

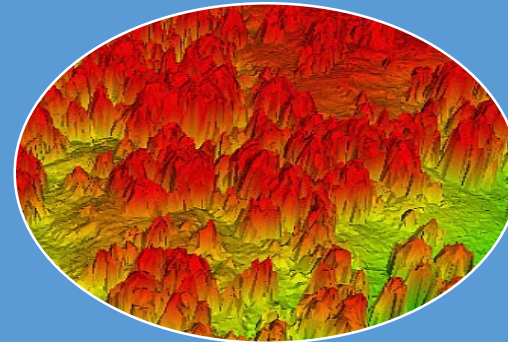
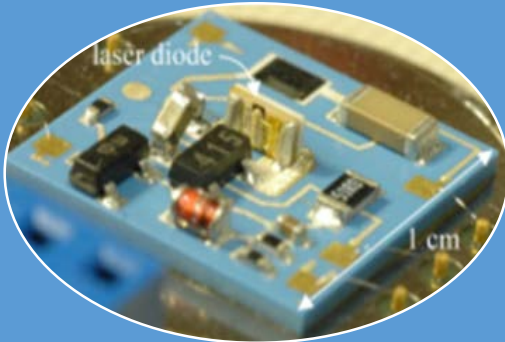
# Lidar-based Transport Research

Juha Hyyppä

Antero Kukko, Anttoni Jaakkola (Gaze Inc), Harri Kaartinen, Xiaowei Yu  
Paikkatietokeskus

Hannu Hyyppä, Matti Vaaja, Aalto

# Centre of Excellence in Laser Scanning Research: “Together what is otherwise impossible”



Hardware-driven approach

Pulsed time-of-flight  
laser radar

*Juha Kostamovaara  
Univ. Oulu*

Mobile and ubiquitous  
Laser Scanning

*Juha Hyyppä  
FGI*

Laser scanning for  
precision forestry

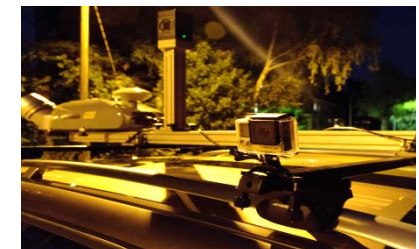
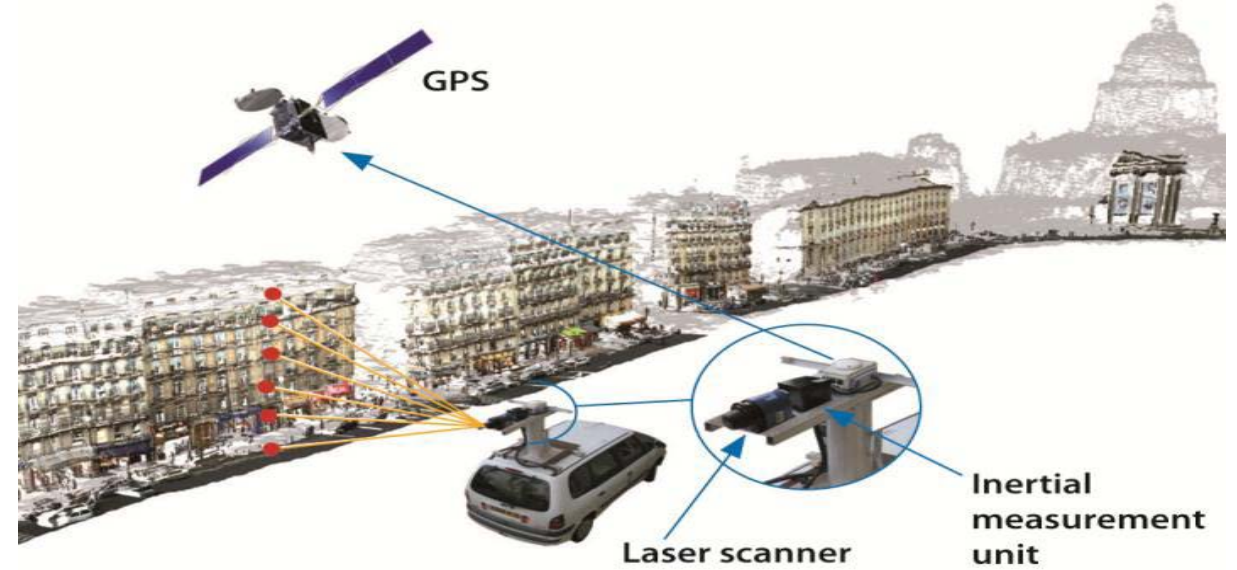
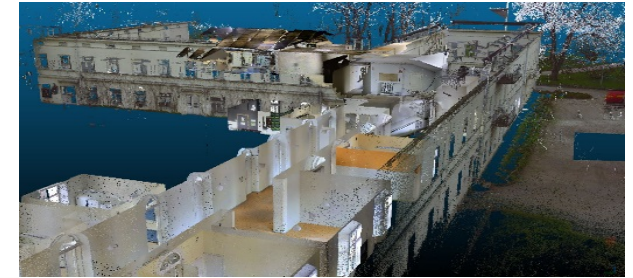
*Markus Holopainen  
Univ. Helsinki*

Laser scanning for built  
environment

*Hannu Hyyppä  
Aalto Univ.*

International benchmarking studies

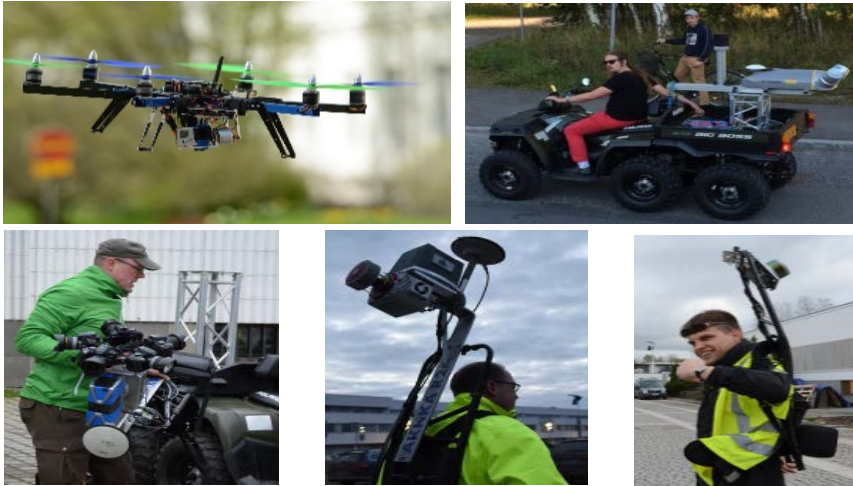
# Systems



© Kukko, Kaartinen, Hyyppä, Hyyppä, Virtanen, Kurkela, Vaaja

# From Sensors to Knowledge

## Measurement devices



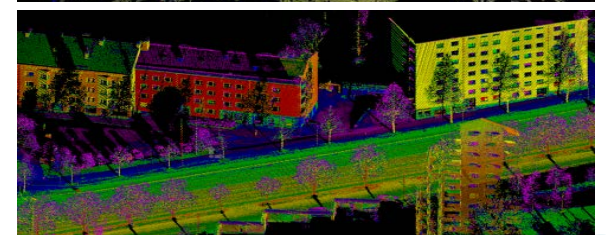
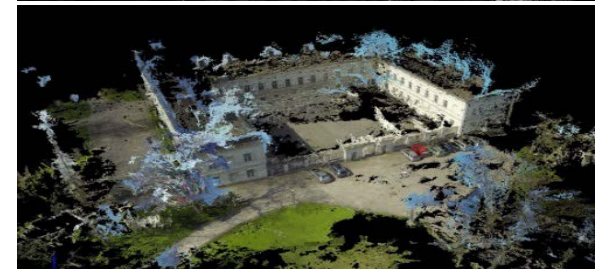
$$r = \frac{dt \cdot c}{2}$$



$$r = \left( N + \frac{d\phi}{2\pi} \right) \lambda_0,$$

## Point cloud computing & Data integration

$$\vec{X}^e = \vec{X}_{GPS-IMU}^e + R_b^e R_s^b \left[ \lambda \vec{x}^s + \Delta \vec{X}_{GPS-IMU}^s \right],$$



## Virtual reality



## 3D models



© Kukko, Kaartinen, Virtanen, Jaakkola, Ahlavoio, Vaaja, Kurkela, Turppa, Hyyppä, Hyyppä

# COMBAT – Teknologiamurros Tavoitteenamme on 3D-Suomi



Pistepilviä keräävät tulevaisuudessa yksittäiset kansalaiset, työkonet ja autot, jolloin muodostuu pistepilviekosysteemi. Pointcloud-hankkeessa eri alojen osaajat hakevat yhdessä ratkaisuja, joiden avulla julkishallinnon säästöt ja yritysten kasvu ovat mahdollisia. Hanke tuottaa tietoa kolmiulotteisen mittaustekniikan hyödyntämisestä. Laserkeilaimet ja kamerat mittaavat ympäristöä ja muodostavat siitä kolmiulotteisen pistepilven, jota voidaan hyödyntää ja jalostaa 3D-mallinnuksessa. Pilvipohjaista mallia voidaan hyödyntää rakennetun ympäristön päätöksenteossa.

Toimiakseen turvallisesti itseohjautuvat autot tarvitsevat valtavasti tietoa ympäristöstään.

## Pistepilvillä digitalisoitua 3D-Suomea

Hannu Hyypä, Harri Kaartinen, Marika Ahlavo, Juha Hyypä ja Antero Kukko

### UUDENLAISTA TIEDELLISTÄ RAHOITUSTA PÄÄTÖKSENTEON TUEKSI

Päätöksentekoa varten on aiemminkin tarvittu todennettua tietoa, mutta valtioneuvosto haluaa uusia työkaluja Suomen kilpailukykyä ja pohjoismaisen hyvinvointivaltion toimintojen säilyttämiseksi ja parantamiseksi. Suomeen tarvitaan lisää osaamispohjaisia työpaikkoja ja valtiosektorin säästöjä. Nyt pyritään yhteistyönä teollisuuden tuottamaan tieteellistä huipputaustaa.

Vuoden 2015 Suomen Akatemian ensimmäiseen strategiseen tutkimukseen, helmikuun jätettiin 130 konseptihakemusta, joi-

© Juho-Pekka Virtanen, Heikki Kauhanen, Matti Vaaja ja Matti Kurkela, Aalto-yliopisto



© Juho-Pekka Virtanen, Heikki Kauhanen, Matti Vaaja ja Matti Kurkela, Aalto-yliopisto



Yhdistämällä ilmasta ja maasta mitattua UAV-aineistoa, laserkeilausta ja sisätilamittausta saadaan monikäyttöisiä hybridimalleja.

Tielympäristöihin liittyvää dataa voidaan käyttää hyödyksi teiden kunnossapidossa ja turvallisuuden lisäämisessä.

Pistepilvisovellus on pääteknologia 3D-karttojen, -mallien ja virtuaalisen todellisuuden tuottamiseen. Rakennus-, infra- ja yhdyskunta-alan yritykset tarvitsevat elinkaarteknologiassaan 3D-virtuaalitekniikkaa, jota saadaan liikkuvalla kartoituksella. Pistepilviekosysteemi täydentää esineiden internetin ja anturiverkoston tuottamaa tietoa ympäristöstä. Näiden lisäksi kaupunkimallien onnistuneeseen toteutukseen tarvitaan usein muitakin aineistoja, kuten paikkatietoaineistoja tai yksittäisten rakennusten BIM- ja rakennusmalleja. Älykkäissä kaupungeissa kaikki infrastruktuuriin liittyvät tietojärjestelmät verkottuvat yhteen.

Tulevaisuuden kaupungeissa kaupunkilaiset tuottavat pistepilvikarttaa rakennetusta ympäristöstään myös omilla älylaitteillaan. Yksilön rooli korostuu näin kaupunkiympäristön kehittämisessä. Päivittyvää 3D-karttaa voidaan käyttää älykkäisiin palveluihin, kuten työkaluna kaupunkisuunnitteluun ja itseajavien autojen navigointiin.

### 3D-SISÄTILAMALLIT PARANTAVAT RAKENNUSTEN TURVALLISUUTTA JA PIDENTÄVÄT NIIDEN IKÄÄ

Rakennusten sisätilojen 3D-mittaus on perinteisin menetelmä verrattuna työläästä ja kallista. Liikkuvilla järjestelmillä 3D-mittausdatan keruu tehostuu huomattavasti, mutta haasteena on tarkka paikannus, koska ulkotiloissa hyvin toimivien paikannussatelliittien signaalit heikkenevät tai häviävät kokonaan rakennusten sisällä. Uusia ratkaisuja tutkitaan, jotta sisätilamalleista on nykyistä enemmän hyötyä navigoinnin lisäksi rakennusten korjauksissa ja vaikkapa huoltotoimenpiteissä.



Matti Vaaja ja Matti Kurkela, Aalto-yliopisto

# Karpalo, intiaanikukkula ja pelottava J-mutka – tällaisia ovat Lahden ikoniset kisareitit 3D-mallinnuksina

Laserkeilauksen huippuyksikkö, Aalto-yliopisto ja Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskus tuottivat Lahden MM-ladusta 3D-mallinnukset, joilla Lahden MM-ladun kiemurat ja korkeuserot tulevat hienosti esiin.

Hiihdon MM 2017 4.3.2017 klo 12:34

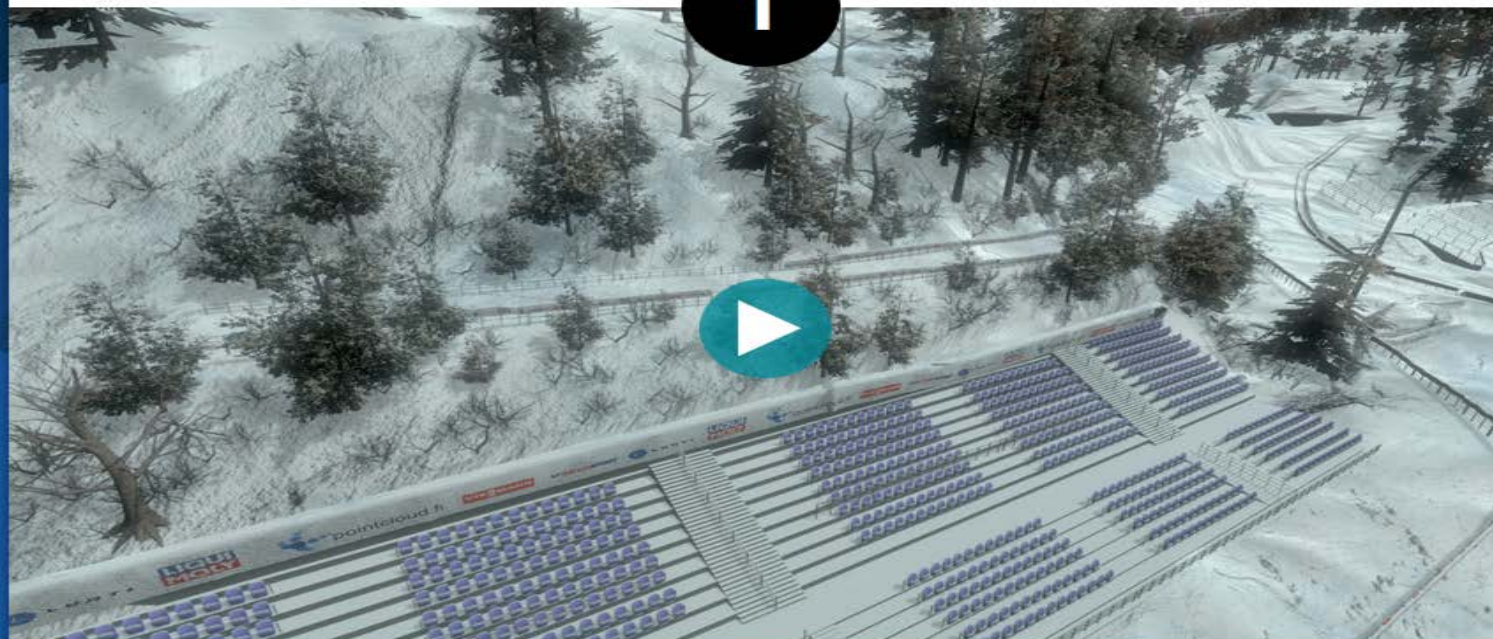


JYRI KIVIMÄKI Yle  
Twitter: @jyri\_kivimaki



68

**A!** Aalto-yliopisto  
Insinööritieteiden  
korkeakoulu



# Forecast

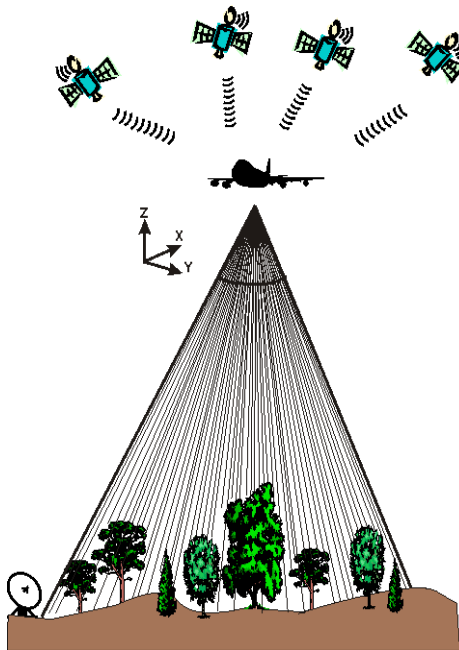
- Fully autonomous cars are expected to be on the road by 2030.
- Once technological and regulatory issues have been resolved, up to 15 percent of new cars sold in 2030 could be fully autonomous.
- According to the consultants, autonomous driving will have an estimated market size of \$40 to \$60 billion from new hardware and software by 2030. Of which some \$30 to \$40 billion will be generated by the sales of autonomous driving hardware components, such as cameras, sensors and communication systems, and an additional \$10 to \$20 billion by the sale of advanced software and related services, such as high accuracy mapping and prediction & decision algorithms.

# Topics of my presentation

1. FGI Autonomous Driving
2. Autonomous Driving as Big Data
3. Autonomous Collection of Road Quality
4. Automation of Road Environment
5. Maps needed by autonomous
6. Spin-offs

# Technology in Autonomous Driving

- Remote Sensing Sensors
- Lidar, cameras, GNSS, IMU
- Point Cloud Processing
- Miniaturization of Sensors
- 20 years evolution in Remote Sensing



# Robotbus project stack COE, SOHJOA, COMBAT



Zeit Online



The Guardian



Xinhua News

International Decision Makers



TechCrunch



CNN Money



Trafi Board (@Anna\_Jokela)



Minister Kai Mykkänen (@HarriSantamala)



Peter Vesterbacka (@pvesterbacka)



HKI, Pekka Sauri (@satu\_helsinki)



Selected International Media

# Own Robot Vision



# Research Platform Ford Mondeo Hybrid 2017

12



## Lidars

- 1 x Velodyne Ultra Puck VLP-32C located in the center of the roof
  - 32 Channels (32 points vertically)
  - Up to 200m Range
  - Up to ~1.2 Million Points per Second
  - +15° to -25° Vertical FOV (non-linearly distributed)
  - 360° Horizontal FOV
  - rotation rate 5 - 20 Hz
  - wavelength 903 nm
- 4 x Velodyne Puck VLP-16 located in the corners of the roof
  - Dual Returns
  - 16 Channels (16 points vertically)
  - 100m Range
  - Up to 600,000 Points per Second
  - 360° Horizontal FOV
  - ± 15° Vertical FOV
  - rotation rate 5 - 20 Hz
  - wavelength 903 nm

## Cameras

- 2 x IDS UI-3060CP Rev. 2 Monochrome, directed to front, located at the windscreen
  - USB 3.0, CMOS, Global Shutter
  - Frame rate 166 fps, Resolution 1936 x 1216, 2.35 Mpix
  - Sensor Size 1/1.2", Pixel size 5.9 μm
- 2 x Chameleon3 5.0 MP Color USB3 Vision (Sony IMX264), directed front, located at the windscreen
  - USB 3.1 Gen 1, CMOS, Global shutter
  - Frame Rate 35 FPS, Resolution 2448 x 2048, 5.0 Mpix
  - Sensor Size 2/3", Pixel Size 3.45 μm
- 1 x Chameleon3 5.0 MP Mono USB3 Vision (Sony IMX264), directed front, located at the windscreen
  - USB 3.1 Gen 1, CMOS, Global shutter
  - Frame Rate 35 FPS, Resolution 2448 x 2048, 5.0 Mpix
  - Sensor Size 2/3", Pixel Size 3.45 μm

## Radars

- 1 x Delphi ESR2.5 located in the front of the vehicle
  - Integrated 3-Axes Accelerometer
  - Simultaneous long- and mid-range functionality
  - Mid-Range (60m):  $\pm 45$  deg
  - Long-Range (174m):  $\pm 10$  deg
  - update rate 20 Hz
  - 76 GHz
- 2 x Delphi SRR2 located in the tail corners of the vehicle
  - 76 GHz
  - Range 0.5 to 80 m
  - Horizontal FOV +/- 75 deg
  - Vertical FOV +/- 5 deg
  - update rate 20 Hz

## Sonars

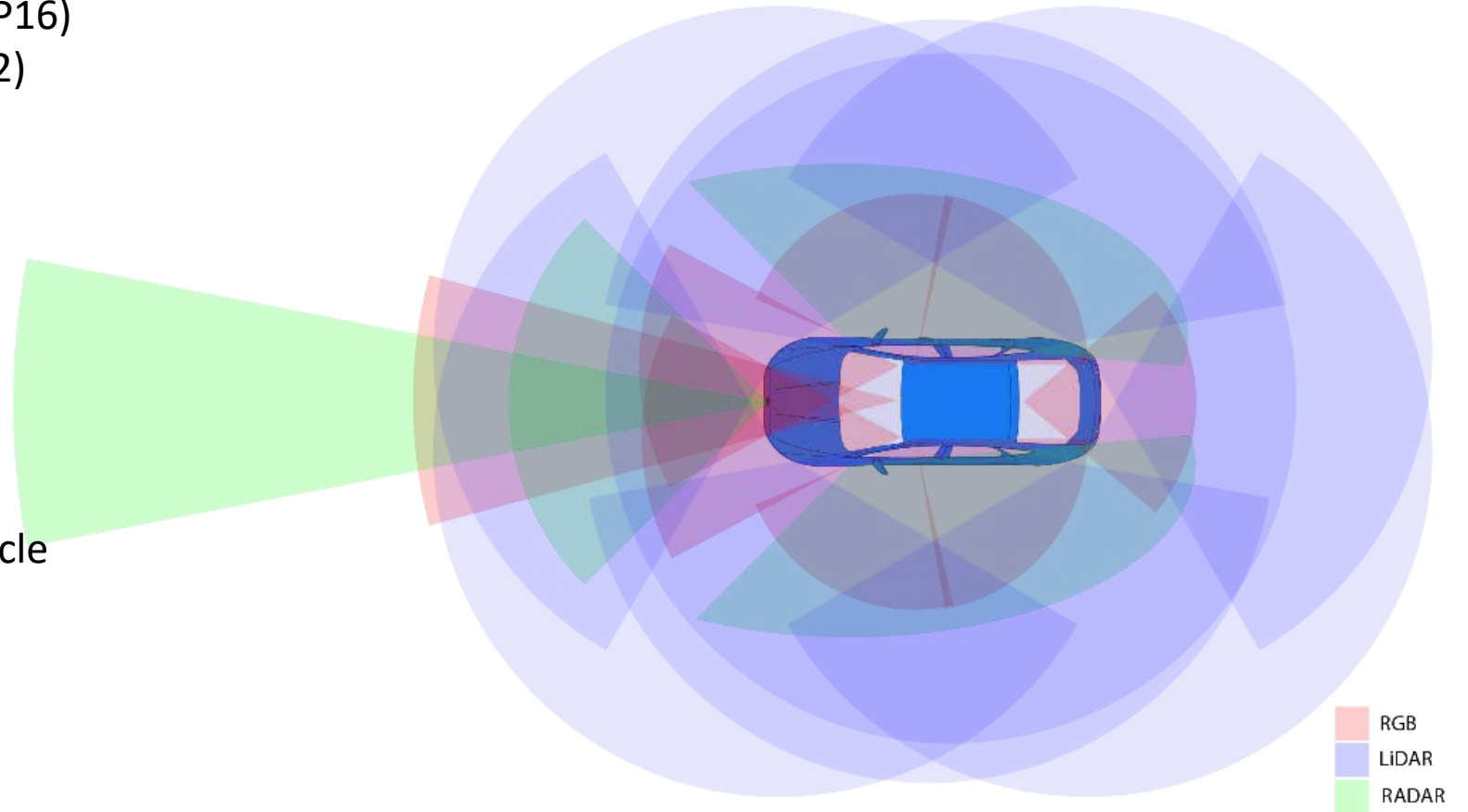
- 12 x Ford Mondeo Integrated Sonar device
  - Range 0 to 3 m
  - Each corner has three sonars, one in the corner and two on the sides of the corner

## GNSS + INS

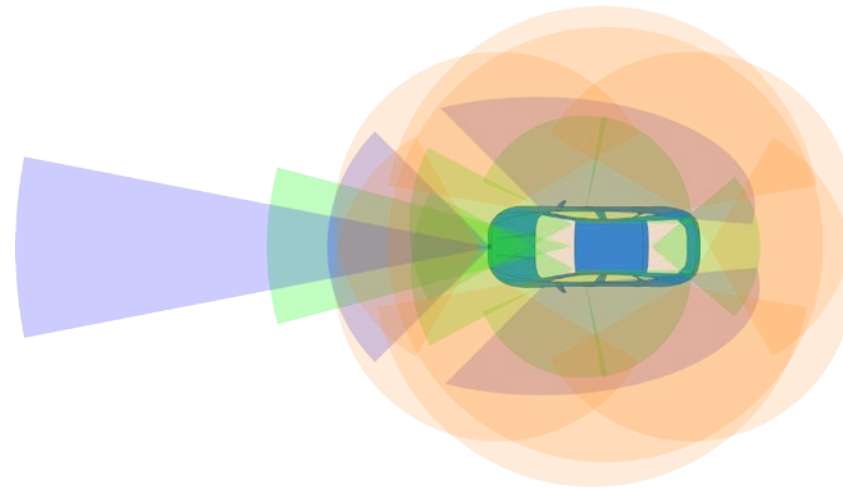
- 1 x SPAN-IGM-S1
  - GPS, GLONASS, SBAS and RTK support
  - Serial, USB, CAN and Multi I/O
  - SPAN SYSTEM PERFORMANCE
    - Horizontal Position Accuracy (RMS)
      - Single point L1/L2 1.2 m
      - NovAtel CORRECT™
        - SBAS 60 cm, DGPS 40 cm, RTK 1 cm + 1 ppm
    - Data Rates
      - GNSS measurement and position, 20 Hz
      - IMU measurement, 125 Hz, INS solution, Up to 125 Hz
    - Max Velocity 515 m/s, Time Accuracy 20 ns RMS
  - IMU PERFORMANCE
    - Gyroscope Performance
      - Input range 400 deg/sec
      - Rate bias stability 0.5 deg/h
      - Angular random walk 0.15 deg/vhr
    - Accelerometer Performance
      - Range  $\pm 10$  g
      - Bias stability 0.05 mg
      - Velocity random walk 0.06 m/s/vhr

# Ultimate goal for sensor coverage<sup>15</sup>

- To achieve full 360 degrees coverage from variety of sensors:
  - 5 LiDARs,
    - 1 for each corner (VLP16)
    - 1 in the center (VLP32)
  - 8 Cameras
    - 3 Forward
    - 2 On the sides
    - 2 Rear Side
    - 1 Backwards
  - 3 Radars
    - 1 forwards
    - 2 rear side
  - 12 Sonars around the vehicle



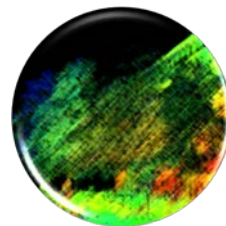
# Examples from Silicon



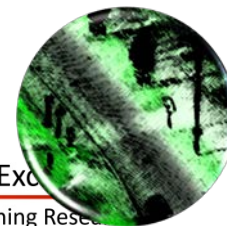
RGB  
LIDAR  
RADAR



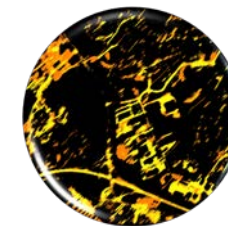
Own state



Environment



Objects

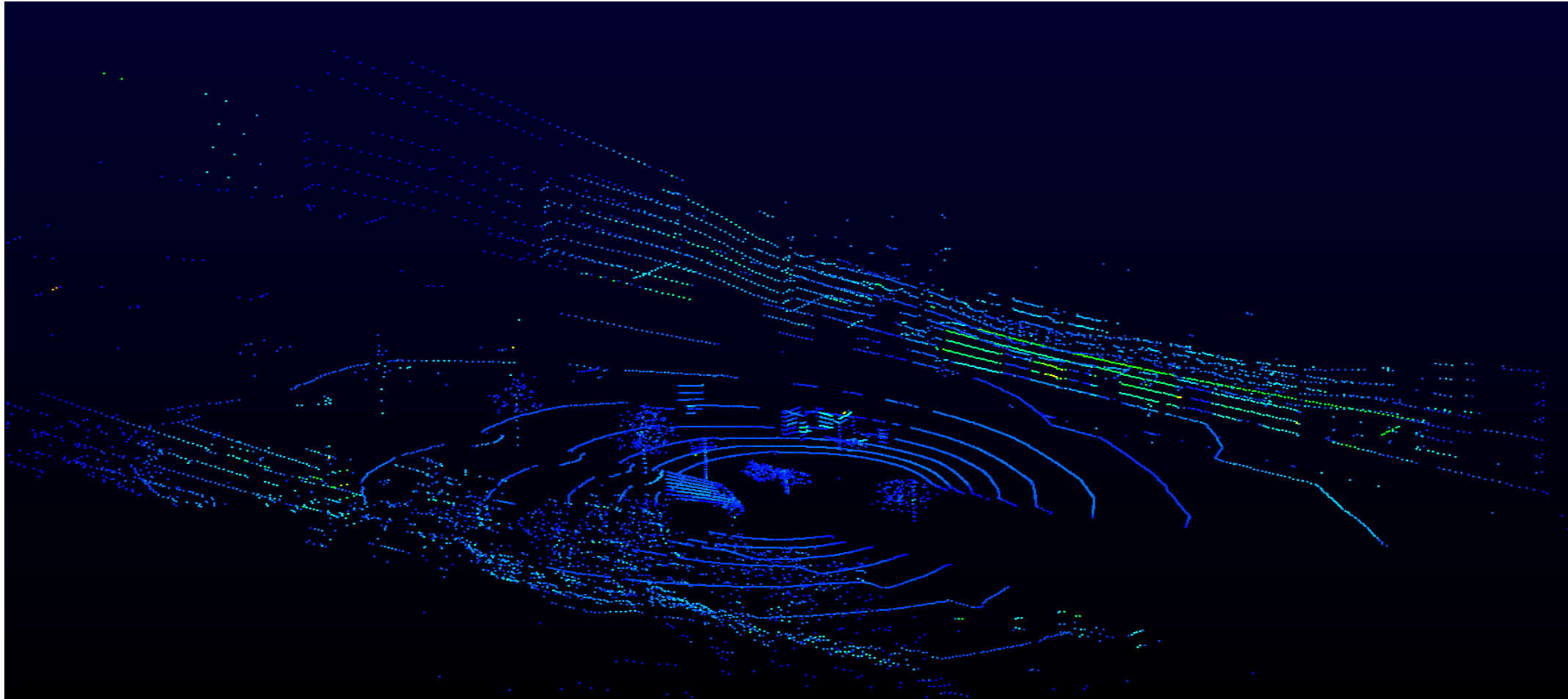


Mapping



Centre of Excellence  
in Laser Scanning Research



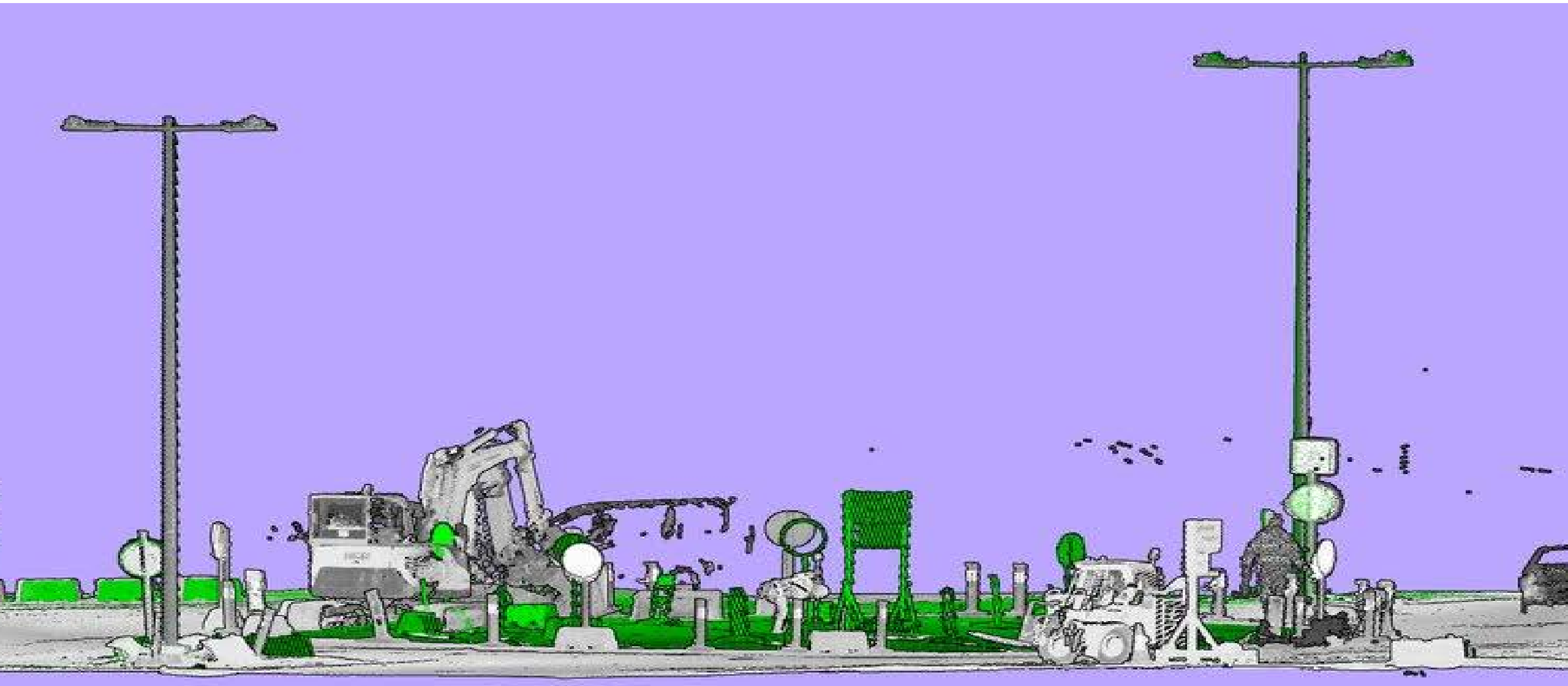


Centre of Excellence  
in Laser Scanning Research

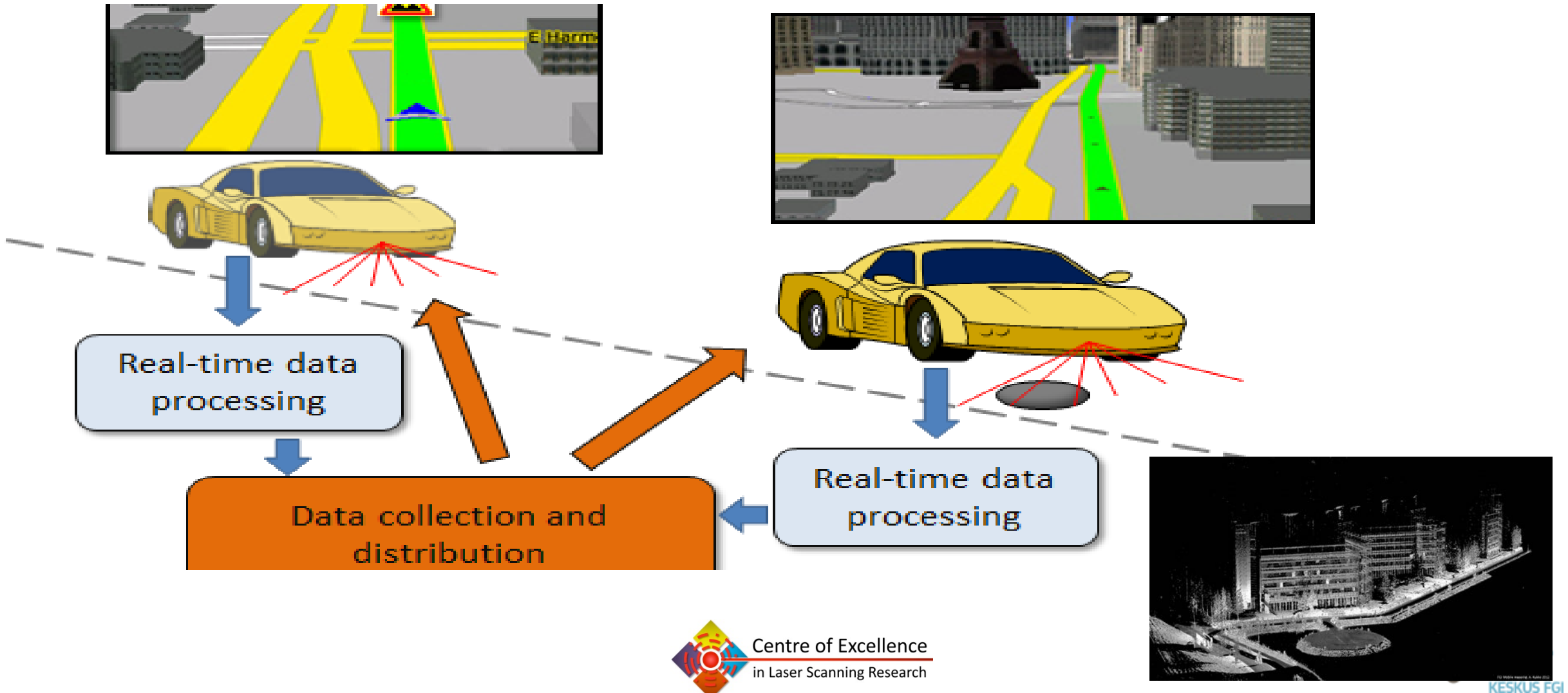


MML  
PAIKKA-  
TIETO-  
KESKUS FGI





# Coming Big Data



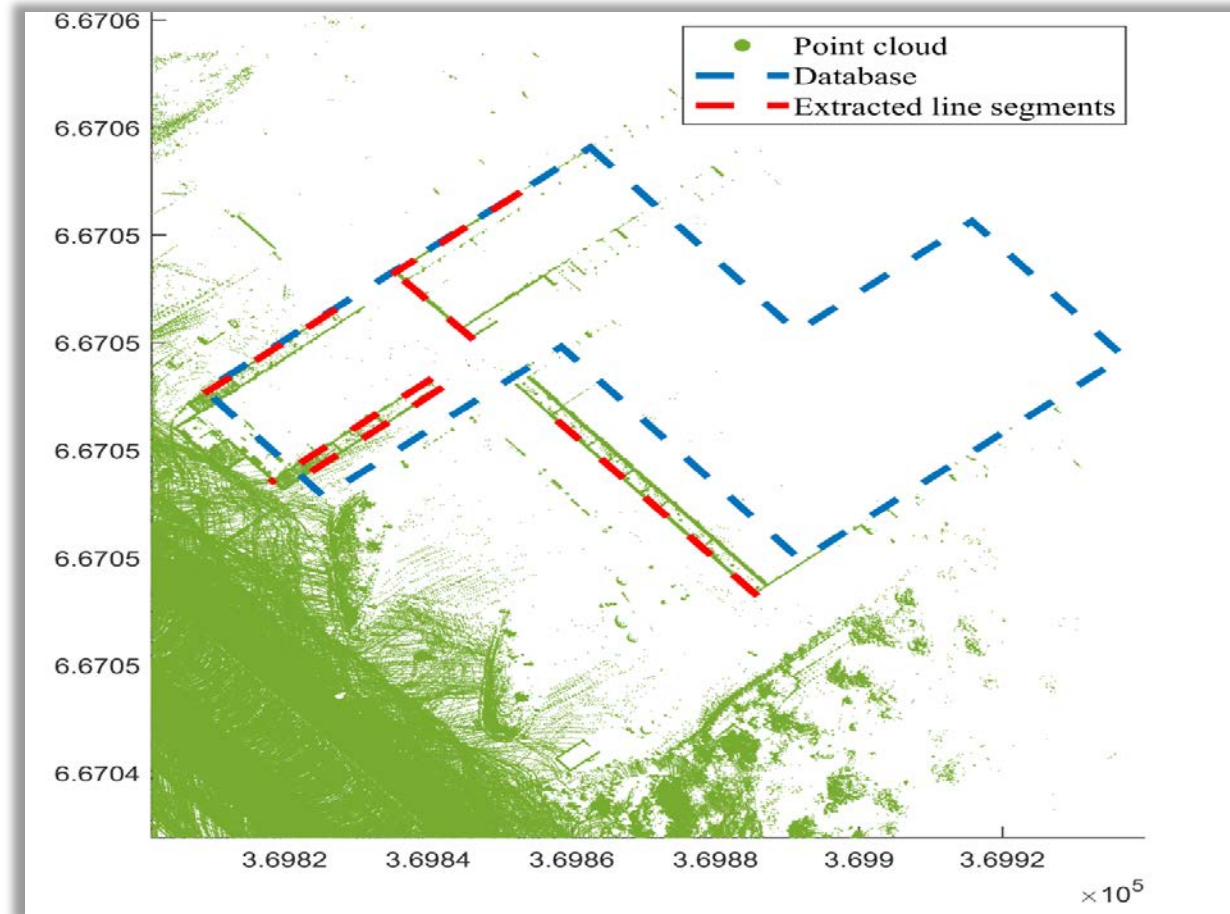
# Mitä jos muutkin näkisivät sen mitä sinun autosi näkee?



Liikkuvalla laserkeilauksella kerätty pistepilvi Lahdesta Sibeliustalon kohdalta. Pistepilvi on kerätty Paikkatietokeskuksen RoamerR3 järjestelmällä. Järjestelmä on liian kallis asennettavaksi jokaiseen ajoneuvoon, mutta kuva osoittaa millaiseen yksityiskohtaisuuteen näillä järjestelmillä voidaan päästä.

# Map Updating

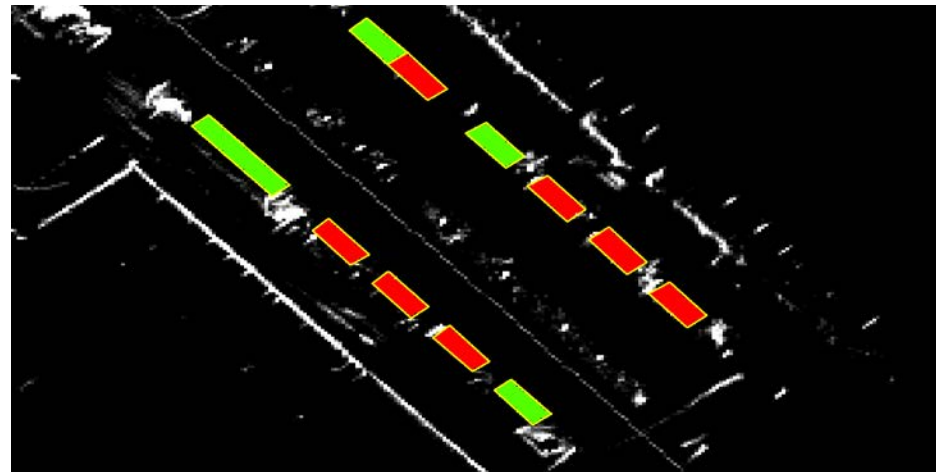
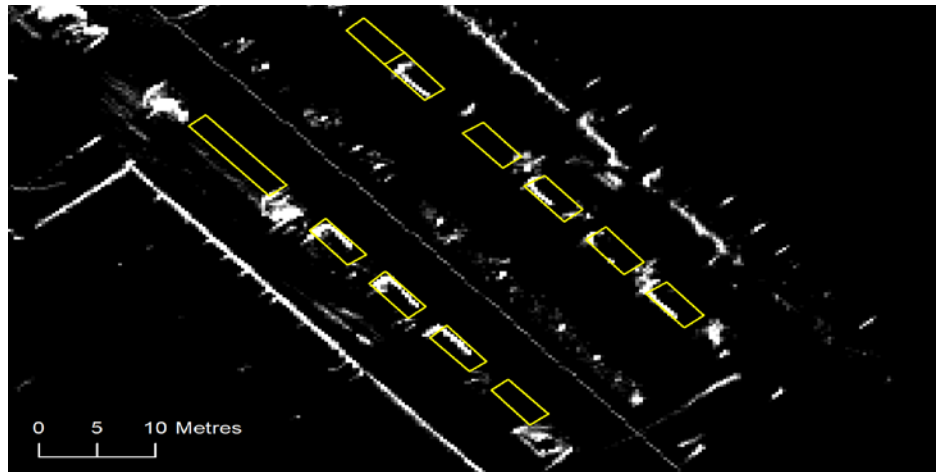
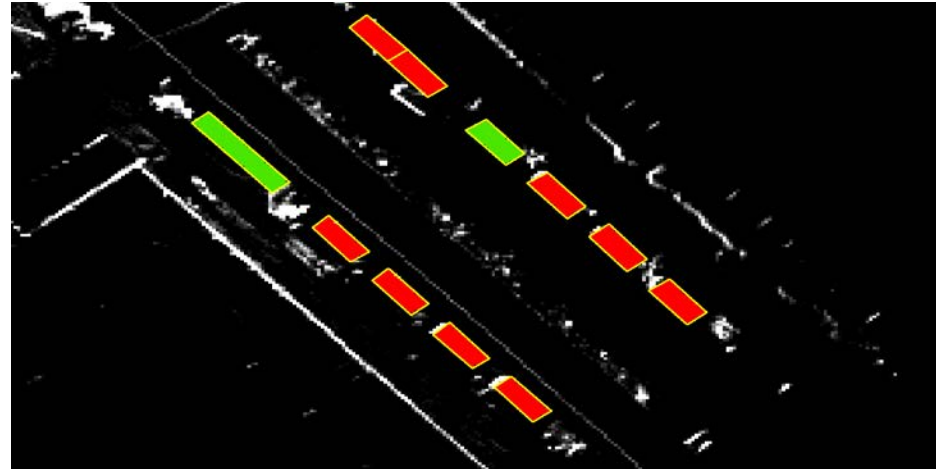
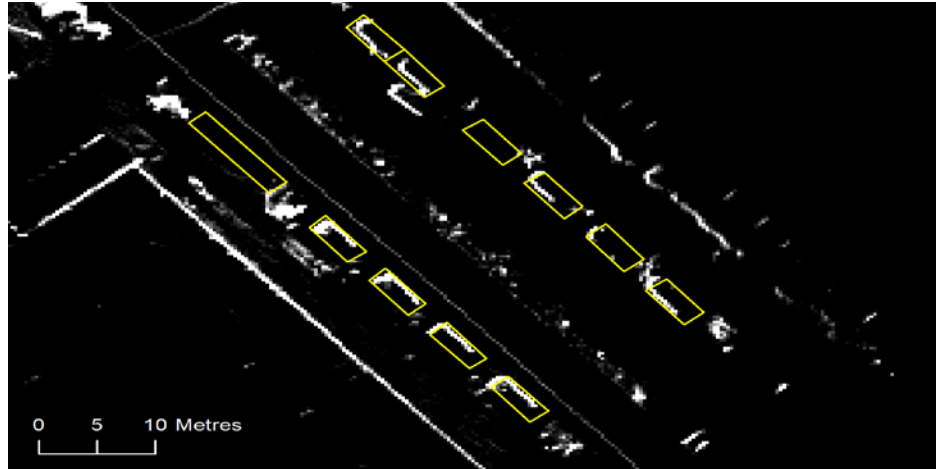
The algorithm has detected (part of) the walls of the new building (red dashed lines) that was built in the place of the old demolished building (blue dashed lines).



# Car parks

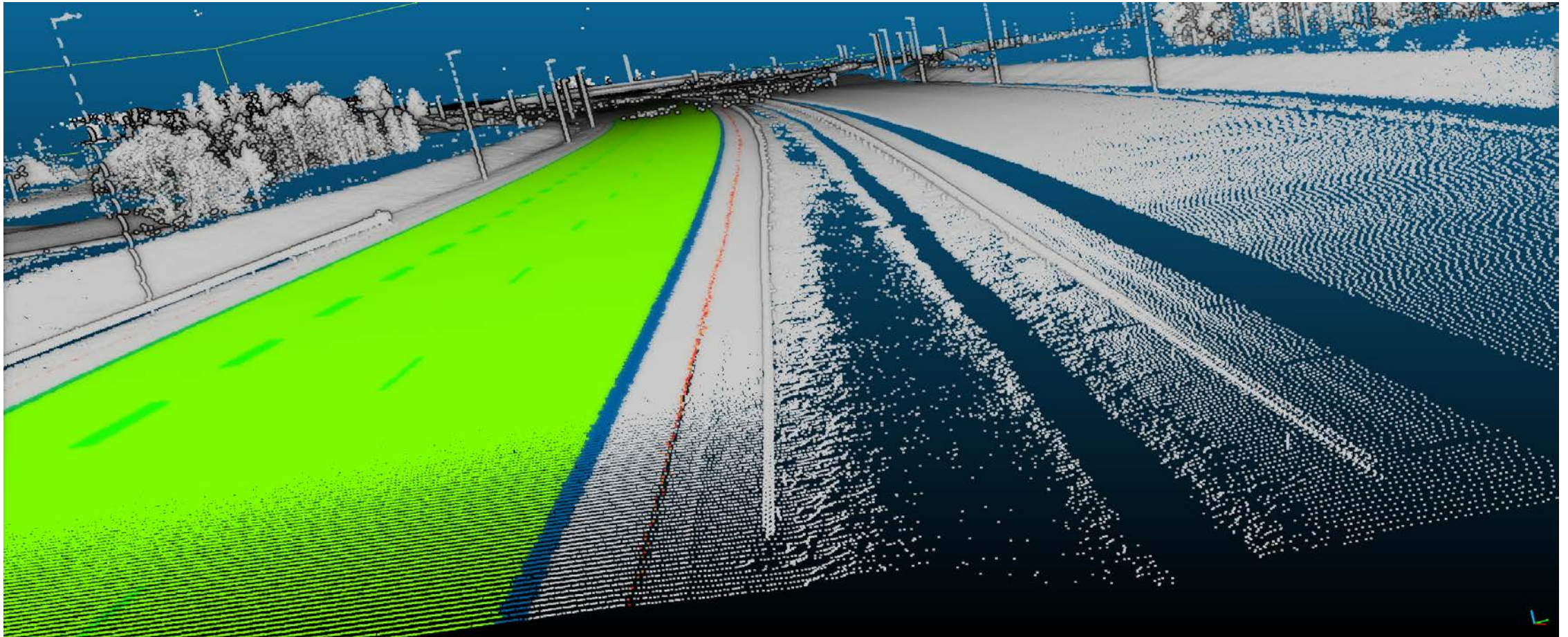


**Figure.** a) Part of the street Espoonlahdenkatu as recorded on the reference video during data acquisition Drive 1. b) Raster representation of the car-based laser scanner data. The pixel value of each  $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$  cell corresponds to the number of laser points inside the cell. Parked cars appear as L shaped clusters of bright pixels.



**Figure x.** Data (left) and classification results (right) for Drives 1 (upper row) and 2 (lower row). Parking places classified as free are shown in green and parking places classified as occupied are shown in red. Digitized boundaries of the parking places are shown in yellow.

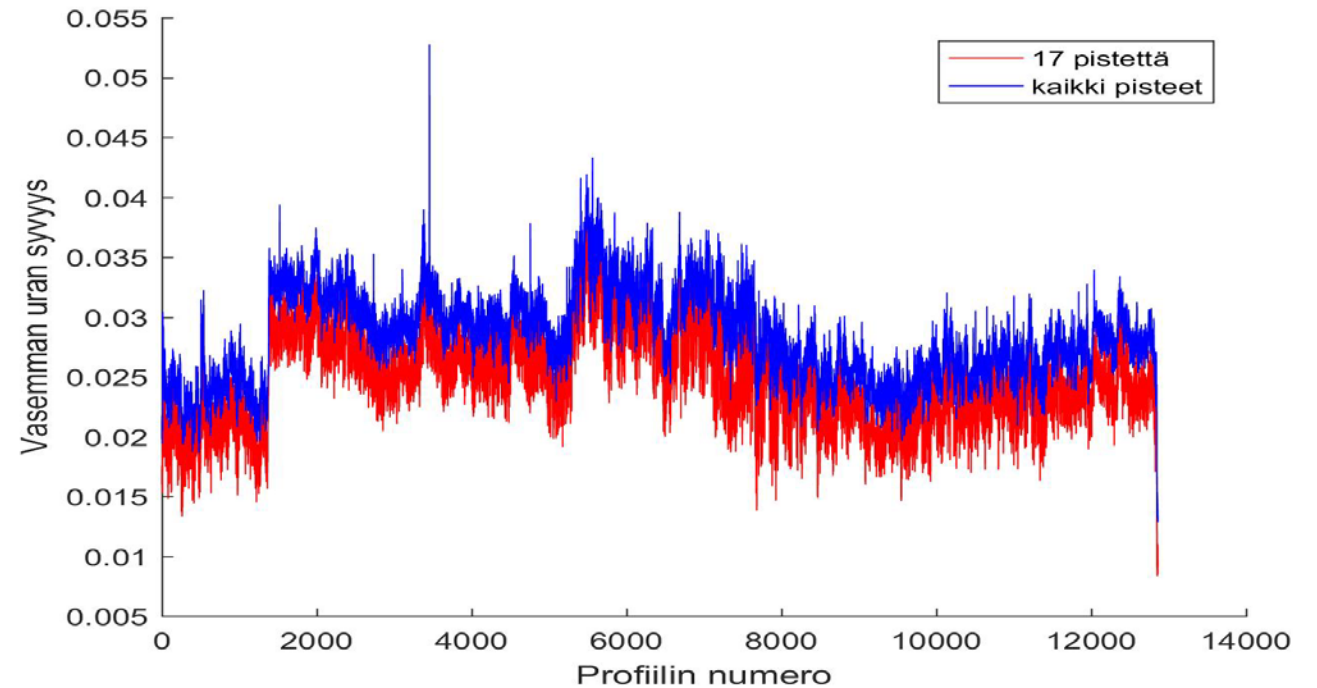
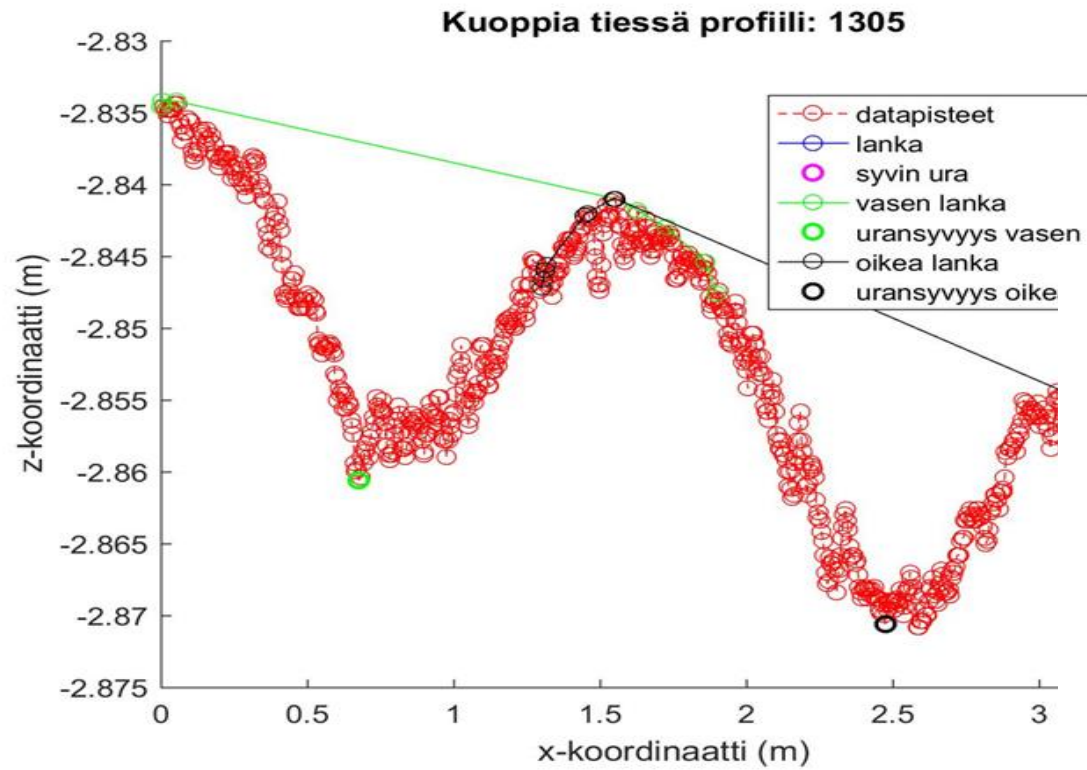
# Road Quality



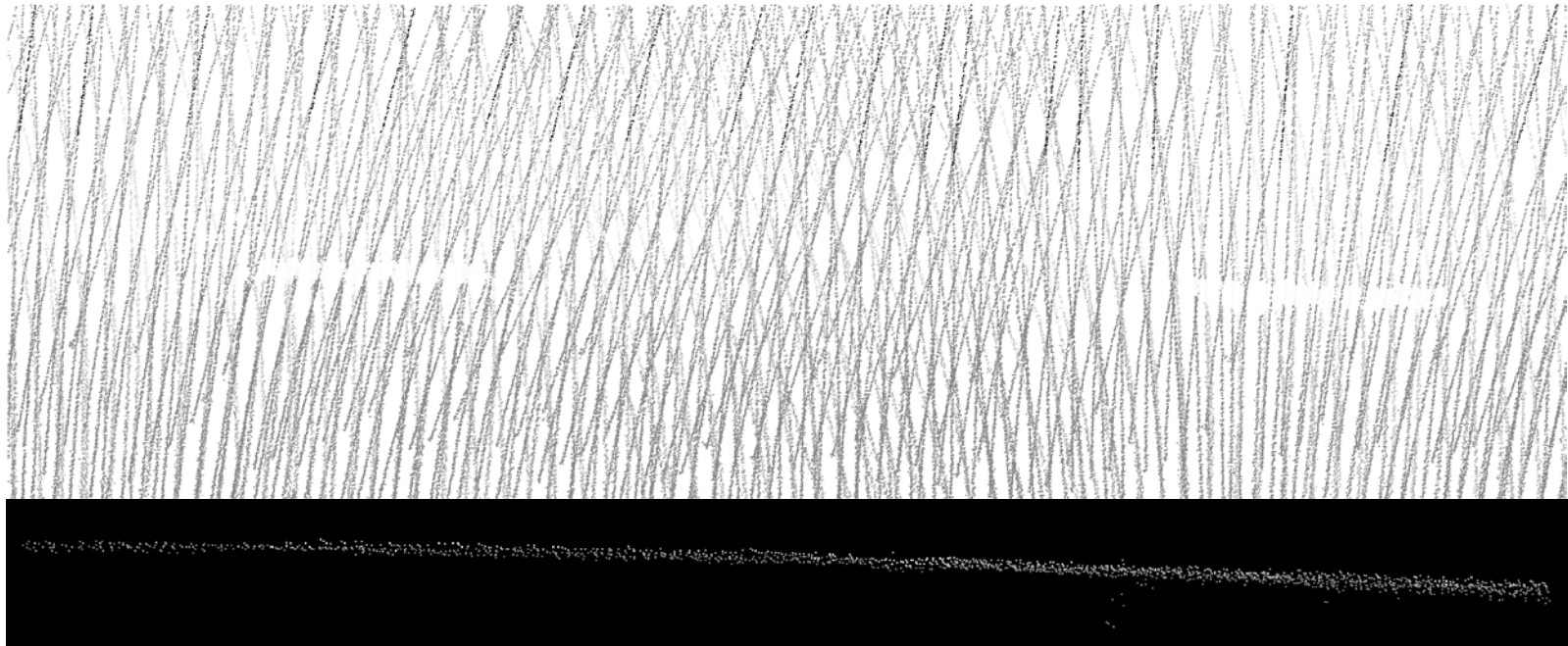
# Measurement set up



# Rut Measurements

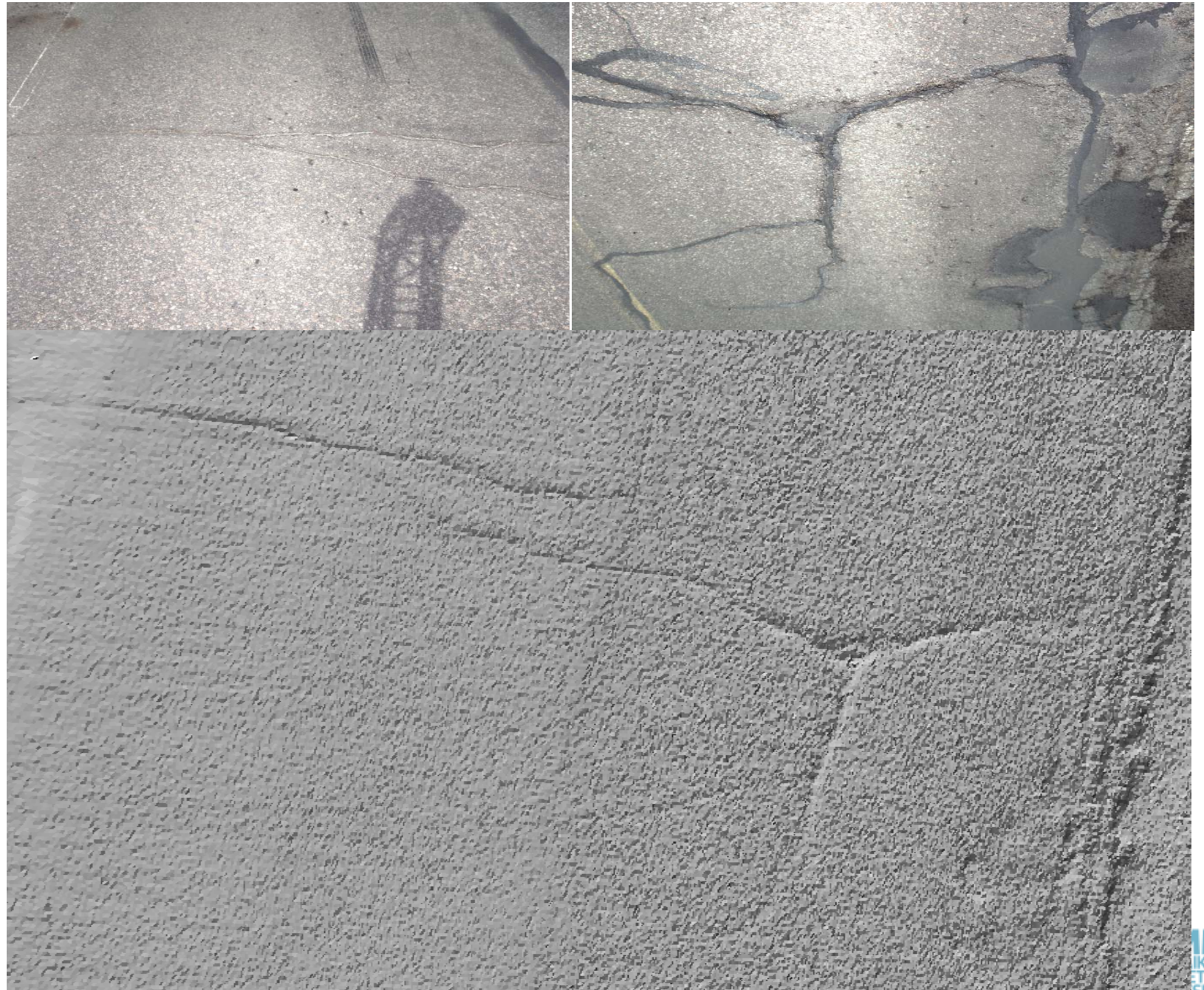


# Velodyne VLP-16



# Quality

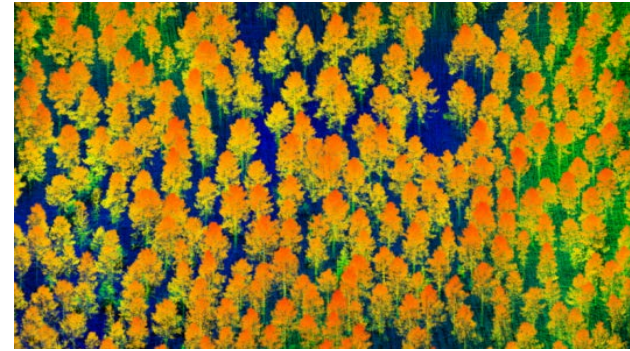
- Kuva. Pituus- ja poikkisuuntaiset halkeamat sekä rikkonainen päällystealue tien reunassa ovat havaittavissa rinnevarjostetusta pistepilviaineistosta.



# Conclusion for damage assessment

- Damages are visible by three different mechanisms: 1) height difference, 2) lower intensity, 3) gap in the data (no reflection)
- Should be based on georeferenced data, not the profiles
- High quality MLS data needed: 90% of damages detected

# Automation of Road Environment



Autonomous Collection of Forest Field Reference—The Outlook and a First Step with UAV Laser Scanning A Jaakkola, J Hyypä, X Yu, A Kukko, H Kaartinen, X Liang, H Hyypä, Remote Sensing 9 (8), 785

# Maps needed by autonomous

- Digital, physical for humans
- Support for autonomous Positioning
- Support Navigation
- Support Target Identification
- NLS FGI Role - National HD Map – a point cloud

# US Spin-off

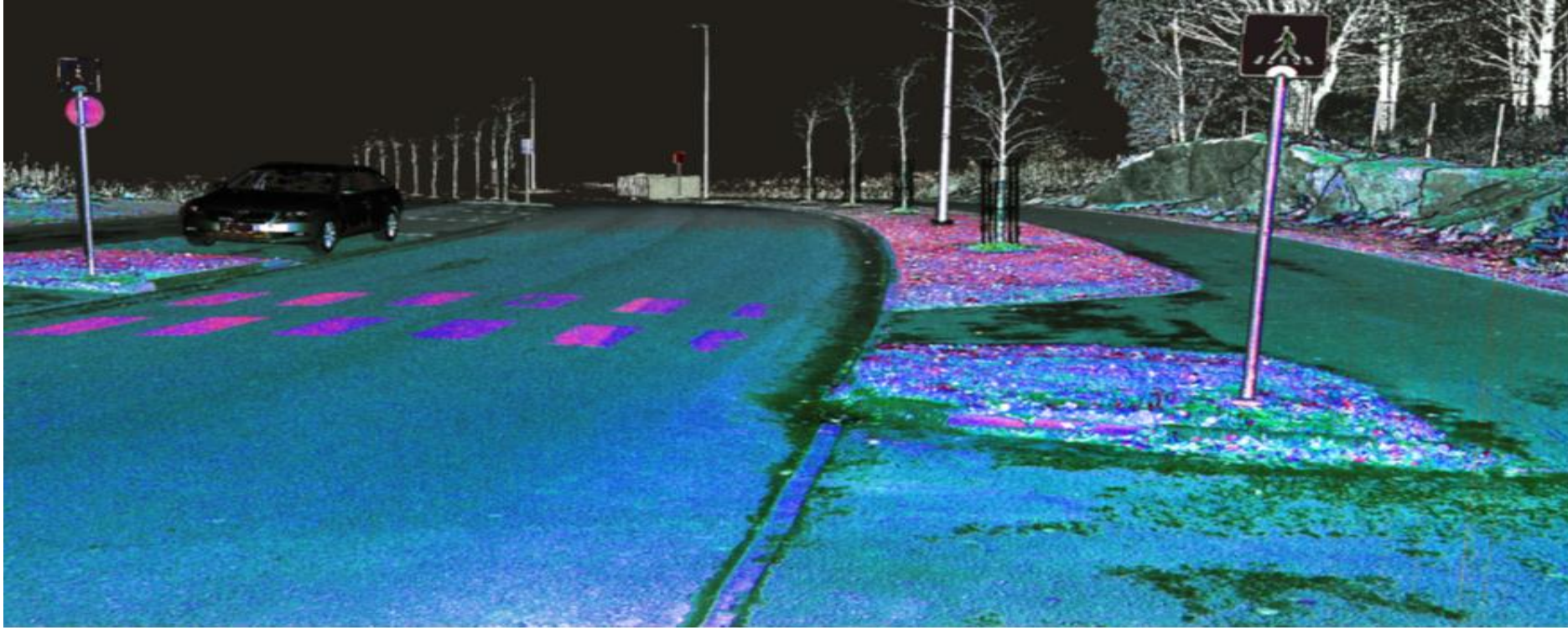




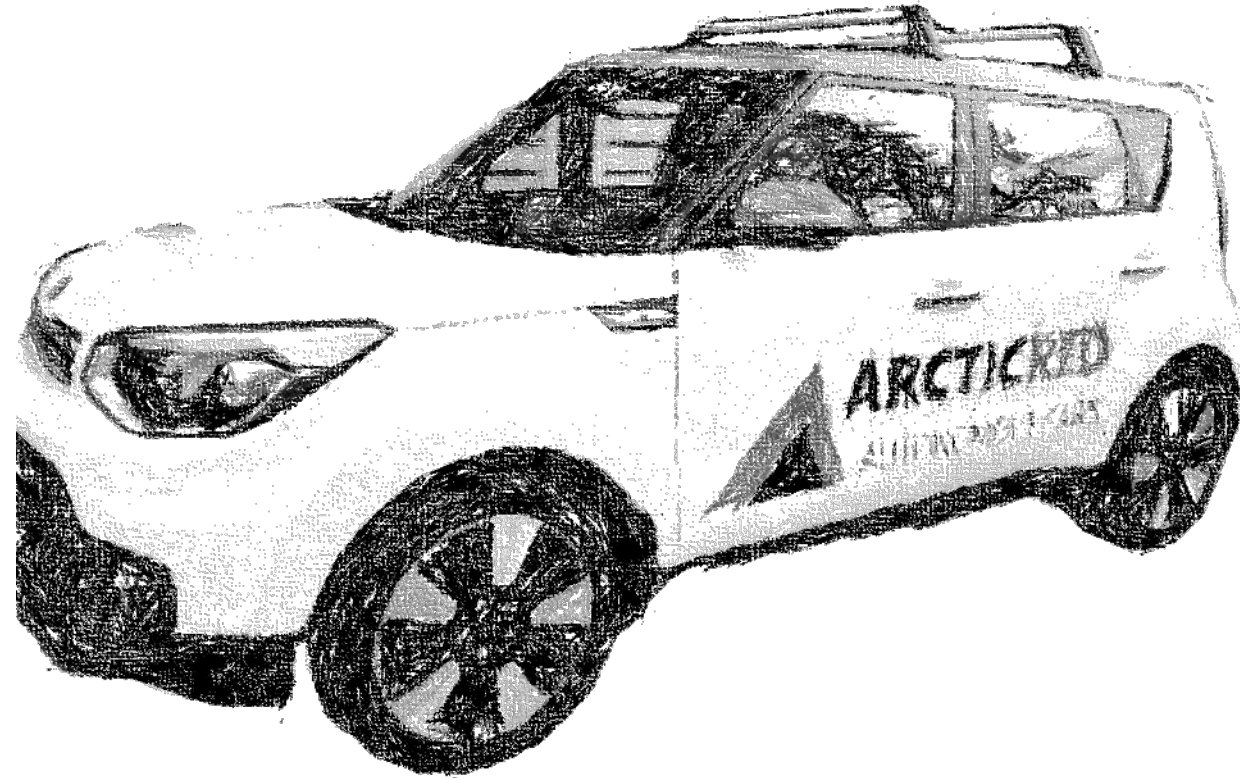
TEKNOLOGIAMURROKSET | Tiina Uro, Harri Kaartinen, Juha Hyyppä, Leena Matikainen, Antero Kukko | 31.8.20

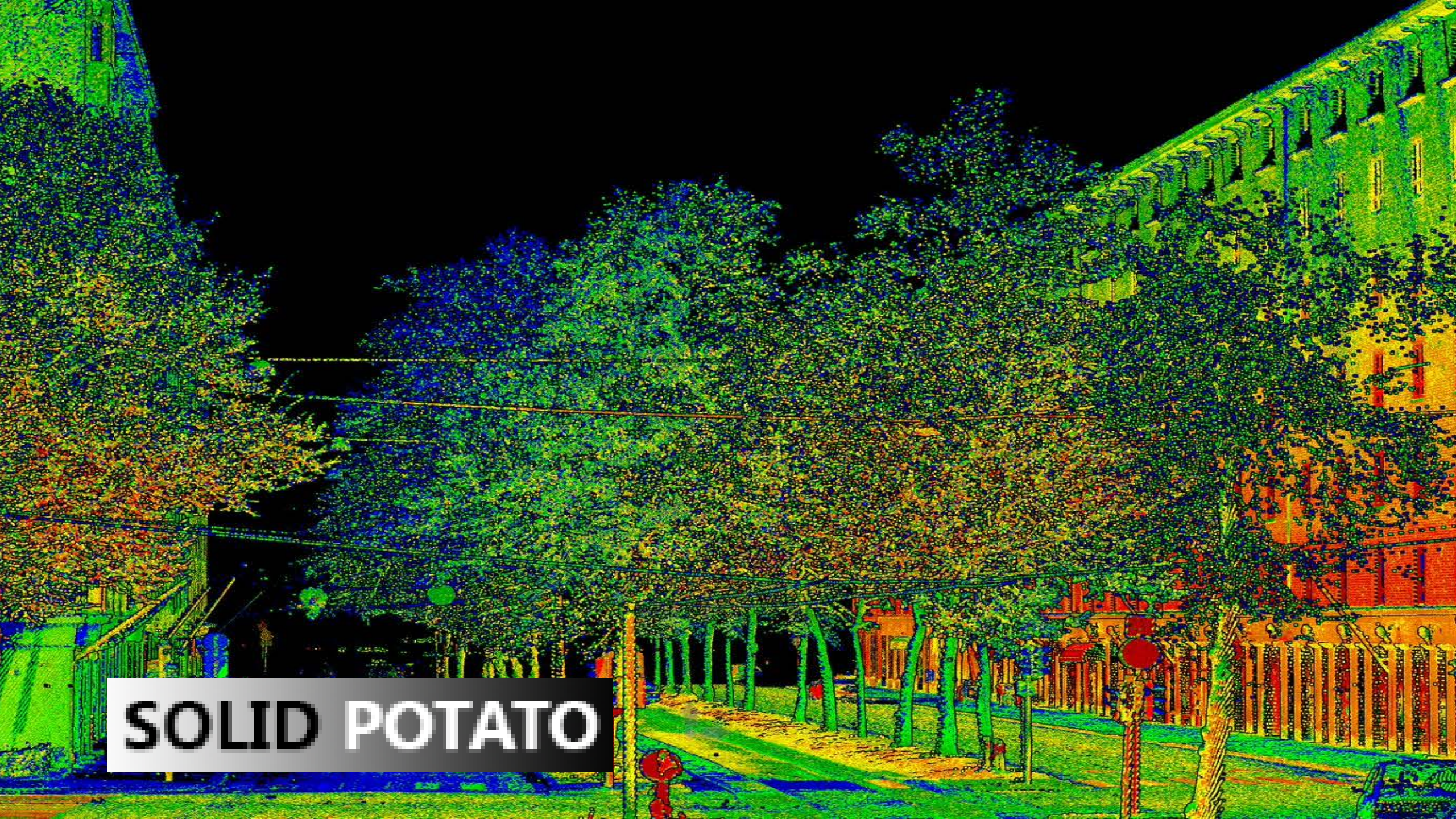
## 3D-karttatuotanto siirtyy vihdoinkin mustavalkomaailmasta väri-TV-aikaan - lupaa yhteiskunnalle merkittäviä säästöjä





# ArcticRed





**SOLID POTATO**