

IoT KUNNOSSAPIDON TYÖKALUNA



Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Teknologiaosaamisen johtaminen

Visamäki 25.5.2020

Matti Asunmaa

Teknologiaosaamisen johtaminen

Visamäki

Tekijä	Matti Asunmaa	Vuosi 2020
Työn nimi	IoT KUNNOSSAPIDON TYÖKALUNA	
Työn ohjaaja	Juhani Henttonen	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön pohjana on ollut IoT-alustan käyttö kunnossapidon kunnonvalvonnan toteutukseen ja värähtelymittauksien ottaminen käyttöön yhtenä ennakkohuoltojen työkaluna Sako Oy:llä. Työstä selviää yleisimmät IoT-järjestelmän rakentamisen elementityleistasolla ja millaisia menetelmiä on juuri nyt ollut saatavilla.

Työn tavoitteena on ollut selvittää tuoko IoT-alusta ja värähtelymittauskierrokset hyötyjä työstökoneiden kunnonvalvonnassa pääosin värähtelymittauksien kautta ja lisäksi uuden IoT alustan käyttö kunnossapitoasentajien ammattitaitoa.

Tutkimusmenetelmänä on käytetty tapaustutkimusta ja rajattu vain ja ainoastaan Sako Oy:n työstökoneiden mittaukset ja järjestelmän rakennus. Työssä ei ole huomioitu myöskään kunnossapidon ulkopuolista henkilöstöä.

IoT-alustat ovat teknologiamurroksessa ja lisääntyy kovaa vauhtia monella eri tasolla. Tässä työssä on käytetty IoT-alustana Remion Regattaa ja laitteistot on toteutettu sekä langallisina versioina että langattomina LoRa-verkossa toimivien gateway-laitteiden avulla. Anturidata siirtyy radiotaajuuksilla eteenpäin ja käsitellään pilvipalvelussa.

Työn aikana järjestelmän ja värähtelymittarin avulla saatiin ennakoitua usea tuleva konerikko tuotantolaitteella ja tämä säästi paljon rahaa. Järjestelmän rakennuskustannukset säästettiin jo ensimmäisen vuoden aikana käyttöönotosta. IoT-alustan rakentaminen on ollut hyödyllistä ja tullaan jatkamaan lisäämällä antureita uusiin kohteisiin. Kunnossapidon osaaminenkin lisääntyi, kun henkilöstö pääsee itse katsomaan anturidataa ja määritellyt hälytysrajat helpottavat tulkintaa.

Avainsanat IoT
Kunnonvalvonta
Värähtelymittaus
Ennakkohuolto

Sivut 62 sivua, joista liitteitä 18 sivua

Strategic Leadership of Technology-based Business
 Visamäki

Author	Matti Asunmaa	Year 2020
Subject	IoT as a tool for industrial maintenance	
Supervisors	Juhani Henttonen	

ABSTRACT

Base for this thesis has been how to use IoT-platform for condition based maintenance of machinery. Vibration monitoring of the machines is also key part as a helpful tool for preventing maintenance actions. On this thesis you will find how to set up a IoT-platform from basics and what kind of technologies has been on the market.

Main goal was to find out is IoT-technology and vibration monitoring useful in machine tool maintenance and does it add any new skills for maintenance workers. Study method has been case study within Sako Ltd machinery and maintenance workers. Contractors have been ingored on this project to create trust on subject.

IoT-platforms are in rising star mode of technology and increasing very fast pace on many levels. In this case we used Remion Regatta as a IoT-platform and equipments have been complished with wireless and ethernet technology based on LoRa-network gateway devices. Sensor data transmits through radiowaves and are managed in cloud-based server provided by Remion Oy.

During the work with the IoT-system and vibration meter were used to predict several future machine failures with the production equipment and this saved a lot of money. The set up working costs of the system were saved during the first year of commissioning. The setup of the IoT platform has been beneficial and will continue with the addition of sensors to new sites. Maintenance skills also increased when personnel can view the sensor data themselves and defined alarm limits facilitate early interpretation.

Keywords IoT
 Condition based maintenance
 Vibration metering
 Preventing maintenance

Pages 62 pages including appendices 18 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TAVOITE.....	7
3	IOT ELI ESINEIDEN INTERNET.....	8
3.1	Mihin IoT on tarkoitettu ja miksi se on tärkeää.....	10
3.2	IoT-tiedonkeruun periaate.....	11
3.2.1	Tiedonsiirtomenetelmät.....	11
3.2.2	LoRa-verkko yleistietoa.....	12
3.2.3	LoRa-laitteistot ja luokittelut.....	12
3.2.4	LoRa-tiedonsiirto.....	13
3.2.5	LoRa-sovellutuksia.....	13
4	KUNNONVALVONNAN PERUSTEET.....	13
4.1	Johdanto kunnonvalvontaan.....	13
4.2	Värähtelymittaustekniikat.....	14
4.3	Signaalien käsittely.....	18
4.3.1	Vaihekulma-analyysi.....	18
4.3.2	Tärinärasitus eli RMS-mittaus.....	18
4.3.3	Spektrianalyysi.....	19
4.3.4	Verhokäyräanalyysi.....	21
4.3.5	Keskiarvotettu Aikatasoanalyysi.....	22
4.3.6	Mitattavat suureet värähtelymittauksissa.....	23
4.3.7	Signaalien muuntaminen.....	24
4.4	Yleisimmät värähtelymittausanturit.....	26
4.4.1	Kiihtyvyyssanturit.....	26
4.4.2	Iskusysäysmenetelmä eli SPM-anturi.....	27
4.5	Kunnonvalvonta standardeja värähtelystä.....	27
5	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	29
5.1	Tavoiteasetanta.....	29
5.2	Toteutussuunnitelma lähtötilanteessa.....	29
5.3	Valittu IoT-teknologia ja kunnonvalvontalaitteisto.....	31
5.3.1	Remion Regatta IoT-alusta.....	31
5.3.2	LAPP Automaatio IoT-key palvelun osat.....	32
5.3.3	Valitut anturit sovelluskohteittain.....	33
5.3.4	SPM Diamond värähtelymittauslaite.....	33
5.4	Asennukset ja tiedon jalostaminen alkuvaiheessa.....	34
5.5	Suoritettuja töitä ja vikatapahtumien dokumentointi.....	35
5.5.1	GFM 10 taontakoneen hihnavika.....	35
5.5.2	Atlas Copco VSD 75 kompressorin laakerivaurio.....	37
5.5.3	Hardinge cnc-sorvin karamoottorin ongelmat.....	37
5.6	Toiminnan parantaminen jatkossa.....	38

6 TULOKSET	39
7 POHDINTAA	40
LÄHTEET	42

Liitteet

Liite 1	LAPP Automaatio IoT-key lähetin tuotelehti
Liite 2	LAPP Automaatio IoT-key Gateway tuotelehti
Liite 3	IFM VTV 122 värähtelyanturi tuotelehti
Liite 4	LAPP Automaatio EPIC Sensors lämpötila-anturi tuotelehti
Liite 5	IFM VSA 001 värähtelyanturi tuotelehti
Liite 6	EPLUSE EE060 Kosteusanturi tuotelehti
Liite 7	IFM värähtelyn diagnostiikkayksikkö tuotelehti
Liite 8	EPIC Sensors kaapeli lämpötila-anturi
Liite 9	SPM Diamond värähtelymittarin tekniset tiedot

1 JOHDANTO

Nykyisissä konepajoissa on erittäin tärkeää pitää koneet ja resurssit mahdollisimman hyvällä käyttöasteella. Käytettävien koneiden tärkeimmät tekijät tuotantokyyntä ylläpitämiseen ovat ennakoiva kunnossapito ja korjaava kunnossapito. Koneiden kunnonvalvontaa on vaikea seurata ilman anturointia ja jatkuvaa laadunseurantaa. Kunnossapidon laiminlyönti aiheuttaa suuria kustannuksia, jos korjaustoimenpiteitä ei päästä tekemään ajoissa. Joskus koneet ehtivät särkyä, ennen kuin huoltoon on ajateltu tehtäväksi, mutta on otettava huomioon myös inhimillisten tekijöiden aiheuttamat hajoamiset. Ennakoidulla kunnossapidolla voidaan säästää kunnossapitoon käytettäviä resursseja ja nostaa koneiden käyttöasteita ja käyttöikää korkeammaksi. Kilpailukyvyntä ylläpitäminen hyvässä kunnossa olevien laitteiden kautta on entistä tärkeämpää nykypäivän valmistavassa teollisuudessa.

Sako Oy (Suojeluskuntain Ase- ja Konepaja Osakeyhtiö) on perustettu vuonna 1921 Helsingissä ja vuodesta 1927 lähtien toiminta on ollut Riihimäellä. Sako Oy on Euroopan johtava metsästys- ja urheiluaseiden valmistaja. Vuodesta 2000 alkaen Sako Oy on kuulunut maailman vanhimman teollisen perheyhtiön, Beretta-konsernin omistukseen. Asetehdas sijaitsee Riihimäellä, muut toimipaikat sijaitsevat Ruotsissa ja Kanadassa. Sakolla työskentelee noin 300 henkilöä. Päätoimintoja ovat metsästys- ja urheiluaseiden sekä patruunoiden suunnittelu, valmistus, markkinointi ja myynti maailmanlaajuisesti. Kiväärit, joita Sako Oy valmistaa, ovat Tikka ja Sako. Suomessa Sako Oy on alan johtava maa-hantuaja ja tukkuri. (Sako Oy.)

Italialainen omistaja Beretta on maailman vanhin teollinen perheyhtiö, jonka kirjoitettu historia ulottuu vuoteen 1526. Beretta-konsernin päätuoteryhmät ovat metsästys- ja urheiluammuntaan valmistetut haulikot, pistoolit, kiikari ja kiikaritähäimet sekä kiväärit ja patruunat. Beretta suunnittelee ja valmistaa myös vapaa-ajan tekstiilejä ja varusteita. Konsernin pääkonttori sijaitsee Bresciassa, Pohjois-Italiassa. (Sako Oy.)

Sakon sisäinen kunnossapito palvelee kaikkia toimintoja koneiden ja kiinteistöön liittyvien asioiden osalta. Hallittavana on yli 250 yksittäistä laitetta ympäri tehdasaluetta. Tuotannon kannalta kriittisiä laitteita on noin 30 kappaletta ja näiden ylläpitäminen käynnissä on tärkeysasteeltaan suurin. Kunnossapidossa on henkilöstönä neljä mekaanista asentajaa, kolme sähkömiestä, kunnossapitoinsinööri ja kunnossapitopäällikkö. Lisäksi käytetään alihankkijoita muilla osa-alueilla ja resurssien tasauksessa tarpeen vaatiessa kuten elektroniikkakorjaus.

Perusteet työn aiheelle tulee omassa työssäni kohtaamaani ongelmaan saada ennakoitua tietoa koneen osien hajoamisesta. Tuotantokoneiden seisahtuminen konerikon takia maksaa todella paljon varsinkin vientiyrityksissä ja kaikkia kustannuksia ei välillisesti edes voi laskea tarkasti. Ennakoivan kunnossapidon kehittämisellä voidaan saada suuria kustannussäästöjä konerikkojen aiheuttamilta tuotantokatkoksilta. Karkeasti ottaen konetuntihinta on yleisesti suomessa noin 50 - 60 €/h ja siihen päälle menetetty tuotanto, jota voi olla vaikea laskea tarkasti. Rahallisesti tutkimuksella olisi vaikutus tuottavuuteen ja kunnossapidon kustannuksien laskemiseksi. Kunnossapidon tehtävänä on palvella tuotantoa, niin että koneet pysyisivät paljon käytettävissä silloin, kun niille on ajoa ja pyritään huoltamaan silloin, kun siihen on varattavissa eniten aikaa.

Ongelmanratkaisuun kunnonvalvonnassa on olemassa keinoja ilman suuria investointeja, mutta nämä ratkaisut ovat työläitä ja sitovat henkilöresursseja mittaamaan tuotantokoneita reaaliaikaisesti eri mittareilla. Näissä manuaalimittauksissa on myös riski mitausvirheen esiintymiselle. Jokainen manuaalinen mittaus sisältää virheen mahdollisuuden, ja tämä virheen mahdollisuus voi myös hukata hyödyn koko säännöllisestä mittauksesta. Kaikki mitattu data pitäisi samalla saada järkevästi kerättyä, jotta osataan reagoida tarpeeksi nopeasti muutoksiin. Tiedon määrän käsittely tulee tässä tavassa ongelmaksi ensimmäisenä.

Mitattavat suureet vaatisivat monta eri mittalaitetta, koska esimerkiksi osa kannettavista värinämittauslaitteista ei mittaa toista suurta esimerkiksi lämpötilaa tai sähkövirtaa. Monesti myös värähtelyä mittaavissa laitteissa ei ole kuin yksi tapa mitata värähtelyä, eri tyyppiset sovellukset voivat vaatia useampaa tapaa mitata tai käsitellä värähtelyä, jotta saadaan haluttu tieto koneen todellisesta kunnosta.

Useat teolliset ratkaisut on tehty automaatiojärjestelmiin, joista nähdään reaaliaikaisesti tietoa eri antureista ja koko prosessin laitteista. Automaatiojärjestelmän rakentaminen pieneen konepajaan ei ole kustannuksellisesti järkevää tai sisäiset toiminnat eivät vaadi niin raskasta tapaa mitata kohteita. Isomman mittakaavan prosessiteollisuudessa automaatio-ohjausjärjestelmien rakentaminen on toiminnan kannalta elintärkeää, mutta yleisesti konepajoissa on enemmän yksittäisiä laitteita hajautetuissa paikoissa.

2 TAVOITE

Tällä tutkimuksella haetaan vastausta seuraaviin kysymyksiin:

- 1) Saadaanko kunnossapidon toimintaa tehostettua kuntoon perustuvaan huoltamiseen IoT:n ja värähtelymittausrutiinien avulla?
- 2) Tuottaako järjestelmä sellaista dataa, jota voidaan hyödyntää juuri Sakon koneiden kunnossapidossa?
- 3) Parantuuko kunnossapidon henkilöstön osaaminen uuden työkalun käyttöönoton myötä?

Tutkimusta tehdään vain ja ainoastaan Sakon tuotantokoneilla ja otetaan huomioon vain kunnossapidon henkilöstö.

Tavoitteena on selvittää, onko uudesta värähtelymittaukseen ja lämpötila/kosteusmittaukseen perustuvasta järjestelmästä hyötyä kunnossapidon toimintaan. Työn tuloksena on saavuttaa riittävän tarkkaa mittausdataa lähinnä laakereiden ja yleisestä kunnosta, jotta voidaan ennakoida korjaukset ennen kuin ne hajoavat. Kunnossapidon henkilöstön osalta saavutetaan uusi osaamistaso mittaustulosten tulkitsemisessä ja jokainen osaa hyödyntää itsenäisesti datan keräämistä työssään.

Työssä tullaan hyödyntämään standardoituja värähtelymittauksia, joita on kansallisessa PSK:n käsikirja 3:ssa käsittäen koko PSK 5700 -sarjan ja kansainvälisessä ISO 10816-3 standardissa. Esineiden internetiä eli IoT:tä hyödynnetään etävalvontaan, koska nykyiset teknologiset innovaatiot sen mahdollistavat.

3 IOT ELI ESINEIDEN INTERNET

Määritelmän mukaan teollisessa internetissä on kyse fyysisistä laitteista, jotka pystyvät aistimaan ympäristöään ja viestimään tai toimimaan aistimansa perusteella älykkäästi. Tähän tarvitaan antureita, ohjelmistoja sekä tietoliikenneyhteyksiä, jolloin sensorit, koneet, prosessit ja palvelut tuottavat jatkuvasti tietoa, jota jalostamalla voidaan muun muassa ennakoita ja automatisoida työvaiheita. Verkottuneita laitteita, jotka voivat kuulua esineiden Internetiin voivat olla käytännössä mitkä tahansa laitteet, jotka täyttävät vaatimukset laskentatehon, verkkoyhteyden, datan käsittelyn ja ohjelmiston osalta. (Gartner Inc.)

Toiminnan tehokkuus on yksi IIoT:n tärkein etuus, jota varhaisen vaiheen käyttöönottajat tavoittelevat. Toimintojen automatisointi ja joustavampi tuotanto tekniikat edesauttavat tehokkuuden saavuttamisessa. Vaikka yritykset tarkastelevat ja alkavat hyödyntää IIoT: tä operatiivisena tehokkuusstrategiana, se tarjoaa myös runsaasti potentiaalia laitteita ja tuotteita valmistaville esitellä uusia digitaalisia tuotteita ja palveluita tuottamaan aivan uusia tuloja eri luokkiin. Laitteiden omistajille ja käyttäjille, kuten prosessiteollisuuden yrityksillä, on todellinen mahdollisuus kasvattaa tuloja. Helpoin tapa päästäkseen tavoitteeseen on välttää seisokkeja ja laitosten alasajoja, tällä tavalla lisätään tuotantokapasiteettia. Esimerkiksi ennakoivan kunnossapidon tietoon voidaan luottaa tarpeettomien sammutusten välttämiseksi ja tuotteiden tekemistä voidaan jatkaa pidempään. (Accenture 2020.)

Hyvä esimerkki teollisen internetin hyödyntämättömästä potentiaalista on teollisuuden kunnossapito. Tehokas kunnonvalvonta perustuu sensoridataan, jonka avulla on mahdollista seurata koneiden todellista kuntoa reaaliajassa sekä ennustaa tehokkaasti potentiaalisten vikojen esiintymistä. (Caverion.)

Ajantasaisen analytiikan avulla tuotantolinjan kriittisten osien häiriöt voidaan havaita heti ensi merkeistä ja myös tarvittavat huoltotoimenpiteet on mahdollista tehdä ajoissa. Näin myös mahdollisiin häiriötilanteisiin pystytään puuttumaan ajoissa ennen kalliita tuotantokatkoksia. Perinteiseen, huolto-ohjelman mukaiseen huoltomalliin verrattuna ennakoiva kunnossapito parantaakin siksi huomattavasti teollisuuden tuotantotehokkuutta. (Caverion.)

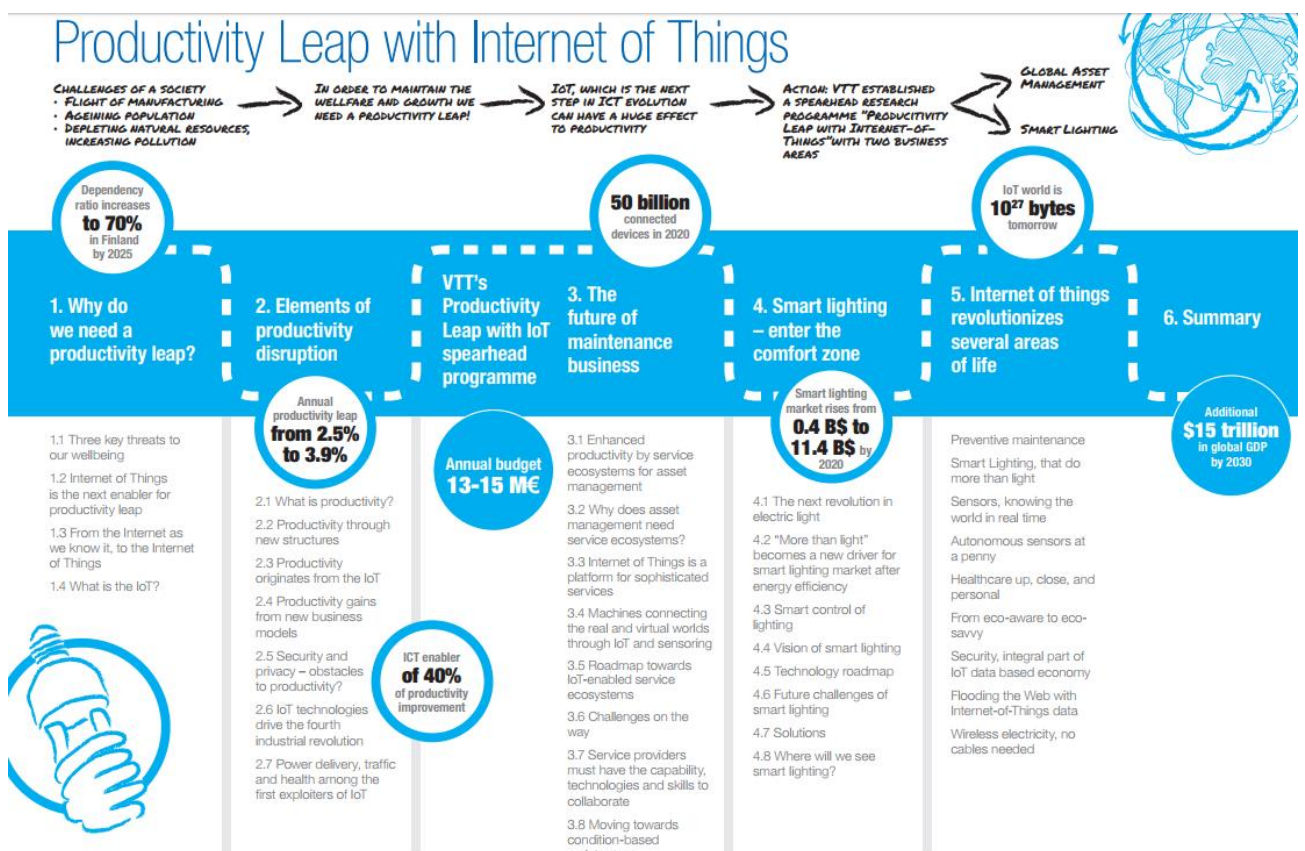
Sensoridatan hyödyntäminen ja online-värähtelyanalytiikka eivät sinällään ole mitään uusia keksintöjä teollisuudessa, mutta niiden hyödyntäminen on jäänyt laahaamaan jäljessä. Jotta sensoritekniikalla kerätystä datasta olisi todellista hyötyä, tulee käyttöliittymän ja käyttäjäkokemuksen olla hyvä, asentamisen ja huoltamisen helppoa ja lisäksi dataa on osattava analysoida käyttötarpeen mukaan. (Caverion.)

Teollinen internet muuttaa merkittävästi liiketoiminnan dynamiikkaa: se muokkaa koko liiketoimintaekosysteemiä vaatien uudenlaista verkottumista ja yhteistyötä, luo uudenlaista kilpailua sekä avaa uusia mahdollisuuksia arvon luontiin. Teollinen internet ei ole pelkästään olemassa olevien toimintojen tehostamisesta, se luo uusia merkittäviä liiketoimintamahdollisuuksia yrityksille toimialasta riippumatta. Teknologiat kuten lohkoketjut, erilaiset sensorit sekä tietojen jakaminen sekä analytiikka tuovat

liiketoimintapartnerit yhä lähemmäksi toisiaan arvoverkostoissa ja muuttavat liiketoiminnan arvoluonnin periaatteita sekä toimintatapoja. (VTT 2020.)

Teollinen internet käsittää tieto- ja viestintäteknologian soveltamisen teollisuudessa ja yhteiskunnassa toimintojen tehokkuuden lisäämiseksi ja tuomaan lisäarvoa asiakkaille ja käyttäjille. Internet ja mobiiliteknologia ovat muuttuneet yleisesti ja helposti saatavilla oleviksi työkaluiksi, joilla on jatkuvasti helpompaa ja halvempaa kehittää uusia sovelluksia. Teollisen internetin käyttö mahdollistaa uusia teollisuus- ja palveluliiketoimia yhdistämällä älylaitteet ja niitä käyttävät ihmiset analysointiin ja päätöksentekoon. (Aalto yliopisto 2020.)

VTT on tehnyt IoT:n hyödyntämisestä tutkimusta esimerkiksi kuinka tuottavuutta nostettaisiin hyödyntämällä kaikkia esineiden internetin sovellusmahdollisuuksia (Kuva 1.).



Kuva 1. Kuva 1. VTT:n näkemys tuottavuuden kasvusta IoT:n avulla (VTT 2013).

Isommassa mittakaavassa vaikutuksia IoT:n kehityksestä on vaikea ennustaa, mutta tunnistetieto-, anturointi- ja toimilaitemaailman yhdistäminen toisiinsa luo uusia ulottuvuuksia liiketoimintaan ja arkipäiväiseen elämään. IoT-sovellukset tulevat mullistamaan ympäröivää maailmaa esimerkiksi liikenteessä, jossa voidaan saada reaaliaikaista tietoa edessä olevista olosuhteista tai ruuhkatilanteista suoraan päätelaitteelle, jota käytämme. (VTT 2013.)

Monella IoT-laitteiden valmistajalla on vähän tai ei ollenkaan tietoa internetiin liitettävistä laitteista. Heikon tuntemuksen vuoksi valmistajat pääsevät turvallisuusongelmista helposti irti ilman seuraamuksia, koska kukaan ei ole valvomassa tai säännöstelemässä miten laitteet tulisi rakentaa tai suojata. Yleisimmät IoT-laitteen tietoturvaluisuus riskit liittyvät heikkoon tunnistautumiseen salasanojen muodossa, sallittu vapaa pääsy internetiin porttien kautta ja tietoturvapäivitysten puutos. Yleisimmin teollisissa sovelluksissa käytetään hyväksi tietomurroissa erilaisia gateway-laitteita, jotka välittävät dataa eteenpäin antureilta. Kuluttajamaailmassa helpoin reitti päästä käsiksi tietoihin on mennä erilaisten älylaitteiden kautta kuten älypuhelimet tai televisiot. (F-SECURE.)

Helppoa esineiden internetin tietoturvan kehittäminen ei ole. Kotilaitteiden tai tehdaskoneiden käyttöjärjestelmissä ei ole laajasti käytettyjä alustoja ja yhteisiä standardeja tietokoneiden tapaan, joten laitteiden välinen viestintä voi olla vaikeaa. (Kauppa-lehti.)

3.1 Mihin IoT on tarkoitettu ja miksi se on tärkeää

Esineiden internet auttaa ihmisiä elämään ja työskentelemään älykkäämmin sekä saamaan lisää hallintaa elämäänsä. Älykkäiden laitteiden lisäksi kotien automatisointiin, IoT on välttämätöntä liiketoiminnalle. IoT tarjoaa yrityksille reaaliaikaisen kuvan siitä, kuinka heidän järjestelmänsä todella toimivat tarjoamalla läpinäkyvyyttä kaikista koneiden suorituskyvyn mittaamisesta aina toimitusketjun ja logistiikan toimintoihin saakka.

IoT antaa yrityksille mahdollisuuden automatisoida prosesseja ja vähentää työvoimakustannuksia. Se vähentää myös jätteiden määrää ja parantaa palveluiden toimittamista, mikä tekee tavaroiden valmistuksesta ja toimittamisesta halvempaa sekä tarjoaa avoimuuden asiakashintaan.

IoT on sinällään yksi tärkeimmistä arjen tekniikoista, ja se jatkaa kasvuaan, kun yhä useammat yritykset ymmärtävät kytkettyjen laitteiden mahdollisuudet pitää ne kilpailukykyisinä. IoT kannustaa yrityksiä uudelleenajattelemaan tapojaan tehdä liiketoimintaa ja antaa heille välineet liiketoimintastrategioidensa parantamiseksi.

IoT tarjoaa organisaatioille useita etuja. Jotkut edut ovat toimialakohtaisia, ja toisia voidaan soveltaa useille toimialoille. Yleiset edut yrityksille ovat:

- Seurata kokonaisuuden liiketoimintaprosesseja
- Kehittää asiakaskokemuksia
- Säästää aikaa ja rahaa
- Kehittää työntekijöiden tuottavuutta
- Integroida ja sopeuttaa liiketoimintaa
- Päätöksenteon tuki
- Tehdä parempaa voittoa liiketoiminnasta

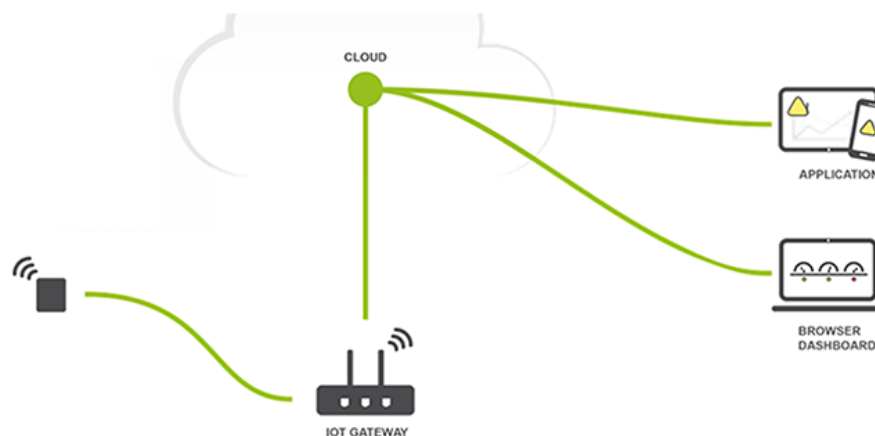
Yleensä IoT:iä on runsaimmin valmistuksessa, kuljetuksessa ja palveluorganisaatioissa, joissa hyödynnetään antureista ja muista IoT-laitteista saatavaa tietoa. Sille on kuitenkin löytynyt käyttökohteita myös maatalouden, infrastruktuurin ja kotiautomaation

teollisuuden organisaatioille. Joillakin organisaatioilla se johtaa kohti digitaalista muutosta liiketoiminnassa. (Techtarget network 2020).

3.2 IoT-tiedonkeruun periaate

Tiedonkeruun pohjalle tarvitaan aina laitteistoa, jolla anturilta tuleva data saadaan tuotua johonkin tietokantaan ja siellä käsitellään näytettävään muotoon (Kuva 2).

IoT-ekosysteemi koostuu verkko-ominaisuuksilla varustetuista älylaitteista, jotka käyttävät sulautettuja järjestelmiä, kuten prosessoreita, antureita ja viestintälaitteita, kerätäkseen, lähettämään ja toimimaan ympäristöstä hankkimiensa tietojen perusteella. IoT-laitteet jakavat kerätyt anturitiedot yhdistämällä IoT-Gatewaylle tai muuhun päätelaitteeseen, jossa tiedot joko lähetetään pilveen analysoitavaksi tai analysoitavaksi paikallisesti. Joskus nämä laitteet ovat yhteydessä toisiinsa liittyviin laitteisiin ja toimivat toisistaan saamiensa tietojen perusteella. Laitteet tekevät suurimman osan työstä ilman ihmisen puuttumista, vaikka ihmiset voivat olla vuorovaikutuksessa laitteiden kanssa. Ihminen voi esimerkiksi tehdä laitteille asetukset, antaa laitteille toimintaohjeita tai käyttää niiden keräämää tietoa. (Techtarget network 2020.)



Kuva 2. IoT-järjestelmän periaatekuva (RD-Velho).

3.2.1 Tiedonsiirtomenetelmät

Yleisesti markkinoilla olevia datansiirto- ja standardoituja menetelmiä ovat: Ethernet, Long Range Wide Area Network (LoRaWAN), Sigfox, Bluetooth, 6LoWPAN, ZigBee, LiteOS, OneM2M, Data Distribution Service (DDS), Advanced Message Queuing Protocol (AMQP), Constrained Application Protocol (CoAP), NFC, 4G/5G-verkot ja erilaiset PLC-väylätekniikoiden laitteet. Uusia arkkitehtuureja kehitellään koko ajan lisää eri menetelmien kehittyessä IoT:n mukana.

Käyttäjänäkökulmasta valittavan ratkaisun määrää järjestelmän sidonnaisuus toisiinsa, toisin sanoen halutaanko langatonta tiedonsiirtoa vai perinteistä LAN-verkkoon menevää ratkaisua. Riippumatta siitä onko antureilta saatava tietoa langatonta vai langallista, kerätty tieto vaatii aina Gateway-laitteen, jolla tieto siirretään pilvipalveluun tai paikalliselle palvelimelle. (Techtarget network 2020).

3.2.2 LoRa-verkko yleistietoa

LoRaWAN on spesifinen tiedonsiirtoverkko, joka on tarkoitettu langattomaan ja nopeaan, mutta vähätehoiseen tiedonsiirtoon. LoRaWAN-verkko sopii erityisesti pienten datamäärien lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Sen tärkeimpiä ominaispiireiteitä ovat kaksisuuntainen tiedonsiirto, liikuteltavuus, paikannuspalvelut ja helppo käyttöönotto.

LoRaWAN on globaali ja avoin standardi, joka muodostuu LoRa-päätelaitteista ja -reititimestä sekä taustalla toimivista palvelimista ja sovelluksista. LoRaWAN on langaton LPWAN verkkoteknologia (Low Power Wide Area Network), jonka kehitystä hallinnoi LoRa Alliance -järjestö. Järjestöön kuuluu satoja yrityksiä ja järjestöjä maailmanlaajuisesti.

LoRa eli Long Range on yksittäinen modulaatioratkaisu, jota päätelaitteet ja reitittimet käyttävät kommunikoidessaan keskenään. LoRaWAN-verkkoa hyödyntävät IoT-ratkaisut ovat edullisia ja pitkäikäisiä. Tiedon keräämiseen käytetyt anturit ovat kevyitä ja yksinkertaisia asentaa paikalleen, eivätkä vaadi kaapelointeja. Antureissa käytettävä akku tai paristo voi kestää jopa 10 vuotta, joten ratkaisut ovat käytännössä lähes huoltovapaita. Yleisesti dataliikenne on päätelaitteesta eli anturista verkkoon päin. Viestien tyypilliset lähetystiheydet ovat 15 - 60 minuutin välein.

LoRaWAN-verkko rakennetaan joko alueellisesti kohdennettuna tietyn alueen tai rakennuksen peitoksi tai koko maanlaajuisesti. Digita tarjoaa julkisen maanlaajuisen verkon asiakkaidensa käyttöön, mutta myös asiakkaiden tarpeisiin toteutetut yksityiset verkot ovat mahdollisia.

LoRaWAN-verkkoarkkitehtuuri toteutetaan usein star-of-stars-typologiana, jossa yhdyskäytävänä toimii ns. läpinäkyvä silta. Tämä tiedonsiirtosilta toimii antureiden eli päätelaitteiden ja keskusverkkopalvelimien välillä. LoRa-anturit käyttävät langatonta single-hop-tiedonsiirtoa yhteen tai useampaan yhdyskäytävään, jotka taas liittyvät verkkopalvelimiin vakiomuotoisilla IP-liitännöillä. LoRaWAN-päätelaitteet ovat täysin internetistä erotetussa verkossa, koska itse päätelaitteet eivät käytä IP-protokollaa. (Digita. 2019).

3.2.3 LoRa-laitteistot ja luokittelut

LoRa-teknologialla varustettuja antureita ja päätelaitteita on maailmalla markkinoilla useisiin eri tarkoituksiin. Sovelluksia on katuvalojen valvonnasta roskasäiliöiden täyttämisen tarkkailuun. Päätelaitteita on eri taajuuksille ja niitä voidaan muokata käyttötarkoituksen mukaisiksi. Päätelaitteet voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan.

A-luokan päätelaite (Class A) on kaksisuuntaisesti kommunikoiva ja sen jokaista lähetystä seuraa kaksi lyhyttä vastaanottoikkunaa. Lähetysten aikaistus voidaan määrittellä. Se perustuu ALOHA-tyyppiseen protokollaan, jossa päätelaite lähettää paketin silloin, kun sillä on tarve siihen. A-luokan päätelaite on vähiten virtaa kuluttava, koska sen

kommunikaatio palvelimen kanssa on säädetty minimiin. Se odottaa palvelimelta vastaanottoviestiä vasta silloin, kun se itse on lähettänyt sille viestin.

B-luokan (Class B) päätelaite on kaksisuuntaisesti kommunikoiva ja siinä on ajastetut vastaanottopaikat. Lisäyksenä A-luokan satunnaiseen lähetyksikkunaan, on B-luokan laitteissa ylimääräinen ajastettu vastaanottoikkuna. Päätelaite saa reitittimeltä aikasykronisoidun Beacon-viestin, minkä jälkeen se avaa oman vastaanottoikkunansa. Tämän vuoksi myös palvelin tietää, milloin päätelaite on hereillä.

C-luokan (Class C) päätelaite on kaksisuuntainen ja siinä on maksimimäärä vastaanottopaikkoja. C-luokan laite vastaanottaa lähes jatkuvasti. Vastaanottoikkuna sulkeutuu ainoastaan silloin, kun päätelaite itse lähettää. (Digita. 2019).

3.2.4 LoRa-tiedonsiirto

LoRa-tekniikan etu muihin modulaatoratkaisuihin verrattuna on hyvä radiokuuluvuus pitkilläkin etäisyyksillä tehonkulutuksen samalla pysyessä minimissä. LoRa perustuu hajaspektrimodulaatioon, jonka ominaisuuksiin kuuluu suuri häiriönsieto sekä muun muassa heijastumien ja diffraktion pieni vaikutus signaaliin. Matkapuhelinteknologiasta tutun hajaspektritekniikan avulla vastaanotettu signaali voidaan tunnistaa kohinatason alapuolelta. LoRaWAN-tiedonsiirto voi olla yksi- tai kaksisuuntaista ja se on jaettu eri taajuuskanaville ja nopeuksille. Tiedonsiirtonopeuden valinta riippuu anturin ja keskusverkkopalvelimen etäisyydestä sekä datamäärästä. Yleisimmin LoRaWAN-verkossa tiedon siirtonopeus on 0,3 – 50 Kb/s. Tyypilliset tiedonsiirron datamäärät ovat muutamia kymmeniä kilotavuja. (Digita. 2019).

3.2.5 LoRa-sovellutuksia

LoRaWAN-verkkoa voidaan hyödyntää erilaisissa esineiden internetin (IoT:n) ratkaisuissa, joissa tarvitaan kustannustehokasta ja toimintavarmaa tiedonsiirtoa. LoRaWAN-ratkaisut sopivat erityisesti pienten datamäärien lähettämiseen ja vastaanottamiseen, joissa tiedon lähetysetaisyys voi olla useita kymmeniä kilometrejä riippuen maaston profiilista.

LoRaWAN on tietoturvallinen ratkaisu johtuen salatusta tiedonsiirrosta, joka on toteutettu kolmessa verkon eri kerroksessa. Päätelaitteella, sen käyttämällä sovelluksella ja radioverkolla on omat yksilölliset salausavaimet, joilla taataan turvallinen tiedonsiirto antureiden ja palvelimen välillä. (Digita. 2019).

4 KUNNONVALVONNAN PERUSTEET

4.1 Johdanto kunnonvalvontaan

Kunnonvalvontamittauksin pyritään laitteiden vikaantumisen havaitsemaan jo hyvissä ajoin ennen kuin vika on päässyt niin vakavalle asteelle, että se johtaa koneen

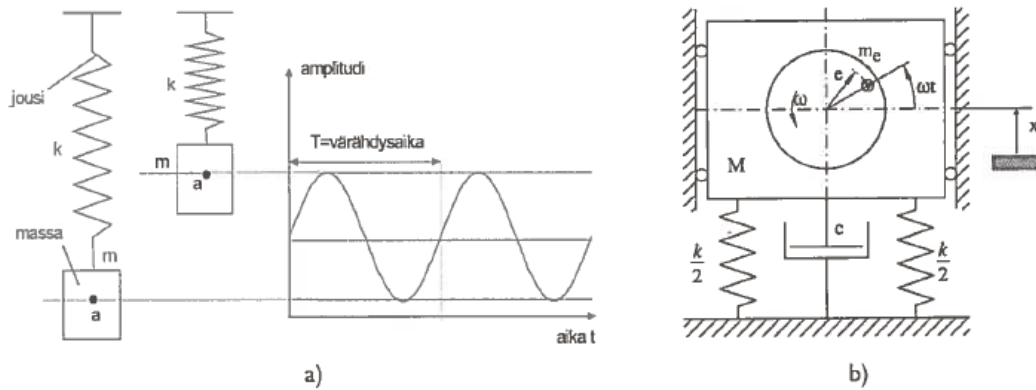
pysähtymiseen joko täydellisen särkymisen tai suojausjärjestelmän hälytysten laukeamisen takia. Esimerkiksi laakeriviati pystytään usein havaitsemaan niin aikaisin, että laakereilla voidaan turvallisesti ajaa vielä jopa kuukausia. Näin laakerin vaihto voidaan ajoittaa siten, että se ei haittaa normaalia tuotantoa. Yleisimmin kunnonvalvonnasta puhuttaessa tarkoitetaan sellaisia mittauksia, jotka tehdään laitteiden käydessä normaaleissa käyntiolosuhteissa niitä pysäyttämättä. Käytännössä pääosa kunnonvalvonnasta keskittyy pyörivien laitteiden mekaanisen kunnon arviointiin. (ABB 2000.)

Kunnonvalvonta on kasvava ala sekä Suomessa että kansainvälisesti. Kunnonvalvontamittauksia on hyvällä menestyksellä tehty Suomessa laajemmassa mittakaavassa 1980-luvulta alkaen. Erityisesti paperiteollisuudessa on kunnonvalvonnan avulla saavutettu erittäin korkeat käyttöasteet. Kunnonvalvonta on selvästi osoittanut hyödyllisyytensä, jonka vuoksi sitä kaivataan yhä pienemmissä laitoksissa, joilla ei itse ole resursseja laitehankintoihin eikä mittausten tekemiseen. Toinen kunnonvalvonnan käyttöä puoltava tekijä on se, että kun mittauksin pystytään tulevat vauriot toteamaan jo hyvissä ajoin, voidaan käyttöaikaan perustuvista huolloista luopua. Tavoitteena on siis se, että koneista korjataan ainoastaan epäkuntoisiksi todetut osat. Kunnonvalvonta mielletään nykyisin kuuluvaksi olennaisena osana kunnossapitoon. (ABB 2000.)

4.2 Värähtelymittaustekniikat

Yleisesti tärinä- eli värähtelymittauksiin perustuvia menetelmiä pidetään tehokkaimpina koneiden kunnonvalvonnassa silloin, kun arvioidaan dynaamisia ilmiöitä kuten tasapainoa, laakeroinnin kuntoa ja yleensä voimia, jotka kohdistuvat laitteen eri komponentteihin. Tärinän mittauksessa käytetään yleisimmin tiedonkeruulaitteita tai analysointilaitteita. Tietojen tallennus ja varsinkin analysointi tehdään yleensä tietokoneella. Tärinää analysoimalla voidaan löytää esimerkiksi epätasapaino, mekaaniset välykset, rakenteen resonanssitaajuuDET, taipunut akseli, asennusvirheitä, ym. Tärinän analysointiin on olemassa monia erilaisia menetelmiä, joista yleisimpiä ovat nopeuden tehollisarvon RMS mittaaminen (aaltoliikkeen neliöllinen keskiarvo eli root mean square) sekä spektrianalyysit. Näitä kahta voidaan pitää perusmenetelminä, joilla suurin osa vaurioista voidaan löytää. (ABB 2000.)

Periaatteessa kaikki värähtelevät laitteet voidaan kuvata jousi-vaimennin-massa systeemin avulla. Kuvauksessa massoille, jousille ja vaimentimille määritetään ns. ekvivalentit arvot, käyttämällä erilaisia laskentaperiaatteita sekä osien materiaaliarvoja ja geometriatietoja. Yksinkertaisin esimerkki värähtelevästä systeemistä on jousi-massa systeemi, johon ei vaikuta mitään ulkoisia voimia. Tällaisessa systeemissä massan liike on jaksollista ns. harmonista liikettä ja systeemiä kutsutaan vapaaksi värähtelysysteemiksi. Jos massa vaikuttaa jokin ulkoinen voima, kutsutaan järjestelmää pakkovärähtelysysteemiksi (Kuva 3). (Mikkonen, H. 2009).



Kuva 11-1. a) Vapaa värähtelysystemi ja pisteen a värähtelyn esittäminen aikatasossa (ABB 2000). b) Pakkova-
rähätelysystemi (Thomson 1972).

Kuva 3. Värähtelysystemit kuvattuna (Mikkonen, H. 2009).

Valvottavan koneen rakenteeseen, käytettävään mittaustekniikkaan ja ennakoitaviin vikatyyppeihin perustuen tärinää valvotaan siirtymänä, nopeutena, kiihtyvyytenä tai kiihtyvyyden derivaattoina. Tärinää valvotaan useimmiten nopeutena. Kun valvotaan matalataajuisia värähtelyä, alle 10 Hz, voidaan tärinää valvoa siirtymänä. Kiihtyvyyttä suositellaan käytettäväksi silloin, kun ylärajataajuus on yli 1000 Hz. Liukulaakeroitujen koneiden akselivärähtelyä valvotaan siirtymänä. Sen avulla voidaan lisäksi valvoa akselin asemaa laakerin sisällä. (PSK 2013.)

Sellaisiin tapauksiin, joiden analysointi edellä mainituilla menetelmillä on todettu vaikeaksi, on kehitetty tehokkaampia menetelmiä. Yhtenä esimerkkinä tällaisesta on verhoikäyräanalyysi, jossa ennen spektrianalyysiä tehdään signaalille suodattavia toimenpiteitä, jotka helpottavat laakerivikojen havaitsemista. Korkealla taajuuskaistalla mitattaessa saadaan tietoa metalli-metallikosketuksista, joka voi olla merkinä puutteellisesta voitelusta tai alkavasta laakerivauriosta. (ABB 2000.)

Kaikki laitteet värähtelevät käydessään. Värähtelyä aiheutuu yleensä epätasapainosta, valmistus- tai asennusvirheistä sekä kulumalla tai muuten vaurioituneista osista. Yleensä roottori tai akseli on se osa, joka varsinaisesti värähtelee tai aiheuttaa värähtelyä, mutta värähtelyn mittauspaiikka on rungossa. Värähtely kulkeutuu laitteen runkoon yleensä laakereiden kautta, joten paras mittauspaiikka on mahdollisimman lähellä laakeripesää. Käytännön tärinämittauksissa tulosten tulkinta suoritetaan pääasiassa eri taajuusalueilla mitattujen spektrien ja niitä vastaavien tärinän kokonaistasoarvojen perusteella. Periaatteessa kaikki värähtelevät laitteet ovat jousi- massasysteemejä, koska mikään laite ei ole täysin jäykkä. (ABB 2000.)

Värähtelymittaus on yleisimmin käytetty menetelmä kunnonvalvonnassa, ja sitä käytetään myös käytönvalvonnassa sekä vikaselvityksissä. Oikein sovellettuna värähtelymittaus on useimmissa tapauksissa paras ennakoivan kunnossapidon mittausten menetelmä, mutta väärin sovellettuna ajan ja resurssien tuhlausta. Värähtelymittarit ovat parhaimmillaan nopeiden pyörimisliikkeiden (yli 600 pyörähdystä minuutissa) mittauksessa,

mutta voidaan myös rajoitetusti käyttää liukulaakeroiduissa sovelluksissa, tulos ei ole välttämättä kovin tarkka. (Opetushallitus.)

Värähtelymittausmenetelmiä ja mittalaitteita on tarjolla lähes rajattomasti, ja ilman aikaisempaa kokemusta on vaikea tietää, mikä mittalaite ja -menetelmä olisi omiin kunnonvalvonnan tarpeisiin riittävä.

Värähtelymittausmenetelmät voidaan jakaa karkeasti seuraaviin luokkiin:

- 1) Yksinkertaiset menetelmät koneiden yleistärinän valvontaan ja vierintälaakereiden kunnonvalvontaan. Esimerkiksi RMS-mittaus.
- 2) Monimutkaisemmat menetelmät koneiden tärinän yksityiskohtaiseen valvontaan ja laakereiden kunnonvalvontaan. Esimerkiksi verhoikäyrä- ja spektrianalyysit.
- 3) Mittalaitteet, joissa on asetettava taajuusalue. Mitattu värähtely voidaan esittää aika- ja taajuustasossa sekä standardin PSK 5706 mukaisilla tunnusluvuilla.
- 4) Laitteet ja ohjelmat sisältävä mittausjärjestelmä, joka tekee vianmäärityksen ja mahdollisesti ennusteen koneen jäljellä olevasta turvallisesta käyttöajasta. Mittalaitteet ja -järjestelmät voivat olla ominaisuuksiltaan useamman tyyppin yhdistelmiä.

Luokkaan 1 kuuluvia mittalaitteita tarvitaan koneiden kunnonvalvontaan yleensä kaksi kappaletta. Toinen mittari mittaa koneiden kokonaistärinää eli RMS-arvoa tyypillisesti taajuusalueelta 10–1000 Hz, joka karkeasti kertoo koneen akselin pyörimiseen liittyvien vikojen olemassaolosta. Toista mittaria käytetään pääasiassa vierintälaakereiden kunnon valvontaan, mikä tapahtuu mittaamalla korkeataajuisia värähtelyä, tyypillisesti yli 20 kHz:n taajuudelta. Korkeataajuisen värähtelyn on havaittu kasvavan selvästi, kun voitelukalvo häviää vierintälaakerista tai jokin laakerivika pääsee syntymään.

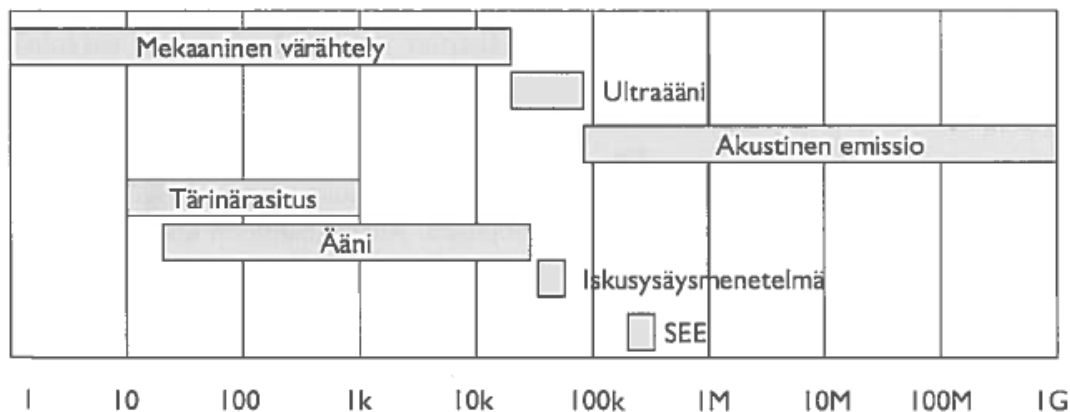
Mikäli valvottavat koneet ovat rakenteeltaan sellaisia, että niissä ei ole useita erillisiä akseleita pyörimässä eri nopeuksilla, ovat luokan 1 mittalaitteet yleensä riittävän herkkiä koneiden kunnonvalvontaan. (Opetushallitus.)

Luokkaan 2 ja 3 kuuluvia laitteita käytetään, kun valvottavissa koneissa on eri nopeudella pyöriviä akseleita, ja täten myös voimansiirtolaitteina esimerkiksi hihnakäyttöjä tai hammasvaihteita, on luokan 1 kunnonvalvontalaitteiden käyttö monien vikojen tunnistamiseksi liian epäherkkä. Esimerkiksi korkea tärinän kokonaistasoarvo voi olla seurausta suuresta epätasapainosta toisella akselilla, linjausvirheestä, laakeriviasta, löysästä alustakiinnityksestä, rakenteen resonanssista tai pumpun kavitaatiosta. Se voi olla myös luonnollista seurausta koneen tekemästä työstä, kuten vaihteistoissa voiman välityksestä akselilta toiselle ja kompressoreissa epätasaisesta puristetun ilman poistumisesta. Näissä tapauksissa kunnonvalvonta suoritetaan usein käyttämällä luokan 2 ja 3 mittalaitteita, jotka ovat yksi- tai monikanavaisia spektrianalysointilaitteita.

Luokan 2 kunnonvalvontalaitteilla suoritettava värähtelyn yksityiskohtainen valvonta tarkoittaa sitä, että koneen aiheuttaman värähtelysignaalin eri osataajuudet ja niiden suuruudet voidaan erottaa toisistaan.

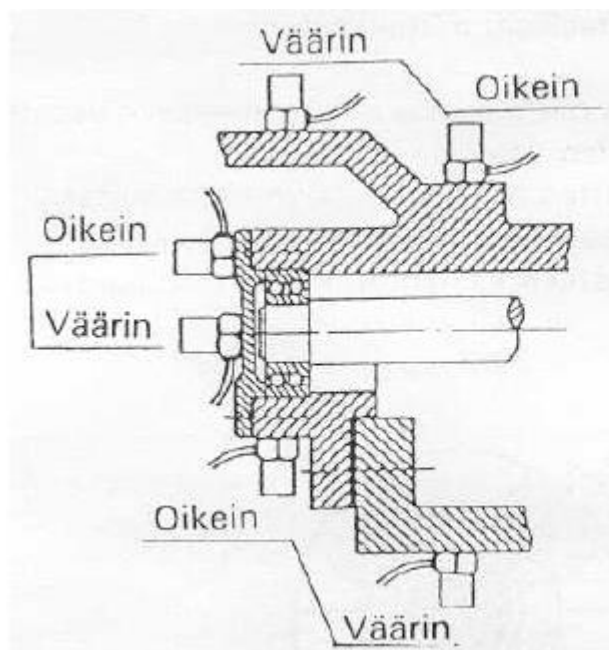
Näin yksittäisten koneenosien aiheuttama värähtely pystytään tunnistamaan ja voidaan kohtuullisen luotettavasti seurata eri koneen osien kehitystä. Myös pitkälle kehitetyt valvontamenetelmät ovat näillä mittalaitteilla mahdollisia: keskiarvotettu aikatasoanalyysi, verhoikäyräanalyysi, vaihekulma-analyysi ja spektrianalyysi.

Riippumatta siitä, minkä tasoista mittalaitteistoa käytetään koneiden kunnonvalvontaan, oleellista on mittaustulosten järkevä käsittely ja dokumentointi. Ilman niitä ei vauriokehitystä pystytä havaitsemaan ja vaurioitumisen ajankohtaa arvioimaan. Kuvassa 4 esitetään millaisilla menetelmillä päästään haluttuihin taajuusalueisiin. (Opetushallitus.)



Kuva 4. Värähtelymittausmenetelmien taajuusalueita (Mikkonen, H. 2009).

Mittauspisteen valinnassa (Kuva 5) tulee ottaa huomioon, että tila sallii anturin asentamisen ja suojaamisen, koska anturiin ei saa kohdistua ympäristöstä minkäänlaisia rasituksia. Lisäksi tulee ottaa huomioon, että mittauspaikalla on tarpeeksi tilaa anturin vaihtamiseen. Lisäksi anturi ei saa olla sellaisella paikalla, että se vaikeuttaa käyttö- ja huoltotoimenpiteitä. Mittauspistettä valittaessa on myös otettava huomioon, ettei mittausarvoon vaikuta mitattavan kohteen muoto tai materiaalin vaihtelu. Mittausanturi tulee asentaa laitteeseen tai tarpeeksi jäykkään rakenteeseen. (PSK 2013.)



Oikein = Correct
Väärin = Incorrect

Kuva 5. Mittauspisteen oikea valinta (PSK 2013).

4.3 Signaalien käsittely

4.3.1 Vaihekulma-analyysi.

Värähtelyamplitudin maksimin sijainti akselin kiinteän aseman suhteen voidaan mitata vaihemittauksen avulla. Yleisesti tätä käytetään tasapainotuksessa, jolloin mittaus toteutetaan akselin pyörimistaajuudella. Mittaukseen tarvitaan kaksikanavainen mitta-laite, jossa toiseen kanavaan kytketään referenssisignaali ja toiseen värähtelysignaali. Referenssisignaalina käytetään yleensä optisella pulssianturilla heijastinteipistä mitatua akselin asemaa. (Mikkonen, H. 2009).

4.3.2 Tärinärasitus eli RMS-mittaus.

Tärinärasitus on verrannollinen värähtelyn energiaan ja se kuvaa hyvin värähtelevän ko-keen yleiskuntoa. Tehollisarvo värähtelynopeudelle lasketaan digitaalitekniikassa väräh-telyanalysointilaiteilla yhtälöllä:

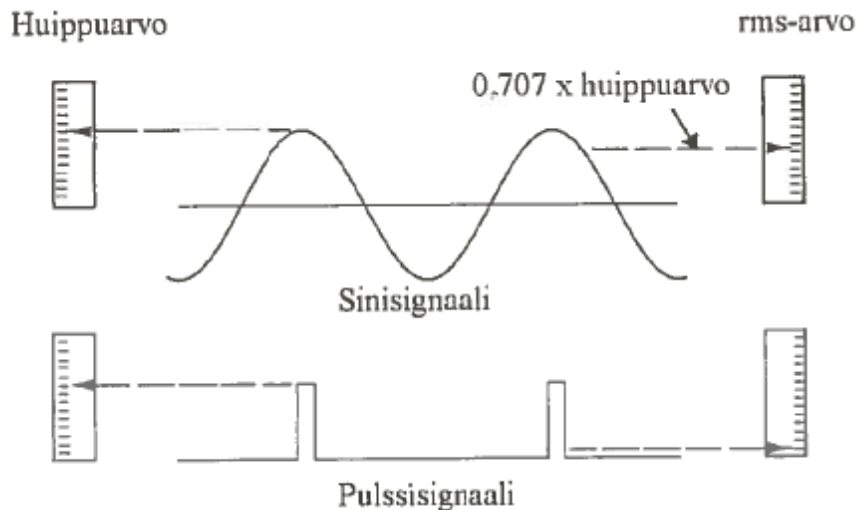
$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N v_i^2)} \quad (1)$$

Missä, N = näytteiden lukumäärä
 v_i = hetkellisen näytteen arvo

Yhtälöiden mukaisesti neliöllinen keskiarvo riippuu amplitudien arvoista sekä niiden rajoittamasta pinta-alasta aika-akselilla. Tästä johtuen tehollisarvot esimerkiksi harmoni-sella signaalilla ja purskemaisella signaalilla ovat erilaiset, vaikka amplitudien huippuar-vot ovat samat. Signaalin sisältämät yksittäiset huippuarvot eivät siten vaikuta kovin voi-makkaasti signaalin rms-arvoon. Tästä syystä on suhtauduttava varoen alla kuvatun yh-tälön käyttöön:

$$X_{rms} = 0,707 \times X_{peak} \quad (2)$$

Kuvassa 6 on esimerkki sini- ja pulssimuotoisen signaalin huippuarvon ja rms-arvon ver-tailusta. Käytännön mittauksissa puhdas sinimuotoinen värähtelysignaali on harvinaista. Huippuarvosta on syytä selvittää, tarkoittaako se amplitudin positiivista huippuarvo vai todellista huippuarvoa (true peak value), joka mitataan nolla-arvon kummaltakin puo-lelta ja näistä otetaan suurin arvo todelliseksi huippuarvoksi. (Mikkonen, H. 2009).



Kuva 6. Sini- ja pulssimuotoisen signaalin huippuarvo ja rms-arvo vertailu (Mikkonen, H. 2009).

Neliöllinen keskiarvo voidaan laskea myös taajuustasosta. Tämä on tarpeen esimerkiksi laskettaessa halutun taajuuskaistan tehollisarvoa, joka lasketaan yhtälöllä:

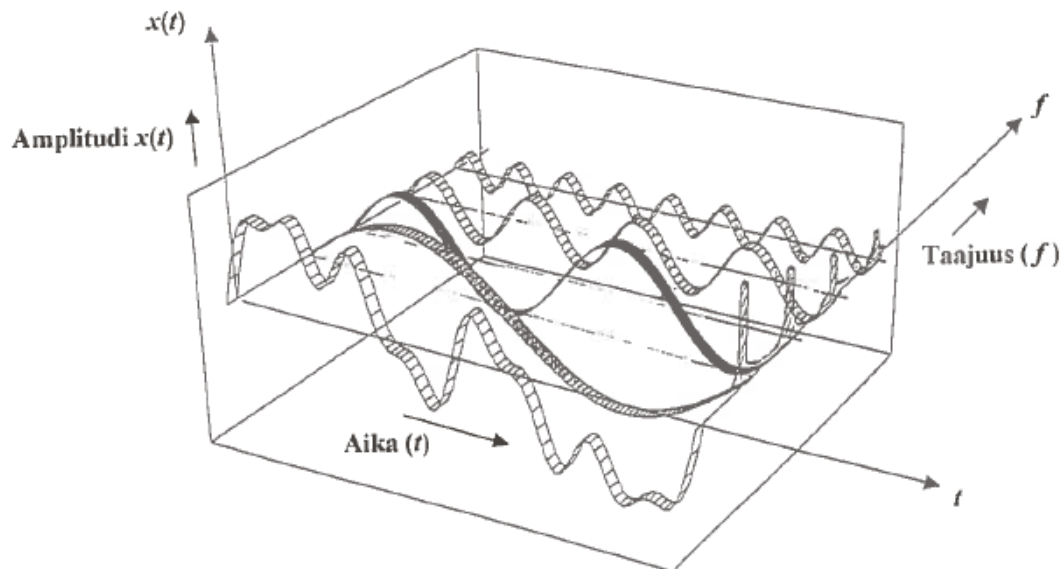
$$V_{rms} = \sqrt{\left(\sum_{i=N_a}^N x A_i^2\right)} \quad (3)$$

Missä,
 N_a = kaistan ensimmäinen spektriviiva
 N_1 = kaistan viimeinen spektriviiva
 A_i = Spektriviivaa i vastaava amplitudiarvo

Kun värähtely on suodatettu samalle kaistalle edellisiä yhtälöitä käyttäen, kuin tässä kaavassa, on lopputulos kaikilla sama. (Mikkonen, H. 2009).

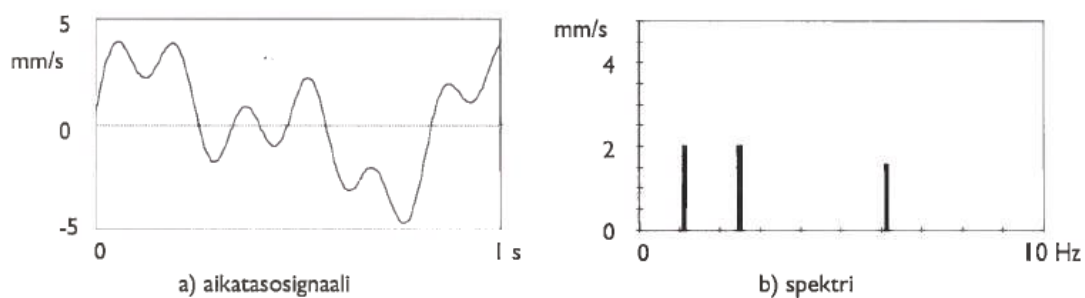
4.3.3 Spektrianalyysi

Signaaleja tarkastellaan aikatason lisäksi usein myös taajuustasossa. Taajuustason tarkastelulla saadaan selville signaalin sisältämät värähtelyn eri komponentit. Menetelmää, jolla taajuussisältö selvitetään, kutsutaan signaalin Fourier-muunnokseksi. Kaikki jatkuvat jaksolliset signaalit voidaan esittää sinimuotoisten signaalien avulla. Fourier-muunnoksessa otetaan sinimuotoiset signaalit esiin summasignaalista. Kun signaalia katsotaan aika-akselilla, nähdään vain summasignaali ja kun samaa signaalia tarkastellaan taajuusakselilla, voidaan erottaa summasignaalin sisältämät eri komponentit. Kuvassa 7 havaitaan Fourier-muunnoksen tuoma hyöty nähdä komponentit taajuustasossa.



Kuva 7. Fourier-muunnoksen periaatteellinen esitys. Aikatason summasignaali koostuu monesta eritaajuisesta ja eri amplitudisesta sinimuotoisesta signaalista. Taajuussisältö nähdään, kun tarkastellaan signaalia taajuusakselilla. (Mikkonen, H. 2009).

Värähtelymittausten yhteydessä taajuustason esityksestä käytetään yleisesti nimitystä spektri ja sen esitystapana on amplitudispektri. Matemaattisesti määriteltynä amplitudispektri on Fourier-spektrin itseisarvo. Spektrissä vaaka-akselina on taajuus, yksikkönä Hz (1/s) ja pystyakselina amplitudi, yleensä nopeutena mm/s tai kiihtyvyytenä m/s^2 . Kuvassa 8 aikatasosignaalista muunnettu spektrimuotoon oleva kuvaaja.



Kuva 8. Kolmen komponentin a) aikatasosignaalin muunnoksen havainnollistaminen b) spektrimuodossa (Mikkonen, H. 2009).

Spektristä on helppo havaita yksittäisten taajuusalueiden kohdalle muodostuvia amplitudipiikkejä. Näistä voidaan tulkita yksittäisten koneen osien aiheuttamia signaaleja ja kuinka vakavia ne ovat. Spektrianalyysi onkin yleisin tapa värähtelymittausten tulkitsemiseen (Mikkonen, H. 2009).

Spektrin laskenta FFT (fast fourier transformation) -muunnoksella saadaan nykyisillä analyysointilaitteilla melkein reaaliaikaisesti. Diskreetti Fourier (DFT) -muunnos voidaan tulkita seuraavasti FFT-muodossa:

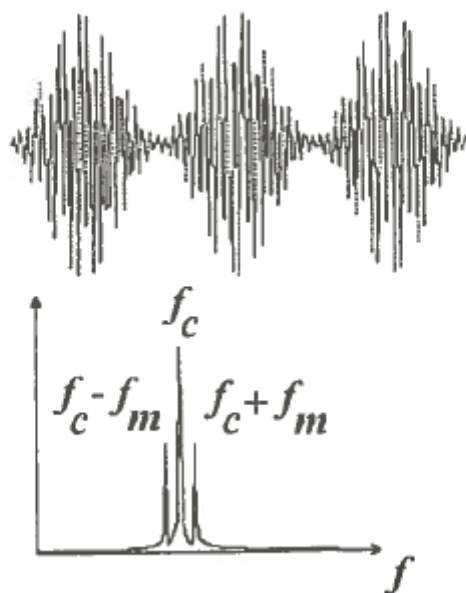
$$G(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} g(n) e^{-j \frac{2\pi kn}{N}} \quad (4)$$

Missä, $g(n)$ = aikatasosignaali
 N = aikatazon näytepisteiden lukumäärä
 $e^{-j \frac{2\pi kn}{N}}$ = FFT-matriisi

FFT-matriisi sisältää yksikkövektorit kaikissa asentokulmissa, jotka määräytyvät aikatazon näytepisteiden lukumäärän mukaan (Mikkonen, H. 2009.)

4.3.4 Verhokäyräanalyysi

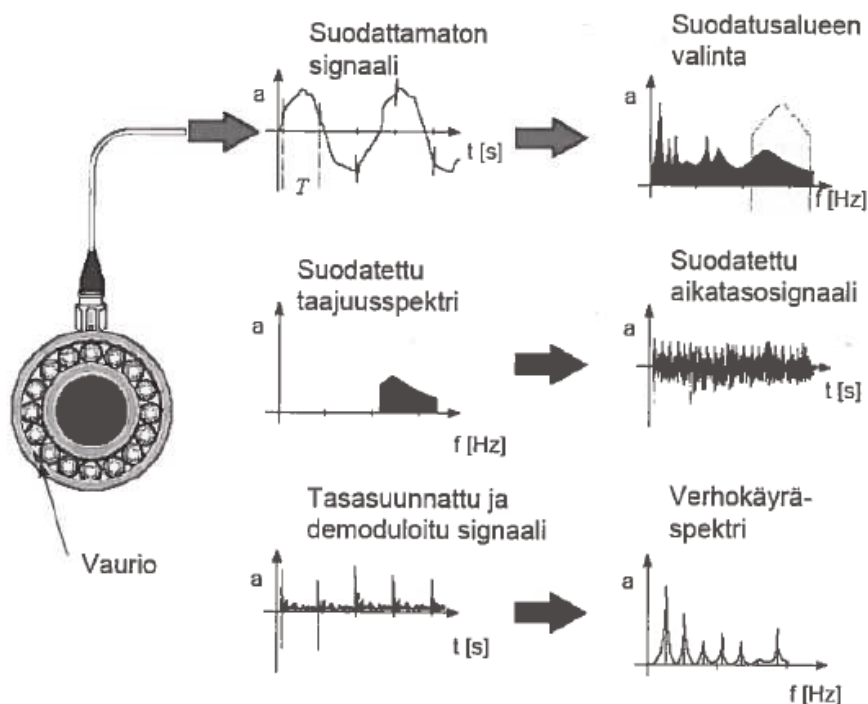
Verhokäyräanalyysi (envelop analysis) on signaalinkäsittelymenetelmä, jolla signaalista erotetaan säännöllisesti toistuvia heikkotehoisia komponentteja, joita tavallisella spektrimitauksella on vaikea havaita. Heikkotehoisia värähtelykomponentteja aiheuttavat alkavat vauriot. Menetelmä perustuu amplitudimoduloituneen signaalin suodatus ja demodulaatiotekniikkaan. Amplitudimodulaatiolla tarkoitetaan signaalin kertomista toisella signaalilla. Kertolaskun tuloksen syntyy uusia taajuuskomponentteja, jotka eivät sisälly erikseen kumpaankaan keskenään kerrottavista signaaleista. Modulaatio ilmiössä toista taajuutta nimitetään kantotaajuudeksi tai -aalloksi ja toista taajuutta moduloivaksi taajuudeksi tai aalloksi ja syntyneitä taajuuskomponentteja sivunauhoiksi. Kuvassa 9 on esitetty amplitudimodulaation tuloksena syntynyt värähtely ja tuloksen spektriin aiheutuneet sivunauhat.



Kuva 9. Amplitudimodulaatio ja sivunauhat spektrissä. F_c on kantotaajuus ja f_m on moduloiva taajuus (Mikkonen, H. 2009).

Koneiden diagnostiikassa moduloivana taajuutena toimii vikataajuus ja kantotaajuutena jokin korkeataajuinen värähtely kuten vierintälaakerin ominaistaajuus tai jokin muu vikataajuutta oleellisesti korkeampi taajuus. Usein pyörivissä koneissa vikataajuus on

sidoksissa akselin pyörimistäajuuteen kuten hammaspyörän heitto tai vino linjaus. Kuvassa 10 on esitetty verhoikäyräanalyysin periaate.



Kuva 10. Verhoikäyräanalyysin periaate (Mikkonen, H. 2009).

Kuvassa 10 on suodattamaton laakerista mitattu aikatasosignaali, joka sisältää laakerin alkavan vaurion aiheuttamia korkeataajuisia purskeita ohitustaajuudella (jaksoaika T). Signaalista suodatetaan näiden purskeiden sisältämä taajuusalue, jolla sijaitsee laakerin ominaistaajuus, jonka iskut ovat herättäneet. Suodatettua signaalia vahvistetaan, jonka jälkeen se demoduloidaan tasasuuntaamalla ja suodattamalla alipäästösuodatuksella siitä kantaalto pois. Jäljelle jäävästä signaalista lasketaan verhoikäyräspektri, jossa näkyy ohitustaajuus ja sen kerrannaisia, sekä mahdollisia sivunauhataajuuksia. Tasasuuntaus voidaan suorittaa joko ottamalla signaalista itseisarvo tai korottamalla toiseen potenssiin ja demodulaatio suodattamalla signaalista korkeataajuinen värähtely pois. Amplitudidemoduloitu signaali sisältää vain vaurion aiheuttamat impulssit. Demoduloitulle signaalille tehty FFT-analyysi kertoo laakerin vikataajuuskomponentit selvästi verhoikäyräspektrissä. (Mikkonen, H. 2009).

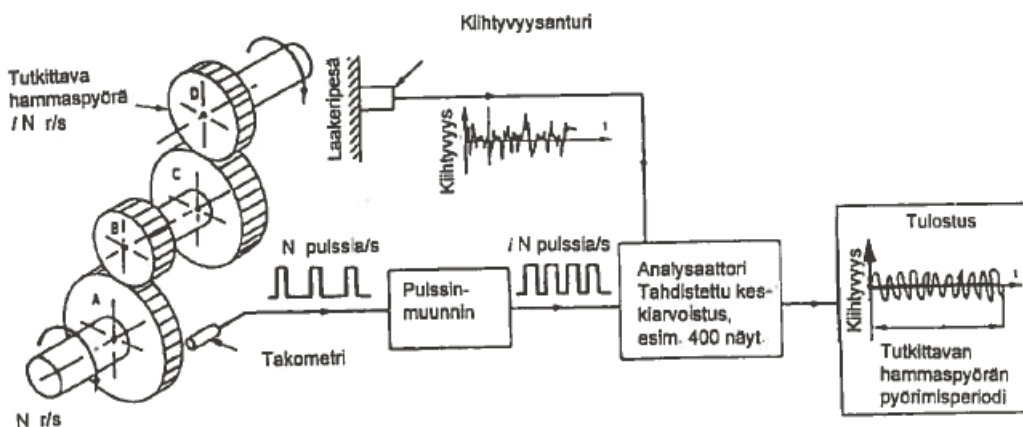
4.3.5 Keskiarvotettu Aikatasoanalyysi

Aikatason keskiarvostus tehdään tahdistamalla mittaukset alkamaan aina samasta kohdasta. Tahdistettu aikataso sisältää mittaustietoa lähes pelkästään siltä akselilta mistä tahdistuspulssi on saatu. Tahdistettua aikatasosignaalia voidaan tarkastella sellaisenaan tai siitä voidaan laskea spektri. Tällaista tahdistetusta aikatasosignaalista laskettua spektriä sanotaan tahdistetuksi spektriksi, vaikka tahdistus on suoritettu aikatasossa.

Tahdistettu keskiarvostus on analyysitekniikka, jonka avulla saadaan näkyviin ainoastaan liipaisukohteen aiheuttama värähtely. Muiden komponenttien aiheuttama

värähtely häviää. Mittaus tahdistetaan esimerkiksi akselin pyörimiseen. Jos halutaan saada selville, kuinka paljon akselin pyöriminen aiheuttaa värähtelyä, tulee muiden lähteiden värähtelyt suodattaa pois. Tämä tapahtuu, kun keskiarvostetaan useita mittauksia, jotka aloitetaan täsmälleen samasta kohtaa akseli pyörähdystä. Mittauksen käynnistäjänä toimii tahdistuspulssi.

Värähtely, joka tahdistuu, on täsmälleen samassa kohdassa jokaisessa mittauksessa. Kaikki muu värähtely tapahtuu eri ajanhetkenä jokaisen mittauksen aikana. Kun kaikki näytteet lasketaan yhteen ja jaetaan näytteiden lukumäärällä, saadaan lopputulokseksi tahdistettu keskiarvostettu signaali. Tahdistumaton värähtely lähestyy nollaa, mitä suurempi määrä näytteitä otetaan. Kuvassa 11 on esitetty sovelluskohteena vaihteiston keskiarvostettu mittaus ja siitä saatava tuloste. (Mikkonen, H. 2009).



Kuva 11. Vaihteiston mittaus tahdistetun keskiarvostuksen periaatteella (Mikkonen, H. 2009).

4.3.6 Mitattavat suureet värähtelymittauksissa

Värähtelymittauksia voidaan tehdä kolmen eri mittaussuureen avulla: nopeus, kiihtyvyys ja siirtymä. Värähtelyn nopeus on yleisimmin käytetty värähtelymittaussuure. Siirtymänä mitattu värähtely ilmaisee kohteen sijainnin suhteessa vertailupisteeseen. Nopeutena mitattu värähtely ilmaisee kappaleen kulkeman siirtymän tietyn ajan kuluessa. Kiihtyvyytenä mitattu värähtely ilmaisee kappaleen nopeuden muutoksen tietyn ajan kuluessa. (PSK 2013.)

Taulukossa 1 on esitetty värähtelymittauksissa käytettyjä suureita ja mittayksiköitä.

Suure	Lyhenne	Käytännön mittayksikkö	SI-mittayksikkö
Siirtymä	s	μm	m
Nopeus	v	mm/s	m/s
Kiihtyvyys	a	m/s ² tai g = 9,81 m/s ²	m/s ²
Taajuus	f	Hz	Hz
Pyörimisnopeus	n	1/min, rpm, 1/s	1/s
Vaihekulma	φ	Aste (°) tai radiaani (360°=2πrad)	rad
Jakso	T	ms	s

Taulukko 1. Värähtelymittaussuureet ja mittayksiköt (PSK 2013.)

4.3.7 Signaalien muuntaminen

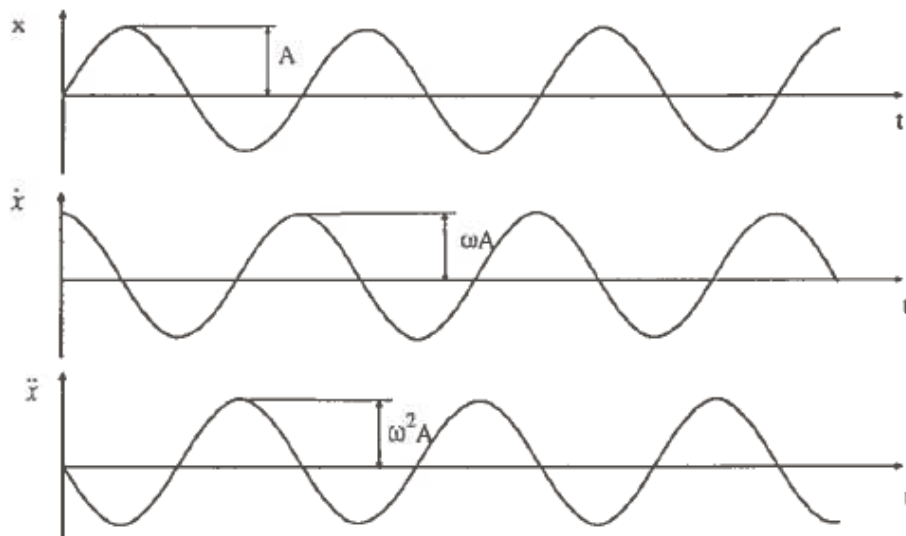
Useimmiten käytännön mittauksissa mitataan värähtelyn kiihtyvyyttä ja muut suuret lasketaan integroimalla kiihtyvyyssignaali nopeudeksi ja edelleen siirtymäksi. Vastavasti integroinnin avulla voidaan siirtyä siirtymästä kiihtyvyyteen. Kuvassa 12 on esitetty signaalien kuvaajat aikatasossa. Sinimuotoinen jatkuva signaali voidaan esittää yhtälöllä:

$$\text{Siirtymä: } x(t) = A \sin(\omega t) \quad (5)$$

missä $x(t)$ on värähtelyn amplitudi ajanhetkellä t ja ω on värähtelyn kulmanopeus ($2\pi f$). Nopeudelle ja kiihtyvyydelle saadaan lausekkeet:

$$\text{Nopeus: } \dot{x}(t) = \omega A \cos(\omega t) = \omega A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (6)$$

$$\text{Kiihtyvyys: } \ddot{x}(t) = -\omega^2 A \sin(\omega t) = \omega^2 A \sin(\omega t + \pi) \quad (7)$$



Kuva 12. Siirtymä-, nopeus- ja kiihtyvyyssignaalien kuvaajat

Teoriassa siirtymän, nopeuden ja kiihtyvyyden välillä on integroinnin ja derivoinnin kautta täysi yhteys. Kun mikä tahansa noista suureista tiedetään, kaikki muut voidaan siitä laskea. Käytäntö kuitenkin rajoittaa vahvasti tätä yhteyttä. Derivointi siirtymästä nopeuden kautta kiihtyvyyden korkeampiin derivaattoihin saakka on usein toimiva. Integroinnissa tapahtuva kumulatiivinen summaus taas kasaa kvantisointivirheet, kanava-offsetit, anturin vaihe- ja amplitudi- sekä muut pieniltä kuulostavat virheet aiheuttaen suuria vääristymiä signaalin alataajuuksille.

Kiihtyvyyden integrointi voidaan suorittaa suoraan mittauksen aikana mittalaitteessa yleensä spektrimuodossa. Jos halutaan suorittaa aikatason integrointi mittauksen yhteydessä, voidaan käyttää analogista integraattoria ennen mittalaitetta. Jälkikäsitellynä voidaan mitattua signaalia käsitellä sekä aika- että taajuustasossa numeerisen käsittelyn menetelmillä.

Taajuustasossa integrointi suoritetaan jakamalla spektrin jokainen taajuuskomponentti eli spektriviiva tekijällä $2\pi f$, missä f on vastaava taajuus:

$$\dot{x} = \frac{A}{\omega} = \frac{A}{2\pi f} \quad (8)$$

Koska kyseessä on jakolasku, integrointia ei voi suorittaa nolldataajuuteen asti. Erittäin alhaisilla taajuuksilla eli käytännössä muutaman Hz:n alapuolella integroinnin tulos alkaa jo vääristyä jakolaskusta. Toisaalta myös pietsosähköisen kiihtyvyyssanturin lineaarinen alue alkaa tyypillisesti 2 – 5 Hz:stä. Näistä syistä johtuen integrointia ei ole aiheellista suorittaa alhaisilla taajuuksilla. (Mikkonen, H. 2009).

4.4 Yleisimmät värähtelymittausanturit

4.4.1 Kiihtyvyyssanturit

Kiihtyvyyssanturin (Kuva 13) toiminta perustuu Newtonin toiseen lakiin $m \times a = F$. Kertomalla massa ja kiihtyvyys saadaan voima laskettua. Yleisimmin käytetyssä anturissa on massa, joka on kiinnitetty pietsosähköiseen kiteeseen. Värähdellessään massa aiheuttaa kiteeseen varauksen, joka on verrannollinen kiihtyvyyteen. Pietsosähköiset kiihtyvyyssanturit ovat kooltaan melko pieniä ja ne voivat olla herkkiä laajalla taajuusalueella. Yleisesti käytettävien kiihtyvyyssantureiden lineaarinen alue on luokkaa 1 Hz - 20 kHz. Kiihtyvyyssanturien kiinnitystä on tutkittu laajasti. Ruuvikiinnityksellä päästään lähes 20 kHz:n taajuuksiin luotettavasti. Kuitenkin nykyisin markkinoilla olevilla hyvin keveillä antureilla voidaan päästä huomattavasti korkeampiin taajuuksiin, jolloin kiinnityksen kriittisyys kasvaa edelleen. (ABB 2000.)



Kuva 13. Yksiakselinen kiihtyvyyssanturi (SPM Instrument).

Kiihtyvyyssanturilta nauhoitettua signaalia voidaan myös kuunnella elektronisena stetoskoopina, jolloin harjaantunut mittaja pystyy sanomaan mahdollisesta viasta hyvinkin paljon. (ABB 2000.)

Kiihtyvyyssanturin tietoa integroidaan nykyisin nopeussignaalksi, koska nopeustieto on halutumpi mittaussuure juuri laajemman taajuusalueensa vuoksi verrattuna nopeusantureihin. Nopeusanturi on myös herkempi ulkopuolisille häiriöille toisin kuin kiihtyvyyssanturi. (Nohynek 2009.)

Nykyaikaisilla kiihtyvyyssantureilla voidaan mitata värähtelyä yhden mittausjakson aikana kolmesta eri suunnasta yhtä aikaa, joka nopeuttaa ja helpottaa mittauksien suorittamista kenttäolosuhteissa. On myös olemassa yhdistelmäantureita, joissa yhdistyy perinteinen kiihtyvyyssanturi ja esimerkiksi iskusysäysanturi samassa kuorissa. Kuvassa 14 esimerkki SPM Instrumentin tarjoamasta DuoTech-anturista, jossa on perinteinen kiihtyvyyssanturi ja iskusysäysanturi samoissa kuorissa.



Kuva 14. SPM DuoTech-yhdistelmäanturi (SPM Instrument).

4.4.2 Iskusysäysmenetelmä eli SPM-anturi

Iskusysäysmenetelmä (Shock Pulse Method, SPM) on yleisesti käytettävä laakerien kunnonvalvonnan menetelmä. Käytettävän kiihtyvyyssanturin resonanssitaajuus on viritetty n. 32 kHz:iin. Laakerivauriosta aiheutuvat sysäykset herättävät anturin resonanssin, jonka voimakkuus on verrannollinen iskusysäyksen voimakkuuteen. Iskusysäysmenetelmään perustuen on kehitetty myös mittalaitteita, jotka antavat tietoa laakerissa olevan voiteluainekalvon paksuudesta ja voitelutilanteesta yleensä. (ABB 2000.)

Mittaussignaalista lasketaan iskusysäyksen huippuarvo (dbm) ja mattoarvo (dbc). Mattoarvoa käytetään hyväksi mm. laakerin voitelutilan valvonnassa. (Mikkonen, H. 2009).

Iskusysäysmenetelmää käytettäessä mittaamaan vierintälaakerin kuntoa ja voitelutilanetta tulee mittauspisteeksi valita laakerin kuormitusvyöhyke (PSK 2013).

SPM LR/HR (Low Rate/High Rate) -tekniikka kehitettiin alkuperäisestä iskusysäystekniikasta (dbm ja dbc) vierintälaakereiden käyttökunnon arviointiin.

LR/HR-tekniikka pystyy kertomaan laakerielementtien välisen voitelukalvon paksuuden ja sisältää laskentamallit optimaalisen voiteluaineen valintaan.

Iskusysäysmittari laskee iskujen määrän (iskupulseja/sekunti) ja asettaa lukumäärän perusteella seuraavat amplituditasot:

- HR = korkea esiintymistaajuus, määrittää iskujen mattotason (n. 1000 iskua sekunnissa).
- LR = matala esiintymistaajuus, määrittää iskujen huipputasoa (n. 40 iskua sekunnissa).

LR ja HR ovat raaka-arvoja (normaloimattomia), ja niitä mitataan logaritmisella asteikolla dBsv (decibel shock value). (SPM Instrument.)

4.5 Kunnonvalvonta standardeja värähtelystä

ISO 10816 -standardi määrittelee erilaisille konetyypeille omat mittaustapansa ja raja-arvoja värähtelyn suuruuksille luokituksineen kuinka vakavia ne ovat. Mittaukset

koskevat ainoastaan värähtelymittausta alueella 2 – 1000 Hz. Sakon koneille suurin osa mitattavista kohteista ovat keskikokoisen koneen taulukon mukaisia ja saavat hyvän arvon, kun värähtelyn arvot on alle 22 µm siirtymänä ja 1,4 mm/s nopeutena. Tyydyttävä alue ylittyy 45 µm ja 2,8 mm/s ja varoitusraja ylittyy 71 µm ja 4,5 mm/s arvoilla.

ISO 2372 -standardi määrittelee sallitut tehollisarvot värähtelylle eri tyyppisille koneille. Tarkoitettu pääasiallisesti pienkoneille. Kyseinen standardi on korvattu nykyisin ISO 10816 -standardilla, mutta on edelleen käytössä kuitenkin.

PSK 5701 - 5721 -standardit ovat kansallisia määritteitä erilaisille koneille tehtävien mitausten tekemiseen tarkoitettuja ohjeita. Sarjasta löytyy kattavasti tietoa mitausten määrittelystä aina lopulliseen raportointiin asti. Käsikirja numero 3:ssa käsitellään kaikki 57-sarjan standardit läpi. (PSK 2013).

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

5.1 Tavoiteasetanta

Tutkimushankkeen tuloksena saadaan koneista sellaista tietoa, jota ei ole aikaisemmin ollut saatavissa Sakon laitteilla. Koneiden huoltaminen on tähän asti perustunut aikaan tai käyttötunteihin perustuvaksi. Nyt huoltoja voidaan suunnitella aikaisemmin, kun havaitaan ongelman alku riittävän ajoissa, jotta hallitsematonta tuotantokatkoa ei pääsisi syntymään.

Kerätystä datasta voidaan tulkita vikojen vakavuutta tarkemmin. Lisäksi siirrettävillä antureilla mittaaminen ei ole sidottu yhden tuotantokoneen mittaukseen, vaan paikkaa voidaan vaihtaa tarvittaessa uuteen koneeseen. Tämä antaa joustavuutta toimintaan ja ennakoitukyky paranee.

Tärkeää on myös kunnossapidon henkilöstön uusi taito päästä kiinni kunnonvalvontaan koneen osien värähtelyn kautta. Pehdytys datan tulkintaan itsenäisesti auttaa huomattavasti toimimaan oikea-aikaisesti huoltojen suhteen, koska kaikkea tietoa ei tule koneiden operaattoreilta. Operaattorien koneentuntemus auttaa monesti paikallistamaan vikoja, mutta osaamisen vaihtelua on todella paljon, joten paljon tietoa jää saamattakin ja tiedon oikeellisuus vaihtelee.

Tavoitteena on myös tuottaa kansallisesti tärkeää tietoa CNC-työstökeskusten kunnonvalvonnasta, koska tarkkuuskoneille ei ole yleistävää standardia olemassa vaan värähtelytasot tulee saada itse mitattua ja määrittää kriittisyystasot omasta laitteistosta. Näistä saadaan ohjeistoja tulevaisuuden investointeihin ja kunnossapitotoimintoihin.

5.2 Toteutussuunnitelma lähtötilanteessa

Tutkimus suoritetaan tapaustutkimuksena kvantitatiivisen tiedon pohjalta SAKOn kiväritehtaalla alkuvaiheessa pienimuotoisena pilottina viidellä anturilla ja vähintään kahdessa eri tuotantokoneessa. Kohteena olivat EMAG-sorvi (värähtely ja öljyn lämpötila), Hardinge-sorvi (öljyn lämpötila), märkäerotin (värähtely), GFM 10 takomakone (värähtely) ja ympäristön olosuhdemittaus (ilman lämpötila ja kosteus). Näistä koneista mitattavat suureet ovat värähtelyn nopeus ja lämpötila öljystä tai pinnasta. Ympäristöolosuhteita tehdashallissa mitataan lämpötila-anturin ja suhteellisen kosteusanturin voimin.

Valitut anturit ovat langattomia ja suoraan tuotantokoneeseen liitettäviä. Poikkeuksena Emag-koneelle asennettujen anturien tieto kulkee ensin värähtelyanalysaattoriin (IFM VSE 002, Liite 8) ja siitä Cloudgate LTE WW-reitittimen kautta pilveen. Muilta antureilta tieto menee Multiconnect-reitittimeen, josta internetin kautta pilvipalveluun ulkopuoliselle toimittajalle. Anturien tiedon lähetys reitittimelle tapahtuu radiotaajuuksilla, koska radioaalloilla on paras kattavuus signaalien osalta sisätiloissa ja myös ulkotiloissa. Varsinkin radioaalloilla toimivat matalataajuiset LoRa-laitteet pystyvät lähettämään signaalia pitkiäkin matkoja (yli 10 km suotuisissa olosuhteissa) ja läpäisevät hyvin kiinteitä esteitä kuten seiniä.

Laitteiston tai ohjelmiston valmistajan ei ole pakko olla kotimainen, mutta jälleenmyyjän pitää löytyä kuitenkin Suomesta. Lähellä oleva jälleenmyyjä tai toimittaja varmistaa paremman tavoitettavuuden ongelmien ratkaisemiseen ja parannuksien tekemiseen. Anturointi hoidetaan Sako Oy:n oman kunnossapidon henkilöstön toimesta ja ohjelmiston käyttöä opetellaan alkuvaiheessa kunnossapitoinsinöörin ja kunnossapitopäällikön toimesta. Anturien lisäämisestä tuotantotiloihin kokeiluvaiheen jälkeen päätetään pilot-tijaksosta saadun hyödyn perusteella.

Alkuvaiheessa etsittiin sopivaa ohjelmiston tarjoajaa kyselemällä tarjouksia sopivien yritysten kautta vuoden 2017 loppuun mennessä. Jokainen toimittaja arvioitiin kokonaistoimituksen kannalta parhaalla tavalla, samoin listattiin hyvät ja huonot puolet kyseisen yrityksen tarjoamasta paketista. Toimittaja valittiin ja anturointi ja ohjelmiston määrittely aloitettiin Sako Oy:n haluamalla tavalla loppuvuodesta 2018. Maksimibudjetti alkuvaiheessa on 15 000 €, jolla piti saada ainakin neljän kuukauden mittausjakso hoidettua ja mielellään koko vuosi, jos se on mahdollista.

Anturointien ja ohjelmiston rakentamiseen varattiin 2 - 3 kuukautta aikaa, jotta kaikki saadaan varmasti huomioitua ja varmistettua virheiden poissulku. Antureiden asennuksen jälkeen tehtiin varmistavia mittauksia mitattavan suureen osalta toisella mittavälillä, jotta voitiin olla varmoja tiedon ja asennuksen toimivuudesta. Laakereiden värähtelymittaus tulee tapahtua hyvin läheltä laakerin sijaintia ja anturin on oltava hyvin kiinni kiinteässä pinnassa.

Ohjelmistolta vaadittiin kyseisille antureille hälytysrajat ilmoituksien tekemiseksi ja mittausjaksojen pituuden muokattavuutta sopivalle taajuudelle tarkoitukseen sopivaksi. Ohjelmiston tuli olla joustava Sako Oy:lle, jotta voidaan lisätä uusia antureita maksamalla vain antureista ja ohjelmiston muutoksia voidaan tehdä Sakon oman henkilöstön voimin.

Anturointien ja ohjelmiston toimivuuden varmistamisen jälkeen voitiin aloittaa varsinainen pilottimittausjakso, joka kesti neljä kuukautta. Mittausjaksosta pidettiin kirjaa mahdollisista tehdyistä muutoksista ja mahdolliset hälytysrajojen ylitykset otetaan mittauslokista talteen. Mikäli anturien antamat mittausarvot johtavat kunnossapidollisiin toimenpiteisiin, näistä töistä tehdään raportti ja analysoidaan juurisyy tapahtuneelle tilanteelle.

Mittausjakson lopuksi tehtiin uusi arviointi ohjelmiston ja anturien hyödyistä kunnossapidon toimintaan. Jos anturoinnin todetaan tuovan hyötyä kunnossapidon toimintaan, jatketaan antureiden asennuksia muualle Sakon toiminnoissa.

5.3 Valittu IoT-teknologia ja kunnonvalvontalaitteisto

5.3.1 Remion Regatta IoT-alusta

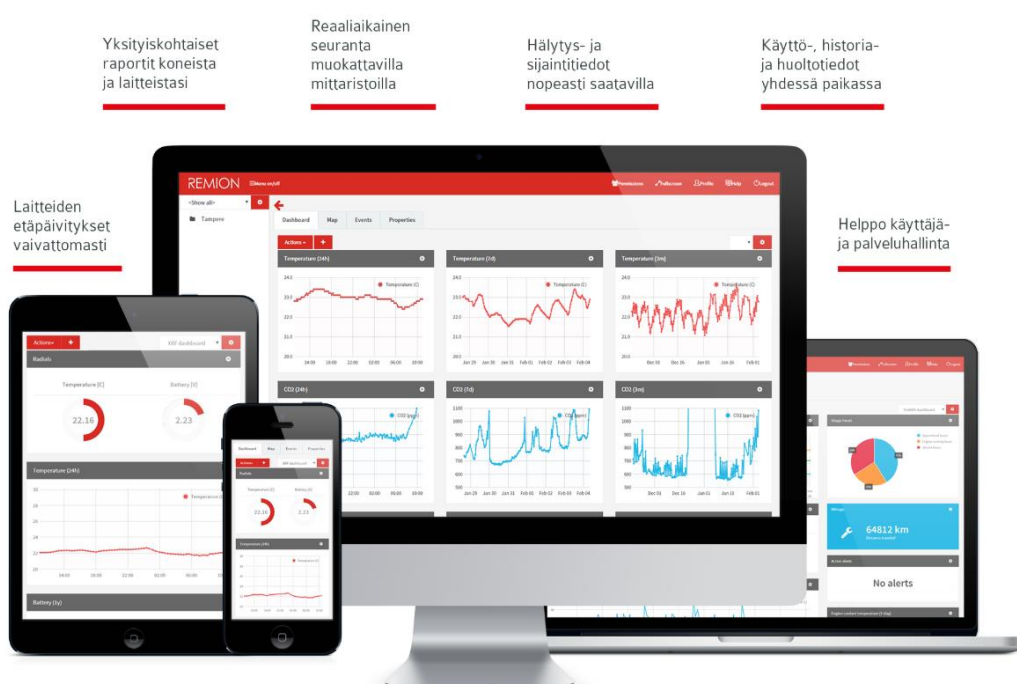
Remion Oy on tiedonkeruuseen erikoistunut yritys, joka tarjoaa IoT-alustan moneen tarpeeseen. Remionin IoT-tuotealustan nimi on Regatta Portal, jolle voi liittää useita eri ominaisuusosuuksia lisää tarpeiden lisääntyessä (Kuva 15).

Regattaan perustuvien toteutusten komponentit ovat sovitettu ja testattu lukuisille eri laitetyppeille, palvelin-, käyttöjärjestelmä- ja tietokanta-alustoille, tiedonsiirtoprotokollille sekä päätelaitteille. Siksi niiden käyttöönotto ja tarvittaessa asiakaskohtaisten sovitusten tekeminen on nopeaa ja vaivatonta.

Regatta on modulaarinen ja yrityksen tarpeiden ja tavoitteiden mukaan laajennettavissa oleva ratkaisu aina pilottiprojekteista suuriin teollisen internetin järjestelmähankkeisiin. Regattaan perustuvilla palveluilla seurataan jo kymmeniätuhansia laitteita ja koneita ympäri maailmaa.

Regatassa voidaan tehdä myös prognoosi-analyysiä kunnonvalvonnan avuksi, jolloin tiedetään tarkemmin huollon ajankohdan suorittamisesta. Prognoosianalysysillä pyritään ennustamaan jäljellä oleva koneen käyttöikä ennen vikaantumista (Remion Oy.)

Prognoosi on yleisesti ottaen seuraavan askel kunnonvalvonnasta, koska siinä pyritään ennustamaan jäljellä olevaa koneen kuntoa vertaamalla historiadataa anturitiedoista ja myös huoltohistoriaan katsomalla. Anturidatasta vertaamalla saatavaa tietoa on pakko laskea algoritmeilla, jotka muodostetaan juuri haluttuun sovellukseen soveltuvaksi. Geneeristä algoritmia ei ole vielä ainakaan saatavissa, jolla saataisiin kaikista maailman koneista laskettua sen jäljellä oleva käyttökunto. Prognoosia tekeville ohjelmistoyrityksillä on jokaisella omat algoritminsä kunnonvalvonnan sovellutuksiin, mutta lainalaisuudet ovat kuitenkin samat kaikille eli sovelletaan loogista päättelykykyä eri vaiheissa ja näihin haaroihin perustuvat tulokset johtavat loppupäätelmään.



Kuva 15. Remion Regatta-ohjelmiston tuote-esite (Remion Oy).

Remionin Regatta otettiin pohjaksi sen vuoksi, koska LAPP Automaation tarjoama IoT-key -palvelu ei kyennyt tarjoamaan kaikista antureista halutunlaista graafista dataa. Lisäksi Regatta tarjoaa paremmat raportointityökalut, joilla saadaan tietoa esitettyä yleisesti esimerkiksi kunnossapidon palaverissa toiminnan kehittämiseksi.

5.3.2 LAPP Automaatio IoT-key palvelun osat

LAPP Automaation kautta tulevat osat IoT-järjestelmässä käsittää EPIC Sensor WLT 310 lähetimet, IoTKey Gateway-laitteet ja IoTKey Portaalin, jossa antureiden asetuksia voidaan muokata (LAPP Automaatio).

LAPP Automaation tarjoamat IoT-lähetimet valikoituivat tähän projektiin juuri niiden hyvän muokattavuuden osalta. Antureille on useampi tapa kytkeä ne itse lähettimiin ja eri signaalitiedot saadaan käsiteltyä haluttuun muotoon. Lisäksi lähettimiä voidaan käyttää sovellutuksesta riippuen joko paristoilla tai kiinteällä virtalähteellä, jolloin voidaan hyödyntää antureita liikuteltavinakin versioina eri kohteissa.

EPIC Sensor WLT 310 lähetin (Liite 1) on konfiguroitava ja vähän virtaa kuluttava LoRa 868 MHz-lähetin teollisuustason langattomiin mittauksiin ja LoRaWAN protokollaa hyödyntäviin IoT-sovelluksiin:

- Kolme konfiguroitavaa anturituloa
- Automaattisesti säätyvä lähetysteho
- Toiminta sekä paristolla että ulkoisella apujännitteellä
- Paristonkeston ja anturien toiminnan valvonta
- Konfiguroitavat mittausvälit ja hälytysrajat
- IoTKey® WLT 310 lähetin sisältää kaksi tuloa lämpötila-antureille tai vaihtoehtoisesti Lin.R -mittauksille. Kolmas analogiatulo on vapaasti konfiguroitavissa jännite- tai virtaviestinä (0 - 10 V, 0 - 20 mA) saataville eri suureiden mittauksille tai kosteusanturituloksi.
- Ensisijaisena virtalähteenä käytetään C-tyypin litiumparistoa 3,6 V / 8,5 Ah. Lähetintä voidaan käyttää myös 12 tai 24 V ulkoisella apujännitteellä.

IoTKey Gateway-laitteet (Liite 2) on Multitech:n Conduit-tuotteita, jotka LAPP-automaatio konfiguroi omaan käyttöönsä. Gateway käyttää antureilta saatavaan tietoon LoRa-radiotaajuutta. Gatewayn tiedonsiirto haluttuun palvelimeen (pilvi tai oma palvelin) tiedon jatkokäsittelyä varten tapahtuu joko 3G/4G Sim-kortilla tai Ethernetin välityksellä. Mahdollisuutena on myös lisätä GPS-sijainti mukaan esimerkiksi liikkuvia työkoneita varten GPS-lisäkortilla.

IoTKey Portaalissa voidaan antureiden mittausdatan asetuksia muuttaa halutunlaiseksi. Portaalista näkee myös anturien viimeisimmät mittausdatat. Portaalin kautta lisätään uudet anturit tuleviin ratkaisuihin ja asetetaan anturien lähettämät tiedot oikeanlaiseksi haluttuun muotoon.

5.3.3 Valitut anturit sovelluskohteittain

IFM VTV 122 värähtelyanturia käytettiin GFM 10 takomakoneella pääkäytön sähkömoottoriin ja märkäerotinlaitteen sähkömoottoriin. Myöhemmin tulleissa asennuksissa laitettiin myös kolmeen kompressoriin ja hylsynvalmistus-solun koneisiin kolme kappaletta. (Liite 3)

IFM VSA 001 värähtelyanturia (Liite 5) käytettiin kaksi kappaletta ainoastaan EMAG-sorvilla kahden karan vertikaalisen värähtelyn mittaamiseen yhdessä värähtelyn diagnostiikkalaitteen ja CloudGate LTE WW CG0114-gateway laitteen yhteydessä.

EPIC Sensors kaapelilämpötila-anturi (Liite 8) ja EPLUSE-kosteusanturiyhdistelmää (Liite 6) käytettiin asetehtaan kokoonpanopään ympäristön mittaamiseen. Myöhemmin jatkettiin näitä kahteen serverihuoneeseen ja mittalaboratorion ympäristöä mittaamaan.

EPIC Sensors lämpötila-anturi kierteellisenä (Liite 4) käytettiin EMAG ja HARDINGE sorvien leikkuuöljyjen lämpötilan seurantaan.

5.3.4 SPM Diamond värähtelymittauslaite

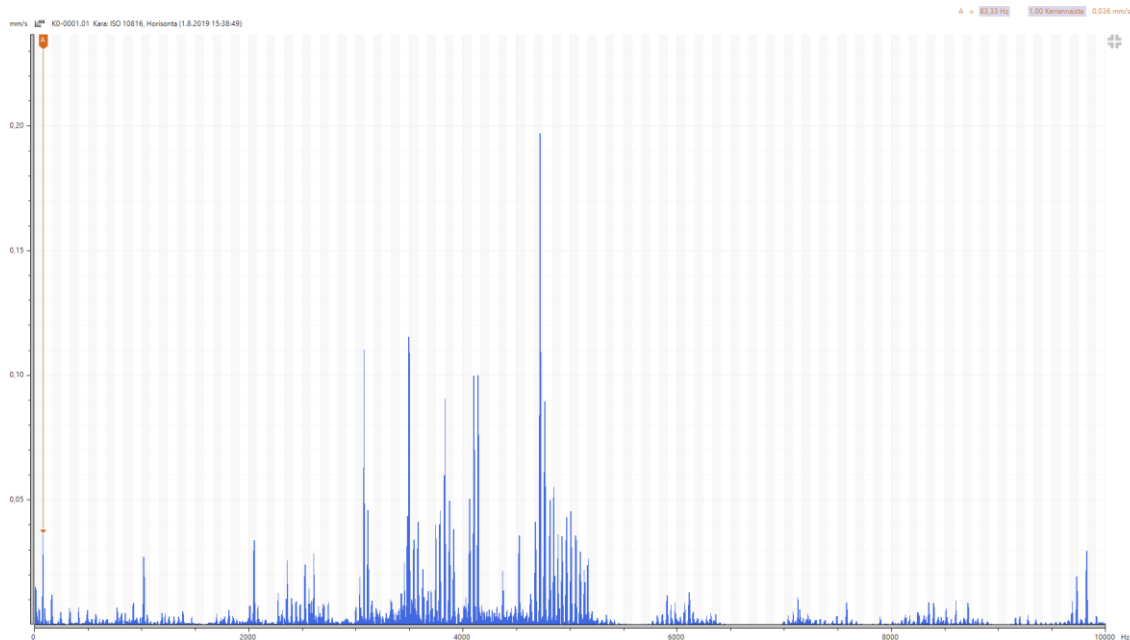
Tätä kyseistä värähtelymittalaitetta tullaan hyödyntämään alkuvaiheessa ISO 10816 standardin mukaisten mittausten tekemisessä. Laite on laajennettavissa myöhemmin käytettäväksi myös SPM tekniikoita hyväksikäyttäen, mutta se tullaan tekemään sitten jatkossa harjoittelujakson jälkeen. Alla kuva (Kuva 16) itse laitteesta SPM Diamond värähtelyanalysointilaitteesta. Laitteen tekniset tiedot löytyvät liitteestä 9.



Kuva 16. SPM Diamond värähtelymittauslaite (SPM Instrument).

Laitteen lisäksi käyttöön tarvitaan erillinen PC-ohjelmisto, joka on nimeltään Condmaster Ruby. Condmasterissa käsimittauslaitteelta saadut värähtelytiedot saadaan

käsiteltyä tarkemmin, koska FFT-spektrien lukeminen pieneltä ruudulta on aika vaikeaa. Spektreistä ja lukuarvoista saadaan muodostettua tarkempi kuva koneen kunnosta, koska Condmasterissa on erittäin kattava laakeriluettelo, josta saadaan tietoon käytössä olevien laakerien eri osien vikataajuudet ja niiden kerrannaiset tarkempaa diagnostiikka varten. Kuvassa 17 on nähtävissä spektrianalyysinäkymä mittaustuloksen perusteella.



Kuva 17. Yleiskuva Condmasterin spektri-analyysinäkymästä

Tässä vaiheessa ostettu laitteisto käsittää kiihtyvyyssanturin, IR-lämpötilamittarin ja kierroslukumittarin. Ohjelmistolle ladattu lisenssi antaa tarkastelun 1 – 1000 Hz värähtelyspektrin analysointiin, joten siellä havaitaan yleisesti koneen linjaukseen tai epätasapainoon liittyviä asioita, mutta harvemmin laakerivaurioita ennen kuin ne ovat jo liian pitkälle edenneet.

Jatkoa varten taajuusalueen laajennus yli 10 kHz ylittävälle alueelle on tärkeää, jotta alkavista laakerivaurioista saadaan tietoa ennen niiden hajoamista. Alkavat vauriot tuottavat korkeataajuisia piikkejä, joita on mahdotonta havaita ilman kykenevää erottelua ja tarpeeksi korkeaa taajuusalueetta. Laakerien kunnan mittaukseen SPM:n kehittämä iskusyysmenetelmä 32 kHz taajuudelle viritetyn anturin avulla on tärkeä hankkia myös samalla, koska voidaan havaita myös hitaammin pyörivien koneiden laakerivaurioita paremmin kuin perinteisellä kiihtyvyyvärähtelyanturilla.

5.4 Asennukset ja tiedon jalostaminen alkuvaiheessa

Antureiden ja gateway-laitteiden asennukset suoritettiin 11.1.2019. IFM-värähtelyanalysointoriin (EMAG-sorvilla) kytkettävät värähtelyanturit laitettiin lähettämään tietoa viiden sekunnin mittausjaksolla kerran minuutissa Cloudgate-gatewayltä. Muiden laitteiden osalta mittausotanta tapahtuu kolmen sekunnin mittauksella kerran 15 minuutissa ja tietojen lähetys kerran 15 minuuttiin.

Mittausjakson alussa oli hankaluuksia saada kosteusanturin tieto näyttämään samaa kuin kalibroitu kosteusmittari (Trotec BL30). Eroa oli yleisesti yli 10 %-yksikköä ja tämä on liikaa sisäkäytössä. Kosteusanturi päätettiin vaihtaa uuteen 14.3.2019 ja tämän jälkeen anturin data saatiin näyttämään noin kahden prosenttiyksikön heitolla samoihin lukemiin kuin kalibroitu kosteusmittari.

EMAG-sorvilla olleeseen lämpötila-anturiin jouduttiin vaihtamaan paristot jo maaliskuussa, koska lähetin oli ollut päällä lähes koko ajan ja erilaisin asetuksin, jolloin paristo oli ehtinyt vajeta alhaiselle tasolle.

Huhtikuussa 2019 pyydettiin lisäanturoinneista tarjous sekä Remionilta ja LAPP Automaatiolta tehtävistä töistä. Tilaus tehtiin toukokuussa ja suurin osa tarvikkeista saatiin elokuun alkuun asennuksia varten. Lisättyjä kohteita Atlas Copcon kolme paineilma-kompressoria, patruunahylsyn valmistussolun kolme konetta, taontakoneiden voitelu- ja hydraulikkapaineet 4 kappaletta, DHD-porauksen öljypumpun paineet kaksi kappaletta ja lisäksi kiinteistöjen serveritilojen kosteus- ja lämpötila-anturit kaksi kappaletta.

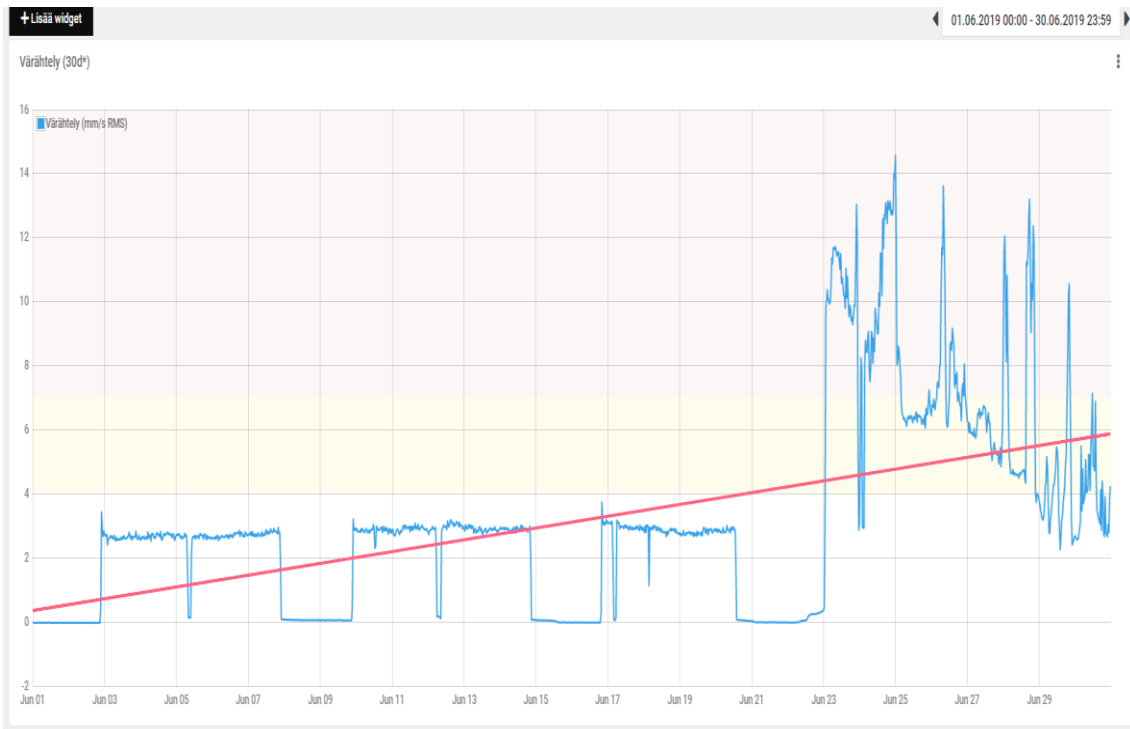
5.5 Suoritettuja töitä ja vikatapahtumien dokumentointi

Neljän kuukauden pilottimittausjakson aikana ei tapahtunut mitään suuria muutoksia koneiden kunnossa anturien tuottaman datan perusteella. Myöhemmin havaittiin tapauksia, joissa potentiaalinen riski konerikolle on tulossa jo ennakkoon.

5.5.1 GFM 10 taontakoneen hihnavika

Kesäkuun lopussa 23.6 – 30.6.2019 välisenä aikana huomattiin GFM 10 taontakoneessa suuri hyppäys kokonaisvärähtelyn tasossa. Arvot olivat yleisesti liikkuneet 3 – 4,5 mm/s RMS välissä ennen tätä. Nyt tasoissa oli piikkejä jopa 14 mm/s RMS asti, jotain oli siis tapahtunut. Tässä välissä tuli työtilaus kunnossapitojärjestelmään koneen käyttäjältä, että pääkäytön sähkömoottorin voimansiirtohihnasta tulee outo haju, joka todettiin 30.6.2019, että remmistä on lähtenyt ulommainen rivi irti. Tämä tietenkin aiheutti käyntiin epätasapainoa, koska veto kohdistui toiseen laitaan enemmän. Ratkaisuna oli alkuun ottaa uloin rivi pois ja odottaa uuden voimansiirtohihnan tulemistä, koska uutta ei juuri sillä hetkellä ollut hyllyssä. Rivin poisto ja lisäkiristys auttoivat sen verran että värähtelyn kokonaistaso putosi takaisin 4 mm/s RMS tasolle ja konetta voitiin käyttää. Kuvassa 18 on nähtävissä koneen kunnan muutos tällä kyseisellä ajanjaksolla.

Myöhemmin uuden voimansiirtohihnan kanssa muutosta kokonaisvärähtelytasoihin ei tullut poistoon nähden. Ajoissa saadun tiedon perusteella säästyttiin viiden päivän konerikolta. Kustannussäästö menetetyt tuotannon kautta karkeasti laskettuna noin 70 000 €. Alla kuvat muutoksen alusta kahdella tavalla esitettyinä.

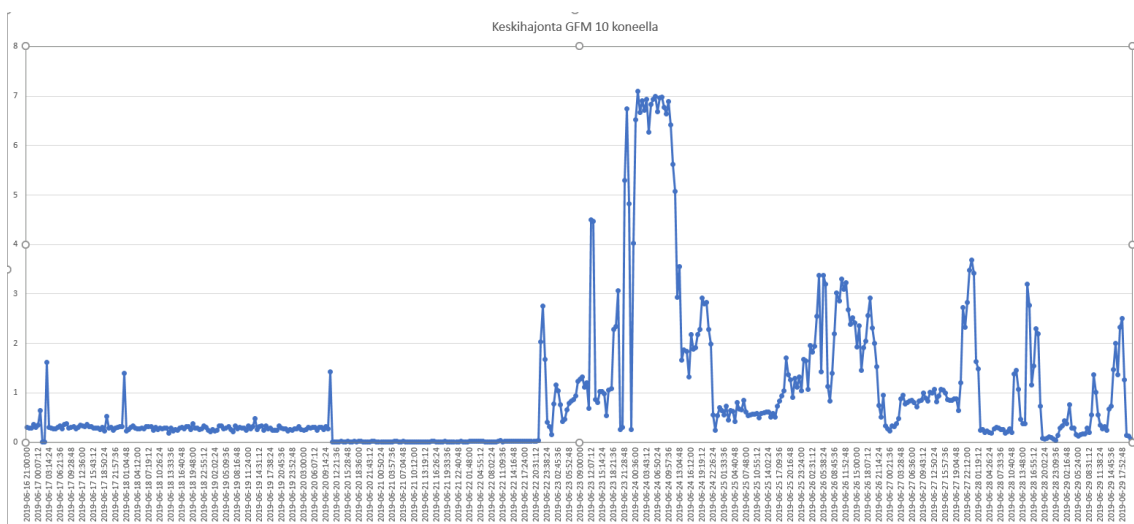


Kuva 18. GFM 10 kokonaisvärähtelytason muutos havaintovälillä (Punainen viiva on keskiarvoviiva)

Keskiahjonta on laskettu kuvassa 19 kaavalla:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2} \quad (9)$$

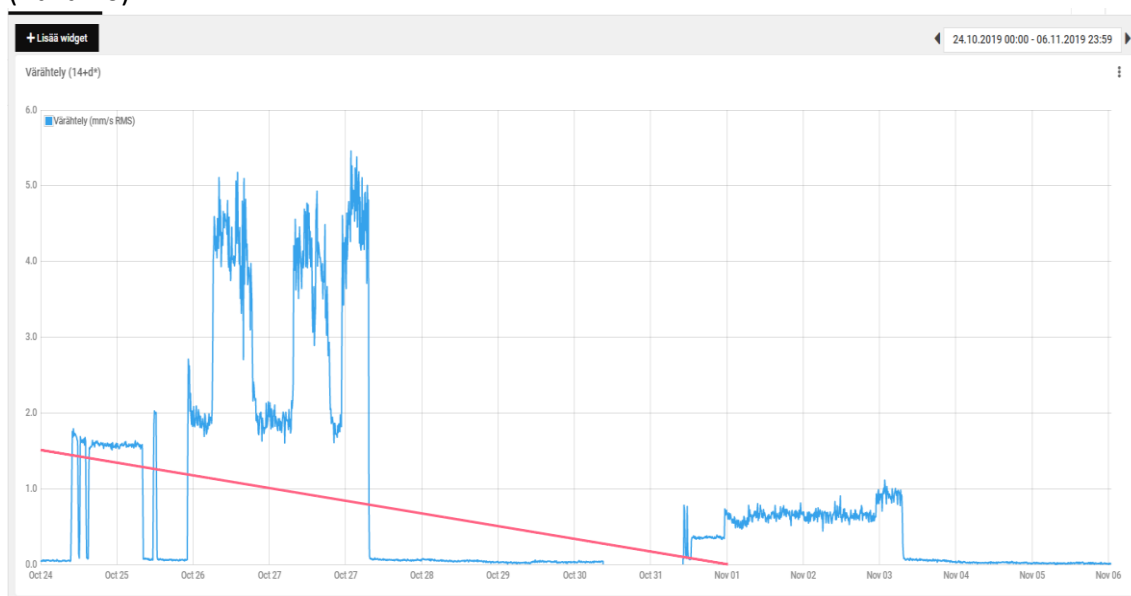
Missä, x_i on i:nnen havainnon arvo ja \tilde{x} tarkoittaa aineiston aritmeettista keskiarvoa.



Kuva 19. GFM 10 värähtelyn keskihajonta 6/2019

5.5.2 Atlas Copco VSD 75 kompressorin laakerivaurio

Elokuussa asennettiin Atlas Copcon 75 kompressoriin värähtelyanturi ja huomattiin muutosta jo syyskuun aikana. Kone on käytössä vain viikonloppuisin, koska tämä kone on varakapasiteettina ja saa käyntiaikaa viikonloppuisin, jotta ei jumittuisi kiinni seisossa. Syyskuun käyttöjaksoista saattoi nähdä koneen normaalia käyntiä noin 2 mm/s RMS tasolla ja sitten pitempiä muutaman tunnin jaksoja tasoilla 4 - 5 mm/s RMS. Koneelle tuli huolto 15.10.2019, joten vaurion tarkastus voitaisiin tehdä samalla. Asentaja mittasi koneen SPM-mittarilla kahdesta eri kohtaa ja todettiin Dbc-arvon (mattoarvo) nousseen 60:n Db-lukemiin, joka tarkoittaa laakerivaurioita. Samalla todettiin akselitiiviste vaurio, jonka vuoksi öljyä roiskui pitkin konetilaa. Vaihtotyöt suoritettiin 31.10 – 1.11.2019 aikana, jossa vaihdettiin sähkömoottorin laakerit ja kompressorin laakerit ja akselitiiviste. Koneen värähtelytasot putosi noin 0,7 – 1 mm/s RMS tasolle, jota voidaan nyt pitää pohjatasona. Kustannussäästöä on vaikea laskea koska kone käy vain viikonloppuisin ja lisäapuna, mutta hinta olisi muodostunut, jos pääkone olisi ollut myös rikki yhtä aikaa. Alla kuvattuna laakerivaurion kehitys ennen korjausta ja korjauksen jälkeen (Kuva 20).



Kuva 20. Atlas Copco kompressorin laakerivaurion näkymä 10/2019 (punainen viiva keskellä on keskiarvotettu trendiviiva).

5.5.3 Hardinge cnc-sorvin karamoottorin ongelmat

SPM Diamond värähtelymittarilla mitattiin reittimittauksena 6.8.2019 Hardingen sorvista karamoottorin D-pään värähtelytasoa, koska ennen kesälomaa käyttäjä oli raportoinnut erikoista huminaa kuuluvan moottorin alueelta. Mittauksien arvot olivat:

- Horisontaali 1,3 mm/s
- Vertikaali 1,1 mm/s
- Stetoskoopilla kuunneltuna ääni tasaista, ei viitteitä laakerivauriosta
- Horisontaali FFT-spektrissä oli 1,1 mm /s piikki noin 48 Hz:n kohdalla, joka viittaisi epätasapainoon

Toimenpiteenä vaihdettiin karamoottorin hammashihnat, puhdistettiin vetopinnat ja ki-ristettiin lopuksi. Tuloksena äänet hävisivät ja uudet mittaukset värähtelymittarilla olivat 0,7 – 0,8 mm/s RMS tasoilla.

Seuraavan kerran mitattiin 6.10 2019, koska koneen käyttäjä raportoi kovasta tärinästä koneen rungossa. Tällä kertaa tulokset olivat:

- Horisontaali 1,9 mm/s
- Vertikaali 1,3 mm/s
- Stetoskoopilla kuunneltuna ääni oli tasaista rätinää, joka viittasi moottorin laa-kerivaurioon
- Horisontaalisuunnan FFT-spektrissä oli ainakin kaksi monikertaa 600 - 1000 Hz välillä, jotka sopivat kyseisen laakerin ulkokehävauriolle

Horisontaalin akselin värähtelyarvo meni tällä kertaa yli ISO 10816 standardin mukaisen keltaisen varoitusrajan yli, joka tässä tapauksessa pienkoneelle on 1,4 mm/s.

Tällä kertaa päätettiin tehdä vaihtotyö karamoottorin laakereille 15.10. Laakerit olivatkin aika lopussa käsituntumallakin. Juurisyy paljastui karamoottorin tuulettimeen, joka oli hajonnut ja lämmön takia sitten laakeritkin ovat jatkaneet nopeasti vaurioitaan.

Tästä tapahtumasta ei valitettavasti FFT-spektriä tallentunut laitteelle, mutta muistiinpanoihin arvot tuli onneksi laitettua. Näiden kahden tapahtuman arvioitu kustannus-
säästö menetetyt tuotannon kautta oli karkeasti laskettuna 36 000 – 40 000 €.

5.6 Toiminnan parantaminen jatkossa

Värähtelymittauksien tekeminen ilman kunnollista tietoa mitä ollaan mittamassa, on aika vaikeaa. Värähtelymittauksien analysointiin liittyy todella paljon tietoa, johon pitää perehtyä hyvin ennen kuin osaa sanoa mitä esimerkiksi käsimittauslaitteen spektreistä on tulkittavissa. Onneksi suomessa on hyvin tehtyjä kunnonvalvonnan oppikirjoja esi-merkiksi kunnossapitoyhdistys Promaint:n toimesta. Oppikirjoista kannattaa lähteä lii-
keelle ennen kuin alkaa rakentamaan värähtelymittausten anturointeja.

Opin itsekin tämän opinnäytetyön kirjoittamisen aikana koko ajan uusia juttuja juuri analysoinnista ja millaisilla mittareilla eri koneen osia kannattaa mitata ja lopuksi se tär-
kein, miten erilaisia mittaustapoja tulee tulkita. Tässä on vielä paljon opittavaa.

Sakon kunnossapitoa tullaan edelleen kehittämään säännöllisten mittausten tekemi-
sellä. Henkilöstön kouluttamista tullaan harjoittamaan enemmän asentajille juuri käsimittareiden käyttöä ajatellen. Antureiden mittaustaikkoja pitää alkaa rakentamaan säännöllisesti, jotta varsinkin sähkömoottorien N-pää saadaan mitattua aina samasta paikasta samalla tavalla.

Käsivärähtelymittariin tullaan ostamaan lisää ominaisuuksia kuten SPM mittaukset ja vä-
rätelymittauksen taajuuden nosto tämän hetkisestä 1000 Hertsistä aina 40 kHz:iin asti. Laitteen ostetuilla ominaisuuksilla ei saada kuin 2 - 10 000 Hz alue katettua spekt-
rianalyysiä varten, joka vaikeuttaa pienien vaurioiden alkujen havaitsemista. Näillä omi-
naisuuksilla saadaan katettua kaikki tämän hetkiset mittaustarpeet laakerivaurioiden ai-
kaisempaan havainnointiin kuin myös erilaisten epätasapainotilanteiden hallintaan.

6 TULOKSET

Kaikkien ajoissa huomattujen vikaantumisien perusteella voidaan sanoa, että järjestelmän rakennus on ollut suotuisa investointi. Jokainen tunti, joka voidaan hyödyntää koneiden pyörittämiseen tuotannossa, on ratkaisevaa tuloksien kannalta.

IoT:n ja käsimittauksien tuoma hyöty on kiistämätön ja kannattaa jatkaa jatkossakin. IoT:n tuomat hyödyt antavat juuri kalliimpien ja vaikeasti mitattavien kohteiden mittamiseen enemmän reagointikykyä. Käsimittauksilla voidaan mitata säännöllisesti ne kohteet, joihin on helppo päästä käsiksi ja tehdä syvempää analyysiä koneen kunnosta tarpeen vaatiessa. Kummatkin tavat ovat toisiaan täydentäviä ja hyödyttävät omalla tavallaan.

Eri vaiheissa käyttöönotetut tekniikat auttoivat henkilöitä perehtymään riittävästi uuteen asiaan. Värähtelymittaus eri tavoilla ei ole helppoa, jos ei ole tietämystä pohjalla. Asiantuntijuus osana toimitusprosessia kannattaa ottaa heti alkuvaiheessa huomioon, jotta tekniikat tulee omaksuttua tarkoitetulla tavalla.

Käytännön tasolla voidaan sanoa ainakin Sakon toiminnan osalta, että yhdenkin konerikon estäminen maksaa rakennetun järjestelmän takaisin tulevaisuudessa, kun makamme vain käyttömaksua ohjelmistoista.

Kunnossapidon henkilöt voivat seurata koneiden kuntoa reaaliaikaisesti ja pystyvät puuttumaan oireisiin ajoissa ennen koneen rikkoutumista. Käsimittauslaitteen opettelu jatketään ja se otetaan yhdeksi rutiinityöksi arjen pyörittämiseen ja seuraamiseen. Yli vuoden päästä aloituksesta voidaan sanoa paremmin, millä tasolla olimme lähtötilanteessa ja verrata sitä tulevaisuuteen kehittyäksemme järjestelmien käytössä.

7 POHDINTAA

IoT-projektin ja kunnonvalvonnan eri alueiden käyntiin saattaminen on ollut kannattavaa ja opettavaista. Ymmärrys eri mittauksien tekemisestä koneille ja niiden tulkinnasta on antanut kriittiseen tiedontulkintaan eväitä, mitä ei ole aiemmin ollut Sakolla riittäväällä tasolla.

Tulevissa koneinvestoinneissa voimme heti ottaa huomioon omat IoT-alustamme ja kunnonvalvonnan eri vaateet huomioon ja varustaa sopivilla antureilla jo ennen kuin ne tulevat Sakolle. Saamme heti käyttöön dataa koneen toimintakunnosta tänne tullessa ja voimme arvioida luotettavuutta reaaliajassa.

Erilaisten koneiden yhteistyön liittäminen on helpompaa saatavilla olevilla rajapinnoilla ja melkein mikä tahansa laite voidaan nykyään kytkeä ainakin jollain tasolla yhteen. Työvoiman saatavuus nykypäivänä pakottaa automatisoimaan prosesseja ja Sako Oy ei ole siitä poikkeus. Automaatiota tarvitaan joka paikassa ja IoT on oiva työkalu rajapintojen laajentamiseen entisestään.

Tässä kirjoitettuna 23.1.2020 pidetystä haastattelusta Sako Oy:n kunnossapitopäällikön mietteitä IoT:n ja käsimitausten tuomiin hyötyihin:

1. Millainen hankintaprosessi ja perusteet tälle toiminnalle olivat?
 - Kunnossapidon kehittäminen ennakoivaan korjaukseen ja tavoitteena huoltojen oikean aikaisiin toteutuksiin.
 - IoT-hanke on yksi konsernin kehityshankkeista ja tulevaisuuteen panostamisesta.
2. Oliko hankinnassa mitään uhkia tai haittoja?
 - Kertyvästä datamassasta seulotaan järkevä tieto ja tehdään manuaalisia toimenpidekehotuksia tuotannonohjaukselle/johdolle, jos organisaatio ei ole valmis tähän toimintaan on uhka, että seuranta ei hyödynnetä.
 - Sopivia antureiden löytäminen ja niiden tuottama datatieto on tärkeässä roolissa, ettei tulla tekemään virheellisiä päätöksiä. Näitä päätöksiä voidaan pitää haittana kunnossapidon toiminnalle ja niin sanottuna turhana työnä.
3. Millaisia hyötyjä IoT-alustan käyttö on tuonut käytössä?
 - Olemme saaneet muutaman alkavan konerikon kiinni. Mutta kokemus on ollut vasta lyhyt aikaista, joten todellista hyötyä on vaikea todentaa vielä.
4. Millainen näkemys itselläsi on miten anturidatan ja analyysin käyttöä tullaan jatkossa soveltamaan?
 - IoT mahdollistaa Sakon organisaatioille kyvyn kerätä valtavia määriä dataa. Oikean datan kerääminen ja sen muuntaminen arvokkaaksi laitteiden käyntitiedoksi tuo varmuutta jokapäiväiseen toimintaan ja koneiden elinkaaren seurantaan. Näkymä kunnossapidon osalta olisi yksi suurimmista kilpailueduista. Kyky

tehdä nopeita päätöksiä viimeisimpään tietoon pohjautuen ja kyky toimia tehokkaasti myös poikkeustilanteissa tuo korvaamatonta lisäarvoa, jos pystytään toimimaan oikein ennen laiterikon tapahtumista.

5. Suositteletko vastaavaa teknologiaa muille yrityksille käyttöön?
 - Suosittelen järjestelmän rakentamista yrityksille, joiden tuotanto on riippuvainen koneiden tuottokyvystä ja toimivat useammassa vuorossa. IoT mahdollistaa automaattisen 24h seurannan, josta on helppo analysoida edellisten vuorojen tapahtumia.

LÄHTEET

Aalto yliopisto. Teollinen internet. <https://www.aalto.fi/fi/aalto-digi-platform/teollinen-internet>. Viitattu 2020

ABB. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita –käsikirja. Luku 23: Kunnonvalvonta ja huolto.

Accenture. Driving Unconventional Growth through the Industrial Internet of Things. <https://www.accenture.com/ph-en/acnmedia/Accenture/next-gen/reassembling-industry/pdf/Accenture-Driving-Unconventional-Growth-through-IIoT.pdf>. Viitattu 15.3.2020.

Caverion Oy. Blogit. <https://www.caverion.fi/blogi/blogi-details/finland-blog/2017/10/17/nain-teollinen-internet-voi-parantaa-tuotantotehokkuutta>. Viitattu 30.4.2020.

DIGITA Oy. Yrityksen palvelusivusto. <https://digitamahdollistaa.fi/mika-on-lorawan/>. Viitattu 9.1.2020.

F-SECURE. IoT-Threat-Landscape. <https://s3-eu-central-1.amazonaws.com/evermade-fsecure-assets/wp-content/uploads/2019/04/01094545/IoT-Threat-Landscape.pdf>. Viitattu 30.4.2020.

Gartner Inc. Sanna Korhonen, Silja Zetterman & Julius Partanen. Etävalvonnan ja -ohjauksen (OT) näkymät Suomessa, Marketvisio. Viitattu 18.12.2017.

Kauppalehti. IoT tietoturvasta uusi bisnes. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/iot-tietoturvasta-uusi-bisnes/d17f94f5-7fdb-3aeb-aaed-7f48ebf8617d>. Viitattu 30.4.2020.

LAPP Automaatio Oy. Tuote-esite IoT-key. <https://lappautomaatio.fi/lapp/automaatioanturit?id=etavalvonta-iotkey>. Viitattu 26.10.2019.

Nohynek, P. & Lumme, V. E. (2004). Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset (2. täyd. p.). Rajamäki: KP-Media.

Mikkonen, H. (2009). Kuntoon perustuva kunnossapito: Käsikirja. Helsinki: KP-Media.

Opetushallitus. 2017. Kunnonvalvonnan menetelmiä. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k2_varahtelymittaukset.html. Viitattu 10.12.2017.

PSK Standardisointi. 2013. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. PSK-käsikirja 3, 17.painos. Helsinki: PSK standardisointiyhdistys ry.

Remion Oy. Yrityksen tuotesivusto. www.Remion.com. Viitattu 26.10.2019.

RD Velho. Blogi. <https://www.rdvelho.com/blogi/design-for-iot/>. Viitattu 26.10.2019.

Sako Oy. Sisäinen intra-sivusto. Viitattu 26.10.2019.

SPM Instrument. Kunnonvalvontalaitteistot. <https://www.spminstrument.fi/>. Viitattu 27.10.2019.

Techtarget network. Definition for internet of things. <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>. Viitattu 15.3.2020.

VTT Technologies. Kohti menestyksestä liiketoimintaa teollisen internetin avulla. <https://www.vtt.fi/palvelut/%C3%A4lyk%C3%A4s-teollisuus/teollinen-internet/kohti-menestykse%C3%A4st%C3%A4-liiketoimintaa-teollisen-internetin-avulla>. Viitattu 15.3.2020.

VTT Technologies. 2013. Productivity leap with IoT. Visions of the Internet of Things with a special focus on Global Asset Management and Smart Lighting. pp. 1-12.

IoT-key lähetin tuotelehti

LAPP AUTOMAATIO

EPIC® SENSORS

EPIC® SENSORS WLT 310
IoTKey® lähetin

TUOTELEHTI

Langaton LoRa-lähetin

Konfiguroitava ja vähän virtaa kuluttava LoRa 868 MHz (EU) -lähetin teollisuustason langattomiin mittauksiin ja LoRaWAN-protokollaa hyödyntäviin IoT-sovelluksiin.

- Kolme konfiguroitavaa anturituloa
- Automaattisesti säätävä lähetysteho
- Toiminta sekä paristolla että ulkoisella apujännitteellä
- Paristonkeston ja anturien toiminnan valvonta
- Konfiguroitavat mittausvälit ja hälytysrajat

IoTKey® WLT 310 lähetin sisältää kaksi tuloa lämpötila-antureille tai vaihtoehtoisesti Lin.R-mittauksille. Kolmas analogiatulo on vapaasti konfiguroitavissa jännite- tai virtaviestinä (0..10 V, 0..20 mA) saataville eri suureiden mittauksille tai kosteusanturituloksi.

Ensisijaisena virtalähteenä käytetään C-tyyppin litiumparistoa, 3,6 V / 8,5 Ah. Lähetintä voidaan käyttää myös 12 tai 24 V ulkoisella apujännitteellä.

Tekniset tiedot

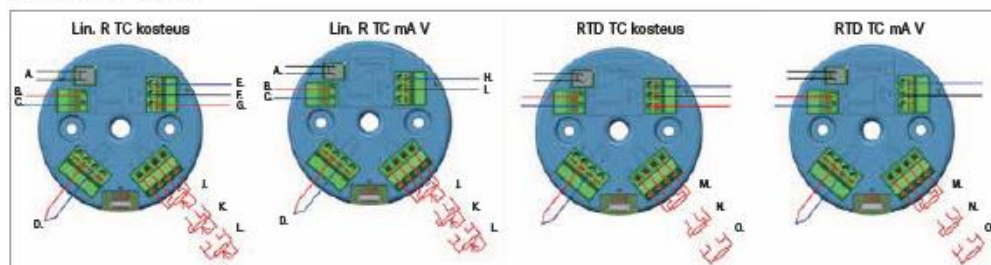
Paino	39 g
Korkeus	25 mm
Halkaisija	67 mm
Johdinkoko (maks.)	1 x 1,0 mm ² , monisäikeinen johdin
Yhteensopivusstandardit	
EMC	EN 61326-1:2013 ja EN 301489
RF	EN 300 220-1 v2.4.1
Tärinä	EN 60068-2-6
LoRaWAN sertifioitu tuote	



Asennuselementit



Kytkentäesimerkkejä



A. Paristo

B. Apujännite 12/24VDC

C. Apujännitteen maa

D. TC

E. Kosteusanturin maa

F. Kosteusanturin tulo

G. Kosteusanturin syöttö 5V/ 10V

H. mA ja V tulo -

I. mA ja V tulo +

J. Lin.R 4-johdin

K. Lin.R 3-johdin

L. Lin.R 2-johdin

M. RTD 4-johdin

N. RTD 3-johdin

O. RTD 2-johdin

Huom! Kanavat S1 and S2 ovat identtiset

IoT-key lähetin tuotelehti

LAPP AUTOMAATIO

EPIC® SENSORS

EPIC® SENSORS WLT 310
IoTKey® lähetin

TUOTELEHTI

Lämpötila-anturi tulot

Pt100/Pt1000 tulo, RTD (S1/S2)	
Tuloista yksi tai kaksi voidaan asettaa Pt100/Pt1000 anturille. Anturin kytkentänä voi olla 2-, 3- ja 4-johdin kytkentä. Tuloille voidaan asettaa anturin oikosulku- ja katkovalvonta.	
Lämpötilan mittausalue	-200...+800 °C
Mittaustarkkuus	≤ ±0,3 °C
Lämpötilan vaikutus	≤ ± 0,01 °C / °C

Termoelementtitulo, TC (S1/S2)	
Tuloista yksi tai kaksi voidaan asettaa termoelementti anturien tuloiksi. TC -tuloille voidaan asettaa anturikatkoksen valvonta.	
Termoelementtityypit	E, J, K, N, R, S, T, B, L ja U tuetut tyypit
Mittausaluet riippuvat termoelementin tyypistä	-200 to +1820 °C
Mittaustarkkuus tyypeille E, J, K, N, T, U ja L	≤ ±1 °C
Lämpötilan vaikutus	
Mittaustarkkuus tyypeille B, R ja S	≤ ±2 °C
Kylmänpisteen kompensointi (CJC)	-40...+80 °C tarkkuus ≤ ± 1 °C

Lineaarinen vastustulo, Lin. R (S1/S2)	
Vastustulon mittausalue	0-3757 ohm
Mittaustarkkuus	≤ ± 0,1% alueesta
Lämpötilan vaikutus	≤ ± 0,01% alueesta/°C

Asetettava analogiatulo

Virtatulo/jännitetulo (AUX)	
Analogiatulo voidaan asettaa jännite- tai virtatuloksi tai kosteusanturin tuloksi.	
Virtatulon mittausalue	0...20 mA (0 - 23mA)
Mittaustarkkuus	≤ ± 0,5 % alueesta
Lämpötilan vaikutus	≤ ± 0,01 % alueesta/°C
Jännitetulon mittausalue	0...10 V (0 - 11 V)
Mittaustarkkuus	≤ ± 0,5 % alueesta
Lämpötilan vaikutus	≤ ± 0,01% alueesta/°C

Kosteusanturitulo (AUX)	
Analogiatulo voidaan asettaa kosteusanturin tuloksi. Kosteusanturien lähtö voi olla jopa 10 V. Lähettimeltä saa anturille 5 V tai 10 V apujännitesyötön. Kosteusanturitulon tarkkuus on sama kuin analogia jännitetulolla.	
Kosteusanturin mittausalue	0...100 % RH
Jännitetulon alue	0...10 V (0 - 11 V)
Mittaustarkkuus	≤ ± 0,5 % alueesta
Lämpötilan vaikutus	≤ ± 0,01 % alueesta/°C
Apujännite kosteusanturille	5 V ja 10 V
Apujännitteen tarkkuus	± 5 %
Apujännitteen maksimi kuorma	1 mA
Kosteusanturin apujännite on kytkettynä päälle vain kosteusmittausanturin ollessa valittuna (ohjaus ohjelmiston toimesta).	

Apujännite

Paristo	<ul style="list-style-type: none"> Lithium primary paristo, 3,6 V, C koko, vakiona 8,5 Ah Pariston liitäntä on suojattu väärä napaisuutta vastaan Pariston kesto riippuu lähettimen asetteluista (tyypillisesti vähintään 1-2 vuotta) Virran kulutus < 100 mA *)
Ulkoisen apujännite	<ul style="list-style-type: none"> Lähetin toimii myös ulkoisella 12 tai 24 V DC apujännitteellä. Apujännite voi olla välillä 9...40 V (12-24V yli ± 30 %) Apujännite on galvaanisesti erotettu tuloista. Eristysjännite apujännitteen/tulojen välillä 1500 Vrms. Tulot eivät ole erotettu toisistaan! Virran kulutus < 70 mA *)


*)Virran kulutukseen vaikuttaa läheisyys theys, kytketyt anturit sekä lähettimen ja gatewayn yhteyden laadusta. Tyypillinen virran kulutus 0,5...50 mA.

Ympäristöolosuhteet

Käyttölämpötila paristolla **)	-25 to +60 °C
Käyttölämpötila ulkoisella apujännitteellä.	-40 to +80 °C
Kotelointiluokka	IP20
Tärinänkesto	Testattu DNV:n Standardin (Certification No 2.4 class B) mukaan.
Suhteellinen kosteus	
RH lähettimelle	90 %, ei kondensoitua
RH WSB-anturi	90 %, ei kondensoitua
Varastointi	95 %, ei kondensoitua
Kuljetus	95 %, ei kondensoitua
Lähettimen odotettu käyttöikä on yli 10 vuotta ympäristön lämpötila-alueella -40...+80 °C.	

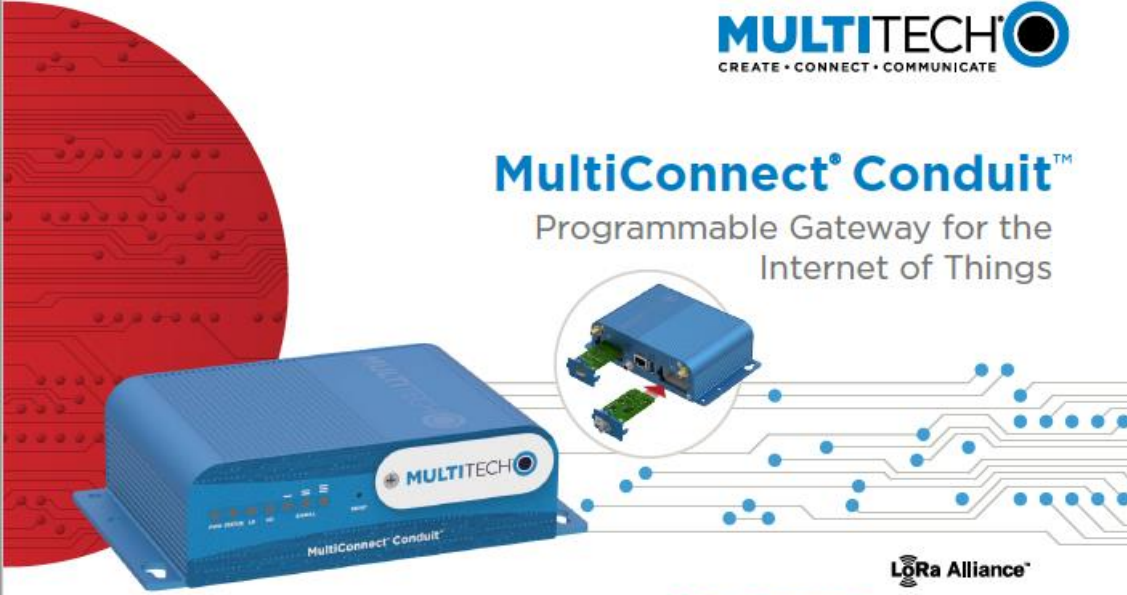
**) Riippuu pariston valmistajan tekniikasta.


IoT-key Gateway tuotelehti



MultiConnect® Conduit™

Programmable Gateway for the Internet of Things





MultiConnect® Conduit™ is the industry's most configurable, manageable, and scalable cellular communications gateway for industrial IoT applications. Network engineers can remotely configure and optimize their Conduit performance through DeviceHQ®, the world's first IoT Application Store and Device Management platform. The Conduit features Wi-Fi/Bluetooth/Bluetooth Low Energy (BT/BLE), GNSS, and two accessory card slots that enable users to plug in MultiConnect® mCard™ accessory cards supporting their preferred wired or wireless interface to connect a wide range of assets locally to the gateway.


Available options include a LoRaWAN™ mCard capable of supporting thousands of MultiConnect® mDot™ and xDot™ long range RF modules connected to remote sensors or appliances. Both IBM's Node-RED, a graphical, drag-and-drop interface and mLinux™ Open Embedded/Yocto opens the complex world of IoT application development to a wider user group to monitor and control their assets. Quick-to-deploy and easy to customize and manage, the Conduit communications gateway realizes your IoT application.

GATEWAY BENEFITS

- Wi-Fi communication supporting 802.11 a/b/g/n 2.4 GHz and 5GHz with WPA2 personal transmission security. Wi-Fi Access Point and Client modes are supported simultaneously.
- BT Classic and BLE 4.1 communication supports local connectivity with automatic pairing with target devices utilizing 128 bit link key length security.
- GNSS module for LoRaWAN packet time-stamping and geo-location capability
- Backhaul options include 4G-LTE, 3G, 2G cellular or Ethernet for cost effective global deployment

LORA FEATURES

- Certified for Europe 868 MHz, North American and Australian 915 MHz ISM bands
- 27 dBm support for European region
- ISM band scanning for optimum LoRa® performance
- Listen Before Talk LoRa operating protocol



3 Steps to Deploying your IoT Application

- 1 Select Wide Area Network**
4G LTE, 3G, 2G, Ethernet
- 2 Select Local Connection**
Ethernet, Serial, GPIO, LoRaWAN™
- 3 Select Development Platform**
Node-RED, mLinux™

www.multitech.com/Conduit

IoT-key Gateway tuotelehti

HIGHLIGHTS

Application Development Tailored to You

MultiConnect Conduit provides both the IBM Node-RED graphical, drag-and-drop interface and mLinux development environments, offering IT professionals, integrators and developers alike, programming choice and capability to utilize the distributed intelligence capabilities of the Conduit to provide analytics on incoming data and provide more actionable outgoing data.

For the Advanced Developer - Open mLinux Development Environment

With a completely open Linux development environment, our mLinux distribution is based on the Open Embedded/Yocto project; providing hundreds of open source packages and extensive language support.

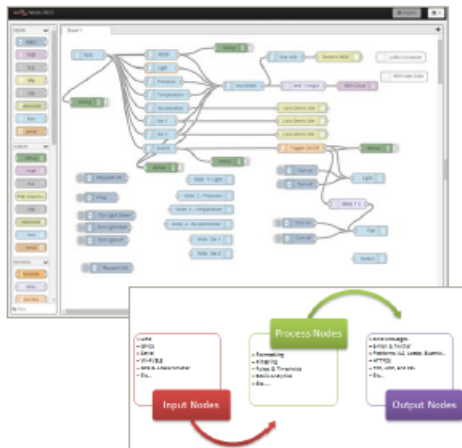
This development path is recommended for those wanting to port existing applications, who have strong language preferences, or who need complete firmware control.

The mLinux Distribution Includes:

- Operating System: Linux 3.12 Kernel, Yocto 1.6
- Language Support: Java, Ruby, Perl, Python, C/C++, PHP, C# and JavaScript
- Packages: SQLite (Database), Lighttpd (Web Server), BusyBox (Core Utilities)

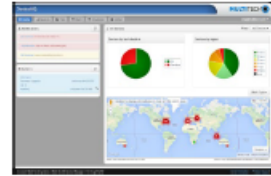
Fast and intuitive Programming with Node.js and Node-RED Technologies

Applications can be simply created and deployed by the click of a button based upon IBM's Node-RED visual development tool. Incredibly user-friendly, Node-RED is an intuitive graphical programming tool ideal for rapid prototyping, designed for IT professionals to optimize and scale the edge behavior of their IoT network.



Easily Deploy and Manage Assets Via DeviceHQ

MultiTech DeviceHQ is the M2M industry's first IoT online application store to enable customers to easily deploy and scale applications to their connected devices. Drag-and-drop tools easily allow customers to create and manage applications for in-field assets. The DeviceHQ application store gives your business the power to innovate operations management and create value-added services.



Benefits

- "Low Touch" asset deployment reduces costs, complexity and time
- Reduce truck-rolls using remote performance management and asset updates
- Easily scales to your network needs
- Browse and download a wide variety of custom applications tailored to your business needs

ACCESSORIES

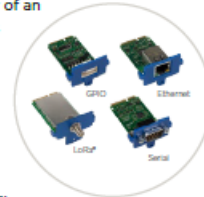
MultiConnect Conduit Accessories - From the Gateway to the Endpoint

MultiConnect Conduit is the center of an integrated IoT platform and comes with the following options:

MultiConnect mCard

MultiConnect mCards provide the flexibility needed to manage diverse infrastructures, supporting a wide range of interfaces and communication protocols including:

- Multi-Function Serial, GPIO, Ethernet
- LoRa LPWAN



MultiConnect mDot - Connecting the "Things"

MultiConnect mDots are inexpensive RF radio modules able to connect low data-rate M2M devices to the internet through the Conduit IoT gateway using the LoRa Alliance LoRaWAN specification, a long-range, Low-Power Wireless Access Network (LPWAN) technology.



mDots bring intelligence, reduced cost and complexity to the very edge of the network by running the ARM® mbed™ OS on a low power ARM Cortex®-M4 processor. With support for multiple interfaces, just about any "Thing" can now be cost effectively connected to the Conduit and choice of cloud data provider.

IoT-key Gateway tuotelehti

SPECIFICATIONS

Model	MTCDT-Lxxxx			MTCDT-H5
	LTE 3GPP Release 9 (100 Mbps peak downlink/50 Mbps peak uplink)			
Performance	AT&T/T-Mobile	Europe	Verizon	
	with HSPA+ 21/GPRS fallback	with HSPA+ 42/GPRS fallback	(No fall back)	
Frequency Bands (MHz)	AT&T/T-Mobile	Europe	Verizon	
	4G: 700(BT7)/ 850(B5)/ AWS1700(B4)/ 1900(B2) 3G: 850(B5)/ 1900(B2) 2G: 850/1900	4G: 800(B20)/ 1800(B3)/2600(B7) 3G: 850(B5)/ 900(B8)/2100(B1) 2G: 900/1800	700(B13)/AWS1700(B4)	
Processor & Memory	ARM9 processor with 32-Bit ARM & 16-Bit Thumb instruction sets • 400 MHz • 16K Instruction Cache • 16K Data Cache • 128x16M DDR RAM • 256 MB Flash Memory			
Packet Data	Up to 100 Mbps downlink, Up to 50 Mbps uplink			21 Mbps downlink, 5.76 Mbps uplink
Radio Frequency LoRa	LoRa 868 or 915 MHz – a proprietary Digital Spread Spectrum technique			
Radio Frequency Wi-Fi & BT/BLE	802.11 a/b/n/g 2.4 Ghz and 5 Ghz & BT Classic BLE 4.1			
Storage	Micro SD			
Input Voltage	9V to 32VDC			
Connectors				
Ethernet	1 RJ-45 Ethernet 10/100 port			
USB	2 USB Ports: USB Host (Type-A), USB Device (Micro-B)			
Serial	1 Debug Serial: USB Micro-B			
Antenna	Female SMA, Cell 2dBi (Qty 2) GPS (Qty 1) and WiFi/BT (Qty 1)			
SIM	SIM/USIM			
Physical Description				
Dimensions (L x W x H)	6.35" x 4.23" x 1.69" (161.3 mm x 107.4 mm x 42.8 mm)			
Weight	1.0 lbs (0.45 kg) with two accessory cards installed			
Chassis Type	Metal			
Environmental				
Operating Temperature	-30° to +70° C*			
Storage Temperature	-40° to +85° C			
Relative Humidity	20% to 90%, non-condensing			
Certifications				
EMC Compliance	US: FCC Part 15 Class B, EU: EN 55022 Class B, EN 55024, Canada: ICES-003			
Radio Compliance	FCC Part 22.24.27			
Safety	UL 60950-1 2nd Ed., cUL 60950-1 2nd Ed., IEC 60950-1 2nd Ed			
Network Approvals	PTCRB, GCF certified module, AT&T, T-Mobile Pending; Rogers, Bell, Telus, Verizon & Sprint			
Quality	MIL-STD-810G: High Temp, Low Temp, Random Vibration. SAE J1455: Transit Drop & Handling Drop, Random Vibration, Swept-Sine Vibration. IEC68-2-1: Cold Temp. IEC68-2-2: Dry Heat			

* UL Listed @ 40° C, limited by AC power supply. UL Recognized @ 70° C when used with the fused DC power cable, part number FPC-532-DC. Installation in outdoor locations or ambient temperature above 40° C or 70° C has not been evaluated by UL. UL Certification does not apply or extend to use in outdoor applications. Optional power must be UL Listed ITE power supply marked LPS or Class 2 rated 12VDC, 5A. Certification does not apply or extend to voltages outside certified range, and has not been evaluated by UL for operating voltages beyond tested range.

SOFTWARE SPECIFICATIONS

mLinux

Open source embedded Linux distro based on the Yocto Project
Tool chain for creating custom images
LoRa network server & packet forwarder
WAN connection via Ethernet or cellular
Cellular PPP, DHCP client & server

Firewall configuration via iptables
MTAC-GPIO, MTAC-MFSE, MTAC-ETH and MTAC-LORA
Full root console access via SSH and serial debug port
Out of the box support for C, C#, C++, Java, Perl, Python, Javascript, Node.js, Ruby

opkg package manager with limited package feed
Basic router functionality built-in with Linux RS-232, RS-485
Five configurable LEDs
Software configurable USB device port
Lighttpd web server

AEP

Enhanced closed source embedded Linux platform
LoRa network server & packet forwarder
WAN Connection
Cellular PPP, Dynamic DNS, DHCP Server/Client
WAN connection via Ethernet or cellular
LAN/WAN Security
Secure firewall with NAT and port forwarding

Static routing
Node-RED integration
Built-in Node-RED application development environment,
Node modules for MTAC-GPIO, MTAC-MFSE and MTAC-LORA
RS-232, RS-485
Language Support
C, C++, Python, Javascript, node.js, bash

Router/Modem management
Graphical web interface for configuration and management
Remote Access
Configuration backup & restore
Easy firmware upgrade through graphical web interface
Seamless integration with DeviceHQ, MultiTech's device management platform
System and network statistics

IoT-key Gateway tuotelehti

IoTKey® - INDUSTRY GRADE WIRELESS MEASUREMENT AND MONITORING

WIRELESS FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS

- Industry grade turn-key solution for cost efficient wireless measurements
- Fast and simple setup also for retro-fit and temporary installations
- Reliable, long range, low power wireless data communication with excellent immunity to interference even in demanding conditions.

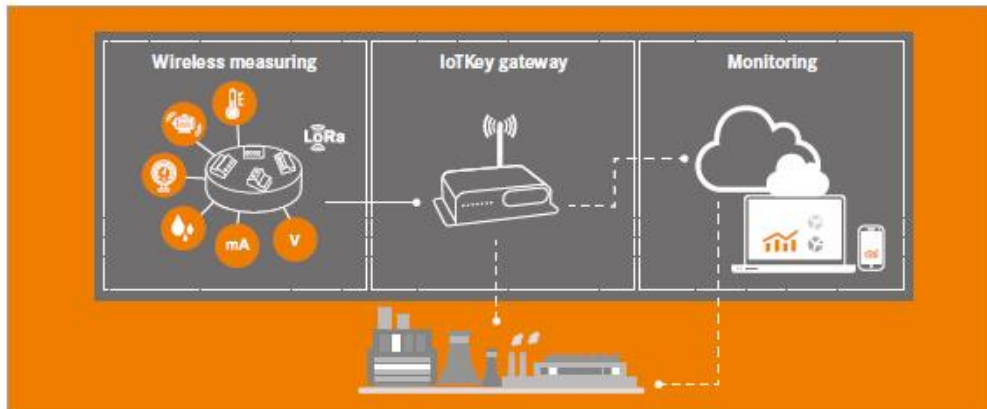
SMARTER MAINTENANCE FOR BETTER PRODUCTIVITY

- Prevent, detect, locate and diagnose problems and failures faster and more efficiently

- Optimize inspection and maintenance intervals, conditions, product life-cycle and warranty costs based on real world up-to-date measurements
- Get more insight with more data - temperature, humidity, pressure, level, vibration, oil quality, current, etc.

FUTURE-PROOF FLEXIBILITY

- Use as a stand-alone solution or integrate to existing systems
- Scale up with new sensors, locations and monitoring options
- Simple web-based access to real time data, trends and measurement configurations – anytime and anywhere, also with mobile devices.



APPLICATION EXAMPLES

- Problem diagnostics and preventive maintenance for bearings, pumps, gears, turbines, etc.
- Detection of efficiency drops and maintenance needs in heat exchangers
- Advanced and continuous oil quality monitoring for product maintenance, life cycle and cost optimization
- Environmental measurements and monitoring for warehouses and storage areas, laboratory space, etc.
- Remote monitoring for levels and temperatures in water supply and waste water networks
- Monitoring and improving energy efficiency in district heating systems
- Mobile measuring sets for temporary condition monitoring of machines and production facilities.

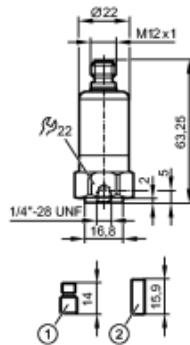
IFM VTV 122 värähtelyanturi

efector800**VTV122**

VIBRATION TRANSMITTER



Diagnostic systems



1: Threaded adapter 1/4"-28 UNF / M8 x 1.25 mm
 2: Threaded adapter 1/4"-28 UNF
 tightening torque 8 Nm

**Product characteristics**

Vibration transmitter

VTV

Connection via M12 connector

Vibration transmitter to ISO 10816

Measuring range RMS: 0...25 mm/s

Analogue output 4...20 mA

2-wire connection technology

Application

Application Vibration transmitter Vrms to ISO 10816

Electrical data

Operating voltage [V] 9.6...32 DC

Protection class III

Inputs / outputs

Inputs / outputs total 1

Outputs

analogue

current output [mA] 4...20

Max. load [Ω] max. (U_b - 9.6 V) x 50; 720 at U_b = 24 V**Measuring / setting range**

Measuring range [mm/s] 0...25 RMS

Frequency range [Hz] 10...1000

Accuracy / deviations

Accuracy [% of the final value] < ± 3

Repeatability < 0.5 %

Linearity 0.25 %

Environment

Ambient temperature [°C] -30...125, for UL applications: max. 80 °C

Protection IP 67 / IP 68 / IP 69K

IFM VTV 122 värähtelyanturi

efector

Diagnostic systems

VTV122

VIBRATION TRANSMITTER

Tests / approvals

EMC	EN 61000-4-2 ESD: 4 kV CD / 8 kV AD EN 61000-4-3 HF radiated: 10 V/m EN 61000-4-4 Burst: 2 kV EN 61000-4-5 Surge: 1 kV EN 61000-4-6 HF conducted: 10 V
Shock resistance	400 g
MTTF [Years]	881

Mechanical data

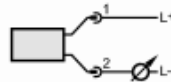
Type of sensor	Microelectromechanical system (MEMS)
Number of measurement axes	1
Housing materials	stainless steel 316L / 1.4404
Type of mounting	set screw
Weight [kg]	0.122

Electrical connection

Connection	M12 connector
------------	---------------

Wiring

1: L+
2: 4...20 mA

**Remarks**

Pack quantity [piece]	1
-----------------------	---

ifm electronic gmbh • Friedrichstraße 1 • 45128 Essen — We reserve the right to make technical alterations without prior notice. — GB — VTV122 — 25.01.2016

EPIC Sensors lämpötila-anturi

LAPP AUTOMAATIO

EPIC® SENSORS

TUOTELEHTI 1

EPIC® SENSORS T-B-ØK / W-B-ØK

Kierteellinen lämpötila-anturi ilman kaulaputkea

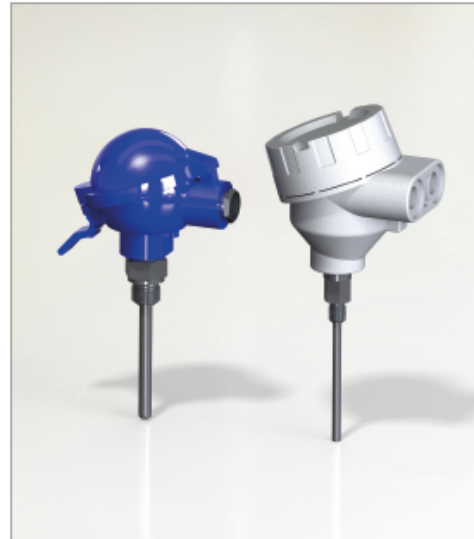
Standardin DIN 4377 2 form 2 mukaan

Ominaisuudet

- mittauslämpötila-alue -40...+250 °C
- anturina Pt100 tai termoelementti
- suojataskumateriaali sovelluksen mukaan
- Pt 100, tarkkuusluokka A vakiotoimituksena
- termoelementti, tarkkuusluokka 1 vakiotoimituksena
- vaihdettava sisäelementti
- MI-kaapeliirakenteinen sisäelementti
- asiakaskohtaisia erikoisratkaisuja
- saatavana ATEX yhteensopivana Ex db -versiona.

Tyypillisiä sovelluksia

- energia- ja voimalaitostekniikka
- prosessiteollisuus
- kemianteollisuus
- koneen- ja laivanrakennus
- tehdastekniikka.



Tekniset tiedot

Materiaalit	AISI 316L, suurin lämpötila +250 °C, hetkellisesti +300 °C
Kierre	Vakiotoimituksena: G, R ja NPT-kierreet, muut kierreet pyydettäessä
Toleranssit Pt100 (IEC 60751)	A, toleranssi $\pm 0,15 + 0,002 \times t$, käyttölämpötila -100...+450 °C B, toleranssi $\pm 0,3 + 0,005 \times t$, käyttölämpötila -196...+600 °C B 1/3 DIN, toleranssi $\pm 1/3 \times (0,3 + 0,005 \times t)$, käyttölämpötila -196...+600 °C B 1/10 DIN, toleranssi $\pm 1/10 \times (0,3 + 0,005 \times t)$, käyttölämpötila -196...+600 °C
Toleranssit termoelementti (IEC 60584)	Tyyppi J toleranssi luokka 1 = -40...375 °C $\pm 1,5$ °C, 375...750 °C $\pm 0,004 \times t$ Tyypit K ja N toleranssi luokka 1 = -40...375 °C $\pm 1,5$ °C, 375...1000 °C $\pm 0,004 \times t$
Mittauslämpötila-alue Pt100	-40...+250 °C
Mittauslämpötila-alue termoelementti	-40...+250 °C
Hyväksynnät	ATEX, RU Ex, METROLOGICAL PATTERN APPROVAL
Laatusertifikaatti	ISO 9001:2015 myöntäjä DNV
Kotelointiluokka	IP65, korkeampi kotelointiluokka pyydettäessä

EPIC Sensors lämpötila-anturi

LAPP AUTOMAATIO

EPIC® SENSORS

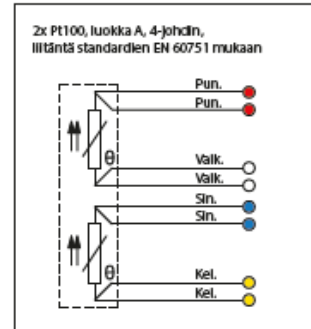
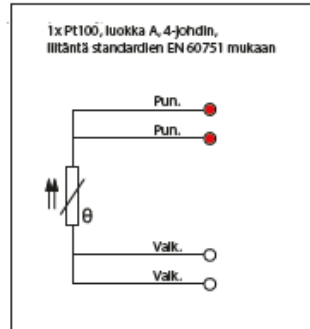
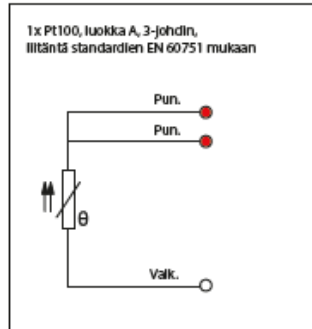
TUOTELEHTI 1

EPIC® SENSORS T-B-ØK / W-B-ØK

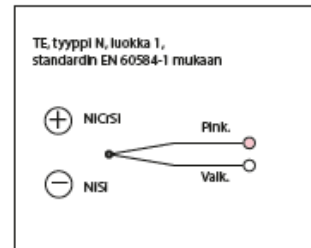
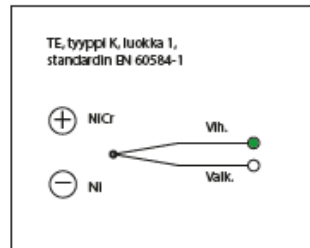
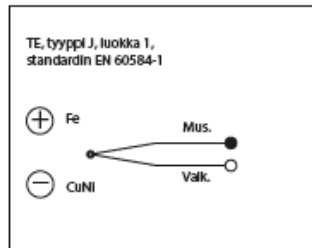
Kierteellinen lämpötila-anturi ilman kaulaputkea

Standardin DIN 43772 form 2 mukaan

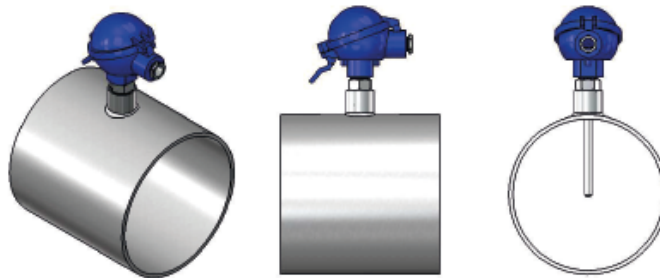
Pt100 liitännät



Termoelementtiliitännät



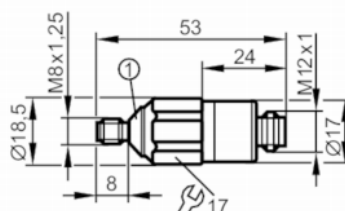
Asennusesimerkkejä



IFM VSA 001 värähtelyanturi

VSA001**Kiihtyvyyssanturi**

VIBRATION SENSOR



1 kartiokulma = 90°



Tuotteen ominaisuudet	
Mittausalue, värinä [g]	-25...25
Taajuusalue [Hz]	0...6000
Mittausperiaate	kapasitiivinen
Sovellutus	
Malli	liitäntä ulkoiseen diagnostiikkayksikköön VSE
Sovellutus	tärinätunnistus
Sähköiset tiedot	
Käyttöjännite [V]	7,2...10,8 DC; (cULus: 9 V DC)
Virrankulutus [mA]	< 15
Min. erotusresistanssi [MΩ]	100; (500V DC)
Suojausluokka	III
Napaisuussuojaus	kyllä
Anturin tyyppi	mikrosähkömekaaninen järjestelmä (MEMS)
Lähdöt	
Analogiavirtalähtö [mA]	0...10
Maks. kuormitus [Ω]	300
Mittaus- / asettelualue	
Mittausalue, värinä [g]	-25...25
Taajuusalue [Hz]	0...6000
Mittausperiaate	kapasitiivinen
Herkyys [μA/g]	142
Mittausakselien lukumäärä	1
Mittausakselien lukumäärä	1
Tarkkuus / poikkeamat	
Lineaarisuuspoikkeama	0,2 %

IFM VSA 001 värähtelyanturi

VSA001**Kiihtyvyyssanturi**

VIBRATION SENSOR

Käyttöolosuhteet		
Ympäristölämpötila	[°C]	-30...125
Huomautus / ympäristölämpötila		cULus: < 85 °C
Varastointilämpötila	[°C]	-30...125
Suojausluokka		IP 67; IP 68; IP 69K
Hyväksynnät / testit		
EMC		EN 61000-6-2
		EN 61000-6-3
		EN 50178
Iskunkestävyys		DIN EN 60068-2-27 50 g 11 ms
Tärinänkestävyys		DIN EN 60068-2-6 20 g / 10 ... 2000 Hz
MTTF	[vuotta]	1701
Mekaaniset tiedot		
Paino	[g]	50
Asennustapa		M8 x 1,25
Materiaalit		kotelo: haponkestävä teräs (1.4404 / 316L)
Kiristysmomentti	[Nm]	8
Mechanische Überlastfestigkeit	[g]	500
Tarvikkeet		
Tarvikkeet (lisävaruste)		Aluslevyt: 5, kartiomainen, E30115
Huomautuksia		
Pakkausyksikkö		1 kpl
Sähköinen liitäntä		
1	L+ (+9 V)	
2	I out	
3	GND	
4	Test	
Pistokeliitäntä: 1 x M12; Maksimi kaapelipituus: 250 m		

EPLUSE EE060 Kosteusanturi

**EE060****OEM Humidity / Temperature Transmitter with Voltage Output**

EE060 probes are the ideal solution for cost-effective, highly accurate and reliable measurement of relative humidity and temperature.

Excellent protection against external influences is ensured by the combination of completely encapsulated electronics and the long-term stable HCT01 sensor with E+E proprietary protective coating. EE060 is available with an integrated cable or a threaded connector, with wide temperature and supply voltage ranges and dual 0-1 V, 0-5 V or 0-10 V analogue outputs, for humidity and temperature.

The result of the wide temperature range and the flexible supply voltage in combination with the excellent long-term stability is a versatile applicable probe.

The E+E proprietary sensor coating is a protective layer applied to the active surface of the HCT01 sensing element.

The coating extends substantially the life-time and the measurement performance of the E+E sensor in corrosive environment. Additionally, it improves the sensor's long term stability in dusty, dirty or oily applications by preventing stray impedances caused by deposits on the active sensor surface.

**Typical Applications**

stables, incubators, hatchers
green houses
humidifiers and dehumidifiers
monitoring of storage rooms
HVAC applications

Features

excellent price/performance ratio
very good long term stability
easy installation
well protected against dust and dirt

Technical Data**Measuring values****Relative humidity**

Sensor	HCT01-00D
Working range	0...100 % RH
Analogue output 0...100 % RH	0-10 V -1.0 mA < I < 1.0 mA 0-5 V -0.2 mA < I < 0.2 mA 0-1 V -0.1 mA < I < 0.1 mA
Accuracy at 24V DC, 20 °C (68 °F)	±2.5 % RH

Temperature active

Sensor	PT1000 DIN B
Analogue output -40...60 °C (-40...140 °F)	0-10 V -1.0 mA < I < 1.0 mA 0-5 V -0.5 mA < I < 0.5 mA 0-1 V -0.1 mA < I < 0.1 mA
Accuracy at 24V DC, 20 °C (68 °F)	±0.3 °C (±0.5 °F)

Temperature passive (with 0-1 V output and 8-pole connector only)

Output	resistive, 2-wire
Type of T-Sensor	refer to ordering guide

General

Supply voltage	HT1: 3.6...30 V DC / HT2: 10...30 V DC / HT3: 15...30 V DC
Current consumption	typ. 1.5 mA
Electrical connection	M12 connector or cable (PVC, Ø 4.3 mm, 4 x 25 mm ²)
Housing	polycarbonate / IP65
Electromagnetic compatibility ²⁾ (industrial environment)	EN61326-1 EN61326-2-3
Working and storage temperature	-40...+60 °C (-40...140 °F)

¹⁾ Analogue output 0-1 V is not protected against surge!

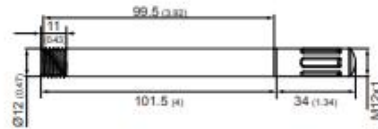


EPLUSE EE060 Kosteusanturi

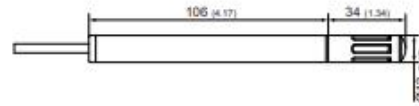


Dimensions in mm (inch)

connector version



cable version



Connection Diagram

connector version

Connector 4-pole (M)

- 1...V+
- 2...RH-out
- 3...GND
- 4...T-out



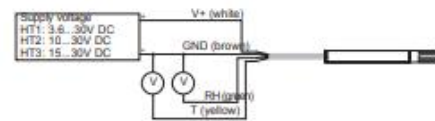
Supply voltage
HT1: 3.6...30V DC
HT2: 10...30V DC
HT3: 15...30V DC

Connector 8-pole (M)

- 1...T-passive
- 2...not connected
- 3...not connected
- 4...RH-out
- 5...T-out
- 6...GND
- 7...T-passive
- 8...V+



cable version



Ordering Guide

ANALOG OUTPUT	T-SENSOR PASSIVE ¹⁾ (with 0-1 V output and 8-pole connector only)	ELECTRICAL CONNECTION	CABLE LENGTH	FILTER
0 - 1 V (1)	none (X)	connector 4-pole (PM)	0.5 m (1.6 ft) (A)	membrane filter (B)
0 - 5 V (2)	Pt1000 DIN A (C)	connector 8-pole (for T-Sensor passive) (PV)	1.5 m (4.9 ft) (C)	
0 - 10 V (3)	NTC10k at 25 °C (E)	cable (PN)	3 m (9.8 ft) (E)	
EE060-HT			with connector (X)	

¹⁾ T-Sensor details see www.epluse.com/R-T_Characteristics

Order Example

EE060-HT2xPMxB

Output: 0-5 V
T-Sensor passive: none
El. Connection: connector 4-pole
Cable length: with connector
Filter: membrane filter

EE060-HT1CPVxB

Output: 0-1 V
T-Sensor passive: Pt1000 DIN A
El. Connection: connector 8-pole
Cable length: with connector
Filter: membrane filter

Accessories (For further information, see data sheet „Accessories“)

Female connector 4pol. self assembly M12x1	HA010707
Female connector 8pol. self assembly M12x1	HA010704
Connecting cable 5 pins, M12x1 plug-socket 2 m (6.6 ft) / 5 m (16.4 ft) / 10 m (32.8 ft)	HA010816/HA010817/HA010818
Connecting cable 8 pins, M12x1 socket - flying leads 3 m (9.8 ft) / 5 m (16.4 ft) / 10 m (32.8 ft)	HA010323/HA010324/HA010325
Connecting cable 5 pins, M12x1 socket - flying leads 1.5 m (4.9 ft) / 5 m (16.4 ft) / 10 m (32.8 ft)	HA010819/HA010820/HA010821
Plastic mounting flange for duct mounting light grey / black	HA010202/HA010214
Radiation shield	HA010502

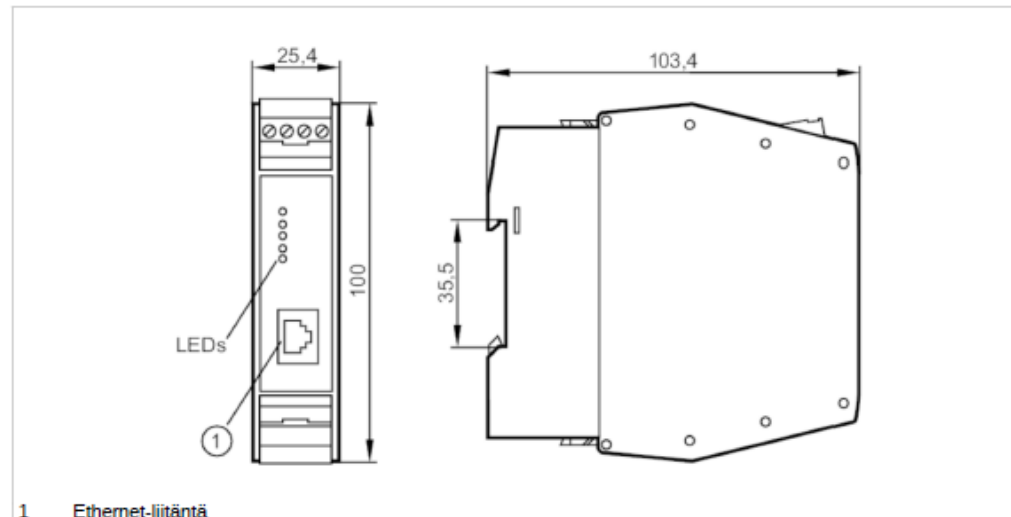
Support literature

www.epluse.com/EE060

IFM värähtelyn diagnostiikkayksikkö tuotelehti

VSE002**Diagnostiikkayksikkö värähtäntureille**

DIAGNOSTIC ELECTRONICS



1 Ethernet-liitäntä



Tuotteen ominaisuudet	
Taajuusalue	[Hz] 0...12000
Sovellutus	
Malli	parametrien asetus PC-ohjelmiston avulla VES004
Sovellutus	Laskuri toiminto
Sähköiset tiedot	
Käyttöjännitteen toleranssi	[%] 20
Käyttöjännite	[V] 24 DC; (käytettäessä IEPE-tuloa: 24 V + 20%; IEPE = Integrated Electronics Piezo Electric (sisäänrakennettu pietsoelektronikka))
Virrankulutus	[mA] 200; (24 V)
Suojaluokka	III
Tulot / lähdöt	
Tulojen ja lähtöjen kokonaislukumäärä	8; (konfiguroitava)
Tulojen ja lähtöjen lukumäärä	Tulojen lukumäärä, analogia: 2; Binääri-lähtöjen lukumäärä: 1; Analogialähtöjen lukumäärä: 1
Tulot	
Tulojen lukumäärä, analogia	2
Analogiatulon resoluutio	12
Dynaaminen tulo - näytteenottotaajuus	100
	[kSamples]

IFM värähtelyn diagnostiikkayksikkö tuotelehti

VSE002

Diagnostiikkayksikkö värinäantureille

DIAGNOSTIC ELECTRONICS



Lähdöt	
Lähtösignaali	kytkinsignaali; analogiasignaali
Binäärilähtöjen lukumäärä	1
Lähtötoiminto	sulkeutuva / avautuva; (parametroitavissa)
Maks. jännitehäviö, binäärilähtö DC [V]	2
Jatkuva kuormitettavuus, binäärilähtö DC [mA]	100
Analogialähtöjen lukumäärä	1
Analogiavirtalähtö [mA]	4...20
Maks. kuormitus [Ω]	500
Oikosulkusuojaus	kyllä
Oikosulkusuojaustyyppi	tahdistettu
Ylikuormitussuojaus	kyllä
Mittaus- / asettelualue	
Taajuusalue [Hz]	0...12000
Liitännät	
Tiedonsiirtoliitäntä	Ethernet
Protokolla	TCP/IP
Käyttöolosuhteet	
Ympäristölämpötila [°C]	0...70
Varastointilämpötila [°C]	0...70
Suojausluokka	IP 20
Hyväksynät / testit	
EMC	EN 61000-6-2
	EN 61000-6-3
	EN 50178
MTTF [vuotta]	101
Mekaaniset tiedot	
Paino [g]	230
Kotelo	muovikotelo
Asennustapa	kisko; (TH35/EN60715)
Mitat [mm]	100 x 25,4 x 103,4
Materiaalit	PA
Datamuisti	
Historiamuisti	kyllä
Datamuistin puskurointi	kyllä
Datamuistityyppi	rengasmuisti; FIFO
Reaaliaikakellolla	kyllä
Muistin sijainti	sisäinen
Tallennusväli	min. 1 min
Muistin koko	881664 datatallenteet
Tarvikkeet	
Tarvikkeet (lisävaruste)	ristinkytketty Ethernet-välikaapeli suoraa PC-liitäntää varten

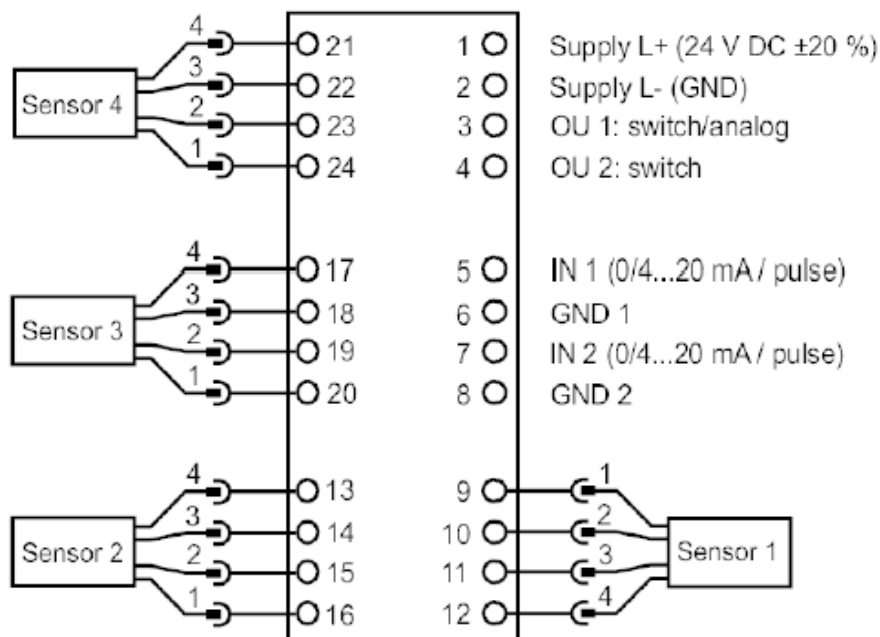
IFM värähtelyn diagnostiikkayksikkö tuotelehti

VSE002**Diagnostiikkayksikkö värinäantureille**

DIAGNOSTIC ELECTRONICS



Huomautuksia	
Pakkausyksikkö	1 kpl
Sähköinen liitäntä	
Combicon: ; Maksimi kaapelipituus: 250 m	
Liitäntä	



EPIC Sensors kaapelilämpötila-anturi

LAPP AUTOMAATIO

EPIC® SENSORS

TUOTELEHTI 16

EPIC® SENSORS W-CABLE / T-CABLE
Kaapelilämpötila-anturi

Ominaisuudet

- mittauslämpötila-alue -200...+300 °C
- anturi Pt100 tai termoelementti
- vakiotoimitusmateriaalit AISI 316L, muut materiaalit pyydettäessä
- Pt100, tarkkuusluokka A vakiotoimituksena
- termoelementti, tarkkuusluokka 1 vakiotoimituksena
- saatavana taivutettavalla MI-kaapelirakenteella
- tärinänkestävä rakenne
- asiakaskohtaisia erikoisratkaisuja
- saatavana ATEX yhteensopivana Ex e -versiona.

Tyypillisiä sovelluksia

- prosessiteollisuus
- kemianteollisuus
- koneen- ja laivanrakennus
- tehdastekniikka.



Tekniset tiedot

Materiaalit	AISI 316L, suurin lämpötila +250 °C, hetkellisesti +300 °C, muut materiaalit pyydettäessä
Halkaisijat	3, 4, 5, 6 tai 8 mm, muut halkaisijat pyydettäessä
Kaapelimateriaalit	SIL = silikonit, maks. +180 °C FEP = Teflon®, maks. +205 °C GGD = lasisilikkikaapeli/metallipunos/ulkokuori, maks. +350 °C FDF = FEP johdineriste/metallipunos/FEP ulkovaippa, maks. +205 °C SDS = silikonit/metallipunos/silikonit, vain 2-johdin kaapeli, maks. +180 °C TDT = Teflon® johdineriste/metallipunos/ Teflon® ulkovaippa, maks. +205 °C FDS = FEP johdineriste/metallipunos/silikonit, maks. +180 °C FS = FEP johdineriste/silikoninen ulkovaippa, maks. +180 °C CON = ei kaapelia, yksittäiset johtimet, FEP eristeellä, maks. +205 °C
Toleranssit Pt100 (IEC 60751)	A, toleranssi $\pm 0,15 + 0,002 \times t$, käyttölämpötila -100...+450 °C B, toleranssi $\pm 0,3 + 0,005 \times t$, käyttölämpötila -196...+600 °C B 1/3 DIN, toleranssi $\pm 1/3 \times (0,3 + 0,005 \times t)$, käyttölämpötila -196...+600 °C B 1/10 DIN, toleranssi $\pm 1/10 \times (0,3 + 0,005 \times t)$, käyttölämpötila -196...+600 °C
Toleranssit termoelementti (IEC 60584)	Tyyppi J toleranssi luokka 1 = -40...375 °C $\pm 1,5$ °C, 375...750 °C $\pm 0,004 \times t$ Tyypit K ja N toleranssi luokka 1 = -40...375 °C $\pm 1,5$ °C, 375...1000 °C $\pm 0,004 \times t$
Lämpötila-alue Pt100	-200...+350 °C, riippuen sovelluksesta ja materiaaleista.
Lämpötila-alue termoelementti	-200...+350 °C, riippuen termoelementtityypistä ja materiaaleista.
Hyväksynät	ATEX, RU Ex, EAC, IECEx, METROLOGICAL PATTERN APPROVAL
Laatusertifikaatti	ISO 9001:2015, myöntäjä DNV

SPM Diamond värähtelymittari tekniset tiedot

Mittalaite

Mitat: 297 x 130 x 69 mm

Paino: 890 g

Näyttö: TFT-väri näyttö, 480 x 272 pikselin, 4.3" laajakuva, säädettävä taustavalo

Runko: IP65

Yleiskatsaus

- Kolmen kanavan samanaikainen värähtelymittaus
- Taajuusalue 0 (DC)-40 kHz
- Jopa 25 600 viivan FFT-spektri
- ISO 2372, ISO 10816
- Värähtelyspektri Hz, CPM tai kerrannaiset
- Hyväksyy IEPE (ICP) standardin mukaiset värähtelyanturit
- Dynaminen alue 120 dB
- Nopeuden mittaus 1-120 000 rpm
- RF-lähetinvastaanotin langatonta mittauspistetunnistusta varten, luku- ja kirjoitustoiminnot CondID[®]-tunnistesirujen yhteydessä
- Ohjelmoitavat toimintonäppäimet
- Käyttö yhdellä (oikealla taivasemmalla) kädellä
- Akkulaturi latausvaiheen osottimella
- Li-Ion akku vähintään 16 tunnin käyttöajalla normaalikäytössä
- Kuvankäsittely ajan ja asteikon zoomaus
- USB tiedonsiirto
- Tuhansien mittapisteiden tallennuskapasiteetti
- Yhteensä 100 mittaustuloksen ja kommentin mittapistekohtainen historiamuisti
- Verhokäyrä (envelope), True Zoom, aikasynkronoitu mittaus
- Esiohjelmoidut vikaoireet spektrianalyysiä varten
- Vesiputousnäyttö, vaihe- ja livespektri
- Boden and Nyqvistin diagrammit
- Stetoskooppitoiminto, kuulokkeet
- Automaattinen anturilinjatesti
- Kuntoarvio asteikolla vihreä-keltainen-punainen
- Jatkuva tallennus aina 50 tuntiin asti
- Äänikommenttien tallennus
- Windows[®] CE alusta
- 400 MHz prosessori
- 256 MB RAM, 512 MB Flash ja 1 GB SD laajennettavissa 8 GB:iin