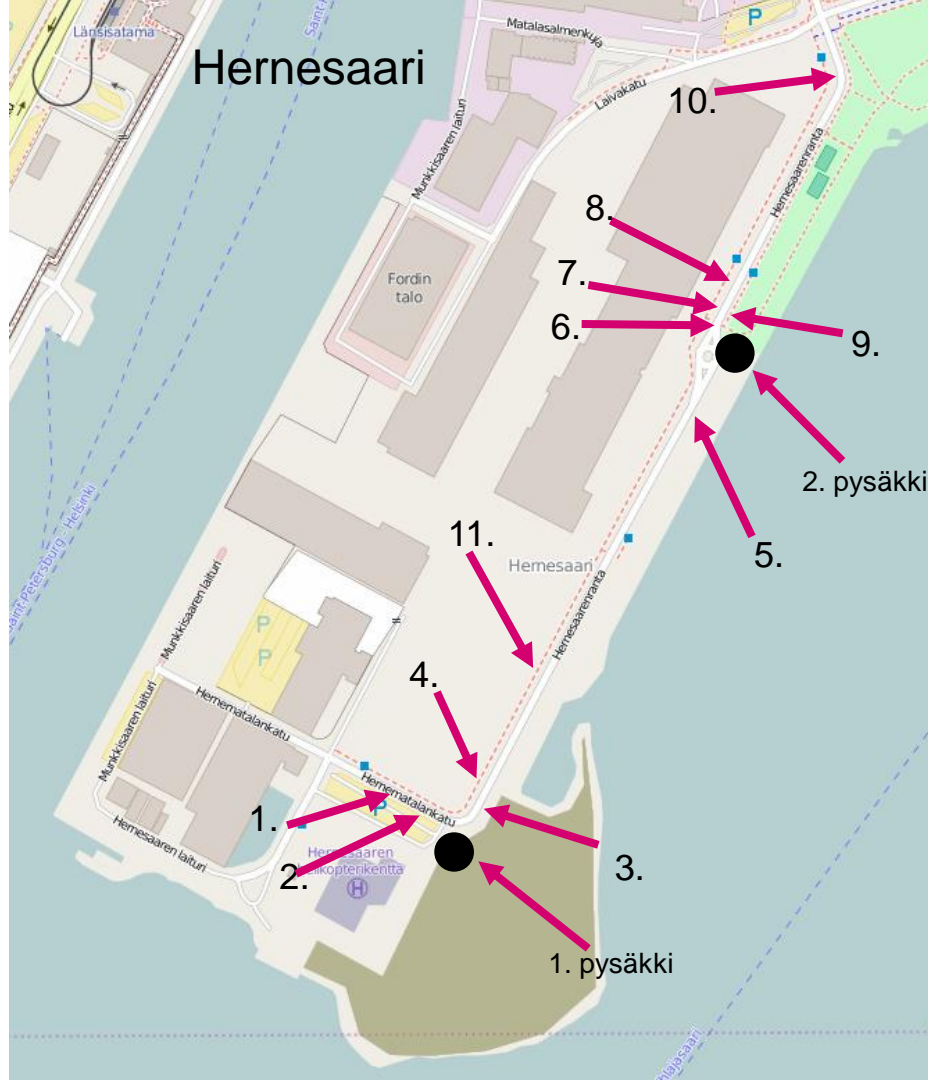




Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen





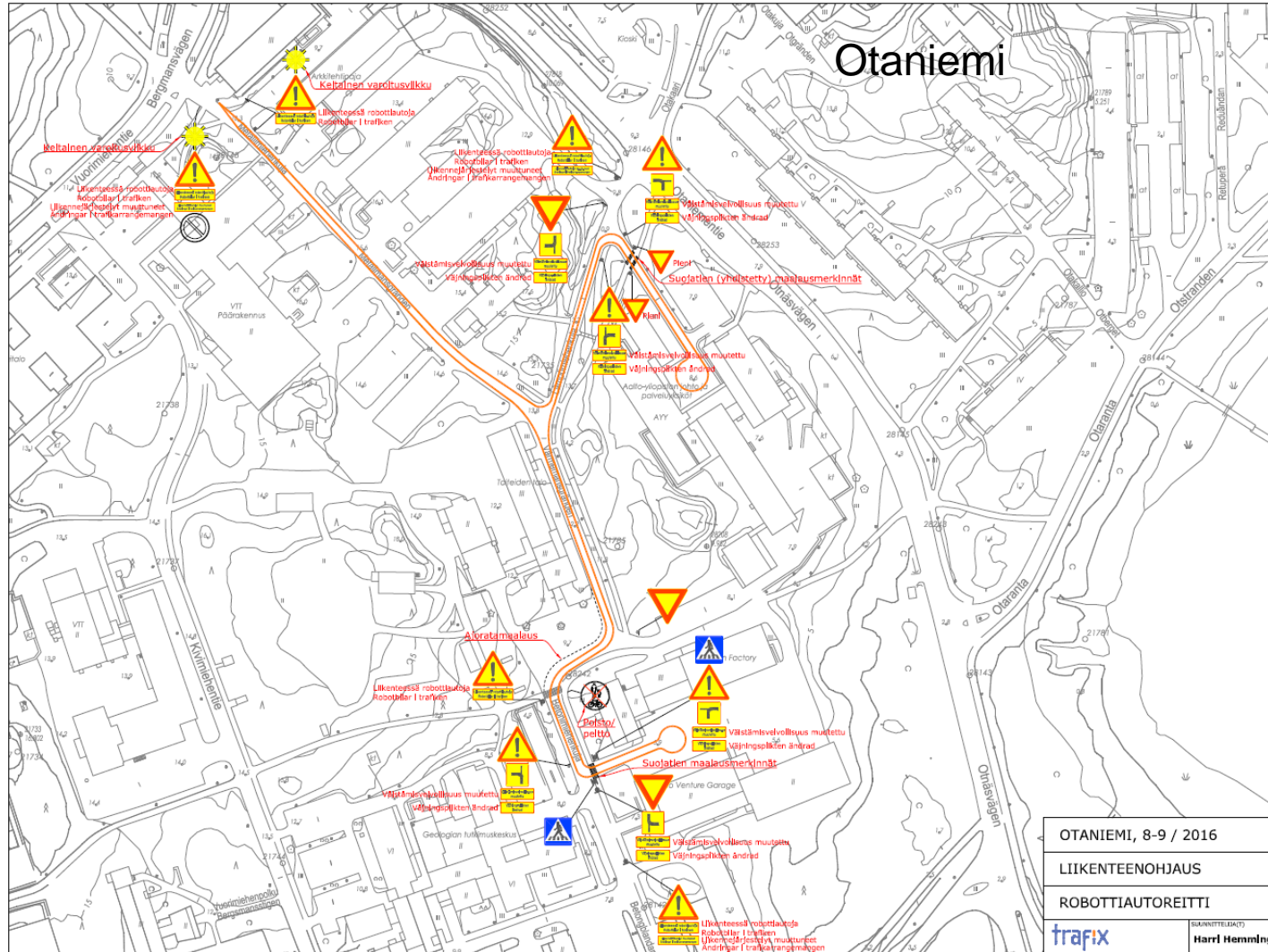


# Hernesaari

1. Liikennemerkkiihdistelmä:
  - Liikennemerkki 189. (muu vaara)
  - Robottijoneuvo-tekstit:
    - Liikenteessä robottiautoja Robotbilar i trafiken
  - Viilkkuva keltainen valo liikennemerkin yhteydessä
2. Liikennevalo
3. Liikennemerkkiihdistelmä:
  - Siirtokehotuskyltti
  - Vaikutusalue alkaa (valkoinen)
4. Liikennemerkkiihdistelmä:
  - Liikennemerkki 189. (muu vaara)
  - Robottijoneuvo-tekstit:
    - Liikenteessä robottiautoja Robotbilar i trafiken
  - Viilkkuva keltainen valo liikennemerkin yhteydessä
5. Liikennevalo
  - Pysäytysviiva
6. Liikennemerkki 371. (pysäyttäminen kielletty)
7. Liikennemerkkiihdistelmä :
  - Liikennemerkki 189. (muu vaara)
  - Robottijoneuvo-tekstit:
    - Liikenteessä robottiautoja Robotbilar i trafiken
  - Viilkkuva keltainen valo liikennemerkin yhteydessä
  - Hidastetöyssi
8. Liikennevalo (vähimmäisetäisyys suojatiestä 30 m)
  - Nopeusnäyttö liikennevalon yhteyteen
  - Pysäytysviiva
9. Liikennemerkkiihdistelmä:
  - Siirtokehotuskyltti
  - Vaikutusalue päättyy (valkoinen)
10. Robottijoneuvojen testausalueelle saapuminen – huomiokyltti
11. Siirtokehotuskyltti



# Otaniemi



OTANIEMI, 8-9 / 2016		PIKILIS/LUONNOS	LS-01-01
LIIKENTEENOJAJUS		ANALYYSI	22.6.2016
ROBOTTIAUTOREITTI		KOORDINAATTISET	ETRS-GK25/ N2000
trafix	MIÄNITTEILIJÄT	SIIRTO	A3 1:1500
	Harri Hemming		

saamista  
oivallusta  
levaisuuden  
kemiseen







# Hervanta

1. Liikennemerkkiyhdistelmä
  - Robottiajoneuvojen testausalueelle saapuminen- huomiokyltti
  - Liikennemerkki 189. (muu vaara)
  - Lisäkilpi (liikenteessä robottiautoja, Robotbilar i trafiken)
2. Liikennemerkkiyhdistelmä
  - Liikennemerkki 189. (muu vaara)
  - Lisäkilpi (liikenteessä robottiautoja, Robotbilar i trafiken)
3. Liikennemerkkiyhdistelmä
  - Robottiajoneuvojen testausalueelle saapuminen- huomiokyltti
  - Liikennemerkki 189. (muu vaara)
  - Lisäkilpi (liikenteessä robottiautoja, Robotbilar i trafiken)
4. Kaistamaalaus
5. Liikennemerkkiyhdistelmä
  - Liikennemerkki 189. (muu vaara)
  - Lisäkilpi (liikenteessä robottiautoja, Robotbilar i trafiken)
6. Liikennemerkkiyhdistelmä
  - Liikennemerkki 189. (muu vaara)
  - Lisäkilpi (liikenteessä robottiautoja, Robotbilar i trafiken)
7. Työmaa-vilkku tms.
8. Työmaa-vilkku tms.
9. Liikennemerkkiyhdistelmä
  - Liikennemerkki 189. (muu vaara)
  - Lisäkilpi (liikenteessä robottiautoja, Robotbilar i trafiken)
10. Liikennemerkki 423. (Yhdistetty pyörätie ja jalkakäytävä)
  - Ramppi (massaa)
11. Liikennemerkkiyhdistelmä
  - Liikennemerkki 189. (muu vaara)
  - Lisäkilpi (liikenteessä robottiautoja, Robotbilar i trafiken)

ista  
lusta  
suden  
seen

# Hervanta



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen





# Sopivat operointiympäristöt

- Parhaiten kokeiluissa käytetyt robottibussit sopisivat tällä hetkellä suljetuille alueille ja teille (kampukset, isot tehdasalueet)
- Tieliikennekokeiluissa olisi pyrittävä liikennöimään busseilla max 30 km/h nopeusrajoitusalueilla
- Sopivia ympäristöjä ovat uudet asuinalueet, joissa kadunvarsipysäköinti on selkeästi merkattu tai on pois kokonaan ajoradalta
- Robottibussit eivät toimi metsäisissä ympäristöissä, joissa puita on lähellä tietä molemmiin puolin
- Siltojen alitukset voivat tuottaa ongelmia jos kiintopisteitä (rakennukset tai muut suurehkot kiinteät objektit) ei ole ympäristössä
- Talviset olosuhteet ja ympäristöt tuottavat ongelmia



# Kalasadama



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

# Herttoniemenranta

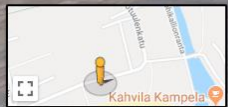


ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen



10 Solvinkinkatu  
Helsinki, Uusimaa  
Google, Inc.  
Street View - syysk. 2011

# Aurinkolahti



Google

Kuva otettu: syysk. 2011 © 2018 Google Suomi Ehdot Ilmoita ongelmasta

tulevaisuuden  
tekemiseen





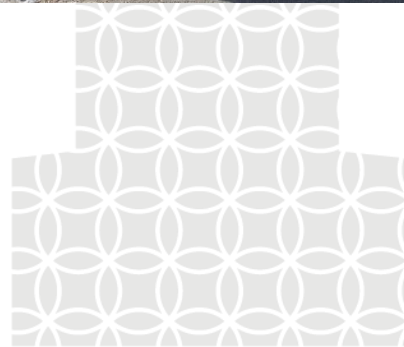
Mustikkamaa – ei  
toimi!



Luminen ympäristö –  
ei toimi!



## Sillat ja tunnelit – mahdollisia ongelmia!



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

# Havainnot kokeiluista

- Kokeiluissa havainnointi tilanteita joissa operaattorin on täytynyt puuttua bussin toimintaan ja pyritty kirjaamaan tilanteita ylös
- Yleisimmät syyt:
  - Pysäköidyt ajoneuvot (merkittävin syy jokaisella operointialueella)
  - Kasvillisuus teiden reunoilla
  - Sade
  - Tunnistamattomasta syystä johtunut pysähtyminen
- Keinot joilla tilanteet ovat ratkenneet:
  - Bussi on pysähtynyt ja ajoa on jatkettu automaattitilassa kuittaamalla ajon jatkaminen esim. bussin sisällä olevasta käyttöpaneelistä
  - Bussi on pysäytetty hätästop-painikkeella (muutamia Sohjoa-hankkeessa) tai manuaaliohjaimella
  - Bussi on otettu lennosta manuaaliohjaukseen ja tämän jälkeen kytketty automaattitilaan sopivassa paikassa mikäli mahdollista
- Operaattorin subjektiivisella toiminnalla vaikutusta eri tilanteisiin – varman päälle ottaminen
- Ei statistiikkaa manuaaliajon/automaattiajon määristä

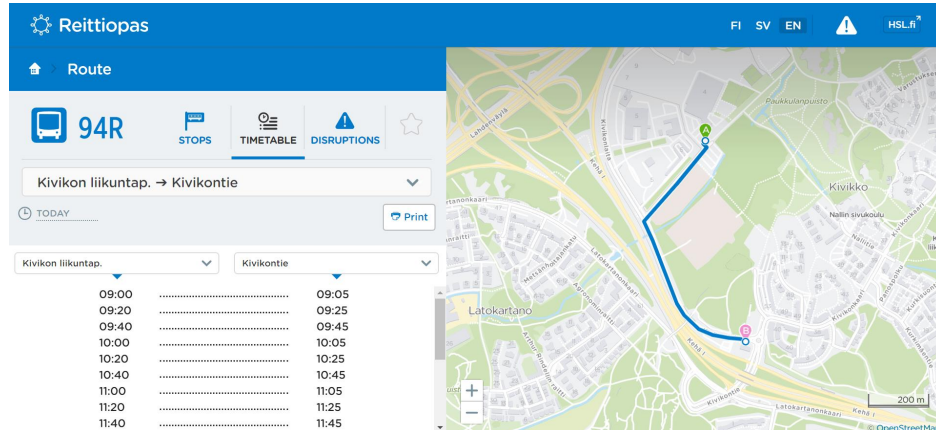
Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

# Havainnot kokeiluista (Helsinki RobobusLine)

- 91 kirjattua tapahtumaa
- Ei ole otettu huomioon
  1. Ohitustilanteita (tapahtui useita lähes joka kierroksella)
  2. T-risteyksen ennalta ohjelmoitua pysähtymistä
  3. Pysäkeiltä lähtemistä
  4. Liikenneympyrässä bussin epämääräistä toimintaa

# Havainnot kokeiluista (Helsinki RobobusLine)

- Bussi liikennöi Kivikossa arkisin klo 9-15 linjalla 94R aikavälillä 14.5-26.10.2018
- Päivässä 18 lähtöä Kivikon liikuntapuistolta 20 min vuorovälein
- Päivittäinen ajosuorite 18 lähdöllä 35 km
- Ajetut kilometrit yhteensä: 3017 km



The screenshot shows the Reittiopas application interface. At the top, it displays 'Reittiopas' and language options (FI, SV, EN) along with the HSL.fi logo. Below this, the route is identified as '94R' with tabs for 'STOPS', 'TIMETABLE', and 'DISRUPTIONS'. The route is set from 'Kivikon liikuntap.' to 'Kivikontie'. A 'Print' button is visible. The main part of the screen shows a map with a blue line indicating the route. Below the map, a timetable is displayed for the route.

09:00	09:05
.....	.....
09:20	09:25
09:40	09:45
10:00	10:05
10:20	10:25
10:40	10:45
11:00	11:05
11:20	11:25
11:40	11:45

Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen



# Ajojen toteutuminen

<b>14.5-14.11.2018</b>	<b>Ajopäivät</b>	<b>Lähdöt</b>	<b>Tunnit</b>
Suunniteltu	130	2310	770
Toteuma	97	1564	516
Poikkeama (n)	33	746	254
Poikkeama (%)	25	32	33
<b>14.5-31.8.2018</b>			
Suunniteltu	77	1370	456
Toteuma	75	1248	411
Poikkeama (n)	2	122	45
Poikkeama (%)	3	9	10

sta  
usta  
suiden  
tekemiseen

# Syyt liikennöinnin poikkeamiin

- Yleiset syyt koko liikennöintijaksona:
  - RTK-tukiaseman ja bussin väliset yhteysongelmat
  - Rankat sateet
  - Reitissä/bussin toiminnassa havaittujen epämääräisyyksien selvittäminen
  - Työmaakalusto reitillä
  - Ajoneuvot parkissa esimerkiksi bussipysäkillä
  - Poikkeavat liikennejärjestelyt

# Syyt liikennöinnin poikkeamiin

- Erityiset syyt kesäkaudella (14.5-31.8.2018):
  - Helle/ilmastointi kulutti akkua (33 kWh)
- Syyskaudella (1.9-14.11.2018)
  - Bussiin tehty ohjelmistopäivitys (6 päivän katkos liikennöinnissä)
  - Todennäköisesti pakkasen aiheuttamat akkuongelmat jotka aiheuttivat pitkät katkokset liikennöinnissä
  - 25.10 jälkeen ei enää liikennöity



# Pysäköityjä ajoneuvoja



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

# Työmaat



nista  
allusta  
aisuuden  
niseen



# Liikennetilanteita



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen



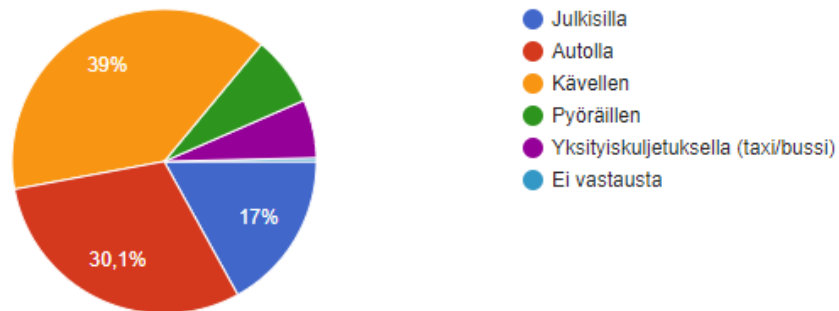
# Matkustajat

Matkustajia yhteensä	Matkustajat/operointipäivä	Matkustajat/h	Matkustajat/lähtö
1296	13,4	2,5	0,8

- Noin 70 % matkustajista tuli vain kokeilemaan bussia – bussi ei osana matkaketjua

Millä kulkumuodolla tulit robottibussin kyytiin?

1 296 vastausta



# Matkustajat ja muut tienkäyttäjät

- Todellisiin käyttötilanteisiin ja käyttäjäkokemuksiin ei olla vielä päästy → miten matkustajat suhtautuvat, kun bussissa ei ole fyysisesti ketään vastuullista henkilöä kydyssä?
- Matkustajat robottibussin kydyssä pääosin kiinnostuneina ja positiivisin mielin
- Autoilijat hermostuneet ajaessaan hitaan (18 km/h) bussin takana → riskinotto ja vaaralliset ohitukset
- Autoilijat eivät aina tiedäneet miten bussin kanssa tulisi toimia tietyissä tilanteissa (esim. pysäkiltä lähteminen)

# Operaattori bussin kyydissä

- Ympäristöstä riippumatta operointi saattaa olla stressaavaa operaattorille, kun ei tunne olevansa 100 % ”tilanteen herra”
- Välitön puuttuminen bussin toimintaan erilaista ja haastavampaa verrattuna normaalin ajoneuvoon (ei rattia ja polkimia)
- Matkustajat kyselevät paljon ja samaan aikaan pitäisi keskittyä liikenteeseen
- Ei kunnollista penkkiä tai tiloja muuten ”ajaa” bussia

# Havainnot kokeiluista

- Robottibussit eivät vielä valmiita tuotteita varsinkaan tieliikenteeseen
- Bussien automaatiotasoa on oltava korkeammalla tasolla, jotta fyysisesti bussin kyydissä olevasta operaattorista voidaan luopua
- Robottibussit eivät sovellu toistaiseksi Suomen talvisiin olosuhteisiin
- Turvavyön käyttö vähintäänkin suositeltavaa
- Todennäköisesti operaattori on bussin kyydissä vielä pitkään vaikka bussit teknisesti kykenisivät etävalvottuun operointiin
- Operointiympäristöstä riippumatta tulee jossain vaiheessa väistämättä vastaan tilanteita joita bussi ei kykene itsenäisesti selvittämään vielä pitkään aikaan



# Havainnot kokeiluista

- Julkinen liikenne toimii hyvin Helsingissä → hankala löytää alueita joissa ei jo kulkisi busseja
- Jos joitain reittejä esimerkiksi HSL on ehdottanut, ovat nämä olleet sellaisia mitä ei robottibusseilla kyetä toistaiseksi ajamaan

# Robottibussit osana liikennejärjestelmää ja julkista liikennettä

- Sopivat toistaiseksi parhaiten kiireettömään ja vapaa-ajan liikkumiseen
- Pitäisi saavuttaa vähintään 30 km/h huippunopeus, jotta voidaan kilpailla muita liikkumismuotoja vastaan
- Missä robottibussien lataus ja säilytys kun ei voi ajaa pitkiä matkoja varikolle?
- Mitkä ovat ne paikat missä robottibusseja oikeasti tarvitaan ja missä niitä käytettäisiin?
- Onko last mile ongelma todellinen pääkaupunkiseudulla?
- Pystytäänkö vaikuttamaan autoilijoihin vai olisivatko robottibussit vain lisäpalvelu jo julkista liikennettä ennestään käyttäville? Kävelyn ja pyöräilyn väheneminen?
- Robottibussien laaja käyttöönotto Helsingissä vaatisi bussilinjojen uudelleenorganisoinnin
- Pitäisi saada kokemusta aidon bussilinjan korvaamisesta robottibusseilla



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen



saamista  
oivallusta  
ulevaisuuden  
ekemiseen



# Tulevaisuudesta

- Kehitystä on busseissa tapahtunut ja kehitystä pitää tapahtua
- Avoimien teiden kokeilut välttämättömiä ja kaupungit tärkeässä roolissa aidon kokeiluympäristön tarjoamisessa
- On selvää, että joukkoliikenteen kattavuutta voidaan parantaa ja/tai subventointitarvetta vähentää hyvin toimivalla itseajavalla tekniikalla
- Näkyvyyttä kokeiluilla edelleen saadaan ja alalla on suurta liiketoimintaa
- Suomalaisilla yrityksillä hyvää osaamista automaattisten ajoneuvojen kehittämiseen
- Tarvitaan paikallinen toimija toteuttamaan liikennöinti ja tähän liittyvät tekniset asiat
- Keskityttävä ensisijaisesti tekniikan kehittämiseen

Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen



<http://sensible4.fi/media>

Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen



# Kiitos!

[www.metropolia.fi](http://www.metropolia.fi)

[www.facebook.com/MetropoliaAMK](https://www.facebook.com/MetropoliaAMK)

[eetu.rutanen@metropolia.fi](mailto:eetu.rutanen@metropolia.fi)