

Janne Hyyryläinen

LANGATON TIEDONSIIRTO KUNNONVALVONNASSA

LANGATON TIEDONSIIRTO KUNNONVALVONNASSA

Janne Hyyryläinen
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikka, tuotantotekniikka

Tekijä: Janne Hyyryläinen
Opinnäytetyön nimi: Langaton tiedonsiirto kunnonvalvonnassa
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Wireless data transmission in condition monitoring
Työn ohjaaja: Esa Törmälä
Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: kevät 2021
Sivumäärä: 48 + 0 liitettä

Opinnäytetyö tehtiin Oulun ammattikorkeakoulun KÄYPI-hankkeelle. Työn tilaajana toimi Kari Asu-
maniemi ja ohjaavana opettajana Esa Törmälä. Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä tutkielma lan-
gattomasta tiedonsiirrosta kunnonvalvonnassa.

Tutkielmassa tutustuttiin kunnonvalvonnan perusteisiin ja kunnonvalvonnalla saavutettaviin hyötyi-
hin. Tehokkaalla kunnonvalvonnalla voidaan lisätä tuotantoaikaa ja lyhentää keskimääräistä sei-
sokkiaikaa tuotantoajalla tehdyillä toiminnoilla. Tutkielmassa perehdyttiin myös kunnonvalvonnan
mitattaviin suureisiin, kuten ääninään, lämpötilaan, sähkövirtaan, voiteluaineanalyysiin ja tekniikoi-
hin, joilla kunnonvalvontaa voidaan suorittaa langattomasti. Tutkielmassa tutustuttiin myös esinei-
den internetiin (IoT), teolliseen esineiden internetiin (IIoT) ja erilaisiin markkinoilla oleviin tiedonsiir-
tomenetelmiin. Tällaisia tiedonsiirtojärjestelmiä ovat esimerkiksi BLE, LoRa, Sigfox ja NB-IoT. Tut-
kielma käsittelee lisäksi myös antureiden ja älykkäiden antureiden perusteita sekä antureiden vaih-
tehtoisia energialähteitä, joita energian keräysjärjestelmät mahdollistavat.

Tutkielmassa selvisi langattomien sovellusten paljous, järjestelmien samankaltaisuus ja teknolo-
gian edistyneisyys. Langattomaan kunnonvalvontaan olemassa olevia järjestelmiä on tarjolla kym-
meniä, ja uusia järjestelmiä kehitetään koko ajan lisää. Siksi oikean langattoman sovelluksen va-
linta voi olla haastavaa. Sen takia selkeimpiä vaihtoehtoja pois rajaavia tekijöitä ovat vaadittu kan-
tomatka, tiedonsiirron määrä, tiedonsiirron nopeus ja virrankulutus. Langattoman järjestelmän va-
linnassa on myös huomioitava järjestelmän alttius mahdollisille häiriösignaaleille ja mietittävä, onko
langaton järjestelmä ensinnäkään tarpeellinen. Kaikki edellä luetellut vaikuttavat siihen, millaista
tekniikkaa kannattaa valvottuun kohteeseen suositella.

Asiasanat: kunnonvalvonta, IoT, langattomat tiedonsiirtomenetelmät, anturit, älykkäät anturit

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical engineering, option of production engineering

Author: Janne Hyyryläinen
Title of thesis: Wireless Data Transmission in Condition Monitoring
Supervisor: Esa Törmälä
Term and year when the thesis was submitted: Spring, 2021
Number of pages: 48 + 0 appendices

The thesis was commissioned by the KÄYPI project of Oulu University of Applied Sciences. The project manager was Kari Asumaniemi and the supervising teacher was Esa Törmälä. The aim of the thesis was to make a dissertation on wireless data transmission in condition monitoring.

The dissertation introduced the basics of condition monitoring and the benefits of condition monitoring. Effective condition monitoring can increase production time and shorten average downtime with operations performed during production. The dissertation also looked at measurable quantities of condition monitoring, such as vibration, temperature, electric current, lubricant analysis, and techniques for performing condition monitoring wirelessly. The dissertation also introduced the Internet of Things (IoT), the Industrial Internet of Things (IIoT) and various data transfer methods on the market. Examples of such communication systems are BLE, LoRa, Sigfox and NB-IoT. The dissertation also deals with the basics of sensors and smart sensors, as well as the alternative energy sources of sensors that are made possible by energy harvesting systems.

The dissertation revealed the number of wireless applications, the similarity of the systems and the advanced technology. There are dozens of existing systems available for wireless condition monitoring, and new systems are constantly being developed. Therefore, choosing the right wireless application can be challenging. The factors that limit the clearest options are the required range, the amount of data transfer, the data transfer speed and the power consumption. The choice of a wireless system must also consider the susceptibility of the system to possible interference signals and consider whether a wireless system is necessary in the first place. All the above affect what technology is worth recommending to a controlled site.

Keywords: condition monitoring, IoT, wireless communication methods, sensors, smart sensors

SISÄLLYS

SISÄLLYS.....	5
LYHENTEET.....	6
1 JOHDANTO.....	8
2 TEOLLISUUDEN KÄYNNISSÄPITO.....	9
2.1 Kunnonvalvonta.....	10
2.2 Kunnonvalvontakeinot.....	12
2.3 Kunnonvalvontamittauksissa seurattavia suureita.....	14
2.3.1 Värähtelymittaus.....	14
2.3.2 Lämpötilamittaus.....	16
2.3.3 Voiteluaineanalyysi.....	16
2.3.4 Sähkövirta.....	17
2.4 Esimerkki kunnonvalvonnan mittauksista.....	17
3 LANGATON TIEDONSIIRTO KUNNONVALVONNASSA.....	20
3.1 Internet of things (IoT).....	21
3.2 Industrial internet of things (IIoT).....	22
3.3 Langattomat tiedonsiirtomenetelmät.....	24
3.3.1 Bluetooth ja Bluetooth LE.....	25
3.3.2 LoRa ja LoRaWAN.....	26
3.3.3 Sigfox.....	30
3.3.4 NB-IoT.....	32
4 ANTURIT.....	34
4.1 Antureiden energian tarve.....	37
4.2 Älykkäät anturit.....	39
5 POHDINTA.....	42
LÄHTEET.....	44

LYHENTEET

AES	Advanced Encryption Standard on tietojen ja tiedostojen salauksen suojaustekniikka.
BLE	Bluetooth low energy on lyhyen matkan langaton lähiverkkotekniikka, jonka virran tarve on hyvin vähäinen.
Half-duplex	Vuorosuuntaisessa järjestelmässä lähetäviä osapuolia voi olla vain yksi kerrallaan, mutta lähettäjä voi vaihtua, jolloin kukin lähettäjä toimii omalla vuorollaan tai tarpeen mukaan ja yhteys on eriaikaisesti kaksisuuntainen.
IIoT	Industrial Internet of Things on teollisuuden keskittämä esineiden internet.
IIoT	Internet of Thingsillä tarkoitetaan järjestelmiä, jotka perustuvat teknisten laitteiden suorittamaan automaattiseen tiedonsiirtoon sekä kyseisten laitteiden etäseurantaan ja -ohjaukseen internet-verkon kautta.
IP	Internet Protocol on internetin toiminnan ydin, joka yhdistää internetiin liittyneitä laitteita palvelimiin ja sitä kautta mahdollisesti toisiin käyttäjiin, kuitenkin IP ei yksilöi käyttäjää.
ISM	Industrial, Scientific and Medical -taajuus on maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista, jonka käyttö ei vaadi erillistä lupaa ja on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön.
LoRa	Long Range on yksittäinen modulaatoratkaisu, jota päätelaitteet ja reitittimet käyttävät kommunikoidessaan keskenään.
LPWAN	Low-power wide-area network tai low-power wide-area (LPWA) tarkoittaa pienitehoista laaja-alueellista verkkoa.

M2M	Machine-to-machine on laitteiden ja koneiden välille luotava yhteys, joka mahdollistaa sen, että ne voivat kommunikoida keskenään tai ylipäätään luoda älykästä dataa.
PHY	Physical layer "fyysinen kerros" on elektroninen piiri, joka on yleensä toteutettu integroiduna piirinä ja jota tarvitaan OSI-mallin fyysisen kerroksen toimintojen toteuttamiseksi verkkoliitäntäohjaimessa.
PIN	Personal identification number eli tunnusluku on salasanana käytettävä luku, jolla voidaan autentikoitua eli tunnistautua erilaisiin järjestelmiin.
UID	Unique identifier on tunniste, jonka taataan olevan yksilöllinen kaikkien kyseisille kohteille ja tiettyyn tarkoitukseen käytettyjen tunnisteiden joukossa.
UNB	Ultra narrowband on viestintäteknikassa oleva järjestelmä, jonka kaistanleveys on hyvin kapea.

1 JOHDANTO

Tekniikan kehittyessä enemmän langattomaan suuntaan tuo se myös mahdollisuuden langattomien kunnonvalvontajärjestelmien luomiseen. Langattomilla sovelluksilla kunnonvalvontaa voidaan suorittaa jatkuvasti ja missä tahansa, minkä ansiosta ennakoivaa huoltoa on helpompi tehdä ja turhia tuotannon pysäytyksiä voidaan välttää. Etäluettavuus parantaa myös työturvallisuutta, jos valvotut kohteet ovat vaarallisissa ja hankalasti tavoitettavissa paikoissa. Langattomat sovellukset poistavat myös kaapeloinnin tarpeen, mistä voi olla taloudellisia hyötyjä yritykselle.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia tämänhetkisiä langattomia tiedonsiirtomenetelmiä kunnonvalvonnassa. Työssä esitellään kunnonvalvonnan perusteita, mitattavia suureita kunnonvalvonnassa, lyhyesti IoT- ja IIoT-asioita, langattomia tiedonsiirtomenetelmiä ja antureiden perusteita.

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Oulun ammattikorkeakoulun KÄYPI-hanke. Hankkeessa halutaan saavuttaa ja kehittää uutta teknologiaosaamista ja ajattelutavan muutosta kunnossapidosta koneiden elinkaariajattelun mukaiseen käynnissäpitoon (1).

2 TEOLLISUUDEN KÄYNNISSÄPITO

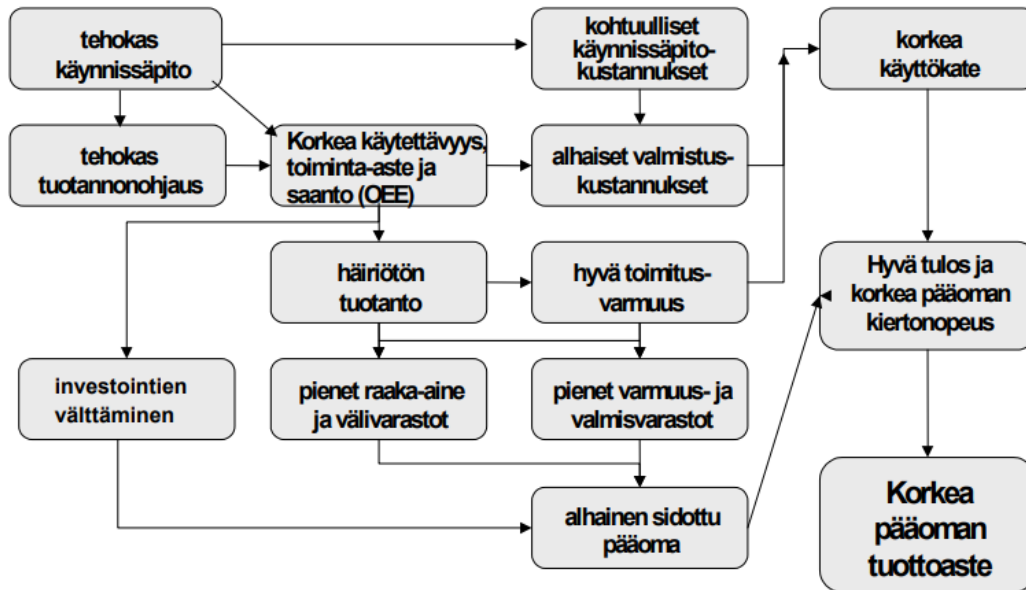
Teollisuuden käynnissäpito muodostuu kunnossapidosta, käyttöhenkilöstöstä ja näiden harmonialisesta yhteistyöstä, joilla tähdätään yhteisiin tuotannollisiin tavoitteisiin. Teollisuuslaitoksissa käyttöhenkilökunnasta käytetään nimitystä käyttö, käyttöhenkilöstö, tuotantohenkilöstö tai tuotanto. (2, s. 2–5.)

PSK 6201 standardissa käynnissäpito on määritelty näin:

”Käytön lisäksi käyttöhenkilöstön tehtäviin voi sisältyä kohteen käyttökuntoon liittyviä tehtäviä kuten, puhdistukset, voitelu, asetukset, tuotantokoneiden korjauksia sekä kunnonvalvontaa ja tuotantokyvyn seuranta.” (2, s. 3.)

Tehokkaalla käynnissäpidolla (kuva 1) voidaan vaikuttaa suoraan sekä tuotannonohjauksen kautta tuotantolinjan kokonaistehokkuuteen (OEE). Kokonaistehokkuus lasketaan käytettävyyden, nopeuden ja laatukertoimen tulona. Korkea kokonaistehokkuus mahdollistaa samalla henkilöresursilla ja pääomakannalla suuremman myynnin, mikä puolestaan alentaa valmistuskustannuksia tuotettua yksikköä kohden. Korkea kokonaistehokkuus merkitsee myös tuotannon häiriötöntä käyntiä, joka lisää toimitusvarmuutta ja pienentää varastojen tarvetta. Hyvä toimitusvarmuus puolestaan parantaa myyntimahdollisuuksia ja pienet varastomäärät lisäävät pääoman kiertonopeutta. Korkea kokonaistehokkuus kasvattaa tuotantokapasiteettia, joka vähentää tarvetta investoinneille. Kohdulliset käynnissäpidon kustannukset parantavat myös tulosta ja edelleen pääoman tuottoastetta. Edellä mainitut lisäävät myös pääoman kiertonopeutta myynnin lisääntymisen tai sidotun pääoman alenemisen myötä. (3, s. 17–18.)

Käynnissäpidon vaikutus pääoman tuottoasteeseen

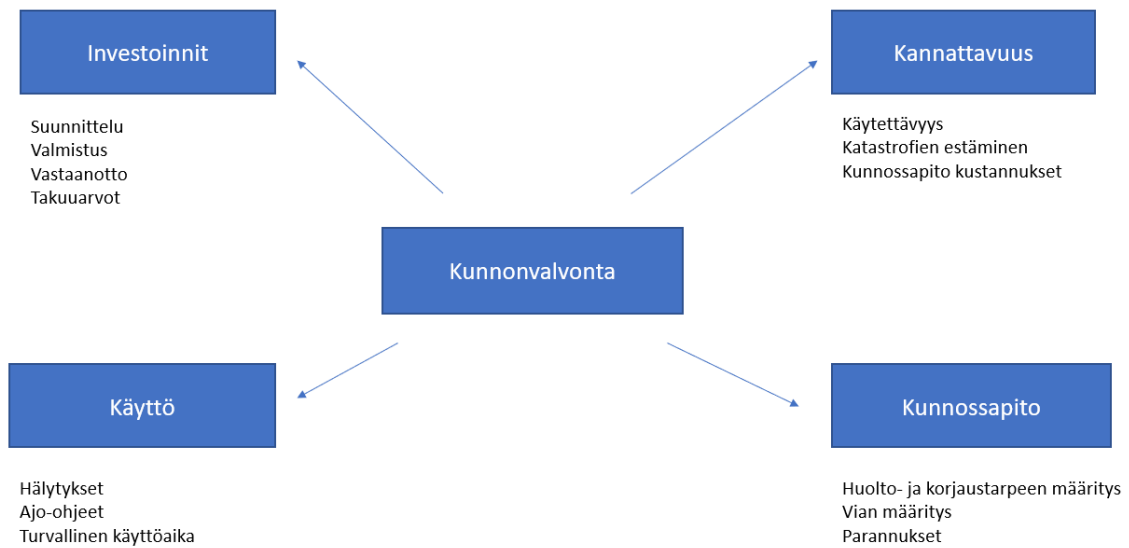


KUVA 1. Käynnissäpidon vaikutus yrityksen pääoman tuottoasteeseen (3, s. 17.)

2.1 Kunnonvalvonta

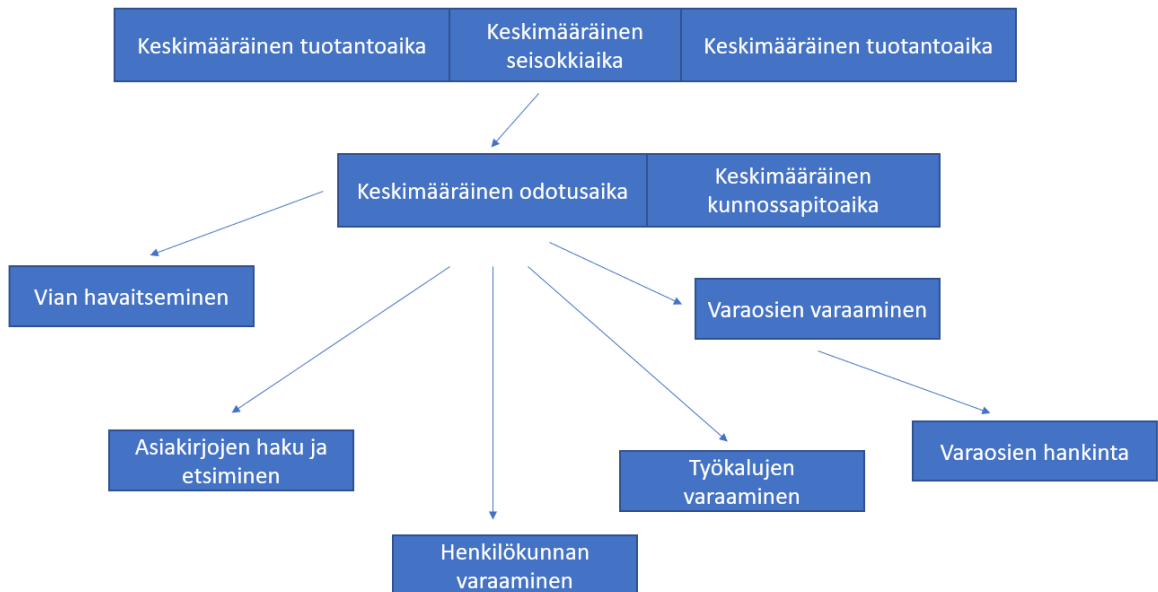
Teollisuuden kunnossapidossa yhdeksi tärkeäksi tekijäksi on osoittautunut kunnonvalvonta. Tämän takia useassa tuotantolaitoksessa on havaittu kunnonvalvonnan positiivinen vaikutus koneiden käyttöasteessa ja toiminnan kannattavuudessa. Tätä on edistänyt suuresti tietokoneavusteisen kunnonvalvonnan käyttöönotto viimeisen kymmenen vuoden aikana, minkä takia suurta mittausdataa pystytään hallitsemaan ja käsittelemään siten, että tuotantolaitoksen koneiden kunto on jatkuvasti tiedossa. (4.)

Kunnonvalvonta on osa kunnossapitoa, joka hyödyntää tehdaslaitosten investointien, käytön ja kunnossapidon kannalta oleellisia tietoja. Kunnonvalvonnalla voidaan myös vaikuttaa positiivisesti yrityksen kannattavuuteen. Tämän takia yhä useammat yritykset tiedostavat kunnonvalvonnan tärkeyden yrityksessä. (Kuva 2.) (4.)



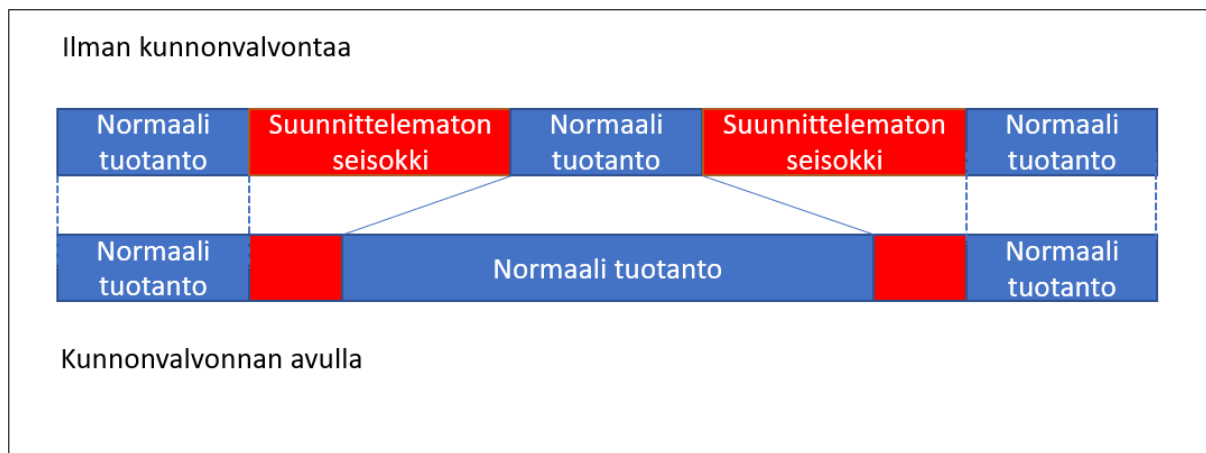
KUVA 2. Kunnonvalvonnan liityntöjä eri osa-alueisiin (4)

Kunnonvalvonnalla saavutettavat oleelliset hyödyt ovat koneen pidennetty käyttöikä, suunnitelmattomien seisokkien väheneminen, seisokkiaikojen parempi hyödyntäminen, kunnossapidon suunnitelmallisuus ja tuottavuuden kasvu. Kunnonvalvonnalla keskimääräinen odotusaika seisokissa saadaan poistettua (kuva 3), sillä ennakoivat toimenpiteet voidaan tehdä tuotannon ollessa vielä käynnissä. Vikojen ollessa tiedossa tuotannon käynnin aikana voidaan tarvittavat kunnossapitotyöt suunnitella paremmin, mikä lyhentää myös keskimääräistä kunnossapitoaikaa, koska viat eivät pääse muodostumaan vaurioiksi. (4.)



KUVA 3. Kunnonvalvonta lyhentää keskimääräistä seisokkiaikaa tuotantoajalla tehdyillä toiminoilla (4)

Siirtymällä korjaavasta kunnossapidosta mittaavaan kunnossapitoon voidaan kunnossapitokustannuksia saada alaspäin jopa yli 50 prosenttia ja täten saavuttaa lisää tuotantoaika. Kunnonvalvonnan avulla pyritään siihen, että kunnossapitotyöt järjestetään oikea-aikaisesti ja silloin, kun laitteiston kunto sitä edellyttää. (Kuva 4.) (4.)



KUVA 4. Tuotantoajan lisääminen kunnonvalvonnan avulla (4)

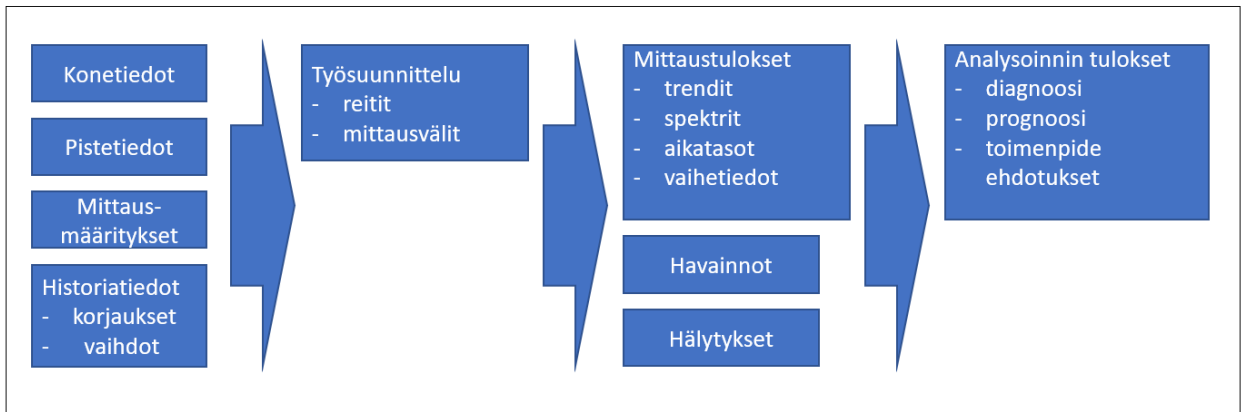
2.2 Kunnonvalvontakeinot

Kunnonvalvontaa on aiemmin suoritettu aistihavaintojen avulla, kuten kuuntelemalla, kokeilemalla koneiden lämpöä ja tunnustelemalla jaloilla tai käsillä koneiden tärinää. Koneiden kuntoa voitiin

seurata myös lopputuotteen laadun mukaan. Aistihavaintojen menetelmiä ei pidä aliarvioida nykypäivänä, mutta näitä korvaamaan ja täydentämään on ryhdytty käyttämään yhä enemmän erilaisia mittausten menetelmiä. Mittaustoimintaan aloitettiin panostamaan merkittävästi 1980-luvulla, ja nykypäivänä kaikista teollisissa tuotantolaitoksissa on jokin mittauslaite, kuten antureita, infrapunakameroita, työntömittoja, joilla voidaan valvoa koneiden kuntoa. Mittaavan kunnossapitovalvonnan käyttöön on päädytty pääosin seuraavista syistä:

- Tuotantolinjat rakennutetaan ilman varakoneita, minkä takia yksittäisten koneiden käynti tulee kriittisemmäksi tuotannon kannalta.
- Tuotantomäärien kasvu on aiheuttanut sen, että tuotannon pysähtyminen on kalliimpaa.
- Pyörimisnopeuksien nopeutuminen aiheuttaa vikojen kehittymisen nopeammin.
- Koneiden rakenteiden keventäminen aiheuttaa tärinän valvonnan tärkeyden rakenteiden keston kannalta.
- Prosessin muuttuessa enemmän kierroslukusäätöiseksi vaikuttaa tämä myös tärinäkäyttäytymiseen huomattavasti eri kierrosalueilla.
- Huolto- ja käyttöhenkilökunnan vähentäminen vähentää aistinvaraista säännöllistä valvontaa koneiden luona.
- Aistinvaraisista huomioista ei saada kirjattua tunnuslukuja, jolla voidaan valvoa koneiden kuntoa.
- Keräilevien mittalaitteiden kehittyminen ja halventuminen on madaltanut niiden käyttöön oton kynnyksiä.
- Meluisa, ahdas, vaarallinen tai muuten epämiellyttävä ympäristö on antanut syyn siirtyä käyttämään etävalvontaan aistihavaintojen sijasta. (4.)

Kunnonvalvontatoiminta voidaan jakaa kuvan 5 mukaisiin osatekijöihin. Konetietojen perusteella mittausten tarve ja laajuus saadaan määritettyä. Pistetietojen avulla mittauspisteen sijainti, mittaus-suunta ja tapa saadaan määritettyä, joten mittausmääritykset kertovat yksityiskohtaisesti mittauksen suorittamiseen liittyvät mittalaitteen asetukset. Työnsuunnittelussa mittauspisteet järjestetään järjestyksessä reitiksi, määritetään eri mittauspisteiden mittausaikavälit ja valvotaan työtä, jotta mittaukset saadaan suoritettua oikein. Kunnonvalvonnan mittauksista saatuja mittaus tuloksia syntyy paljon. Valtaosa mittaus tuloksista vaatii jatkotoimenpiteitä, jotta niitä voidaan käyttää. Osalle mittaus tuloksista tai havainnoista on voitu antaa jokin raja-arvo, minkä ylittäminen johtaa suoraan hälytykseen, mutta useimmiten mittaus tuloksia on analysoitavia, jotta ne olisivat käyttökelpoisia. Diagnostiikan onnistumista varmistetaan koneiden ja tapahtuneiden vaurioiden historiatietojen kirjaamisella. (4.)



KUVA 5. Kunnonvalvontatoiminnan osatekijät (4)

2.3 Kunnonvalvontamittauksissa seurattavia suureita

Kunnonvalvonta perustuu erilaisten fysikaalisten suureiden mittaamiseen laitteesta sen käynnin aikana. Parhaaseen mahdolliseen tulokseen päästään, kun kunnonvalvontamittaus on säännöllistä, jotta mitatut tulokset eri kerroilla ovat keskenään vertailukelpoisia. Näin mitatut arvot pystytään asettamaan samalle asteikolle ja seuraamaan niiden kehittymistä eli trendiä. Mikäli samasta laitteesta seurataan useita eri suureita, on analyysien luotettavuus yksittäisiin seurattaviin suureisiin verrattuna luotettavampi. Tästä käytetään nimitystä moniparametrivalvonta. Tärkeimmäksi kunnonvalvonnan mittausmenetelmäksi on osoittautunut värähtelyn mittaaminen eli värähtelymittaukset. Kunnonvalvonta voi perustua kyseisten suureiden mittaamiseen, joita ovat

- värähtelymittaus
- lämpötila
- voiteluöljyn puhtaus ja ominaisuudet
- sähkövirta
- paine, virtaus, käyntinopeus. (5, s. 4.)

2.3.1 Värähtelymittaus

Värähtelymittaus on yleisimmin käytetty menetelmä kunnonvalvonnassa, ja sitä käytetään myös käytönvalvonnassa ja vikaselvityksissä. Koska valtaosa käyttölaiteistoista on valmistettu metallista, ovat laitteistot kovia ja silti elastisesti kimmoisia rakenteiltaan, mihin kohdistuu aina jaksollisia

voimia. Sovellettuna oikein on useimmissa tapauksissa värähtelymittaus paras ennakoiva kunnosapidon mittausmenetelmä. Värähtelymittausmenetelmiä ja mittalaitteita on tarjolla lähes rajattomasti, ja niistä yleisin valvontakeino on anturointi. (6.)

Värähtelymittausmenetelmät jaetaan kahteen luokkaan. Ensimmäinen luokka kattaa koneiden yleistärinän valvontaan tai vierintälaakereiden kunnonvalvontaan käytetyt yksinkertaiset menetelmät. Luokkaan yksi kuuluvia mittalaitteita tarvitaan yleensä kaksi. Yksi laite mittaa kohteen kokonaistärinää, mikä kertoo karkeasti koneen akselin pyörimiseen liittyvien vikojen olemassaolosta. Toisen mittauslaitteen tehtävänä on valvoa pääasiassa vierintälaakereiden korkeataajuisista värähtelyä, minkä on havaittu kasvavan selvästi voitelukalvon hävitessä vierintälaakerista tai jonkin laakerivian muodostumisesta. Erityiset ultraäänimittaukset kuuluvat myös tähän luokkaan, millä voidaan tehdä kunnonvalvontaa laakereihin ja kaasua- ja nestevuotojen paikallistamiseen. Luokan yksi mittauslaitteet ovat yleensä riittävän herkkiä koneiden kunnonvalvontaan, mikäli valvottavat koneet ovat rakenteeltaan sellaisia, ettei niissä ole useita erillisiä akseleita toiminnassa eri pyörintänopeuksilla. (6.)

Mikäli valvottavissa koneissa on eri pyörintänopeuksilla toimivia akseleita tai voimansiirtolaitteina hihnäkäyttöjä ja hammasvaihteita, on luokan yksi kunnonvalvontalaitteiden käyttö useiden vikojen tunnistamiseen liian epäherkkä. Tällöin usein käytetään luokan kaksi mittauslaitteita, joiden anturi tyypit ovat tyypillisesti yksi- tai monikanavaisia spektrianalysointilaitteita. Näillä suoritettava tärinän yksityiskohtainen valvonta tarkoittaa sitä, että koneen aiheuttaman värähtelysignaalin eri osataajuuudet ja niiden suuruudet erotetaan toisistaan. Tällä keinolla yksittäisten koneenosien aiheuttamat värinät pystytään tunnistamaan ja voidaan luotettavasti seurata erillisten koneiden osien kunnon kehittymistä. Myös pitkälle kehitetyt valvontamenetelmät ovat näillä mittalaitteilla mahdollisia, kuten keskiarvostettu aikatasoanalyysi, verhoikäyräanalyysi, vaihekulma-analyysi ja spektrianalyysi. (6.)

Riippumatta siitä, minkä tasoista mittalaitteistoa käytetään koneiden kunnonvalvontaan, oleellista on mittaus tulosten järkevä käsittely ja dokumentointi. Ilman niitä ei vauriokehitystä pystytä havaitsemaan ja vaurioitumisen ajankohtaa arvioimaan. Tämä pätee useimpiin muihinkin mittausmenetelmiin kuin tärinämittaukseen. (6.)

2.3.2 Lämpötilamittaus

Lämpötilan kohoaminen yli normaalin koneen käynnin aikana on yleisin merkki kasvavasta kitkasta, joka aiheutuu yleisimmin voiteluhäiriöstä tai vauriosta. Lämpötilan mittaus on joissain kunnonvalvonnan tapauksissa käyttökelpoinen menetelmä, mutta yleensä lämpötila nousee vasta sitten, kun vaurio on jo edennyt niin vakavalle asteelle, että vaurioita ehkäisevien korjausten valmisteluun reagoitava aika jää liian lyhyeksi. Tämän takia lämpötilamittausta kannattaa hyödyntää muita mittauksia täydentävänä menetelmänä. Lämpötilan mittauslaitteita ovat esimerkiksi infrapunakamerat, infrapunamittalaitteet, fyysiset käsimittarit ja platina-anturit. (5, s. 5.)

2.3.3 Voiteluaineanalyysi

Prosessiteollisuuden voiteluaineanalyysit keskittyvät lähinnä kiertoöljyvoitelujärjestelmien näytteiden analysointiin. Analyysit antavat tietoa öljyn puhtaudesta ja voiteluaineiden ominaisuuksista. Öljyistä löytyvät epäpuhtaudet voidaan jakaa syntytapansa perusteella kolmeen joukkoon. Ensimmäiseen joukko muodostuu koneen kulumisesta syntyvistä kulumistuotteista. (5, s. 6.)

Metallihiukkasia syntyy metallisissa kosketuksissa ja väsymisen seurauksena, vaikka voitelukalvo olisikin ehjä. Laakereista ja tiivisteistä voi myös syntyä epäpuhtauksia, kuten keraami- ja muovihiukkasia. Hyväkuntoinen kone ei aiheuta suuria määriä epäpuhtauksia. Toinen joukko muodostuu järjestelmän ulkopuolelta tulevista epäpuhtauksista, joista yleisimpiä ovat hiekka, prosessipöly ja kondensoituva vesi. (5, s. 6.)

Kolmas joukko on öljyn vanhentumisesta syntyvät epäpuhtaudet, kuten hapettuminen. Öljystä itsestään syntyvät epäpuhtaudet eivät liity koneen kuntoon vaan lähinnä öljyn kuntoon. Tavallisimpia voiteluaineanalyysin menetelmiä ovat kiintoaineiden mittaus, hiukkaslaskenta, ferrografia ja spektrometriset hiukkanalyysit. (5, s. 6.) Nykyään voiteluaineanalyysia voidaan tehdä volymetrillä hiukkasanturilla esimerkiksi käyttäen Pamas S50 -laitteistoa (7).

2.3.4 Sähkövirta

Spektrianalyysin avulla moottorin saamasta sähkövirrasta voidaan roottoreiden kuntoa arvioida luotettavasti. Roottorianalyysi pystytään tekemään samalla mittauslaitteistolla kuin värähtelymittaukset. Analyysia varten virtasignaalia mitataan yhdestä koneistoon syötettävästä vaihejohdosta virtapihtien avulla, mikä tallennetaan tiedonkeruulaiteen muistiin. Virtamittaus voidaan tehdä joko ensiö- tai toisiovirtapiiristä. (6.) Tällä menetelmällä voidaan luotettavasti havaita sähkömoottorin sähköisiä sekä mekaanisia vikoja:

- vaurioituneet roottorisauvat
- rikkoutuneet oikosulkurenkaat
- korkeavastuksiset liitokset
- valuhuokokset ja -onkalot painevaletuissa roottoreissa
- vajaat ja murtuneet juotokset käämeissä
- roottorin käämitysongelmat liukurengaskoneissa
- dynaaminen ja staattinen epäkeskeisyys
- taipuneet akselit. (9.)

2.4 Esimerkki kunnonvalvonnan mittauksista

Kunnonvalvontaa voidaan nykypäivänä suorittaa helposti hyödyntäen nykyajan tekniikoita, kuten älyantureita ja langatonta tiedonsiirtoa hyödyntäen. Tähän yhdistettynä reaaliaikaiset ja helposti luettavat tiedonkäsittely sovellukset ovat kunnonvalvonnan operaatiot käyttöhenkilöstölle ja valvomo henkilöstölle helppoa ja vaivatonta. Nykyaikaisia kunnonvalvonta menetelmien myyjiä löytyy useita, esimerkiksi SKF, ABB, Metso, Turck, Wi-Care ja Sulzer. Varsinkin värähtely- ja lämpötilamittaukset ovat helpottuneet yhdistelmä anturoinnin takia.

Esimerkiksi kotkalainen Kotkamills on ottanut käyttöön Sulzer-merkkisen langattoman anturi ja tiedonsiirtojärjestelmän sellun tuotantolinjalle viiteen prosessipumppuun ja yhteen keskisakean massan pumppuun. Järjestelmä koostuu yhdestä teollisuusolosuhteisiin suunnitellusta reitittimestä, joka sijaitsee prosessialueella, ja kuudesta anturista, jotka on asennettu valvottujen pumppujen laakereihin. Laitteistot ovat akkukäyttöisiä ja toimivat langattomassa verkossa (kuva 6). (9.)



KUVA 6. Akku toimiset älyanturit asennetaan valvottavien pumppujen laakeripesään hyödyntäen langatonta teknologiaa (9)

Sulzerin anturit mittaavat koneen tärinää ja lämpötilaa (kuva 7) mahdollisen epätasapainon, väärän suuntauksen, löysyyden ja laakereiden kulumisen havaitsemiseksi 30 minuutin välein. Tämä auttaa tunnistamaan laitteen kunnan parametrien muutokset ja ilmaisee mahdolliset viat jo varhaisessa vaiheessa, mikä tukee ennakoivaa huoltoa. Reititin on yhdistetty internetiin ja Sulzerin omaan pilvipalveluun matkapuhelinyhteyden kautta, mikä avulla asiakas voi seurata laitteiden kuntoa ja tarkastella laitteistojen trenditietoja missä ja milloin tahansa. Pilvipalvelu helpottaa asiakkaan pääsyä myös laitetietoihin. Valvotut laitteet ovat noin 10 metrin säteellä toisistaan mahdollistaen erinomaisten verkkojen ja yhden reitittimen käytön. Kunnonvalvontajärjestelmän käyttöönotto on nopeaa ja vaivatonta eikä vaadi erityisiä taitoja asentajilta. Sulzer tarjoaa myös mobiilisovellusta järjestelmän käyttöönottoon, joka antaa apua antureiden asennuksissa ja mahdollistaa anturitiedon seurannan mobiililaitteilla. (9.)



KUVA 7. Laitteeseen kiinnitetyt langattomat älyanturit mittaavat lämpötilaa ja tärinää ja lähettävät tiedot pilvipalveluun reitittimen kautta (10)

3 LANGATON TIEDONSIIRTO KUNNONVALVONNASSA

Teollisuusympäristö eroaa huomattavasti toimisto- ja kotiympäristöstä. Korkeat lämpötilat, likahiukaset, ahtaat tilat, vaikeasti päästävät paikat, pitkät matkat, hajautetut laitteet ja järjestelmät tuovat haasteita antureiden, lähettimien ja muiden tiedonsiirtolaitteiden sijoittamiseen ja tavoittamiseen. Nämä ja monet muut vaikuttavat tekijää luovat hyvin ainutlaatuisen, monimutkaisen ja kalliin haasteen luotettavien, pitkäikäisten tietoliikennekanavien luomiselle, jotka olisivat vielä mahdollisimman kustannustehokkaita. Monien yritysten suurimpana haasteena on kytkeä etälaitteiden anturit keskusvalvontajärjestelmiin langallisesti, koska terästehtaan työympäristö voi olla erittäin vaativa kovien lämpötilojen, raskaitten suurikokoisten koneiden, suurien etäisyyksien ja monien häiriösignaalien takia. Tietenkin näillä on merkittävästi lyhentävä vaikutus johtojen ja verkkolaitteiden käyttöikään, jolloin langattoman järjestelmän käyttöönotto voi olla järkevämpi vaihtoehto. (11.)

Nykyään huipputeknisen anturitekniikan, älykkäiden kenttälaitteiden ja langattoman tiedonsiirron ansiosta kunnonvalvontaa voidaan suorittaa paitsi jatkuvasti, myös mistä tahansa. Kerättyjen tietojen perusteella järjestelmät voivat kertoa kehittyvästä viasta jo varhaisessa vaiheessa, jolloin ennakkoivaa huoltoa on helpompi tehdä ja täten välttää turhilta tuotannon pysäytyksiltä. Etäluettavuus lisää työturvallisuutta, jos anturit ovat sijoitettu vaarallisiin tai hankalasti tavoitettaviin paikkoihin.

Langattomien kunnonvalvontajärjestelmien luomiseen tarvitaan seuraavia komponentteja (kuva 8):

- langattomat akulliset kunnonvalvonta-anturit, jotka mittaavat lämpötilaa ja värähtelyä anturilla valvotuista koneista tai laakereista ja lähettävät tiedot eteenpäin jollain langattomalla tiedonsiirtomenetelmällä
- signaalin vahvistin, jos antureita useissa paikoissa suurilla etäisyyksillä
- gateway (yhdyskäytävä, reititin), joka kerää mittaustulokset antureilta ja lähettää tiedot internetin välityksellä pilvipalveluihin tai suoraan etälaitteille
- analysointi- ja diagnostiikkasovellus kunnonvalvonta-antureille (12).

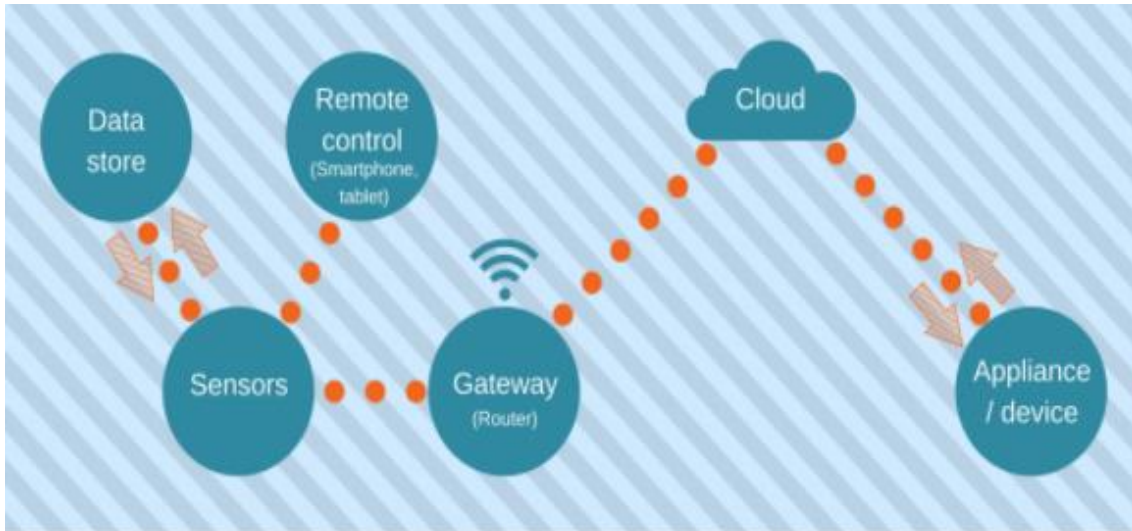


KUVA 8. Wi-caren tarjoama langaton signaalireitti anturista näyttöpäätteelle (12)

3.1 Internet of things (IoT)

Esineiden internet eli IoT on toisiinsa yhteydessä olevien tietojenkäsittelylaitteiden, mekaanisten ja digitaalisten koneiden, esineiden, eläinten tai ihmisten järjestelmä, jolle on annettu yksilölliset tunnisteen (UID) ja kyky siirtää tietoja verkon kautta ilman, että ihmisen vuorovaikutusta tarvittaisiin. ”Asia” esineiden internetissä voi olla ihmisen sydämen seuranta implantti, maatalaeläin mikrosirulla, auto sisäänrakennetulla anturilla kertomassa kuljettajalle rengaspaineen alhaisuudesta tai jokin muu luonnollinen tai ihmisen tekemä objekti, jolle voidaan määrittää IP-osoite (Internet Protocol), joka pystyy siirtämään tietoja verkon kautta. Eri toimialojen organisaatiot käyttävät esineiden internetiä toimiakseen entistä tehokkaammin, ymmärtääkseen paremmin asiakkaita, parantamaan asiakaspalvelua, parantamaan päätöksentekoa ja lisäämään liiketoiminnan arvoa. (13.)

IoT-järjestelmä koostuu verkkoa käyttävistä älylaitteista, jotka käyttävät yhdistettyjä järjestelmiä, kuten prosessoreita, antureita ja tietoliikennelaitteistoja, joiden tehtävä on kerätä, lähettää ja toimia ympäristöstä saamiensa tietojen perusteella (13). Anturit ja laitteet tuottavat datan, joka siirretään paikallisiin solmuihin matalan tason käsittelyä varten. Tämän jälkeen data siirretään yhdyskäytävän kautta verkkoon tai pilveen, missä erilaiset sovellukset käsittelevät dataa operaatioita varten. Sovellukset käsittelevät datan tuottaen tuloksen, joka lähetetään takaisin laitteille tai lähetetään muihin sovelluksiin jatkoanalyysiä tai varastointia varten (kuva 9). IoT-verkkoa voidaan edelleen laajentaa perustamalla verkko muiden IoT-verkkojen kanssa tai yhdistämällä se pilvipohjaisiin sovelluksiin osaksi suurempaa keskiötä. Tämä mahdollistaa reaaliaikaisen datanvaihdon silloin kuin sille on tarve. (14.)



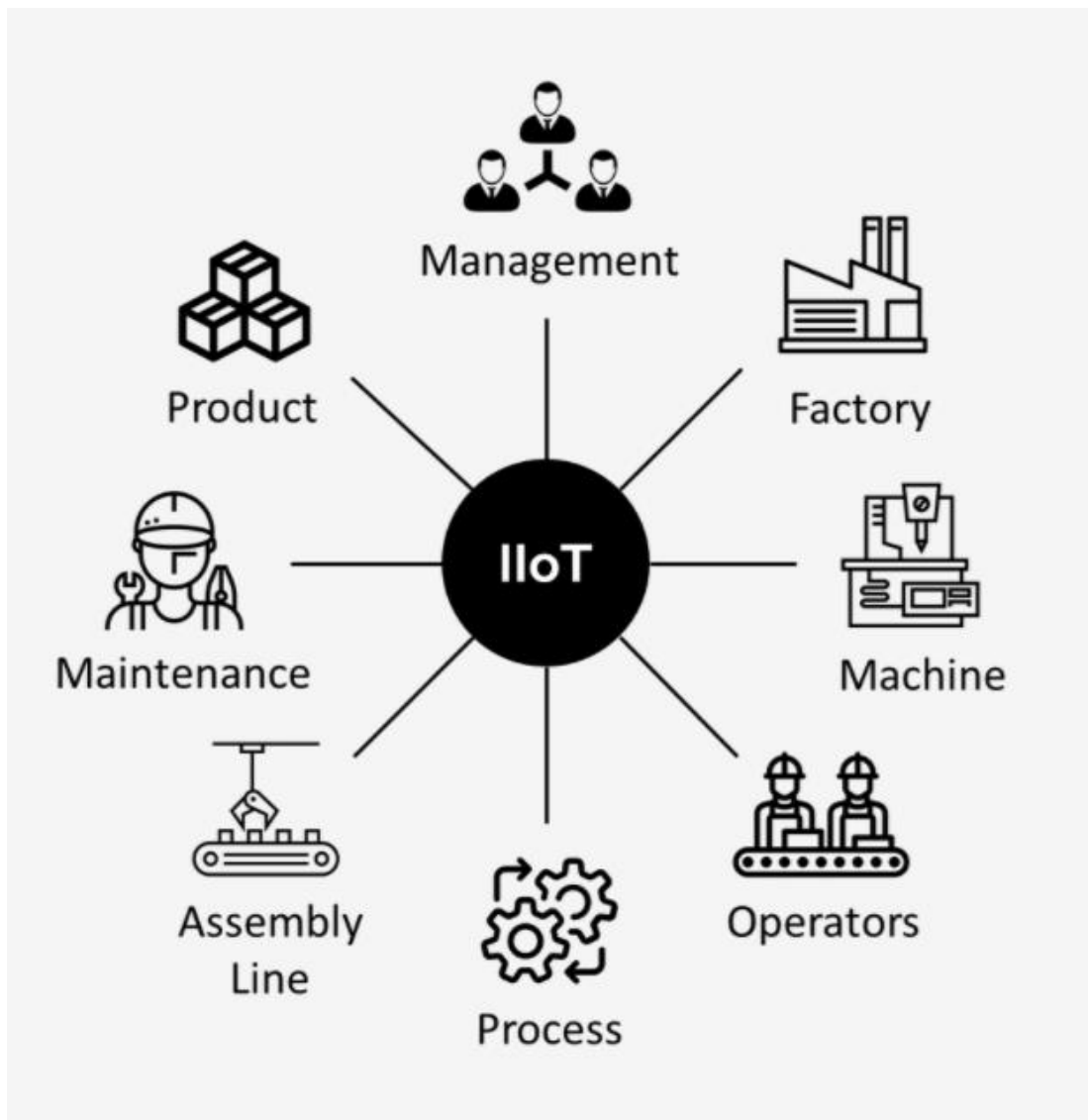
KUVA 9. IoT-järjestelmän toimintaperiaate (14)

IoT-standardeja on useita, joita IEEE SA (Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association) laatii. Teollisuuteen liittyviä IoT-standardeja ovat seuraavat:

- IEEE 1701-2011 on IEEE-standardi optisen portin tietoliikenneprotokollalle täydentämään apuohjelmien loppukäyttäjien tietotaulukoita.
- IEEE 1702-2011 on IEEE-standardi puhelinmodeemiliikenneprotokollalle apuohjelmien alan päätelaitteiden tietotaulukoiden täydentämiseksi.
- IEEE 1703-2012 on IEEE-standardi lähiverkkoon ja suuralueverkkoon (LAN/WAN) solmun tiedonsiirtoprotokolla, joka täydentää yleishyödyllisen teollisuuden loppulaitteen tietotaulukoita.
- IEEE 1377-2012 on IEEE-standardi hyötyalojen mittausyhteyksikäytäntöprotokollan sovel-luskerrokselle, kuten loppulaitteen tietotaulukot. (15.)

3.2 Industrial internet of things (IIoT)

Teollisen esineiden internet (IIoT) viittaa esineiden internetin (IoT) laajentamiseen ja käyttöön teollisuuden aloilla ja sovelluksissa. IIoT keskittyy voimakkaasti koneiden väliseen viestintään, M2M-tiedonsiirtoon, massadataan ja koneoppimiseen (kuva 10). Nämä mahdollistavat teollisuuden ja yritysten paremman tehokkuuden ja luotettavuuden toiminnassaan. IIoT kattaa teolliset sovellukset, mukaan lukien robotit, lääkinnälliset laitteet ja ohjelmistojen määrittelemät tuotantoprosessit. IIoT ylittää tavanomaiset kuluttajalaitteet ja esineiden internetiin yleensä liittyvät fyysiset laitteet. Sen tekee mahdolliseksi tietotekniikan (IT) ja operatiivisen tekniikan (OT) yhdistyminen. (16.)



KUVA 10. Teolliseen internetiin liittyvät operaatiot (17)

IT:n ja OT:n lähentyminen tarjoaa teollisuudelle paremman järjestelmien integroinnin automatisoinnin ja optimoinnin suhteen sekä paremman toimitusketjun ja logistiikan näkyvyyden. Tämän mahdollistaa myös fyysisten infrastruktuurien seuranta ja valvontaa teollisissa toiminnoissa, kuten maataloudessa, terveydenhuollossa, valmistuksessa, kuljetuksissa ja apuohjelmissa, helpotetaan älykkäiden anturien ja toimilaitteiden etäkäytön ja -hallinnan avulla. (16.)

Teollisuus 4.0:ssa (neljäs teollisuuden vallankumous) teollinen esineiden internet on olennainen osa sitä, kuinka kyberfyysiset järjestelmät ja tuotantoprosessit asetetaan muuttumaan massadatan ja analytiikan avulla. Anturien ja muiden tietolähteiden reaaliaikaiset tiedot auttavat teollisia laitteita ja infrastruktuureja niiden päätöksenteossa keksimään oivalluksia ja erityistoimia. Koneet mahdollistavat tehtävien siirtämisen ja automatisoinnin, joita aikaisemmat teolliset vallankumoukset eivät

kyenneet käsittelemään. Laajemmassa kontekstissa IIoT on ratkaisevan tärkeä, jotta voidaan käyttää yhteydessä oleviin ekosysteemeihin tai ympäristöihin liittyviä tapauksia, kuten miten kaupungeista tulee älykkäitä kaupunkeja ja tehtaista älykkäitä tehtaita. (16.)

Tietojen johdonmukainen kerääminen ja siirtäminen älylaitteiden ja koneiden välillä tarjoaa teollisuudelle ja yrityksille monia kasvumahdollisuuksia. Tietojen avulla teollisuus ja yritykset voivat poimia virheitä tai tehottomuutta esimerkiksi toimitusketjussa ja korjata ne välittömästi ja pyrkiä siten päivittäiseen tehokkuuteen toiminnassaan. IIoT:n asianmukainen integrointi voi myös optimoida omaisuuden käyttöä, ennustaa toimintahäiriöt ja jopa käynnistää ylläpitoprosessit itsenäisesti. Ottamalla käyttöön yhdistettyjä ja älykkäitä laitteita yritykset voivat kerätä ja analysoida suurempia määriä dataa suuremmalla nopeudella. Se parantaa skaalautuvuutta ja suorituskykyä sekä yhdistää tuotannon ja suunnittelun. IIoT:n integrointi voi antaa teollisuusyksiköille tarkemman kuvan toiminnan edistymisestä ja auttaa heitä tekemään tietoon perustuvia liiketoimintapäätöksiä. (16.)

3.3 Langattomat tiedonsiirtomenetelmät

Langattoman ja langallisen tiedonsiirron selvin eroavaisuus on kuinka komponenttien, kuten tietokoneiden ja anturien välille saadaan luotua tiedonkulku reitti. Langalliseen tiedonsiirtoon tarvitaan fyysinen yhteys lähetettävän ja vastaanottajan välille esimerkiksi kaapeloinnilla, jotta tietoa saadaan siirrettyä. Langattomassa tiedonsiirrossa tieto siirtyy radioaalloilla, ultraäänellä, infrapunalla tai satelliitti yhteydellä. Suurin osa langattomista järjestelmistä toimii kuitenkin radioaalloilla. Komponenteista on siis löydettävä jonkinlainen sovitin tai verkkokortti, joka on suunniteltu sieppaamaan ja lähettämään erityisesti viritettyjä radioaaltoja. Sovittimet toimivat yleensä langattomassa järjestelmässä radioantennin tavoin. (18.)

Binääritieto lähetetään radioaaltojen avulla, jotka siepataan langattomilla sovitimilla, jotka muuttavat radiosignaalit takaisin binäärimuotoon, jotta tietokone ymmärtää ne. Langattomat verkot käyttävät niin sanottuja vapaita ISM-radiotaajuuksia. Suuremman taajuuden käyttäminen mahdollistaa suurempien tietomäärien siirtämisen, mutta vaatii myös enemmän energiaa kyseisen operaation suorittamiseen. Kaikilla tietokoneverkoilla on koodi standardeille, joilla ne toimivat. Langattomat verkot toimivat 802.11-standardin mukaisesti. (18.)

Langattomasti siirtyvä informaatio on altis tiedon muokkaamiselle, purkamiselle ja estämiselle, minkä vuoksi langattomassa lähiverkossa on oltava käytössä vahva suojausjärjestelmä, jotta mahdolliset hyökkäykset voidaan torjua. Tämän takia jokaisella langattomalla järjestelmällä on jonkinlainen suojaus ja salaus. Kansainvälinen standardisarja ISO/IEC 27001 – ISO/IEC 27005 määrittelee ja ohjeistaa tietoturvallisuuden hallintajärjestelmän luomista ja käyttöä sekä tietoturvariskien huomioimista.

3.3.1 Bluetooth ja Bluetooth LE

Bluetooth on edullinen, vähän virtaa vaativa, lyhyen kantaman radiotekniikka, joka on kehitetty kaapeleiden korvaajaksi yhdistettäessä erilaisia laitteita langattomasti. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi puhelimet, kuulokkeet ja tietokoneet. Bluetooth on luonut käsitteen henkilökohtaisesta alueellisesta verkosta (WPAN), eräänlaisesta lähialueen langattomasta verkosta, joka mullistaa tavan, jolla ihmiset ovat vuorovaikutuksessa ympäröivän tietotekniikan kanssa. (19.)

Bluetooth on avoin ja globaali määrittely radiotaajuuksista sovellus tasoihin asti. Protokollapino toteutetaan yleensä osittain laitteistossa ja osittain mikroprosessorilla suoritettavana ohjelmistona, eri toteutustavoilla jakamalla toiminnallisuus laitteiston ja ohjelmiston välillä eri tavoin. (19.) Bluetooth laitteet kommunikoivat vähävirtaisilla radioaalloilla, jonka taajuudet ovat 2 400 MHz ja 2 483,5 MHz. Tämä on yksi harvoista kaistoista, jotka on kansainvälisellä sopimuksella varattu teollisuudelle, tieteelle ja lääkinällisille laitteille (ISM). (18.)

Bluetooth-tekniikkaa on kahta tyyppiä, Bluetooth Low Energy (LE) ja Bluetooth Classic (virallisemmin nimeltään Bluetooth Basic Rate / Enhanced Data Rate tai BR/EDR). Molemmat toimivat samalla taajuuskaistalla, mutta Bluetooth LE on osoittautunut suosittumaksi vaihtoehdoksi sen paljon vähäisemmän energian tarpeen takia. (20.) **Bluetooth BR/EDR** on suunniteltu pienivirtaiseen käyttöön, joka pystyy hyödyntämään vankkaa adaptiivista taajuushyppelyä, jolle on varattu yhteensä 79 kanavaa tiedonsiirtoon. Bluetooth BR/EDR-radio sisältää useita PHY-vaihtoehtoja, jotka tukevat tiedonsiirtonopeuksia 1 Mb/s - 3 Mb/s väliltä. Bluetooth BR/EDR pystyy toimimaan useilla erilaisilla virta määrillä, kuten 1 mW - 100 mW. (21.)

Bluetooth LE on suunniteltu erittäin pienivirtaiseen käyttöön, mikä pystyy hyödyntämään vankkaa adaptiivista taajuushyppelyä hajaspektrisellä lähestymistavalla. Bluetooth LE käyttää 40 tiedonsiirto kanavaa, joista kolme on niin sanottuja mainostuskanavia. Bluetooth LE tarjoaa myös kehittäjille valtavan määrän joustavuutta, mukaan lukien useita PHY-vaihtoehtoja, jotka tukevat tiedonsiirtonopeuksia väliltä 125 Kb/s – 2 Mb/s. Bluetooth LE pystyy toimimaan myös samoilla virtamäärillä, kuin Bluetooth BR, mutta suurin BLE:n etu tulee siitä, että se pystyy kytkemään itsenä horros-tilaan lähetysten välillä, jolloin virran kulutus on lähes olematon. Bluetooth LE mahdollistaa myös lähetys- tai mesh-verkon toimivuuden ja lisäksi se mahdollistaa pisteestä pisteeseen -yhteyden kahden laitteen välillä. (21) Bluetooth onkin nyt teollisen tason liitännätarkeisuus esineiden internetille (IoT) tulevana vuosikymmeninä.

Bluetooth Low Energyllä on seuraavia ominaisuuksia:

- erittäin pieni virran tarve 1 mW - 100 mW
- käyttää IEEE 802.15.1 standardointia
- kaksisuuntainen viestintä
- verkkotopologiaa käyttää pisteestä pisteeseen lähetystä ja mesh- verkkoa
- käyttää 2,4 GHz: n (2 400–2 483,5 MHz) ISM-taajuuskaistaa
- kantama tyypillisesti 50 m sisätiloissa, 100 m ulkona, enintään 1 km ulkona (maksimiteholla ja sopivalla antennilla)
- tiedonsiirtonopeus 125 Kb/s - 2 Mb/s
- suojaus 128-bittinen AES
- tyypillisinä käyttökohteina lääketieteelliset laitteet, sykemittari, älypuhelimet, kaukosäätimet, kodin automaatio, teollisuusanturit ja majakat (beacons). (21; 22.)

Bluetoothin huonoja puolia on hidas tiedonsiirto johtuen energiatehokkuudestaan, lyhyt kantama tiedonsiirrossa ja voi menettää yhteyden häiriöalttiissa ympäristössä. (22.)

3.3.2 LoRa ja LoRaWAN

LoRaWAN on spesifinen tiedonsiirtoverkko, joka on tarkoitettu langattomaan ja nopeaan, mutta vähätehoiseen tiedonsiirtoon. LoRaWAN-verkko sopii erityisesti pienten datamäärien lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Tärkeimpiä ominaispiirteitä ovat kaksisuuntainen tiedonsiirto, liikuteltavuus, paikannuspalvelut ja helppo käyttöönotettavuus. (23.)

LoRaWAN on globaali ja avoin standardi, joka muodostuu LoRa-päätelaitteista ja -reitittimistä ja taustalla toimivista palvelimista ja sovelluksista. LoRa toimii eri ISM taajuusalueilla eri maanosissa, Euroopassa se toimii 868 MHz:n taajuudella, Yhdysvalloissa 915 MHz:n taajuudella ja Aasiassa 865–867 MHz:n sekä 920–923 MHz:n taajuuksilla. ISM on lääketieteelle, tieteelle ja teollisuudelle tarkoitettu radiotaajuus (24). LoRaWAN on langaton LPWAN verkkoteknologia (Low Power Wide Area Network), minkä kehitystä hallinnoi LoRa Alliance -järjestö (24).

LoRa eli ”Long Range” on yksittäinen modulaatoritarkaisu, 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, eivätkä ne vaadi kaapelointeja. Antureissa käytettävä akku tai paristo voi kestää jopa 10 vuotta, joten ratkaisut ovat käytännössä lähes huoltovapaita. Dataliikenne on yleensä päätelaitteesta eli anturista verkkoon päin. Viestien tyypilliset lähetystiheydet ovat 15 kpl 60 minuuttiin. (23.)

LoRaWAN-verkkoarkkitehtuuri toteutetaan usein star-of-stars-topologiana, missä 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 vakimuotoisilla IP-liitännöillä. LoRaWAN-päätelaitteet ovat täysin internetistä erotetussa verkossa, koska itse päätelaitteet eivät käytä IP-protokollaa. (23.)

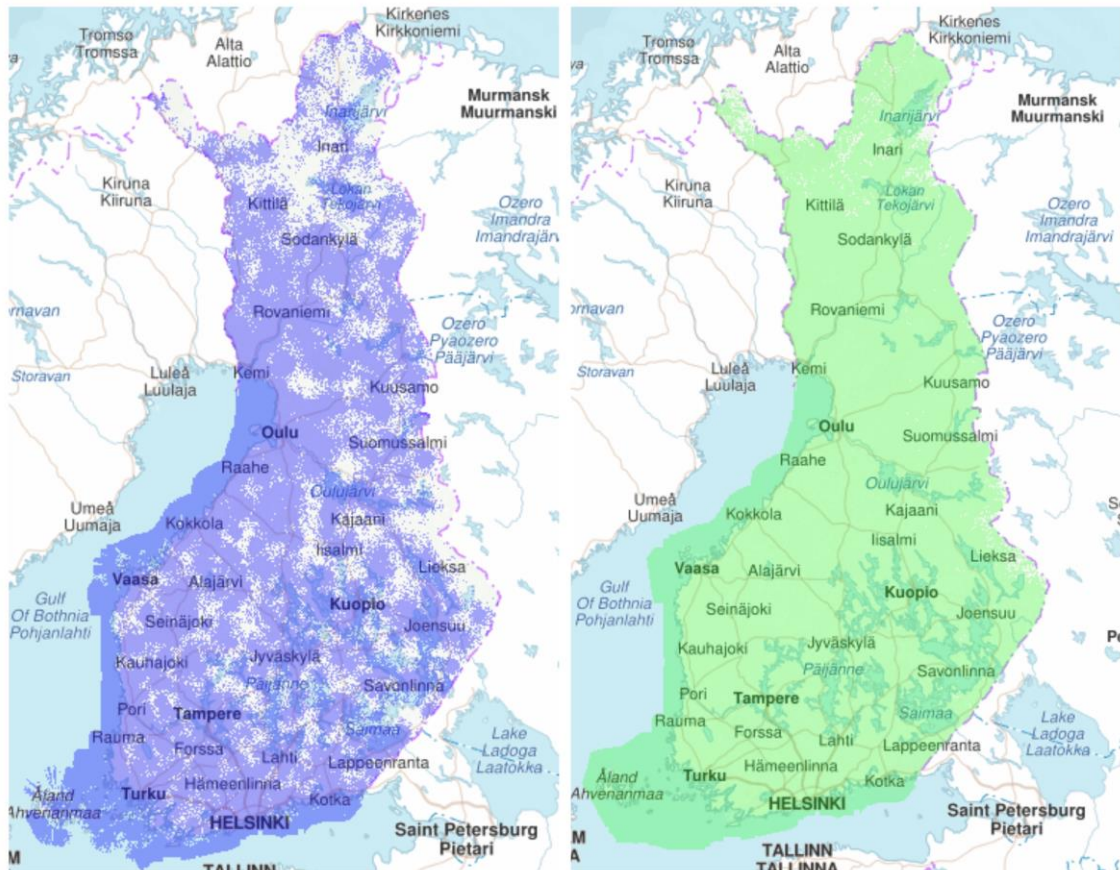
Päätelaitteet voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan. **A-luokan** päätelaite on kaksisuuntaisesti kommunikoiva ja sen jokaista lähetystä seuraa kaksi lyhyttä vastaanottoikkunaa. Lähetysten aikaistus voidaan määrittellä. Se perustuu ALOHA-tyyppiseen protokollaan, missä päätelaite lähettää paketin silloin, 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. (24.)

B-luokan päätelaite on kaksisuuntaisesti kommunikoiva, ja siinä ovat ajastetut vastaanottoaikat. Lisäyksenä A-luokan satunnaiseen lähetysikkunaan, 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. (24.)

C-luokan päätelaite on kaksisuuntainen, ja siinä on maksimimäärä vastaanottoaikoja. C-luokan laite vastaanottaa lähes jatkuvasti. Vastaanotto sulkeutuu ainoastaan silloin, kun päätelaite itse lähettää. (24.)

LoRa-tekniikan etu muihin modulaatioratkaisuihin verrattuna on hyvä radiokuuluvuus pitkälläkin 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 300 b/s – 50 kb/s, missä tiedonsiirto datamäärät ovat yleisesti muutamia kymmeniä tavuja. (23.)

LoRaWAN-verkkoa voidaan hyödyntää erilaisissa esineiden internetin (IoT:n) ratkaisussa, joissa tarvitaan kustannustehokasta ja toimintavarmaa tiedonsiirtoa. LoRaWAN-ratkaisut sopivat erityisesti pienten datamäärien lähettämiseen ja vastaanottamiseen, joissa tiedon lähetysväli voi olla useita kymmeniä kilometrejä. 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 tarjoaa LoRa-yhteensopivaa IoT-verkkoa koko Suomen alueella (kuva 11). (23.)



KUVA 11. Karttakuvassa vihreä väri kuvastaa verkon peittoa päätelaitteen ollessa ulkotiloissa, ja tumman sininen väri kuvastaa verkon peittoa päätelaitteen ollessa sisätiloissa 6.4.2021 (25)

LoRalla on seuraavia ominaisuuksia:

- erittäin pieni virran tarve 18 mA, kun lähetysteho on 10 dBm, ja 84 mA, kun lähetysteho on 20 dBm
- standardina LoRa:n oma avoin standardi
- tiedostojen koko 19–250 tavua
- tiedonsiirtonopeus 0,3–50 kb/s
- käyttää 867–869 MHz Euroopassa ja 902–928 MHz Amerikassa ISM-taajuuskaistaa
- pieni yhteysmaksu
- kaksisuuntainen half-duplex viestintä
- verkkotopologiana käyttää tähtitopologiaa ja laajennettua tähtitopologiaa (star-of-stars)
- Digita on LoRa:n-operaattori Suomessa ja käyttää Digitan kansallista siirto- ja lähetyverkkoa
- kantama 10–40 km
- suojaus 128 bittinen AES usealla salaustasolla

- tyypilliset käyttökohteet ovat älykkäät mittaukset, älykäs teollisuus, älykäs maatalous, älykkäät rakennukset, älykkäät kaupungit, älykäs ympäristö, älykäs terveydenhuolto ja älykäs koti. (23; 24; 26; 27.)

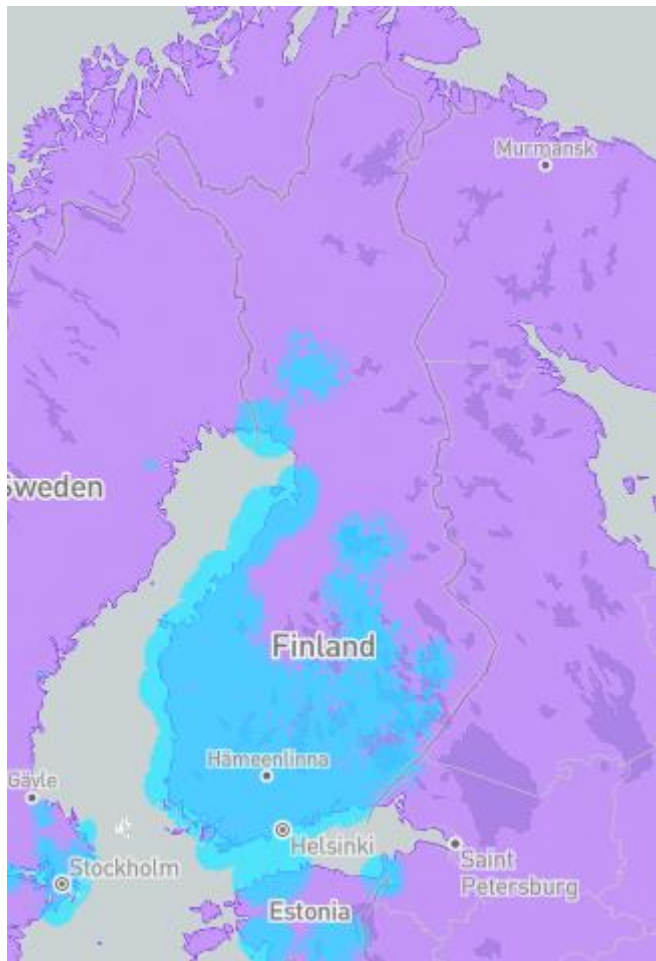
LoRa:n suurin heikkous on kuitenkin juuri se, mikä mahdollistaa sen vahvuudet, nimittäin matala kaistanleveys. Lisäksi protokolla ei salli jatkuvaa lähettämistä sen käyttämän ISM-taajuuskaistan sääntöjen vuoksi. Tämän vuoksi LoRa soveltuu vain lyhytaikaiseen ja säännölliseen viestintään. Vaikka LoRa pystyy käyttämään kaksisuuntaista viestintää, on sen käytöllä suora vaikutus akun käyttöikään. (28.)

3.3.3 Sigfox

Sigfox on langaton LPWAN-tekniikka ja verkkopalvelu. Sigfox-tekniikka edellyttää alueella sijaitseviin tukiasemiin sijoitettujen antennien käyttöä, jolloin tiedon vastaanottaminen ympäröivistä laitteista on mahdollista. Sigfox käyttää Euroopassa 868 MHz ISM-taajuutta. (29.)

Sigfox radiot käyttävät ultrakapeakaistaisen (UNB) modulointia ja lähettävät vain lyhyitä viestejä matalalla datanopeudella toisinaan. Uplink-viestit voivat olla enintään 12 tavua pitkiä, ja solmu (node) voi lähettää enintään 140 viestiä päivässä. Downlink-viestit voivat olla enintään 8 tavua pitkiä, ja solmu voi lähettää jopa 4 viestiä päivässä. Datanopeuden, moduloinnin ja siirtonopeuden yhdistelmä mahdollistaa pitkän kantaman viestintään. (29.)

Sigfox-solmulaitetta ei ole liitetty tiettyyn tukiasemaan. Lähetetyt viestit otetaan vastaan minkä tahansa tukiasema alueella, joita on tyypillisesti kolme. (30, s. 9.) Connect Finland Oy on Sigfox-operaattori Suomessa (31.). Sigfoxin kuuluvuusalue ei kata koko Suomea (kuva 12).



KUVA 12. Sigfox-verkon kattavuusalue Suomessa 7.4.2021 (31)

Sigfoxilla on seuraavia ominaisuuksia:

- erittäin pieni virran tarve, korkeintaan 10–50 mA käytetyn sirun mukaisesti
- standardina Sigfoxin oma standardi
- viestien pituus voi olla enintään 12 tavua ja solmu (node) voi lähettää jopa 140 viestiä päivässä, myös downlink-viestit voivat olla enintään 8 tavua pitkiä, joista solmu voi lähettää 4 viestiä päivässä
- käyttää 868–868,2 MHz ISM-taajuuskaistaa
- pieni yhteismaksu
- rajoitettu kaksisuuntainen viestintä, half-duplex
- verkkotopologiana käyttää tähtitopologiaa
- jokainen Sigfox-tukiasema pystyy käsittelemään miljoonia laitteita
- kantama 30–50 km
- suojaus AES
- Connected Finland Oy on Sigfox-operaattori Suomessa

- tyypillisinä käyttökohteina älykkäät mittaukset, veden seuranta, energianhallintajärjestelmät, sähköiset valvonnat, älykäs jätehuolto, omaisuuden seuranta ja kodin turvallisuus. (29; 30, s. 8–25; 31.)

Sigfoxin heikkouksia ovat heikot kattavuusalueet Suomessa, rajoitetun kaksisuuntaisen viestinnän takia tiedonsiirto tukiasemasta päätepiisteeseen on hitaampaa ja Sigfox laiteiden liikuteltavuus on vaikeaa. (32.)

3.3.4 NB-IoT

Kapeakaistainen IoT (Narrowband IoT) tai lyhennettynä NB-IoT on globaali pienitehoinen laaja-alainen tekniikka (LPWA), joka on kehitetty mahdollistamaan monenlaisten laitteiden yhdistäminen internetiin olemassa olevia matkapuhelinverkkoja käyttämällä. NB-IoT on pienitehoinen kapeakaistainen tekniikka, joka pystyy käsittelemään pieniä määriä kaksisuuntaista tiedonsiirtoa tehokkaalla, turvallisella ja luotettavalla tavalla. NB-IoT-tekniikka toimii olemassa olevissa LTE-verkoissa tai LTE-operaattorin suojakaistoissa. Se voi toimia myös käyttämättömillä 200 kHz:n kaistoilla, joita GSM on aiemmin käyttänyt. (33.)

NB-IoT on yksi suosituimmista LPWAN-tekniikoista, joita voidaan käyttää IoT-sovelluksissa. Se tarjoaa oikean yhdistelmän ominaisuuksia. Matalataajuisilla kapeakaistasisignaaleilla on pitkä kantama ja etenemisominaisuudet, jotka voivat tunkeutua seinien ja metallijohtimien läpi. Tehovaatimukset ovat riittävän alhaiset, jotta yhdellä akulla toimivat laitteet voivat kestää yli 10 vuotta. NB-IoT:n tiedonsiirtonopeus on juuri sopiva IoT-sovelluksiin, kuten mittarin lukemiseen, katuvalaistuksen ohjaamiseen, pysäköintipaikkojen seurantaan, teollisuustietojen seurantaan ja useisiin muihin matalan datanopeuden sovelluksiin. (33.)

NB-IoT:lla on seuraavia ominaisuuksia:

- NB-IoT-anturit kuluttavat virtaa noin 220 mA, kun lähetysteho on 23 dBm, ja 100 mA, kun lähetysteho on 13 dBm
- standardina käyttää 3GPP LTE Cat NB1
- tiedonsiirtonopeus jopa 100 kb/s
- käyttää 3GPP-lisensioitua ultra kapeaa 800 MHz kaistaa
- operaattoreiden määrittämät hinnat

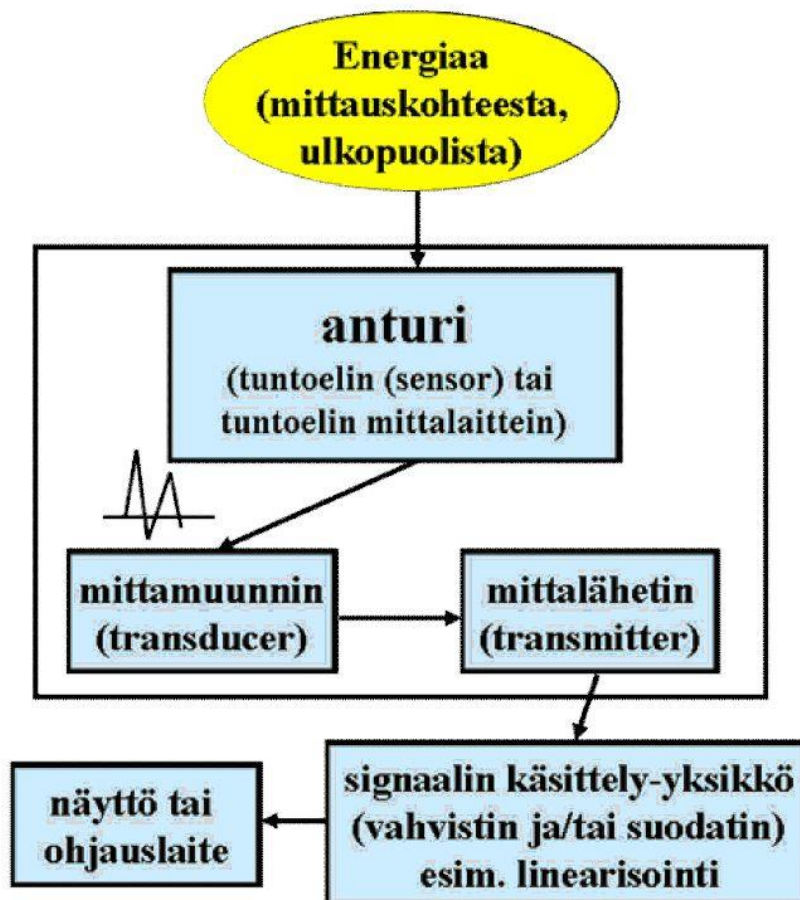
- kaksisuuntainen, half-duplex-tila
- verkkotopologiana käyttää tähtitopologiaa
- kantama matkapuhelinverkon laajuinen, joka kattaa koko Suomen
- suojaus LTE-salaus
- DNA, Elisa ja Telia ovat NB-LoT-operaattoreita Suomessa
- tyypillisinä käyttökohteina älykäs pysäköinti, älykkäät mittaukset, älykkäät rakennukset, älykkäät kaupungit ja älykkäät tehtaot. (27; 33; 34, s. 2–5.)

NB-LoT:n huonoihin puoliin kuuluu suurempi virran tarve, koska NB-LoT joutuu ylläpitämään synkronoitua yhteyttä matkapuhelinverkkoon riippumatta siitä, onko sillä edes lähetettävää dataa, mikä vaikuttaa varsinkin akunkestoon. (27.)

4 ANTURIT

Antureiden tehtävänä on mitata jotain fysikaalista suuretta, kuten lämpöä, kiihtyvyyttä, voimaa, värinää, painetta, etäisyyttä tai asentoa. Anturit lähettävät tietonsa visuaalisesti käyttäjälleen tai jokinlaisena viestinä esimerkkinä ohjausjärjestelmälle. Tietotekniikan kasvaessa kaikkialla kasvaa myös antureiden määrä ja kirjo jatkuvasti. Siksipä erilaisia antureita on lukematon määrä tarjolla. Anturit voidaan lajitella toimintatavan, mittausperiaatteen, mittauskohteen tai sovellutuskohteen perusteella.

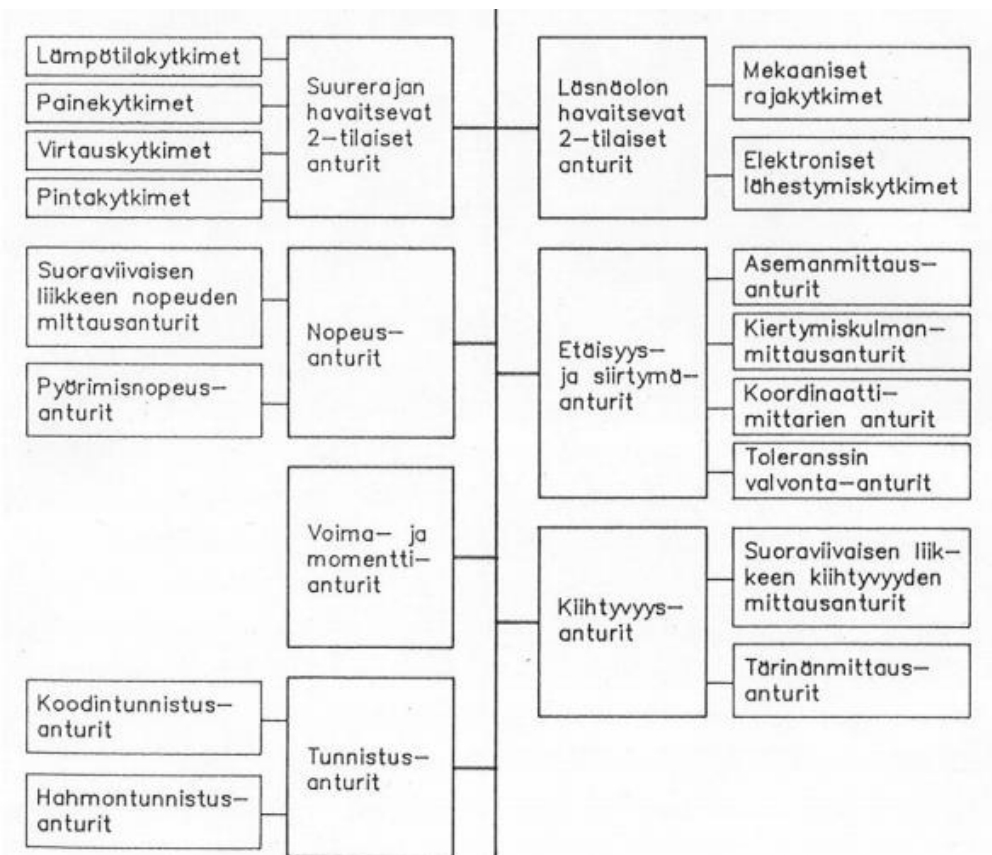
Antureita käytetään esimerkiksi prosessitiedon keräämiseen tai koneiden kunnonvalvontaan. Anturit sisältävät tuntoelimen (sensori), johon mitattava ilmiö vaikuttaa. Tämän jälkeen mittamuunnin (transducer) muuntaa mittausarvot mittausviesteiksi, kuten sähköjännitteeksi tai sähkövirraksi. Mittalähetin (transmitter) muuntaa mittausviestin lähtöviesteiksi, jotka ovat usein standardeja esimerkiksi 4–20 mA:n tai 0–10 VDC:n muodossa (kuva 13). (35.)



KUVA 13. Anturin toimintaperiaate, mutta näytön ja signaalin käsittelyn välissä voi olla langaton lähetin lisäksi (35)

Koneen ohjausjärjestelmä lukee viestin ja tarvittaessa käsittelee sen mittaustuloksen saamiseksi. Mittaustulosta voidaan käyttää monilla tavoilla, kuten koneen kuntoraportointiin, vian tunnistukseen tai koneen uudelleen säätämiseen. Anturilla on usein nimellinen mitta-alue, jonka tulee olla vähintään vastaava kuin mittaustuloksessa esiintyvä suurin arvo. (35.)

Eri suureiden mittaamiseen käytetään erilaisia antureita (kuva 14). Esimerkiksi värinää voidaan mitata kiihtyvyyssantureilla ja etäisyyttä asemanmittausanturilla. Esimerkiksi suurin osa kiihtyvyyssantureista luottaa pietsosähköisen vaikutuksen käyttöön, kun jännite syntyy tiettyntyyppisten kiteiden yli niiden stressaantumisen aikana. Testirakenteen kiihtyvyys välittyy kiihtyvyyssanturin sisällä olevaan seismiseen massaan, joka tuottaa suhteellisen voiman pietsosähköiseen kiteeseen. Tämä kiteelle aiheutuva ulkoinen rasitus tuottaa sitten suuren impedanssin sähkövarauksen, joka on verrannollinen käytettyyn voimaan ja siten verrannollinen kiihtyvyyteen (36). Toisena esimerkkinä on platinalämpötila-anturi, jonka tuntoelin on platinalankaa, missä resistanssi kasvaa lämpötilan kohotessa. Anturiosana on langan kautta kulkeva sähkövirta, jolloin vakiovirralla langan yli mitattava jännite kasvaa. Jännitetieto viedään siirtoväylänä olevan kaapelin kautta soviteosalle, jota kutsutaan usein vahvistimeksi tai lähettimeksi. (37.)



KUVA 14. Erilaisten suureiden mittaamiseen käytettäviä antureita (37)

Oikealla anturityypin valinnalla voidaan vaikuttaa luotettavuuteen, kun mitattavan kohteen arvot eivät ole liian pieniä tai suuria valitulle anturille. Antureiden epätarkkuus ilmoitetaan yleensä prosentteina, joka antaa yleiskäsitystä anturin luotettavuudesta. Antureille on myös määritetty tarkkuusluokitukset (accuracy), jolla taataan anturin epätarkkuusrajat. Näihin sisältyy esimerkiksi lineaarisuusvirheet, hystereesivirheet ja erotteluvirheet. Epätarkkuusrajat on usein ilmoitettu muodossa $\pm 0,5\%$ mitatusta arvosta. (37.)

Antureiden tiiveyden määrittämiseen käytetään Eurooppalaista IP-luokitusjärjestelmää (kuva 15), joka määrittää suojauksen ulkoisia ympäristöolosuhteita, kuten pölyä, vettä tai painetta vastaan. IP-merkintä on yleisesti kaksinumeroinen esimerkiksi IP 54, jonka ensimmäinen numero ilmoittaa tuotteen suojauksesta vieraita esineitä tai pölyä vastaan (5 eli pölyltä suojattu) ja seuraava numero ilmoittaa tuotteen suojauksesta vettä vastaan (4 eli roiskeveden pitävä). (35.)

Numero Nimitys ja kuvatunnus	Ensimmäinen tunnusnumero		Numero Nimitys ja kuvatunnus	Toinen tunnusnumero	
	Merkitys laitesuojauksessa ja henkilösuojauksessa			Merkitys laitteen vesisuojauksessa	
IP0X		Ei suojausta.	IPX0		Ei suojausta.
IP1X		Halkaisijaltaan 50 mm kapaleen sisäänpääsy on estetty. Käden (nyrkin) sisäänpääsy on estetty.	IPX1		Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä.
IP2X Kosketus-suojainen		Halkaisijaltaan 12,5 mm kapaleen sisäänpääsy on estetty. Sormen sisäänpääsy on estetty.	IPX2		15° kallistettu laite suojattu tippuvalta vedeltä.
IP3X Erikois-kosketus-suojainen		Halkaisijaltaan 2,5 mm kapaleen sisäänpääsy on estetty. Työkalun sisäänpääsy on estetty.	IPX3		Suojattu enintään 60° kulmassa satavalta vedeltä.
IP4X		Halkaisijaltaan 1 mm kapaleen sisäänpääsy on estetty. Suojattu langalta.	IPX4		Suojattu kaikista suunnista roiskuvalta vedeltä.
IP5X Pölysuojainen		Pölyä ei pääse tunkeutumaan haitallisesti kotelon sisälle. Suojattu langalta.	IPX5		Suojattu kaikista suunnista vesisuihkulta (tilojen puhdistus).
IP6X Pölytiivis		Pölyä ei pääse tunkeutumaan kotelon sisälle. Suojattu langalta.	IPX6		Suojattu kaikista suunnista voimakkaalta vesisuihkulta ja aallokulta.
Lisäkirjaimien A—D merkitykset:			IPX7		Veteen lyhytaikaisesti upotettu laite on suojattu vedeltä.
IPXXA	Vaaralliset osat on kosketussuojattu nyrkiltä.		Vedenpitävä		
IPXXB	Vaaralliset osat on kosketussuojattu sormelta.				
IPXXC	Vaaralliset osat on kosketussuojattu työkalulta.				
IPXXD	Vaaralliset osat on kosketussuojattu langalta.		IPX8		Veteen pysyvästi upotettu laite on suojattu vedeltä. h = upotussyvyys

KUVA 15. IP-luokitus ilmoittaa miten laite on suojattu ympäristötekijöiltä (38)

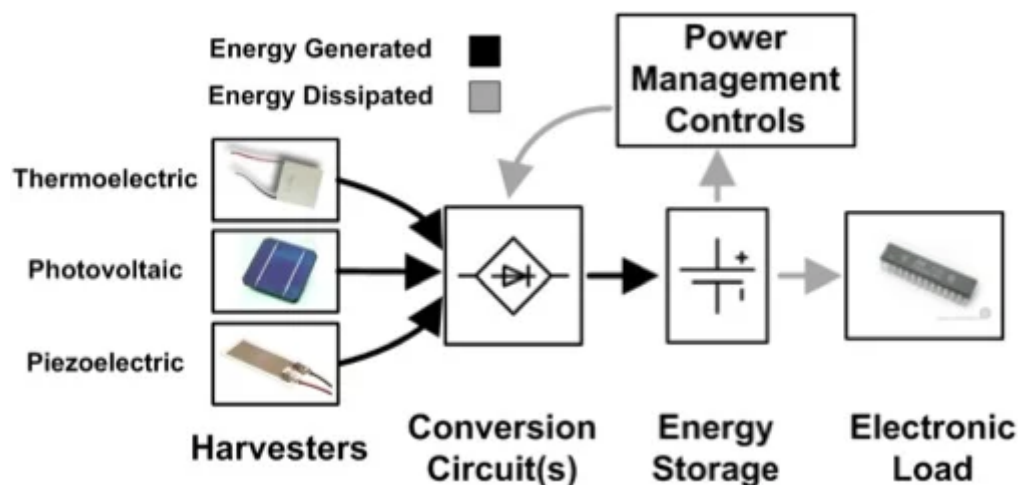
4.1 Antureiden energian tarve

Antureiden vaatima energian määrä perustuu pitkälti tiedonsiirron lähetystiheyteen kuten siihen, kuinka useasti mitattuja arvoja halutaan saada lähetettyä ulospäin anturista. Yleisesti valmistajat lupaavat tietynlaista akun kestoa tietyllä lähetys tiheydellä, esimerkiksi ABB:n älykkäiden antureiden 3.6V Li SOCI2-pariston arvioiduksi käyttöäksi -30...+50°C olosuhteissa anturin mitatessa tunnin välein valvottua kohdetta ja lähettäessä tiedot eteenpäin kerran päivässä pitäisi pariston kestää yli kaksi vuotta, mutta lämpötilojen noustessa +51...+ 85°C pariston käyttöikä puolittuu. (39, s. 12.)

Antureiden yleisimpiä virtalähteitä ovat akut, paristot tai perinteinen verkkovirta. Kiinnostavimpana ja tulevaisuuden kannalta ehkä tärkeimpänä virtalähteenä tulee olemaan energia keruu systeemit. Energia keruu (energy harvest) on pienien ympäristöstä saatavien energiamäärien talteenottoa ja muuttamista käyttökelpoiseksi sähköenergiaksi. Yleisimpiä energian keruu lähteitä ovat valoenergia, kineettinen energia, lämpöenergia ja radiotaajuusenergia. Sähköenergia kerätään joko suoraan käyttöä varten tai sitä varastoidaan myöhempää käyttöä varten. Tämä tarjoaa vaihtoehdoisen virtalähteen sovelluksiin paikoissa, joissa ei ole verkkovirtaa tarjolla. Suurin osa pienitehoisesta elektroniikasta, kuten antureista saa virtansa paristoista ja akuista, mutta jopa pitkäkestoisten paristojen ja akkujen käyttöikä on rajallinen. Paristojen ja akkujen vaihdot muutamien vuosien välein aiheuttavat suuria kuluja paikoissa, joissa on satoja antureita ja kun ne ovat vaikeasti tavoitettavissa paikoissa. Suurin osa energian keräys sovelluksista on suunniteltu itsensä ylläpitäviksi, kustannustehokkaiksi ja vähän tai ei lainkaan huoltoa vaativiksi monien vuosien ajaksi. Energiaa keruuta käyttävä sovellus tai laite voi toimia ilman akkua, jos energia riittää itse laitteen ylläpitämiseen. (40.)

Energian keruuprosessi yksinkertaisimmillaan vaatii energialähteeksi lämmön, valon tai värinän. Kolme muuta tärkeää komponenttia (kuva 16) ovat

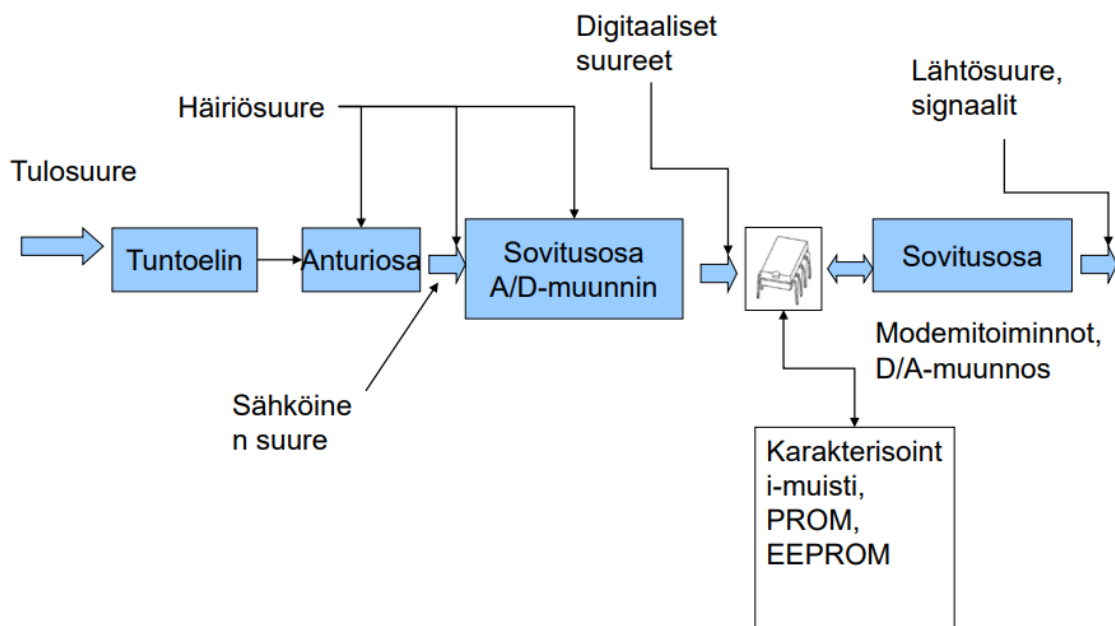
- keruuanturi (harvesters), joka kerää ja muuntaa lähteestä tulevan energian sähköenergiaksi
- energian varastointi (energy storage), kuten akku tai kondensaattori
- virranhallinta (power management), joka säätelee sähköenergian laitteeseen sopivaan muotoon. (40.)



KUVA 16. Energian keräysjärjestelmän peruskomponentit (40)

4.2 Älykkäät anturit

Älykkäiksi antureiksi voidaan kutsua antureita, jotka sisältävät muistia, päätöksentekologiikkaa ja laskentakapasiteettia. Älykäs anturi sisältää mikroprosessorin (kuva 17), jota perinteisistä antureista ei ole. Älykkäiden antureiden etuna on, että anturi itse tallentaa datan, käsittelee mitattua dataa ja tarvittaessa pystyy muokkaamaan dataa halutulla tavalla. Älykkäät anturit ovat tarkoitettu erittäin nopeaan ja tarkkaan tunnistukseen. Perinteinen värähtelyanturi mittaa dataa passiivisesti. Signaali siirretään keskusyksikköön, missä vasta tapahtuu signaalin prosessointi, laskenta ja analyysi. Älykkäässä anturissa signaalin prosessointi, laskenta ja analyysit tapahtuvat itse anturissa. Tämä mahdollistaa korkealaatuisen signaalin anturin sisäisellä signaalinprosessoinnilla, jolloin raakasignaalia ei tarvitse siirtää pitkiä matkoja keskusyksikköön analysoitavaksi, jonka johdosta signaalin laatu ei kärsi. (41.) Älykkäitä anturi kokonaisuuksia onkin tarjolla monelta eri valmistajalta.



KUVA 17. Älykkään anturin toimintaperiaate (37)

ABB on tuonut markkinoille kunnonvalvonnassa käytettäviä älykkäitä antureita, jossa samalla anturilla mitataan lämpötilaa ja värähdystä langattomasti. ABB Ability on älykäs anturivaihtoehto, joiden käyttöönotto on helppoa ja vaivatonta. ABB:n älykkäillä antureilla voidaan valvoa laakereita, moottoreita, pumppuja ja voimansiirtoa. ABB Ability lupaakin tarjota parempaa turvallisuutta, kasvavaa tuotettavuutta, vähentyvää turhaa huoltoa ja poistaen suunnittelemattomia seisokkeja. ABB:n älykkäät anturit toimivat paristoilla ja ovat täysin langattomia hyödyntäen BLE tiedonsiirto tekniikkaa,

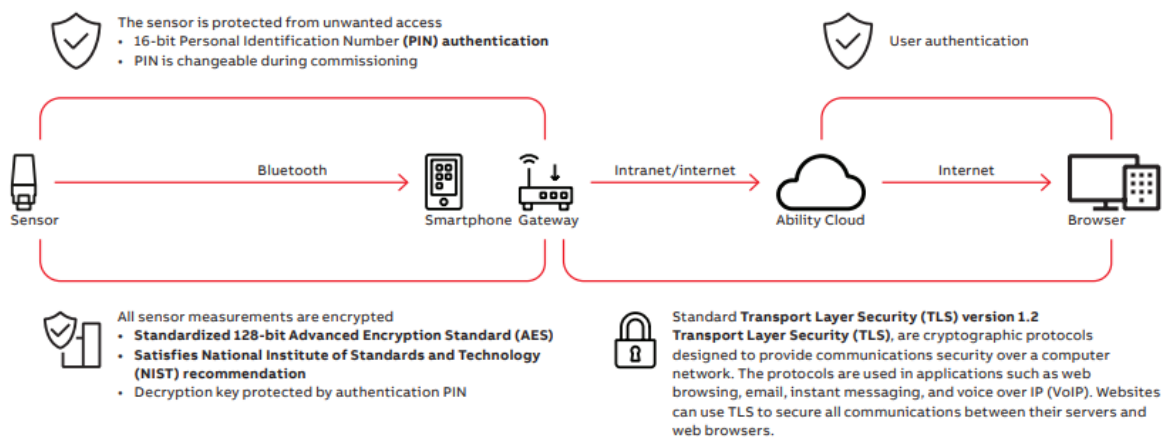
eivätkä ne vaadi erikoistyökaluja tai erityisiä ohjelmistoja toimiakseen. ABB:n älykkäät anturit välittävät tietoa valvottujen tuotteiden terveydentilasta langattomasti älypuhelimien kautta tai Bluetooth-yhdyskäytävän (gateway) avulla suojattuun palvelimeen. Tiedot kohteesta voidaan näyttää graafisesti älypuhelimella, tabletilla tai ABB Ability -verkkoportaaliin (kuva 18). (39, s. 2–8.)



KUVA 18. ABB Abilityn älykkäät anturit ovat täysin langattomia, helppoja asentaa, jälkiasennus mahdollisia, helppoja ottaa käyttöön ja omistavat ilmaisen pääsyn tietojen trendikäsittelyyn (39)

ABB Abilityn anturit noudattavat tiukkaa langattoman tiedonsiirron turvallisuutta, joka on toteutettu 128-bittisellä AES salauksella (kuva 19). Tietojen omistajuus kuuluu pelkästään yritykselle, eikä kukaan ulkopuolinen pääse tietoihin, jos niihin pääsyyn ei ole valtuuksia. Anturit on suojattu ei-toivotulta käytöltä 16-bittisellä PIN-koodilla. (39, s. 6.)

Secure communication system overview



KUVA 19. Suojatun viestintäjärjestelmän toiminta anturilta seurantalaitteelle (39)

5 POHDINTA

Langattomaan tiedonsiirtoon liittyvässä tutkielmassa selvisi langattomien sovellusten paljous ja järjestelmien samankaltaisuus, ja sen seurauksena suuria määriä langattomia tiedonsiirtomenetelmiä ei ehditty esitellä opinnäytetyössäni. Tutkielmassa selvisi kuitenkin elektroniikan ja piirilevyjen kehitys, joka on mahdollistanut monipuolisemmat ominaisuudet ja aiempaa paremman suorituskyvyn sekä energiatehokkuuden langattomissa sovelluksissa. Varsinkin energiatehokkuus on yksi olennaisista vaatimuksista suunniteltaessa langattomia järjestelmiä ja IoT-sovelluksia. Akkujen ja paristojen käyttöikä onkin suuresti auttanut langattomien järjestelmien ”horrostilan” mahdollisuus, jolloin järjestelmät eivät kuluta energiaa muulloin kuin tarvittaessa.

Langattomien tekniikoiden samankaltaisuuksien myötä oikean tekniikan valinta on haastavaa. Selkeimpiä vaihtoehtoja pois rajaavia tekijöitä ovat vaadittu kantomatka, tiedonsiirron määrä, tiedonsiirron nopeus ja virrankulutus. Oikean tekniikan valinnassa on myös huomioitava järjestelmän alttius mahdollisille häiriösignaaleille ja pohdittava, onko langattomalle järjestelmälle ensinnäkään tarvetta. Kaikki edellä luetellut vaikuttavat siihen, millaista tekniikkaa kannattaa valvottuun kohteeseen suositella.

Tekniikan kehittyessä yhä enemmän energiatehokkaammaksi ja langattomaksi on uusia tekniikoita kehitteillä koko ajan lisää. Seuraava mullistava läpilyönti langattomassa teknologiassa ja varsinkin teollisuudessa tuleekin olemaan energia keruun tehostuminen, jonka myötä akkujen vaihdon tarve häviää tai eliminoituu kokonaan pois. Tämän ansiosta varsinkin älykkäät anturit voisivat toimia ilman ihmisen vuorovaikutusta.

Koska tulevaisuuden tuodessa uusia teknologisia avusteita ja tekniikoita kunnonvalvontaan, tuo myös se tullessaan uuden tarpeen koneinsinöörien osaamiselle. Tulevaisuudessa koneinsinööriillä on oltava tietämystä myös tieto- ja viestintätekniikan alalta. Tekniikan kehittyessä enemmän langattoman ja älyllisen teknologian suuntaan on koneinsinöörin ymmärrettävä silloin myös niistä. Tulevaisuuden koneinsinöörin tulee todennäköisesti ymmärtää tieto- ja viestintätekniikasta pärjätäkseen työmarkkinoilla.

Oppimisen kannalta tutkielma oli todella antoisa, koska käsitellyt asiat olivat miltei täysin tuntemattomia ja vieraita itselleni, mikä vaikeutti osaltaan opinnäytetyön valmistumista. Oppimisen kannalta

oli hyvä tutustua varsinkin langattoman tiedonsiirron maailmaan, koska tulevalla urallani on varmasti hyötyä aiheeseen liittyvästä teoriataustasta.

LÄHTEET

1. Käynnissäpidon uusimmat teknologiat ja niiden vaikutus vähähiilisyteen. 2019. OAMK. Saatavissa: <https://www.oamk.fi/fi/tutkimus-ja-kehitys/teki-ja-hanketoiminta/hank-keet?pn=W443&hhaku=&tila=3&kv=0&fos=&isc=&hankehakusana=&hakutoiminto=HAE>. Hakupäivä 29.4.2021
2. PSK 6201. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.
3. Komonen, Kari 2005. Fyysisen käyttömaisyyden hallinta – käynnissäpidon vaikutus yrityksen tuotavuuteen. Teoksessa Helle, Aino (toim.) Teollisuuden käynnissäpidon prognostiikka. Prognos. VTT symposium 236. Espoo: VTT. S. 15–26. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/symposiums/2005/S236.pdf>. Hakupäivä 3.5.2021.
4. 1. Johdanto kunnonvalvontaan. Kunnossapito. Menestystekijä. Opetushallitus. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html. Hakupäivä 4.2.2021
5. 23. KUNNONVALVONTA JA HUOLTO. 2000. ABB:n TTT-käsikirja. Saatavissa: http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/23_Kunnonvalvonta%20ja%20huolto.pdf. Hakupäivä 11.3.2021
6. 2. Värähtelymittaukset. Kunnossapito. Menestystekijä. Opetushallitus. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k2_varahtelymittaukset.html. Hakupäivä 12.3.2021
7. PAMAS S50. 2020. Sintech Scientific (S.E.A) Pte Ltd. Saatavissa: <https://www.sintechscientific.com/prod-pamass50>. Hakupäivä 13.3.2021
8. 6. Virta-analyysi epätahtikoneille. Kunnossapito. Menestystekijä. Opetushallitus. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k6_virta-analyysi.html. Hakupäivä

16.3.2021.

9. Pioneer in plastic-free packaging one of the first to install Sense. 2021. Sulzer. Saatavissa: <https://www.sulzer.com/en/shared/case-studies/sulzer-sense-monitors-the-condition-of-pumps-in-pulp-production>. Hakupäivä 25.3.2021
10. Digital enablers at Sulzer — smart and connected equipment. 2021. Sulzer. Saatavissa: <https://www.sulzer.com/en/shared/campaign/digital-enablers-at-sulzer-smart-and-connected-equipment>. Hakupäivä 25.3.2021
11. Industrial wireless - selecting a wireless technology. 2018. B+B Smartworx. Saatavissa: <https://www.bb-elec.com/Learning-Center/All-White-Papers/Wireless-Cellular/Industrial-Wireless-Selecting-a-Wireless-Technolog.aspx>. Hakupäivä 17.3.2020
12. Langattomat ATEX kunnonvalvonta-anturit (Wi-care 100-sarja). YTM-INDUSTRIAL OY. Saatavissa: <https://www.ytm.fi/tuotteet/prosessitekniikka/langattomat-atex-kunnonvalvonta-anturit-wi-care-100-sarja/>. Hakupäivä 13.4.2021
13. Gillis, Alexander S 2021. Internet of thing (IoT). TechTarget. Saatavissa: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>. Hakupäivä 18.3.2021
14. A guide to IoT. 2019. Ecosystem. Saatavissa: <https://blog.ecosystem360.com/guides/iot-internet-of-things/>. Hakupäivä 22.3.2021
15. Industrial internet of things. 2021. Trend Micro. Saatavissa: <https://www.trendmicro.com/vinfo/us/security/definition/industrial-internet-of-things-iiot>. Hakupäivä 23.3.2021
16. Internet of Things. 2021. IEEE SA. Saatavissa: <https://standards.ieee.org/initiatives/iot/stds.html>. Hakupäivä 19.4.2021
17. What is IIoT?. 2020. Emuron Technologies. Saatavissa: <https://www.emuron.com/iiot.php>. Hakupäivä 23.3.2021

18. Hunter, Chad. How Does Data Transfer Over a Wireless Network?. Techwalla. Saatavissa: <https://www.techwalla.com/articles/how-does-data-transfer-over-a-wireless-network>. Hakupäivä 12.2.2021
19. Bray, Jennifer – Sturman, Charles F 2002. Bluetooth: Connect without cables. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall PTR
20. Franklin, Curt – Pollette, Chris 2021. How Bluetooth Works. Howstuffworks. Saatavissa: <https://electronics.howstuffworks.com/bluetooth.htm>. Hakupäivä 13.2.2021
21. LEARN ABOUT BLUETOOTH Bluetooth Radio Versions. 2021. Bluetooth SIG. Saatavissa: <https://www.bluetooth.com/learn-about/bluetooth/radio-versions/>. Hakupäivä 13.2.2021
22. Advantages and disadvantages of Bluetooth. 2017. Polytechnic Hub. Saatavissa: <https://www.polytechnichub.com/advantages-disadvantages-bluetooth/>. Hakupäivä 13.2.2021
23. LoRaWAN-teknologia. Digita. Saatavissa: <https://www.digita.fi/etusivu/palvelut-yrityksille/lorawan-teknologia/>. Hakupäivä 6.4.2021
24. What is LoRaWAN® Specification. 2021. LoRa Alliance. Saatavissa: <https://loralliance.org/about-lorawan/>. Hakupäivä 6.4.2021
25. IoT:n kartta. Digita. Saatavissa: <https://www.digita.fi/iotn-kartta/>. Hakupäivä 6.4.2021
26. What is LoRa?. 2018. Everything RF. Saatavissa: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-lora>. Hakupäivä 15.2.2021
27. Mohan, Vivek 2018. 10 Things About LoRaWAN & NB-IoT. Semtech. Saatavissa: <https://blog.semtech.com/title-10-things-about-lorawan-nb-iot>. Hakupäivä 15.2.2021
28. Is LoRa the game-changer for IoT?. Internet of business. Saatavissa: <https://internetofbusiness.com/lora-game-changer-iot/>. Hakupäivä 6.4.2021

29. What is SIGFOX?. 2017. Everything RF. Saatavissa: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-sigfox>. Hakupäivä 7.4.2021
30. Sigfox Technical Overview. 2017. Sigfox. Saatavissa: <https://www.element14.com/community/servlet/JiveServlet/downloadBody/87914-102-2-369330/Sigfox%20technical%20overview%20July%202017.pdf>. Hakupäivä 7.4.2021
31. Coverage. 2021. Sigfox. Saatavissa: <https://www.sigfox.com/en/coverage>. Hakupäivä 7.4.2021
32. NB-IoT vs. LoRa vs. Sigfox. 2018. Link Labs. Saatavissa: <https://www.link-labs.com/blog/nb-iot-vs-lora-vs-sigfox>. Hakupäivä 7.4.2021
33. What is NB-IoT?. 2017. Everything RF. Saatavissa: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-nb-iot>. Hakupäivä 8.4.2021
34. Comparing IoT Networks at a Glance. WiSUN Alliance. Saatavissa: <https://www.wi-sun.org/wp-content/uploads/Wi-SUN-Comparing-IoT-Networks.pdf>. Hakupäivä 8.4.2021
35. Paavilainen, Heikki 2010. Yleistä antureista. Metropolia. Saatavissa: <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=12160009>. Hakupäivä 29.3.2021
36. Measuring Vibration with Accelerometers. 2020. National instruments corp. Saatavissa: <https://www.ni.com/fi-fi/innovations/white-papers/06/measuring-vibration-with-accelerometers.html>. Hakupäivä 16.4.2021
37. Viitala, Jari 2018. Anturitekniikan käsitteet. Koneautomaation perusteet, Koneautomaation anturitekniikka. PowerPoint-diasarja. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
38. IP-luokitus. Jyväskylän koulutuskuntayhtymä, Ammatillinen koulutus. Peda. Saatavissa: <https://peda.net/jao-ammattillinen/pilotoinnit/sjap/smj1a/sjap/s%C3%A4hk%C3%B6asennukset-1/s%C3%A4hk%C3%B6asennukset2/s/ip-luokat2-fw-png>. Hakupäivä 29.3.2021
39. ABB Ability Smart Sensor. 2018. ABB. Saatavissa: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107592&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.

Hakupäivä 15.4.2021

40. Kingatua, Amos 2016. The How and Why of Energy Harvesting for Low-Power Applications. All About Circuits. Saatavissa: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/how-why-of-energy-harvesting-for-low-power-applications/>. Hakupäivä 31.3.2021
41. Turunen, Antti 2010. Remote Condition Mangement. Wind Systems Magazine. Saatavissa: https://www.windsystemsmag.com/wp-content/uploads/pdfs/Articles/2010_June/0610_Moventas.pdf. Hakupäivä 30.3.2021