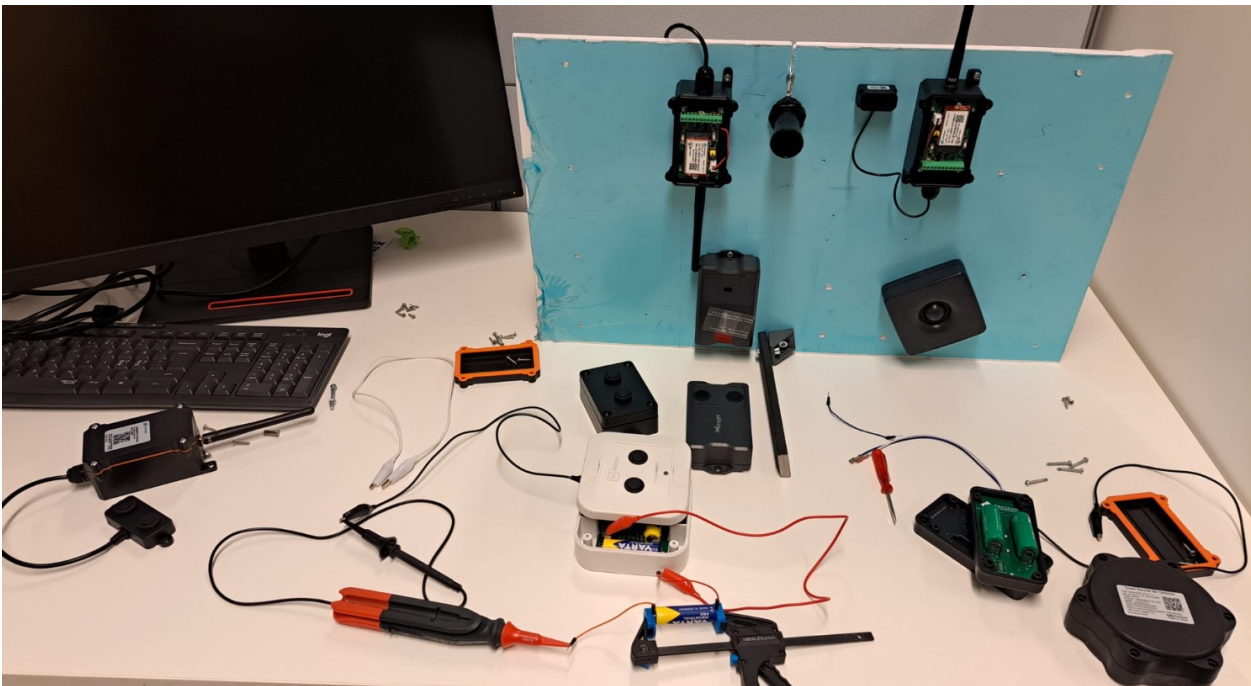


Tampere IoT (KIERTOTRE-kokeilu) etäisyysensoritestit 2023



Antti Martikkala
Olli Wiikinkoski

Sisällys

Projektin kuvaus.....	4
Langattomat ”long-range” teknologiat.....	5
Erilaiset etäisyysanturit	6
Ultraäänianturit	6
Laseretäisyysanturit (LIDAR)	6
Infrapuna-anturit	7
Yhteenveto	7
Tutkimuksen eteneminen, sensorit ja yleisarviot	7
Kokemuksia sensorien käyttöönotosta	8
Aistin.....	8
Milesight	9
Dragino	9
Sentium	9
Dingtek	10
Yosensi.....	10
Huomioita koteloinnista	10
Testit.....	10
Mittausalueet ja mittaustarkkuus	10
Signaalin voimakkuus suhteessa edulliseen LoRaWAN tukiasemaan	12
Virrankulutus ja akunkesto.....	14
Testituloksia.....	15
Testit kentällä.....	16
Sensoritestien yhteenveto.....	17
Kiertotalouden näkökulmasta	18
Kiertotalous ja IoT	18
Tampereen kaupungin IoT-alusta	18
IoT-ekosysteemin sidosryhmät.....	19
Mahdolliset käyttökohteet.....	19

Yhteydet ja sidosryhmäyhteistyö	21
Kokemuksia muualta	21
Yleinen näkökulma kehittämiseen	23

Projektin kuvaus

Projektin tavoitteena oli tutkia markkinoilta löytyviä langattomia etäisyysensoreita. Työ aloitettiin markkinoilta löytyvien sensorien etsinnällä. Nopean aikataulun takia hankinnat pyrittiin tekemään mahdollisimman pian. Hankittuja laitteita analysoitiin erilaisilla käytännönläheisillä tutkimuksilla. Vertailussa kiinnitettiin erityisesti huomioita seuraaviin asioihin: 1) käytettävyys, 2) mittaustarkkuus, 3) käytännön testit signaalin kantavuudesta, 4) virrankulutuksen analysointi, 5) teknisten tietojen vertailu.

Kaupallisten sensorien etsintä internetistä pyrittiin tekemään huolella, mutta kuitenkin suhteellisen pikaisella aikataululla ja on mahdollista, että osa sopivista markkinoilla olevista sensoreista jäi vertailun ulkopuolelle. Lisäksi alan yhä kehittyvän luonteen takia uusia laitteita ilmestyy markkinoille. Tästä huolimatta saimme vertailuun varsin kattavasti eri valmistajien tuotteita ja saimme hyvän yleiskuvan LoRaWAN verkkoa tukevien etäisyysensoreiden tasosta.

Sensoreita hankinnassa pyrittiin ostamaan erityisesti lyhyellä toimitusajalla saatavilla olevia sensoreita johtuen projektin kiireellisestä toteuttamisaikataulusta. Taulukossa on listattu esiselvityksessä löytyneet sensorit.

Laite	Hinta
Aistin Level sensor	130€
Aistin Level pro sensor	170€
YOSENSI YO DISTANCE REMOTE ULTRASONIC MEASUREMENT	145€
Dragino LDDS75 LoRaWAN Distance Detection Sensor (868 MHz)	65 - 115€
Dragino LMDS200 LoRaWAN Microwave Radar Distance Detection Sensor	139,9€
Dragino LDDS45 LoRaWAN Ultrasonic Distance Detection Sensor	69,9€
Dragino LLDS12 LoRaWAN LiDAR ToF Distance Detection Sensor	119,9€
Milesight EM400 TLD LoRaWAN Laser Distance Sensor	115,9€
Milesight EM400-MUD Multifunctional Ultrasonic Distance/Level Sensor	135,9€
Milesight MIL EM310-UDL LoRaWAN level sensor, ultrasonic	135,41€
Sentium Apollon-Q Level Sensor	189,9€
BrighterBins sensor	
Dragino DF703 LORAWAN SMART ULTRASONIC WASTE BIN SENSOR	140 - 196€
Dragino DF703 LoRaWAN GPS	480€
Dragino DF702 LORAWAN SMART ULTRASONIC WASTE BIN SENSOR	140€
Dragino DO200 LoRaWAN Parking Sensor, detection distance 40 cm	114€
Trax10227 LoRaWAN Ultrasonic Distance Sensor	
TEK LoRa Ultrasonic Sensor	
NIS-UL – Ultrasonic sensor	245€
DecentLab Ultrasonic	200€

Taulukko 1. Markkinoilta löydetty sensorit ja niiden hinnat.

Langattomat ”long-range” teknologiat

Langattomien 'long-range' teknologioiden kehitys on avannut uusia mahdollisuuksia Internet of Things (IoT) -sovellusten alalla. Nämä teknologiat tarjoavat pitkän kantaman tiedonsiirron ja ovat energiatehokkaita, mikä mahdollistaa laitteiden ja sensorien käytön myös vaikeapääsyisissä ja kaukaisissa sijainneissa ilman jatkuvaa huoltoa. Kustannustehokkuus, alhainen virrankulutus ja laaja peittoalue ovat olennaisia tekijöitä IoT-verkkojen suunnittelussa ja toteutuksessa. Tässä osiossa tarkastellaan ja vertaillaan neljää keskeistä 'long-range' teknologiaa, jotka ovat LoRaWAN, NB-IoT, Sigfox ja LTE-M, ja selvitetään niiden soveltuvuutta erilaisiin sovelluksiin.

1. LoRaWAN (Long Range Wide Area Network): LoRaWAN erottuu matalan virrankulutuksen ja pitkän kantaman ansiosta, joka tekee siitä ihanteellisen vaihtoehdon IoT-sovelluksiin, joissa tarvitaan laajaa peittoa ja energiatehokkuutta. Sen avoin standardi ja modulaarinen rakenne mahdollistavat laajan sovelluskirjon.
2. NB-IoT (Narrowband IoT): Hyödyntää olemassa olevia matkapuhelinverkkoja tarjoten paremman sisätilapeiton ja korkeamman datanopeuden verrattuna LoRaWANiin. NB-IoT sopii sovelluksiin, joissa tarvitaan tiheämpää datansiirtoa ja parempaa verkkoyhteyden laatua.
3. Sigfox: Tarjoaa laajan kantaman ja on energiatehokas, mutta sen datanopeus ja viestien lähetystaajuus on rajoitettu. Sopii sovelluksiin, joissa datan määrä on vähäistä.
4. LTE-M (Long Term Evolution for Machines): Tarjoaa korkeampaa datanopeutta ja parempaa yhteyden laatua kuin LoRaWAN, mutta suuremmalla virrankulutuksella.

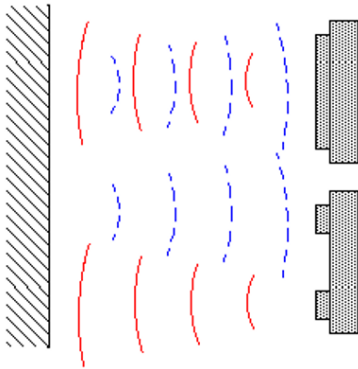
Valinta LoRaWAN-teknologian hyväksi tässä projektissa perustuu sen kykyyn tarjota kustannustehokas ja energiatehokas ratkaisu IoT-sovelluksiin. LoRaWANin avoin standardi ja laaja yhteisö tukevat sen käyttöönottoa ja kehitystä monenlaisissa sovelluksissa, mikä tekee siitä joustavan ja tulevaisuuteen katsovan valinnan. Lisäksi sen pitkä kantama mahdollistaa sensorien sijoittamisen kaukaisiin tai vaikeasti saavutettaviin paikkoihin, mikä on olennaista esimerkiksi jätehuollon kaltaisissa sovelluksissa. Kaiken lisäksi Suomessa on maanlaajuinen Digitaalinen ylläpitämä LoRaWAN verkko, joka mahdollistaa sensorien laajan käytön. Näistä syistä ja aikataulun asettamista rajoituksista tämän projektin puitteissa keskitytään LoRaWAN-sensorien vertailuun.

Erilaiset etäisyysanturit

Etäisyysanturit, joita kutsutaan myös läheisyys- tai alueantureiksi, ovat laitteita, jotka havaitsevat kohteiden läsnäolon ja mittaavat etäisyyden anturin ja kohteen välillä. Tässä tarkastelemme erilaisia etäisyysanturityyppejä ja niiden ominaisuuksia.

Ultraäänianturit

Ultraäänianturit toimivat ääniaaltojen periaatteella. Ne lähettävät ultraääni-aaltoja, ja kun nämä aallot osuvat kohteeseen, ne kimpoavat takaisin anturiin. Anturi laskee sitten ajan, jonka aalto palasi, ja muuntaa tämän etäisyysmittaukseksi. Ultraääniantureita käytetään esimerkiksi, jätteastioiden pinnankorkeuden seurantaan ja yleisesti robotiikassa esteiden havaitsemiseen ja välttämiseen. Tutkituissa sensoreissa oli sekä yhdistetyn tai erillisen rakenteen sensoreita, kuten kuvassa alla.



Kuva 1. Yhdistetyn ja erillisen rakenteen ultraäänisensorien toiminta.

Erillisen vastaanottimen sisältämät ultraäänianturit (alempi kuva) eivät eroa merkittävästi mittaustarkkuuden osalta. Molemmat tyypit pystyvät yleensä mittaamaan riittävällä tarkkuudella esimerkiksi jätteastian pinnankorkeuden.

Laseretäisyysanturit (LIDAR)

Laseretäisyysanturit, joita kutsutaan myös LIDARiksi (Light Detection and Ranging), käyttävät laser-sädettä kohteen etäisyyden mittaamiseen. Anturi lähettää lasersäteen, joka osuu kohteeseen ja heijastuu takaisin anturiin. Anturi mittaa sitten ajan, jonka säde palasi, mikä mahdollistaa etäisyyden laskemisen. Lasersensoreita pidetään erittäin tarkkoina ja niitä käytetään usein sovelluksissa, kuten itseohjautuvissa ajoneuvoissa ja drooneissa.

Infrapuna-anturit

Toimivat heijastuneiden valoaaltojen periaatteella, tyypillisesti käyttämällä infrapunavaloa. IR-anturit mittaavat etäisyyden tai läheisyyden havaitsemalla esineistä heijastuvan infrapunavalon. Niitä käytetään yleensä lyhyen kantaman havaitsemiseen, ja ne voivat olla herkkiä ympäröivän valon olosuhteille, mikä vaikuttaa niiden tarkkuuteen vaihtelevissa valaistusympäristöissä. Yksikään tutkittu etäisyys sensori ei perustunut tähän tekniikkaan.

Yhteenveto

Vertailtaessa teoriatasolla ultraääniantureita, laserantureita (LIDAR) ja infrapuna-antureita esimerkiksi jäteastian tai vedenpinnan tason mittauksessa: Ultraäänianturit sopivat molempiin sovelluksiin tarjoten luotettavia etäisyyden mittauksia ilman merkittävää ympäristötekijöiden häiriötä (eivät ole herkkiä tekijöille, kuten valolle, pölylle ja sumulle). Laseranturit tarjoavat suurempaa tarkkuutta ja ovat ihanteellisia sovelluksiin, joissa tarkka mittaaminen on tärkeää, ja ne toimivat hyvin erilaisissa valaistusolosuhteissa, mutta ovat tyypillisesti monimutkaisempia ja kalliimpia. Infrapuna-anturit ovat parhaimmillaan lyhyen kantaman sovelluksissa. Niiden suorituskyky voi heiketä ympäristön valo-olosuhteiden vaikutuksesta, mikä tekee niistä vähemmän luotettavia ulkona tai vaihtelevissa valaistusympäristöissä. Valinta riippuu tarkkuuden, kantaman, ympäristöolosuhteiden ja kustannusten erityisvaatimuksista.

Tutkimuksen eteneminen, sensorit ja yleisarviot

Tutkimuksessa siis keskityttiin valittuihin LoRaWAN teknologiaa hyödyntäviin sensoreihin ja niiden ominaisuuksien tarkasteluun.

Yhteensopivuus on yksi esineiden internetin isoimmista ongelmista ja sen merkitys sensorien käyttöönotossa ja siihen kuluneissa resursseissa oli hyvin suuri. Ensinnäkin eri sensorit käynnistetään ja liitetään verkkoon eri tavoilla. Tämän lisäksi niiden lähettämä data on eri valmistajilla ja jopa saman valmistajan eri sensoreilla erilaisessa muodossa. Data lähetetään yleensä HEX-muodossa, mikä edellyttää erityistä huomiota datan käsittelyssä ja tulkinnassa.

LoRaWAN-teknologian yksi eduista on mahdollisuus muuttaa sensorien asetuksia etänä downlink-viestien avulla. Tämä ominaisuus tarjoaa joustavuutta ja tehokkuutta sensoriverkkojen hallintaan, mahdollistaen asetusten päivittämisen ja sensorien ohjaamisen ilman fyysistä pääsyä laitteisiin. Downlink-viestintä on olennainen osa LoRaWANin toimintaa, mahdollistaen sensorien dynaamisen konfiguroinnin ja optimoinnin esimerkiksi energiankulutuksen, tiedonsiirron tiheyden tai toimintatilan suhteen. Tämän ansiosta LoRaWAN pystyy tukemaan monipuolisia ja laajalti

hajautettuja IoT-sovelluksia. Myös tältä osin, erilaisten laitteiden ja sovellusten yhteensopivuus vaatii huomioimaan eri laitteiden protokollat ja datamuodot downlink-viestien lähettämisessä.

Lisäksi eri valmistajien laitteiden dokumentaatioissa ja niiden saatavuudessa/löytämisessä oli eroja. Kaiken lisäksi, dokumentaatio ei tuntunut olevan ajan tasalla kaikkien laitteiden osalta ja vaati ponnisteluja käyttöönoton osalta. Testiin mukaan otettu sensorit on esitetty alla Taulukko 2.

Device	Distance sensor type	nom. range [cm]
Aistin Level sensor	Ultrasonic	
Dragino LDDS75 LoRaWAN Distance Detection Sensor (868 MHz)	Ultrasonic	28-750
Dragino LDDS45 LoRaWAN Ultrasonic Distance Detection Sensor	Ultrasonic	3-450
Dragino LLDS12 LoRaWAN LiDAR ToF Distance Detection Sensor	LiDAR	10-1200
Milesight EM400 TLD LoRaWAN Laser Distance Sensor	Laser	2-350
Milesight EM400-MUD Multifunctional Ultrasonic Distance/Level Sensor	Ultrasonic	3-450
Milesight MIL EM310-UDL LoRaWAN level sensor, ultrasonic	Ultrasonic	3-450
Sentium Apollon-Q Level Sensor		3-350
Dingtek DF702 waste bin detector	Ultrasonic	15-200
Dingtek DO200 parking occupancy sensor	Ultrasonic	10-50
Dingtek DF703 recycle bin detector	Ultrasonic	15-400
Yosensi YO Distance	Ultrasonic	3-420

Taulukko 2. Testatut sensorit ja niiden mittausalueet.

Kokemuksia sensorien käyttöönotosta

Tässä kappaleessa kerrotaan yleisiä kokemuksia sensorien käyttöönotosta ja yleistuntumasta.



Kuva 2. Sensoreita testialustalla.

Aistin

Aistin Level on suomalaisen iProtoxi yrityksen tuote ja on osa Aistin tuoteperhettä. Aistin sensori tuntuu suunnitelluksi toimivan osana Aistin IoTLAB järjestelmää, joka sisältää mobiilisovelluksen, pilvipalvelun datan visualisointiin, laitehallintaan sekä verkon kautta tapahtuviin

ohjelmistopäivityksiin. Tästä johtuen sensorin nollaus/palauttaminen tehdas asetuksiin tai asetuksien muuttaminen on haastavaa ilman iProtoxin omaa järjestelmää.

Jos tavoitteena on olla riippumaton laitetoimittajista Aistin Level sensori ei erotu joukosta positiivisesti. Esimerkiksi sensorin liittäminen omaan LoRaWAN tukiasemaan ei onnistunut. Tästä heräsi kysymys, että onko laite asetettu toimimaan vain Digitan verkossa? Vai onko syynä se, että laite pitäisi resetoida ennenkö se yhdistyy muualle. Tämä asia ei kuitenkaan ole ongelma, koska oletettavasti sensoreita tullaan käyttämään Digitan verkossa.

Milesight

Milesight on kansainvälisesti toimiva IoT, 5G ja LoRaWAN teknologiaan perustuvien tuotteiden valmistaja, jolta löytyy myös oma datan käsittelyyn ja visualisointiin soveltuva palvelu. Vaikka laitetoimittajan oma palvelu ei ollutkaan käytössä sensorien käyttöönotto, nollaus ja parametrien muuttaminen on helppoa ilmaisen NFC-teknologiaa käyttävän puhelimen sovelluksen avulla. Kuin myös LoRaWAN verkon kautta lähetetyllä downlink-komennolla.

Dragino

Dragino on kansainvälisesti tunnettu kiinalainen yritys, jolla on laaja tuoteperhe erilaisille langattomille sensoreille. Sensorien parametrien asettaminen onnistuu kohtuullisen helposti, joko tietokoneen sarjaportin kautta tai lorawan verkon kautta downlink-komennolla. Kaikki tarvittava data on helposti saatavilla yrityksen ylläpitämillä verkkosivustoilta, sekä laajalta yksityisten ihmisten ylläpitämien foorumien yhteisöltä. Ehkä pitkän aikavälin huonona puolena on paristojen sijoittaminen kotelossa piirilevyn alle, joka vaikeuttaa paristojen vaihtamista.

Sentium

Sentium on alun perin saksalaisena start-up yrityksenä aloittanut, IoT-ratkaisuja tarjoava yritys. Positiivisena puolena muihin sensori valmistajiin nähden Sentium tuotteissa on useata eri teknologiaa hyödyntäviä sensoreita samassa laitteessa. Kuten kyseessä oleva Apollon-Q sensori, joka mittaa etäisyyttä ultraääni ja infrapuna sensoreilla saman aikaisesti. Sentium yrityksen huonona puolena on toistaiseksi tarkkojen tuote dokumentaatioiden saatavuus lähinnä saksaksi. Muuten tuotteen käyttöönotto ja mittaus/lähetys parametrien muuttaminen onnistui kohtuullisen helposti NFC-teknologiaa käyttävän puhelimen sovelluksen avulla.

Dingtek

Dokumentaation löytäminen oli vaikeaa ja löydetyt manuaalit olivat osittain puutteellisia. Virallisesti kommunikaatio protokollan saisi vain kirjoittamalla NDA-sopimuksen asianomaisen yrityksen kanssa. Tästä syystä sensorien asetusten muuttaminen oli haastavaa, mutta onnistuimme lopulta downlinkkiä käyttäen muuttamaan esim. mittaustiheyttä.

Yosensi

Samaan tapaan Draginon kanssa, Yosensin IoT-tuoteperhe on kohtuullisen laaja ja monipuolinen. Yosensi YO distance sensorin käyttöönotto ja parametrien muuttaminen onnistui vaivattomasti ilmaisella puhelin sovelluksella, Bluetooth yhteyden välityksellä. Yrityksenä Yosensi suosittelee oman hallinta-alustansa käyttöä, joten downlink kommunikaatio protokollaa ei ole mistään suoraa saatavilla. Mutta protokollan saa käyttöönsä ilmeisimmin olemalla yhteyksissä kyseiseen yritykseen.

Huomioita koteloinnista

Kaikki sensorit on koteloitu vedenkestävästi tai vähintään roiskeilta suojattuja. Osassa sensoreista (Dragino) on ulkopuolisia antennia ja kaapelin päässä olevat mittapäät, jotka voivat joissain käyttökohteissa olla vaarassa rikkoutua. Dingtek sensorien kotelointi taas tuntuu kaikkien robusteimmalta. Milesight ja Sentium sensorit ovat testatuista sensoreista pienimpiä, isoimpia ovat Yosensi ja Dingtek sensorit.

Testit

Dingtek yhtiön sensoreista tuli negatiivinen kuva jo ensimmäisten testien jälkeen, ja niiden testaaminen jäikin haasteiden takia vähemmälle. Ongelmia ilmeni esimerkiksi asetusten muuttamisen haastavuudessa/mahdottomuudessa, mittaus intervallin ja tarkkuuden heikoissa tuloksissa. Kuten aiemmin sanottu, Dingtek LoRaWAN protokollaan saamiseksi täytyisi kirjoittaa NDA-sopimus heidän kanssaan. Tätä emme kuitenkaan tehneet. Löysimme kuitenkin sensoreihin liittyvää dokumentaatiota internetin syövereistä (dokumenteissa teksti "Confidential").

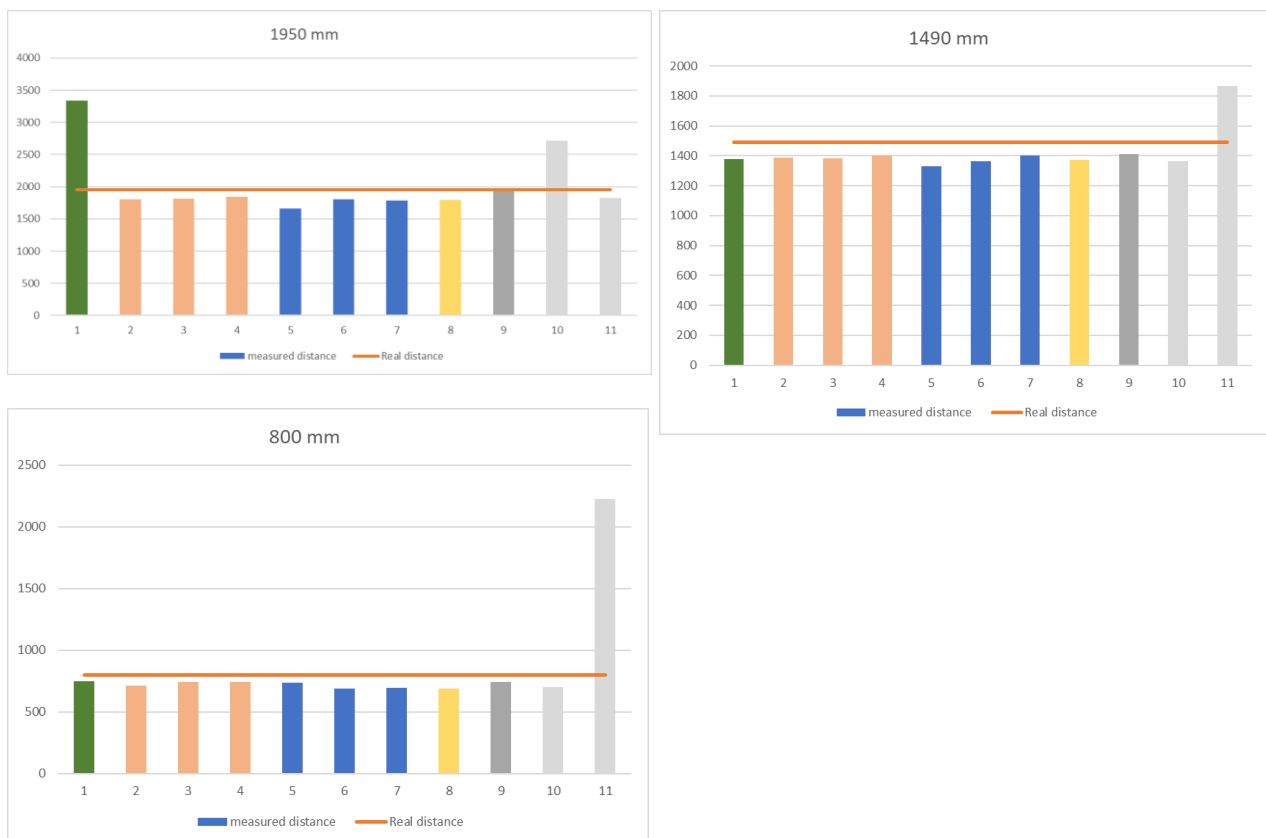
Mittausalueet ja mittaustarkkuus

Sensoreiden mittaustarkkuutta tutkittiin kohdentamalla niitä eri etäisyyksiltä erilaisia pintoja kohti. Ensimmäisessä testissä sensorien mittaustarkkuutta tutkittiin järjestelmällisesti kohdistamalla ne kankaista tyynyä vasten. Oletuksena tähän testiin oli, että suurimmassa osassa sensoreissa mittaus perustuu ultraääneen ja pehmeästä materiaalista ei saada selkeitä kaikuja. Taulukko 3

esittää mitatut sensorit ja mittaustulokset. Sensorit ovat värikoodattu ja samoja värejä käytetään myös kuvaajissa alempana (Kuva 3).

Fatboy screening test (Dingteks are pointed at wall)											
Sensor	Real distance [mm]	Measured distance [mm]	Difference (mm)		Real distance [mm]	Measured distance [mm]	Difference (mm)		Real distance [mm]	Measured distance [mm]	Difference (mm)
Aistin Level sensor	1490	1378	112		800	745	55		1950	3340	-1390
Dragino LDDS75 LoRaWAN Distance Detection Sensor (868 MHz)	1490	1388	102		800	711	89		1950	1805	145
Dragino LDDS45 LoRaWAN Ultrasonic Distance Detection Sensor	1490	1381	109		800	741	59		1950	1815	135
Dragino LLDS12 LoRaWAN LiDAR ToF Distance Detection Sensor	1490	1400	90		800	740	60		1950	1840	110
Milesight EM400 TLD LoRaWAN Laser Distance Sensor	1490	1332	158		800	733	67		1950	1665	285
Milesight EM400-MUD Multifunctional Ultrasonic Distance/Level Sensor	1490	1363	127		800	690	110		1950	1800	150
Milesight MIL EM310-UDL LoRaWAN level sensor, ultrasonic	1490	1400	90		800	695	105		1950	1790	160
Yosensi YO Distance	1490	1375	115		800	686	114		1950	1795	155
Sentium Apollon-Q Level Sensor LiDAR	1490	1413	77		800	741	59		1950	1930	20
Sentium Apollon-Q Level Sensor RADAR1	1490	1364	126		800	702	98		1950	2715	-765
Sentium Apollon-Q Level Sensor RADAR2 peak value	1490	1865	-375		800	2224	-1424		1950	1820	130
Dingtek DF702 waste bin detector	830	698	132		418	281	137				0
Dingtek DO200 parking			0				0				0
Dingtek DF703 recycle bin detector	1920	2014	-94		1730		1730				0

Taulukko 3. Sensorien mittaustarkkuuden analyysiä kangasta vasten.

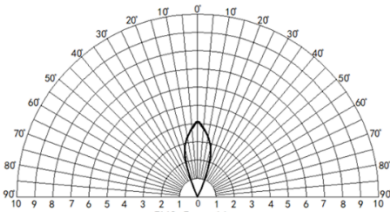


Kuva 3. Sensorien mittaustarkkuus kangasta vasten.

Sensorien mittaustarkkuutta tutkittiin tämän lisäksi moninaisissa tapauksissa tarkemmin tuloksia dokumentoimatta. Näistä mainittakoon erilaiset mittaukset kohti pingotettua kangasta ja etenkin lasia kohti mitaaminen. Lasia kohti mitattaessa ajatuksena oli, että laser sensorien tulokset

voisivat olla virheellisiä. Näiden testien perusteella kaikki sensorit osoittautuivat kuitenkin antavan oikeinsuuntaisia tuloksia tutkituissa mittaustapauksissa.

Sensorien mittauskeilat vaihtelevat muodoltaan. Tämä pätee etenkin ultraäänisensorien kohdalla. Esimerkiksi kapeiden kohteiden keilaan osuminen ei aina aiheuta mittaustulosta. Lisäksi sensorin sijoittaminen liian lähelle mittaussuunnan suuntaista pintaa voi aiheuttaa mittauksen epäonnistumisen. Esimerkiksi Sentium ja Aistin sensoreiden kohdalla kohdattiin tästä syystä epäonnistuneita mittauksia, mutta ei siinä määrin, että sillä olisi vaikutusta sensorien valintaan. Tämän kaltaisia ongelmia voi tulla esim. liian lähelle keräysastian seinämää sijoitetun sensorin tapauksessa. Näitä ominaisuuksia ei kuitenkaan projektin resurssien puitteissa tutkittu tarkemmin ja järjestelmällisemmin.

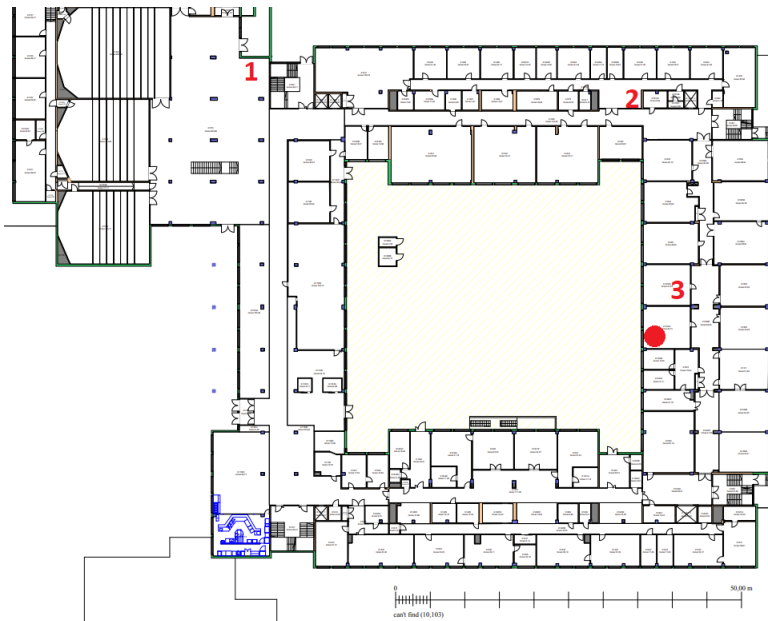


Kuva 4. Havainnekuva sensorin mittauskeilan muodosta.

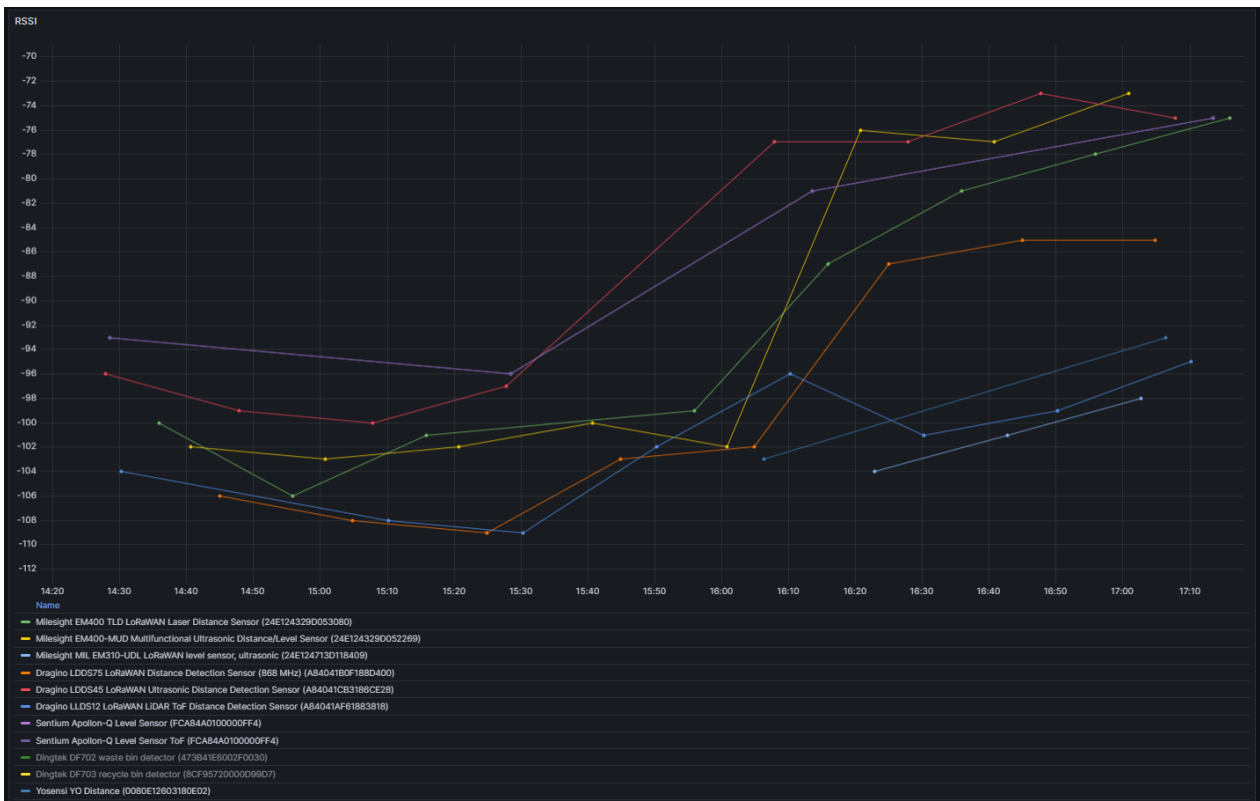
Nämä eri pintoja kohti tehdyt testit ovat suuntaa antavia ja eivät välttämättä tarkoita suoraan, että testien mukaan tarkin sensori on paras kaikkiin käyttökohteisiin. Paras tulos saavutetaan, kun käyttökohde on tiedossa ja sensoria testataan käyttökohteen ympäristössä sekä mitataan etäisyyttä kohteessa olevaan materiaaliin.

Signaalin voimakkuus suhteessa edulliseen LoRaWAN tukiasemaan

Signaalin voimakkuutta tutkittiin käytännönläheisellä testillä, jossa sensorit yhdistettiin paikalliseen pienen kantaman LoRaWAN tukiasemaan. Sensorit asetettiin Hervannan kampuksen tiloissa 3 eri sijaintiin Kuvan 5 mukaisesti ja näitä sijainteja vastaavia Received signal strength indicator (RSSI) arvoja on vertailtu alla. Näiden testeissä käytettyjen sijaintien etäisyys tukiasemaan olivat 1) 75 m 2) 35 m 3) 5 m, mutta huomioitavana seikkana ovat myös välillä olevat paksut betoniseinät, jotka heikentävät signaalia. Tämä testi on suuntaa antava, mutta antaa silti jonkinlaista osviittaa niiden tiedonsiirron toimivuudesta.



Kuva 5. Sensorien sijainnit testissä Hervannan kampuksella.



Kuva 6. Sensoreiden Received signal strength indicator (RSSI) arvoja eri etäisyyksillä LoRaWAN tukiasemasta,

Näiden testien perusteella sensorien signaalin vahvuuksissa ei havaittu merkittäviä eroja. Tarkempia tuloksia olisi mahdollista saada laajemmilla kentällä tehtävillä testeillä.

Virrankulutus ja akunkesto

Virrankulutusta mitattiin sensorien ollessa käytössä usean mittaus ja lähetysyöskin sekä niiden välisen horrostilan aikana. Tällä tavoin saatiin arvio virrankulutuksesta niiden toiminnan aikana. Näitä tuloksia on verrattu sensorien virtalähteisiin ja arvioitu mahdollista käyttöikää määritetyllä mittausvälillä.

Alla olevaan taulukkoon on listattu eri sensoreissa käytetyt virtalähteet, niiden tyyppi ja kapasiteetti. Etenkin Suomen oloissa on tärkeää, että käytetyt paristot/akut toimivat myös alhaisissa lämpötiloissa.

Yleisesti käytettyjä paristotyyppisiä alhaisissa lämpötiloissa ovat:

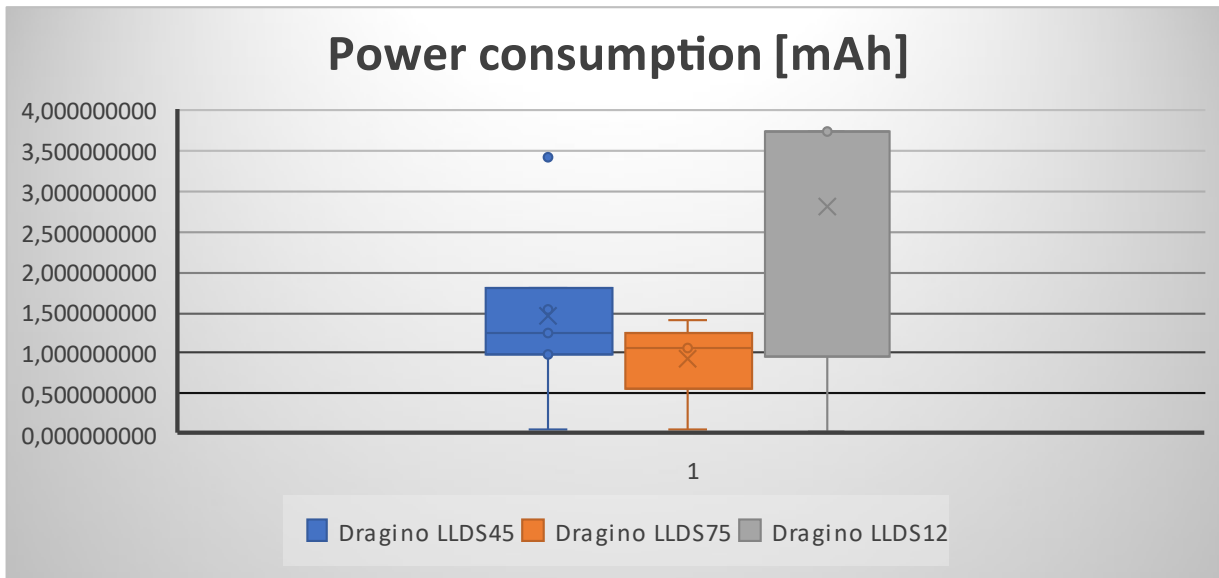
- Litium-rautafosfaatti (LiFePO₄): Kestää hyvin kylmää, tarjoaa pitkän käyttöiän ja on turvallinen vaihtoehto.
- Litium-tionaatti (LTO): Toimii erittäin hyvin kylmissä olosuhteissa, mutta on kalliimpi vaihtoehto.
- Litium-ion (Li-ion): Yleisesti käytetty, mutta suorituskyky heikkenee merkittävästi kylmässä.
- Litium-tionyylikloridi (Li-SOCl₂): Erittäin hyvä kylmän sään suorituskyky ja pitkä säilyvyys, mutta ei ole uudelleenladattava.
- Litium-Mangaanioksididi (Li-MnO₂): Toimivat luotettavasti myös alhaisissa lämpötiloissa ja tarjoavat hyvän säilyvyyden ja pitkän käyttöiän. Ovat yleensä edullisempia kuin jotkut muut litium-pohjaiset vaihtoehdot.

Device	Battery model /type
Aistin Level sensor	9000mAh 3.6V Li-SoCl ₂ (ER26500M)
Dragino LDDS75 LoRaWAN Distance Detection Sensor (868 MHz)	4000mAh or 8500mAh Li-SOCl ₂ replaceable* battery
Dragino LDDS45 LoRaWAN Ultrasonic Distance Detection Sensor	4000mAh or 8500mAh Li-SOCl ₂ replaceable* battery
Dragino LLDS12 LoRaWAN LiDAR ToF Distance Detection Sensor	4000mAh or 8500mAh Li-SOCl ₂ replaceable* battery
Milesight EM400 TLD LoRaWAN Laser Distance Sensor	Two 9000 mAh Li-SOCl ₂ replaceable batteries (ER26500)
Milesight EM400-MUD Multifunctional Ultrasonic Distance/Level Sensor	Two 9000 mAh Li-SOCl ₂ replaceable batteries (ER26500)
Milesight MIL EM310-UDL LoRaWAN level sensor, ultrasonic	Two 7000 mAh Li-SOCl ₂ replaceable batteries (ER17505)
Sentium Apollon-Q Level Sensor	Two 2000 mAh Li MnO ₂ 3V replaceable battery (CR17450)
Dingtek DF702 waste bin detector	9000mAh Li-SOCl ₂ 3.6V replaceable battery (ER26500H)
Dingtek DO200 parking occupancy sensor	9000mAh Li-SOCl ₂ 3.6V replaceable battery (ER26500H)
Dingtek DF703 recycle bin detector	9000mAh Li-SOCl ₂ 3.6V replaceable battery (ER26500H)
Yosensi YO Distance	3 x 1.5V replaceable AAA batteries (not included)
<i>*requires some extra work as battery is behind PCB</i>	

Taulukko 4. Laitteiden virtalähteet.

Testituloksia

Kuva 7 esittää eri laitteista mitattuja virrankulutuksien ruutu- ja janakaaviossa (Box and Whisker). Nämä mittaukset ovat kuitenkin suuntaa antavia ja niiden tuloksia ei kannata käyttää hyväksi suoraan sensoria valittaessa virrankulutuksen perusteella.



Kuva 7. Virrankulutus mittauksen ja datan lähettämissyklin aikana.

IoT-laitteiden, kuten LoRaWAN-sensoreiden, virrankulutus on keskeinen tekijä niiden suunnittelussa ja käytössä, erityisesti kun tavoitteena on kehittää kustannustehokkaita ja energiaa säästäviä ratkaisuja. Tässä yhteydessä on tärkeää ymmärtää, kuinka erilaiset mittaustaajuudet vaikuttavat laitteiden virrankulutukseen. Tarkastelemme kolmea erilaista mittaustaajuutta – matalaa, kohtalaista ja korkeaa – ja niiden vaikutuksia sensoreiden virrankulutukseen. Matalan mittaustaajuuden skenaariossa, kuten mittauksissa kerran tunnissa, sensori viettää suurimman osan ajastaan horroksessa (syväunimoodissa), mikä vaikuttaa merkittävästi kokonaisenergiankulutukseen. Kohtalaisen mittaustaajuuden, esimerkiksi 15 minuutin välein tapahtuvan mittauksen, kohdalla virrankulutuksen painopiste siirtyy enemmän aktiivisiin mittaus- ja lähetysvaiheisiin. Korkean mittaustaajuuden, kuten minuutin välein tapahtuvan mittauksen, skenaariossa aktiivisten vaiheiden virrankulutus muodostuu sensorin energiankäytön päätekijäksi.

Matala Mittaustaajuus (esim. Kerta Tunnissa): Tässä skenaariossa sensori viettää merkittävän osan ajasta syväunimoodissa. Energiankulutus näiden pitkittyneiden toimitusjaksojen aikana muodostuu huomattavaksi tekijäksi sensorin kokonaisenergiabudjetissa.

Kohtalainen Mittaustaajuus (esim. Kerta 15 Minuutissa): Tässä tasapaino siirtyy hieman. Vaikka syväunimoodin kulutus on edelleen tärkeää, aktiivivaiheiden (mittaus ja lähetys) aikana käytetty energia alkaa vaikuttaa enemmän kokonaisenergiankulutukseen.

Korkea Mittaustaajuus (esim. Kerta Minuutissa): Korkean taajuuden skenaarioissa aktiivisen mittauksen ja datan lähetyksen aikana kulutettu virta hallitsee sensorin energiankäyttöä. Syväunimoodin osuus kokonaisvirrankulutuksesta muuttuu suhteellisen vähäiseksi.

Näihin arvioihin pohjautuen, virrankulutusten erot mittaussyklin aikana eivät ole määrittävä tekijä sensorin akun keston osalta vaan yleensä merkittävämmäksi tekijäksi nousee horroksien virrankulutus. Tutkimuksen rajallisten resurssien takia virrankulutusta ei mitattu horroksen aikana vaan tältä osin on luotettava valmistajien antamiin lukuihin.

Testit kentällä

Osaa tutkituista laitteista testattiin myös kentällä. Näistä esimerkkeinä jäteastian pinnan monitorointi ja Tammerkosken vedenpinnan monitorointi. Kenttätesteissä monitoroinnin todelliset hyödyt tulevat esille vasta pidempiaikaisessa datan keräämisessä, mitä ei projektin aikataulun puitteissa voitu tehdä. Testit ovat kuitenkin esimerkkejä siitä, miten sensoreita voidaan käyttää ihan oikeissa käyttökohteissa



Kuva 8. Dragino LDDS75 Tammerkosken varrella.



Kuva 9. Dataa Tammerkosken pinnankorkeuden monitoroinnista. Liukuva keskiarvo (keltaisella) osoittaa selkeämmin trendin.

Esimerkki Tammerkosken pinnan monitoroinnista on sovellettavissa myös muihin kohteisiin kuten sadevesikaivojen pinnankorkeuden monitorointiin. Sadevesikaivojen monitorointiin parhaiten voisi soveltua kanteen kiinnitettävä sensori, jossa mittapää on koteloon integroitu (esim. Milesight).



Kuva 10. Sensoreita jäteastioissa.

Sensoritestien yhteenveto

Kaikki testatut sensorit olivat mittatarkkuuden suhteen varsin luotettavia. Isoimmat erot löytyivät niiden koteloinnista, käytettävyydestä ja manuaalien kattavuudesta.

Tulokset ja testit ovat vain valituissa tapauksissa tutkittuja ja eri sovelluskohteissa voi olla erilaisia vaatimuksia, joten ne eivät välttämättä ole yleistettävissä. Joka tapauksessa tutkimus listaa useita kaupallisia sensoreita ja tuo esille niiden hyviä ja huonoja puolia.

Tutkituista laitteista, *Sentinum Apollon-Q* ja *Yosensi yo distance* sensoreiden parametreja ei onnistuttu muokkaamaan downlink-protokollaa käyttäen, johtuen dokumentaation puutteellisuudesta. Näiden sensorien parametrien muutos onnistui kuitenkin muita metodeja käyttämällä.

Kiertotalouden näkökulmasta

Kiertotalouden näkökulmasta testattujen sensorien ominaisuuksilla ei ole merkittävää roolia, koska kaikki sensorit ovat samankaltaisia toiminnaltaan. Suositeltavaa on, että ennen laajempaa käyttöönottoa sensoreita kuitenkin testataan käyttökohteessa. Alustavaan sensorin valintaan, tutkimuksen tulokset antavat joka tapauksessa hyvän pohjan, koska yleisesti parhaimmiksi osoittautuneet sensorit toimivat oletettavasti parhaiten monissa eri kohteissa.

Kiertotalous ja IoT

Kiertotalous edustaa transformatiivista lähestymistapaa taloudelliseen toimintaan, jonka tavoitteena on irrottaa kasvu rajallisten resurssien kulutuksesta. Priorisoimalla materiaalien vähentämisen, uudelleenkäytön ja kierrätyksen kiertotalous pyrkii luomaan suljetun kierron järjestelmiä, jotka minimoivat jätettä ja maksimoivat resurssien arvon koko niiden elinkaaren ajan. Tämä paradigman muutos vaatii innovatiivisia tekniikoita materiaali-, energia- ja tiedonkulun seuraamiseksi, ohjaamiseksi ja optimoimiseksi.

LoRaWAN-anturien integroiminen kiertotaloushankkeisiin on merkittävä askel eteenpäin resurssien seurannan ja hallinnan helpottamiseksi ja tehostamiseksi. Tarjoamalla yksityiskohtaista, reaaliaikaista dataa, nämä anturit antavat eri toimijoille mahdollisuuden tehdä tietoisia päätöksiä, jotka tukevat kiertotalouden periaatteita. Tämä puolestaan auttaa vähentämään ympäristövaikutuksia, edistämään innovaatioita ja luomaan taloudellisia mahdollisuuksia kehittämällä uusia kestäväään kehitykseen keskittyviä liiketoimintamalleja ja palveluita.

Tampereen kaupungin IoT-alusta

IoT-tekniologioiden onnistunut käyttöönotto erityisesti kiertotalouden yhteydessä Tampereen kaltaisessa kaupungissa vaatii monipuolisen joukon sidosryhmiä. Näillä sidosryhmillä on erilaisia vastuita ja kiinnostuksen kohteita IoT-ekosysteemissä aina teknologian tarjoamisesta ja tiedonhallinnasta käytännön sovelluksiin ja IoT-datasta saatuihin näkemyksiin perustuvaan päätöksentekoon. Alla tarkastellaan näiden mahdollisten sidosryhmien rooleja, Tampereen kaupungin IoT-alustan integrointia anturitekniologioihin sekä sitä, miten eri toimijat voivat hyödyntää dataa erilaisiin sovelluksiin, mukaan lukien jäte- ja vesitason hallintaan.

IoT-ekosysteemin sidosryhmät

IoT-alustan tarjoajat: Vastaavat IoT-alustan kehittämisestä, ylläpidosta ja turvallisuudesta. Ne varmistavat alustan skaalautuvuuden, luotettavuuden ja helpon integroinnin eri antureiden ja sovellusten kanssa.

Anturiteknologian asiantuntijat: Nämä sidosryhmät ovat erikoistuneet antureiden, mukaan lukien LoRaWAN-etäisyysanturien, kehittämiseen ja käyttöönottoon. He tarjoavat tarvittavan teknisen asiantuntemuksen oikeiden antureiden valitsemiseen/kehittämiseen jokaiseen käyttötarkoitukseen ja niiden tehokkaan toiminnan varmistamiseksi.

Datan loppukäyttäjät: Tähän ryhmään kuuluvat kuntien työntekijät, yritykset ja kansalaiset, jotka ovat vuorovaikutuksessa IoT-alustan kautta kerätyn datan kanssa tai joihin se vaikuttaa. Heidän tarpeensa määräävät kerättävän tiedon tyypit ja sen esittämisen. Näitä voivat olla:

- **Päätöksentekijät:** Kaupunkisuunnittelijat, päätöksentekijät ja yritysjohtajat, jotka käyttävät IoT-datasta saatuja oivalluksia tehdäkseen tietoisia päätöksiä kaupunkisuunnittelusta, ympäristöpolitiikasta ja resurssien allokoinnista.
- **Jätehuoltoyritykset:** Erityisesti jätteenkeruu- ja kierrätysprosessien optimointi. Ne käyttävät anturien tietoja keräysreittien ja -aikataulujen suunnitteluun, mikä vähentää käyttökustannuksia ja ympäristövaikutuksia.
- **Muut yritykset:** Mahdolliset muut yritykset, jotka voivat hyötyä kerätystä datasta.
- **Ympäristö- ja kansanterveysvirastot:** Voivat käyttää tietoja ympäristöolosuhteiden, kuten ilman ja veden laadun seurantaan.
- **Kaupunkisuunnittelijat ja infrastruktuurin johtajat:** Voivat hyödyntää IoT-dattaa kaupunkien infrastruktuurin kehittämisessä ja kunnossapidossa teistä ja silloista julkisiin puistoihin ja rakennuksiin.
- **Tavalliset kansalaiset:** Myös kaupungin asukkaat voivat hyödyntää sensoridataa, jos se tehdään julkiseksi.

Mahdolliset käyttökohteet

Tampereen kaupungin IoT-alustan integrointi antureineen tarkoittaa eri lähteistä peräisin olevan tiedon saumatonta keräämistä, välittämistä ja analysointia. Tämä integraatio mahdollistaa kaupunkijärjestelmien reaaliaikaisen seurannan ja hallinnan. Näistä käyttökohteista on alla listattuna erilaisia esimerkkejä. Osa käyttökohteista liittyy nimenomaan pinnankorkeusantureiden käyttöön, osa taas muunlaisiin sensoreihin. Tässä sensorien mahdollisuuksia tarkastellaan laajemminkin kuin vain kiertotalouden näkökulmasta.

Jätehuolto: Varustamalla jäteastiat/roskakorit LoRaWAN-etäisyysantureilla voidaan seurata täyttötasoja reaaliajassa, jolloin jätehuoltoyritykset voivat optimoida keräysreitit ja aikataulut.

Tämä ei ainoastaan vähennä polttoaineen kulutusta ja päästöjä, vaan myös estää ylivuotoa ja roskaamista, mikä edistää puhtaampaa kaupunkiympäristöä. Älykäs dynaaminen keräys yhdistettynä sensoridataan ja reittioptimointiin todistetusti tuo säästöjä hiilidioksidipäästöjen ja kustannusten osalta perinteiseen verrattuna. Aihetta on tutkittu monissa tieteellisissä julkaisuissa, joiden tuloksia esitetään taulukossa alla. Taulukko on lainattu tieteellisestä julkaisusta: A. Martikkala et al., “Smart textile waste collection system – Dynamic route optimization with IoT,” *J. Environ. Manage.*, vol. 335, p. 117548, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.117548.

Comparison of results with previous studies.

Authors	Distance	Time	Fuel	Emissions	Costs	Overall efficiency
Bakhshi and Ahmed (2018)	up to -26%	up to -18%	up to -46%			-18 to -63.4%
Amal et al. (2018)	-8%	-28%	-3%			
Fujdiak et al. (2016)					-15%	
(Akhtar et al., 2017a, 2017b)	-36.8%		-50%	-44.68%	-47.77% (fuel)	on average -36.78%
Castillo et al. (2021)	-11.49% to -25.9%	-17.60% to -29.41%				
Our work	-11.2%	-7.33%	-10.2%	-10.2%	-7.4%	

Taulukko 5. Älykkään keräysastioiden tyhjennyksen hyötyjä tieteellisessä kirjallisuudessa.

Näiden tutkimusten pohjalta voidaan sanoa, että keräysastioiden monitorointi yhdistettynä reittioptimointiin on mahdollistanut tutkimuksissa minimissään noin 10% CO₂ päästövähennykset ja 7,4% alemmat kustannukset.

Viemäriveredenpinnan valvonta: Viemärijärjestelmään sijoitetut anturit voivat valvoa veden tasoa, mikä auttaa ennakoimaan ja ehkäisemään tulvia, erityisesti rankkasateiden aikana.

Pinnankorkeusmonitoroinnin edut yleisesti: Jäte- ja vesihuollon lisäksi pinnankorkeusmonitorointia voidaan soveltaa useille muille alueille. Esimerkiksi julkisten tilojen kulutustarvikkeiden (esim. saippua vessassa) seuranta voi parantaa kunnossapitopalveluita.

Varastonhallinta: Etäisyysantureilla voi olla käyttökohteita myös varastojenhallinnassa.

Kaupunkiympäristön kunnossapito: Antureita voidaan käyttää esimerkiksi istutusten maaperän kosteuden monitorointiin.

Ihmisten määrän seuranta: LoRaWAN-antureiden avulla voidaan seurata ihmisten määrää ja liikennettä tietyillä alueilla melkein reaaliajassa. Tämä mahdollistaa esimerkiksi julkisten tilojen, kuten puistojen, kauppakeskusten ja julkisen liikenteen välineiden, paremman hallinnan ja suunnittelun. Seurannan avulla voidaan optimoida tilojen käyttöä, parantaa turvallisuutta ja suunnitella tehokkaampia siivous- ja ylläpitotoimia. Lisäksi ihmisten liikkeiden analysointi voi auttaa kaupunkisuunnittelussa, esimerkiksi parantamalla kävelyreittejä ja julkisen liikenteen yhteyksiä vastaamaan paremmin käyttäjien tarpeita.

Ympäristönvalvonta: Ilmanlaadun, veden laadun ja melutasojen seuranta antaa arvokasta tietoa ympäristön tilasta ja auttaa toteuttamaan toimenpiteitä sen suojelemiseksi. Esimerkiksi

asutusalueilla havaitsemalla ja puuttamalla raideliikenteen- tai työmaiden aiheuttamaan melusaasteeseen.

Älykäs pysäköinti: Pysäköintialueiden ja -tilojen käytön seuranta auttaa optimoimaan pysäköintitilan käyttöä ja vähentämään ruuhkia. Anturit voivat ilmoittaa vapaiden pysäköintipaikkojen määrän reaaliajassa. Tämä voisi tarkoittaa myös kaupungissa olevien liikekiinteistöjen parkkihallien datan tuomista Tampereen IoT alustaan.

Yhteydet ja sidosryhmäyhteistyö

Kuten sanottua, järjestelmän pitäisi helpottaa eri sidosryhmien välistä helppoa liitettävyyttä, jolloin he voivat käyttää ja jakaa asiaankuuluvia tietoja tarpeen mukaan. Jotta tämä on mahdollista, tarvitaan:

Käyttäjäystävälliset käyttöliittymät: Erilaisten käyttäjien tarpeita vastaavien käyttöliittymien kehittäminen teknisistä asiantuntijoista suureen yleisöön, mikä helpottaa sidosryhmien pääsyä ja tulkintaa heille tärkeisiin tietoihin.

Yhteistyöalustat: sidosryhmien välisen yhteistyön ja viestinnän alustojen perustaminen ratkaisujen yhteisluomisen ja parhaiden käytäntöjen jakamisen helpottamiseksi.

Ohjelmistorajapinnat eli API:t: On tärkeää, että IoT-alusta tarjoaa rajapinnat helpottamaan integrointia eri sovelluksiin ja palveluihin.

Integroimalla Tampereen kaupungin IoT-alusta kehittyneisiin anturiteknologioihin ja varmistamalla tehokkaan tiedonhallinnan ja sidosryhmäyhteistyön, voidaan saavuttaa monia etuja. Nämä vaihtelevat parannetuista kaupunkipalveluista ja ympäristönsuojelusta tehokkaampaan resurssien käyttöön ja kansanterveyden parantamiseen, mikä viime kädessä edistää kaupungin kestävyyttä.

Kokemuksia muualta

Pforzheimin tapaustutkimus esittelee kattavasti, kuinka LoRaWAN-teknologiaa voidaan integroida älykaupunkistrategioihin, keskittyen erityisesti kaupunkien haasteiden ratkaisemiseen innovatiivisten IoT-ratkaisujen avulla. Pforzheimissa LoRaWAN-antureita käytettiin monenlaisissa sovelluksissa, kuten varattujen pysäköintipaikkojen antureissa, julkisten viheralueiden vedenkulutuksen tehostamiseen tarkoitetuissa maankosteusantureissa, jätteenkäsittelyasemien jonotusantureissa ja kaukolämmön vuotojen havaitsemisessa käytettävissä antureissa.

Tutkimuksen havainnot korostivat LoRaWAN-tekniikan vahvuuksia, kuten sen matalaa investointikustannusta verrattuna muihin langattomiin standardeihin sekä modulaarisen suunnittelun ja ajan mittaan tapahtuvan skaalautuvuuden mahdollisuutta. Kuitenkin tutkimus toi myös esiin useita heikkouksia, kuten antureiden aikaa vievän integroinnin ja standardoinnin puutteen, jotka voivat estää laajemman käyttöönoton.

SWOT-analyysin kautta tunnistettiin mahdollisuuksia digitalisointiin ja infrastruktuuritiedon keräämiseen, mikä osoittaa LoRaWANin potentiaalin merkittävästi edistävän älykaupunkiympäristöä. Haasteina tunnistettiin kuitenkin tekniikan integroinnin, kehitystarpeiden ja uusien tekniikoiden uhat (esim. tietoturva), jotka saattavat rajoittaa LoRaWANin soveltuvuutta kapean sektorin kunnallisiin sovelluksiin.

Aik Wirsinna. LoRaWAN as Part of a Smart City Strategy. International Journal of Innovative Technologies in Economy. 3(39). 2022 DOI: 10.31435/rsglobal_ijite/30092022/7841

Calgaryn kaupungin LoRaWAN-tekniikan käyttöönotto näyttää esimerkkiä älykaupungin kehityksessä, keskittyen hyödyntämään matalatehoisen laajan alueen verkkotekniikan mahdollisuuksia kaupunkihaasteiden tehokkaaseen ratkaisemiseen. Valitsemalla LoRaWANin Calgary asetti etusijalle avoimen standardin, joka tunnetaan sen edullisuudesta, luotettavuudesta ja turvallisuusominaisuuksista – nämä ovat keskeisiä kestävän kaupunkihallinnon ja innovaation kannalta.

Eräs LoRaWANin merkittävistä sovelluksista Calgaryssa on ollut reaaliaikainen melunvalvonta. Yhteistyössä Urban Alliancen ja Calgaryn yliopiston kanssa kaupunki kehitti paristoilla toimivia, matalatehoisia sensoreita jatkuvaan ympäristönvalvontaan. Tämä aloite pyrki hallitsemaan melusaastetta tehokkaammin, osoittaen LoRaWAN-tekniikan monipuolisuuden ja vaikutuksen kaupunkielämän parantamisessa.

Sensorien käyttöönotto julkisissa tapahtumissa, kuten Circle Carnival -tapahtumassa, korosti LoRaWAN-pohjaisten ratkaisujen potentiaalia melumääräysten proaktiivisessa valvonnassa. Tämä kyky valvoa ja hallita melua reaaliajassa ei ainoastaan tue kaupungin valvontatoimia, vaan myös luo pohjan laajemmille sovelluksille kaupunkihallinnossa, liikenteen valvonnasta julkiseen turvallisuuteen.

Semtech. "LoRa Technology: How Calgary Built and Utilizes One of the First City-owned LoRaWAN-based Networks." 2018.

Hradec Královén kaupungin tapaus tarjoaa mielenkiintoisen esimerkin LoRaWAN-tekniikan käytöstä älykaupunkien kontekstissa. Tämä keskikokoinen Tšekin kaupunki, jossa on noin 90 000 asukasta hyödyntää LoRaWAN sensoreita. Kaupungissa keskitytään erityisesti kaupungin julkisten tilojen turvallisuuteen käyttämällä sensoreita, kuten urheilualueet ja puistot. Tämän

lisäksi ehdotetaan elämänlaadun parantamista kaupungissa käyttämällä melu-, ympäristö- ja liikennesensoreita.

Erityisesti kaupungin jätehuollon optimointi on yksi käyttöalueista, jossa LoRaWAN-teknologiaa on kokeiltu. Vuonna 2017 testattiin ultraäänisensoreita, jotka mahdollistavat jäteastian täyttöasteen seurannan ja keräysreittien tehostamisen. Vedenkulutuksen hallinta on toinen alue, jossa LoRaWAN-teknologiaa voidaan hyödyntää. Kaupunki hyödyntää vesivirtasensoreita tai maaperän kosteussensoreita, jotka auttavat optimoimaan julkisten viheralueiden ja puistojen kastelua.

Lisäksi Hradec Králové tutkii viheralueiden käyttöä kaupungin ilmanlaadun parantamiseksi. LoRaWAN-verkon lämpötilasensorit tarjoavat kustannustehokkaan vaihtoehdon alueellisten lämpötilatrendien pitkäaikaiseen seurantaan.

J. Růžička, M. Sliacky, Z. Purkrábková and E. Hajčiarová, "Opportunities of LoRaWAN Technology for Smart Cities - A Review," 2023 Smart City Symposium Prague (SCSP), Prague, Czech Republic, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SCSP58044.2023.10146207.

Yleinen näkökulma kehittämiseen

Datan kerääminen, saatavuus ja kaikkien toimijoiden sitouttaminen kerätyn datan hyödyntämiseen on tärkeää. Ilman sitoutuneita käyttäjiä kerätyn datan arvo valuu hukkaan. Sitouttamisen osalta onkin tärkeää, että käytettävät järjestelmät ovat käyttäjilleen helppoja, eivätkä tuo ylimääräistä kuormaa työn tekemiseen. Lisäksi monitorointi on syytä toteuttaa tarpeeksi laajasti, että sen taloudelliset hyödyt tulevat esille.

Jätekeräysyhtiössä esimerkiksi töiden järjestely nykyisellä tavalla kiinteiden keräysreittien ja aikataulujen mukaan voi tuntua helpommalta. Datan tehokas käyttäminen vaatii siis mahdollisesti isojaakin toimintatapojen muutoksia.

Datan olemassaolo on tärkeää tuoda esille ja se pitää olla helposti saatavilla tahoille, jotka sitä voivat hyödyntää. Tämän osalta sellaisen datan tuominen avoimeksi, joka ei vaaranna infrastruktuuria tai muuta toimintaa voisi olla tehokas lähestymistapa. (vrt. TKL: Nysse reittioppaan API: <https://www.nysse.fi/kehittajat.html>). Jo nyt yksittäiset henkilöt ovat luoneet omia sovelluksiaan, jotka hyödyntävät tätä dataa esim. <https://kiksu.net/bussit/>

Kuten sanottua, monitoroinnin hyödyt ovat tärkeää pystyä tuomaan esille eri toimijoille. Esimerkki matalan kynnyksen ratkaisusta voisi olla jäteastioiden monitoroinnin aloittaminen rajoitetusti ja sen hyötyjen osoittaminen alkuvaiheessa esimerkiksi simuloinnin avulla. Tällä todelliseen dataan perustuvalla tiedolla järjestelmän hyödyt olisivat selkeämmin perusteltavissa. Tämä helpottaisi

toimijoiden sitouttamista uusiin toimintatapoihin sekä tulevaisuuden investointipäätöksiä uuden teknologian laajempaan omaksumiseen.