

Matti Kuismin

# IoT-anturijärjestelmien mahdollisuudet rakennustyömaalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

15.01.2018

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Matti Kuismin IoT-anturijärjestelmien mahdollisuudet rakennustyömaalla 21 sivua + 2 liitettä 15.01.2018
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennusalan työnjohto
Ammatillinen pääaine	Talonrakennustekniikka
Ohjaajat	Laatu- ja ympäristöpäällikkö Oskari Peurakoski Lehtori Jouni Ruotsalainen
<p>Rakennusalan digitalisaatio mahdollistaa työmaan kosteudenseurannan automatisoinnin esineiden internetin avulla. Kosteudenhallintaan käytettäviä järjestelmiä on mahdollista käyttää myös muihin käyttötarkoituksiin. Tässä opinnäytetyössä on selvitetty kahden NCC:n tutkiman järjestelmän muita käyttömahdollisuuksia. Tutkimus on kirjallisuuslähtöinen ja sitä on täydennetty haastattelemalla laitetoimittajia ja NCC:n toimihenkilöitä.</p> <p>Esineiden internet mahdollistaa valtavasti erilaisten rakennustyömaiden prosessien automatisointia. Sen avulla yritysten on mahdollista myös kerätä yritystoiminnan kehittämisen kannalta kiinnostavaa tietoa jatkoanalysointia varten. Erityisesti langattomien verkkoteknologioiden kehitys on mahdollistanut IoT:n räjähdysmäisen kasvun.</p> <p>Työssä tutkittiin Thingseen ja RuuviTagin järjestelmiä. Molemmilla laitteilla voi mitata työmaan olosuhteita sekä kiihtyvyyttä. Thingseen järjestelmä mahdollistaa lisäksi etäisyyden, valonmäärän ja läsnäolon mittaamista, mutta RuuviTagin järjestelmä tarjoaa monipuolisempia sisäpaikannuksen mahdollisuuksia. Sisäpaikannuksen lisäksi merkittäviksi käyttökohteiksi tunnistettiin työkoneiden käyttöasteen mittaus ja tietyllä työpisteellä työskentelyn kestön ja jatkuvuuden mittaus.</p> <p>Sisäpaikannuksen avulla on mahdollista helpottaa jo nyt tyypillistä työnkulkua, jossa työmaalla tehdään älylaitteen sovelluksella havaintoja ja kirjataan niitä ylös. Tämän ansiosta paikkatieto tallentuisi automaattisesti kaikkiin havaintoihin. Lisäksi paikannus olisi hyödyksi tulevaisuudessa lisätyn todellisuuden ratkaisussa.</p>	
Avainsanat	IoT, Esineiden Internet, Olosuhteidenhallinta, Sisäpaikannus, RuuviTag, Thingsee

Author Title Number of Pages Date	Matti Kuismin Possibilities of IoT Sensor Systems on Construction Site 21 pages + 2 appendices 15 January 2018
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Management
Professional Major	Building Construction
Instructors	Oskari Peurakoski, Quality and Environment Manager Jouni Ruotsalainen, Principal Lecturer
<p>Digitalization of the construction industry and the internet of things makes it possible to automatize environmental monitoring on a building site. Sensor systems used to monitor the environment can be used for other purposes as well. Two sensor systems researched by NCC were evaluated for this thesis to find out what else they could be used for. This research is based on literature and it is complemented with interviews of device manufacturers and NCC employees.</p> <p>The internet of things enables a huge potential for the automation of different processes on the construction site. With the IoT companies can also collect interesting data that can be used for further analysis and development of the company. The development of wireless connectivity technologies has enabled the explosive growth of IoT.</p> <p>In this thesis two systems from Thingsee and RuuviTag were evaluated. Both of the systems offer monitoring of the site environment and acceleration. The Thingsee system also provides monitoring of distance, ambient light and presence, however the RuuviTag system offers a better range of indoor positioning solutions. Other important use cases identified beyond indoor positioning were the degree of utilization of construction machinery and monitoring the length and continuity of working at a particular job location.</p> <p>Indoor positioning can simplify the typical workflow where observations from the site are entered into an application running on a smart device. With indoor positioning location could be added to all observations automatically. Indoor positioning would also be useful in the future for solutions using augmented reality.</p>	
Keywords	IoT, Internet of Things, Environmental Control, Indoor Positioning, RuuviTag, Thingsee

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tavoite	2
2.1	Rajaukset	2
2.2	Menetelmät	2
3	Teoria	3
3.1	Tieto	3
3.2	Tietojohdaminen ja tiedolla johtaminen	3
3.3	Digitalisaatio	5
3.4	IoT	6
3.5	Verkkoyhteydet	8
3.5.1	Matkapuhelinverkko	8
3.5.2	Bluetooth	9
4	Anturijärjestelmät	11
4.1	Thingsee	11
4.2	RuuviTag	12
4.3	Asentaminen	12
4.4	Vertailu	14
5	Anturit ja niiden mahdollisuudet	15
5.1	Anturit	15
5.2	Sisäpaikannus	15
5.3	Koneiden käyttöaste	17
5.4	Läsnäolon mittaus	18
5.5	Sää- ja varastointiolosuhteet	19
5.6	Ovien ja ikkunoiden kiinniolo	19
6	Johtopäätökset	20
7	Yhteenveto ja pohdinta	20
	Lähteet	22

## Liitteet

Liite 1. Puhelinhaastattelu

Liite 2. Anturijärjestelmien ominaisuuksien vertailu

## Lyhenteet

Big Data	Valtava tietomäärä, josta analysoimalla voidaan saada hyödyllistä tietoa, jota ei pienemmästä osasta tietoa olisi voitu saada selville.
Bluetooth	Langaton teknologia, joka on suunniteltu matkapuhelinten ja sen lisälaitteiden väliseen tiedonsiirtoon.
Eddystone	Sisäpaikannuksessa käytettävä verkkoprotokolla, jonka on luonut Google.
Gateway	Yhdyskäytävä, tietoliikenneverkon solmukohta, joka mahdollistaa erilaisten tietoverkkojen yhdistämisen toisiinsa.
iBeacon	Sisäpaikannuksessa käytettävä verkkoprotokolla, jonka on luonut Apple.
IoT	Internet of Things, esineiden internet. Esineiden internet koostuu yksilöityistä verkkoon yhdistetyistä esineistä, jotka jakavat ja/tai hyödyntävät tässä verkossa liikkuvaa tietoa. Näitä esineitä ohjataan logiikalla, joka hyödyntää tätä tietoa arvon luontiin.
LTE	Long Term Evolution, 4. sukupolven matkapuhelinverkkojen teknologia, joka mahdollistaa suuret siirtonopeudet.
NB-IoT	4. sukupolven matkapuhelinverkkojen uusi verkkoteknologia, joka on suunniteltu erityisesti esineiden internetin tarpeisiin.
RFID	Radio frequency identification, eli radiotaajuinen etätunnistus on menetelmä tiedon etälukuun ja tallentamiseen. Esim. lähimaksuominaisuus pankkikortissa tai matkakortti ovat tekniikan sovelluksia.
RSSI	Received signal strength indicator, vastaanotetun radiosignaalin voimakkuus. Tämän perusteella voidaan määrittää summittainen etäisyys vastaanottimien välillä.
Wirepas	Verkkoprotokolla mesh-tyyppisille radioverkoille.
QR-koodi	3D-viivakoodi.

## 1 Johdanto

NCC on yksi johtavista rakentamisen, kiinteistökehityksen ja infrastruktuurin yrityksistä Pohjois-Euroopassa. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2016 noin 5,5 miljardia euroa ja henkilöstömäärä 17000. NCC Building on yksi suurimmista Suomessa toimivista rakennusliikkeistä, ja se panostaa merkittävästi toimialan uudistamiseen.

Monet teollisuudenalat ovat digitalisoituneet merkittävästi parin viimeisen vuosikymmenen aikana. Näillä toimilla on saavutettu kustannussäästöjä, kulujen parempaa ennustettavuutta ja toiminta on tehostunut. Valmistavassa teollisuudessakin 35% käytti älykkeitä sensoreita jo vuonna 2016 ja luku vain kasvaa [1]. Kaikista positiivisista tuloksista huolimatta rakennusteollisuudessa ei ole tehty digitalisoitumisen eteen juuri mitään ennen kuin parin viime vuoden aikana. Rakennusteollisuudella on valtava kurominen edessään, joka on Suomessa tunnistettu ylintä valtionjohtoa myöten heidän nostaessaan KIRA-digin hallituksen kärkihankkeiden joukkoon.

Esineiden internet eli IoT on yksi merkittävimpiä rakennusalan digitalisoitumisen mahdollisuuksia tällä hetkellä. Työmailla syntyy päivittäin valtava määrä dataa, josta suurinta osaa ei kerätä talteen millään tavalla. Arvokkaaksi tunnistettua dataakin kerätään usein puutteellisesti, jolloin saadusta datasta ei saada täyttä hyötyä irti. Esineiden internet mahdollistaa tämänkin datan keräämisen, prosessoinnin sekä varastoinnin jatkokäyttöä varten. [2.]

Rakennustöiden aikaisen lämpötilan ja ilmankosteuden kehitys on tunnistettu arvokkaaksi informaatioksi, mutta usein tätä informaatiota kerätään talteen heikosti, eikä sitä tallenneta ainakaan keskitetysti minnekään. Näillä olosuhteilla on kuitenkin suuri merkitys monien rakennusvaiheiden onnistumisen ja lopullisen laadun kannalta. Olosuhteiden vakioiminen ja niiden automatisoitu seuranta on tunnistettu tärkeäksi kehityskohteeksi NCC:llä. IoT-ratkaisujen nopea kehitys mahdollistaa jo nyt olosuhteiden jatkuvan seurannan siten että informaatio kerätään talteen automaattisesti. Tästä tiedosta voidaan saada hyötyä välittömästi, sekä jatkokehityksen kannalta analysoimalla tietoa myöhemmin. Välittömästi tiedon avulla voidaan luoda automaattisia hälytyksiä, mikäli olosuhteet eivät ole halutulla tasolla. Myöhemmin voidaan useiden työmaiden tietoja tarkastella suurempana kokonaisuutena ja löytää sieltä kehitysmahdollisuuksia.

## 2 Tavoite

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia, mitä muita käyttökohteita olosuhteiden seurantajärjestelmillä voi olla. Järjestelmät sisältävät usein muitakin antureita olosuhdeseurannan tarvitsemien antureiden lisäksi, ja kykenevät näin ollen tarkkailemaan muitakin muuttujia ilmankosteuden ja lämpötilan lisäksi. Opinnäytetyössä selvitetään, mitä muita antureita ja komponentteja kahdessa NCC:llä testikäytössä olevassa järjestelmässä on, ja pyritään havaitsemaan mahdollisia käyttötilanteita näille antureille. Tavoitteena on saada lisäarvoa järjestelmästä, ja välttää useiden mahdollisesti keskenään rinnakkaisten järjestelmien asentaminen työmaalle. Työn pohjalta on mahdollista jatkaa tunnistettujen käyttökohteiden jatkoselvitystä esimerkiksi toisten opinnäytetöiden muodossa, tai osana yrityksen tutkimus- ja kehitystyötä. Tutkimuskysymys on lyhyesti: Mitä järjestelmillä voi mitata tai tehdä?

### 2.1 Rajaukset

Työssä käydään läpi laitteiden mahdollisia käyttötarkoituksia mahdollisimman laajasti, kuitenkin niin että olosuhdeseuranta rajataan pois. Olosuhdeseurannan osalta näitä järjestelmiä koskeva tutkimus on jo käynnissä diplomityön muodossa, joten tässä työssä keskitytään ainoastaan järjestelmien muihin käyttömahdollisuuksiin.

### 2.2 Menetelmät

Tutkimuksen teoriaosuus perustuu pitkälti alan julkaistuihin tieteellisiin artikkeleihin, ja lehtien julkaisuihin. Tämä johtuu siitä, ettei IoT:sta ole vielä juurikaan oppikirjamateriaalia saatavilla, ja etenkin rakennusalaan käsittelevä materiaali on suurelta osin julkaistu muutamien edellisten vuoden aikana joko tutkimusartikkeleina tai finanssialan julkaisuiden koonteina. Tämän lisäksi on pyritty haastattelemaan alan ammattilaisia ja kerätty olosuhdeseurantaprojektin tekijältä kokemukseräistä tietoa pilottikohteesta.



### 3 Teoria

Tässä luvussa avataan olennaisia käsitteitä ja teorioita, joihin tämän työn varsinainen tutkimus perustuu. Ensin käydään lyhyesti läpi tiedon käsitettä ja tiedolla johtamisen perusteita. Digitalisaatio on osa laajempaa yhteiskunnallista ja liike-elämän kehitystä jonka yksi merkittävä osatekijä on esineiden internet. Luvun jälkimmäisellä puoliskolla avataan esineiden internetiä ja siihen liittyviä teknologioita laajemmin.

#### 3.1 Tieto

Suomenkielinen sana *tieto* on moniselitteinen. Sillä saatetaan viitata dataan, informaatioon tai tietoon. Tietosanakirjassa tieto on kuitenkin määritelty seuraavasti:

Kokemuksen tai opintojen kautta hankittu tosiasia, informaatio tai taito. [3.]

Tietoon liittyy siis tiedon tulkitsejan oma kokemus ja osaaminen, joka mahdollistaa uuden tiedon löytämisen informaatiosta. [4.]

Informaatioteorian mukaan informaatio on dataa, jolla on jokin rakenne tai järjestys, jonka ansiosta se on käsiteltävissä. Informaatio voi olla joko fyysikaalista tai kielellistä. Fyysikaalista informaatiota ovat erilaiset mitattavat suureet, esimerkiksi lämpötila. Kielellinen informaatio perustuu ihmisen luomaan kieleen ja sen ilmaisuvoimaan. Esimerkiksi nuottivihon merkinnät ovat dataa, jolla on informaatioarvoa sille, joka osaa lukea nuotteja, muille nuo merkinnät voivat olla täysin merkityksettömiä [5]. [4.]

Dataksi voidaan tulkita lähes mikä tahansa aistihavainto tai ärsyke. Tietotekniikassa sen voidaan katsoa olevan pienin tiedon esityksen alkio, joka voi kantaa informaatiota, ikään kuin merkki. Koska tietokone ainoastaan suorittaa ennalta määrättyjä laskutoimituksia, ei se pysty ottamaan kantaa, onko sille syötetyllä datalla järjestystä tai merkitystä. [4.]

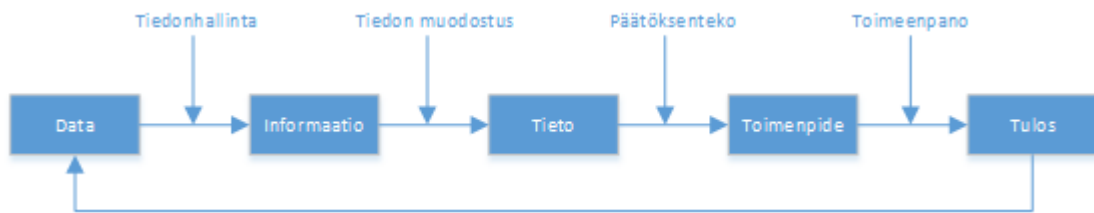
#### 3.2 Tietojohdaminen ja tiedolla johtaminen

Jotta yrityksen toimintaa voisi johtaa tiedolla, täytyy yrityksen ensin määrittää, miten se luo arvoa asiakkailleen tai omistajilleen. Tämän arvonluonnin prosessin perustana ovat

tietoresurssit tulee tunnistaa. Tällaisia resursseja ovat muun muassa henkilöstön osaaminen, yrityksen toiminta- ja johtamismallit sekä asiakassuhteet. Näiden asioiden hallintointia kutsutaan tietojohtamiseksi, joka on tiedolla johtamisen edellytys. [6.]

Tiedolla johtamisella tarkoitetaan olemassa olevan tiedon hyödyntämistä yrityksen päätöksenteossa. Tietoa kerätään ja analysoidaan jotta voidaan kehittää toimintaa ja tehdä parempia päätöksiä. Tiedolla johtaminen mahdollistaa paremman päätöksenteon vaihtoehtona tunteilla ja luuloilla johtamiselle. [6.]

Tiedolla johtamisen edellytyksenä on siis, että päätöksentekijällä on käytettävissään kaikki mahdollinen merkityksellinen tieto. Tämän päätöksenteon ja datan välisiä suhteita kuvaamaan on kehitetty kuvan 1 mukainen DIKAR-malli. Lyhenne tulee sanojen data, informaatio, tieto, toimenpide ja tulos englanninkielisistä termeistä. Mallin toiminnan kannalta on erittäin tärkeää myös se, mitä tapahtuu eri vaiheiden välillä.



Kuva 1. DIKAR-mallin vuokaavio

Mallia on helpointa lähestyä esimerkin kautta, ja tämän työn puitteissa lämpötilan seuranta tarjoaa mainion esimerkin. Työmaan lämpötilaa mittaamalla saadaan dataa, joka on joukko numeroarvoja, mutta mikä on käytetty mitta-asteikko? Koska lämpötila on mitattu ja mistä? Tiedonhallinta keskittyy datan keräämiseen, prosessointiin, tallentamiseen, järjestelyyn ja esittämiseen. Tässä yhteydessä siis huolehditaan, että varsinaisen ydindatan lisäksi kerätään talteen riittävästi siihen olennaisesti liittyviä tietoja, jotta datalle voidaan antaa rakennetta ja järjestystä. Näin pystytään erottelamaan eri mittauspisteet toisistaan ja tutkimaan muutosta ajassa. [7.]

Tiedon muodostaminen on jo paljon haastavampi prosessi. Jotta informaatiosta voidaan löytää arvokasta tietoa, täytyy ensin päättää millä on arvoa kyseisessä yhteydessä. Tämä prosessi on siis voimakkaasti riippuvainen kontekstista ja toiminnan arvomaailmasta. Rakentamisessa olosuhdeseurannan kontekstissa tällaista tietoa on esimerkiksi

kuivumisajan ennustaminen. Koska tiedetään, kuinka olosuhteet vaikuttavat betonin kuivumiseen, ja käytettävissä on tarkkaa informaatiota tähänastisista olosuhteista, voidaan luoda ennusteita tulevasta. [7.]

Muodostetun tiedon avulla voidaan siirtyä päätöksentekoon. Jos ennustettu kuivumisaika huomattavasti liian pitkä, ryhdytään toimenpiteisiin olosuhteiden parantamiseksi. Vastaavasti jos kuivuminen on edennyt huomattavasti odotettua paremmin, voidaan harvinaisemmin esimerkiksi lämpötilan laskua ja näin saavuttaa kustannussäästöjä lämmityskuluissa. [7.]

Tehdyt päätökset tulee vielä toimeenpanna. Toimeenpano on usein haastavin vaihe päätöksenteossa, sillä mikään päätös ei muuta lopputulosta ilman onnistunutta toimeenpanoa. Toimeenpantu päätös johtaa tulokseen, joka toivottavasti vastaa odotuksia. Joka tapauksessa tämä tulos voidaan nyt lisätä aiempaan dataan, ja päätöksenteon tapahtumaketju alkaa alusta. [7.]

### 3.3 Digitalisaatio

Digitalisaatio on yksi viimeaikaisten yhteiskunnallisenkin keskustelun kuumia puheenaiheita. Sillä viitataan siihen, kuinka erilaiset uudet digitaaliset teknologiat tulevat entistä suuremmaksi osaksi arkielämäämme. Nämä teknologiat ovat muuttaneet tapamme tehdä töitä, käydä kauppaa ja viettää vapaa-aikaamme. Digitalisaatio on jo nyt täysin muuttanut tapamme ostaa asioita, käyttää pankkipalveluita tai katsoa televisiota. [8.]

Rakennusala on kuitenkin perinteisesti erittäin konservatiivinen ja muutosvastarinta on voimakasta. Työmaakopeissa kuulee edelleen tarinoita viimeisistä mohikaaneista jotka eivät suostu esimerkiksi päivittämään vuosikausia vanhaa pöytätietokonettaan kannettavaan. Ei olekaan ihme, että McKinsey&Company'n 2016 julkaistun tutkimuksen mukaan rakennusala on globaalisti edelleen yksi vähiten digitalisoituneista teollisuudenaloista [2].



McKinsey&Company

Kuva 2. Rakennusalan digitalisoitumisen viisi trendiä: maanmittaus, tietomallinnus, digitaalinen yhteistyö ja mobiilius, esineiden internet sekä uudet rakennusmateriaalit ja -tavat. [2.]

Digitalisoitumisen akuuttiin tarpeeseen on alalla herätty, mutta valtaosa muutoksista ovat keskittyneet alan jo entisestään digitaalisimpaan osa-alueeseen, suunnitteluun. Rakennuksen tietomalli on ollut merkittävä uusi kehitysaskel suunnittelun puolella, ja luo entisestään uusia mahdollisuuksia myös rakennustuotannon puolelle. Se onkin yksi viidestä McKinseyn raportissa tunnistetuista rakentamisen digitalisaation trendistä IoT:n ohella, kuten kuvasta 2 nähdään. [2.]

### 3.4 IoT

IoT eli Internet of Things, tai suomeksi esineiden internet on monitahoinen ja erittäin hankalasti määriteltävä käsite. Tästä huolimatta käsite on jatkuvasti esillä erilaisissa yh-

teyksissä. Käsitteen määrittelyn vaikeudesta kertoo sekin, että kansainvälinen standardisointiorganisaatio ISO perusti erityisen työryhmän määrittelemään esineiden internetin. Tällä oman alansa ammattilaisista koostuvalla työryhmällä kesti 16 kuukautta päästä yhteisymmärrykseen seuraavasta määritelmästä:

Toisiinsa yhdistyneiden esineiden, ihmisten, systeemien ja informaation muodostaman infrastruktuurin yhdessä älykkäiden palveluiden kanssa mahdollistama fyysisen ja virtuaalisen maailman tiedon prosessointi ja siihen reagointi. [9.]

Esineiden internet on nimenä kuvaava, mutta se jo itsessään johdattaa erilaisiin tulkintoihin omista lähtökohdista riippuen. Ensimmäinen tulkinta lähestyy asiaa esinekeskeisesti, eli erilaisiin esineisiin pyritään lisäämään uusia älykkäitä toiminnollisuuksia. Kuluttajille onkin jo kaupan älylaitteita lampun polttimosta leivänpaahtimeen [10; 11]. Toinen tulkinta lähestyy asiaa vastakkaisesta suunnasta ja painottuu siihen, kuinka kaikki nämä uudet esineet saadaan yhdistettyä internetiin. Esimerkiksi internetpalveluntarjoajat ja verkkolaitteiden valmistajat lähestyvät asiaa usein tästä suunnasta. Lisäksi on vielä semanttinen lähestyminen. Se lähtee liikkeelle siitä, että tulevaisuudessa yhdistettävien laitteiden ja sitä kautta myös informaation määrä tulee kasvamaan erittäin suureksi. Tällöin haasteeksi muodostuu kaiken tämän informaation organisointi ja etsiminen. Semanttinen lähestyminen pyrkii siis ratkaisemaan itse datan määrään ja sen käyttöön liittyviä haasteita. [12.]

Esineiden internetin mahdollisuudet näyttäytyvät uudessa valossa, kun huomataan yhteys sen määritelmän, ja aikaisemmin luvussa 2.1 esitetyn DIKAR-mallin välillä. Esineiden internet mahdollistaa monissa tilanteissa datan automaattisen keräämisen, jäsentelyn ja tallennuksen. Sopivilla algoritmeilla järjestelmä pystyy ehdottamaan toimenpiteitä, ja jossain tilanteissa jopa toimeenpanemaan ne. Esineiden internet siis mahdollistaa parempaa liiketoiminnan johtamista tuottamalla parempaa tietoa päätöksenteon tueksi, tai jossain tilanteissa jopa automatisoi koko päätöksenteon.

Esineiden internetiin liittyy olennaisesti Big Datan käsite. Kun entistä suurempi määrä erilaisia laitteita ja antureita tuottaa jatkuvasti lisää dataa, kasvaa datan kokonaismäärä todella nopeasti todella suureksi. Kun datan määrä kasvaa tarpeeksi, yksittäiset osaset menettävät merkityksensä, mutta suuresta tietomäärästä on mahdollista löytää uutta tietoa josta voi olla suurtakin hyötyä yritykselle sen toiminnassa [7]. Accenturen teettämässä tutkimuksessa haastateltiin 1007:ää big dataa hyödyntävän yrityksen johtajaa,

joista 94% kertoi käyttävänsä big dataa uusien tulonlähteiden löytämiseen ja 89% kertoi käyttävänsä sitä uusien tuotteiden ja palveluiden kehityksessä [13].

### 3.5 Verkkoyhteydet

Yksi keskeinen haaste IoT-ratkaisuissa on tällä hetkellä verkkoyhteys. Erilaisia teknologioita on useita ja yksiselitteistä voittajaa ei vielä ole löytynyt. Radiotekniikassa on aina käyttötarpeen mukaan tasapainoiltava kahden tekijän välillä. Virrankulutuksen ja signaalin kantaman. Mitä pidempi kantama halutaan saavuttaa, sitä enemmän virtaa laite kuluttaa. Myös taajuusalueen valinnalla voidaan vaikuttaa saavutettuun kantamaan, mutta tältä osin joudutaan tyytymään niihin taajuuksiin jotka ovat käytettävissä kansainvälisten sopimusten puitteissa.

IoT-järjestelmien yleistyessä myös radiotekniikassa on kehitetty uudenlaisia radiolaitteita ja protokollia, jotka tarjoaisivat entistä pidempää, jopa kymmenien kilometrien kantamaa hyvin matalalla virrankulutuksella.

#### 3.5.1 Matkapuhelinverkko

Rakennustyömailla tyypillisesti koko työmaatoimiston internetyhteys on järjestetty mobiililaajakaistalla. Työmaatoimistolla tämä ei ole ongelma, sillä laite voidaan aina kytkeä verkkovirtaan. Matkapuhelinverkkojen avulla pystytään saavuttamaan korkeita tiedonsiirtonopeuksia ja verkko on käytettävissä lähestulkoon kaikkialla myös sisätiloissa. Perinteiset 3G ja 4G -tekniikat on suunniteltu siten että päätelaite ja tukiasema ovat hyvin tiuhaan yhteydessä toisiinsa mikä on tärkeää, kun on tarkoituksena välittää myös puheita, tai muutoin varautua koko ajan mahdollisiin viesteihin kumpaan tahansa suuntaan [14].

IoT ratkaisuissa puolestaan tieto liikkuu pääasiassa yhteen suuntaan, ja tarvittava tiedonsiirtonopeus ovat huomattavan pieniä suhteessa matkapuhelimiin ja laajakaistayhteyksiin. Tähän tarkoitukseen alan standardisointiorganisaatio 3GPP on ryhtynyt kehittämään ratkaisuja jotka tarjoaisivat matalampaa virrankulutusta, kuitenkin säilyttäen pitkän kantaman. LTE Cat-0 tarjoaa maksimissaan 1 Mbps:n yhteysnopeuksia, mutta toimii kuitenkin muutoin lähes identtisesti ”perinteisten” LTE-verkkojen kanssa. LTE Cat-M1 on

jo erittäin kiinnostava, sillä se tarjoaa saman 1 Mbps yhteysnopeuden, mutta tarjoaa lisäksi virransäästömenetelmiä jotka mahdollistavat päätelaitteen harvemmat yhteydenotot tukiasemaan. Suhteessa perinteiseen LTE-modeemiin, on Cat-M1-modeemin toteutuksen arvioitu olevan jopa 75% yksinkertaisempi. Teknisesti yksinkertaisempi modeemi vaikuttaa hyvin suoraan sen tarvitsemaan sähkövirtaan. [15.]

	LTE Rel-8 Cat-1	LTE Rel-12 Cat-0	LTE Rel-13 Cat-M1	NB-IoT Rel-13
DL peak rate	10 Mbps	1 Mbps	1 Mbps	~0.2 Mbps
UL peak rate	5 Mbps	1 Mbps	1 Mbps	~0.2 Mbps
Duplex mode	Full	Half or full	Half or full	Half
UE bandwidth	20 MHz	20 MHz	1.4 MHz	0.18 MHz
Maximum transmit power	23 dBm	23 dBm	20 or 23 dBm	23 dBm
Relative modem complexity	100%	50%	20-25%	10%
Note: peak data rates refer to full duplex operation for Cat-0 and Cat-M1				

Kuva 3. Taulukko eri LTE-standardien välisistä eroista. [15.]

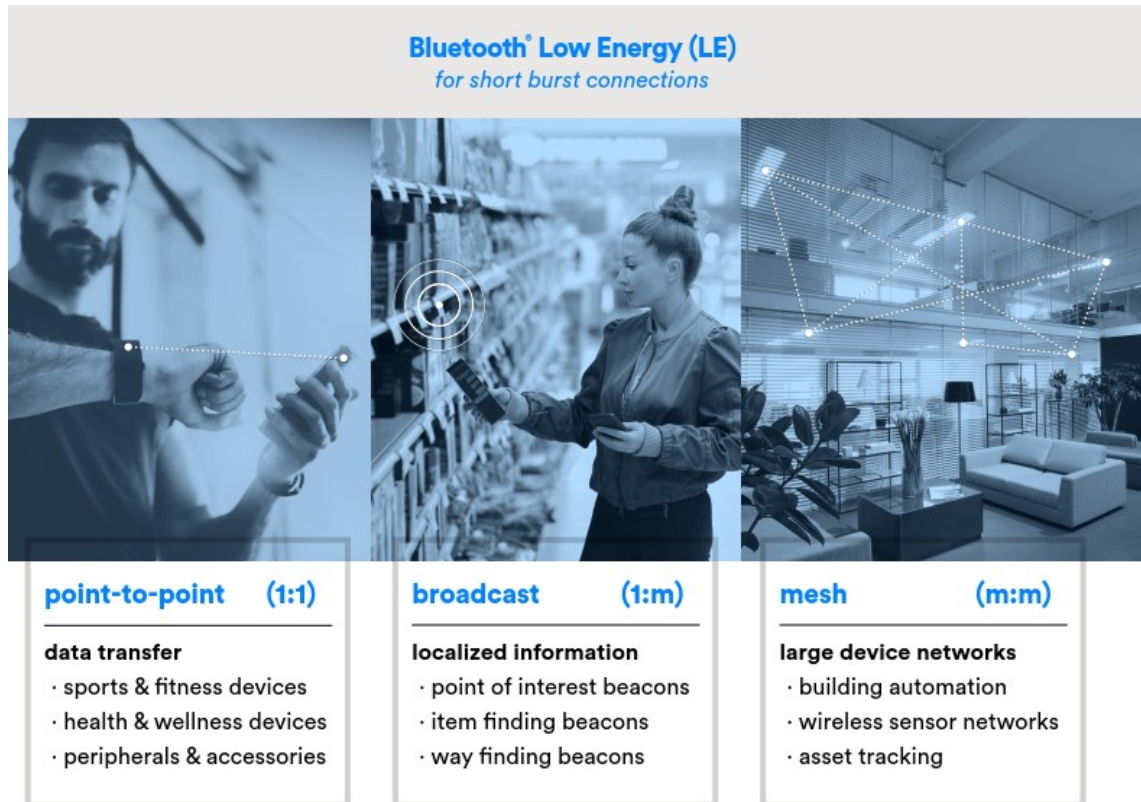
Toinen erittäin kiinnostava uusi lisäys on NB-IoT. Tämä standardi tukee samoja virransäästöratkaisuita kuin Cat-M1, mutta radioteknisesti laite on vielä yksinkertaisempi. Tämän johdosta NB-IoT-modeemien on arvioitu olevan jopa 90% yksinkertaisempia kuin perinteinen LTE-modeemi kuten kuvan 3 taulukosta on nähtävissä, ja yksittäisen modeemipiirin hinnaksi on arvioitu \$5. [15.]

Edellä mainitut 4G-verkkojen uudet standardit mahdollistavat IoT-antureiden vapaan sijoittamisen lähestulkoon, minne tahansa, eikä työmaalla tarvittaisi erillistä gateway-laitetta. Lähitulevaisuudessa nämä standardit tuovat mielenkiintoisen vaihtoehdon IoT-järjestelmien verkkoyhteyksille, mutta toistaiseksi järjestelmät ovat vasta koekäytön asteella kaikilla kolmella teleoperaattorilla [16; 17; 18]. Lisäksi uusien verkkojen käyttöönotto vaatii uusia antureita ja laitteita, jotka tukevat tätä teknologiaa.

### 3.5.2 Bluetooth

Bluetooth-tekniikka kehitettiin 1990-luvun puolivälissä poistamaan johtojen tarve matkapuhelinten, lisälaitteiden ja tietokoneiden kommunikaatiossa [19]. Koska Bluetooth on

kehitetty korvaamaan johtoja, on se suunniteltu kahden laitteen väliseen kommunikaatioon. Kyseessä on niin sanottu isäntä-orja-malli ja, yhdellä isännällä voi olla vain tietty määrä orjia kerrallaan. Bluetooth-versio 4.1 on kuitenkin tuonut mukanaan kuvan 4 mukaisia uusia Bluetooth LE (Low Energy) verkkomalleja, mukaan lukien mesh-tyyppisen toimintamallin.



Kuva 4. Bluetooth LE tarjoaa kolme verkkomallia, P2P, Broadcast ja mesh. [20.]

Mesh-toiminnallisuus mahdollistaa kaikkien järjestelmään kytkettyjen antureiden lähettää ja välittää viestejä. Tämän ansiosta verkkoa ei tarvitse määrittää erityisesti, vaan laitteet itse automaattisesti keskustelevat toistensa kanssa muodostaen uusia reittejä tarvittaessa. Bluetooth-standardisointityö on kuitenkin tältä osin vielä kesken, minkä johdosta useat yritykset ovat tehneet keskenään kilpailevia ratkaisuita mesh-verkkojen toteutuksesta. [21.]

Wirepas on suomalainen yritys, joka on tehnyt radioliikenneprotokollan käytettäväksi IoT-ratkaisuissa. Kyseinen protokolla toimii periaatteessa millä tahansa radiolaitteella, ja mahdollistaa mesh-muotoisen, verkon rakentamisen [22]. Protokolla toimii myös Bluetooth-radioiden kanssa.



## 4 Anturijärjestelmät

Tässä luvussa tarkastellaan kahta NCC:n kosteudenseurannassa pilotoimaa järjestelmää ja selvitetään niiden vaihtoehtoisia käyttötarkoituksia.

### 4.1 Thingsee

Suomalaisen Haltian yrityksen IoT-anturijärjestelmä. Järjestelmä koostuu Gateway-laitteesta ja antureista. Gateway yhdistää antureiden käyttämän Wirepas-verkon internetiin matkapuhelinverkon avulla. Järjestelmään on saatavilla kolmenlaisia antureita, etäisyyttä mittaava Thingsee Distance, infrapuna-anturi Thingsee Presence läsnäolon havainnointiin ja Thingsee Pod 2, jonka avulla voi mitata lämpötilaa, ilmankosteutta, ilmanpainetta, valonmäärää ja kiihtyvyyttä, lisäksi laitteessa on magneettitunnistin jonka avulla voi esimerkiksi tarkkailla oven sulkemista ja avaamista. Anturit ovat n. tulitikkuuaskin kokoisia, ja Gateway hieman isompi, kuten kuvasta 5 voi nähdä.



Kuva 5. Thingseen järjestelmän osat: Gateway, Distance, Presence ja Pod 2. [23.]

Thingseen järjestelmä pitkälle kehitetty ja valmis kokonaisuus, jota kehitetään aktiivisesti. Järjestelmän avulla antureiden data saadaan kerätty automaattisesti keskitettyyn pilvitalennuspalveluun, tai yritykseen omaan datavarastoon. Työmaalla testiympäristössä on ollut käytössä Pod-anturin ensimmäinen versio, joka on jo poistumassa Pod 2:n korvaukseen sen. Myös Gateway-laite kehittyy ja 2018 aikana tulee saataville versio, joka käyttää uutta NB-IoT-verkkoa. Thingseen laitteisto toimitetaan käytännössä täysin valmiina, jolloin järjestelmän komponentit tarvitsee vain asentaa työmaalla paikalleen. Lähikohtaisesti järjestelmä esiohjelmoidaan etukäteen Thingseen toimesta siten, että asiakkaalle ei jää juurikaan edes asetusten säätämistä. [23.]

## 4.2 RuuviTag

Ruuv Innovations Oy on suomalainen startup-yritys, joka valmistaa RuuviTagia, yksinkertaista ja halpaa Bluetooth-anturia. Laitteessa on kiihtyvyy-, lämpötila-, ilmankosteus- ja ilmanpaineanturit, ja se on suunniteltu avoimella lähdekoodilla. Ruuv Innovations ei itse valmista erillistä Gateway-laitetta, mutta esimerkiksi RaspberryPi-tietokonetta ja siihen liitettyä 3G-modeemia ja soveltuvaa Bluetooth-vastaanotinta voi käyttää tähän tarkoitukseen. Anturi on erittäin pienikokoinen ja sen halkaisija koteloineen on vain 52 mm. Kuvassa 6 on esitelty laitteen kotelo, jossa on vesihöyryjä läpäisevä venttiili. Lisäksi kuvassa näkyy Ruuvien kehittäjien keksimä innovatiivinen paristonpidikeratkaisu osana anturin piirilevyä.



Kuva 6. Ruuvitagin kotelo päältä ja alta sekä piirilevy ja paristo. [24.]

Ruuvitagin käyttöönotto edellyttää jonkun verran osaamista ja vaatii aikaa. Ruuvitagin ympärille on jo muodostunut aktiivinen kehittäjäverkosto ja laitteen verkkosivuilta löytyy paljon erilaisia ohjeita ja ideoita. Kehittäjäyhteisöltä sekä valmistajalta saa myös tukea ongelmatilanteisiin. Ruuvitagin käyttämä Wirepas-tiedonsiirtoprotokolla on laitteistoriippumaton, jonka ansiosta Ruuvitagien muodostamaan laiteverkkoon on tulevaisuudessa mahdollista lisätä muita antureita. Tämä vaatii, että uudet anturit mahdollistavat asetusten määrittämisen niin, että ne ovat yhteensopivia järjestelmässä jo olevien Ruuvitagien kanssa [25].

## 4.3 Asentaminen

Järjestelmiä asentaessa yksi tärkeimmistä huomioista on yksittäisten antureiden välinen etäisyys. Radioaalloilla tapahtuvan tiedonsiirron esteinä ovat erityisesti metalliset- ja rauditettut betonirakenteet. Todellisuudessa rakennetussa ympäristössä harvoin päästään

edes lähelle ilmoitettuja maksimikantamia. Borgströminmäen työmaalle on asennettu suuri määrä RuuviTageja sekä joukko Thingseen Pod-antureita. Muutamia ylimääräisiä antureita jouduttiin asentamaan käytäville, jotta kaikki anturit saatiin liittymään verkkoon luotettavasti. Thingseen tuotteissa myös helppoon asennettavuuteen on panostettu, kuten kuvasta 7 voidaan nähdä.



Kuva 7. Vasemmalla RuuviTag asennettuna kattoon itse tehdyn kiinnikkeen avulla ja oikealla Thingseen Pod-anturi putoamissuojan välijohteeseen asennettuna.

RuuviTagissa ei ole valmiita kiinnityspisteitä, joten ainoa ilmeinen kiinnitystapa on käyttää teippiä tai liimaa. Borgströminmäellä anturit kiinnitettiin taivutettuihin peltilappuihin, jotka sitten on kiinnitetty rakenteisiin betoniruuveilla. RuuviTagia varten rakennettu Gateway-ratkaisu puolestaan asennettiin kovamuovisen kotelon sisälle suojaan rakennustyömaan pölyltä, kuten kuvasta 8 nähdään.



Kuva 8. RuuviTagin Gateway seinälle asennettuna.

#### 4.4 Vertailu

Järjestelmät on suunniteltu hyvin erilaisista lähtökohdista ja se näkyy selkeinä eroina niiden välillä. Thingsee on suunniteltu mahdollisimman valmiiksi ja helposti käyttöönotettavaksi järjestelmäksi. Käyttäjän tehtäväksi jää kertoa mitä järjestelmältä haluaa ja asennusvalmis järjestelmä toimitetaan sitten asiakkaalle. RuuviTag puolestaan on suunniteltu mahdollisimman monipuoliseksi ja edulliseksi laitteeksi, jolla käyttäjät saavat tehdä mitä ikinä haluavat. Kyseessä ei siis ole valmis järjestelmä, vaan pelkkä anturi jonka asetukset ja toimintatavat käyttäjä itse määrittää. Thingseellä on Pod-anturin lisäksi tarjolla myös muita antureita, joita ei RuuviTagilla ole tarjolla.

Teknisesti laitteistoilla ei ole suurta eroa sikäli, että molemmat käyttävät samaa 2,4GHz:n taajuusaluetta ja RuuviTagikin tukee Wirepasin mesh-verkkoprotokollaa. Molemmissa laiteissa on olennaisesti ottaen vastaavat anturit ja suurimmaksi eroksi muodostuu Thingseen korkeampi akkukapasiteetti.

Nämä erot heijastuvat merkittäväällä tavalla myös järjestelmien hinnoissa. Thingseen järjestelmässä ostetaan merkittävässä määrin työtä ja palvelua, siinä missä RuuviTag on selkeästi pelkkä laitteistokomponentti. Thingseen järjestelmä on ostohintansa puolesta 2-4 kertaa kalliimpi kuin RuuviTag. Käyttäjälle, jolla ei ole omaa tutkimus ja kehitysresursseja käytettävissä Thingsee on helppo ja varsin turvallinen kertasijoitus, jolla voi lähteä kokeilemaan onko IoT-ratkaisusta jotain hyötyä. Vastaavasti RuuviTag soveltuu hyvin käyttäjälle, jolla on omaa osaamista ja halukkuutta järjestelmän kehittämiseen ja rakentamiseen.

## 5 Anturit ja niiden mahdollisuudet

Tässä luvussa käydään läpi, mitä anturit tekevät ja miten niitä voisi hyödyntää työmaaympäristössä.

### 5.1 Anturit

Molemmissa järjestelmissä on kiihtyvyyssanturi, joka nimensä mukaan mittaa kiihtyvyyttä, eli nopeuden muutosta tietyssä ajassa. Tämä mahdollistaa anturin liikkumisen tarkkailun esimerkiksi, jos anturi tippuu tai tärisee. Kiihtyvyyssanturilla on mahdollista havainnoida erilaisten raskaiden koneiden moottorin päällä oloa, ja sitä kautta laitteiden käyttöastetta.

Molemmista järjestelmistä löytyy myös toisiaan vastaavat olosuhdeseurannan anturit lämpötilan, ilmankosteuden ja ilmanpaineen seurantaan. Rakennustyömaalla tämä on kiinnostavaa sisätilojen seurannan lisäksi sääolosuhteiden seuraamiseksi, sekä rakennuksen ulkopuolelle varastoitujen tarvikkeiden olosuhteiden seuraamisessa.

Thingseen Pod 2 -anturissa on lisäksi valon määrää mittaava anturi, jolla on mahdollista havainnoida esim. luonnollisen valon määrää työmaa-alueella. Pod 2 -anturilla voi lisäksi havainnoida magneettikentän muutoksia, eli esimerkiksi valvomaan ovien tai ikkunoiden sulkemista. Tämän lisäksi Thingseen järjestelmään on saatavissa myös etäisyyttä mittaava anturi, jolla pystyisi esimerkiksi tarkkailemaan erilaisten rakennustarvikkeiden varastomääriä. Infrapunavälillä ihmisten läsnäoloa mittaavalla anturilla on mahdollista saada läsnäolotietoa anturin tarkkailualueelta, esimerkiksi tietystä huoneesta tai huoneistosta.

### 5.2 Sisäpaikannus

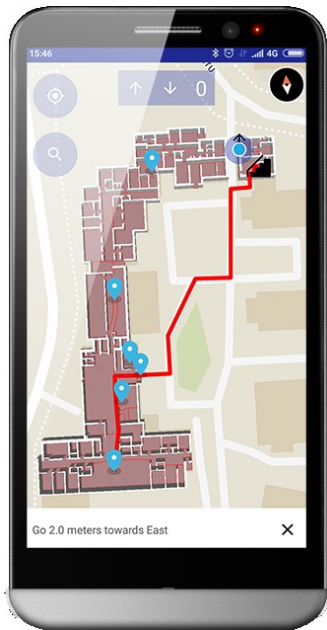
Satelliittipaikannus on mullistanut arkeamme parin edellisen vuosikymmenen aikana. Ensin autojen edulliset navigaattorit, ja nyt paikantamisen mahdollistavat halvat älypuhelimet ovat suuresti muokanneet suhtautumistamme liikkumiseen. On todella helppoa lähteä entistä pidemmälle tai uusille asuinalueille ajattelematta asiaa lainkaan.

GPS-järjestelmäkin perustuu pohjimmiltaan trigonometriseen kolmiomittauksenmenetelmään. Kolmiomittauksessa pystytään tasaisella pinnalla määrittämään pisteen C sijainti, jos tunnetaan pisteiden A ja B sijainti, ja etäisyys pisteiden välillä. Satelliittipaikannus tuo useita uusia muuttujia yhtälöön, ja sen johdosta tarvitaan kulloinkin vähintään neljän satelliitin kuuluvuus, jotta paikannus voidaan tehdä. Mitä suurempi joukko yhtäaikaista yhteyksiä vastaanottimella on, sitä parempi tarkkuus voidaan saavuttaa. [26.]

Satelliittipaikannuksessa on kuitenkin yksi merkittävä heikkous, sillä se vaatii esteettömän yhteyden vastaanottimen ja satelliitin välille. Tämän johdosta satelliittipaikantaminen ei toimi sisätiloissa. Kolmiomittaus itsessään on kuitenkin keksitty jo 1600-luvulla ja radiopaikannuksen ensimmäisiä versioita kehitettiin jo 1900-luvun alussa. Erityisesti halpojen Bluetooth-radioiden tulo markkinoille on kiihdyttänyt uusien radiopaikannusjärjestelmien kehitystä sisäpaikannuksen tarpeisiin.

Molemmat tutkitut järjestelmät mahdollistavat sisäpaikannuksen, mutta toteutuksessa on suuri ero. Thingseen järjestelmässä yksittäinen anturi voidaan paikantaa radiosignaalin vahvuuden avulla (RSSI). Tämä mahdollistaa liikkuvan anturin paikan seuraamisen suhteessa kiinteisiin antureihin. Esimerkiksi työkalupakkiin kiinnitetyn anturin liikkumista voidaan seurata perustuen sen saamaan signaalinvoimakkuuteen olosuhdeseurannan antureista. Järjestelmä ei kuitenkaan mahdollista esimerkiksi tavallisten mobiililaitteiden paikkatietoa.

RuuviTag puolestaan tukee sekä Googlen Eddystone-ratkaisua, että Applen iBeacon:ia. Eddystone ja iBeacon ovat yleisesti käytettyjä kilpailevia sisäpaikannukseen tarkoitettuja standardeja. Molemmissa järjestelmissä majakka lähettää tietyin väliajoin signaaleja ja päätelaite voi näiden signaalien avulla määrittää oman sijaintinsa. Tämä antaa mahdollisuuden hyödyntää sisäpaikannusta erilaisissa mobiilisovelluksissa ja monissa muissakin järjestelmissä. Esimerkiksi laajasti työmailla käytetyssä Congrid sovelluksessa paikan määrittäminen voisi tapahtua automaattisesti, tai kuten kuvassa 9 Congrid voisi näyttää suorimman reitin tietyn havainnon luokse. RuuviTag mahdollistaa tämän lisäksi myös liikkuvan anturin paikantamisen suhteessa kiinteisiin antureihin.



Kuva 9. Proximi.io:n alusta mahdollistaa sisä- ja ulkopaikannuksen yhdistämisen. [27.]

Sisäpaikantaminen avaa aivan uudenlaisia mahdollisuuksia tulevaisuuden työmaille. Logistiikan seurantaan ja optimointiin voi hyödyntää todellista tietoa siitä, kuinka tavara liikkuu työmaa-alueella. Saadun tiedon perusteella voidaan myös sijoittaa lähivarasto paikkaan josta kuljetaan useimmiten ohi. Mahdollisessa onnettomuustilanteessa järjestelmää olisi mahdollista käyttää yhtenä työkaluna tarkistamaan onko työmaa-alueella vielä henkilöitä. Sisäpaikannus toimii myös luontevasti tulevaisuudessa erilaisten lisätyn todellisuuden sovelluksien tukena, ja on yksi merkittävä osatekijä tässäkin kehittyvässä kokonaisuudessa.

### 5.3 Koneiden käyttöaste

Perinteisesti rakennustyömaille on käytetty yrityksen omia työkaluja tai jonkinlaisen oman vuokraamon kalustoa. Koneiden käyttöasteen mittaamiselle ei ole ollut todellista tarvetta tai edes halua, koska laitteet on joko omistettu itse tai vuokranmaksu on saatu katkaistua ilmoitusluontoisesti ilman että laitetta on välttämättä edes tarvinnut palauttaa. Tämä on kuitenkin johtanut kahteen kalustohaasteeseen nykyaikaisella työmaalla. Nykyään kasvavassa määrin yritykset käyttävät rakennuskonevuokraamoiden vuokrakalustoa, jonka johdosta kaluston korkea käyttöaste on noussut merkittävään rooliin työmaan taloudenhallinnassa. Vanhan totutun toimintatavan ja uuden vaatimuksen välinen ero on suuri. Toinen haaste kohdistuu kaluston ylläpitoon. Perinteisin keinoin on todella

vaikea tietää kauanko työkonetta on käytetty, ja kauanko se on ollut työmaalla varastoituna. Tällä on merkittävä vaikutus koneelle suoritettaviin huoltoihin ja osien kulumiseen.

Molempien tutkittujen järjestelmien laitteissa on kiihtyvyyssanturi. Tämän anturin datan perusteella on varsin helppoa tunnistaa, kun työkonteen moottori käynnistyy ja kun se sammuu. Tätä dataa keräämällä ja analysoimalla on mahdollista varsin luotettavasti selvittää rakennuskoneiden käyttöastetta. Esimerkiksi työmaahissi ei useinkaan ole käytössä läpi koko työpäivän. Keräämällä työmaahissin käytöstä dataa voidaan tehostaa hissin käyttöä ja parhaassa tapauksessa lyhentämään hissin vuokra-aikaa. Lisäksi hissin huolloissa olisi mahdollista saada aikaan merkittäviä säästöjä, sillä huoltotarve määräytyy käyttötuntimäärän mukaan. Koska todellista käyttötuntimäärää ei järkevästi ole pystytty seuraamaan, on tämä käytännössä tarkoittanut viikoittaista huoltoa.

Käyttötuntien seuraamisen tärkeyteen on herätty myös rakennuskonevuokraamoissa joissa on jo käytössä etäseurantajärjestelmiä joiden avulla pystytään huoltamaan koneita ennakoivasti ennen hajoamista [28, s.5]. Rakennusliikkeen näkökulmasta on tärkeää, että vuokraluosto on työmaalla tehokkaassa käytössä ja koko sen ajan, kun sitä tarvitaan, se on toimintakuntoista. Tämän kaltaisella kalustonseurannalla vuokraamo kykenee joko huoltamaan isommat laitteet ajallaan työmaalla, tai esimerkiksi vaihtamaan pienemmät työkonet toiseen vastaavaan ennen laitteen vikaantumista.

#### 5.4 Läsnäolon mittaus

Erilaisia entistä haastavampia rakennusprojekteja on jatkuvasti enemmän käynnissä. Monissa projekteissa aikataulut ovat erittäin tiukkoja ja perinteisesti lyhyeksi mielletyllä päivänkin viivästyksellä voi olla merkittävä vaikutus koko hankkeen onnistumiselle. Tällaisissa aikataulukriittisissä hankkeissa on tärkeää, että oikeat asiat tapahtuvat oikeissa paikoissa oikeaan aikaan. Tällöin on tärkeää pystyä valvomaan, että asiat tapahtuvat suunnitellusti. Yksi mahdollinen apukeino tähän on läsnäolon tunnistavan anturin asentaminen kaikkiin kriittisiin mestoihin. Mikäli jokin tila on pidemmän hetken tyhjillään, vaikka siellä olisi tärkeää töiden olla käynnissä, saadaan tästä hälytys ja asia voidaan selvittää heti siten että haitallinen aikatauluviive saadaan vältettyä.



Vastaavasti esimerkiksi työkaluvarastossa ei ole tarkoituksenmukaista olla kenenkään paikalla keskellä yötä, jolloin olisi mahdollista välittää esimerkiksi vartiointiliikkeelle tieto, jos työajan ulkopuolella on havaittu liikettä varastossa.

#### 5.5 Sää- ja varastointiolosuhteet

Lämpötilan ja ilmankosteuden seuranta on rakennushankkeessa mielenkiintoista myös muissa yhteyksissä kuin betonirakenteiden kuivumiseen liittyen. Esimerkiksi puutavaran varastointialueella olisi etua siitä, että pystytään seuraamaan ilmankosteutta pressujen alla. Myös monia muita herkkiä rakennustarvikkeita joudutaan aika ajoin säilyttämään työmaalla, jolloin on syytä huolehtia asianmukaisista varastointiolosuhteista.

#### 5.6 Ovien ja ikkunoiden kiinniolo

Isolla työmaalla on usein kymmeniä ovia ja satoja ikkunoita joiden kiinnioloista olisi tärkeää huolehtia. Usein haasteena on lämmityskaudella turha lämmön karkaaminen ja mahdollinen asiattomien henkilöiden pääsy työmaa-alueelle. Tässä mielessä ongelmallisia ovia ja ikkunoita on usein varsin rajallinen määrä. Jokaisen ikkunan anturointi ei ole realistinen ajatus, ellei anturointi jää osaksi lopullista ratkaisua.

Lämmityskaudella seuranta mahdollistaa entistä tarkemman puuttumisen ovien tarpeettomaan auki pitämiseen, ja siten parantaa olosuhteita rakenteiden kuivumisen näkökulmasta. Myös mahdollisissa varkaustapauksissa voi olla mahdollista auttaa poliisia tutkimuksissaan, jos pystytään kertomaan mistä ovista rakennukseen on kuljettu.

## 6 Johtopäätökset

NCC:n tutkimia olosuhdeseurantajärjestelmiä on mahdollista käyttää hyödyksi monin eri tavoin alun perin suunnitellun käyttötarkoituksen lisäksi. Suurimmat kulut aiheutuvat järjestelmän hankinnasta, käyttökustannuksista ja sen asentamisesta työmaalle olosuhdeseurannan edellyttämässä laajuudessa. Samojen antureiden hyödyntäminen myös muihin käyttötarkoituksiin vaatii useissa tapauksissa vain muutamien ylimääräisten antureiden asennuksen.

Thingseen järjestelmä pystyy tarjoamaan laajemman kirjon erilaisia lisähyötyjä heti, mutta järjestelmän korkea ostohinta on syytä ottaa huomioon. RuuviTag vaatii enemmän kehitysresursseja, mutta se pystyy tarjoamaan laajemmat mahdollisuudet sisäpaikannuksen osalta ja laitteiston matalampi ostohinta on myös merkittävä kilpailutekijä.

## 7 Yhteenveto ja pohdinta

Kun tämän opinnäytetyön aihe selkiintyi lisäarvoa tuottavien mahdollisuuksien etsimiseen, oli joitain mahdollisia ideoita jo mietinnässä. Valtaosa näistä mahdollisuuksista ovat lopulta varsin ilmeisiä käyttökohteita laitteiden sisältämille antureille. Kaikki joka tapauksessa asennettavasta järjestelmästä saatava lisäarvo on aina positiivista, mutta mikäli työmaa ei itse näe lisäarvoa voi olla vaikeaa motivoida ihmisiä näkemään ylimääräistä vaivaa asian eteen.

Valtaosa löydettyistä käyttökohteista ovatkin sellaisia, että saavutettu lisäarvo on melko mitätöntä yksittäisen työmaan näkökulmasta. Koneiden käyttöasteet ja varastointiolosuhteiden seuranta näyttäytyy todennäköisesti isolle osalle työmaista melko tarpeettomana tietona, ja hyvin hoidetuilla työmailla ei tästä tiedosta välttämättä saada mitään uutta hyötyä irti. Kuitenkin NCC:n kokoisessa yrityksessä on jo varsin lyhyessä ajassa mahdollista kerätä riittävän suuria määriä dataa erilaisten analyysien tekemiseen.

Luvussa 5 on esitelty kaikki tunnistetut käyttömahdollisuudet järjestelmien eri antureita hyödyntäen. Näistä selkeästi merkittävimpanä voidaan pitää sisäpaikannuksen mahdollisuutta. Järjestelmään ei asuntorakennuskohteissa tarvitsisi todennäköisesti lisätä yhtään ylimääräistä anturia asuinkerroksissa ja kellari tai autopaikoituskerrokseen lisäämällä muutaman anturin saadaan koko talon sisätilat kattava järjestelmä luotua. Lisäksi kaikki

tähän tarkoitukseen erikseen lisättävät anturit ovat irrotettavissa ja kierrätettävissä seuraaviin hankkeisiin. Kaikki sisäpaikannuksen mahdollistamia ominaisuuksia emme pysty edes vielä arvaamaan, samaan tapaan kuin satelliittipaikannuksen kaikkia nykyisiä käyttötarkoituksia ei varmasti kukaan osannut arvata, kun ensimmäiset satelliittipaikantimet tulivat kuluttajien saataville.

Varmuudella voidaan kuitenkin sanoa, että sisäpaikannusta on mahdollista hyödyntää lisätyn todellisuuden ratkaisuisissa jotka ovat jo pikkuhiljaa murtamassa tietään alalle. Myös erilaisten käytössä olevien ja tulevien sovellusten kehitysmahdollisuudet kasvavat huomattavasti tarkan paikkatiedon avulla. Yksi mielenkiintoinen mahdollisuus onkin saada paikannus osaksi jo käytettävää Congrid-sovellusta. Sovelluksen havaintojen syöttäminen helpottuisi entisestään, kun ilman mitään toimia havainnoijan osalta sijainti tallentuisi havainnolle automaattisesti.

Ruuvitagin osalta jatkokehitystä kannattaa suunnata erityisesti ratkaisun standardisointiin. Gateway:n osalta olisi hyvä panostaa siihen, että kokonaisuus saadaan täysin tiiviin suojakotelon sisään, ja että komponentit on asennettu paikalleen pysyvästi. Myös RuuviTagien kiinnitykseen olisi hyvä kehittää jotain valmiita kiinnitysratkaisuja jotka mahdollistavat itse tagin helpon irrottamisen paristonvaihtoa varten, tai tagin keräämiseksi talteen työmaan lopulla. Erilaisia kiinnikeratkaisuita voisi kokeilla esimerkiksi 3D-tulostamalla. Laajempaan käyttöön otettaessa järjestelmän komponenteille olisi syytä antaa yksilöllinen tunniste, ja tunniste tallentaa joko RFID-tagina tai QR-koodina kunkin laitteen koteloon. Näin asentaja voisi määrittää kunkin anturin sijainnin järjestelmään lukemalla tämän yksilöivän tunnisteen suoraan matkapuhelimen tai tabletin kameralla.

## Lähteet

- [1] BI Intelligence, "Here's how the Internet of Things will explode by 2020," Business Insider, 31 08 2016. <http://www.businessinsider.com/iot-ecosystem-internet-of-things-forecasts-and-business-opportunities-2016-2?r=US&IR=T&IR=T>. (Haettu 19 12 2017).
- [2] R. Agarwal, S. Chandrasekaran and M. Sridhar, "Imagining construction's digital future," 06 2016. <http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future>. (Haettu 19.2.2017)
- [3] Oxford Dictionaries, "Knowledge | Definition of knowledge in English by Oxford Dictionaries," Oxford Dictionaries, <https://en.oxforddictionaries.com/definition/knowledge>. (Haettu 18 12 2017).
- [4] I. Niiniluoto, Informaatio, tieto ja yhteiskunta, 5. ed., Helsinki: Edita, 1996.
- [5] P. Stähle and M. Grönroos, Knowledge Management - Tietopääoma yrityksen kilpailutekijänä, 2. ed., Porvoo: WSOY, 1999.
- [6] H. Laihonon and A. Lönnqvist, "Tiedolla johtaminen tarkoittaa tiedon hyödyntämistä," Tietoasiantuntija, no. 4, 2013.
- [7] J. Peppard and J. Ward, The Strategic Management of Information Systems: Building a Digital Strategy, John Wiley & Sons, 2016, s. 186-190.
- [8] I. Koironen, P. Räsänen and C. Södergård, "Mitä digitalisaatio on tarkoittanut kansalaisen näkökulmasta?," Talous ja yhteiskunta, no. 3, s. 24-29., 2016.
- [9] ISO, "Internet of Things (IoT) Preliminary Report 2014," ISO, Geneve, 2015.
- [10] Philips, "Langaton ja älykäs valaistus - Meethue," Philips, <http://www2.meethue.com/fi-fi>. (Haettu 7 12 2017).
- [11] R. Baldwin, "The world now has a smart toaster," Engadget, 4 1 2017, <https://www.engadget.com/2017/01/04/griffin-connects-your-toast-to-your-phone/>. (Haettu 7 12 2017).
- [12] L. Atzori, A. Iera and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," Computer Networks, vol. 54, s. 2787-2805., 1 6 2010.
- [13] Accenture, "Companies Are Satisfied with Business Outcomes from Big Data and Recognize Big Data as Very Important to Their Digital Transformation, Accenture Study Shows," 10 9 2014. <https://newsroom.accenture.com/news/companies-are-satisfied-with-business-outcomes-from-big-data-and-recognize-big-data-as-very-important-to-their-digital-transformation-accenture-study-shows.htm>. (Haettu 7 12 2017).
- [14] B. Ray, "LTE eDRX and PSM Explained for LTE-M1," LinkLabs, 22 5 2016. <https://www.link-labs.com/blog/lte-e-drx-psm-explained-for-lte-m1>. (Haettu 13 12 2017).

- [15] T. Tirronen, "Cellular IoT Alphabet Soup," Ericsson, 29 2 2016. <https://www.ericsson.com/research-blog/cellular-iot-alphabet-soup/>. (Haettu 13 12 2017).
- [16] Nokia, "Nokia conducts Finland's first commercial IoT trial using NB-IoT technology," Nokia, 1 11 2016. [https://www.nokia.com/en\\_int/news/releases/2016/11/01/nokia-conducts-finlands-first-commercial-iot-trial-using-nb-iot-technology](https://www.nokia.com/en_int/news/releases/2016/11/01/nokia-conducts-finlands-first-commercial-iot-trial-using-nb-iot-technology). (Haettu 13 12 2017).
- [17] Uusi Teknologia, "DNA tuo NB-IoT-tekniikan käyttöön," Uusi Teknologia, 29 5 2017. <https://www.uusiteknologia.fi/2017/05/29/dna-tuo-nb-iot-tekniikan-kayttoon/>. (Haettu 13 12 2017).
- [18] Uusi teknologia, "Elisa testaa NB-IoT-siirtoa – oma koeverkko tulossa," Uusi teknologia, 20 7 2017. <https://www.uusiteknologia.fi/2017/07/20/elisa-testaa-nb-iot-siirtoa-oma-koeverkko-tulossa/>. (Haettu 13 12 2017).
- [19] Bluetooth Special Interest Group, "Origin of the Bluetooth Name," Bluetooth SIG, <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-origin>. (Haettu 14 12 2017).
- [20] Bluetooth SIG, "Bluetooth Connectivity," <https://www.bluetooth.com/~media/files/marketing/bluetooth-connectivity.pdf>. (Haettu 14 12 2017).
- [21] S. M. Darroudi and C. Gomez, "Bluetooth Low Energy Mesh Networks: A Survey," *Sensors*, vol. 17, no. 1467, s. 1-19., 2017.
- [22] Wirepas, "Wirepas," <https://wirepas.com/>. (Haettu 14 12 2017).
- [23] Thingsee, "IoT Devices Platform for enterprise IoT applications," Thingsee, 2017. <https://thingsee.com/>. (Haettu 15 12 2017).
- [24] Ruuvi Innovations Oy, "RuuviTag | Open-Source Bluetooth 4.2 Sensor Beacon," Ruuvi Innovations Oy, <https://tag.ruuvi.com/>. (Haettu 15 12 2017).
- [25] O. Jousimaa, Interviewee, CIO, Ruuvi Innovations Oy. (Haastattelu). 4 12 2017.
- [26] National Executive Committee for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, "GPS: The Global Positioning System," National Executive Committee for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing, <https://www.gps.gov/>. (Haettu 19 12 2017).
- [27] Proximi.io, "Proximi.io," 08 2017. [https://proximi.io/wp-content/uploads/2017/08/wayfinding\\_inout\\_phone2.png](https://proximi.io/wp-content/uploads/2017/08/wayfinding_inout_phone2.png). (Haettu 03 01 2018).
- [28] Ramirent Oy, "Ramirent asiakaslehti 2/2008," 2008. [http://www.ramirent.fi/files/attachments/ramirent\\_fi/ramirent\\_asiakaslehti/ramilainen\\_2\\_08.pdf](http://www.ramirent.fi/files/attachments/ramirent_fi/ramirent_asiakaslehti/ramilainen_2_08.pdf). (Haettu 03 01 2018).

## Puhelinhaastattelu

4.12.2017 Haastattelin Otso Jousimaata joka toimii Ruuvi Innovations Oy:n CIO:na.

Haastattelussa selvisi, että RuuviTagia on mahdollista käyttää lämpötila & ilmankosteusanturina samanaikaisesti, kun laite toimii iBeacon majakkana. iBeacon majakka toiminnallisuus mahdollistaa järjestelmän käyttämisen sisäpaikannukseen mm. normaaleilla mobiililaitteilla helposti.

Keskusteltiin myös tämän toiminnallisuuden vaikutuksesta virrankulutukseen. Jousimaa uskoi, että paikannustoiminto on mahdollista kytkeä pois päältä osaksi aikaa, esimerkiksi öisin ja viikonloppuisin. Näillä toimilla olisi todennäköisesti mahdollista päästä n. 12kk paristonkestoon.

Jousimaa myös varmisti olettamuksen, että muiden valmistajien Bluetooth laitteita jotka toimivat 2,4GHz:n taajuusalueella on mahdollista kytkeä osaksi samaa Wirepas verkkoa. Tämä vaatii uusien laitteiden asetusten säätämisen siten että laitteet ovat yhteensopivia RuuviTagien kanssa.

Anturijärjestelmien ominaisuuksien vertailu:  
Thingsee ja RuuviTag

	Thingsee	RuuviTag	
Anturit	Lämpötila	X (Pod 2)	X
	Ilmankosteus	X (Pod 2)	X
	Ilmanpaine	X (Pod 2)	X
	Kiihtyvyys	X (Pod 2)	X
	Valonmäärä	X (Pod 2)	
	Magnetometri	X (Pod 2)	
	Läsnäolo (IR)	X (Presence)	
	Etäisyys	X (Distance)	
Sisäpaikannus	Anturin paikantaminen	X	X
	iBeacon		X
	Eddystone		X
Anturin paristo	2 x AAA-paristo.	CR2477-paristo.	
Verkkotekniikka	Wirepas (Bluetooth), Bluetooth Mesh	Wirepas (Bluetooth), Bluetooth Mesh	
Gateway	Järjestelmään kuuluu valmis laite 2G-laite. 3G ja NB-IoT versiot tulossa.	Rakennettava itse. Esim. RaspberryPi ja matkapuhelinverkkomodeemi.	