

**MITTAUSJÄRJESTELMÄ ETÄKUNNONVALVONTAAN
TEOLLISUUSYMPÄRISTÖSSÄ**

Honkanen Tatu

Opinnäytetyö

Tieto- ja viestintäteknikka
Insinööri (AMK)

2021

Tieto- ja viestintäteknikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Tatu Honkanen	Vuosi	2021
Ohjaaja	Anssi Ylinampa		
Toimeksiantaja	ProTest Engineering Oy		
Työn nimi	Mittausjärjestelmä etäkunnonvalvontaan teollisuusympäristössä		
Sivumäärä	28		

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa etäkunnonvalvontajärjestelmän laitteisto-osio kunnossapitoalan yritykselle ProTest Engineering Oy. Tarkoituksena oli toteuttaa etähallittava sekä tarpeen mukaan laajennettavissa oleva langaton mittausjärjestelmä teollisuuden olosuhteisiin. Etäkunnonvalvonta voisi vähentää työntekijöiden tarkistuskäyntejä kohteisiin ja antaisi yritykselle mahdollisuuden tarjota asiakkailleen tarkempaa tietoa tehdystä työstä ja sen tarpeesta.

Työssä käytiin lyhyesti läpi yritykselle keskeisiä kunnonvalvontaan liittyviä suurreita ja niiden mittaamiseen käytettäviä antureita. Työ toteutettiin kokeilemalla ensin olemassa olevien mittalaitteiden ominaisuuksia ja kehittämällä järjestelmää sitten tarpeen mukaan. Langattomuuden mittausjärjestelmälle mahdollistivat LoRa-valmiit anturit ja noodit. Etähallinta toteutettiin matkapuhelinverkon avulla.

Työn tuloksena oli vain käyttövirran tarvitseva itsenäinen ja haastavissakin olosuhteissa toimiva kokonaisuus, joka on valmis testikäyttöön ja jatkokehitykseen tiedonsiirtoa ja käsittelyä varten. Laitteisto-osion käyttöönotto, asentaminen ja laajentaminen on tehty helpoksi. Etähallinta mahdollistaa laitteiden ongelmatilanteiden ratkomisen ja esimerkiksi uusien antureiden ohjelmoinnin ja lisäämisen yhdyskäytävälle keskeyttämättä järjestelmää ja käymättä mittauskohteessa.

Avainsanat

anturit, etäkunnonvalvonta, langattomuus, LoRa, tuotekehitys

Degree Programme in Information
and Communication Technology
Bachelor of Engineering

Author	Tatu Honkanen	Year	2021
Supervisor	Anssi Ylinampa		
Commissioned by	ProTest engineering Ltd.		
Subject of thesis	Hardware Portion of a Remote Maintenance System in Industrial Environment		
Number of pages	28		

The goal of the thesis was to design and produce the hardware portion of a remote maintenance system capable of operating in harsh industrial environments. The system was aimed to be mostly wireless and remotely accessible for control and configuration. It should also be expandable according to the client's needs. Being able to remotely monitor more specific parts of machinery could reduce the need to travel on site for check-ups. It would help the client to give their customers better insight and information of the produced work.

The project was done through a process of trial and error by investigating the existing equipment in terms of what could be achieved with those and building up from there. It also involved learning the basics of the most important measurements that are involved in industrial maintenance and finding suitable sensors for them. Making the system remotely accessible and wireless was done with LoRa-ready sensors and the mobile phone network.

The result of the thesis was a mostly self-reliant, industry-ready ensemble, needing only the power input, ready for testing and further development. The configuration, deployment and extending of the hardware portion was made simple. Being able to remotely access the system gives the opportunity to resolve most problems and expand the system with new sensors without the need to travel.

Key words

Remote maintenance, wireless, sensor, product development

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 ANTURIT JA MITATTAVAT SUUREET	6
2.1 Öljyn kunnonvalvonta	6
2.2 Värähtelymittaus	7
2.3 Analogiset anturit	10
3 TESTIEN LÄHTÖKOHDAT	12
4 LAITETESTIT	13
4.1 Ensimmäinen laitetesti	13
4.2 Toinen laitetesti	16
4.3 Kolmas laitetesti	21
5 POHDINTA	26
LÄHTEET	27

1 JOHDANTO

Opintojeni alkuvaiheessa aloin työskentelemään kunnossapitoalan asiantuntijajärityksessä ProTest Engineering Oy:ssä laiterakentajana. ProTest Engineering Oy tuottaa huolto- ja mittauspalveluita sekä laiteusintoja pääsääntöisesti pape-riteollisuuteen. Kolmannen opiskeluvuoden aikana esille tuli projekti, joka oli ollut suunnitteilla jo pidemmän aikaa.

Tarkoitus oli suunnitella ja toteuttaa etäkunnonvalvonnan mahdollistava mittausjärjestelmä teollisuusympäristöön sopivilla teknologioilla. Lopputuloksena olisi tuote, jonka avulla yritys pystyisi tuottamaan kunnossapitopalveluitaan laajemmin ja antamaan asiakkaille tarkempaa tietoa tuotettavasta työstä. Tuotteen pitäisi olla myös riittävän joustava ja laajennettavissa erilaisiin mittaustarkoituksiin.

Projektia varten oli tehty jo pienimuotoisia hankintoja ja suunnitelmia, esimerkiksi yhdyskäytävä ja mahdollisia antureita, mutta sen toteuttamiseksi ei riittänyt aikaa. Ilmoitin oman kiinnostukseni aiheetta kohtaan ja halun ruveta työstämään projektia opinnäytetyönä.

Kunnonvalvonnalla on suuri vaikutus tehtaiden kannattavuuteen. Valvonnan alueesta riippuen, sillä vaikutetaan esimerkiksi tehtaaseen yleiseen tuottavuuteen ja koneiden elinikään. Jatkuva kunnonvalvonta antaisi tarkempaa tietoa reaaliajassa valvotuista laitteista ja koneikoista. Se voi auttaa estämään suunnittelemtomat seisakit sekä ennakoimaan huoltotoimenpiteitä suunniteltujen seisakkien aikana. (Yan 2015, 19.) Laajalla etäkunnonvalvonnalla voitaisiin myös vähentää käyntejä tehtailla.

Työssä käydään läpi projektia varten testatut laitteistot ja teknologiat sekä keskeiset mitattavat suureet ja anturit perustasolla eli keskitytään projektin laitteistoon. Projektin myöhempään vaiheeseen kuuluivat myös anturitiedon vieminen tietokantaan, mitatun datan raportointi sekä käyttöohjeiden tekeminen. Nämä eivät kuitenkaan sisälly opinnäytetyöhön. Tämä opinnäytetyö sisältää myös työn ohessa esille tullutta hiljaista tietoa.

2 ANTURIT JA MITATTAVAT SUUREET

Projektin haluttiin keskittyvän pääsääntöisesti kahteen kohteeseen öljyn kuntoisuuden mittaamiseen sekä värähtelymittaukseen. Näiden koetaan yleisesti olevan kaksi tärkeintä työkalua koneikkojen vikojen selvittämiseksi ennakoivasti. Molemmilla tekniikoilla saadaan tietoa koneen sisällä tapahtuvasta kulumisesta koneen käydessä ja molempia yhdistämällä saadaan tehokkain tulos. (Kessisoglou & Peng 2003.) Näiden lisäksi järjestelmällä tulisi olla mahdollista käyttää käytännössä kaikkia teollisuuteen sopivia analogisia antureita.

2.1 Öljyn kunnonvalvonta

Öljyn kuntoa valvoessa mitataan sen kykyä toimii tarkoitetulla tavalla voiteluaineena. Syitä öljyn tehokkuuden heikentymiseen ovat esimerkiksi hapettuminen sekä vesi- ja hiukkassaastuminen. Öljyn kuntoa mittaavilla antureilla voidaan helposti seurata muutoksia öljyn tilassa ja havaita ajoissa, milloin se on tulossa käyttökänsä loppuun. (Zhu 2013, 2-4.)

Tarkemmilla näytetesteillä on mahdollista osoittaa mikä saastumisen on aiheuttanut, selvittämällä mitä partikkeleita öljyyn on sekoittunut. Useimmat saatavilla olevat anturit mittaavat öljyn kulumista esimerkiksi mittaamalla sen sähkönjohtavuutta, mutta eivät anna tarkkaa tietoa saastumisen alkuperästä. Tarkemmilla näytetesteillä voidaan selvittää, mitä partikkeleita öljyyn on sekoittunut ja kuinka paljon. Näin voidaan aloittaa tarkempi selvitys saastumisen alkuperästä ja löytää mahdollisia laajempia vikoja.

Tan Delta Systems on kehittänyt OQSx-anturin (Kuvio 1) helppoon öljyn kunnonvalvontaan. Anturi toimii mittaamalla öljyn kapasitanssia ja sähkönjohtavuutta. Tan Delta Systemsin patentoitu algoritmi tutkii näiden avulla muutosta öljyn laadussa, joka kertoo suoraan sen kunnon heikentymisestä.



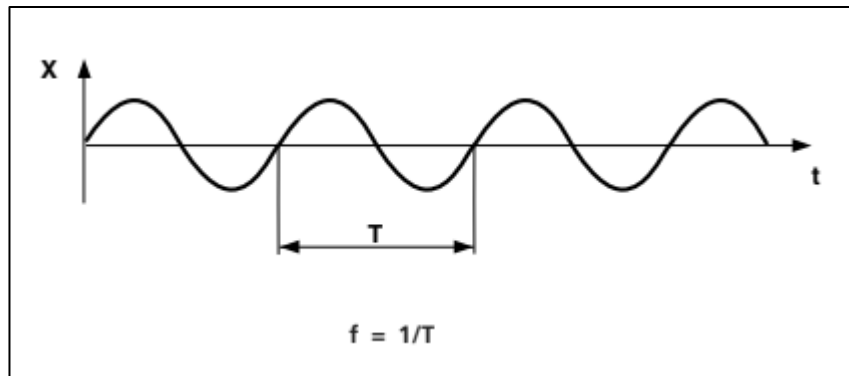
Kuvio 1. OQSx-G2 Oil Quality Sensor (Tan Delta Systems 2021)

Anturin pää asennetaan öljykiertoon sellaiseen kohtaan, jossa öljyä päästään mittaamaan liikkuvana ja suodattamattomana, antaen mahdollisimman parhaan kokonaiskuvan koneikon öljyn laadusta. Anturin ohjelmiston algoritmi laskee mitatuista arvoista niin sanotun Tan Delta Numberin. TDN on yhtiön luoma kokonaisarvo kuvaamaan öljyn yleistä kuntoa, jonka avulla muutoksia öljyssä on helppo seurata ja piirtää kehitystä kuvaajaan. Öljyjen lähtöarvot saadaan valmiista tietokannasta, jota käytetään TDN-arvon muodostamiseksi (Tan Delta Systems, 2017).

Mitattu TDN arvo ja öljyn lämpötila lähtevät anturilta milliampeeritietona. Tiedon keräämiseen ja siirtämiseen tarvitaan yhtiön oma laite, joka sopii paikalliseen tarkkailuun, tai jokin kolmannen osapuolen lähetin. Milliampeeritieto käännetään halutussa sovelluksessa luettavaan muotoon ja piirretään kuvaajaan, tai esitetään sellaisenaan.

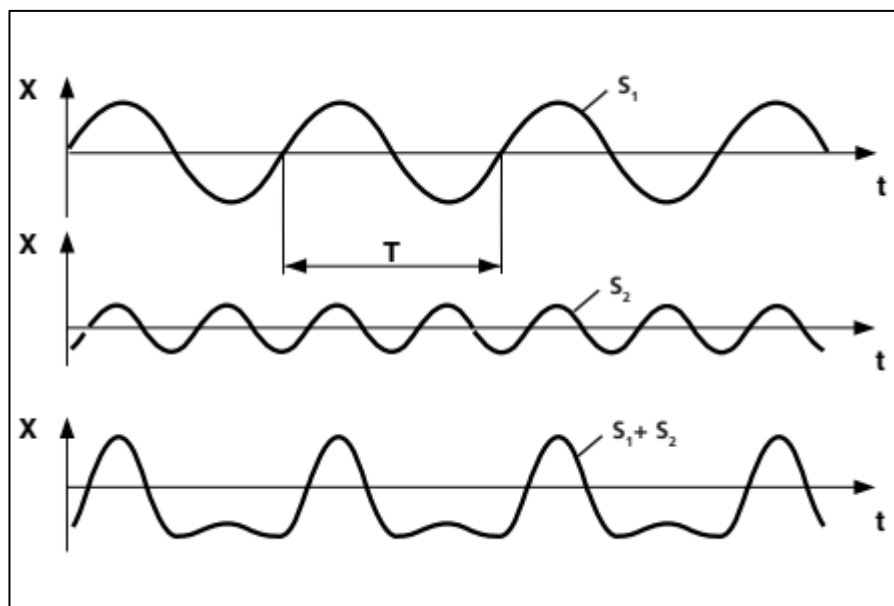
2.2 Värähtelymittaus

Värähtelymittauksella tarkoitetaan yleisesti massan tai kappaleen liikkeen havainnointia aikatasossa (Kuvio 1). Jaksollinen värähtelytaajuus ilmoitetaan hertseinä. (Prüftechnik 1992, 6.)



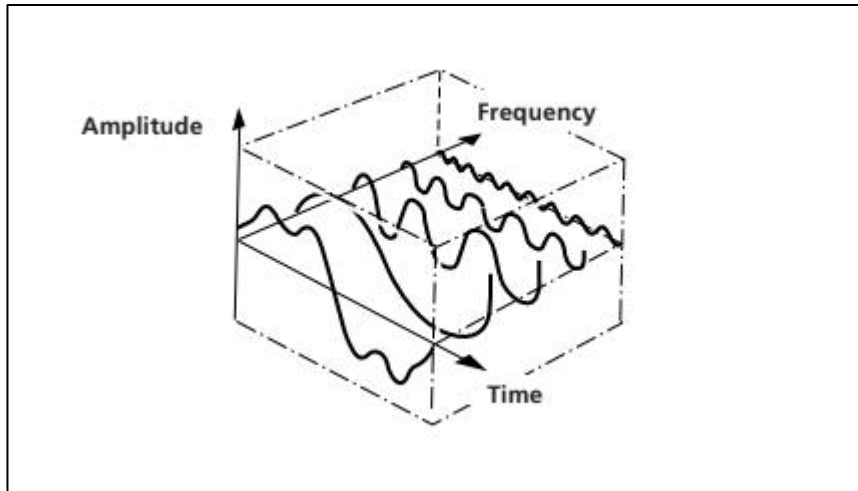
Kuvio 2. Jaksollinen värähtely ajan funktiona (Prüftechnik 1992, 6)

Kun mitattavassa massassa on useampia värähteleviä kappaleita, sen erilliset värähtelevät osat näkyisivät aikatasolle piirtävässä kuvaajassa yhdistettynä jaksollisena värähtelynä (Kuvio 3). Tällöin kuvaaja ei riitä kertomaan riittävän tarkasti tietoa yksittäisten kappaleiden liikkeistä. (Prüftechnik 1992, 7–8.)



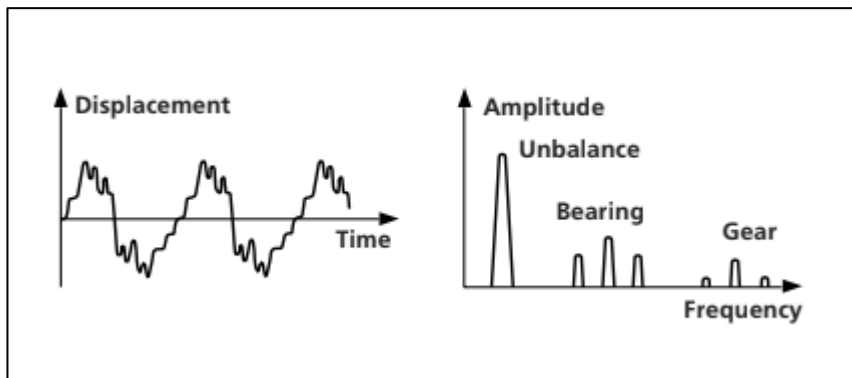
Kuvio 3. Päällekkäiset siniaallot (Prüftechnik 1992, 8)

Massan mitatun värähtelyn tarkempaan tulkitsemiseen käytetään Fourier-muunnosta (FFT, Fast Fourier Transform). Fourier-muunnoksella useista osista koostuva aaltomuoto aikatasossa t voidaan muuttaa taajuustasoon f , sarjaksi erillisiä osavärähtelytaajuuksia (Kuvio 4). (Prüftechnik 1992, 8–10.)



Kuvio 4. Värähtely taajuus- ja aikatasolla (Prüftechnik 1992, 12)

Muutettuna värähtelytaajuudet voidaan suoraan yhdistää mitattavassa massassa värähteleviin kappaleisiin. Taajuuksia jatkuvasti seuraamalla voidaan todeta, jos kappale on vioittunut, kun kuvaajassa alkaa tapahtumaan muutoksia (Kuvio 5). Näin ongelmiin voidaan puuttua ennen kappaleiden rikkoutumista. (Prüftechnik 1992, 10–13).



Kuvio 5. Fourier-muunnos (Prüftechnik 1992, 13)

Projektissa käyttöön otettu TE-8911 värähtelyä mittaava anturi teollisuuden so-pivilla ominaisuuksilla (Kuvio 6). Tällaisella pietsosähköisellä värähtelyanturilla on mahdollista havaita värähtelyä todella laajalta taajuusalueelta, minkä vuoksi tämän tyyppistä anturia voidaan hyödyntää useimpiin käyttökohteisiin. (Prüftech-nik 1992, 20).



Kuvio 6. TE-8911 värähtelyanturi (TE Connectivity, 1)

TE-8911 mittaa värähtelyä oletuksena tunnin ajan kerralla ja tekee sille Fourier-muunnoksen ennen lähetystä. Langatonta tiedonsiirtoa varten anturi on suunniteltu käytettäväksi LoRa-järjestelmissä. Siinä on sisäänrakennettu LoRa-radio, jolla paketit voidaan lähettää eteenpäin esimerkiksi yhdyskäytävälle. Kerätty data on suoraan mahdollista esittää kuvaajassa, jonka avulla voidaan seurata muutoksia mitatusta massasta. (TE Connectivity 2021, 8–9.)

2.3 Analogiset anturit

Erilaisten antureiden tarvetta mittauskohteissa arvioidaan tapauskohtaisesti. Vaikka projektissa on tarkoitus keskittyä pääosin öljyn ja värähtelyn tutkimiseen, voi muita suureita mittaamalla tarkasti valituista pisteistä saada laajempaa kuvaa koneiden kunnosta ja huollon tarpeesta.

Analogisilla antureilla tarkoitetaan sellaisia antureita, jolla ei ole älykkäitä tiedonkäsittelyominaisuuksia ja joiden tietosignaali on suoraan verrannollinen mitattuun suureeseen. Niiden toiminta perustuu johonkin mitattavaan fysiikan ilmiöön, joka muunnetaan analogiseksi signaaliksi eli jännite- tai virtatiedoksi (Wilson 2005, 27–28.)

Analogiset anturit voidaan jakaa kahteen ryhmään: passiivisiin, eli niihin, jotka eivät tarvitse ulkoista virtalähdettä ja aktiivisiin, jotka tarvitsevat. Aktiiviset anturit toimivat muuntajina ja käyttävät ulkoista virtaa ilmiön mittaamiseen ja muuntavat sen tietosignaaliksi. Passiiviset anturit saavat signaalin tuottamiseen tarvittavan energian itse mitattavasta ilmiöstä. (Wilson 2005, 28–29.) Sellaiset anturit, joissa

ei ole sisäänrakennettua tiedonsiirtoteknologiaa, tarvitsevat jonkin järjestelmän tai apulaitteen tietosignaalin keräämiseen ja prosessointiin halutulla tavalla.

3 TESTIEN LÄHTÖKOHDAT

Projektia varten oli hankittu erilaisia mittalaitteita, yhdyskäytäviä ja antureita jo ennen sen aloittamista. Työtä varten ei ollut varsinaista suunnitelmaa, vaan se kehittyisi taustalla jatkuvasti ja alkaisi selvittämällä, kuinka olemassa olevia laitteita voitaisiin hyödyntää ja millaisia puutteita niiden käytössä ilmenee.

Työlle kuitenkin asetettiin tiettyjä tavoitteita, jotka tulisi pitää mielessä kehitysprosessin läpi. Järjestelmään täytyy pystyä ohjelmoimaan mittaustuloksiin reagoivia hälytysrajoja ja ohjelmoinnin pitää olla mahdollista etänä. Etäohjattavana mittausjärjestelmän mahdollisiin vikatilanteisiin tai ohjelmointivirheisiin voitaisiin reagoida nopeasti. Järjestelmä tulisi toteuttaa niin, että projektin myöhemmässä vaiheessa mitattu tieto olisi mahdollista siirtää omalle- tai pilvipalvelimelle sekä esittää kuvaajassa.

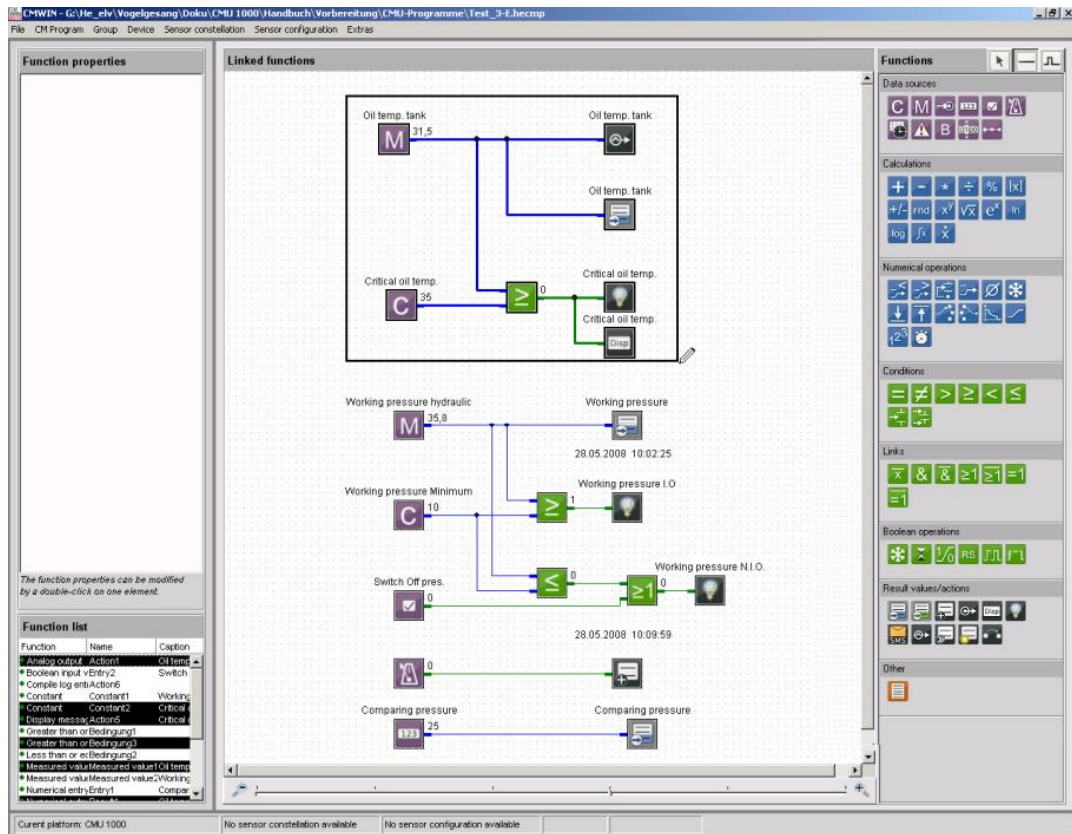
Teollisuus- ja tehdasympäristöt asettavat teknologialle omat rajoitteensa. Kaikkien laitteiden tulisi kestää asennuspaikasta ja sen olosuhteista riippuen korkeita lämpötiloja sekä pölyä ja esimerkiksi öljyroiskeita. Tehtailla antureiden asennuspaikat voivat olla ahtaita ja suojattujen kaapeleiden vetäminen voi olla vaikeaa. Siksi antureita tutkiessa ja valitessa tulisi ottaa huomioon kestävyys lisäksi myös langattomuus ja siihen soveltuvat teknologiat. Langattomien teknologioiden hyödyntäminen tehtaalla vähentäisi huomattavasti suunnitteluun ja asennukseen kuluvaa työaika.

4 LAITETESTIT

Laitetestit aloitettiin Hydac CMU 1000 -kunnonvalvontalaitteella ja Ewon Cosy 131 -reitittimellä. Tarkoitus oli selvittää mitä niillä on tarkoitus tehdä ja voisiko niiden ominaisuuksia yhdistämällä saada selkeän kokonaisuuden kunnonvalvontajärjestelmän pohjaksi.

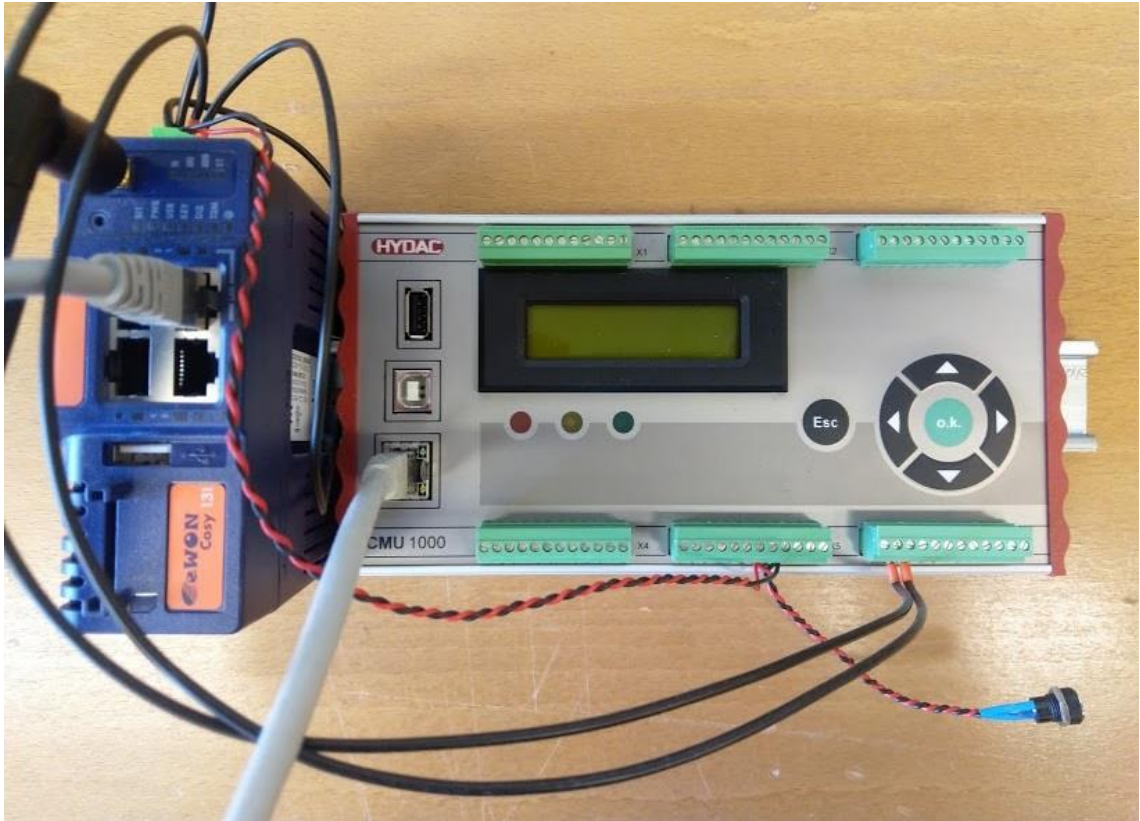
4.1 Ensimmäinen laitetesti

Hydac CMU 1000 (myöh. Hydac) on kunnon- ja tilanvalvontalaitte, joka on lähtökohtaisesti tarkoitettu osaksi pysyvää valvontajärjestelmää. Hydacissa on kahdeksan analogisen ja neljän digitaalisen tulon lisäksi kuusi ulostuloa, joista kaksi on analogisia ja neljä relettä. Laitteella on mahdollista käsitellä mitattua anturidataa paikallisesti CMWIN-nimisellä vuopohjaisella ohjelmointityökalulla (Kuvio 7) ja reagoida erilaisiin tilanteisiin siihen tarkoitetuilla ulostuloilla tai lähettää dataa eteenpäin järjestelmässä. Laitteella on mahdollista myös tallentaa suuria määriä mitattua tietoa ulkoiseen muistiin ja tarkastella niitä myöhemmin tietokoneella. (Hydac Electronic 2012, 121–123).



Kuvio 7. Esimerkki ohjelmointityökalun näelmästä (Hydac Electronic 2012, 76)

Ewon Cosy 131 (myöh. Ewon) on reititin, joka mallista riippuen hyödyntää etäyh-teyden muodostamiseen lähiverkkoa, Wi-Fiä tai matkapuhelinverkkoa ja jonka omaan lähiverkkoon voidaan yhdistää useampi hallittava laite, kuten Hydac (Ku-vio 8). Se on kehitetty toimimaan yhteyslaitteena ohjelmoitavien logiikkajärjestel-mien ylläpitoon ja hallintaan, jota varten sen ominaisuuksiin kuuluu turvallisen VPN-yhteyden luominen (Ewon 2020).



Kuvio 8. Hydac ja Ewon osittain kytkettynä DIN-kiskolla

Hydacin kunnonvalvontalaite oli helppokäyttöinen ja kattavasti dokumentoitu. Anturidataa simuloitiin yleismittarilla syöttämällä anturiportteihin milliampeeritietoa. Laitteen omalla kehitysalustalla on valmiudet helppoon tekstiviestien lähettämiseen, mutta ominaisuuden käyttö vaatii valmistajan oman reitittimen käyttämistä.

Ewonin käyttämiseksi tarvittiin useampi ohjelmisto tietokoneelle asennettuna, jotta sen asetuksia pääsi muuttamaan ja luomaan etäyhteyden valmistajan tarjoamalla VPN-palvelulla. Ewonissa käytettiin Elisalta ostettua Laitenetti SIM -korttia, jolla etäyhteyden muodostaminen onnistui sijainnista huolimatta.

Laitteet saatiin toimimaan yhdessä ja osittain suunnitellusti, mutta niiden määrittely ja käyttö oli melko monimutkaista. Lopulta etäyhteyden muodostaminen Ewonin kautta Hydacin verkkopalvelimelle, jossa anturidata julkaistiin, onnistui. Sen saavuttamiseksi kuitenkin tarvittiin Ewonin palveluntarjoajalta kehittäjä tunnukset, joiden avulla pystyi hakemaan rajapinnan kautta palvelintietoa toisella tietokoneella. Näin saataisiin mitattu tieto esimerkiksi halutulle palvelintietokoneelle, joka tekee http-pyyntöjä jatkuvasti ja tallentaa ne paikallisesti. Rajapinta ei ollut

riittävän kehittynyt, että sillä olisi suoraan voinut hakea tiettyä tietoa palvelimilta, vaan jokaisen pyynnön jälkeen html-viesti olisi pitänyt jäsentää selkeäksi kokonaisuudeksi ennen tallentamista. Hälytysrajan laukaiseminen onnistui lähettämällä reletieto mittalaitteelta Ewonille. Ewonilla oli mahdollista reagoida viestiin ja lähettää sähköposti rekisteröityyn osoitteeseen.

Vaikka saavutettua järjestelmää olisi mahdollista käyttää näin, oli selkeää, että se on liian monivaiheista, eikä laitteita ollut tarkoitettu käytettäväksi yhdessä tällä tavalla. Ewonin VPN-yhteys teki laitteista projektia ajatellen tarpeettoman turvallisen vaikeuttaen samalla yhteyksien luomista. Hydac taas vaatisi lähes pysyvän asennuksen antureineen, eikä sovi ajatukseen laajennettavasta, nopeasti asennettavasta ja langattomasta mittausjärjestelmästä. Koko järjestelmä täytyisi myös sulkea erilliseen kenttäkaappiin tai muuhun suojaan virtalähteineen, jotteivat ne vahingoittuisi.

4.2 Toinen laitetesti

Toisen testikierroksen valmiiksi hankitut laitteet olivat Multitechin ConduitAP -yhdyskäytävälaite sekä Lairdin Sentrius RS1xx -lämpötila- ja kosteusanturi. Tavoitteena oli rakentaa täysin langaton mittausjärjestelmä hyödyntäen LoRa-radioteknologiaa ja ottaa se testikäyttöön yrityksen varastohalliin.

Heti alussa yhtenä teknisenä puutteena oli se, että hankitussa yhdyskäytävässä ei ollut mahdollista käyttää matkapuhelinverkkoa, vaan jouduttaisiin liittymään hallilla käytössä olevaan paikalliseen verkkoon. Se kuitenkin toimisi hyvänä testialustana ja antamaan lisää tietoa Multitechin valmistamista laitteista.

Lairdin valmistama Sentrius RS1xx -anturi on LoRa-valmis lämpötila- ja kosteusanturi (Kuvio 9). Se voidaan asentaa suoraan haluttuun paikkaan ilman esivalmisteluja ja se saa käyttövirran kahdesta AA-paristosta. Anturin IP65-luokitus sekä valmistajan lupaamat mitta-alueet tekevät siitä hyvän testianturin varastohallin mittauksiin. (Laird Connect 2021).



Kuvio 9. Laird Sentrius RS1xx -anturi (Laird Connect 2021)

ConduitAP on lähiverkkoon yhdistettävä yhdyskäytävä internetin ja LoRa-laitteiden välille (Kuvio 10). Sitä on mahdollista käyttää omaa LoRa-verkkoa jatkavana paketin jakajana tai suoraan verkkoon yhteydessä olevana yhdyskäytävänä. ConduitAP:n pohjana on avoimen lähdekoodin Linux-jakelu ja sen huomattaviin valmiisiin ominaisuuksiin kuuluvat LoRa-valmiuden lisäksi verkkopalvelin etäyhteyttä ja asetusten määrittelyä varten sekä Node-RED-palvelin. (Multitech 2018, 1–2.) Yhteen yhdyskäytävään on mahdollista yhdistää samanaikaisesti jopa 2000 päätelaitetta (Multitech 2021b).



Kuvio 10. ConduitAP, SIM-kortiton (Multitech 2021a)

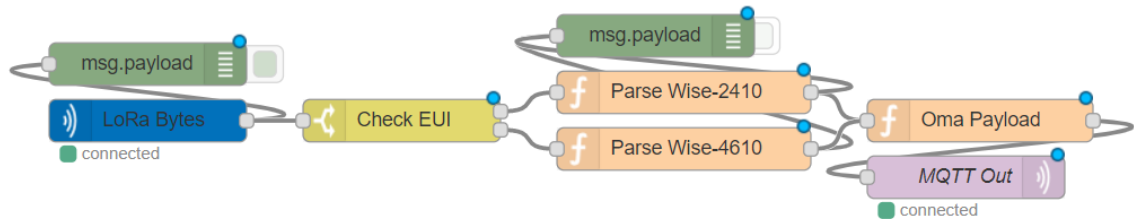
LoRa (Long Range) on modulaatiotekniikka ja LoRaWAN on sitä hyödyntävä verkkoteknologia, jota käytetään yleisesti IoT-järjestelmien yhteyksissä. Se on vähän tehoa vaativa, pitkään matkaan ja kahdensuuntaiseen kommunikointiin so- piva tiedonsiirtoteknologia. LoRaWAN-laitteiden viestintä on salattua ja tyypillis- ten LoRa-yhdyskäytävien ja antureiden kantavuus on avoimessa maastossa noin 15 kilometriä ja sisätiloissa 1,5–4 kilometriä. (LoRa Alliance 2021.) LoRa mah- dollistaa anturin ja yhdyskäytävä yhdistämisen toisiinsa keskeyttämättä yhdys- käytävän prosesseja.

ConduitAP asennettiin yrityksen varasatohallille oleskelutilaan ja kytkettiin hallin lähiverkkoon DHCP-asiakkaana. Dynaamisen DNS-palvelun ja porttiohjauksen avulla yhdyskäytävään voisi luoda etäyhteyden mistä tahansa, mutta testiä var- ten tämä koettiin tarpeettomaksi.

LoRa-valmiiden laitteiden parittaminen yhdyskäytävän kanssa tapahtuu kahdella koodilla: DeviceEUI:llä, joka on päätelaitteelle uniikki ja AppKey:llä, joka toimii salausavaimena laitteiden välillä. Testissä käytetyt anturit käyttävät OTA-akti-

vointia (Over The Air), joka vaatii sen, että avaimet tallennetaan ensin yhdyskäytävälaitteelle. Kun anturit käynnistetään, ne yrittävät ottaa yhteyden lähellä oleviin yhdyskäytäviin. Jos yhdyskäytävä hyväksyy parituspyynnön, anturit aloittavat tiedon keräys- ja lähetyssyklin.

Viestien käsittely ja lähettäminen osoittautui helpoksi ConduitAP:lle valmiiksi asennetulla Node-RED-palvelimella, jonka ohjelmointikielenä toimii JavaScript. Node-RED on vuopohjainen ohjelmointityökalu, jossa ohjelmaan tulleet viestit kulkevat niille erillisistä noodeista luodun tapahtumaketjun läpi, jonka aikana viestit käsitellään haluttuun muotoon (Kuvio 11).



Kuvio 11. Esimerkki projektissa käytetystä Node-RED -ohjelmasta

Ohjelmassa LoRa Bytes-noodilla otetaan vastaan yhdyskäytävälle tulevat LoRa-viestit. Seuraavassa Check EUI -noodissa viesti ohjataan oikeaan paikkaan laitteen tunnusteen mukaan. Kolmas noodi on itse kirjoitettu funktionoodi, jossa viesti jäsennetään luettavaan muotoon. Viestien muoto yhdyskäytävälle tullessa on laitteen valmistajan määrittelemä ja jokaisen erilaisen laitteen viestin purkamiseksi tarvitsee oman koodin. Jos laitteen valmistaja ei tarjoa koodia valmiiksi, se täytyy kirjoittaa itse. Testissä käytetyn anturin viesti yhdyskäytävälle tullessa on 11-tavuinen merkkijono, jonka ohjelma kääntää automaattisesti kymmenjärjestelmään (Taulukko 1).

Taulukko 1. RS1xx-anturin viesti ja yksinkertainen jäsenitys (Laird Connect 2020)

Parameters

Byte Index	Name	Description	Type	Default Value	Example Value	Min Value	Max Value	
[0]	MsgType	Message type	uint8_t	0x01	0x01	0x01	0x01	
[1]	Options	See the Sensor-To-Server Message Options section	bitfield	0x00	0x00	0x00	0x10	
[2]	Humidity Fractional	Fractional portion of humidity measurement in %	uint8_t	0x1E	0x1E	0x00	0x64	
[3]	Humidity Integer	Integer portion of humidity measurement in %	uint8_t	0x01	0x01	0x00	0xFF	
[4]	Temp Fractional	Fractional portion of temperature measurement in C	int8_t	0x41	0x41	0x00	0xFF	
[5]	Temp Integer	Integer portion of temperature measurement in C	int8_t	0x19	0x19	0xD8	0x55	
[6]	Battery Capacity	Index for percentage of battery capacity remaining		uint8_t	0x05	0x02	0x00	0x05
		0	0-5%					
		1	5-20%					
		2	20-40%					
		3	40-60%					
		4	60-80%					
5	80-100%							
[7:8]	AlarmMsg Count	Number of backlog alarm messages in sensor FLASH	uint16_t	0x0000	0x0000	0x0000	0x0FFF	
[9:10]	BacklogMsg Count	Number of backlog non-alarm messages in sensor FLASH	uint16_t	0x0000	0x0000	0x0000	0x0FFF	

```

msg.payload = {
  "batteryCapacity": msg.payload[6],
  "humidity": msg.payload[3] + "." + msg.payload[2],
  "temperature": msg.payload[5] + "." + msg.payload[4]
};
return msg;

```

Kun viesti on purettu, siitä muodostetaan omien standardiehtojen mukainen viesti myöhempää visualisointia varten eteenpäin lähetettäväksi. ConduitAP:n ollessa yhteydessä internetiin käyttäjällä on monta vaihtoehtoa tiedon lähettämiseksi.

Toisen laitetestin tulos oli tavoitteita ajatellen huomattavasti parempi sekä käytettävyydeltään sujuvampi. ConduitAP sopii testikäyttöön erittäin hyvin, mutta sen IP30-luokitus ei riitä vaativiin olosuhteisiin. Etähallintaa varten täytyy löytää parempi ratkaisu kuin käyttökohteen paikallinen verkko. Vaikka yhteyden avaaminen on mahdollista paikalliseen verkkoon yhdistettynä, se vaatisi asiakkaalta tehtaan tietoverkkojen muokkaamista, joka vaikeuttaisi koko prosessia.

Yhdyskäytävällä ajettava Node-RED-ohjelma on vanha, eikä sitä pysty tälle Linux-jakelulle päivittämään. Tämä tarkoittaa sitä, että sillä pystyy ajamaan vain perustason koodia ja uusia kirjastoja vaativat noodit eivät todennäköisesti toimi. Esimerkiksi viestien visualisointi ei onnistuisi. Node-RED-ohjelma on kuitenkin riittävä viestien jäsentämiseen ja uudelleenrakentamiseen sekä toimimaan tarvittavalla tasolla.

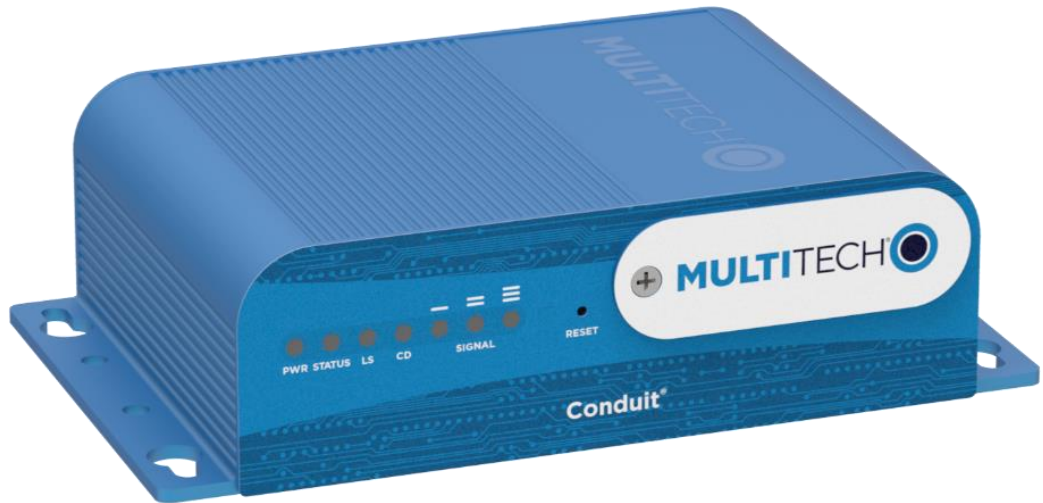
Vaikka yksi ConduitAP riittäisi todennäköisesti yhden tehdasalueen mittauksien käsittelyyn, eikä kantavuuden kanssa ollut testin aikana ongelmia, todellinen tarve useammalle yhdyskäytävälle on yksilöllistä kohteesta riippuen ja selviäisi vasta paikan päällä. LoRa ja ConduitAP ovat yhdessä kuitenkin toimiva kokonaisuus ja hyvä pohja jatkokehitykselle.

4.3 Kolmas laitetesti

Kolmannen laitetestin tarkoituksena oli jatkokehittää toisen testin aikaansaannosten päälle ja saamaan valmiiksi mittausjärjestelmän laitteisto-osio. Korjattavia puutteita olivat ensisijaisesti etäyhteyden luominen ja laajemman anturivalikoiman saavuttaminen. Testiin kuului myös olemassa olevien antureiden käyttöön-otto.

Laitetestiä varten tehtiin uusia hankintoja. Vanhan yhdyskäytävän korvaajaksi löytyi samalta valmistajalta raskaampaan käyttöön tarkoitettu Multitech Conduit -anturivalikoiman laajentamiseen löytyi Advantech Wise-4610 -LoRa-lähetin ja yhteensopiva Wise-S614 -I/O-moduuli.

Testiä varten hankittu uusi Conduit oli hyvin samanlainen kuin edeltäjänsä (Kuvio 12). Se on kuitenkin fyysisesti kestävämpi ja valmis hyödyntämään matkapuhelinverkkoa. Conduit tarjoaa Ethernet- ja LoRa-yhteyksien lisäksi paikallisiin yhteyksiin mahdollisuuden käyttää RS232-tietoliikenneporttia tai GPIO-moduulia. Etäyhteyttä varten hankittiin Elisan M2M-matkapuhelinverkkoliittymä, joka on tarkoitettu laitteiden etähallintaan ja tiedonsiirtoon, sekä mahdollistaa kaksisuuntaisen liikenteen verkossa.



Kuvio 12. Multitech Conduit (Multitech 2021c)

Antureita varten hankittiin Wise-4610 -LoRa-lähetin ja Wise-S614 -I/O moduuli, joka mahdollistaa samanaikaisesti neljän analogisen sisääntulon käsittelyn ja eteenpäin lähettämisen yhdyskäytävälle. Laitteen IP65-luokitus mahdollistaa asennukseen haastavampiinkin olosuhteisiin, mutta se vaatii kaapeloinnin antureille, sekä pidempää käyttöä varten oman virtalähteen.



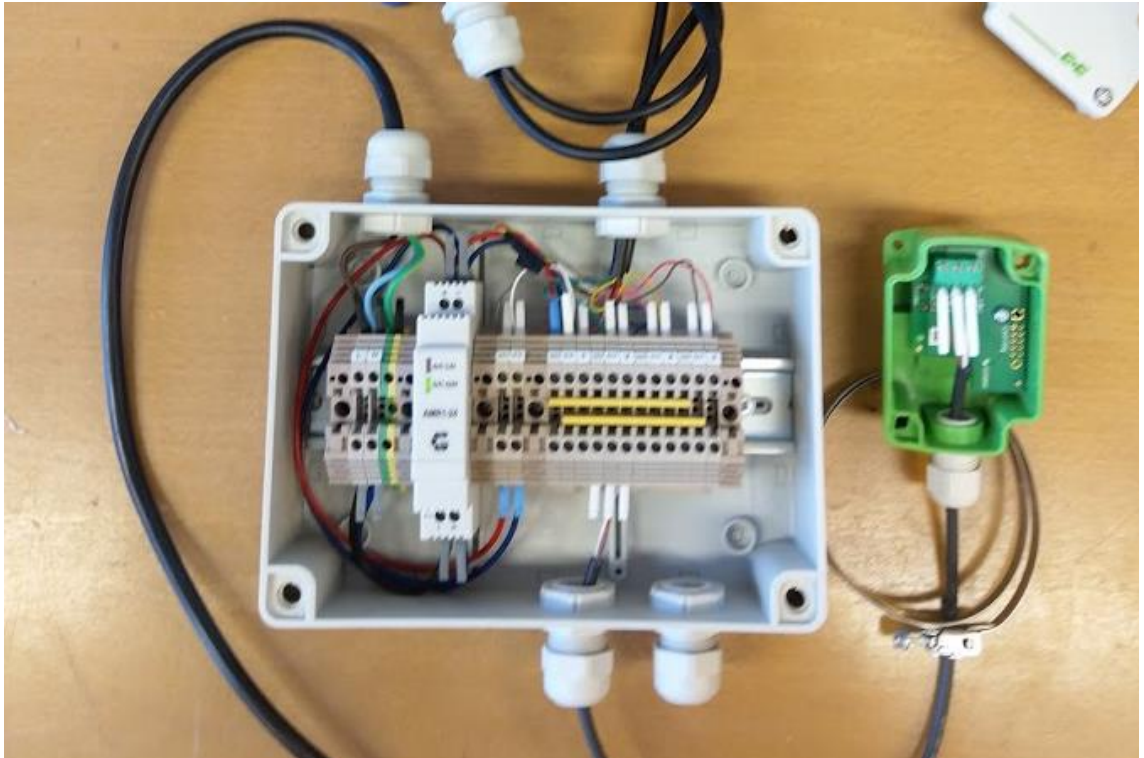
Kuvio 13. Wise-4610 ja Wise-S614 (Advantech 2021)

Tarkoitus oli toistaa uusilla laitteilla aiemmin saavutettu tilanne, mutta parannetuilla ominaisuuksilla. Laitetesti aloitettiin luomalla etäyhteys Conduitiin.

Elisan M2M-liittymä (Machine-To-Machine) mahdollistaa kaksisuuntaisen yhteyden ylläpitämisen ja tarjoaa käyttäjälle mahdollisuuden julkiseen IP-osoitteeseen käyttämällä oikeaa tukiaseman nimeä (APN). Tämä tarkoitti sitä, että konfiguroimalla Conduitin matkapuhelinverkon käyttämään PP-protokollaa (Point-to-Point) ja hyödyntämällä Elisan tarjoamaa julkista IP-osoitetta, Conduitiin saisi nyt yhteyden ulkoverkosta, jos tietää sen IP-osoitteen. IP-osoite vaihtuu joka kerta, kun laite käynnistyy uudelleen, joten sitä pitäisi pystyä seuraamaan jollain tavalla. Yksi yleinen tapa vaihtuvan IP-osoitteen seuraamiseen on käyttää kolmannen osapuolen DDNS-palvelua, mutta Multitech kuitenkin tarjoaa käyttäjilleen ilmaista laitteiden hallintapalvelua DeviceHQ.

Palveluun kirjautumisen jälkeen käyttäjä saa yksilöllisen avaimen, joka syötetään Conduitille sen hallintasivulla. Kun Conduit saa yhteyden internetiin, se yrittää heti muodostaa yhteyden hallintapalveluun ja ilmoittautuu sinne. Tämän jälkeen palvelusta voi seurata laitteen IP-osoitetta, muuttaa sen perusasetuksia ja esimerkiksi päivittää sen laiteohjelmiston.

Seuraavaksi otettiin käyttöön Advantechin Wise-mittalaitteet. Mittalaite käyttäytyy yhtenä LoRa-noodina ja sen Conduitiin yhdistämiseksi tarvittavat avaimet löydetään Wise-laitteille tarkoitetulla ohjelmistolla. Neljä anturia liitetään laitteeseen yhdellä M12-kaapelilla ja toisella sille syötetään virta. Siistiä ja suojattua kaapelointia varten tarvittiin kenttäkotelo. Sen kautta vietäisiin virta kaikille sitä tarvitseville antureille ja mittalaitteelle, sekä antureiden tietosignaalit (Kuvio 14).



Kuvio 14. Wise-mittalaitteita varten rakennettu kenttäkotelo

Kotelon kanssa antureiden asentaminen oli yksinkertaista. Kenttäkotelo voitaisiin asentaa DIN-kiskolle Wise-lähtetimen viereen ja antureiden kaapeli vedetään kotelon sisälle nimetyille riviliittimille. Verkkovirta jaetaan kaikille sitä tarvitseville laitteille johdonsuojakytkimen läpi.

Laitetestin aikana tieto siirrettiin IoT-maailmassa yleisesti käytetyllä MQTT-verkkoprotokollalla. Viestien vastaanottamista varten tietokoneelle asennettiin Eclipse Mosquitto MQTT -palvelin, jolle viestit julkaistiin. MQTT on julkaise-ja-tilaa-verkkoprotokolla, jossa kaikki tilaajat saavat julkaistun viestin samanaikaisesti ja viestit on helppoa jakaa useaan paikkaan kerralla. Kolmanteen laitetestiin kuului myös muiden olemassa olevien antureiden testaaminen ja viestien purkukoodin kirjoittaminen sekä Conduitin nopeaan käyttöönottoon tarkoitetun konfigurointi-tiedoston tekeminen.

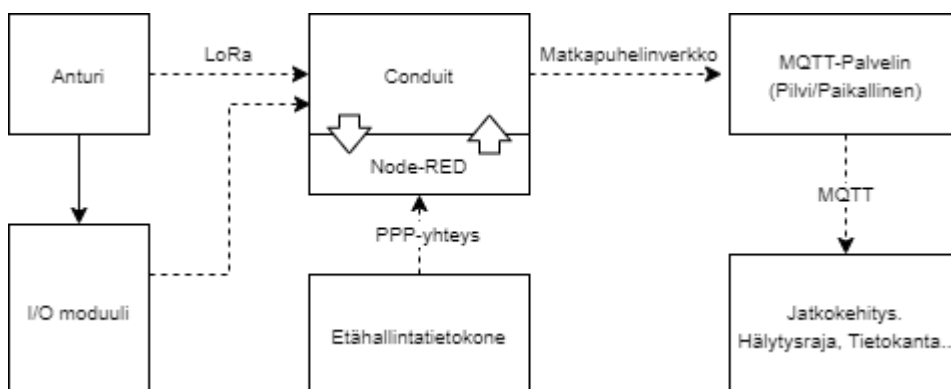
Kolmannessa laitetestissä päästiin lähelle lopullista laitteisto-osuuden ratkaisumallia (Kuvio 15). Yhdyskäytävien valvomiseen luotu DeviceHQ toimii odotetusti ja se mahdollistaa laitteiden etähallinnan. Etäyhteyden onnistumisen ansiosta,

laitteissa ilmenevät mahdolliset vika- ja ongelmatilanteet ovat ratkaistavissa kulkematta paikan päälle.

Matkapuhelinverkko mahdollistaa sen, ettei laitteiden käyttämiseksi tarvitse liittyä tai tehdä muutoksia paikallisverkkoon asiakkaan päässä. Järjestelmä toimii itsenäisesti ja tarvitsee vain verkkovirran. Matkapuhelinverkossa saattaa esiintyä mittauskohteesta riippuen häiriöitä, eikä yhteys välttämättä ole aina hyvä. Suurin osa mahdollisista mittakohteista on kuitenkin matkapuhelinverkon kantoalueella, eikä se tässä vaiheessa vaadi parannettavaa.

Hankittu Conduit on aiempaa yhdyskäytävää kestävämpi, mutta ei silti suojattu pölyltä tai roiskeilta. Sitä ei siis voi asentaa näkyvälle paikalle lähelle antureita, mutta se ei olisi ongelma. LoRan kantavuus on riittävä siihen, että Conduit voidaan aina sijoittaa esimerkiksi kenttäkaapin sisälle tai puhtaampaan valvontatilaan. Tarvittaessa Conduitista on kuitenkin olemassa IP67-luokiteltu versio.

Puutteeksi järjestelmään jäi edelleen hälytysrajojen tekeminen. Tavoitteena olisi, että järjestelmältä tulisi erillinen ilmoitus aina, kun johonkin anturiin asetettu hälytysraja ylittyy. Mahdollisuuksia hälytysrajojen luomiseksi on monta, mutta niiden toteutus ei vielä onnistunut. Conduitilla on mahdollista lähettää SMS- ja sähköpostiviestejä, mutta se ei vielä onnistunut Node-RED-ohjelmassa. Ehkä jokin tuleva laiteohjelmistopäivitys korjaa tilanteen. Myös MQTT-jakelulla voisi luoda oman hälytysjärjestelmän, mutta hälytysrajojen luominen jää toistaiseksi keskenräiseksi.



Kuvio 15. Laitteisto-osion valmistumisen jälkeinen järjestelmäkaavio.

5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa kunnossapitoalan asiantuntijayrityksen palveluiden rinnalle etäkunnonvalvontajärjestelmän laitteisto-osio. Ensimmäiset testit tehtiin laitteilla, joita yrityksessä oli käytetty jo aiemmin, mutta niillä tavoitteisiin pääsy osoittautui turhan hankalaksi. Olen tehnyt prototyyppejä vastaavanlaisista kokonaisuuksista aiemmin ja tahdoin tehdä jotain samanlaista, ottaen kuitenkin huomioon teollisuusympäristön tuomat haasteet. Sain suunnitteluun ja toteutukseen vapaat kädet, kunhan tietyt tavoitteet toteutuisivat.

Mielestäni suurin osa työlle asetetuista tavoitteista täyttyi paremmin, kuin osasin odottaa. Yhdyskäytävän käyttöönottoon riittävät konfigurointitiedoston ajaminen ja SIM-kortin asentaminen. Vastaanotetun tiedon käsittelyn ja uudelleenohjaamisen voi tehdä myöhemmin mistä tahansa. Mittakohteeseen on mahdollista asentaa antureita täysin tarpeen mukaan. Kenttäkotelot ja LoRa-noodit mahdollistavat mittauksen ja lähetyksen kaukaa yhdyskäytävästä ja monesta eri kohteesta. Järjestelmä on laajennettavissa käytännössä loputtomasti ja sen pitäisi riittää kaikkiin yrityksen käyttötarpeisiin.

Kaikkiin projektin tavoitteisiin ei päästy, vaan esimerkiksi hälytysrajat jäivät tästä kehitysvaiheesta vielä uupumaan. Projekti jatkuu myöhemmin tiedonkäsittelyvaiheeseen, jossa on tilaa ja aikaa jatkokehitykselle ja ratkaisujen löytämiselle.

Tässä vaiheessa kehitystyö tietoturvan vahvistamiseksi ei tunnu tarpeelliselta. LoRa-laitteiden viestintä on salattua, eikä mittausjärjestelmillä tehdä minkäänlaisia ohjauksia mittakohteessa. Yhdyskäytävän ohjelmistossa on tulevaisuuden tarpeiden varalle erilaisia tapoja käyttäjien turvalliseen tunnistamiseen ja siinä käytetään valmiiksi palvelunesto- ja väsytyshyökkäyksiä estäviä ohjelmia.

LÄHTEET

- Advantech 2021. WISE-4610. Viitattu 5.5.2021 https://www.advantech.com/products/23ed4776-1633-4901-a776-8532a23ea8b4/wise-4610/mod_b9c0a2e0-c841-4826-8008-36a91d837e1e
- Ewon 2020. Ewon By HMS Networks. Viitattu 29.4.2021 https://www.ewon.biz/products/cosy/cosy-131-4g-europe?order-code=EC6133G_00MA.
- Hydac Electronic 2012. Condition Monitoring Unit. Viitattu 29.4. https://www.hydac.com/uploads/tx_userhysoftware/User_manual_CMU_1000_E_2012-05-24.pdf.
- Kessissoglou, N. & Peng, Z. 2003. Integrating Vibration and Oil Analysis for Machine Condition Monitoring. Viitattu 29.3.2021 <https://www.machinerylubrication.com/Read/460/integrating-vibration-oil-analysis>.
- Laird Connect 2020. RS1xx LoRa Protocol. Viitattu 29.4.2021 <https://www.lairdconnect.com/documentation/application-note-rs1xx-lora-protocol>.
- Laird Connect 2021. Sentries RS1xx LoRa-Enabled Sensors. Viitattu 29.4.2021 <https://www.lairdconnect.com/wireless-modules/lorawan-solutions/sentries-rs1xx-lora-enabled-sensors>.
- LoRa Alliance 2021. What is LoRaWAN Specification. Viitattu 3.5.2021 <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>
- Multitech 2018. MultiTech Conduit AP. Viitattu 2.5.2021 <https://www.multitech.com/documents/publications/data-sheets/86002187.pdf>.
- Multitech 2021a. Multitech. Viitattu 2.5.2021 <https://www.thethingsnetwork.org/forum/uploads/default/original/2X/2/21ee69b4bf6313641eb0ba2c7f605088c6cf1b9c.png>.
- Multitech 2021b. How does the Conduit's LoRa end-device limitation work? Does this affect total possible connections?. Viitattu 2.5.2021 https://www.multitech.com/support/resolutions/How%20does%20the%20Conduit%27s%20LoRa%20end-device%20limitation%20work%20Does%20this%20affect%20total%20possible%20connections_o67118.
- Multitech 2021c. MultiTech Conduit. Viitattu 3.5. 2021 <https://www.multitech.com/brands/multiconnect-conduit>
- Prüftechnik 1992. Vibration Handbook. Viitattu 1.4.2021 https://www.tinex-diagnostika.si/slike/PRUFTECHNIK_Vibration_Handbook.pdf.
- Tan Delta Systems 2017. OQS Oil Quality Sensor (OQSx) User Guide. Viitattu 20.4.2021 <https://manualzz.com/doc/7487688/oqs-oil-quality-sensor--oqsx-->

user-guide.

Tan Delta Systems 2021. OQSx-G2 Real Time Oil Condition Analysis Sensor. Viitattu 20.4.2021 <https://www.tandeltasystems.com/products/oqsx-g2/>.

TE Connectivity 2021. 8911 Wireless Accelerometer For Proof of Concept. Viitattu 1.4.2021 https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7F8911_Wireless_Accelerometer%7FA3%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_8911_Wireless_Accelerometer_A3.pdf%7F20011588-00.

Wilson, J. S. (toim.) 2005. Sensor Technology Handbook, Viitattu 20.4.2021 https://doc.lagout.org/science/0_Computer%20Science/8_Electronics%20%26%20Robotics/Sensor%20Technology%20Handbook%20-%20By%20J.%20Wilson.pdf.

Yan, J. 2015. Machinery Prognostics and Prognosis-Oriented Maintenance Management. Viitattu 22.4.2021 <https://download.e-bookshelf.de/download/0002/9747/38/L-G-0002974738-0005640015.pdf>.

Zhu, J. 2013. Survey of Lubrication Oil Condition Monitoring, Diagnostics, Prognostics Techniques and Systems. Viitattu 14.4.2021 https://www.researchgate.net/profile/Eric-Bechhoefer/publication/273945596_Survey_of_lubrication_oil_condition_monitoring_diagnostics_prognostics_techniques_and_systems/links/55ae3bfc08ae98e661a5ff55/Survey-of-lubrication-oil-condition-monitoring-diagnostics-prognostics-techniques-and-systems.pdf.