

REMPPÄ

Loppuraporttiesitys

16.12.2020

Juho Kostainen (Helsinki, kaupunginkanslia)

Ville Rantanen, Tarek Mohsen, Hanna Hagström, Johan Himberg (Reaktor)

Helsinki

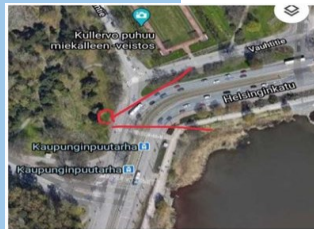
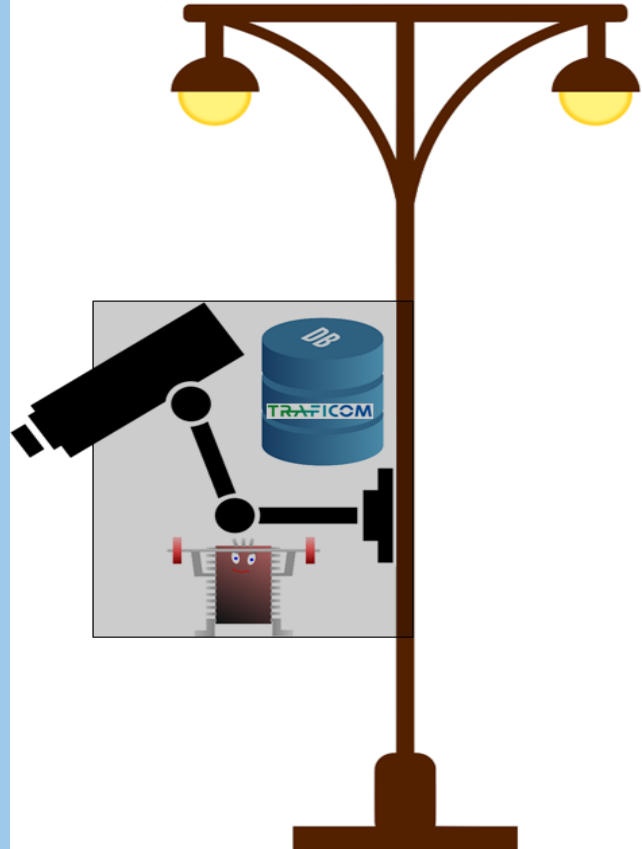


Tukea digitalisaatiokokeiluihin
kaupungin työntekijöille

Reaaliaikaiseen mittaukseen perustuva tieliikennemalli päästölaskennalla (“REMPPÄ”)

1. Rekisterikilpien tunnistus kameralla
 2. Päästötiedot tunnistetuista autoista (Traficomin ajoneuvotiedot rekkarin mukaan)
 3. → Päästömalli ajoneuvotyyppien mukaan
- Tuloksena avoin lähdekoodi toteutukselle*

Helsinki



1. Kokeilun onnistuminen

Tämän hankkeen tarkoitus oli selvittää, miten edullinen ja avoimeen lähdekoodiin perustuva järjestelmä liikenteen päästötietojen tarkempaan arviointiin voitaisiin toteuttaa turvallisesti, ja arvioida toteutettavuus ja tarkkuus todellisella aineistolla.

Tavoite	Toteuma
<i>Selvitetään, mikä olisi kustannustehokas ja riittävän toimiva laiteratkaisu ajoneuvojen rekisterikilpien tunnistamiseen ja tämän tiedon avulla päästötietojen hakuun laitteeseen ladattuun kopioon ajoneuvorekisteristä.</i>	Toteutettiin ja testattiin soveltuvaa laitteistoa (rauta + softa) tehden huomioita laitteistoteknisistä tarpeista (sähköt sekä kameran resoluutio ja valovoima).
<i>Laitteiden lisäksi kehitetään avoimen lähdekoodin ratkaisu, joka kuvaa ajoneuvot, tunnistaa rekisterinumerot, hakee ajoneuvotiedot laitteen omasta ajoneuvorekisterin kopiosta ja lähettää anonymit ajoneuvotiedot palvelimelle.</i>	Luotiin avoimen lähdekoodin ratkaisu lokaalia tietojen käsittelyä varten. Todellisia Traficomien ajoneuvotietoja ei kokeilun aikana voitu hyödyntää, mutta tietojen saamista jatkoa varten selvitettiin.
<i>Palvelimella tiedot yhdistetään koko kaupungin kattavaan liikennemalliin, jossa muodostetaan ajantasaista indikaattoritietoa.</i>	Olellaisia tietoja määriteltiin alustavasti kaupungin asiantuntijoiden kanssa. Varsinaista liikennemallia ja kuitenkin ei ole eikä kokeilussa käytetty todellisia ajoneuvotietoja, joten päästömääräarviota ei voitu tehdä.
<i>Prototyyppi testataan kenttäolosuhteissa.</i>	Prototyyppi testattiin Helsinginkadun varrella 26.11. verraten sitä kaupungin laskentapisteen tuottamaan ajoneuvomäärien aineistoon.

2. Kokeilun eteneminen

- Kick-off 18.9.2020
- Tietosuojavaikutusten arviointi 29.9. - 30.9.2020
- Määriteltiin riittävä laskentateho reaaliaikaiseen optiseen rekisterikilpien lukuun. Hankittiin ja asennettiin laitteisto, johon kuuluu laskentayksikkö, kamera ja akku.
- Keskustelu Traficomien kanssa ajoneuvorekisterin käyttömahdollisuuksista 27.10.2020
- Ohjelmistoa kehitettiin alkuun erillisellä kameralla kuvatulla videolla, ja sitten viemällä koteloitua laitetta lyhyisiin testijaksoihin kadun varteen (loka-marraskuu)
- Laitteiston kenttätesti Helsinginkadulla 26.11.2020. Paikassa saatiin ajoneuvomääristä referenssitieto kaupungin laskentapistestä.
- Loppuraportti valmis 14.12.2020

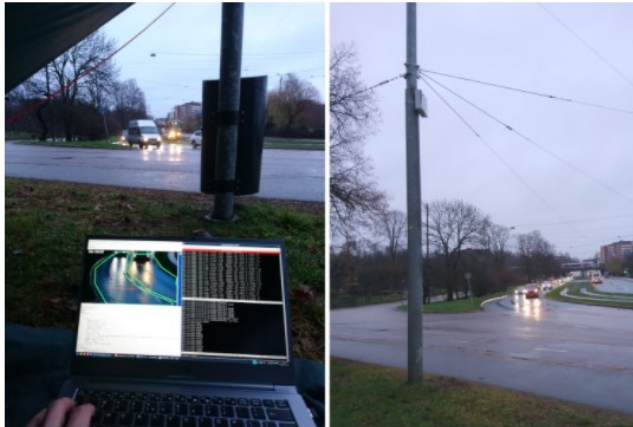
3. Kokeilun tuotokset

- **Laitteistoproto**
 - Rekisterikilpiä tunnistava ja ajoneuvovirtaa laskeva laitteisto
- **Avoim lähdekoodi** jatkohyödyntännettäväksi
 - Laitteiston open source -ohjelmisto (Helsingin GitHub)
- **Raporttia ja tietoa**
 - Tietoturvaselvitys
 - Kenttätestauksen (26.11.2020) tulokset tunnistustarkkuudesta
 - Loppuraportti ja esitys

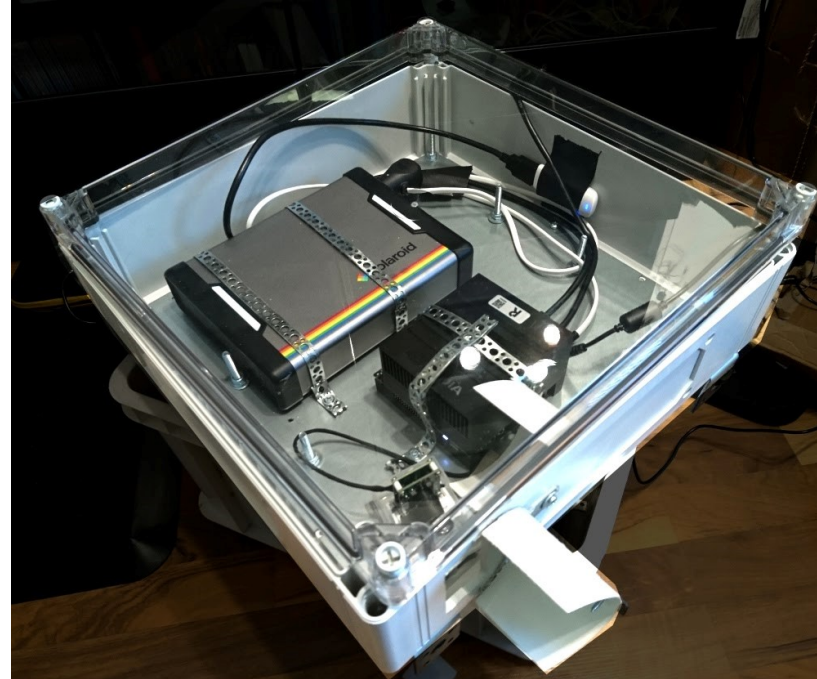
3. Kokeilun tuotokset / Laitteisto



Mittauspaikan sijainti ja suunta.



Kuva mittauspaikalta



*Mittalaite koteloituna 400mm x 400mm
asennuskoteloon. Ilman akkua (harmaa osa,
jossa värilliset raidat) laitteen voisi laittaa
huomattavasti pienempään koteloon*

3. Kokeilun tuotokset / Laitteisto

- Kamera:
 - e-con systems 13Mpix, 350\$
 - 10° FOV linssi, 10\$
- Suoritin: NVidia AGX Xavier, 900\$
- Akku: Polaroid PS300, 358e
- Kotelointi: Muovinen laitekotelo, 100e
- Internet yhteys: USB 4G modem, 70e

- **Laitteiston kokonaishinta ilman hankintakuluja on noin 1250 euroa.** Kokeiluun varatussa paikassa ei ollut tarjolla sähköä, joten laitteeseen hankittiin suuri akku, jolloin **kokonaishinta oli noin 1600 euroa.** Hinnat sisältävät ALV:n.
 - Lopullisessa ratkaisussa olisi voinut käyttää myös pienempiresoluutiosta kameraa, jonka hinta noin 100\$.

3. Kokeilun tuotokset / Laitteisto

Opit laitteistoteknisestä toteutuksesta

- Sähkö tarvitaan paikan päälle, **akkuteknologia tuottaa paljon epävarmuutta**. Laskentayksikön sähkön saantia jouduttiin rajoittamaan sammuttamalla osa prosessoreista.
- **Suuriresoluutioisen kuvan (13Mpix) käsittely on liian hidasta tälle laitteistolle**. Sen sijaan, resoluutio tiputettiin 1080p tasolle, ja käytettiin tarkemmin rajaavaa optiikkaa (90 asteen avauskulmasta 10 asteen avauskulmaan)
- **Kamera ei tunnista kilpiä pimeällä**, koska valotusaika liian pitkä. Autoista sen sijaan saa kyllä tiedon, ovatko ne henkilöautoja, rekkoja vai busseja. **On mahdollista käyttää myös valovoimaisempia kameroita**, jolloin tunnistusta voidaan ainakin laajentaa hämärämpään ympäristöön.

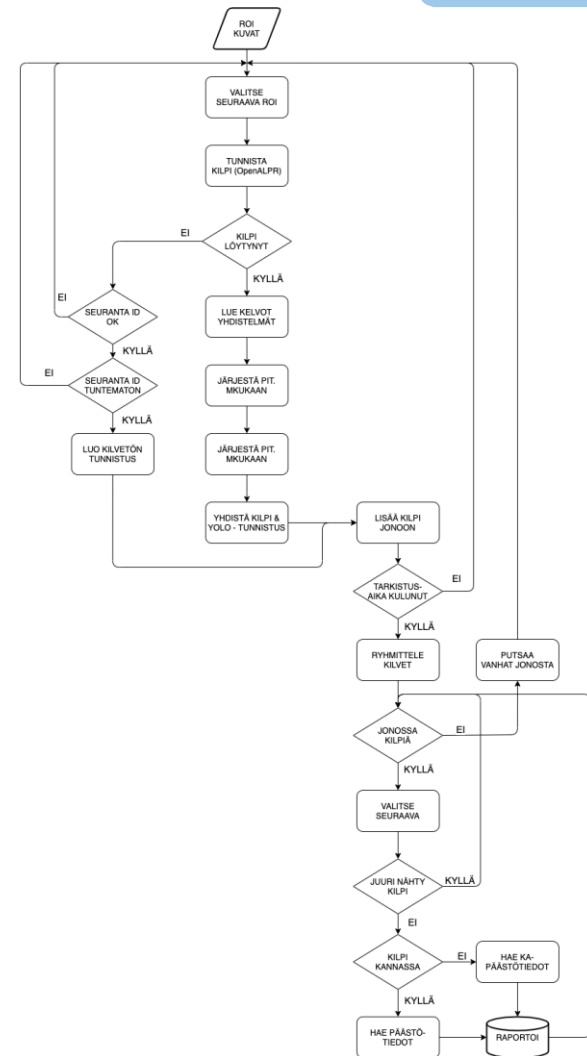
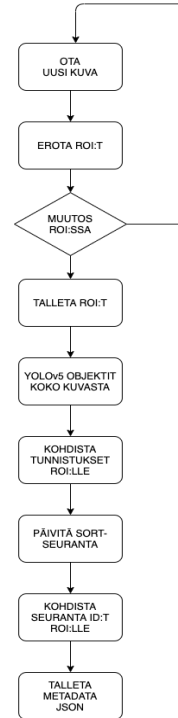
3. Kokeilun tuotokset / Ohjelmisto

- Tietokanta: PostGreSQL
- Ohjelmistokirjastot
 - Projektissa käytettiin rekisterikilpien lukemiseen **OpenALPR**-nimistä avoimeen lähdekoodiin perustuvaa kirjastoa
 - **YOLOv5** on hahmontunnistukseen käytetty nopea ja tarkka konvoluutioneuroverkko. Sitä on hyödynnetty projektissa tunnistamaan ajoneuvojen sijainnit sekä ulottuvuudet.
 - **SORT** (Simple Online and Realtime Tracking) 2D-seuranta-algoritmia on käytetty projektissa YOLO-algoritmilta saatavien ajoneuvotunnistusten seuraamiseen, jotta kyetään identifioimaan ajoneuvoja peräkkäisten kuvien välillä
- Ohjelmisto on kirjoitettu Python - ohjelmointikielellä ja siitä on käytössä versio 3.6

3. Kokeilun tuotokset / Ohjelmisto

Processor ja Reader -moduulien vuokaaviot.

Kaavioita on yksinkertaistettu ja ne eivät näytä säikeistystä.



3. Kokeilun tuotokset / Ohjelmisto

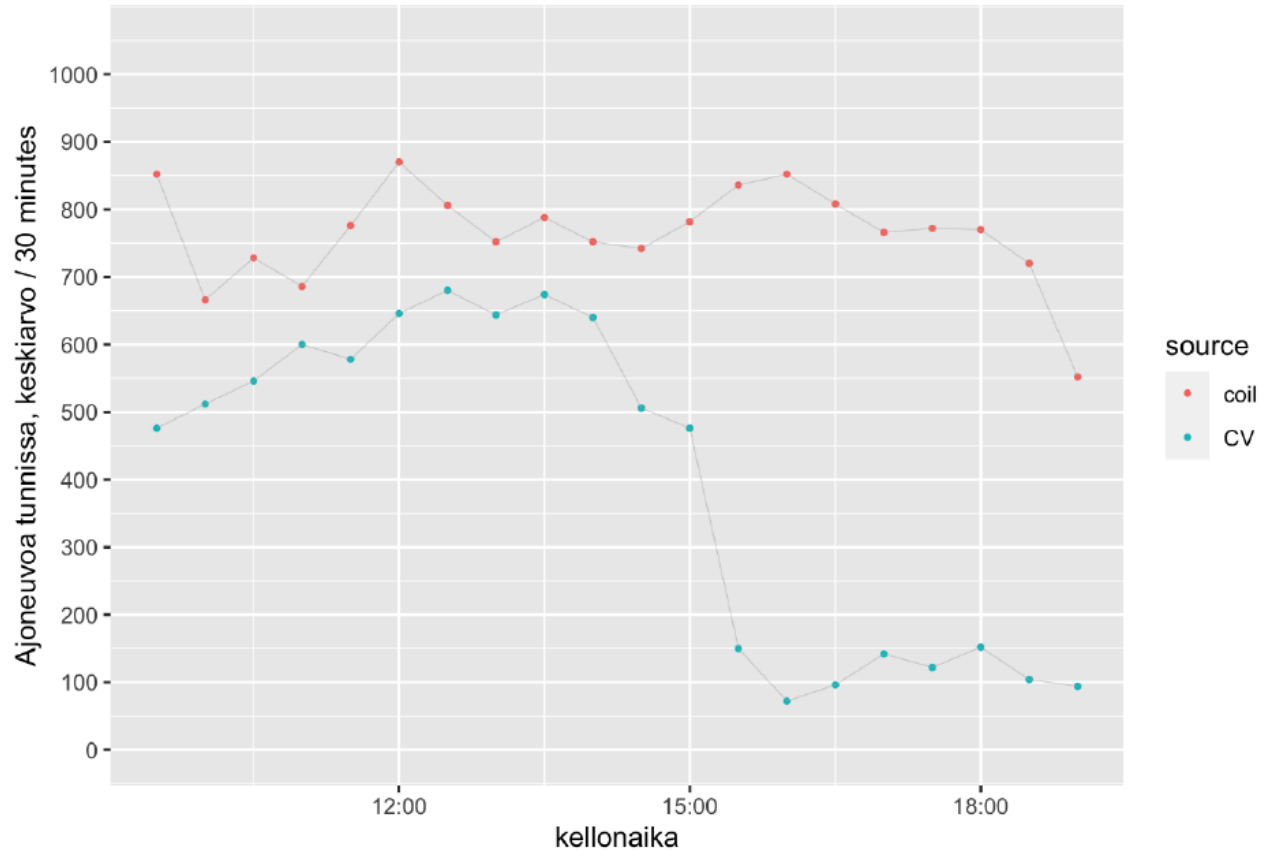
Huomioita päästömallinnuksesta

- Jo avoimesta datasta huomaa, että CO₂ -arvoja puuttuu vanhemmille henkilöautoille ja raskaille ajoneuvoille (lähes) kokonaan. Kun Traficomien koko dataa ei ole saatavilla, ei ole tiedossa paljonko puutteita on.
 - Jatkokehityksessä on mahdollista myös korvata puuttuva tieto arviolla kullekin ajoneuvolle (tehdä ns. imputointi) tai korjata laitteen ulkopuolella
- Keskusteluissa kävi ilmi että tässä vaiheessa päästömallinnuksessa keskeiset tiedot olisivat
 - Ajoneuvoluokka (ja osin ryhmä)
 - Käyttövoima
 - Euro-päästoluokka (erityisesti onko Euro 6 vai vanhempi)
 - Tieto onko ajoneuvo Helsingin kaupungin kriteerien mukaan vähäpäästöinen vai ei
- Liikennetilanne ja ajoneuvojen kuormaus vaikuttanee todellisiin päästöihin. Onko vaikutus huomattava?
 - Liikennevirran nopeutta ja pysähdysten kestoa voi ajatella estimoitavan kuvasta, kuorman mallintaminen vaatii ulkoista tietoa. Nopeuden (ja kuorman) mallintaminen jätetään tässä nyt huomiotta ja vaatii omaa työtään

3. Kokeilun tuotokset / Tulokset

Ajoneuvotunnistusten määrä tippuu nopeasti hämärän tullessa

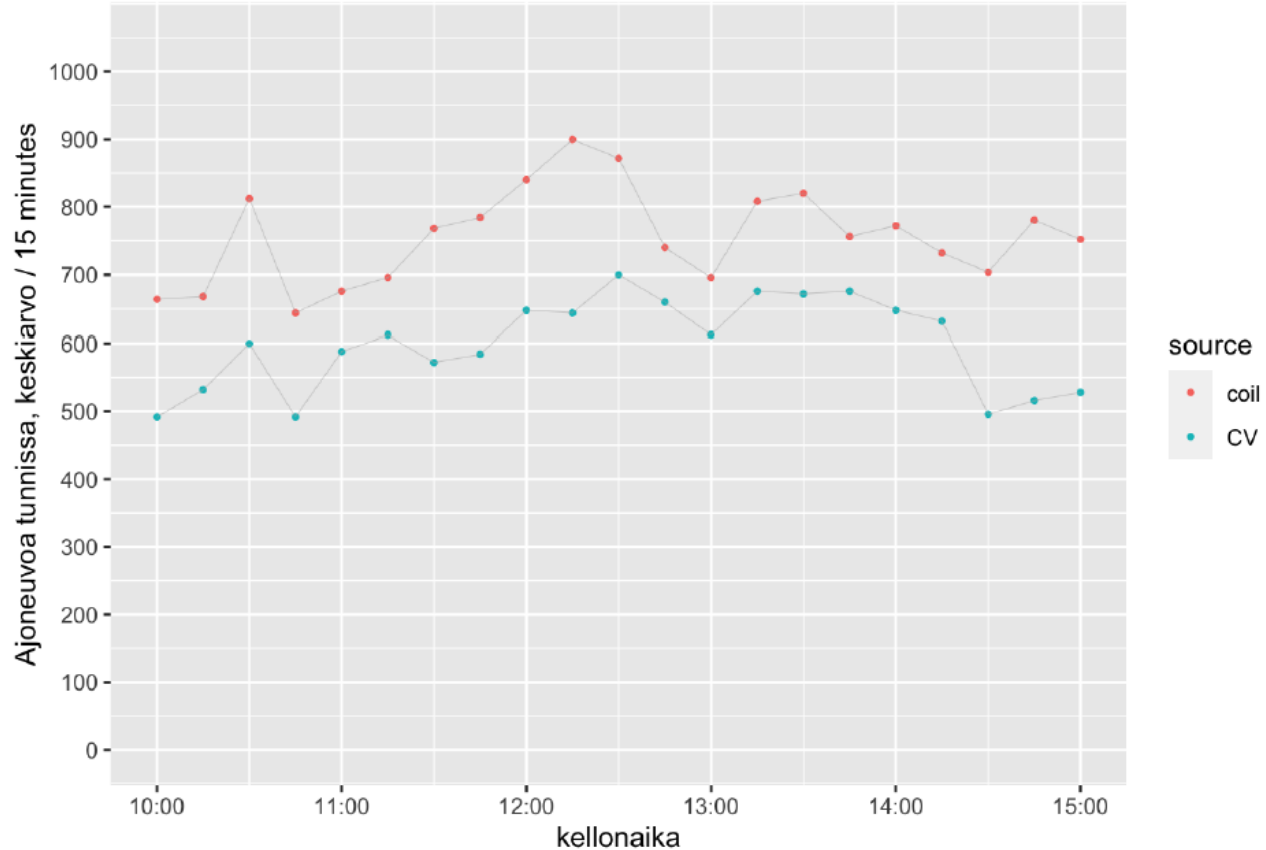
Mitattu keskimääräinen liikennevirta



3. Kokeilun tuotokset / Tulokset

Valoisana aikana
(10:00-15:15)
laskettiin 79%
ajoneuvomäärästä
verrokkina toimineen
laskentapisteen
tuloksiin verrattuna

Mitattu keskim. liikennevirta valoisa aika

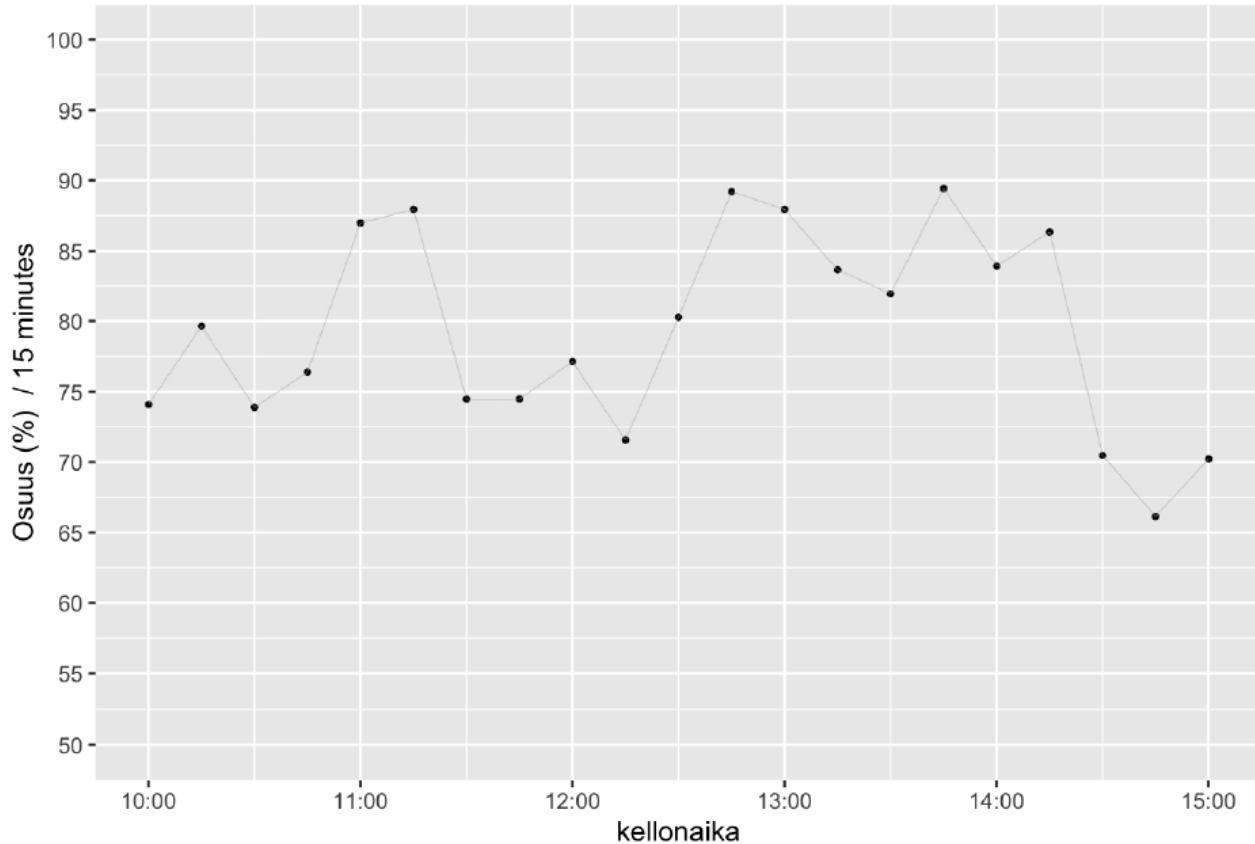


3. Kokeilun tuotokset / Tulokset

Konenäön laskemien ajoneuvojen osuus silmukan laskemista **vaihtelee eri ajanjaksoina.**

Pääsyy lienee liikennetilanne: **jonoutumisen ja pysähdysten myötä ajoneuvoja jää peittoon**

Konenäön havaitsemien ajoneuvojen määrän osuus silmukan laskemista



3. Kokeilun tuotokset / Tulokset

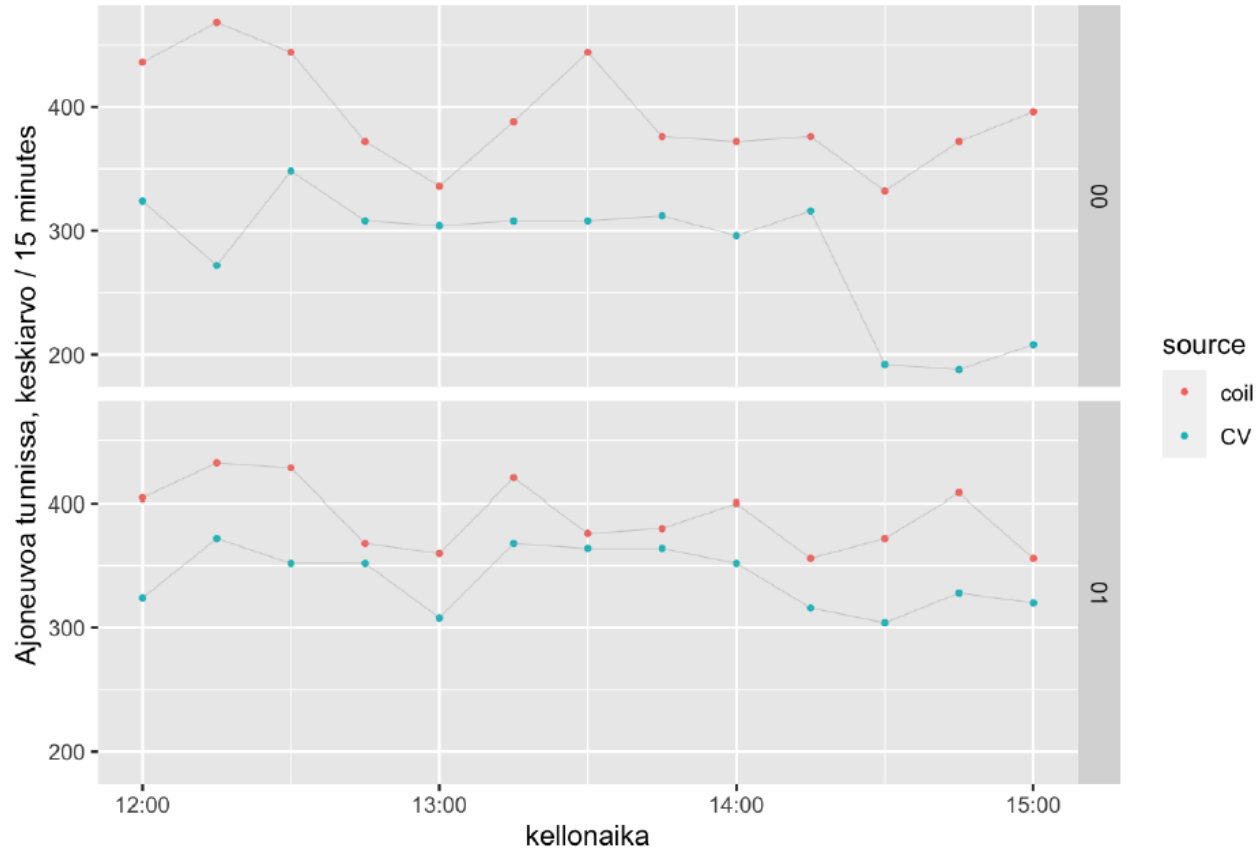
Mittaustarkkuudet ovat kaistoittain erilaisia.

Kamerasta kauemman kaistan (00) autot jäävät etenkin ruuhkaisempuna aikana enemmän peittoon, etenkin bussien tai rekkojen taakse piiloon.

(1/2)

Helsinki

Mitattu keskim. liikennevirta kaistoittain



3. Kokeilun tuotokset / Tulokset

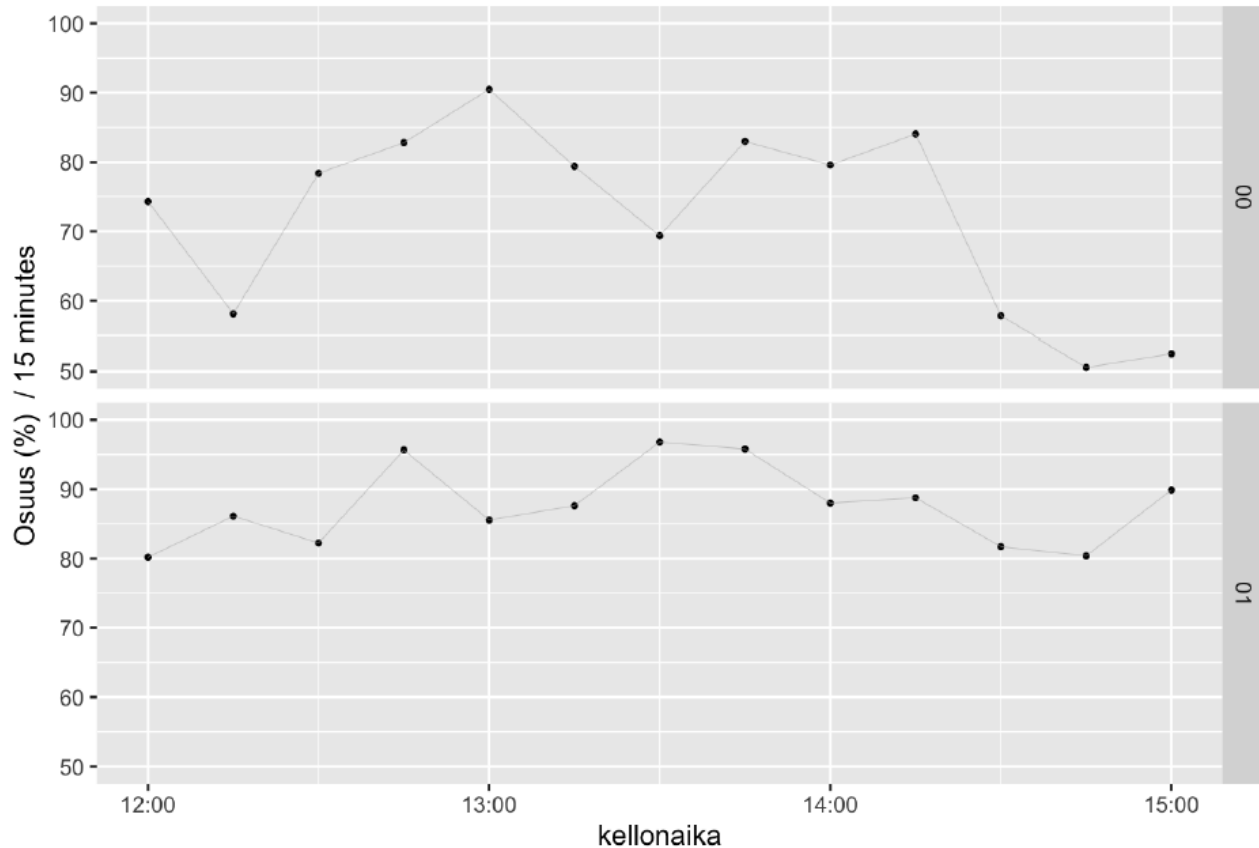
Mittaustarkkuudet ovat kaistoittain erilaisia.

Kamerasta kauemman kaistan (00) autot jäävät etenkin ruuhkaisempana aikana enemmän peittoon (etenkin bussien tai rekkojen taakse piiloon).

(2/2)

Helsinki

Konenäön havaitsemien ajoneuvojen määrän osuus silmukan laskemista

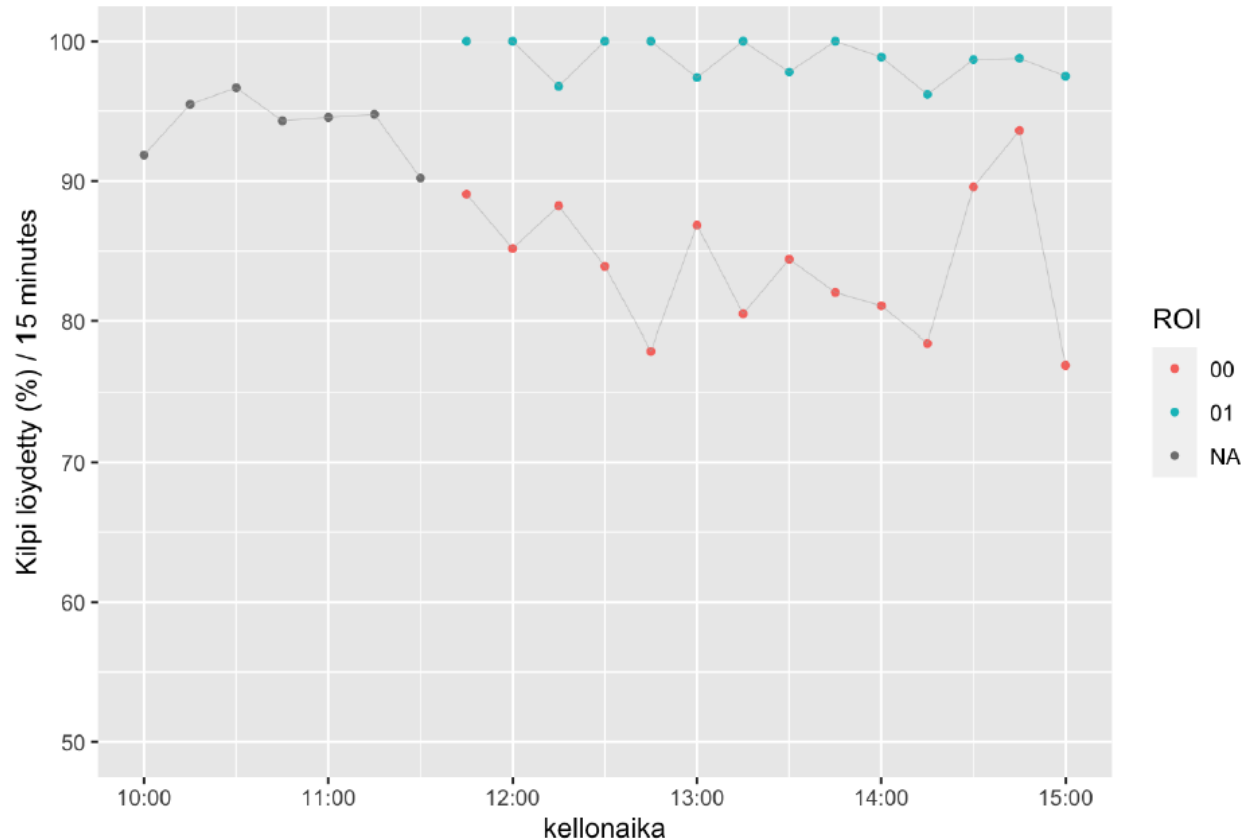


3. Kokeilun tuotokset / Tulokset

Jos konenäkö havaitsee ajoneuvon, kilpi löydetään 93% tapauksista. (Löytämisen jälkeen kilpi on vielä luettava.)

Kauemman kaistan (00) tarkkuus on peittymisen vuoksi heikompi ja lähemmän parempi.





Kilpi löydetty / CV:n havaitsemat ajoneuvot



3. Kokeilun tuotokset / Tulokset

Jos konenäkö havaitsee ajoneuvon, *kilpi luetaan täysin oikein* oheisen taulukon mukaisella onnistumisprosentilla. Taulukossa on kaksi manuaalisesti tarkastettua aikaväliä. Kaistan 00 peittyminen erona.

Jos rajoitutaan vain löydettyihin kilpiin on onnistumisprosentti yli 95%, eikä juuri riipu kaistasta.

ROI	time	vehicles	success of recognition	95% CI
00	12:30-13:30	317	 80%	[75.7%, 84.4%]
01	12:30-13:30	345	 97%	[94.4%, 98.2%]
00	14:45-15:15	99	 85%	[76.5%, 90.6%]
01	14:45-15:15	162	 91%	[86%, 94.8%]

4. Opit tekoälyn mahdollisuuksista

- Jos konenäkö löytää ajoneuvon ja pystyy lukemaan kilven, on tunnistusprosentti valoisana aikana yli 90%.
 - Huomioitava kontrasti ja geometria (peitot, kuvauskulmat, valoisuus)
- Ajoneuvotiedot voidaan yhdistää tunnistettuihin autoihin
 - Tietosuojaan edellyttämät palvelukuvaukset ja sopimukset tehtävä Traficomien kanssa (joko kaupungin tai palveluntarjoajan toimesta).
- Ei-tunnistettuja tai puuttuvia ajoneuvotietoja on mahdollista approksimoida tilastollisesti päästömalliin (esim. ajoneuvotyypin perusteella).

5. Opit tekoälyn kehittämisestä

- Keskeinen oppi kokeilusta on nähdäksemme se että **yhden tekoäly- tai konenäköongelman asemesta on ratkaistava monta, hieman eri tyyppistä ongelmaa**, joista jokainen vaatii omaa paneutumistaan.
- Konenäön tuloksien käyttökelpoisuuden kannalta päästömallinnuksessa on ratkottavana useita kysymyksiä, esimerkiksi:
 1. Halutaan tietoa ajoneuvojen *laadullisesta jakaumasta* (luokka, relevantit tekniset tiedot) muodossa, joka myös takaa anonymiteetin.
 2. Halutaan tietoa ajoneuvojen *määrästä* nykyistä verkostoa laajemmin.
 3. Halutaan kohtuuhintainen helposti liikuteltava ja kalibroitava laitteisto
 4. Uusi päästömalli, jossa em. parantavat kaupungin liikennepäästömallinnusta
 5. Edge-laitteen, ajoneuvorekisterin datan ja kaupungin järjestelmien integraatioon ja arkkitehtuuriin liittyvät asiat.

Projektin lähtöasetelma ja teknologia vastaa erityisesti kohtaan 1.

6. Opit kokeilemisesta

- Projektin **rajoitettiin onnistuneesti konenäön prototypointiin.**
 - Teknisesti valitut algoritmit ja laitteisto tuntuu alustana olevan käyttökelpoinen, ja skaalattavissa.
 - **Kenttätestaukseen saatiin rakennettua realistinen asetelma** Helsinginkadulle paikassa, jossa on perinteiden laskentasilmutta joten **saatiin verrokkiarvo ajoneuvojen määrälle.**
- Tietosuoja-asioihin paneuduttiin varhaisessa vaiheessa, ja vaikka ne ovat työläitä, ne saatiin asianmukaisesti tehtyä.
- Projektissa palaverien ulkopuolinen kommunikaatio projektin edunsaajien ja kehittäjien tiimikanavalla jäi vähäiseksi. Tämän tyyppisessä **kokeiluissa tarvitaan muutama edunsaaja, jotka keskittyvät kokeilun tukemiseen proaktiivisesti** ja iteratiivisesti valitulla ad-hoc-kanavalla.
 - Iteratiivinen ja osallistava kommunikaatio korostuu, jos projekti saa päästömallinnuksen keskittyvää jatkoa.
 - Edge-arkkitehtuurin ja päästömallinnuksen suunnittelun ja jatkokehittämisen välinen problematiikka vaatii tiivistä yhteistyötä kehittäjien kanssa. Ilman kommunikointia joudutaan arvailemaan paljon ja kohdistetaan resurssit tehottomasti.

7. Opit resursoinnista

Reaktor

- Reaktor lähti mukaan erityisesti konenäköön liittyvän edge-laskennan asiantuntijoiden kiinnostuksen ja oppimisen näkökulmasta; hankkeen rahallinen budjetti ei sinänsä mitenkään olisi voinut riittää kehitystyöhön laitteistoiheen.
 - **Reaktorin käyttämä työaika kokonaisuudessaan oli noin 110 htp.**
- Suuri ajasta kului havainnointiohjelmiston hienosäätöön.
 - Nyrkkisääntönä ongelmanratkaisussa 10 aikayksikköä kestäväällä kehitystyöllä ratkaistaan 90% ongelmista, ja lopun 10% ratkaisuun käytetään 90 aikayksikköä. Tässä tapauksessa, omien havaintojemme mukaan, lyhyt kehitystyö ei tuonut riittävän hyvää rekisterikilpien lukualgoritmia.
 - Projektissa kului alkuperäistä arviota enemmän aikaa myös laitteiston kalibrointiin ja sen ajureiden asentamiseen.

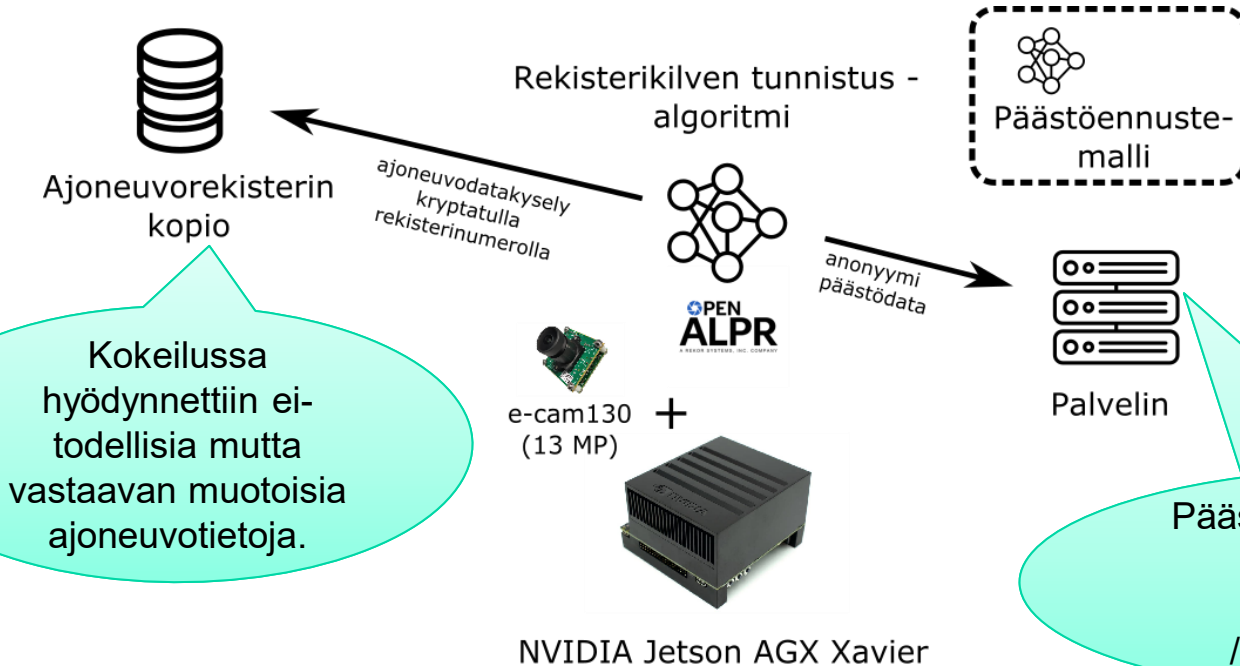
Helsingin kaupunki

- Varsinaisen kokeiluprojektin aikana (poislukien valmistelu ja käynnistys) kaupungin puolella työpanos oli **n. kaksi henkilötyöviikkoa**.
 - Noin puolet työmäärästä liittyi tietosuojan vaikutustenarviointiin. Kokeilun aikana laajempi kaupungin henkilöistä koostuva seuraajaryhmä osallistui pariin yhteiseen kokeiluun suunnitelmista keskusteluun sekä tarpeiden määrittämiseen.

Yleisesti

- Kokeiluprojektin aikana tunnistettiin lisätarpeita liittyen käytännön asennusten toteutukseen sekä selvittämistä ajoneuvotietojen hyödyntämisen suhteen.

8. Kokeilun tekninen ympäristö / Arkkitehtuuri



Icon credit: <https://www.flaticon.com/authors/freepik>

9. Kokeilun data / Datalähteet

- Videokuva liikenteestä
 - Laitteessa oli oma kamera, joka kuvaa liikennettä.
- Ajoneuvotietokanta
 - Alkuperäinen suunnitelma oli ladata koelaitteistoon ajoneuvotietokannasta rekisteritunnus ja päästölaskentaan tarvittavat tiedot demonstraatiotarkoituksiin. Osoittautui kuitenkin, että sopivan Traficomien datatuotteen käyttöön saaminen kestäisi helposti kuusi kuukautta.
 - Myös hinta ja hankintaan liittyvä työmäärä olisivat olleet kertaluonteiseen kokeiluun epätarkoituksenmukaisen suuria, joten keskityttiin ajoneuvotietokannan käytön teknisen ratkaisun pohdintaan yleisemmin.

9. Kokeilun data / Tietosuoja

- Jos kokeilussamme olisi edetty Traficomien datan suhteen, realistinen malli olisi ollut se että kaupunki olisi hankkinut datan, tehnyt palvelukuvauksen ja toiminut rekisterinpitäjänä ja Reaktor toiminut käsittelijänä.
 - Tämä ei ole ainoa vaihtoehto: mahdollisen jatkohankkeen olisi erikseen ratkaistava hoitaako ja vastaako Helsingin kaupunki vai palvelutarjoaja tietojen hankkimisesta ja operoinnista, ja yleisemmin, tuottaako kaupunki palvelun itse.
- Prosessi datan saamiseksi on kuitenkin sinänsä selkeä ja toteutettavissa.
 - Asiaan liittyy kuitenkin sen verran kustannuksia ja työtä että toteutukseen on paneuduttava erikseen.
 - Erityisesti jos kaupunki ottaa järjestääkseen Traficomien dataa välittävän järjestelmään vaaditaan erikseen projektoitava määrä resursseja, koska se vaatii pysyvän ratkaisun sekä datan päivitykseen taustajärjestelmään, kuratointiin, transformaatioiden että välittämiseen kenttälaitteeseen ja tietosuojaan.

10. Jatkopäätökset ja -ideat

- Jatkosta ei ole päätöksiä tai suunnitelmia
- Huomioitavaa mahdollista jatkoa varten
 - Päästömallinnuksen suunnittelu. Tarpeiden selvä määrittäminen: mitä tietoja tarvitaan ja millä tarkkuudella sekä kattavuudella (aika, paikka, tiedot)
 - Ajoneuvotietojen hankkiminen Traficomilta (kaupungin tai palveluntarjoajan toimesta)
 - Miten kerättävä tieto yhdistettäisiin kehitettävään liikenne-/päästömalliin (mitä laitteessa, mitä taustajärjestelmässä, päivitys)
 - Puuttuvien tietojen täydentäminen esim. tilastollisin keinoin
 - Tuontantolaitteiston suunnittelu (kotelointi, asennuspaikat)