

# IOT-LAITTEIDEN PAIKANNUS JA PAIKKATIETO

Haltian Oy:n tuotteiden osalta

Haataja Pentti

Opinnäytetyö  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

2019

Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Pentti Haataja	<b>Vuosi</b>	2019
<b>Ohjaaja</b>	Teuvo Heimonen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Haltian Oy		
<b>Työn nimi</b>	IOT-laitteiden paikannus ja paikkatieto		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	50 + 3		

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli esitellä tämän hetkisen työnantajani Haltian Oy:n omien sekä asiakkaille suunniteltujen ja valmistettujen tuotteiden avulla ratkaisuja paikannukseen ja paikkatietoon. Työ oli poikkitieteellinen selvitys IoT-maailman laitteiden ja ohjelmistojen sekä maanmittaukseen liittyvien toimintojen yhteen liittämiseksi.

Esitellyt tuotteet ja palvelut olivat sellaisia, joissa päätarkoituksena on ollut joko paikantaminen tai navigointi sekä mahdollisuus kerätä tätä kautta erilaisten sensoreiden avulla monenlaista paikkaan liittyvää informaatiota eli paikkatietoa. Yritys ei varsinaisesti valmista maanmittaukseen tarkoitettuja laitteistoja, ainakaan paikannustarkkuudella mitattuna, mutta kuitenkin sellaisia, joiden avulla moniin erilaisiin sovelluksiin saadaan riittävän tarkka paikka määritettyä. Aineistoa oli aiemmista jo elinkaaren loppupäässä olevista sekä nykyisistä ja osaltaan tulevis-takin tuotteista.

Esiteltävä tuoteryhmiä olivat käyttötarkoituksen mukaisesti paikannuslaitteet, pyöräilytietokoneet ja sensoriverkkotuotteet. Työn alussa oli yleistietoa IoT:sta, paikannuksesta, paikannusmenetelmistä sekä Haltian yrityksen esittely. Esiteltävistä laitteista kerrottiin niiden teknisiä tietoja, tuotekehityksen aikaisista testauksesta ja käyttötarkoituksia. Lisäksi tuotiin esille mahdollisia sovelluksia, joissa laitetta tai tuotetta voitaisiin käyttää paikkatiedon tuottamisessa tai esittämisessä. Myös Haltianin tarjoamat sensoripaikannusratkaisut esiteltiin työssä, vaikka ne eivät vielä tällä hetkellä olekaan asiakkaille saatavissa.

Avainsanat

IOT, paikkatieto, Haltian, paikannus, sensorit

---

Degree Program in Land Surveying  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Pentti Haataja	<b>Year</b>	2019
<b>Supervisor</b>	Teuvo Heimonen		
<b>Commissioned by</b>	Haltian Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Positioning and GIS Data of the IOT devices		
<b>Number of pages</b>	50 + 3		

---

The objective of this thesis was to introduce Haltian Oy`s own product solutions and products designed and manufactured for customers for positioning and geographic information. The thesis was as an interdisciplinary research between the lot devices and the surveying functions.

The main purpose of the products and services presented was either positioning or navigation. In addition, it was able of collecting various types of geographic information through various sensors. The equipment manufactured were not meant for surveying, not at least in terms of positioning accuracy. However, the equipment was used to determine the adequate location accuracy for many applications.

The product groups presented were positioning devices, cycling computers and sensor network products. First general information was given about IoT, positioning and positioning methods. In addition, the company Haltian was presented. The specifications, the product development testing and the intended use of the devices to be presented were described. In addition, potential applications for using the devices to produce or display spatial data were discussed. The sensory positioning solutions provided by Haltian were introduced, although they are not yet available for customers.

Key words

IOT, GIS, Haltian, positioning, sensors

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	7
2 IOT.....	8
2.1 IoT:n määritelmä.....	8
2.2 Muut nimitykset.....	8
2.3 Tietoturva.....	9
2.4 Käyttökohteet.....	10
3 PAIKKATIETO .....	13
3.1 Paikkatiedon määritelmä.....	13
3.2 Paikkatiedon käyttäjät.....	14
3.3 Paikkatietojärjestelmä.....	14
4 PAIKANNUS.....	15
4.1 Paikannuksen historiaa.....	15
4.2 Satelliittipaikannus .....	16
4.3 Sisäpaikannus .....	20
5 HALTIAN YRITYKSEN ESITTELY .....	23
6 LAITTEET JA SOVELLUKSET.....	24
6.1 Paikannuslaitteet .....	24
6.1.1 Thingsee One.....	24
6.1.2 SnowFox .....	27
6.2 Pyöräilytietokoneet .....	28
6.2.1 Omata .....	29
6.2.2 Asiakkaalle suunniteltu pyörätietokone .....	32
6.3 IoT-sensoriverkot.....	35
6.3.1 Verkkoratkaisut.....	36
6.3.2 Laitteisto.....	37
6.3.3 Sensoripaikannus.....	39
7 POHDINTA .....	44
LÄHTEET.....	46
LIITTEET .....	50

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AES	Advanced Encryption Standard. Avoimen Algoritmin salausmenetelmä
AoA	Angle of Arrival. Signaalin tulokulmaan perustuva laskentamenetelmä.
AoD	Angle of Departure. Signaalin lähtökulmaan perustuva laskentamenetelmä.
AST	Asset Trackin. Laitapaikannus
AWS	Amazon Web Services. Amazonin internet palvelu.
Botnet	Robotnetwork. Bottiverkko
DGPS	Differential GPS. Differentiaalinen GPS.
Eddystone	Googlen kehittämä viestintäprotokolla sisäpaikannukseen
FiRa	Fine-Ranging. Alhaisen bittinopeuden sisäpaikannus tekniikka.
GDGPS	Global Differential GPS. Globaali GNSS-järjestelmän seuranta- ja virheenkorjausjärjestelmä.
GIS	Geographic Information System. Paikkatietojärjestelmä
GLONASS	Globalnaja Navigatsionnaja Sputnikovaja Sistema. Venäjän puolustusministeriön satelliittipaikannusjärjestelmä.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Maailmanlaajuisen satelliittipaikannusjärjestelmän yleisnimike.
ICT	Information and Communication Technology. Tieto- ja viestintätekniikka
IMU	Inertial Measurement Unit. Inertiamittausalusta
IoE	Internet of Everything. Kaiken Internet
IoT	Internet of Things. Esineiden internet.
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System. Intian alueellinen satelliittinavigointijärjestelmä.
MAC	Media Acces Control. Verkkolaitteen yksilöivä osoite.
PIR	Passive Infrared. Infrapunasensori.
PPM	Parts Per Million. Miljoonasosa

RSSI	Received Signal Strength Indicator. Vastaanotetun signaalin voimakkuuden indikaattori.
RTK	Real time Kinematic. Reaaliaikainen kinemaattinen mitaus.
TLS	Transport Layer Security. Tietoliikenteen salausprotokolla
TTFF	Time To First Fix. Satelliittipaikannusratkaisun saamiseen tarvittava aika.
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System. Japanilaisten kehittämä satelliittijärjestelmä.
UID	Unique Identifier. Yksilöllinen tunniste.
UST	User Tracking. Käyttäjän paikannus.
UWB	Ultra-WideBand. Laajakaistainen
VRS	Virtual Reference Station System. Virtuaalinen referenssiasemajärjestelmä

## 1 JOHDANTO

Tähän asti tietokoneet, ja siten Internet myös, ovat informaation suhteen olleet melkein täysin riippuvaisia ihmisten toimenpiteistä. Suurin osa internetissä saatavilla olevasta tiedosta tallennettiin ja luotiin ensin manuaalisesti ihmisen toimesta - kirjoittamalla, nauhoittamalla, ottamalla kuvia tai skannaamalla. Ongelmana tässä on se, että ihmisten riittämätön huomiokyky ja tarkkuus sekä rajallinen aika tai jaksaminen tekevät heistä huonoja reaaliaikaisen datan keräämiseen tosielämän fyysisistä ja pitkäkestoista asioista. (Ashton 2009.)

Elämämme ja ympäristömme maapallolla koostuu fyysisistä asioista ja tarvitsemme siitä jatkuvasti uutta tietoa. Kun pystymme keksimään ja rakentamaan laitteita, jotka voivat havainnoida sekä mitata monia asioita samanaikaisesti ja jakaa tämän tiedon itsenäisesti verkkoon, auttavat ne meitä kehittämään monin tavoin elämäämme ja toimintaamme. Tietäisimme esimerkiksi, milloin jokin asia tai laite pitää korjata, korvata tai palauttaa ja onko viimeinen käyttöpäivä elintarvikkeesta jo mennyt. (Ashton 2009.)

IoT-laitteiden muodostamilla automaattisilla ja itsenäisillä verkostoilla voidaan ympäristöä, koneita, prosesseja ja palveluita seurata herkeämättä, etäseurannan ja -ohjauksen avulla, vuorokauden ympäri ja jopa vuosikausia ilman tarvetta paikan päällä käymiseen.

Opinnäytteessä on tarkoitus esitellä IoT-laitteiden paikannus- ja paikkatietosovelluksia Haltian Oy:n kehittelemien omien IoT-ratkaisujen sekä soveltuvien osin asiakkaille toimitettujen erilaisten tuotteiden avulla.

## 2 IOT

### 2.1 IoT:n määritelmä

Esineiden internet (IoT) on jo käsitteenä ollut olemassa 2000-luvun alkupuolelta lähtien. Ennen tätä siitä puhuttaessa tarkoitettiin ns. ”älykkäitä kodinkoneita”, joihin oli integroitu yksi tai useampi sensori sekä verkkoyhteys esimerkiksi WLAN:illa tai Bluetooth:illa. Tällöin jääkaapista käyttäjä pystyi puhelimensa avulla tarkistamaan, montako kananmunaa tai maitopurkkia oli jäljellä ja kahvinkeitinmen sai käynnistymään automaattisesti, kun herätyskello oli soinut.

IoT voidaan esimerkiksi määritellä toisiinsa liittyneiden fyysisten esineiden (asioiden = Things) verkoksi tai ekosysteemiksi, jonka sulautettua tekniikkaa sisältävät laitteet on valjastettu sensorien avulla tapahtuvaan sisäisen tilan ja ulkoisen ympäristön havaitsemiseen tai siihen vuorovaikuttamiseen. (Heidt 2017, 3–4.)

Näitä fyysisiä esineitä tai asioita voivat olla mm. erilaiset laskentalaitteet, mekaaniset ja digitaaliset koneet sekä jopa eläimet ja ihmiset, jotka käyttävät erilaisia aktiivisuuskaulapantoja ja -rannekkeita. Niillä tulee olla toisistaan erottuva yksilöllinen tunniste UID (Unique Identifier) sekä kyky siirtää saamaansa informaatiota itsenäisesti verkon kautta tietoa jatkojalostaviin tai esittäviin järjestelmiin. (Burgess 2018.)

### 2.2 Muut nimitykset

Muita käytettyjä IoT:n nimityksiä ovat teollinen internet, teollinen esineiden internet ja kaiken internet. Teollista internettiä voidaan kutsua yhdistelmäksi älykkäistä koneista ja ihmisistä sekä näitä ohjaavista prosesseista. Siinä älykkäät laitteet keräävät antureillaan dataa tuotantolaitosten toiminnasta ja järjestelmistä, joka analysoidaan toimintahäiriöiden ja mahdollisten korjaustarpeiden löytämiseksi. Prosessoinnin jälkeen aletaan korjaaviin toimenpiteisiin saadun tiedon ja analyysien perusteella. (Tikka 2015.)

Kaiken Internet -nimikkeen (IoE = Internet of Everything) voidaan katsoa toimivan kattokäsitteenä niin teolliselle internetille kuin esineiden ja asioiden internetillekin. Termin on ensimmäisenä ottanut käyttöön IT-yritys Cisco. Sen voidaan katsoa

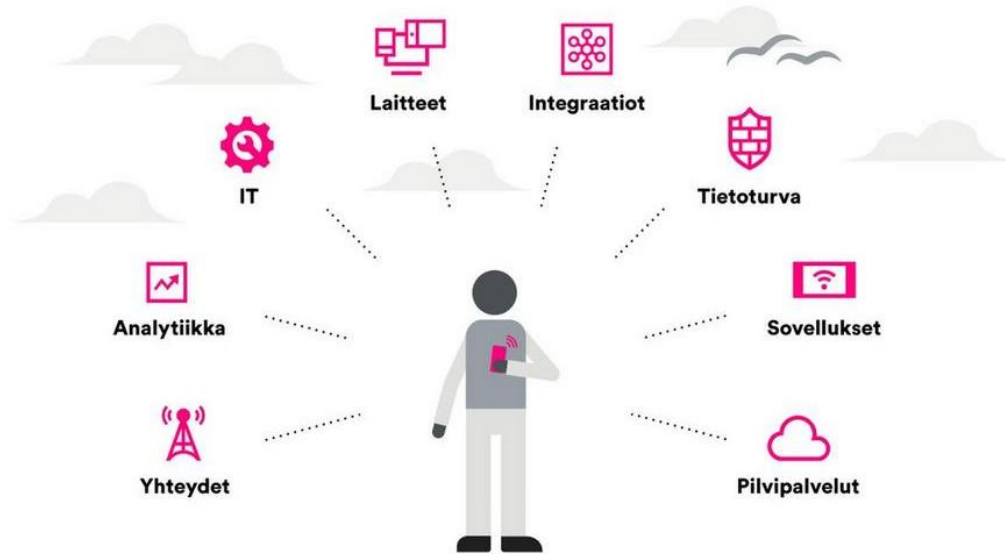
yhdistävän ihmiset, asiat, teknologian, esineet ja prosessit. Kaikkea tietoa ei kannata lähettää keskitetysti pilveen, vaan älykkyyttä ja laskentakykyä tarvitaan myös saatavan tiedon alkulähteillä eli reuna-alueilla, jolloin tarvitaan reunalaskentaa (edge computing). (Tikka 2015.)

### 2.3 Tietoturva

Internetin kirjoittamaton sääntö kuuluu ”Kaikki, mikä on yhteydessä internettiin, voidaan hakkeroida.” IoT-laitteet eivät tee tässä tapauksessa poikkeusta. Huonosti suojattujen laitteiden kautta voidaan päästä vakoilemaan laitteen käyttäjää tai laitteet voivat joutua osaksi bottiverkkoa, jonka tarkoituksena voi olla roskapostin levittäminen tai osallistuminen palvelunestohyökkäyksiin. Eteläkorealainen monikansallinen ryhmittymä, nimeltään Samsung, on laskelmoinut, että laitevalmistajilla on yli 7.3 miljardia laitetta, jotka tulisi suojata ennen vuotta 2020. (Burgess 2018.)

IoT-laitteiden ei välttämättä ole tarpeen kytkeytyä suoraan internettiin, vaan voivat olla osana intranettiä tai muuta suljettua järjestelmää, jolloin saavutetaan kestävämpi ja tietoturvaltaan parempi verkko. Tosin näissäkään ei tule unohtaa tietoturvallisuutta, koska data kuitenkin liikkuu yleensä langattomasti ja siihen on mahdollista sivullisten päästä käsiksi.

Hakkeroinnin kohteiksi IoT-verkoissa voivat joutua seuraavat komponentit – laitteet, yhteyden pitoon tarvittava tietoverkko ja tiedon varmistukseen käytetyt fyysiset komponentit sekä ohjelmistot. Nykyään yritysten ja varsinkin kuluttajien IoT-järjestelmät koostuvat lukuisista eri valmistajien laitteistoista ja ohjelmistoista (Kuvio 1). Juuri nämä lukuisat variaatiot aiheuttavat ongelmia, koska yhteensopiavuutta ei useinkaan ole pystytty järjestämään. Useissa tapauksissa tietoturvasta vastaavilla henkilöillä ei myöskään ole tarkkaa tietoa ylläpitämiensä järjestelmien laitteiden määrästä. (Pervilä 2018.)



Kuvio 1. IoT-ekosysteemi (DNA Yritysratkaisut 2019)

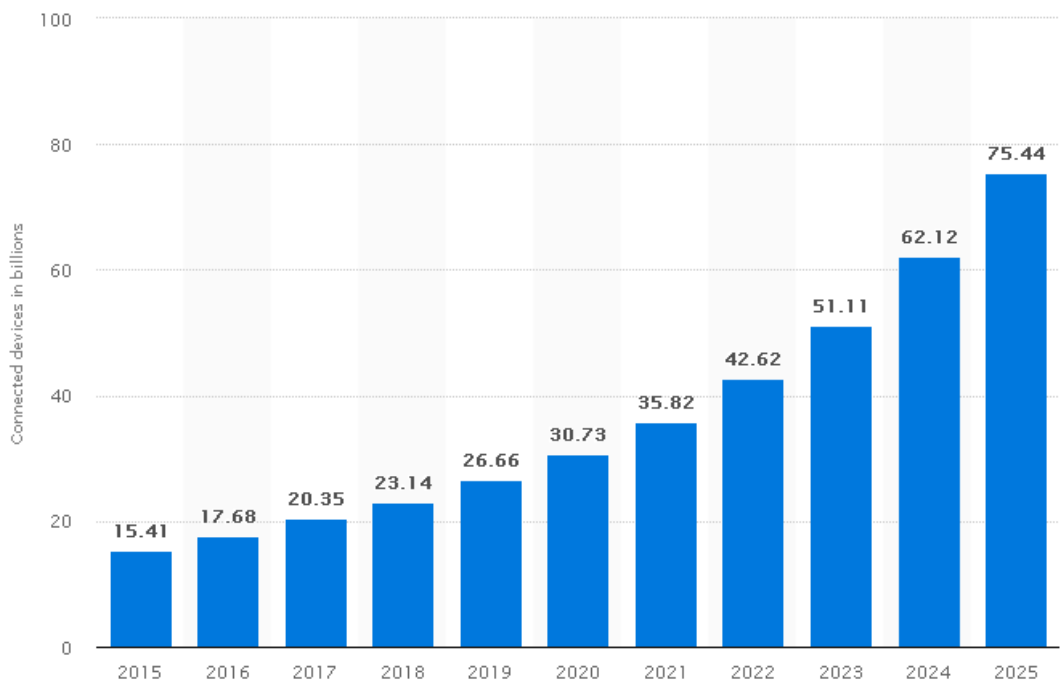
Kuten kaiken internetissä tapahtuvan tiedonsiirron, tulee myös IoT-laitteiden tiedonsiirron hyödyntää nykyaikaisia teknologioita, kuten AES- ja TLS-salausprotokollia. Tällaisiin verkkoihin pääsy voidaan rajata vain sallituille IP-osoitteille, laitteet liitetään VPN-yhdyskäytävän taakse tai käyttää esimerkiksi vahvaa tunnistautumista oikeudenhaltijan verifiointiin. Vahvassa tunnistautumisessa käytetään vähintään kahta seuraavista menetelmistä: tunnistettava yksilöity ominaisuus (sormenjälki, verkkokalvo), salasana tai muu tunnistettavan henkilön hallussa oleva tieto tai henkilön hallussa olevan esineen tai laitteen käyttäminen tunnistusvälineenä, esimerkiksi lähettämällä tekstiviesti matkapuhelimeen. Lisäksi tietoliikenteen tulee olla salattua sekä tapahtumien monitorointi, varmuuskopiointi sekä laitteiden tietoturva- ja ohjelmistopäivitykset automaattisia. Käyttäjiltä tulee vaatia vahvoja salasanoja. Uhkien ennakointi on moninkertaisesti edullisempaa kuin mahdollisen tietovuodon jälkien korjaaminen. (Tapanainen 2017.)

## 2.4 Käyttökohteet

Maailmalta löytyy jatkuvasti uusia, innovatiivisesti ja ennakkoluulottomasti suunniteltuja luovia käyttösovellutuksia ja tuoteideoita, jotka luovat asiakasarvoa esineiden internettiin. Yritykset ovat jo nyt toden teolla heränneet digitalisaation ja IoT:n tuomien mahdollisuuksien kartoittamiseen ja useassa paikassa ollaan

myös pitkällä niiden hyödyntämisessä. Seuraavana merkittävänä askeleena voitaneen pitää pienempien ja keskisuurten yritysten saapumista IoT-kenttään paremmin tuotteistettujen, mutta yhä helpommin muokattavien palveluiden kautta. (Solidi 2016, 18.)

Kuviossa 2 on esitetty ennusteena internetiin kytkeytyneiden IoT-laitteiden määriä aina vuoteen 2025 asti. Sen on julkaissut saksalainen Statista, jolla on eräs suurimmista tilastotietokannoista maailmassa. Se tarjoaa digitaalisten ja kuluttajamarkkinoiden sekä mielipidetutkimuslaitosten keräämiä tietoja ja talouden tilastoja. Sen mukaan laitteiden määrä kolminkertaistuisi seuraavien 5 vuoden aikana n. 25 miljardista aina 75 miljardiin. Ennusteita on saatavilla monenlaisia, eikä kenelläkään ole asiasta kovin suurta varmuutta, mutta kaikki ovat samaa mieltä siitä, että kasvu tulee olemaan todella nopeaa. (Statista.com 2019.)



© Statista 2019

Kuvio 2. Ennuste yhdistetyistä IoT-laitteista maailmanlaajuisesti (Statista.com 2019.)

Vaikka IoT-ratkaisuista kohistaan paljon ja uusia toimijoita alalle tulee jatkuvasti lisää, ei laitteiden ja IoT-toimintaympäristöjen saatavuus käänny automaattisesti

niiden kysynnäksi. Pystyäkseen luomaan markkinoita tuotteelleen, tulee valmistajan pystyä herättämään asiakkaan mielenkiinto, osoittamaan hänelle syntyvä hyöty, tunnistaa hänen tarpeensa ja saada rakennettua kokonaisratkaisu eri toimijoiden näkökulmista. Markkinan luomiseen tarvitaan useampien verkostoituneiden toimijoiden yhteistyötä. Myyntiponnistelujen sijaan mukana olevilta toimijoilta vaaditaan digiloikan vauhdittamiseen aloitteellisuutta ja aktiivisuutta markkinan sanoittamiseen (market making) ja sen edelleen kehittämiseen (market shaping). (DNA business 2019, 6–8.)

Vielä tällä hetkellä harvoilla yrityksillä on ratkaisevaa käsitystä, kuinka he voisivat hyödyntää IoT:n suomia mahdollisuuksia. Monilla on halua päästä mukaan IoT-maailmaan, mutta ei riittävää näkemystä miten sitä voitaisiin järkevästi hyödyntää ja kuinka se tulisi toteuttaa. Pienet esittelylaitteistot (demot) saadaan ehkä toimimaan, mutta niiden skaalaaminen isompaan, koko yrityksen tai muun kokonaisuuden kattavaksi ratkaisuksi, tuottaakin sitten kovia haasteita.

### 3 PAIKKATIETO

#### 3.1 Paikkatiedon määritelmä

Maantieteellisen informaation esittämisessä on jo 1990-luvulta lähtien alettu siirtyä paperisista kartoista digitaalisessa muodossa tallennettaviin, hallinnoitaviin ja esitettäviin karttoihin. Tämä sekä tietotekniikan ja laskentatehon huima kasvu ovat osaltaan vauhdittaneet paikkatiedon aineistojen tuottajien, käyttäjien ja ohjelmistojen lisääntymistä sekä paikkatietoalan kokonaisvaltaista kehitystä.

Paikkatiedolla tarkoitetaan maanpinnan suhteen suoraan tai epäsuorasti paikannettujen reaali maailman kohteiden, ilmiöiden tai tapahtumien kuvantamista, jotka voidaan esittää kartalla. Siinä yhdistyvät kohteen (esim. rakennus, metsikkö, pelto) sijaintitieto ja sen mikä tahansa tarpeellinen ominaisuutta kuvaava tieto (korkeus, tiheys, laji). (Koivunen 2001; Sanastokeskus 2018.)

Sijaintitieto on kohdetta kuvaavien koordinaatti- ja geometriatietojen (tieto kohteen kuvaamisessa käytetystä geometrisestä yksilötyypistä) sekä mahdollisten topologisten suhteiden toisiin geometrisiin kohteisiin muodostama kokonaisuus. Ominaisuustieto taas on kohdetta yksilöivien, ajoittavien (liittävät kohteen tai kohteeseen liittyvän tapahtuman tai havainnon aika-akselille) ja kuvailevien tietojen kokonaisuus. Näiden tarkoituksena on muodostaa kohteista ja ilmiöistä niiden sijainti- ja ominaisuustiedon mukainen looginen tietokokonaisuus, jonka avulla voidaan tarkastella erilaisia vaikeasti hahmotettavia syy-seuraussuhteita. (Koivunen 2001; Wikipedia 2018.)

Suora paikantaminen tapahtuu koordinaattien perusteella. Koordinaattijärjestelmiä on kaksi perustyyppiä, maantieteelliset ja suorakulmaiset koordinaatistot. Maapalokeskeiset ja kolmiulotteiset maantieteelliset koordinaatit ilmaistaan pituus- ja leveysasteina. Käytännöllisempiä etäisyyksien laskentaan ovat yleensä suorakulmaiset koordinaatistot, jotka tasopinnalle projisoituina mahdollistavat laskemisen esimerkiksi Pythagoraan lauseen avulla. Sijainti voidaan myös ilmoittaa epäsuorasti hilarakenteen (yksikulotteinen etäisyys lähtöpisteestä), paikantavan tunnuksen (paikannimen), osoitteen tai muun vastaavan yksikäsitteisen järjestelmän avulla. (Sanastokeskus 2018, 14–18.)

### 3.2 Paikkatiedon käyttäjät

Perinteisesti tulostettujen paperikarttojen aikaan paikkatietoa on käytetty havainnollistettaessa maastotietoja erilaisilla, tiettyyn tarkoitukseen suunnitelluilla, kartoilla. Nykyään, digitaalisella aikakaudella, paikkatiedon soveltamismahdollisuudet ovat mittavat.

Paikkatietoa käytetään tutkimustyössä monitahoisten havaintojen vertailussa, kaupan alalla asiakkaiden käyttäytymismallien luomisessa ja hallinnassa, kaupunkisuunnittelussa tiedon hallinnassa ja välittämisessä sekä erilaisten huoltotahtumien resurssoinnissa ja suunnittelussa. Paikkatieto on myös erinomainen työkalu logistiikkayritysten reittisuunnittelussa ja liikenteenohjauksen ruuhkasuunnittelussa, josta hyötyvät esimerkiksi terveydenhuollon hätäkuljetusyksiköt sekä palo- ja pelastustoiminta. (Ite wiki 2019.)

### 3.3 Paikkatietojärjestelmä

Jo kivikaudella ihmiset tallensivat metsästysretkiään luolien seiniiin kuvina. Niissä saaliseläinten yhteyteen lisättiin erilaisia maamerkkejä, kuten vuoria, jokia tai muita tunnettuja paikkoja, joiden läheltä saalis oli löydetty tai saatu. Näitä voidaan jo pitää yksinkertaisimpina esimerkkeinä paikkatiedosta ja jopa yksinkertaisesta paikkatietojärjestelmästä.

Paikkatietojärjestelmä eli GIS (Geographical Information System) on kehittynyt erillisten tiedonhallinta-, laskenta- ja karttajärjestelmien yhdistämisestä sekä niihin liittyvistä analyysitoiminteista, joiden avulla yhdistellään paikkaan sidottua tietoa. Se on yhdistelmä eri laitteista, ohjelmistoista, aineistoista ja käyttäjistä, joiden tarkoituksena on kerätä, järjestää, hallita, muokata ja analysoida hakeamaansa informaatiota sijaintitiedon omaavista paikoista. Tätä tietoa pitää pystyä myös säilyttämään, ajantasaistamaan, esittämään ja siirtämään muihin systeemeihin järjestelmässä olevilla työkaluilla. (Sanastokeskus 2018.)

Nykyteknologian keinoin on mahdollista luoda paikkatietojärjestelmiä, jotka eivät ole fyysisesti samassa paikassa, eivätkä edes samassa maassa tai maanosassa. Kasvanut laskentakapasiteetti ja huippunopeat tietoliikenneyhteydet mahdollistavat järjestelmän eri osien sijoittumisen pitkienkin matkojen päähän.

## 4 PAIKANNUS

### 4.1 Paikannuksen historiaa

Paikannusta tai paikantamista, jolla selvitetään ihmisen, eläimen tai kulkuneuvon jne. sijainti, on tarvittu niin kauan kuin ihminen on liikkunut paikasta toiseen. Ennen kuin oli käytössä mitään apuvälineitä, suunnistettiin luonnon merkkien mukaan. Esimerkiksi puiden oksat olivat kookkaammat eteläpuolella, muurahaiskekojen loiva sivu osoittaa etelään ja sammaleet kasvoivat yleensä puiden ja kivien pohjoispuolella. Näiden merkkien avulla pystyttiin selvittämään ilmansuuntia ja näin löytämään suunta kohteeseen. Myös auringon ja tunnettujen tähtien sijainnista voitiin päätellä ilmansuuntia. Suunnistamisen apuvälineenä on käytetty myös kompassia, jonka toimintaperiaate on kiinalaisten muistiinpanojen mukaan keksitty jo noin 2600 ennen ajanlaskun alkua. (Wikipedia Paikannus 2018; Jakosuo 2016.)

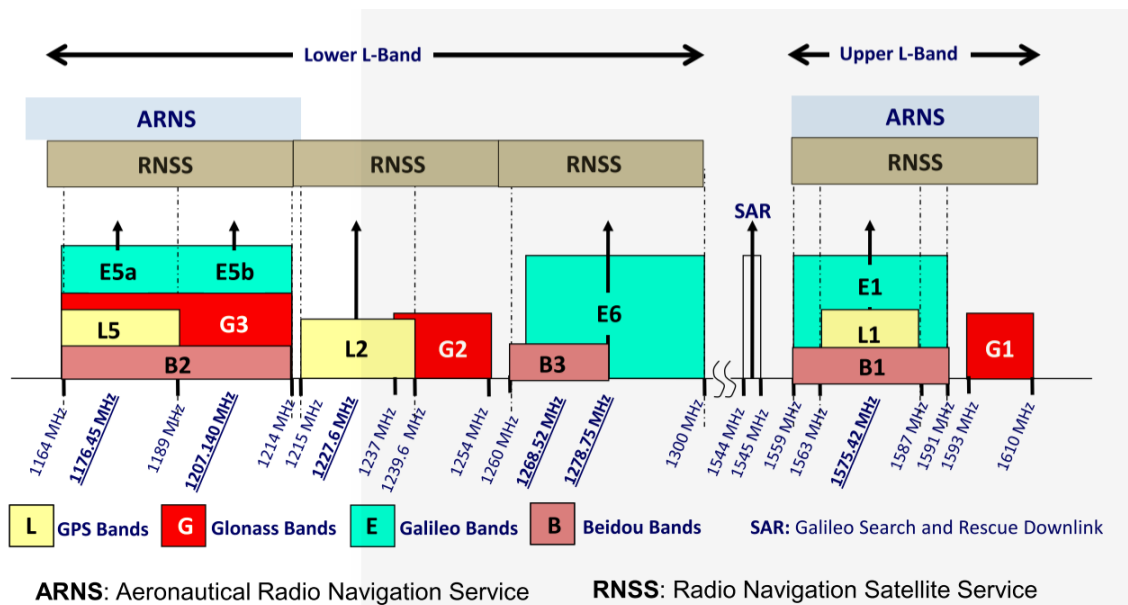
Varsinkin merenkulkua varten kehitettiin ilmansuuntien lisäksi, myös paikannukseen taivaankappaleiden avulla toimiva sekstantti. Siinä sekstantin, horisontin (merellä merenkäynnin takia käytettiin keinohorisonttina vakaana pysyvää neste-pintaa) ja tarkkakäyntisen kellon eli kronometrin avulla saatiin riittävästi suureita, joiden perusteella pystyttiin laskemaan kyseisen paikan koordinaatit. Mittauksessa havaittiin korkeuskulma kahteen ekvaattorijärjestelmässä sijainniltaan tunnettuun kohteeseen (aurinko, tähti, planeetta tai kuu) sekä havaintohetken tarkka aika, jolloin saatiin kaksi asemaympyrää, joiden leikkauspisteessä havaitsijan paikka oli. Lisäksi tarvitsi tietää likimääräinen sijainti, koska kahden toisensa leikkaavan ympyrän leikkauspisteitä on kaksi kappaletta. (Laurila 2012, 7–8.)

Seuraavaksi esittelen laitteistojen ja sovellusten läpikäymisen yhteydessä esiin tulevia paikannusmenetelmiä. Ne tarjoavat mahdollisuuksia monipuoliseen paikannukseen ja liikkumis- sekä paikkatiedon keruuseen.

## 4.2 Satelliittipaikannus

Alun perin satelliittipaikannuksella tarkoitettiin Yhdysvaltain puolustusministeriön (Department of Defence) kehittämää sotilaskäyttöön tarkoitettua Navstar GPS -järjestelmää, jonka ensimmäiset satelliitit laukaistiin jo 1978. GPS-järjestelmän 24 satelliitin konstellatio täyttyi 1983 ja järjestelmä oli täysin valmis vuonna 1995. Sen vaatimuksia olivat mm. reaaliaikaisuus, yksisuuntaisuus, häiriösitouisuus ja metriluokan paikannustarkkuus. (Poutanen 2009, 16.)

Nykyään satelliittipaikannuksesta puhuttaessa käytetään usein lyhennettä GNSS, joka kattaa myös muut olemassa olevat satelliittijärjestelmät. Näitä ovat globaalit järjestelmät kuten venäläisten GLONASS, Euroopan unionin Galileo ja Kiinan BeiDou. Näiden lisäksi on vielä paikallisia järjestelmiä, kuten Japanin QZSS ja Intian IRNSS. Kuviossa 3 on esitetty kaikki tämänhetkiset GNSS-taajuudet eri satelliittikonstellatioille. Uusimmat GPS-vastaanottimet pystyvät käyttämään hyväkseen kaikkien järjestelmien satelliitteja, tosin yleensä vain kahta tai kolmea yhtä aikaa.



Kuvio 3. GPS, GLONASS, Galileo ja Beidou taajuudet sekä allokointi (ESA 2013, 19.)

Useamman järjestelmän yhtäaikainen seuraaminen kasvattaa laskentatehovaatimusta ja näin ollen lisää myös virrankulutusta, mikä ladattavilla paikannuslaitteilla usein koetaan ongelmalliseksi. Käytettäessä useampaa järjestelmää yhtä

aikaa saadaan kattavampi satelliittipeitto paremmalla satelliittigeometrialla ja lisää luotettavuutta myös peitteisessä maastossa sekä kaupungeissa korkeiden ja tiheään rakennettujen talojen katvealueilla. (Ublox 2019.)

Seuraavissa kappaleissa on kerrottu GPS-vastaanottimien käyttämisestä paikannustavoista ja niiden tarkkuuksista. Muilla satelliittijärjestelmillä paikannus tapahtuu hyvin pitkälle samalla tavoin, kuitenkin yksityiskohdiltaan ja parametreiltaan hieman poikkeavin termein.

Satelliittipaikantamisessa GPS-vastaanotin laskee etäisyyksiä satelliitteihin niiden lähettämien signaalien kulkuajojen perusteella. Kulkuajat saadaan laskettua joko pseudosatunnaisista koodihavainnoista (P- tai C/A-koodi) tai signaalin kantoaallon aallonpituuden vaihehavainnoista sekä vaativimmissa mittauksissa lisäksi vielä korjattuna Doppler-ilmiön avulla kantaaltoon perustuen, kuvaten satelliitin lähenemis- tai loittonemisnopeutta havainnoitsijaan nähden. P- ja C/A-koodit eivät sisällä varsinaisesti mitään informaatiota, vaan tarkoin määriteltjä sekvenssejä, joita käytetään hyväksi signaalin havaitsemiseen taustakohinan seasta. (Laurila 2012, 286–287, 291–293.)

GPS-vastaanottimen sijainti saadaan selville kolmiomittauksen eli trilateraation avulla avaruusgeometrian pallopintojen leikkauksesta, jossa tunnettuja suureita ovat satelliittien sijainti ja niiden etäisyys havaittajasta. Näiden lisäksi tarvitaan vielä yksi etäisyys neljänestä satelliitista, jonka avulla voidaan poistaa vastaanottimen kellovirhe. Useamman satelliitin tietojen käyttö vielä parantaa paikannuksen tarkkuutta ja luotettavuutta. (Laurila 2012, 313.)

Perusmittaustavat paikannukseen satelliittien avulla voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: absoluuttinen- ja differentiaalinen paikannus sekä kantoaallon vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus. (Laurila 2012, 315.)

Yhden havaintolaitteen **absoluuttisessa paikannuksessa** etäisyydenmittaus tehdään C/A-koodihavainnoista korrelaattorin ja synteettisesti generoitujen signaalien (joka satelliitille oma) avulla, jolloin saadaan signaalin viivästystekniikalla kunkin satelliitin pseudoetäisyys miksausten tuloksena. Siinä tarvitaan data vähintään neljästä satelliitista, jotta paikantimen kellovirhe saadaan myös korjattua. Koska havainnot kaikkiin satelliitteihin tehdään samanaikaisesti, vaikuttaa niissä

kaikissa samansuuruinen kellovirhe, joka voidaan neljantenä tuntemattomana ratkaista 4 yhtälön ja 4 tuntemattoman yhtälöryhmästä. Vastaanottimen paikka lasketaan satelliittien suhteen paikannustarkkuuden ollessa luokkaa  $< 10$  m. Mittaustapa on käytössä peruspaikannuslaitteissa, kuten pyöräily-, autoilu- ja jalan- kulkunavigaattoreissa sekä älypuhelimissa. Myöhemmin esittelemäni laitteet käyttävät juuri tätä menetelmää. (Laurila 2012, 317–329; Wermeer 2019, 196.)

GPS-paikantamisen kehittäminen tarkemmaksi kuluttajalaitteissa saadaan aikaan käyttämällä kaksitaajuusvastaanottimia maan ilmakehän aiheuttamien signaalien vääristymisen korjaamiseksi. Niiden tarvitsema koko ja piirien hinta ovat kuitenkin vielä niin suuria, että käyttö jää pelkästään ammatillisiin sovelluksiin.

**Differentiaalisessa paikannuksessa** korjataan havaintolaitteen systemaattisia satelliittilohkoon ja ilmakehään liittyviä virheitä erillisen tunnetulla pisteellä olevan tukiaseman tai DGPS-korjauspalvelun avulla. Siinä tukiasema tai virtuaalitukiasema laskee tunnetun pisteen koordinaattien avulla etäisyyttä satelliitteihin ja samalla mittaa sitä itse. Erotuksesta mitatun ja lasketun etäisyyden (pidetään etäisyyden oikeana arvona) välillä se pystyy antamaan korjauksen havaintolaitteen etäisyyksiin, jos tukiasema sijaitsee riittävän lähellä suhteessa satelliitin etäisyyteen. Näin saadaan poistettua hitaasti paikan mukaan vaihtelevia virhelähteitä, kuten rata-, satelliittikello-, ilmakehävirheet sekä antennin vaiheviivekuvion aiheuttamat virheet. (Laurila 2012, 321–323.)

Menetelmän käyttäjä tarvitsee tietoliikenneyhteyden (radioasemaverkon, radiomodeemiparin tai matkapuhelimen kautta), sopimuksen maksulliseen korjauspalveluun tai oman tukiaseman sekä kyseistä palvelua tukevan laitteiston. DGPS-palvelut voivat olla joko paikallisia, kuten TrimNet VRS ja Leican SmartNet Suomen alueella tai globaaleja, kuten GDGPS. Paikannustarkkuus on luokkaa 0,5 m – 5 m, riippuen korjaus tukiaseman etäisyydestä, laitteistosta, mittausympäristöstä ja satelliittikonstellaatiosta. (Wermeer 2019, 180–182.)

**Suhteellista mittausta**, joka perustuu kantoaallon vaihehavaintoihin koodihavaintojen sijaan, kutsutaan myös relatiiviseksi mittaukseksi. Etäisyydet satelliitteihin mitataan kantoaallon kokonaisista aallonpituuksista ja vaihe-erosta. Kummaltakin laitteelta mitataan ja lasketaan kaikkien neljän satelliitin havainnoista erotushavainnot. Mittaustavassa paikannettavan laitteen sijainnin laskentaan

käytetään vertailevaa mittausta, jossa erotushavaintojen avulla lasketaan tunnetulla paikalla (sijainti tarkasti tiedossa) sijaitsevan vertailuvastaanottimen avulla paikkavektori, joka ilmoittaa laitteiden välisen koordinaattieron. (Laurila 2012, 324–326.)

Näin saavutetaan paras mahdollinen tarkkuus havaintolaitteen sijainnille ja sitä käytetäänkin sovelluksissa, jotka vaativat mahdollisimman tarkkaa paikannusta esimerkiksi geodeettisissa mittauksissa, mittaus- ja kartoitustekniikassa sekä koneohjauksessa. Suhteellisen mittauksen vaatima laitteisto on selkeästi monimutkaisempi ja kalliimpi kuin absoluuttisessa paikannuksessa käytettävät. (Laurila 2012, 324–326.)

Suhteellisen mittauksen erillisiä mittaustekniikoita ovat kinemaattiset RTK ja Verkko-RTK sekä staattinen mittaus. RTK-mittauksessa liikkuva paikannusvastaanotin eli rover saa tunnetulla pisteellä olevalta vertailulaitteelta (base) vaihehavaintoaineistoa, jonka avulla paikannin ratkaisee alkutuntemattomat ja saa laskettua sijaintinsa tukiaseman suhteen reaaliaikaisesti. Verkko-RTK -mittauksessa ei käytetä erillistä yksittäistä tukiasemaa, vaan siinä käytetään jo rakennettua tukiasemaverkostoa korjausten saamiseksi.

Nämä tekniikat edellyttävät laitteistolta riittävää laskentatehoa ja katkeamatonta tiedonsiirtoyhteyttä tukiaseman ja paikantimen välille. Välimatkaa rajoittaa mittaustavan alkutuntemattomien ratkaisuaika eli alustus, joka pitenee etäisyyden kasvaessa, koska ionosfäärin häiriöt muuttuvat enemmän toisiinsa nähden laitteiden ollessa etäämmällä. Menetelmä vaatii vähintään 5 yhteistä satelliittia (käytännössä 6 tai 7 riittävään luotettavuuteen) ja maksimissaan 20 km etäisyyden (käytännössä usein 10 km). Staattisessa mittauksessa voidaan käyttää sekä RTK- että Verkko-RTK -korjausta, mutta siinä laitteet ovat paikallaan ja sijaintitieto paikantimelle saadaan jälkilaskentana. (Laurila 2012, 338–344.)

Kinemaattisten tekniikoiden avulla päästään 1 cm tarkkuuteen tasotarkkuudessa ja 2–3 cm korkeussuunnassa. Tämän lisäksi suhteellisen mittauksen tapauksessa lisätään vielä suhteellinen osuus, joka on riippuvainen paikantimen ja tukiaseman välimatkasta ja ilmaistaan suhdeyksikön ppm muodossa. Esimerkiksi 10 km välimatka aiheuttaa 2 ppm virheenä 2 cm lisäystä tarkkuusvirheeseen. (Laurila 2012, 335.)

### 4.3 Sisäpaikannus

Sisätiloissa GNSS-järjestelmään perustuva paikantaminen ei onnistu sen sisältämien korkeataajuuksisten signaalien vaimenemisen ja heijastumisesta johtuvien kulkuaikavääristymien takia. (Garmin, 2019.) Tämän seurauksena sisätiloihin tapahtuvaan paikannukseen on kehitelty useita erilaisia paikannustekniikoita. Yleisimpiä ovat BLE:n ja WLAN:in avulla tapahtuvat signaalin voimakkuusinformaation perusteella tapahtuvat paikannustavat.

BLE:n avulla tapahtuvassa paikannuksessa luodaan verkko, jossa beaconit (majakat) lähettävät lyhytkestoisen ennalta määritellyn signaalin sekä oman tunnuk-sensa. Näiden avulla voidaan vastaanotetun signaalin voimakkuudesta eli RSSI-arvosta (Received Signal Strength Indicator) kolmiomittauksella laskea paikannettavan henkilön tai laitteen sijainti verkkoon nähden. Signaalin vaimeneminen kertoo suoraan etäisyydestä lähettimen ja vastaanottimen välillä. BLE-signaali ei läpäise seiniä ja se häiriintyy elektromagneettisesta säteilystä. Käytetyssä ohjel-massa tulee olla majakoiden sijainti asetettuna sopivalle mittakaavassa olevalle karttapohjalle, josta oma sijainti pystytään havainnoimaan. Majakoita voidaan myös käyttää lyhyiden push-ilmoitusten lähettämiseen, jolloin esimerkiksi saapuessasi tietyn kaupan läheisyyteen, voit saada ilmoituksen päivän tarjouksista. (Puro 2017.)

BLE 5.1 tuo mukanaan parannuksia paikannustarkkuuteen kahden uuden para-metrin AoA (Angle of Arrival) ja AoD (Angle of Departure) avulla. AoA:ssa moni-antennijärjestelmän omaava paikannuslaite voi paikannattavalta laitteelta vastaanotetusta signaalista laskea eri antenneistaan saapuvien signaalien vaihe-eroista sen saapumiskulman, joista muodostuneiden janojen leikkauspisteeseen sijainti saadaan määritettyä. AoD:ssa paikannettava laite lähettää saman signaa-lin useammalla antennilla, jotka vastaanotetaan eri vaiheissa olevina ja niistä las-ketaan suhteellinen lähtökulma. (Haltian Blog 2019.)

WLAN-paikannuksessa käytetään hyväksi tukiasemaverkkoa, joiden paikka tun-netaan, joko erikseen tehtävällä konfiguraatiolla tai hakemalla esimerkiksi Googlen WiFi-tietokannasta. Laskenta tapahtuu signaalin voimakkuuksien sekä asemien MAC-osoitteen avulla. Paikannus voi myös perustua ns. radiokarttaan

(tietokanta tukiasemista), jolloin yksittäisen tukiaseman sijaintia ei tarvitse tietää. Haasteena tosin on laitteiden siirtyminen tai poistuminen verkosta sekä puutteelliset tietokannat. Lisäksi tukiasemien kuuluvuusalue on varsin laaja ja välimatkat pitkiä, jolloin tarkkuus ei ole niin hyvä kuin BLE-paikannuksessa. Signaalivirheidien (seinät, rakenteet, heijastukset) korjaamiseksi voidaan käyttää lisäparametreja, kuten kulkunopeus (time of flight) ja saapumisaika (time of arrival), joiden avulla vääristymiä voidaan yrittää korjata. (Kuusniemi 2019.)

Edellä mainittujen lisäksi on olemassa paljon muitakin paikannusratkaisuja, joko muiden tekniikoiden avulla tai useiden teknologioiden yhdistelminä toteutettavia. Indoor Atlas on kehittänyt rakennuksien teräsrakenteiden muuntamasta maan geomagneettisesta kentästä tallennettavan kartan ja puhelimen magneettikenttäsensorilla kentän tarkkailun avulla tapahtuvan menetelmän, jota parannetaan vielä WLAN- ja BLE-tekniikoilla. (Paavola 2017.)

UWB (Ultra Wide Band) paikannus vaatii omat erikoislaitteistonsa ja on sen takia kalliimpi ja hankalampi toteuttaa, mutta sen avulla voidaan saavuttaa jopa 10 – 30 cm tarkkuus paikannukseen. Käytetty taajuuskaista on 0.5–2 GHz, jossa lähetetään pienitehoisia ja lyhytkestoisia pulsseja leveällä taajuuskaistalla. Koska signaali lähetetään matalataajuisena ja suurella kaistanleveydellä, etenee se ainakin joltakin taajuusosaltaan myös seinien läpi eikä ole herkkä monitie vääristymille. UWB-paikannus aiheuttaa myös vähemmän häiriöitä muille radioille (alempi taajuus ja pieni teho), eikä vaadi suoraa näkyvyyttä beaconin ja paikannettavan tagin välille. (Miekk-oja 2015,16–17.)

UWB:sta on kehitteillä myös 6–9 GHz:n taajuusalueella toimiva, myös lyhyillä 2 nanosekunnin pulsseilla toimiva, signaalin takaisinheijastumisesta paikkansa laskeva FiRa (Fine Ranging) eli tarkan paikannuksen järjestelmä. Sitä varten on perustettu konsortio 1.8.2019, jossa ovat mukana mm. Samsung, NXP, Bosch sekä Sony ja sen tarkoituksena varmistaa eri toimittajien järjestelmien yhteensopivuus. (ETN 2019.)

Seuraavia menetelmiä käytetään yleensä täydentämään ja tarkentamaan muita paikannusmetodeja. RFID-järjestelmää käytetään kulun valvonnassa ja yhdessä jonkun muun paikannusjärjestelmän rinnalla tuotetietojen keräämiseen mm. automaattisissa varastointijärjestelmissä. IMU (Inertial Measurement Unit) koostuu

gyroskoopista (suunnan ja käännösnopeuden havaitsemiseen), kiihtyvyyssanturista (3-ulotteinen kiihtyvyyys), magnetometrasta (magneettikentän suuruuden ja suunnan havaitseminen) sekä barometrasta (ilmanpaine-ero, korkeuden muutos). (Miekk-oja 2015,17–19.)

Uusia lyhyen kantaman paikannustekniikoita ovat VLC ja infrapunasäteilyyn perustuvat järjestelmät. VLC (Visible Light Communication) perustuu lamppujen väriävään valoon, jonka lähettämä data voidaan havaita joko älypuhelimien kame-ralla tai tarkoitusta varten kehitetyllä sensorilla. Niillä tunnistetaan kunkin lampun värähtelytaajuus ja valon tulokulma, joiden avulla sovellukseen paikoitetuista lampuista saadaan laitteen sijainti. IR-säteilyn avulla tehtävä paikantaminen vaa-tii suoran näköyhteyden lähettimen ja vastaanottimen välille. Sitä voidaan käyttää ympäristöissä joihin radiopaikannuslaitteistot eivät sovellu, kuten sairaalat. (Bäck 2017.)

Työssä esittelen tämänhetkiset ratkaisut Haltianin sisäpaikannussysteemeistä, jotka perustuvat BLE-beaconeiden (majakoiden) hyväksikäyttöön käyttäjäpaikan-nuksessa sekä Wirepas mesh -verkkoon laitepaikannuksessa.

## 5 HALTIAN YRITYKSEN ESITTELY

Haltian on syyskuussa 2012 perustettu Oulusta kotoisin oleva ICT-alan yritys, jonka perusliiketoimintaa on langattoman teknologian innovatiivinen suunnittelu, tuotekehitys ja tuotteistus globaaleille asiakkaille. Yrityksen keskeisimmät markkina-alueet ovat Pohjois- ja Keski-Eurooppa sekä Pohjois-Amerikka, mutta myös Suomesta tulee useita erikokoisia, isompia ja pienempiä, projekteja.

Erytisoamista Haltianilta löytyy varsinkin tuotteissa, jotka vaativat erittäin pientä kokoa (tuotteiden miniatyrisointi), langattomia yhteyksiä eri radiotekniikoilla ja vähäistä virrankulutusta. Tämä johtuu siitä, että suurin osa työntekijöistä on ollut työskentelemässä Nokian matkapuhelinten parissa ennen siirtymistään Haltianin palvelukseen. Yritys on erikoistunut tekemään mekaniikka-, elektrooniikka- ja ohjelmistosuunnittelua ja pystyy tarpeen vaatiessa suunnittelemaan koko elektroniikkalaitteen ohjelmistoineen ja pilvipalveluineen.

Yhtiön tekemisestään tai tuotteistaan saamia tunnustuksia on tullut johtavalta informaatioalan tutkimusyryykseltä, Gartnerilta, joka nimesi Haltianin ”Cool Vendor” -tunnustuksen saajaksi IoT-palvelutoimittajan ominaisuudessa. Listalle valitaan yrityksiä, jotka ovat trendien ytimessä ja tuotteillaan sekä tekemisellään mahdollistavat innovatiivisia ja uuden näkemyksen omaavia tapoja ratkaista asioita. Lisäksi yritys oli vahvasti mukana Specim IQ -hyperspektrikameran laitteiston suunnittelussa ja ohjelmiston kehittämisessä, kun Specim sai Red Dot 2018 -muotoilupalkinnon tuotteestaan. Tuomaristo arvosti eritoten laitteen korkealaatuisia muotoilua ja innovatiivisuutta. (Haltian news 2019.)

Haltianin perustamisen tarkoituksena oli alkaa kehittämään omia IoT-tuotteita. Näiden rahoitusta varten yhtiö tarjosi, ja tarjoaa edelleen, erilaisia suunnittelupalveluita asiakasyrityksille. Ensimmäisenä harjoituksena oli suunnitelmissa arvokkaiden kuljetusten seurantajärjestelmä, joka kuitenkin jäi asiakkaan suunnitelmien muuttumisen takia valmistumatta, mutta josta jalostui yhtiön ensimmäinen oma tuote Thingsee One.

Työssä esiteltävinä olevat tuotteet on jaoteltu niiden käyttötarkoituksen mukaan kolmeen eri kategoriaan – paikannuslaitteet, pyöräilytietokoneet ja sensorilaitteet.

## 6 LAITTEET JA SOVELLUKSET

### 6.1 Paikannuslaitteet

Tähän on kerätty varsinaisia paikannukseen tarkoitettuja laitteita, jotka tämän lisäksi pystyvät keräämään erilaista dataa sensoriensa avulla. Laitteita pystyy käyttämään sekä liikkuvan kohteen paikannukseen, että kiinteästi mittaamaan ympäristön tilaa tai reagoimaan iskuihin ja liikkeeseen. Tarkoitus ei ole kertoa tuotteista niiden tarkkoja laitteistomääritelmiä, vaan koettaa antaa käyttäjälähtöinen kuva, mitä niillä pystyy tekemään ja millaiseen käyttöön ne soveltuvat.

Laitteet ovat kuluttajalle tarkoitettuja, eikä niissä ole tarkkaan paikannukseen soveltuvaa GNSS-piirisarjaa. Paikannuksen tarkkuus on samaa luokkaa kuin esimerkiksi puhelimissa eli luokkaa 2–10 m, riippuen toki kuinka hyvin ne pystyvät vastaanottamaan satelliittisignaaleja. Esimerkiksi maaston peitteisyys, korkeat sekä tiheään sijoitetut rakennukset, asennuspaikka ja satelliittikonstellaatio, vaikuttavat heikentävästi niiden kykyyn paikantaa itseään.

#### 6.1.1 Thingsee One

Haltianin ensimmäinen oma fyysinen tuote oli Thingsee One. Se oli kehittäjille suunnattu älykäs avoimen lähdekoodin sensorilaitte, asioiden internetin monipuoliseen hyödyntämiseen. Thingsee-kehitysalustan tarkoituksena oli helpottaa ja nopeuttaa uudenlaisten, kuluttajille ja yrityksille suunnattujen, IoT-laitteiden ja -palveluiden luomista ja pääsyä markkinoille. Kuvassa 1 on esitetty Thingsee One:n eri versioita, aina ensimmäisistä konttien seurantalaitteista, viimeisimpään kehitysversioon asti. Kuvassa 1 vasemmalla ylhäällä on ensimmäinen merikonttien seuraamiseen tehty versio, joka oli kokoluokkaa 12 cm x 36 cm x 4.5 cm. Keskellä ylhäällä oleva valkoinen laite oli toinen versio konttien seurantatuotteesta ja oikealla oleva musta laite oli ilman näyttöä oleva Thingsee One versio. Etualalla olevan, näytöllisen version Thingsee One:sta, kooksi puristettiin 6.7 cm x 11 cm x 1.9 cm.



Kuva 1. Thingsee One:n eri kehitysversiot (kickstarter.com 2015)

Thingsee One -laitteessa (kuvassa 1 keskellä alhaalla) oli GSM- ja GPRS-verkkoyhteydet, WLAN- ja BLE-yhteydet sekä GPS+GLONASS -paikannus yhdessä kattavalla valikoimalla erilaisia sensoreita:

- 3-akselinen kiihtyvyyssanturi
- lämpötila- ja kosteusanturit
- ilmanpainesensori
- 3-akselinen gyroskooppi
- 3-akselinen magnetometri
- valoisuus sensori. (kickstarter.com 2015.)

Laitteelle oli luotu myös verkkopalveluna konfigurointisivusto (Thingsee Creator Beta), jossa pystyy luomaan erilaisia tarkistus- ja tehtäväjonoja. Niiden avulla on mahdollista, ilman ohjelmointitaitoja, seurata mittauspaikasta saatavaa paikkatietoa. Creatorin avulla laitteelle voidaan rakentaa tilakoneita, jotka voivat ympäristöön reagoidessaan automaattisesti vaihtaa sensoriasetuksista toiseen. Laitteen tuottama data pystytään visualisoimaan myös IOS- ja Android-aplikaatioissa.

Kuviossa 3 on esillä testikäytössäni olevan Thingsee One -laitteen raportti-ikkuna. Siitä pystyy näkemään lämpötilan, ilmankosteuden, ilmanpaineen, valoisuuden, akun tilan ja viimeisimmän iskuvaikutuksen, joka tässä tapauksessa syntyy, kun tarkkailemani tallin ovi aukaistaan yli 0,1 g voimalla. Iskuvaikutuksen raja-arvoa voidaan vaihtaa tapauskohtaisesti, jotta haluttu tieto saadaan välitettyä. Myös raportointiväliä pystyy muuttamaan haluamukseen. Itselläni oli käytössä 4 tunnein tapahtuvat mittaukset ja raportointi verkkosivulle, jolloin akun kesto on n. 8 kk.



Kuvio 3. Sensorin raportti-ikkuna näkymä (app.thingsee.com 2019)

Laitteen voi laittaa lähettämään myös hälytyksiä tekstiviestinä, jos sen nopeus nousee tietyn rajan yli, se lähtee liikkeelle (varashälytin autoon, moottoripyörään tms.), lämpötila laskee tai nousee tietyn rajan yli tai laite liikkuu pois ennalta määrätyltä geo-aidalta. Geo-aita (geofence) on karttatyökalulla luotu alue, josta lähteminen tai sinne tuleminen havaitaan GNSS:n avulla, jonka jälkeen laite antaa määritellyn hälytyksen.

Thingsee One soveltuu hyvin esimerkiksi mökin lämpötilan seuraamiseen ja pakasvahdiksi lämpötila-anturin avulla, kun se ohjelmoidaan laittamaan viesti tietyn lämpötila-arvon alituttua tai ylityttyä. Samoin sillä voi saada hälytyksen kiihtyvyyssanturista, jos mökin ovea on aukaistu, kun laite on asennettu oveen kiinni ja sopiva raja-arvo kiihtyvyydelle on asetettu. Thingsee One on paikannuslaitteena hyvän antenninsa ja sensoriensa yhdistelmänä varsin tarkka paikannustarkkuuden osalta. Vaikka se käytti satelliittipaikannusmenetelmistä epätarkinta eli koodihavaintoihin perustuvaa absoluuttista paikannusta, jonka tarkkuus on luokkaa < 10 m, sen avulla päästiin helposti muutaman metrin tarkkuuteen. Laitte soveltuu myös erinomaisesti monenlaisen paikkatiedon keräämiseen siihen integroitujen sensorien avulla.

### 6.1.2 SnowFox

Haltianin ensimmäinen pelkästään kuluttajille suunnattu tuote oli, puheluominaisuudella ja A-GPS -paikannuksella varustettu Snowfox-kommunikaatiolaitte. Laitetta markkinoitiin aluksi lasten turvaseurantalaitteena ja myöhemmin myös vanhusien sekä muistisairaiden liikkeiden ja sijainnin paikallistamiseen. Se ei ollut varsinainen puhelin, mutta siinä kuitenkin oli neljän taajuusalueen GSM-yhteydet, 2-taajuinen WCDMA-radio, kaiutin ja mikrofoni, joten sillä pystyi ottamaan vastaan puheluita. Laitteeseen oli integroitu digitaalinen SIM-kortti eli eSIM, jolla oli roaming eli verkkovierailusopimukset yli sadassa eri maassa toimivien operaattorien kanssa.

Yhteyden pitoon oli käytettävissä yksi nappi, jolla pystyi lähettämään kaksi erilaista viestiä. Alle kolmen sekunnin painallus tarkoitti kuittia, että on esimerkiksi saapunut kouluun, eikä ole varsinaisesti asiaa tai hätää. Yli kolmen sekunnin painallus lähetti viestin, ”soita minulle”, holhoojalle, joka pystyi sitten käytetystä sovelluksesta ottamaan puhelun laitteeseen. Vain rekisteröidyistä ja hyväksytyistä puhelimista tai tableteista pystyi ottamaan yhteyttä Snowfoxiin.

Kuten Thingsee One:ssa, Snowfoxissa pystyi luomaan geo-aitoja, joiden avulla sai puhelimeensa tai tablettiin viestin, jos seurattava oli tullut tai poistunut määritellyltä alueelta. Holhoojan tuli parittaa puhelimensa laitteen kanssa, jotta hän pystyi paikantamaan seurattavan laitteen.

Laitteen GPS ei ollut jatkuvasti seurantatilassa, vaan se haki paikan aina 30 sekunnin välein, jotta akun kesto saatiin mahdollisimman pitkäksi. A-GPS:n avulla paikannus onnistui muutamassa sekunnissa, jos seurattava oli alueella, jossa satelliittipaikannus on mahdollinen. Myös akun loppumisesta tuli automaattinen hälytys seuraajan puhelimeen tietyn raja-arvon alituttua. Paikannustarkkuutta olisi voitu parantaa, esimerkiksi ottamalla mukaan GLONASS-paikannus tai pitämällä GPS päällä koko ajan, mutta sen seurauksena olisi menetetty virransäästöominaisuudet, joiden avulla 820 mAh:n akku saatiin kestämään noin viikon verran.

Koska laite oli vain 5\*5\*1,2 cm, eikä siinä käytetty hyväksi GLONASS:ia ja hyödynnetty GPS:n parasta tarkkuutta (paikkatieto haettiin vain 30 s välein), ei sen paikannustarkkuus aina ollut paras mahdollinen. Laitetta oli myös tarkoitus kuljettaa repussa tai roikkumassa kaulassa vaatteiden alla, jonka takia sen näkemien satelliittien signaalitasot heikkenivät. Paikannustarkkuus oli selkeästi heikompi verrattuna Thingsee One:iin ja voidaankin todeta sen olevan luokkaa 5–10 m.

## 6.2 Pyöräilytietokoneet

Pyöräilytietokoneet käyvät myös yhtä lailla paikantamiseen, mutta niiden varsinaisen, alkuperäisen, toiminne oli mitata pyöräilijän kulkemaa matkaa, nopeutta, keski- ja huippunopeutta sekä ajoaikaa. Lisäksi niissä oli joku langallinen sensori, jolla pystyi esimerkiksi seuraamaan poljinkammen pyörimisnopeutta.

Nopeus ja matka saatiin laskennallisesti niin ikään etuhaarukkaan kiinnitetyn langallisen anturin ja pinnaan kiinnitetyn magneetin avulla. Anturi oli reed-rele eli kytkin, joka sulkeutui ja alkoi johtaa sähköä jouduttuaan riittävän voimakkaaseen magneettikenttään antaen näin jokaisella renkaan kierroksella impulssin ajotietokoneelle. Se laski siihen syötetyn renkaan halkaisijan ja pulssien määrän avulla matkan ja nopeuden. Hetkellinen nopeus saatiin pulssien aikaerosta. (polkupyöräwiki 2009.)

Nykyisissä laitteissa käytetään useimmiten GNSS-paikannusta myös nopeuden ja matkan mittaamiseen samalla, kun siitä saadaan koordinaattitieto joko navigointiin tai reitin piirtämiseen karttaohjelmaan. Monet pyöräilyn harrastajat halua-

vat kuitenkin mitata nopeutta ja matkaa edelleen sensoreiden avulla, koska satelliittipaikannus ei toimi riittävän hyvin esimerkiksi tiheäpuustoissa tai kaupunkien korkeiden rakennusten keskellä. Useimmiten nämä sensorit toimivat langattomasti BLE:n tai ANT+:n avulla.

### 6.2.1 Omata

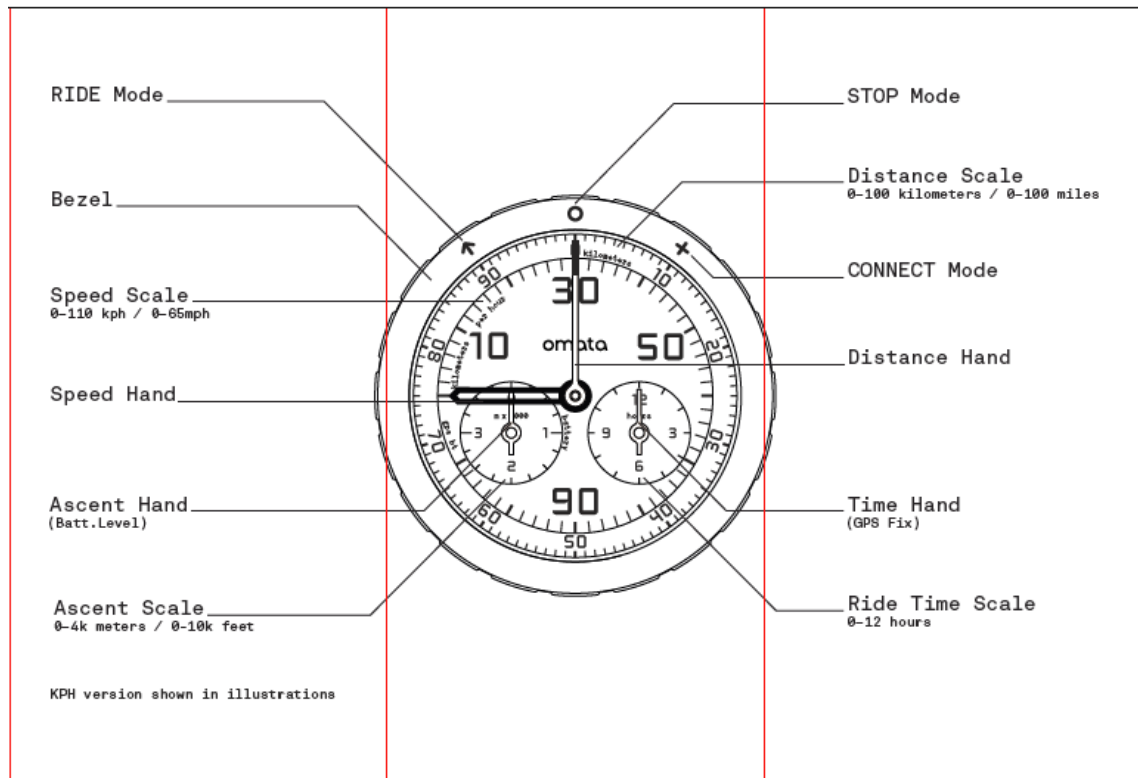
Omata polkupyörän nopeusmittari on ensimmäinen analogisella, ”retrohenkiselä” näytöllä varustettu nopeusmittari, jossa on GNSS-paikannus ja sensoritoiminteet. Mittarissa on käytetty Seikon askelmoottoreita digitaalisen informaation siirtämiseksi analogiseen muotoon. Siinä on neljä näyttöä ajonaikaisille parametreille eli nopeudelle, matkalle, nousumetreille ja ajetulle ajalle. Kuvassa 2 on esitetty näyttötaulut kahdesta eri versiosta. Näiden lisäksi mittari tallentaa dataa ilmanpaineesta ja lämpötilasta sekä kiihtyvyyksanturista. Nämä ja muu laskettu data tallennetaan fit-muotoisena, joka voidaan siirtää IOS- tai Android-aplikaatioihin katselmoitaviksi, muokattavaksi tai siirrettäväksi esimerkiksi Strava- tai Training Peaks -palveluihin. (Cavell 2018.)



The Omata One – available in MPH (white) and KMH (black). Handmade in Finland. Exclusively from Cyclefit

Kuva 2. Omata-pyörämittarit km/h- ja mph-versioina (Cavell 2018)

Näiden lisäksi aikanäyttöä käytetään näyttämään löydettyjen satelliittien määrää GNSS-fixin hakemisen aikana. Nousumetrinäytöstä nähdään samaan aikaan jäljellä oleva akun määrä prosentteina. Kuviossa 4 on esitetty eri toimintomoodit pyöritettävästä kehiksestä (bezel) sekä eri näytöistä saatavat informaatiot.



Kuvio 4. Omata-nopeusmittarin eri toiminteet (Omata FCC 2018)

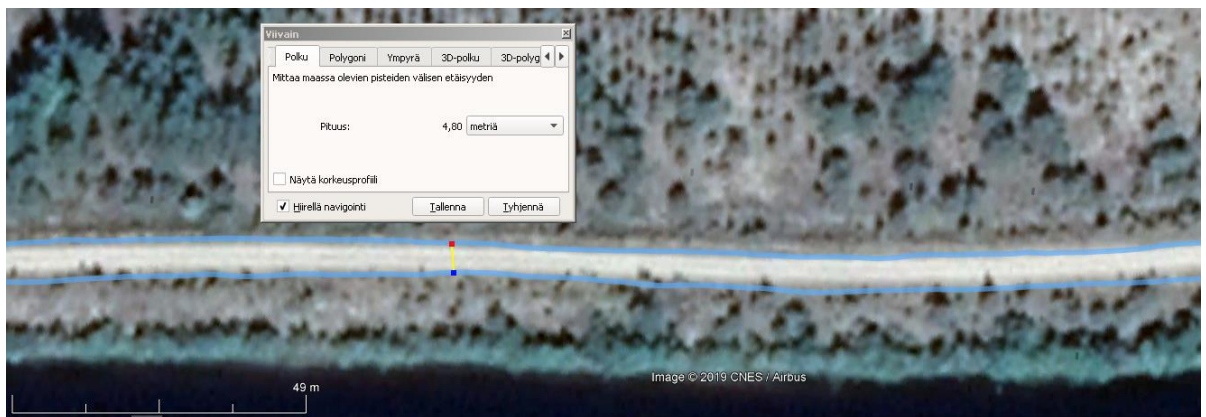
GNSS-piirisarjana Omatassa on käytetty Ubloxin UBX-M8030 72 kanavaista GPS/SBAS/QZSS/GLONASS/BeiDou -järjestelmiä tukevaa piiriä. Sen avulla voidaan yhtä aikaa lukea kolmea satelliittijärjestelmää: GPS+Galileo ja kolmantena joko Beidou tai GLONASS. Ublox lupaa tarkkuudeksi TCXO:ta käytettäessä 2,0 m CEP eli 50 % havainnoista olisi 2 m ympyrän sisällä. (Ublox UBX-M8030 2019, 2.)

GNSS-tiedon päivitysnopeudella on yhteys satelliittien avulla suoritettavaan nopeuden mittauksen tarkkuuteen. UBX-M8030 pystyy kahden järjestelmän seuraamisessa vielä 10 Hz päivitysnopeuteen. (Ublox UBX-M8030 2019, 2.) Lataamista vaativilla laitteilla ei kuitenkaan pystytä yleensä käyttämään parasta tarkkuutta, koska silloin virrankulutus kasvaisi liian suureksi. Näin ollen paras toiminta laitteelle on yleensä kompromissi, jossa suorituskykyä heikennetään sellaiselle tasolle, jossa saavutetaan riittävän hyvä toiminta (vertailu muihin vastaaviin laitteisiin tai käyttäjäpalautte) sekä tarpeeksi pitkä toiminta-aika yhdellä latauksella. Sama pätee myös kaikkiin muihin komponentteihin, kuten näyttöihin, prosessoreihin, sensoreihin ja radioihin. Nopeutta rajoitetaan, taustavalon määrää vähennetään, ne asetetaan erilaisiin virransäästötiloihin ja lähtötehoja pienennetään tai

tiedonsiirtonopeutta lasketaan. Omatassa GNSS:n päivitysnopeus pudotettiin 1 Hz:iin, jolla saavutettiin vielä riittävän hyvä navigointisuorituskyky aktiivisen käyttäjän ollessa noin 24 tuntia. Myös viisareiden liikkumista optimoimalla saatiin virrankulutusta pienennettyä. Taustavaloja mittarissa ei ole ollenkaan.

Liitteissä 1 ja 2 on esitetty erään projektin loppuvaiheen testiajoa, jossa ajoin Suomussalmella sijaitsevan Haverisen hiihtokeskuksen pururadalla sekä metsäautoteillä edestakaisen testilenkin. Kartta on kuvakaappaus kuntopalvelu Strava:sta, johon kirjautuneet käyttäjät voivat siirtää reittejä urheilusuorituksistaan suoraan sitä tukevista paikannuslaitteista tai käännohjelmistojen avulla.

Omatasta saatu reitti (track) seuraa hyvin kuljettua matkaa (meno- ja paluumatka reitit samat) ja varsinkin reitin loppuosalla ajetun leveämmän tieurankohdalla siitä pystyy erottamaan jopa kuljetun n. 5 m leveän tien puolen, kuten alla olevasta suurennoksesta kuvassa 3 voidaan havaita. Tallentunut jälki kulkee hyvin ajettua reittiä ollen suurimman osa ajasta <2 m sivussa. Suurin heitto oli n.10 m, liitteen 1 kartassa merkittynä keltaisella ympyrällä paikassa, jossa polku kulki n. 250 m tiheämmän kuusikon halki.



Kuva 3. Suurennos Google Earth Pro:hon siirretystä paikannusjäljestä (track)

Lisäksi osalle navigointilaitteistoja hankaluutta tuottavat nopeat suunnanvaihdokset tai käännökset tallentuivat suorituksen mukaisesti. Liitteessä 2 on kolme erilaista tilannetta suurennettu reitistä (merkitty liitteen 1 karttakuvaan ympyröillä). Ensiksi poikkeama reitiltä valokuvaamaan kelkkareittiä ja paluu reitille n. 40 m lähtöpaikasta. Toisessa kohdassa tehty täyskäännös ja paluu n.30 m takaisinpäin sekä käännös alkuperäiseen suuntaan. Kolmannessa paikassa ajoin kaksi eri suuruista (5 m ja 3 m leveät) ajotaitoharjoittelu ympyrää.

Nämä tallentuivat laitteen GNSS:n ja toki kiihtyvyyssanturinkin avulla selkeästi näkyviin tulosteeseen. Nämä tulokset oli tehty myyntiin menevällä ohjelmistoversiolla, jonka suorituskyky katsottiin riittävän hyväksi. Hyväksyntäkriteereinä ei ollut mitään tarkkoja lukemia, vaan suorituskyvyn hyväksyntä tehtiin tekemiemme kenttätestien ja myös asiakkaan tekemien omien testien perusteella käyttökokeemukseen perustuen.

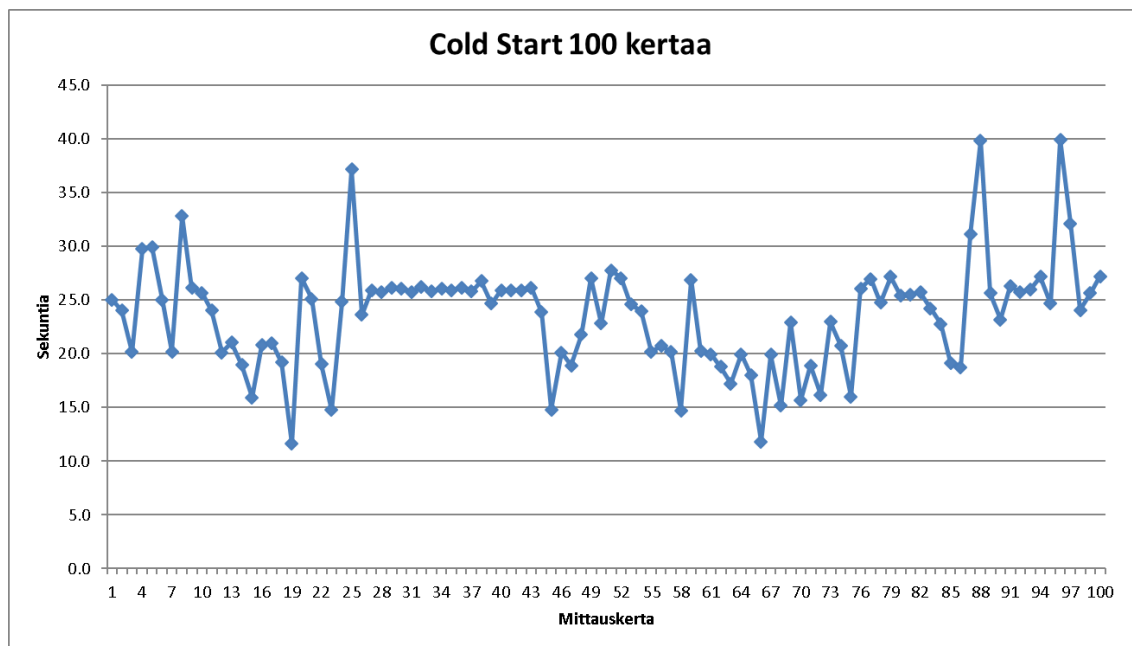
### 6.2.2 Asiakkaalle suunniteltu pyörätietokone

Toinen suunnittelemamme pyörämittari oli ladattava digitaaliajan polkupyörätietokone. Tämä mittari sisälsi transflektiivisen kosketusvärinäytön, koska sen tuli olla pyöräilymittareille tavalliseen tapaan hyvin luettavissa kirkaassakin auringon paisteessa. Transflektiivinen näyttötekniikka vähentää häikäisyä käyttämällä ulkoista valonlähdettä (esim. auringonvalo) näytön kirkkauden parantamiseksi nestekidekerroksen takana olevan heijastavan kalvon avulla. Kalvo projisoi ympäristön valon LCD-paneeliin ja näin osallistuu kuvan tuottamiseen. Kalvossa olevien reikien läpi pystytään näyttöä valaisemaan pimeällä taustavalon avulla. (Jaakkola 2007, 47.)

Laite oli varustettu GPS+GLONAS -paikannuksen lisäksi tiedon siirtoa varten WLAN-, BT-, Ble- yhteyksillä sekä ANT+ -tuella sensoreiden yhdistämistä varten. Tällaisia sensoreita ovat mm. sykevyöt, kadenssi- ja nopeusmittarit sekä voimanturit. Laitteeseen on valmiiksi asennettu 20 Euroopan maan pyöräilykartat ja lisää pystyy lataamaan WLAN-yhteyden kautta. Mittariin on integroitu harjoitusten synkronointi useisiin eri internet-palveluihin kuten Strava, Komoot, GPSies ja Training Peaks. Akun kestävydeksi on saatu 13–16 tuntia normaalitilassa ja virransäästötilassa jopa 40 tuntia. Sovelluksesta nähtävät tietokunnat ovat muokattavissa käyttäjän tarpeiden mukaisesti. Käyttäjä pystyy luomaan reittivaihtoehtoja suoraan laitteen kosketusnäytöltä eri vaihtoehtojen avulla, kuten osoitteiden, koordinaattien, POI:n sekä kartalta osoittamalla.

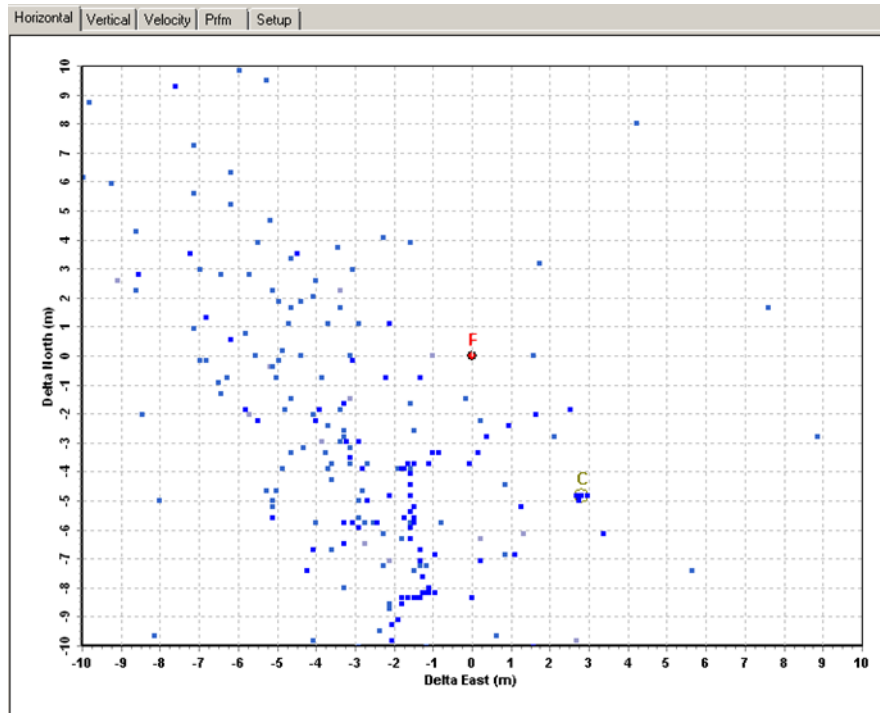
Laitteen toiminnan testaamisessa nojaututtiin hyvin paljon vertailunavigointiin muiden vastaavien pyörämittareiden kanssa. Toki paikantamiseen tarkoitettun GNSS-sirun toiminta testattiin myös sellaisenaan esimerkiksi kuviossa 5 suorite-

tulla TTFE-testillä (Time To First Fix). Siinä GNSS-siru käynnistetään ja tyhjenetään kaikista satelliitti-informaatiosta (almanakka ja efemeridit) ja laitetaan hakemaan 3d-fix:iä eli hakemaan paikkatietoa laitteelle (koordinaatit ja korkeus). Keskiarvoksi mittauksessa saatiin 23 sekuntia, mutta 95 % (95. prosenttipisteen eli fraktiilin) todennäköisyydellä paikkatiedon laskemiseen menee 31 sekuntia, koska mittaustuloksissa on hajontaa. Tässä mitattu suorituskyky oli hyvin linjassa GNSS-sirun valmistajan ilmoittamaan < 35 s. kanssa.



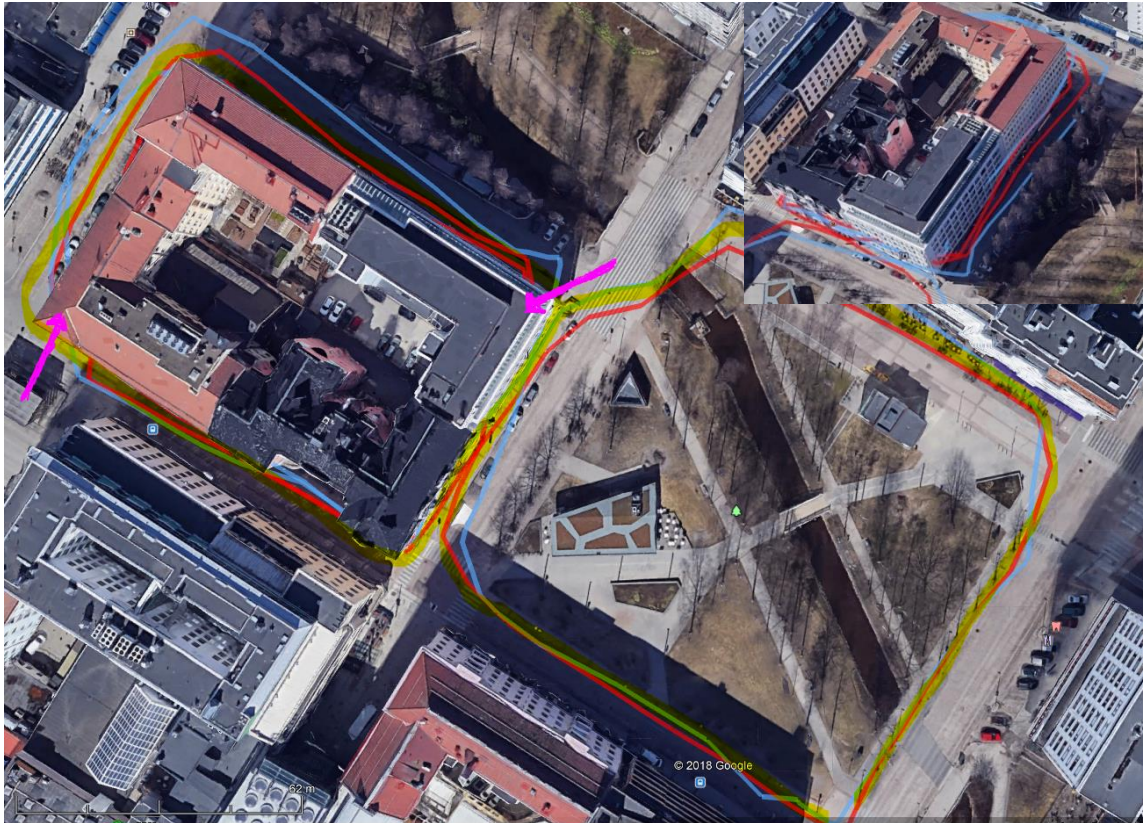
Kuvio 5. Laitteen omalla antennilla ulkona mitatut GNSS-kylmäkäynnistysajat (GPS test report 2017)

Sijaintitarkkuus ei tässä mittauksessa ole paras mahdollinen, koska keskiarvosta sijaintitiedolle ei jatketa tarkkuuden parantamiseksi, vaan heti yleensä aletaan hakemaan uutta paikkatietoa alusta alkaen, jolloin paikannusvirheeksi tuli enimmillään yli 10 m. Kuviossa 6 on esitetty 200 kertaa suoritetusta TTFE-mittauksesta saatuja paikannusvirheitä. Ulkona suoritetuissa reaali maailman GNSS-järjestelmän TTFE-testeissä mittaus voidaan suorittaa samankaltaisissa olosuhteissa vain kerran, koska paikannukseen vaikuttavat tekijät muuttuvat jatkuvasti. Näin ollen mittauksissa käytetäänkin samanhetkistä vertailua tuotteen edelliseen versioon (laitteisto ja ohjelmisto) tai kilpailevaan tuotteeseen.



Kuvio 6. Tuloste laitteen TTFF-mittauksen paikannusvirheistä (GPS test report, 2017)

Kuvassa 4 on esitetty erään polkupyörällä tapahtuneen vertailu kenttätestiajon tulokset Google Earth -karttapalvelun kartalla. Siinä testattavan laitteen jälki (track) on piirretty punaisella ja verrokkilaitteen jälki sinisellä sekä kuljettu ”oikea” reitti keltaisella viivalla. Kuva on suurennettu otos koko testistä, jotta eroavaisuudet pystytään havaitsemaan. Rakennus kierrettiin kaksi kertaa ajaen sen vieressä menevää pyörätietä ja vasemmalla tien oikeaa kaistaa. Kuten kuvasta 4 havaitaan, testattavan laitteen jälki seuraa jo verraten hyvin ajettua reittiä. Korkeiden rakennusten välissä (vasen nuoli) ja seinän viertä kuljettaessa (oikea nuoli), kumpikin laite oikaisi noin 10 m. rakennuksen kulman kohdalla. Kuvan oikeassa yläreunassa on näkymä ison kuvan kierrettävän rakennuksen takapuolelta menevistä jäljistä. Aukeammilla paikoilla molemmat pysyvät paikannuksen tarkkuudessa 2–3 m sisällä. Pyörätietokoneissa käytetään myös erilaisia suodattimia saadulle paikkainformaatiolle, joiden avulla esimerkiksi suorien tieosuuk-sien jäljet piirtyvät suorina ilman hypähtelyä sivusuunnassa.



Kuva 4. Vertailevan kenttätestiajon tulokset Google Earth -karttapohjalle piirrettyinä (kenttätesti 2017)

Ohjelmistosta on tuon jälkeen tullut vielä useita uusia versioita, joissa on paikannusominaisuuksien parantamisen lisäksi pienennetty virrankulutusta, parannettu käyttöliittymän ominaisuuksia, lisätty uusia ominaisuuksia sekä parannettu ohjelmiston luotettavuutta (toimii sujuvammin kaatuilematta). Näissä laitteissa olevat ohjelmistot ja prosessorit eivät suorituskyvyltään ole esimerkiksi nykypuhelimien luokkaa, vaan tarkoituksena olisikin saavuttaa pitkät toiminta-ajat kuitenkin mahdollistaen monipuoliset karttatoiminnot ja käyttäjäystävällisen paikannuskokemuksen sekä liikuntasuorituksien parametrien seuraamisen, tallentamisen ja jakamisen eri portaaleihin.

### 6.3 IoT-sensoriverkot

Haltianin IoT-laitteiden tuote- ja -palvelualustaan kuuluvat Thingsee-sensorit, Thingsee-reititinlaitteet ja pilvipalvelu (Thingsee Operations Cloud), joka sisältää kokonaisvaltaisen laitehallinta- ja datapalvelun asennuksineen, määrittelyksineen, ohjelmistopäivityksin sekä hallintapalveluineen. Tarkoituksena on ollut luoda IoT-

ratkaisu asiakkaan tarpeita vastaavasta järjestelmästä alun asennuksesta ja testauksesta aina laitteiden huoltoon ja ylläpitoon asti yhtenä palveluna.

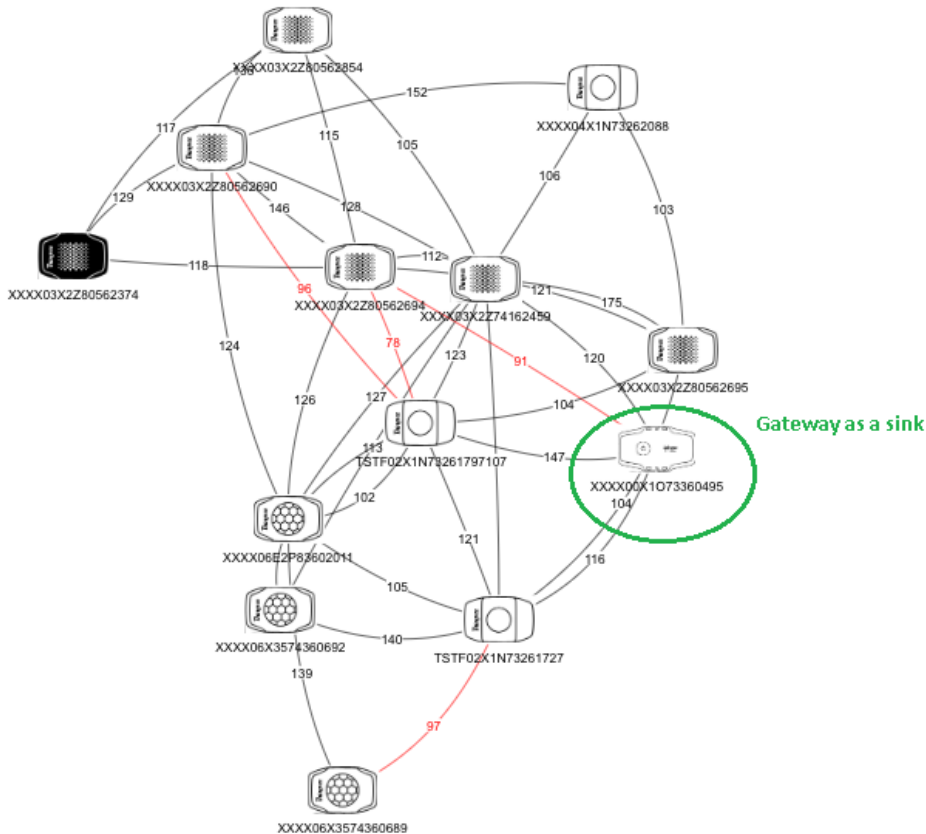
Haltianin tarjoamien sensoriverkkoratkaisujen ideana on tuoda erilaisia älykkäisiin tiloihin liittyviä datankeruuratkaisuja yritysten digitalisaatioprojekteihin. IoT:n saralla Haltian keskittyy kolmeen pääsegmenttiin: älykkäät kylpyhuoneet, älykkäät tehtaot ja älykkäät tilat (rakennukset).

### 6.3.1 Verkkoratkaisut

Sensorien avulla saadun informaation käsittelyyn vaadittavasta järjestelmästä on nähtävänä Thingsee IoT -alusta-arkkitehtuuri liitteessä 3. Siinä sensoridata lähetetään reititinlaitteiden kautta halutulla yhteysmuodolla pilvipalveluun (Thingsee Operations Cloud), josta se voidaan edelleen siirtää asiakkaan omaan pilvisysteemiin. Alusta on yhdistetty myös AWS:n (Amazon Web Services) IoT-laittehallintaratkaisuun ja sen reunalaskentapalvelua tukevaan palveluun, joka kulkee nimellä Greengrass. Reunalaskenta (Edge Computing) on tarkoitettu anturitietojen paikan päällä tapahtuvaan datan käsittelyyn, jolloin tietoja ei tarvitse siirtää verkon kautta pidemmälle analysointia ja laskentaa varten. Ratkaisu säästää jatkuvasti kasvavaa verkon yli siirrettävän datan määrää ja auttaa viiveiden eli latenssien pienentämisessä. (Wiki thingsee 2019.)

Sensoriverkon luomisessa käytetään WPC: n (Wirepas Connectivity) hajautettua radiokommunikointiprotokollaa, joka voidaan asentaa toimimaan laitteisto- ja taajuusriippumattomuuden ansiosta mihin tahansa laitteeseen. Sen avulla laitteet luovat mesh-verkon, joka itsenäisesti organisoituu, konfiguroituu ja optimoi luotavaa verkostoa dynaamisesti. Verkon jokainen laite pystyy reitittämään saamansa tiedon eteenpäin, jolloin verkon rakennetta ja laitteiden rooleja ei tarvitse suunnitella tai ohjata etukäteen. Ne tekevät itsenäisesti ratkaisut valitessaan parhaat naapurit, optimaalisimman siirtotien ja luotettavimmat kanavataajuudet. Näin ollen protokolla saadaan toimimaan riippumatta verkon koosta tai laitteiden sijainnista. Toki ne tulee asentaa siten, että mikään laite ei jää kantaman ulkopuolella ja mielellään omaa useamman mahdollisen kuuluvuusalueella olevan naapurin. (Wirepas 2019.)

Kuviossa 7 on esitetty Haltianin ”Thinsee Toolbox Desktop” -applikaatiosta tallennettu näyttökuva, jossa on esitetty 12 sensorin ja reitittimen luoma mesh-verkko. Reititin toimii sinkkinä, joka kerää sensoriverkon sille välittämän anturi-informaation ja lähettää sen edelleen käsiteltäväksi ja esitettäväksi pilveen.



Kuvio 7. Wirepas mesh -verkko esitettynä Thingsee toolbox -applikaatiossa (muokailen, Wiki Thingsee 2019)

### 6.3.2 Laitteisto

Sensoriverkkojen laitteisto koostuu reititinlaitteista ja sensoreista. Sensorilaitteita kehitetään jatkuvasti ja uusia sensoriratkaisuja etsitään asiakkaiden tarpeiden mukaan. Tämän hetkinen (30.10.2019) myytävänä oleva laitteisto on esitelty kuviossa 8, johon on kerätty sekä reitittimet että sensorit. Näiden lisäksi kehitteillä on myös ilman laatua mittaava ja valvova sensoriratkaisu, josta saatavaa informaatiota voidaan seurata web-sivuston kautta sekä myös puhelin-applikaatiosta.



Kuvio 8. Thingsee lot -tuoteperheen laitteisto 30.10.2019 (Thingsee devices 2019)

**Reitittimien** tehtävä on varmistaa, että tieto sensoreilta kulkee pilvipalveluun ja samalla pilven kautta tulevat ohjelmistopäivitykset (sensoreille ja myös reitittimelle), verkon diagnostiikkatieto ja ohjauskomennot saavuttavat sensorit.

Ensimmäisen sukupolven laitteena on tullut Thingsee Gateway -reititin, joka sisältää 2G-yhteyden ja luo paikallisen verkon käyttäen Wirepas Connectivity -teknologiaa. Langallista verkkoa varten on kehitetty Thingsee LAN -reititin, joka verkkokaapelin kytkemisellä muodostaa yhteyden automaattisesti asiakkaan paikalliseen internetverkkoon. Jos LAN-kaapeli jätetään irti pistorasiasta, yhdyskätävä toimii Wirepas Mesh -reititin solmuna, mikä mahdollistaa paikannuksen sisätiloissa ja tarjoaa luotettavampia paikallisia Edge-infrastruktuurisovelluksia. Näiden lisäksi on saatu testattavaksi ensimmäinen versio Thingsee Mobile NB1/M1 -reitittimestä, joka mahdollistaa vähävirtaisten lot-verkkojen rakentamisen 5G markkinoille. (Haltian news 2019.)

**Thingsee Distance** mittaa sensorin etäisyyttä erilaisiin pintoihin. Perusasetuksilla se raportoi etäisyyden kerran minuutissa ja pariston tilan kerran tunnissa. Etäisyyden mittaustapoja voidaan muuttaa, kun halutaan optimoida tarkkuutta tai virrankulutusta. Näitä ovat normaali (mittaa 50 mm–1200 mm), suuri tarkkuus, pitkä etäisyys (1500 mm asti) ja lyhyt etäisyys (alle 500 mm). Sen avulla voidaan

esimerkiksi tarkkailla erilaisia täyttöasteita sekä esineiden läsnäoloa tai sijaintia tietyssä paikassa. (Thingsee devices 2019.)

**Thingsee Presense:**n avulla saadaan läsnäolo- ja liiketietoa PIR-anturin (Passive Infrared) tarkkailualueelta, esimerkiksi tietyistä huoneesta tai huoneistosta tilojen hallintaan ja turvallisuuteen liittyen. Se pystyy havaitsemaan ihmisten läsnäolon tiloissa ja raportoimaan dataa esimerkiksi tilojen käyttöasteesta tai luvattomasta liikkumisesta alueella. (Thingsee devices 2019.)

**Thingsee Environment** on monikäyttöinen langaton sensori, jonka avulla voidaan tuottaa räätälöityä dataa erilaisia IoT-hankkeita silmällä pitäen. Se mittaa lämpötilaa, ilmankosteutta, ilmanpainetta, valoisuutta, 3-akselisia kiihtyvyyksiä sekä tunnistaa magneettikenttiä ja korkeita DC-virtoja. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi koneiden käyttöasteen laskemiseen, moottoreiden tärinän mittaukseen (kiinnikkeet hajalla), ovikytkimenä ja monipuolisena ympäristösensorina. (Thingsee devices 2019.)

**Thingsee Activity** toimii CR2032-paristolla ja pystyy mittaamaan lämpötilaa, kosteutta, 3-akselisia kiihtyvyyksiä sekä tunnistaa magneettikenttiä ja korkeita DC-virtoja. Se suunniteltiin W. L. Gore & Associates' Fabrics Division: ia (Gore-Tex) varten heidän tuotteidensa testaamista varten. Se kestää pesemistä pesukoneessa ja kuivain käyttöä lämpötila-alueilla  $-30\text{ °C}$ –  $+65\text{ °C}$  asti. Sitä voidaan käyttää askelmittarina asentamalla se vaikka kenkään tai taskuun ja sen paristo kestää luodulla profiililla yli 4 kuukautta. (Thingsee devices 2019.)

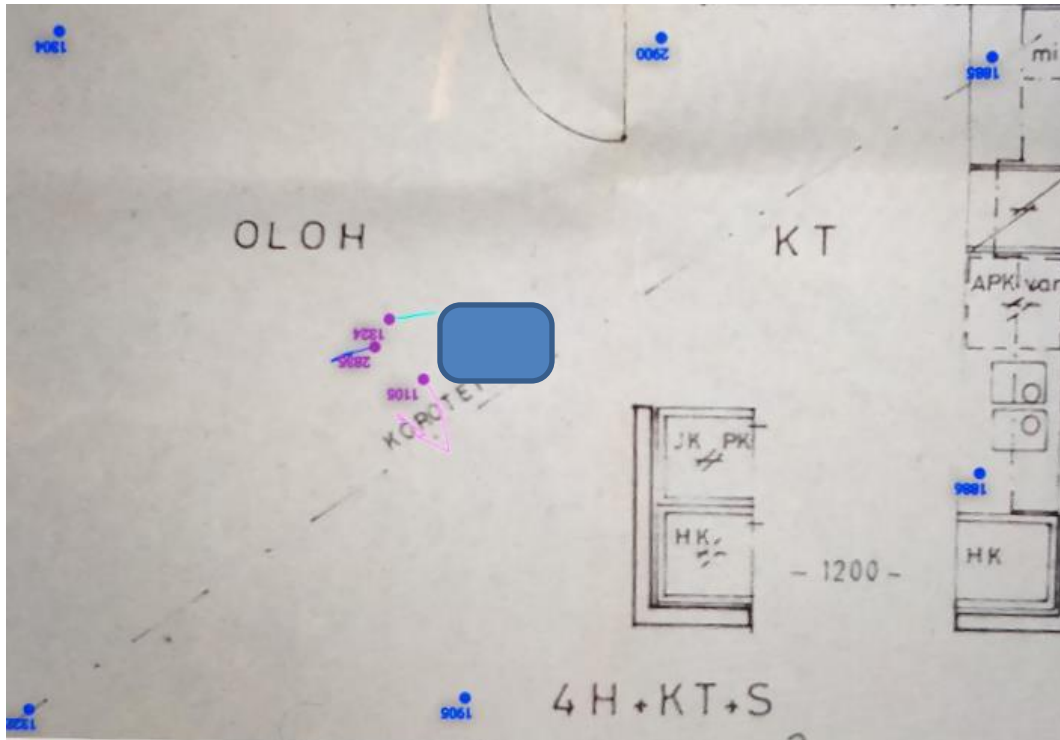
**Thingsee Angle** on anturilaite, jossa on magneettinen ja mekaaninen kulma-anturi esimerkiksi manuaalisten käännettävien teollisuusventtiilien tilan seuraamiseen. Sen avulla voidaan nähdä, onko venttiili kiinni- vai auki-asennossa ja vielä tarkemmin millaiseen kulmaan se on asetettu. Lisäksi se pystyy mittaamaan lämpötilaa. (Thingsee devices 2019.)

### 6.3.3 Sensoripaikannus

Thingsee positioning on lisätoiminto, joka tulee oletuksena mukaan jokaisen Thingsee-sensoriverkon asennuksen mukana. Se on lähtökohtaisesti kytketty

pois antureiden oletusarvo konfiguroinnista, mutta voidaan ottaa käyttöön etäohjauksella tarvittaessa, eikä vaadi erillisiä ohjelmistopäivityksiä toimiakseen. Tosin siihen on saatavana virrankulutukseltaan optimoitu ohjelmisto tarvittaessa. Paikannukseen on olemassa kaksi vaihtoehtoista tapaa: laitteen paikannus eli AST (Asset Tracking) tai käyttäjän paikannusta eli UST (User Tracking) matkapuhelimen avulla. (Wiki Thingsee 2019.)

**Laitteen paikannuksessa** käytetään ankkureina ja paikannettavana kohteena samoja sensoreita, mutta eri konfiguroinnilla. Sensoriksi käyvät Thingsee Presence, Thingsee Environment sekä Thingsee Distance. Paikannukseen käytetään olemassa olevaa Wirepasin mesh -verkkoa, joka soveltuu varastojen seurantaan sekä muihin ei-reaaliaikaisiin tarkoituksiin, joiden paikan seurantaan riittää minuuttiluokan aikaväli. Verkkoliikenteen hitauden takia siirtyneen sensorin paikannukseen voi mennä aikaa noin minuutin verran, riippuen tosin verkon koosta. Kuviossa 9 on esitetty kotonani tekemä 6 m \* 4,5 m kooltaan oleva paikannusjärjestelmä, joka paikantaa kolmea sensoria. Kuviossa sinisellä on merkitty kiinteät, paikallaan pysyvät ankkurit, jotka lähettävät Wirepas mesh -verkko viestejä ja seurattavat sensorit violetilla. Sensorien oikea paikka on merkitty sinisellä suorakulmiolla. Kuviossa 9 näkyy paikannettavien liike, kun ne hakeutuvat laskelmien perusteella paikoilleen Toolbox-työkalun kartalla. Tässä tapauksessa tarkkuus siis on noin 0,5 -1 m. (Wiki Thingsee 2019.)

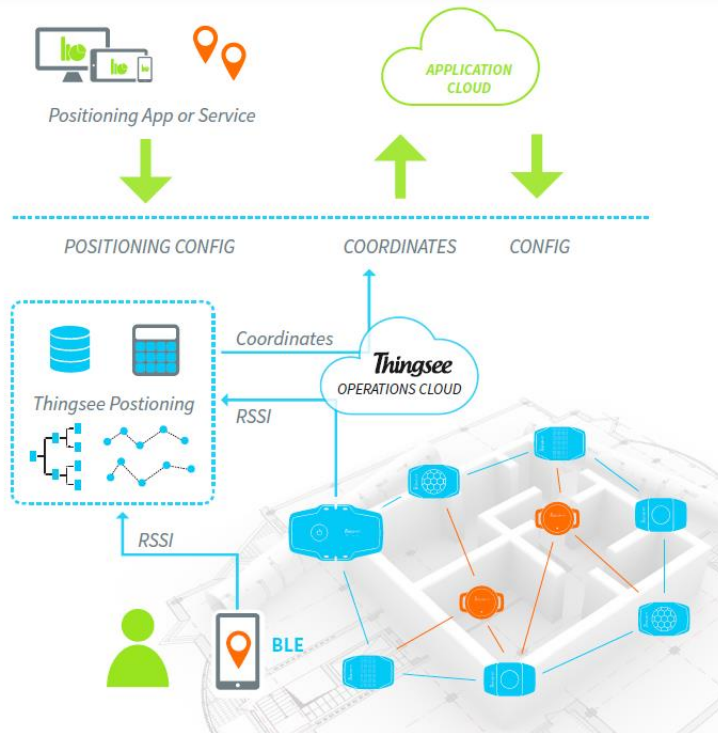


Kuvio 9. Kotona tehty paikannusdemo (kuvakaappaus Thinsee Toolbox -työkalusta)

Ankkuri asennetaan fyysisesti tiettyyn paikkaan, joka sitten merkitään mittakaavalliseen pohjapiirrokseen. Paikannettavien laitteiden suhteellinen sijainti ankkureihin nähden lasketaan Thingsee-pilvipalvelussa (Thingsee operations cloud) ankkureiden RSSI-arvoista kolmiomittauksen keinoin. Kuviossa 10 on esitetty tämän palvelun tarvitsemat osatekijät ja rajapinnat. Koordinaattien laskemiseksi vastaanotetaan useita RSSI-arvoja, joiden keskiarvoista laskenta pilvipalvelussa suoritetaan. Seurattavat laitteet hakevat paikkansa Toolbox-työkalun kartalla, pilvipalvelusta saamiensa koordinaattien avulla. Paikannusohjelma (Application Cloud:ssa toimiva) saa koordinaattivirran samalla tavalla kuin muunkin sensoreista tulevan informaation. (Wiki Thingsee 2019.)

Tämä paikannus ei sovellu reaaliaikaiseen paikannukseen, koska Wirepas-verkon toimintaa ei pystytä erikseen konfiguroimaan siten, että se lähettäisi riittävän nopeasti seurattavien sensoreiden (asset) saamat lukema-arvot laskentaa varten Thingsee Positioning -palveluun. Positioning on tiedonkeräysjärjestelmä, joka huolehtii tarvittavista asetuksista, kentällä tarvittavista operaatioista ja itse sijainnin laskemisesta, siirtäen ne eteenpäin Application-pilveen paikannusohjelmaa tai muita palveluja varten. Sensoriverkoista voidaan Wirepasin avulla muodostaa

kymmenien jopa satojen sensorien monitahoiseksi ketjuksi, jossa kauimmaisten laitteiden tiedon lähettäminen reitittimen kautta laskentapalveluun hidastaa paikantiedon saamista sitä esittävään ohjelmaan.



Kuvio 10. Thingsee-paikannuspalvelukaavio laitteen paikannuksessa (Wiki Thingsee 2019)

**Käyttäjäpaikannuksessa** käytetään hyväksi esimerkiksi käyttäjän matkapuhelinta, jossa on BLE-radio ja internet yhteys. Puhelin laskee paikkaansa BLE-majakoiden (beacon) signaalien RSSI-arvojen avulla. Majakoiden signaalin lähetystiheyttä voidaan säätää tiheämmäksi, kun halutaan lyhentää paikannukseen kuluvaa aikaa. Majakat tukevat Eddystonea, joka on Googlen kehittämä viestintäprotokolla sisäpaikannusratkaisuja varten. Käyttäjäpaikannus on tällä hetkellä (31.10.2019) vielä kehitysvaiheessa siinä mielessä, että varsinaisia omia aplikatioita ei ole implementoitu, mutta järjestelmän toimivuus on kuitenkin testattu asiakkaalle tehdyllä koeverkolla. Toimintaa varten tarvittavat rajapinnat ja Eddystone-tuki on jo integroitu sensoreihin ja Thingsee Position -palveluun sekä Application-pilveen. (Wiki Thingsee 2019.)

Verkon rakentaminen on tehty helpoksi, riittää kun paikannukseen käytettävät ankkurit asetetaan paikannuksessa käytettävään tilaan siten, että jokaisella on

vähintään yksi naapuri, johon se saa yhteyden. Parhaassa tapauksessa kuitenkin, usean naapurin kuuleminen tekee verkosta paljon luotettavamman ja myös nopeuttaa datan siirtoa.

Näiden sisäpaikannusratkaisujen paikannustarkkuus riippuu monista seikoista. Erilaiset radiohäiriöt (WLAN-tukiasemat yms., jotka toimivat samalla taajuudella), heijastukset, rakennuksen konstruktio (seinämateriaalit), sähköjohdot ja laitteet sekä verkon rakenne vaikuttavat paikannukseen. Yleensä nyrkkisääntönä pidetään tarkkuudeksi 50 % ankkureiden välisestä etäisyydestä.

Käytännössä päästään parempaan tarkkuuteen, käyttäen laskennassa keskiarvostusta ja suodatusta, joilla saadaan poistettua erilaisia paikannukseen vaikuttavia virhetekijöitä. Tälle BLE:n kautta toteutettavalle paikannusmenetelmälle luvataan 1–3 m tarkkuutta (Steerpath 2019). Tämän tarkkuutta parantaa varmasti Wirepas-menetelmään verrattuna se, että puhelimen tai tabletin avulla laskettaessa pystytään käyttämään hyväksi sen omia IMU-sensoreita, joiden avulla paikannus onnistuu tarkemmin.

## 7 POHDINTA

Absoluuttisen GPS-paikantamisen kehittäminen tarkemmaksi kuluttajalaitteissa saataisiin aikaan käyttämällä kaksitaajuusvastaanottimia maan ilmakehän aiheuttamien signaalien vääristymisen korjaamiseen. Niiden fyysinen koko ja hinta ovat kuitenkin vielä niin suuria, että käyttö vielä jää pelkästään ammatillisiin sovelluksiin. Kasvava käyttäjäkunta ja uudet sovellukset nopeuttavat niidenkin tulevista peruskäyttäjien saataville.

Datansiirron kapasiteetin noustessa myös erilaiset verkkopohjaiset RTK-korjausmahdollisuudet lyövät itsensä läpi myös kuluttajarintamalla. Käyttäjämäärän noustessa palveluiden hinnatkin todennäköisesti halpenevat. Tekniikat edellyttävät vastaanotinlaitteistolta riittävää laskentatehoa sekä tarpeeksi nopeaa ja ennen kaikkea jatkuvaa tiedonsiirtoyhteyttä verkkotukiaseman ja paikantimen välille.

Pyöräilytietokoneista saadaan suuri määrä kaikenlaista paikkatietoa, jota voitaisiin hyödyntää monellakin tavalla. Jo nyt rannetietokoneiden ja pyörämittareiden valmistajat keräävät dataa missä ihmiset liikkuvat. Koska mittareista saadaan myös lämpötiloja ja ilmanpaine tietoja, näiden avulla voitaisiin kerätä mm. sääolo-karttoja reiteistä ajan ja paikan suhteen. Niitä pystytään jakamaan erilaisten internetin urheilupalveluiden tai muun sosiaalisen median kautta. Näin voitaisiin esimerkiksi välttää joitain vaarallisiksi havaittuja paikkoja tietynä aikana vuodesta.

Paikannuspalvelut Thingsee Position -palvelun kautta Thingsee Operations -pilveen ja siitä edelleen sovelluksien käyttöön tulee varmasti lisääntymään. Varsinkin kun Haltian saa BLE-pohjaisen reaaliaikaisen käyttäjäpaikannussovelluksen eri alustoille täyteen toimintakuntoon. Amazon Web -palvelu (AWS) takaa, että toimintoja pystytään skaalaamaan suurillekin volyymeille, palvelut ovat luotettavia ja Thingsee Operations -pilven ylläpito hoidetaan ammattimaisesti.

Paikannustarkkuudet ja paikanlaskennan nopeus ovat riippuvaisia Wirepas-verkon parametreista. Vastaava BLE mesh -verkko on kehitteillä ja sitä pystytään konfiguroimaan toimimaan nopeammin. Tämä kuitenkin vaatii paljon enemmän työtä ja suunnittelua itse verkon rakennusvaiheessa. Jo tällä hetkellä Eddystone-

protokollan tukema BLE beacon -verkko pystyy reaaliaikaiseen paikannukseen. Se toimii sisäänrakennettuna Wirepas mesh -verkon majakoissa.

Haltian tulee jatkossa panostamaan yhä enemmän sensorilaitteiden ja niiden toimintaa tukevien sensoriverkkojen kehittämiseen ja toimittamiseen uusille asiakkaille. Käyttäjäkunnan laajenemisen seurauksena uusia käyttötapoja tulee olemaan yhä enenevässä määrin.

Käyttökohteita sisätilapaikannukselle voisivat olla työkoneiden ja työkalujen seuranta kaivoskäytävissä, varastojen seuranta, yhteiskäyttö GNSS-palvelujen kanssa (sujuva siirtyminen ulkoa sisälle paikannuksessa), monikerroksisten kauppakeskusten palveluiden löytäminen, lentokenttien ja juna-asemien käyttäjäopastukset, julkisten tilojen paikkaneuvonta, pelastuspalvelujen ohjaaminen sekä mainosten kohdentaminen.

Tekniikan kehittyminen lisää myös sensoreista ja sensoriverkoista saatavan valtavien datamääränhallintaa ja analysointia erilaisissa tietokannoissa sekä niiden yhdistämistä karttaelementteihin ja erilaisten palvelujen käyttöön. Älykkäiden mobiilipäätelaitteiden nopea kehitys ja räjähdysmäinen leviäminen edesauttaa tiedon hyväksikäyttöä, visualisointia ja jakamista eri järjestelmien välillä. Myös paikantiedon laadullisten tekijöiden, kuten sijainti- ja ominaisuustarkkuuden, tiedon kattavuuden ja sen hankintaiän nuorentuminen on seurausta kasvavasta tarjonnasta ja kehityksestä.

## LÄHTEET

Ashton, K. 2009. That 'Internet of Things' Thing. Viitattu 25.9.2019 <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>.

Burgess, M. 2018. What is the Internet of Things? - WIRED explains. Viitattu 25.9.2019 <https://www.wired.co.uk/article/internet-of-things-what-is-explained-iot>.

Bäck, J. 2017. Reaaliaikaisen sisätalapaikannuksen teknologiaselvitys. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinööriyö. Viitattu 23.10.2019 [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/133500/back\\_jonne.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/133500/back_jonne.pdf?sequence=1).

Cavell, P. 2018. Cyclefit journal. Omata Cycling Computer. Viitattu 19.10.2019 <https://www.cyclefit.co.uk/journal/omata-cycling-computer>.

DNA Business 2019. Uutiskirje: Yhteistyöllä äly-yhteiskunnaksi. Viitattu 24.9.2019 [https://uutiskirje.dna.fi/res/sibbe/DNA\\_WP\\_Yhteistyolla\\_aly\\_yhteiskunnaksi\\_2019.pdf](https://uutiskirje.dna.fi/res/sibbe/DNA_WP_Yhteistyolla_aly_yhteiskunnaksi_2019.pdf).

DNA yritysratkaisut 2019. IoT-ratkaisuiden haasteena on pirstoutunut teknologia ja toimijakenttä. Viitattu 6.10.2019 <https://www.dna.fi/yrityksille/iot/ekosysteemi>.

ESA 2013. GNSS Data Processing Volume I: Fundamentals and Algorithms. Viitattu 12.10.2019 [https://gage.upc.es/sites/default/files/TEACHING\\_MATERIAL/GNSS\\_Book/ESA\\_GNSS-Book\\_TM-23\\_Vol\\_Ip.pdf](https://gage.upc.es/sites/default/files/TEACHING_MATERIAL/GNSS_Book/ESA_GNSS-Book_TM-23_Vol_Ip.pdf).

ETN 2019. ETN-verkkolehti artikkeli ” UWB-tekniikka halutaan tarkkaan paikannukseen”. Viitattu 28.10.2019 <http://elektroniikkalehti.fi/index.php/startside-eng/13-news/9714-uw-tekniikka-halutaan-tarkkaan-paikannukseen>.

Garmin 2019. About GPS. Viitattu 28.10.2019 <https://www8.garmin.com/about-GPS/>.

GPS test report 2017. Haltianin sisäinen testiraportti.

Haltian blog 2019. Bluetooth 5.1- six important updates for IoT application and device developers. Viitattu 28.10.2019 <https://haltian.com/news/bluetooth-5-1-six-important-updates-for-iot-application-and-device-developers/>.

Haltian news 2019. Press release. Haltian brings Internet of things to 5G era. Viitattu 30.10.2019 <https://haltian.com/news/press-releases/haltian-brings-internet-of-things-to-5g-era/>.

Heidt, E. 2017. Implementing and Executing Your Internet of Things Strategy: A Gartner Trend Insight Report. Viitattu 24.9.2019 <https://www.gartner.com/en/doc/3834669-implementing-and-executing-your-internet-of-things-strategy-a-gartner-trend-insight-report>.

Ite wiki 2019. Liiketoiminnan digitalisoinnin tietopankki. Paikkatieto, GIS ja karttapalvelut. Viitattu 20.9.2019 <https://www.itewiki.fi/opas/paikkatieto-gis-ja-karttapalvelut/#Paikkatietoyritysten-esittelyj>.

Jaakkola, J. 2007. Mittausepävarmuuden määrittäminen mobiilinäyttöjen mitausprosessissa. Teknillinen korkeakoulu. Diplomityö. Viitattu 24.10.2019 <http://lib.tkk.fi/Dipl/2007/urn010045.pdf>.

Jakosuo, M. Suunnistus ilman apuvälineitä. Viitattu 12.10.2019 <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2016/07/27/suunnistus-ilman-apuvaineita>.

Kenttätesti 2017. Haltianin sisäinen kenttätestiraportti.

Kickstarter.com 2015. Thingsee One: The Smart Developer Device. Viitattu 7.10.2019 <https://www.kickstarter.com/projects/haltian/thingsee-one-the-smart-developer-device-for-mobile/description>.

Koivunen, T. 2001. GIS- perusteet ja kartografia. Oulun yliopiston virtuaaliyliopisto kurssi materiaali. Viitattu 26.9.2009 <https://www oulu.fi/virtualgis/>.

Kuusniemi, H. 2019. Maanmittauslaitos julkaisut. Teematietoa – Sisätilanavigointi. Viitattu 27.10.2019 <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/sisatilanavigointi>.

Laurila, P. 2010. Aika ja paikka. Maankäyttölehti 3/2010. Viitattu 12.10.2019 [https://maankaytto.fi/arkisto/mk310/mk310\\_1390\\_laurila.pdf](https://maankaytto.fi/arkisto/mk310/mk310_1390_laurila.pdf).

Miekk-oja, V. 2015. Sähkötekniikan korkeakoulu /ELEC maisterivaiheen opinnyte. Viitattu 23.10.2019 <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/17724>.

Omata FCC. 2018. OMATA1 Analog GPS Speedometer User Manual 18555\_OMATA\_PCKG\_BOOKLET\_CO1\_V8 OMATA. Viitattu 19.10.2019 <https://fccid.io/2AOIM-OMATA1/Users-Manual/User-guide-18555-OMATA-PCKG-BOOKLET-CO1-V8-3754466>.

Paavola, J. 2017. Indoor atlas haastaa Googlen ja Applen sisäpaikannuksessa. Viitattu 22.10.2019 <https://hub.elisa.fi/startup-indoor-atlas/>.

Pervilä, M. 2018. Iot:n tietoturva mättää, ja seuraukset ovat vakavia: "Tämä ei ole enää teoriaa". Tietoviikko 30.1.2018. Viitattu 23.9.2019 <https://www.tivi.fi/uutiset/iotn-tietoturva-mattaa-ja-seuraukset-ovat-vakavia-tama-ei-ole-ena-teoriaa/76acf36a-d252-39aa-97e2-d2b5ae85bad9>.

Polkupyöräwiki 2009. Ajotietokoneet. Viitattu 9.10.2019 <http://www.polkupyoraily.net/wiki/Ajotietokoneet>.

Poutanen, M. 1999. Satelliittipaikannus Viitattu 14.10.2019 <https://www.mv.helsinki.fi/home/korpela/MINV12/GPSkirja.pdf>.

Puro, J. 2017. Mikä on Bluetooth-beacon ja miten sitä voi hyödyntää sovelluskehityksessä. Viitattu 28.10.2019 <https://www.itewiki.fi/blog/2017/11/mika-on-bluetooth-beacon-ja-miten-sita-voi-hyodyntaa-sovelluskehityksessa/>.

Sanastokeskus TSK ry. Geoinformatiikan sanasto, 4. laitos. TSK 51. 2018. Viitattu 24.9.2019 <http://www.tsk.fi/tiedostot/pdf/GeoinformatiikanSanasto.pdf>.

Solidi 2016. Cadworks Oy:n asiakaslehti, Nro 13 juhlanumero. Ville Ylläsjärven haastattelu. Viitattu 6.10.2019 [http://www.cadworks.fi/sites/cadworks.fi/files/solidi/solidi\\_2016/HTML/files/assets/common/downloads/LOWRES\\_final\\_solidi\\_2016.pdf](http://www.cadworks.fi/sites/cadworks.fi/files/solidi/solidi_2016/HTML/files/assets/common/downloads/LOWRES_final_solidi_2016.pdf).

Statista.com 2016 Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025 (in billions). Viitattu 7.10.2019 <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>.

Steerpath 2019. Professional Indoor Navigation and Positioning, Asset Tracking, Indoor Analytics, and Maps. Viitattu 2.11.2019 <https://steerpath.com/>.

Tapanainen, T. 2017 Esineiden internet (IoT) ja tietoturva: riskit ja ratkaisut. Viitattu 24.9.2019 <https://www.ecraft.com/fin/blog/2017/11/13/esineiden-internet-ja-tietoturva-riskit-ja-ratkaisut>.

Thingsee devices. 2019. Smart IoT sensors for smarter edge solutions. Viitattu 30.10.2019 [https://thingsee.com/devices/?\\_\\_hstc=104342303.48dc4907cd8a4b3684877bb624b9f9c5.1559276631258.1572375551122.1572414801375.90&\\_\\_hssc=104342303.6.1572414801375&\\_\\_hsfp=1089742835](https://thingsee.com/devices/?__hstc=104342303.48dc4907cd8a4b3684877bb624b9f9c5.1559276631258.1572375551122.1572414801375.90&__hssc=104342303.6.1572414801375&__hsfp=1089742835).

Tilastokeskus – Käsitteet. Viitattu 26.9.2019 <https://www.stat.fi/meta/kas/index.html>.

Tikka, T. 2015. Tivi artikkeli: Teollinen internet - mikä se on? Viitattu 20.10.2019 <https://www.tivi.fi/kumppaniblogit/tieto/teollinen-internet-mika-se-on/7527cb6f-715b-314e-b5ed-420e57214b54>.

Ublox 2019. UBX-M8030 series Versatile u-blox M8 GNSS chips. Viitattu 12.10.2019 <https://www.u-blox.com/en/product/ubx-m8030-series>.

Ublox UBX-M8030 2019. UBX-M8030 series Versatile u-blox M8 GNSS chips. product summary. Viitattu 19.10.2019 [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/UBX-M8030\\_ProductSummary\\_%28UBX-15029937%29.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/UBX-M8030_ProductSummary_%28UBX-15029937%29.pdf).

Wermeer, M. 2019. Navigoinnin menetelmät. Viitattu 15.10.2019 <https://users.aalto.fi/~mvermeer/nav-fi.pdf>.

Wikipedia – Paikannus. Viitattu 12.10.2019 <https://fi.wikipedia.org/wiki/Paikannus>.

Wikipedia – Paikkatieto. Viitattu 26.9.2019 <https://fi.wikipedia.org/wiki/Paikkatieto>.

Wiki Thingsee 2019. IoT Platform Technical Documentation. Viitattu 30.10.2019 <https://wiki.thingsee.com/start>.

Wirepas 2019. Technology-overview – What makes Wirepas Mesh different?  
Viitattu 30.10.2019 <https://wirepas.com/products-and-services/technology-overview/>.

## LIITTEET

- Liite 1. Omata testiajo koko reitti
- Liite 2. Omata testiajo yksityiskohdat
- Liite 3. Thingsee lot alusta-arkkitehtuuri

## Liite 1

Omat pyörämittarin testi ajo Haverisessa. Kartta koko reitistä ja liitteen 2 yksityiskohtien paikkamerkit. Keltaisella ympyrällä on merkitty paikka, jossa tallentunut reitti poikkesi eniten ajetusta.

Lisäksi kartan alapuolella esitetty kuntosuoritusten seuranta- ja jakamispalvelu [Strava](#) sta saadut ajomatkan yhteenveto tiedot.



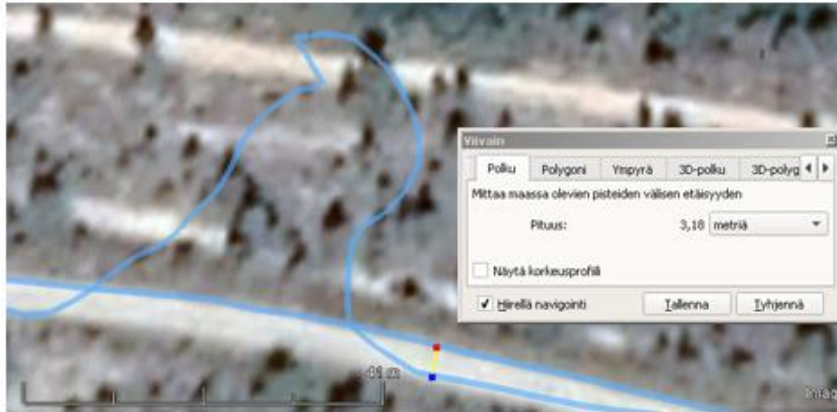
Karttakuva ajo reitistä

**31.28 km**   **3:19:44**   **215 m**  
Distance (?)   Moving Time   Elevation

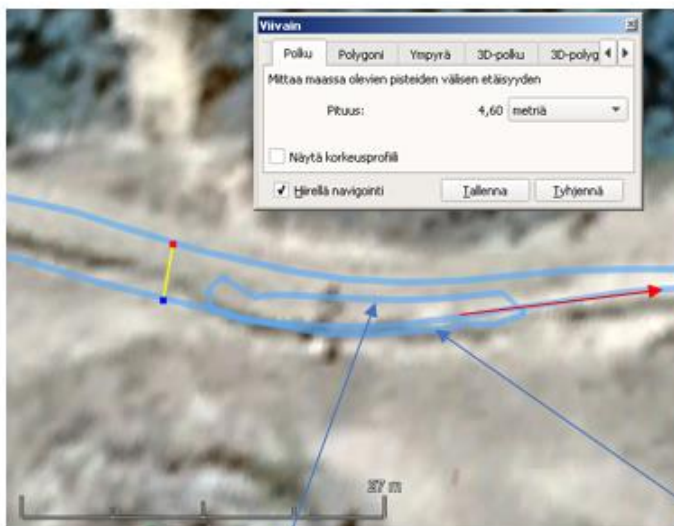
	Avg	Max	Show Less
Speed	9.4km/h	25.6km/h	
Temperature	15°C		
Elapsed Time	4:06:54		

Bike: FatBike

## Liite 2.

Yksityiskohtien esittelyt Omatan testiajosta Haverisessa.

Kohta 1. Koukkaus moottorikelkkareille valokuvaamista varten ja paluu takaisin reitille n. 40 metriä eteenpäin lähtöpaikasta. Reitti jatkuu tien oikeaa puolta kuten kuuluukin



Kohta 2: Pyörähdys ympäri ja ajo takaisin n. 30 m, sekä paluu uudelleen menosuuntaan. Tien leveys n. 5 m. Takaisinpäin ajossa n. 1-2 m poikkeama. Menosuunnassa (punainen nuoli) taas hyvin kartalla.



Kohta 3: Kaksi pyörähdystä paikallaan. Ensimmäinen isompi 5 m. leveä ja sitten pienempi 3 m. leveä pyörähdys.

Liite 3. Thingsee lot alusta-arkkitehtuuri

