

Lari Orpana

**ESINEIDEN INTERNETIN HYÖDYNTÄMINEN  
KUNTOON PERUSTUVASSA YLLÄPIDOSSA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN LAITOS  
2016

## TIIVISTELMÄ

Orpana, Lari

Esineiden internetin hyödyntäminen kuntoon perustuvassa ylläpidossa

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2016, 44 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja(t): Mazhelis, Oleksiy

Tässä kandidaatintutkielmassa käydään läpi esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon pääkohdat. Kerättyä tietoa hyödynnetään esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon yhteistoiminnan ymmärtämiseen. Tärkeimpänä tavoitteena on selvittää esineiden internetin soveltuvuus ja käyttö osana kuntoon perustuvan ylläpidon toimintaa.

Tutkielma suoritetaan kirjallisuuskatsauksena. Lähdekirjallisuuden tietoja hyödynnetään esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon esittelemiseen sekä tutkimuskysymykseen vastaamiseen.

Tulokset osoittavat esineiden internetin ominaisuuksien tukevan kuntoon perustuvan ylläpidon toimintaa. Selvimmin tilanne tulee esille havainnoinnin kanssa, tarkemmin sensoriteknologioita hyödynnettäessä. Tämän lisäksi yhteydenpito ja toiminnalliset ominaisuudet ovat osoittaneet käyttökelpoisuutensa. Havaitut kaupalliset sovellukset varmistavat omalta osaltaan esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon yhteistoiminnan potentiaalin.

Asiasanat: esineiden internet, kuntoon perustuva ylläpito, yhteistoiminta, teknologia, kehitys

## ABSTRACT

Orpana, Lari

Usability of Internet of Things in condition based maintenance

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2016, 44 p.

Information Systems Science, Bachelor's thesis

Supervisor(s): Mazhelis, Oleksiy

In this Bachelor's thesis, key points of Internet of Things and condition based maintenance are presented. Gathered information is used to understand the cooperation of Internet of Things and condition based maintenance. The main objective is to clarify how Internet of Things can be used and is used as part of condition based maintenance.

Thesis is done as a literature review. The source literature is used to summarize Internet of Things and condition based maintenance. It is also used for answering the research question.

Results have shown the usability of Internet of Things as part of condition based maintenance. Usability is most obvious with the perceptive part of IoT, more specifically when using sensor technologies. Also both communicational and functional parts are seen as useful. The cooperation has already led to commercial products, which proves the potential in using Internet of Things and condition based maintenance together.

Keywords: Internet of Things, condition based maintenance, cooperation, technology, development

## KUVIOT

Kuva 1: Lämpötilasensori.....	17
Kuva 2: Esineiden internetin kehitys.....	18
Kuva 3: FCPB-malli .....	22
Kuva 4: Sähkömoottoria tarkkaileva sensoriverkko.....	28

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT

1	JOHDANTO.....	6
2	ESINEIDEN INTERNET .....	8
2.1	Määrittämiä .....	8
2.2	Esineiden internetin mahdollistavia teknologioita.....	10
2.2.1	Radiotaajuinen etätunnistus (RFID) .....	10
2.2.2	Langattomat sensoriverkot (WSN) .....	11
2.2.3	Älykkäät esineet (Smart objects) .....	13
2.3	Tietoturva ja yksityisyys .....	14
2.4	Esineiden internetin sovelluksia.....	15
2.5	Esineiden internet yhteenvetona .....	17
3	KUNTOON PERUSTUVA YLLÄPITO .....	19
3.1	Ylläpito ja sen osat .....	19
3.2	Kuntoon perustuvan ylläpidon määrittämiä .....	20
3.3	Kuntoon perustuvan ylläpidon sovelluksia .....	22
4	MITEN ESINEIDEN INTERNETIÄ VOIDAAN HYÖDYNTÄÄ KUNTOON PERUSTUVASSA YLLÄPIDOSSA? .....	25
4.1	Yhteistoiminnan vaatimukset .....	25
4.2	Tarkastelussa rakenteellinen yhteistoiminta .....	27
4.3	Nykytilanteen arviointia.....	28
4.4	Ajatuksia tulevasta .....	31
5	YHTEENVETO .....	35
	LÄHTEET .....	37
	LIITE 1: KUNTOON PERUSTUVA YLLÄPITO TERMINÄ .....	43

# 1 JOHDANTO

Teknologinen kehitys on mahdollistanut ennennäkemättömän määrän innovaatioita, aina yksinkertaisimmasta kirjoitetusta sanasta miljardien käyttäjien internetiin saakka. Yksi uusimmista teknologisen kehityksen mahdollistamista toiminnoista on esineiden internet. Gubbi, Buyya, Marusic & Palaniswami (2013) näkevät esineiden internetin havaitsevien ja toimivien laitteiden yhteenliittymänä, joka antaa yhteiselle rakenteelle kyvyn jakaa tietoa erilaisten alustojen välillä. Erilaisten sensorteknologioiden, kommunikoinnin ja toiminnallisten kokonaisuuksien yhdistelmänä esineiden internet on herättänyt kiinnostusta ympäri tiedemaailmaa. Käytännön sovelluksia on myös alkanut ilmetä, esimerkiksi teiden ylläpitoon käytettävien lämpötilasensorien (Chapman, Young, Muller ym., 2014) ja logistiikan tukitoimintojen (Da Xu, He & Li, 2014) muodoissa.

Ylläpidolliset toimet ovat usein arkipäiväisiä toimintoja, jotka voivat jäädä kokonaan huomaamatta. Ne kuitenkin varmistavat haluttujen toimintojen jatkuvuuden. Dhillon (2002, 3) määrittelee ylläpidon sisältävän ne toiminnot, joilla kohde pidetään toimintakuntoisena tai palautetaan toimivaan tilaan. Tästä ajatuksesta on kehitetty edelleen kuntoon perustuva ylläpito. Prajapati, Bechtel & Ganesan (2012) näkevät tämän ylläpidoksi, jonka tarpeellisuus määritellään kerätyn datan ja tiedon perusteella. Kuntoon perustuvan ylläpidon tarve hyödyntää tietoa ylläpidollisten toimien suorittamiseen on selvästi esillä.

Motivaatio tutkielman kirjoittamiseen kehittyi opintojen aikana. Esineiden internet mainittiin toistuvasti luennoilla, esityksissä ja materiaaleissa. Siitä puhuttiin ideana, uutena teknologiana ja tulevaisuuden mullistajana. Tämän myötä itselleni heräsi halu tietää aihealueesta enemmän. Ylläpito ei ollut samaan tapaan esillä, mutta on silti erittäin tärkeä osa päivittäistä toimintaa. Esineiden internet on selvästi kehittynyt pisteeseen, jossa se pystyy tukemaan ja luomaan yhä erilaisempia toimintoja. Tätä kautta heräsi kysymyksiä toimintojen yhdistämisestä: Mitä tarjottavaa esineiden internetillä on kuntoon perustuvalla ylläpidolle? Onko yhteistoimintaa jo olemassa? Minkä tyyppisiä toimintoja voidaan esineiden internetiä hyödyntäen mahdollistaa? Esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon yhteistoiminta on tärkeää kartoittaa, sillä toimintojen yhteiskäyttö saattaa mahdollistaa monia etuja aikaisempaan verrattuna.

Tässä tutkielmassa vastataan kysymykseen siitä, miten esineiden internetiä voidaan hyödyntää kuntoon perustuvassa ylläpidossa. Tätä ennen esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon osa-alueet määritellään. Tutkielma suoritetaan kirjallisuuskatsauksena.

Seuraavassa luvussa käydään läpi esineiden internet. Teknologisen kehityksen mahdollistama havainnoinnin, toiminnollisuuden ja yhteydenpidon yhdistelmä esitellään. Sen ominaisuuksista käydään tarpeelliset osat läpi, ja esimerkkejä nykyisistä ja tulevista käyttökohteista esitetään. Tarkoituksena on luoda yleisnäkyä esineiden internetin toimintaan ja käyttöön.

Luvussa 3 käydään läpi kuntoon perustuva ylläpito. Ylläpidon käsitteet määritellään, ja kuntoon perustuva ylläpito käydään läpi yleisellä tasolla. Ylläpidollisten toimien hyödyntämisestä nykyisin tarjotaan esimerkkejä.

Luvussa 4 esineiden internet ja kuntoon perustuva ylläpito pääsevät kosketuksiin toistensa kanssa. Tarkoituksena on selvittää esineiden internetin hyödyntäminen kuntoon perustuvassa ylläpidossa. Luvussa 5 esitellään tutkielman yhteenveto.

Tulokset osoittavat esineiden internetin ja ylläpidollisten toimien yhteensopivuuden. Esineiden internet pystyy tukemaan kuntoon perustuvaa ylläpitoa, ja mahdollistaa näin sekä uusia toimintoja että aikaisemman kehittämistä. Esineiden internet on ominaisuuksineen kehittynyt niin pitkälle, että sen tarjoamaa toiminnollisuutta pystytään integroimaan osaksi hyvinkin arkipäiväisiä toimintoja. Tämä voi, ongelmistaan huolimatta, olla suurien muutoksien ja mahdollisuuksien lähtöpiste.

## 2 ESINEIDEN INTERNET

Esineiden internet on ollut kiinnostuksen kohteena jo pitkään. Informaatioteknologioiden kiinnostavuutta, potentiaalia ja olemassaolon vaiheita kuvaava Gartnerin hypesykli (Gartner, 2015) on asettanut esineiden internetin huipulle, autonomisten autojen ja reaaliaikaisen kielenkäännön rinnalle. Suuren kiinnostuksen kohteena olevat teknologiat lupaavat usein paljon, mutta tarjoavat vähän. Mikä on tilanne esineiden internetin kohdalla? Selventääkseni termin tarkoituseriä ja osa-alueita, seuraavissa luvuissa tullaan käymään läpi esineiden internetin määrittäjiä, sen mahdollistavia teknologioita, tietoturvan ja yksityisyyden näkökulmat sekä esimerkkejä käyttötavoista. Seuraavissa luvuissa esitettyjen tietojen ei ole tarkoitus antaa syväluotaavaa tietopohjaa esineiden internetistä, vaan tarjota tarpeellinen määrä tietoa kohdealueesta sen eri osien toiminnan ymmärtämiseksi.

### 2.1 Määrittäjiä

Esineiden internetin (engl. Internet of Things, IoT) mainitsi ensi kerran Kevin Ashton vuonna 1999 (Ashton, 2009). Tällä termillä Ashton tarkoitti ainutlaatuisesti identifioitavia kohteita ja niiden virtuaalisia vastinpareja internetin tyyppisessä verkottuneessa ympäristössä (IEC, 2014).

Esineiden internetin itsensä määrittäminen on varsin kirjavaa. Atzori, Iera & Morabito (2010) näkevät esineiden internetin uudenlaisena ajattelutapana, jossa kaikkialla ympärillä sijaitsevat teknologiat, kuten RFID-tunnistus ja sensorit, pystyvät viestimään keskenään ja tekemään yhteistyötä yhteisen päämäärän saavuttamiseksi. Kortuem, Kawsar, Fitton & Sundramoorthy (2010) mainitsevat käsitteen visioksi maailmanlaajuisesta, verkottuneista fyysisistä objekteista koostuvasta infrastruktuurista.

Myöskin Pretz (2013) ajattelee artikkelissaan esineiden internetin verkostoksi, jossa kohteet ovat yhteydessä älykkäiden sensorien välityksellä. Samaan tapaan Li, Da Xu & Zhao (2014) esittelevät ETSIn (2013) kokoaman määrittäjä-



jossa esineiden internetin sanotaan olevan eräänlainen ainutlaatuisen identiteetin omaavien yhteydenpitolaitteiden muodostama joukko.

Kopetzin (2011) näkemyksen mukaan esineiden internet on jatkuvasti kehittyvä ajattelutapa, jonka keskiössä on sensoriteknologian kehityksen ja maailmanlaajuisen verkottumisen mahdollistama tiedonkeruutapojen kasvu. Kopetzin mainitsema visio menee tästä vieläkin pidemmälle, ennustaen autonomisten älykkäiden esineiden mahdollistaman älykkään planeetan, jossa suuri osa jokapäiväisistä esineistä kerää tietoa, jakaa sitä ja hyödyntää muista lähteistä tullutta informaatiota sulavan ja tehokkaan toiminnan mahdollistamiseksi.

Gubbi, Buyya, Marusic & Palaniswami (2013) pyrkivät enemmän käyttäjäkeskeiseen määrittelyyn. He sanovat esineiden internetin olevan havaitsevien ja toimivien laitteiden yhteenliittymä, joka antaa yhteiselle rakenteelle kyvyn jakaa tietoa erilaisten alustojen välillä. Tämän sanotaan olevan mahdollista saumattoman, kaikkialla läsnä olevan havaitsemisen, data-analytiikan ja pilvipalvelujen muodostaman yhdistävän rakenteen kautta. Samaa ajatusta seuraavan Alcarazin, Najeran, Lopezin ja Romanin (2010) maanläheinen luonnehdinta sanoo esineiden internetin koostuvan jokapäiväisistä esineistä, jotka ovat internetin toimintoja hyödyntäviä tiedon käyttäjiä ja luoja. Alcaraz ym. näkevät laskennallisten ja havaitsevien toimintojen lisäämisen kaikenlaisiin kohteisiin hurjana tuottavuus- ja tehokkuushyppynä aikaisempaan.

Esineiden internetin nimestä voi huomata käsitteen jakautumisen kahteen osaan. Atzori ym. (2010) ovat lähteneet lähestymään käsitettä tarkastelemalla sen molempia osia. Toinen on verkottuminen, johon mainittiin lukeutuvan viestiminen, yhteydenpito ja infrastruktuuri. Toinen on esineet, jotka sisältävät kyvyn viestiä ja identifioida itsensä. ”*Esineisiin*” liittyviksi asioiksi sanotaan sensoriteknologiat, tiedonsiirron tavat ja fyysiset ominaisuudet, kuten älykkäät esineet. ”*Internetin*” osa-alueiksi on mainittu verkottumisen erilaiset protokollat ja toiminnot. Esimerkiksi tästä mainitaan IPSO (IP for smart objects), jonka avulla jokaiselle kohteelle pystytään tarjoamaan verkkoidentiteetti.

Esineiden internetille löytyy siis useita selityksiä ja määrittelyksiä. Osa määrittelyksistä ottaa näkemykseensä mukaan maailmanlaajuisen verkottumisen ja internetin (Kopetz, 2011; Ashton, 2009; Kortuem, 2010). Osa taas pyrkii pitämään määritelmän avoimemmalla tasolla, painottaen verkottumista ja yhteydenpitoa (ETSI, 2013; Gubbi, 2013; Atzori ym., 2010). Välillä edes kirjoittajille itselleen ei vaikuta olevan selvää, mitä he esineiden internetillä tarkoittavat. Kaikki kuitenkin näyttävät olevan yhtä mieltä sensoritoiminnan, havaitsemisen ja yhteydenpidon tarpeellisuudesta. Yhtä oikeaa määritelmää ei vaikuta olevan olemassa, esineiden internetin kattaessa niin monia näkökulmia ja toimintoja.

Lähdemateriaaliin perustuen, oma näkemykseni esineiden internetistä on ”yhteydenpitoon kykenevien, tietoa keräävien ja luovuttavien toimijoiden muodostama verkosto”. Internetin tapaan, esineiden internetin muodostuminen mahdollistuu vasta useamman kuin yhden toimijan ollessa mukana. Toimijoiden välinen verkottuminen on ensisijaisen tärkeässä osassa, ulkoisen verkottumisen (kuten internetin) toimiessa enemmänkin pohjana tiettyjen toimintojen ja sovelluksien suorittamiselle.

## 2.2 Esineiden internetin mahdollistavia teknologioita

Kuten useimpien teknologioiden kanssa, myös esineiden internetin kehittyminen on ollut monen mutkan ja vaiheen takana. Valottaakseni esineiden internetiin vaikuttavia toteutuksia ja ratkaisuja, käyn tässä luvussa läpi esineiden internetin mahdollistavia teknologioita. Pääasiallisena tavoitteena on luoda kuva siitä, minkälaisien teknologioiden ja toimijoiden käytöstä ja toiminnasta esineiden internet koostuu.

### 2.2.1 Radiotaajuinen etätunnistus (RFID)

RFID (engl. Radio Frequency IDentification) tarkoittaa lyhyen kantaman radioteknologiaa, jota käytetään siirtämään useimmiten digitaalista informaatiota kohteiden välillä (Landt, 2005). Teknologia mahdollistaa kohteen tunnistamisen langattomasti matkan päästä, ilman suoraa näköyhteyttä kohteeseen (Want, 2006).

Ulkoisesti tarkasteltuna RFID-tunniste on erittäin pieni mikrosiru, joka koostuu lähettimenä ja vastaanottimena toimivasta antennista sekä tallennustilasta, joka sisältää sirun identifioivan tiedon (Takaragi, Usami, Imura, Itsuki & Satoh, 2001). Wantin (2006) mukaan RFID-tunnisteet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: aktiivisiin ja passiivisiin. Aktiiviset tunnisteet vaativat patterin tai muun vastaavan energianlähteen toimiakseen. Passiiviset tunnisteet toimivat RFID-lukijan tuottaman signaalin voimin, jonka avulla tunniste pystyy kommunikoimaan lukijan kanssa. Passiiviset tunnisteet ovat kokoetunsa ja käytännössä määräämättömän käyttöikänsä myötä kiinnostuksen kohteena. (Want, 2006.)

Want (2006) on myöskin ymmärtänyt, ettei RFID-tunniste ole nykyään pelkästään moderni viivakoodin vastine. Tunniste pystyy sisältämään muistia, johon on tallennettua tietoa jota ei lueta joka kerta tunnisteen kanssa kommunikoidessa. Tämä muisti voi sisältää esimerkiksi tiedon tuotteen valmistuserästä, joka helpottaa virhetilanteiden selvittelyä. Toinen hyödyllinen ominaisuus on lukemisen lisäksi kirjoittamista tukevan muistin käyttö. Tilarajoituksista huolimatta tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi käyttöhistorian tallentamiseen. (Want, 2006.)

RFID-teknologiaa käytetään nykyisin varsinkin logistiikka-alalla, esimerkiksi toimitusketjujen hallinnan ja tarkkailun tukena. Toinen hyödyllinen käyttökohde on tietullien hallinta, jossa yhtä autoon sijoitettua tunnistetta voidaan käyttää ajoneuvojen tunnistamiseen, parkkimaksujen hoitoon ja hitaan manuaalisen maksutapahtuman ohittamiseen. (Landt, 2005.)

Esineiden internetissä RFID-teknologian suurimmat hyödyt löytyvät kohteiden tunnistamisen ja identifioinnin mahdollistajana (Thrasher, 2015).

## 2.2.2 Langattomat sensoriverkot (WSN)

Langattomat sensoriverkot (engl. Wireless Sensor Networks, WSN) voidaan kuvailla verkostoiksi noodeja, jotka pystyvät keräämään tietoa tapahtumista ja viestimään tiedot eteenpäin langattomasti (IEC, 2014). Sensoriverkot koostuvat siis noodeista, jotka pystyvät kommunikoimaan langattomasti. Yhdistettynä RFID-tekniikkaan kyky havainnoida ympäristöä kasvaa, joka mahdollistaa paremman ymmärryksen tapahtumista. (Atzori ym., 2010.)

Noodit itse perustuvat mikroelektromeekaanisiin (MEMS) järjestelmiin, joilla sensorien koko on saatu hyvin pieneksi (Kahn, Katz & Pister, 1999). Noodien tärkeimmät osat ovat antenni tiedonsiirtoa varten ja sensoriosa, jonka koko ja laajuus vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Jo vuonna 2003 julkistetun sensorinoodin koko oli 2.8x2.1mm. (IEC, 2014.) Sensorien havaitsemia asioita voivat olla mm. lämpötila, sähkömagneettinen vastus, PH-arvo, liike, ääni ja massa (Lewis, 2004; IEC, 2014). Noodit tarvitsevat toimintoihinsa energiaa, ja sitä pystytään keräämään ja vastaanottamaan eri tavoin. Patterien lisäksi IEC (2014) on listannut erilaisia noodien hyödyntämiä energianlähteitä. Tärkeimmiksi nousivat kineettisen energian (liike), aurinkovoiman ja lämpöenergian käyttö.

Aikaisemmin mainittuja energianlähteitä ei kuitenkaan ole aina käytettävissä. Tällöin on mahdollista hyödyntää radiotaajuuksien tarjoamaa energiaa. Tietyn tyyppiset noodit pystyvät keräämään energiaa ollessaan lepotilassa antenniensa kautta. Kerätessä, vastaanottaessa ja lähettäessä tietoa noodit käyttävät energiaa ja hyödyntävät pientä noodin sisäistä varausta. Radiotaajuuksien sisältämän energian hyödyntäminen hyvin vähän virtaa vaativissa noodeissa vaikuttaakin optimaaliselta energian hyödyntämistavalta. (Tang, 2009.) Kyseinen teknologia muistuttaa aikaisemmin mainittua RFID-tagien hyödyntämää energiankeräystä. Käytännön sovelluksia rajaa jatkuvasti kehittyvä, mutta tällä hetkellä hyvin lyhyt lähetyskantama. Juuri julkistetun, langatonta lataustapaa käyttävän lämpötilasensorin lähetyskantama on hyvin heikko: se pystyy lähettämään tietoa vain muutaman sentin etäisyydelle (Epstein, 2015 Joulukuu).

Virrankäytön, lähetystoiminnan ja seuraavassa luvussa käytyjen tietoturvan ja yksityisyyden ongelmat ovat nykypäivän langattomissa sovelluksissa läsnä. Tästä syystä sensoriverkkojen langallisille, kiinteämmille sovelluksille löytyy käyttäjänsä. Esimerkkinä tästä ovat pitkään käytössä olleet SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)-kokonaisuudet, joissa etäpäätteet keräävät ja vastaanottavat tietoa esimerkiksi koneista keskusjärjestelmän toimiessa tiedon ja käytön ytimenä (Bailey & Wright, 2003, 4-12). Kyseisiä usein teollisuuskäyttöön ja kiinteään sijoitukseen suunniteltuja kokonaisuuksia on käytetty jo vuosikymmenien ajan. Langattomuus vaikuttaa päivän sanalta, mutta se ei sulje langallisten sovelluksien hyötyjä pois. Esimerkkinä tästä on luvussa 3.3 esitelty sotilasajoneuvoissa käytetty FHUMS-järjestelmä. Kaapelointia hyödyntävä sensoriverkko onnistuu hyvin toiminnassaan, ja langattomuuden mahdollisista haitoista ei jouduta kärsimään.

Erilaiset noodit huolehtivat erilaisista tehtävistä, kuten toimivat ja havaitsevat noodit. WSN perustuu suureen määrään noodeja, jotka on sijoitettu kohdealueelle josta halutaan kerätä tietoa. Noodit organisoituvat keskenään ja muodostavat verkostoja tiedon keräämiseen ja kuljetukseen. Lopulta tieto voidaan kuljettaa internetin tai muun ympäristön kautta päämääräänsä. (IEC, 2014.)

Langattomien, tietoja keräävistä noodeista ja yhteydenpitomenetelmistä koostuvien sensoriverkkojen käyttötavat ovat hyvin laajat ja moninaiset. Kirjassaan "Wireless Sensor Networks" Akyildiz & Vuran (2010, 17-33) ovat listanneet useita langattomien sensoriverkkojen sovelluksia. Yksi näistä on seeprojen liikehännän seurantaan nykyään käytetty GPS-paikantimen sisältämä panta. Pannan sisältämä aurinkovoimalla ladattava noodi tallentaa aina kolmen minuutin välein tietoa seepran liikehännästä. Kyseisiä pantoja asetettiin useille seeproille, ja pantojen sisältämät noodit muodostivat yhdessä langattoman sensoriverkoston. Noodien välinen kommunikointimahdollisuus ei ollut vain hienolta kuulostava lisäominaisuus: sitä käytettiin datan siirtoon hieman normaalista poikkeavalla tavalla. Tutkijoilla oli mukanaan liikuteltava keskus, johon pannat lähettivät tietonsa sopivan tilaisuuden tullen radioaaltojen kautta. Älykäs oivallus oli se, ettei jokaisen pannan tarvinnut lähettää tietoja suoraan keskuksen. Noodit pystyivät "hyppäyttämään" tietonsa muiden kantaman sisällä olevien pantojen kautta. Tämä tarkoitti sitä, että keskuksen tarvitsi olla yhteydessä vain yksi noodi, jonka kautta muut noodit siirsivät lopulta tietonsa.

Muita mainittuja esimerkkejä olivat putkien värinän tarkkailun myötä vedenkäyttöä valvova sensoriverkosto, kemikaalimääriä, vihollisten liikehännää ja infrastruktuurin kestävyyttä tarkkaileva armeijan vielä kehitteillä oleva "älykäs pöly" (engl. smart dust) ja CORIE-niminen ympäristön tarkkailuun tarkoitettu verkosto, jolla lähes kaikkea veden laadusta auringonvalon aktiivisuuteen voidaan seurata. Tämän lisäksi mahdollisuudet teollisuuslaitteiden kunnan tarkkailuun, tulivuorien aktiivisuuden tallentamiseen ja teiden lämpötilantarkkailuun ovat mielenkiintoisia tutkimuskohteita (Puccinelli & Haenggi, 2005).

Termien määritelmät ovat usein päällekkäiset, ja samalla asialla voi olla useita eri tarkoituksia määritelmien sisällä. Tämä on tilanne myös langattomien sensoriverkkojen ja esineiden internetin kanssa. Esineiden internetiä onkin kehitetty rinnakkain langattomien sensoriverkkojen kanssa (IEC, 2014). Esineiden internet ei määrittele tarkasti käytettäviä teknologioita, mutta langattomuus ja monet muut langattomien sensoriverkkojen ominaisuudet tekevät mahdolliseksi monia esineiden internetiin kuuluvaksi ajateltuja toimintoja (IEC, 2014). Nykyisellään langattomat sensoriverkot vaikuttavatkin esineiden internetin ydinosalta, ollen hyvin tärkeä osa havaitsemisen ja yhteydenpidon mahdollistamista.

Alcaraz ym. (2010) ovat tutkimuksessaan käsitelleet langattomia sensoriverkkoja ja niiden yhdistämistä osaksi esineiden internetiä. He esittelivät erilaisia toimintamalleja, joiden kautta langattomiin sensoriverkkoihin ja niiden osiin saadaan yhteys internetin kautta. Erilaisia toimintatapoja olivat mm. alkupään ratkaisu (engl. Front-End Solution), jossa internetpalvelin ottaa yhteyden sensoriverkon tukiasemaan. Tämä asema toimii sensoriverkon noodien pääte- ja läh-

töpisteenä, ja kaikki sensoriverkon ulkopuolelle menevä ja sieltä tuleva data siirtyy tämän aseman kautta. Toinen mahdollisuus on jakaa internetyhteyksien hoitaminen usealle erikoistuneelle noodille, jotka sijaitsevat usein sensoriverkoston laitamilla. Tarkimmin Ashtonin (2009) ajatuksen ainutlaatuisesti identifioitavista kohteista täyttää tapa, jossa jokainen noodin on verkkoliitännöiden ja TCP/IP -tyyppisten protokollien myötä täysin internet-yhteensopivia. Lopputuloksena täyttäisi mahdollisista ongelmistaan huolimatta suurimman osan esineiden internetin visioista.

### 2.2.3 Älykkäät esineet (Smart objects)

Mainetti, Patrono & Vilei (2011) määrittelevät älykkäät esineet pieniksi sensoreiksi tai havainnoiviksi toimijoiksi, jotka sisältävät jonkinlaisen verkkoliitännän. Kortuem ym. (2010) ovat käsittäneet älykkäät esineet autonomiseen toimintaan kykeneviksi esineiksi, jotka sisältävät paloja sovelluslogiikkaa. Älykkäät esineet voivat tuottaa ja hyödyntää tietoa, tehden yhteistyötä muiden toimijoiden kanssa yhteisen päämäärän saavuttamiseen. Jokaisella kohteella ollessa virtuaalinen vastinpari, voidaan intensiivisen yhteistyön kautta mahdollistaa monimutkaisten palveluiden ja toimintojen suorittaminen. (Atzori, Iera & Morabito, 2014.) Yksinkertaisimmillaan älykkään esineen voi siis ymmärtää fyysisiksi kohteiksi, esimerkiksi tuoliksi, johon on yhdistetty havaitsemiseen, toimintoihin ja tiedonjakoon kykenevä osa (sensori).

Kortuem ym. (2010) ovat luokitelleet älykkäät esineet eri tasoihin niiden sisältämien toimintojen, havainnoitsemiskyvyn, vuorovaikutustoiminnan ja tuotettavan tiedon perusteella:

Ensimmäiseksi tasoksi mainitaan toiminnastaan tietoiset esineet (engl. Activity-aware objects). Tässä tasossa älykäs esine pystyy tallentamaan tietoa toiminnastaan ja käytöstään. Esimerkiksi vuokrattu työkalu pystyisi tallentamaan oman käyttönsä aikana tapahtuneet asiat. Näin työkalun vuokran voidaan määrittellä kulutuksen, käyttäytymisen ja tarvittavan huollon perusteella aikaisemman vuokra-ajan sijaan.

Toiseksi tasoksi mainitaan menettelytavoista tietoiset esineet (engl. Policy-aware objects). Tässä tasossa esineet pystyvät tulkitsemaan ja tunnistamaan tapahtumia ja vertaamaan niitä ennalta määrättyihin arvoihin. Näin voidaan välttää ongelmatilanteita, älykkäiden esineiden antaessa varoituksen esimerkiksi liian lähekkäisistä kemikaalitynnyreistä tai liiallisesta altistumisesta säteilylle. Älykkäät työkalut voisivat mm. tallentaa työajan aikaisen tärinän työntekijän henkilökorttiin, ja tätä tietoa voitaisiin käyttää terveydellisiin ja ennakoiviin päätöksiin.

Kolmanneksi tasoksi mainitaan prosesseista tietoiset esineet (engl. Process-aware objects). Tässä tasossa esineet ymmärtävät mitä niille tapahtuu, minkälaiset raja-arvot ja menettelytavat niille on asetettu ja minkälaisia tehtäviä niiden pitäisi suorittaa. Tätä toiminnollisuutta voitaisiin hyödyntää esimerkiksi varoittamalla henkilöitä poraamasta ruuveja liian syväälle, tai hitsaamaan sauma rauhallisemmin. Toinen mahdollisuus voisi olla seuraavasta työtehtävästä ilmoittaminen, esimerkiksi valomerkitsemällä seuraavan työvaiheen työkalut.

Älykkäiden esineiden määrittely muistuttaa suuresti langattomien sensoreiverkköiden ajatusta tietoa keräävistä ja jakavista noodeista. Älykkäät esineet eivät kuitenkaan ole vain monipuolisia sensorinoodeja: ne ovat vuorovaikutteisia työkaluja, jotka helpottavat ihmisten tehtäviä reaali maailmassa (Kortuem ym., 2010). Mahdollisuus toimia eri tavoin ihmisen tukena on suuressa roolissa esineiden internetissä. Älykkäiden esineiden kyky äärimmäisen laajaan verkotuneisuuteen ja toisaalta autonomiseen toimintaan tekevät niistä monipuolisia esineiden internetin mahdollistavia osasia.

## 2.3 Tietoturva ja yksityisyys

Esineiden internetin, mahdollisesti lukemattoman laajoista verkostoista ja loppumattomasta tiedonkeruusta muodostuva kokonaisuus voi herkemälle aiheuttaa mielikuvan George Orwellin dystopisesta tarkkailuyhteiskunnasta<sup>1</sup>. Tämän myötä turvallisuutta, yksityisyyttä ja luottamusta onkin erittäin tärkeä käsitellä esineiden internetin tärkeimpiin kuuluvina perusosina (Skarmeta & Moreno, 2014).

Nykyään yleisten tietoturvateknologioiden, kuten keskitetyn virustorjunnan, käyttö ei ole resurssien puutteen ja erilaisuuden myötä järkevää esineiden internetissä (Skarmeta & Moreno, 2014; Sicari, Rizzardi, Grieco & Coen-Porisini, 2015). Noodit, älykkäät esineet ja muut esineiden internetin osat jakavat, viestivät ja hyödyntävät tietoa eri tavoin ja määrin. Tämän myötä onkin ensiarvoisen tärkeää varmistaa sujuva, turvallinen ja kestävä kommunikointi eri toimijoiden välillä.

Varsinkin dataa vastaanottavat ja hyödyntävät osapuolet tarvitsevat tuekseen erilaisia turvallisuutta parantavia teknologioita, kuten kevyitä salausprotokollia ja tiedon kryptausta. Esineiden internetissä sensorit voivat joutua äärimmäisen rasituksen kohteiksi, ne voivat hajota tai joutua varastetuiksi. Näissä tilanteissa on tärkeää varmistaa tietoturvaa tukevan toiminnan jatkuminen. (Skarmeta & Moreno, 2014.) Tiedon kryptaus parantaisi turvallisuutta tietolähteen joutuessa väärin käsiin, ja tiukkojen turvallisuusprotokollien käyttö viestinnässä estäisi tietojen joutumisen väärin käsiin. Tällä hetkellä suurin osa tutkimuksista (mm. Jing, Vasilakos, Wan ym., 2014; Atzori ym., 2014; Sicari ym., 2015) mainitsee turvallisuuden yhtenä tärkeimmistä esineiden internetin osaluista, mutta suoria vastauksia sen toteuttamiseen ei ole vielä tarjolla.

Yksityisyys on nykyisten vakoiluskandaalien (mm. Sony BMG rootkit scandal vuonna 2005; NSA:n paljastettu vakoilutoiminta vuodesta 2013 eteenpäin) myötä tapetilla jokaisessa IT-projektissa. Esineiden internet ei eroa tästä, vaan on jatkuvan tiedontuotannon ja kaikkialle yltävän tarkkailun myötä kehityksen kohteena. On tärkeää varmistaa tiedon käyttö ja jakaminen vain valtuutetuille osapuolille; jatkuva tietovirta, joka voi olla hyvinkin lyhyitä pätkiä esi-

---

<sup>1</sup> kts. George Orwell – Vuonna 1984

merkiksi sykkeen nopeudesta ja talon sisälämpötilasta, voivat väärissä käsissä aiheuttaa suuria ongelmia.

Yksityisyyden kannalta on olennaista pystyä rajaamaan tiedon käsittelevät ja vastaanottavat osapuolet (Skarmeta & Moreno, 2014). Toisaalta, esineiden internetin suurimmat visiot perustuvat tiedon laajaan ja merkitykselliseen hyödyntämiseen. On siis yhtä tärkeää pystyä levittämään tietoa, sen piilottamisen lisäksi. Skarmeta & Moreno (2014) ovatkin maininneet Gudymenkon, Borcea-Pfitzmannin ja Tietzen (2012) ajatuksen tavasta, jossa käyttäjä itse voisi määrittellä mitä tietoa sensorit keräävät ja hyödyntävät. Dataa kerättäisiin vain tarvittavia määriä, tehtäisiin anonymiksi ja tuhottaisiin heti kun mahdollista. Tämän lisäksi datan uusiokäyttöä ensisijaisen prosessin jälkeen säädeltäisiin, vähentäen tiedon leviämisen vaaraa.

Gudymenkon ym. ajatus vaikuttaa järkevältä, ottaen huomioon esimerkiksi Facebookin epämääräisestä tiedonkeruusta aiheutuneet reaktiot. Käyttäjien pystyessä oikeasti hallitsemaan tietojensa käyttöä tai käyttämättömyyttä, voitaisiin teknologiat rakentaa moraalisesti terveelle pohjalle. Toisaalta tämänlainen lähestymistapa voisi rajata useita liiketoimintamalleja pois, kuten YouTuben, Google Searchin ja Facebookin kaltaiset mainos- ja tietorahoitteiset ”ilmaispalvelut”. Esineiden internetin mahdollistaessa äärimmäisen läheisyyden ihmisen kanssa, täytyy sovelluksien eettinen puoli miettiä tarkasti etukäteen.

Yksityisyyden osalta lainsäädännöllisiä sääntöjä tai ohjeita ei vielä ole olemassa, mutta aihe on jatkuvan tutkimuksen alaisena. Lisää tietoa nykytilanteesta on tarjolla mm. Romanin, Zhoun & Lopezin (2013) sekä Borgohain, Kumarin & Sanyalin (2015) tutkimuksista.

## 2.4 Esineiden internetin sovelluksia

Esineiden internetin mahdollisuudet ovat ajaneet monet toimijat kehittämään ja ideoimaan näkemyksiään. Teknologian ollessa vielä lastenkengissään, älykkäiden kaupunkien kaltaiset sovellukset ovat vielä jääneet laatikon pohjalle odottamaan vuoroaan. Pienemmät, rajatut visiot ovat kuitenkin nousemassa pinnalle, ja seuraavaksi käydään läpi muutama esimerkkitapaus.

Teollisuuden tarpeista ja esineiden internetin soveltamisesta teollisuustyöhön kirjoittivat Da Xu, He & Li (2014). He löysivät useita käyttökohteita, joissa esineiden internetiä pystytään käyttämään työn tukena.

Terveystieteiden hyötyminen esineiden internetin tarjoamista identifikaatio- havaitsemis- ja kommunikaatiotoiminnoista on yksi Da Xun ym. mainitsemista esimerkeistä. Tiedot asiakkaista, laitteiden kunnosta ja lääkkeistä antavat mahdollisuuden parempaan hoitoon. Potilaan kriittisiä tietoja, kuten sydämen syke, voidaan ohjata vastaavan lääkärin toimistoon reaaliajassa. Terveystieteiden sovellukset lähestyvät mobiilimpaa ja henkilökohtaisempaa toimintaa, hyödyntäen havainnoinnin, verkottumisen ja henkilökohtaisten laitteiden tarjoamia mahdollisuuksia. Myös kotihoidon tarkkuuden ja tehokkuuden parantuminen lisääntyneen tiedon, helpottuneen kommunikoinnin ja nopeutu-

neen reagoinnin myötä (esimerkiksi potilaan saadessa kohtauksen) on vauhdittanut kotihoitopalvelujen kehittämistä.

Da Xu ym. näkevät myös raskaan teollisuuden, kuten kaivostoiminnan, voivan hyötyä suuresti esineiden internetin käytöstä. Työntekijöiden paikantaminen maan alla voi olla haastavaa, mutta hyvin suunniteltu verkosto toisiinsa yhteydessä olevia sensoreita pystyisi välittämään informaatiota kaivoksen eri osien välillä. Sensorien keräämät tiedot maaperän liikkeistä, kosteudesta, ilman kaasupitoisuuksista, lämpötilasta ja työntekijöiden liikkeistä kaikuluotausta hyödyntäen saattaisivat olla kriittisiä turvallisen työskentelyn mahdollistajina ja onnettomuuksien estäjinä. Työntekijöiden henkilökohtaisen voinnin tarkkailu voisi myös estää työtapaturmia (esimerkiksi väsymyksestä johtuvia), ja varmistaa tarpeeksi vähäinen altistus vaarallisille aineille ja tilanteille. Kaivostoiminta onkin hyvä esimerkki työstä, jossa esineiden internetin toimintoja (verkottumista, tiedonsiirtoa ja havainnointia) voitaisiin hyödyntää laaja-alaisesti.

Logistiikka-ala on jo pitkään hyödyntänyt RFID-tageja toimitusten tunnistamiseen ja identifiointiin. Uusia mahdollisuuksia ja toimintoja kumpuaa kuitenkin esiin kuin sieniä sateella. Da Xun ym. näkemyksen mukaan, kohteita voidaan esimerkiksi tarkkailla koko tuotantoketjun, mukaan lukien työstön, kuljetuksen ja käyttöönoton, ajan. Kuljetukset itse, kuten tehtaalta kauppoihin ja postista kotiovelle, voivat muuttua esineiden internetin mahdollistaessa autojen kehittyneen autonomisuuden. Itsestään ajavat autot<sup>2</sup> mahdollistaisivat kustannustehokkuuden ja turvallisuuden parantumisen. Lisätieto toiminnan eri vaiheista auttaa kehittämään toimintoja eteenpäin.

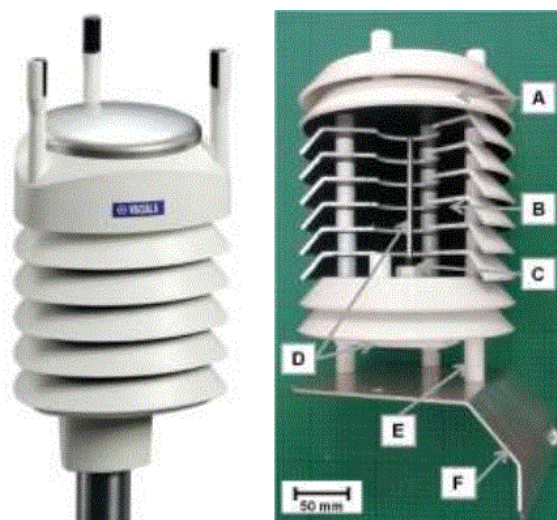
Esineiden internetin hyödyntämisestä teiden ylläpitoon on käyty keskustelua jo jonkin aikaa (Chapman, Young, Muller ym., 2014; Chapman, 2015). Chapman ym. (2014) ovat esitelleet idean varsin halvoista, akuilla varustetuista lämpötilasensoreista, jotka pystyisivät lähettämään keräämänsä tiedon eteenpäin. Mainittuja hyötyjä ovat mm. teiden suolauksen kustannustehokkuuden parantuminen ja turvallisuuden parantuminen välittömän varoitustoiminnan myötä. Sensorien keräämä tieto on jokaiselle käytettävissä yhtenäisessä paikassa, joka voi olla esimerkiksi verkkosivu. Teiden lämpötilatarkkailun kehittyessä voidaan autoilijoille tiedottaa esimerkiksi tieto ajokelistä. Tämän lisäksi akuuttien vaarojen tiedottaminen, esimerkiksi hälyttämällä mustasta jäästä ilmoitustaululla, parantaa turvallisuutta ja liikenteen sujuvuutta. Kuva 1 esittää 87 punnan hintaista lämpötilasensoria, joka on varustettu 3 vuoden akulla.

Esineiden internet on herättänyt kiinnostusta myös kuluttajamarkkinoilla. Paljon käytetty älykkään jääkaapin esimerkki (mm. Rotunno, 2015; Bode, 2015; McOwan & McCallum, 2014) esittelee jääkaapin, jonka toiminnollisuutta on lisätty. Tuloksena on älykäs esine, joka pystyy tilaamaan ruokaa tarvittaessa itse internetin välityksellä, tarkkailla sisältöään ja olemaan käytettävissä myös virtuaalisesti internetin välityksellä. Vaikka tämän toteutuksen tarpeellisuudesta voidaan olla montaa mieltä, on se silti usean tehtävän toimiva kokonaisuus.

---

<sup>2</sup> kts. mm. Google Self-Driving Car





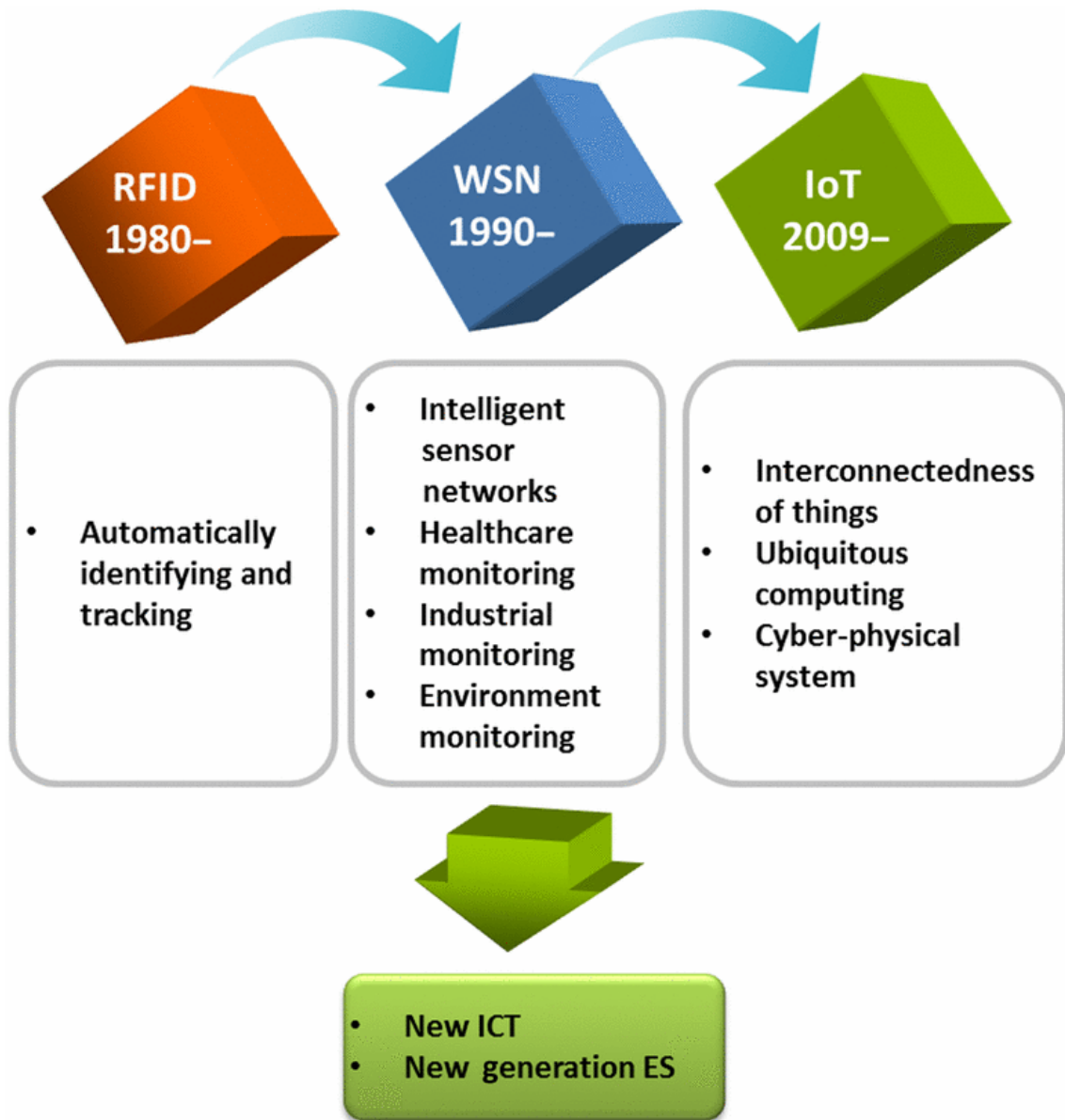
Kuva 1: Lämpötilasensori. Chapman ym. (2014)

Tässä luvussa on käyty läpi muutama esineiden internetin käyttökohte. Kuten esimerkeistä näkyy, suurin osa on vasta kehityksen alaisena tai hyödyntää vain esineiden internetin alempien tasojen (kuten RFID) toimintoja. Ideoita tulevaisuuden käyttökohteisiin riittää, ja esineiden internetin tulevaisuus vaikuttaa valoisalta.

## 2.5 Esineiden internet yhteenvetona

RFID on langattomien sensoriverkkojen ja älykkäiden esineiden identifioinnin mahdollistava osa. Langattomat sensoriverkot ovat esineiden internetin ydinosa, joka sisältää sekä havainnoinnin (sensorit) että tietoliikenteen (keskinäinen viestiminen). Esineiden internet muuttuu todeksi langattomien sensoriverkkojen hyödyntäessä tiedonsiirtoa erittäin verkottuneiden ympäristöjen, kuten internetin tai lukuisista noodeista koostuvien rakenteiden, kautta. Älykkäät esineet ovat sensoriverkkojen jälkeläisiä, jotka sisältävät sensoriverkkojen nooiden toiminnallisuudet, mutta pystyvät myös enemmässä määrin autonomiseen toimintaan. Tämän lisäksi älykkäiden esineiden integrointi internetin kaltaisten tietoverkkojen kanssa lisää hurjasti erilaisten käyttösovelluksien määrää. Kuva 2 havainnollistaa Da Xun ym. (2014) näkemyksen esineiden internetin kehityksestä.

Esineiden internet tuo erilaisille toimijoille, kuten sensoreille, tietokannoille ja loppukäyttäjille, mahdollisuuden jakaa ja hyödyntää tietoa ajasta ja paikasta riippumatta. Esimerkiksi etänä aktivoitavat ja suljettavat pistorasiat (Mitchell, 2014) eivät voisi täyttää toiminnallisia vaatimuksiaan ilman internetin kaltaista, kaikkialla läsnä olevaa verkostoa. Tietoturvan ja turvallisuuden osa-alueet ovat jatkuvan tutkimuksen kohteina, mutta konkreettisia ratkaisuja saadaan vielä odottaa.



Kuva 2: Esineiden internetin kehitys. Da Xu ym. (2014)

Esineiden internetin pääajatuksen voi tiivistää kahteen sanaan, "lisää tietoa". Tietoa pystytään keräämään ja hyödyntämään aikaisempaa tehokkaammin ja moninaisemmin, yhä useammasta kohteesta ja jatkuvasti kehittyvällä tarkkuudella. Tieto mahdollistaa monia asioita, jotka aikaisemmin olisivat jääneet huomaamatta. Tiedon merkityksen jatkuvasti kasvaessa, ovat sitä tuottavat ja muokkaavat toimijat yhä suuremmissa rooleissa. Vanhaa sanontaa mukaillen, tiedon puute lisää tuskaa.

Esineiden internet on ottanut ensimmäiset askeleensa kohti täyttä potentiaalinsa hyödyntämistä. Lukuisat käyttösovellutukset eri toimialoilla ja vaiheissa osoittavat esineiden internetin potentiaalın vanhan tehostajana, uuden mahdollistajana ja nykyisen kehittäjänä. Lainsäädännölliset, eettiset ja tekniset ongelmat ovat kuitenkin vielä esteitä, jotka täytyy lisätutkimuksen ja työn kautta selvittää.

### 3 KUNTOON PERUSTUVA YLLÄPITO

Ylläpito on osa jokaisen elämää. Ihmiset ylläpitävät monia asioita päivittäin: kehojaan, elinympäristöään siivouksen kautta, ihmissuhteita muiden kanssa, henkistä hyvinvointiaan. Ylläpidon merkitys ulottuu myös välittömästä ihmisen läheisyydestä heidän ympäristöönsä: teihin, valaistukseen, järjestelyihin ja toimintoihin. Mitä ylläpito sitten tarkoittaa, ja mihin sillä voidaan vaikuttaa? Seuraavassa luvussa selvennetään termin perusteet. Tämän jälkeen keskitytään tutkielman kannalta oleelliseen kuntoon perustuvaan ylläpitoon, jonka hyödyntäminen ja käyttö ovat osoittautuneet mielenkiintoisiksi tutkimuskohteiksi.

#### 3.1 Ylläpito ja sen osat

Ahmadin & Kamaruddinin (2012) mukaan ylläpitoa (engl. maintenance) voidaan kuvailla toiminnaksi, jolla kohde saadaan palautettua tilaan, jossa se pystyy suorittamaan suunniteltuja toimintojaan. Pohjimmiltaan ylläpito sisältää ne toiminnot, joilla kohde pidetään toimintakuntoisena tai palautetaan toimivaan tilaan (Dhillon, 2002, 3). Termin ollessa varsin yksiselitteinen, sen osat vaativat enemmän selvittelyä. Mitä ovat esimerkiksi toiminnot, joilla kohde pidetään toimintakuntoisena? Prajapati, Bechtel & Ganesan (2012) ovat tutkimuksessaan koonneet ylläpidon jakautumisen kolmeen osa-alueeseen, jotka käydään läpi seuraavaksi.

Ensimmäinen ylläpidon osa-alue on *korjaava ylläpito* (Neelamkavil, 2010). Korjaavalla ylläpidolla (engl. corrective maintenance) tarkoitetaan toimintaa, jolla jo tapahtunut tai tällä hetkellä tapahtumassa oleva ongelma saadaan selvitettyä. Esimerkkinä voisi olla polkupyörän satulan hajoaminen, jonka myötä pyörään ostetaan uusi satula.

Toinen on *määräaikainen ylläpito* (Chen & Trivedi, 2001). Määräaikaisella ylläpidolla (engl. time based maintenance) tarkoitetaan toimintaa, jossa ylläpidolliset tehtävät suoritetaan tietyin väliajoin, esimerkiksi viikonloppuisin. Määräaikaisen ylläpidon tehtävien ei tarvitse perustua pelkästään aikaan. Yksi esi-

merkki tästä on auton öljyn vaihto, joka voi perustua ajettuihin kilometreihin vuosittaisen huollon sijaan.

Kolmas osa-alue on *ennakoiva ylläpito* (Neelamkavil, 2010). Ennakoivan ylläpidon (engl. preventive maintenance) tehtävänä on huomata ja korjata ongelmat ennen kuin ne ilmenevät tai aiheuttavat haittaa. Tässä tehtävässä onnistutaan hyödyntämällä erilaisia toimintastrategioita, esimerkiksi suunniteltua ylläpitoa tai kuntoon perustuvaa ylläpitoa. Ennakoiva ylläpito pitää sisällään erilaiset huolto- ja tarkkailutoimenpiteet, jotka pystytään suunnittelemaan esimerkiksi aikaisemman käyttökokemuksen perusteella. Esimerkkinä ennakoivasta ylläpidosta on ylikuumenemaan alkaneen läppärin huomioiminen ja puhdistaminen pölystä.

### 3.2 Kuntoon perustuvan ylläpidon määrittämiä

Kuntoon perustuva ylläpito (engl. Condition Based Maintenance, CBM) ei ole uusi käsite, vaan on ollut osa ylläpitostrategioita jo vuosikymmenten ajan. Ahmad & Kamaruddin (2012) ovat nähneet kuntoon perustuvan ylläpidon kehittyneen 1970-luvulla ennakoivan ylläpidon tehokkaammaksi perilliseksi. Prajapati ym. (2012) ovat käsittäneet termin historian periytyvän vieläkin kauemmaksi, 1940-luvun veturiliikenteeseen saakka. Tällöin CBM rinnastettiin ennakoivaan ylläpitoon, ja sitä käytettiin mittarilukemien tarkkailun ja aikaisemman kokemuksen yhdistettynä toimintana. Tämä toiminta tarjosi mahdollisuuden huomata vaaratilanteet, kuten veden loppumisen tai putken halkeamisen aiheuttaman paineenmenetyksen ajoissa.

Yksinkertaistetusti kuntoon perustuvalla ylläpidolla tarkoitetaan ylläpitoa, jonka tarpeellisuus määritellään kerätyn datan ja tiedon perusteella (Prajapati ym., 2012; Ahmad & Kamaruddin, 2012). Tietoa ylläpidon tueksi on runsaasti saatavilla, kunhan tietää mitä etsiä. Jopa 99 prosenttia laitteiden hajoamisista on tapahtunut tiettyjen, havaittavissa olevien merkkien ja tapahtumien jälkeen (Bloch & Geitner, 1983). Motiivi kuntoon perustuvan ylläpidon käyttämiseen on siis selvä. Tietoa hyödyntämällä laitteistoa voidaan hallita paremmin, sen elinkaaren hinta alenee ja ongelmia pystytään välttämään kokonaan (Ahmad & Kamaruddin, 2012).

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi, mistä vaiheista ja toiminnoista CBM koostuu. Tärkeimpänä tavoitteena on luoda kuva kuntoon perustuvan ylläpidon toiminnasta, mitä vaiheita se pitää sisällään ja minkälaista toimintaa sen käyttäminen mahdollistaa.

Ahmad & Kamaruddin (2012) ovat laajassa vertailevassa tutkimuksessaan keränneet näkemyksiä kuntoon perustuvan ylläpidon olemuksesta, ja ovat päätyneet jakamaan käsitteen yksinkertaisesti kahteen osaan; kunnan tarkkailuun ja ylläpidon päätöksentekoon.

*Kunnan tarkkailun* (engl. condition monitoring) ajatellaan edelleen jakautuvan kahtia: aktiiviseen (On-line) ja passiiviseen (Off-line) osaan (Goyal & Pabla, 2015). Aktiivisella tarkkailulla tarkoitetaan tilaa, jossa tarkkailtava kohde on

käynnissä (esimerkiksi tuotannon aikana). Passiivista tarkkailua tehdään päinvastoin silloin, kun kohde ei ole käytössä. Kunnan tarkkailua voidaan suorittaa epäsäännöllisesti, ajoittain, kuten tunnin välein, tai jatkuvasti. Koko ajan päällä oleva tarkkailu ei tapahdu ilmaiseksi: havaitseva laitteisto maksaa, ja häiriösignaalien vaara kasvaa ajan myötä (Jardine, Lin & Banjevic, 2006). Jardine ym. mainitsevat myös ajoittain tapahtuvan tarkkailun rajoittuneisuuden: elintärkeää informaatiota voi jäädä tarkkailukertojen välissä huomaamatta.

Erilaisia menetelmiä kohteen kunnan tarkkailuun on useita. Tällä hetkellä eniten käytettyihin tekniikkoihin kuuluvat mm. värähtelyn, äänen ja voiteluai-  
neiden tarkkailut (Ahmad & Kamaruddin, 2012). Ahmadin ja Kamaruddinin mukaan myös sähkövastuksen, lämpötilan ja fyysisen rasituksen tarkkaileminen ovat käyttökelpoisia toimintoja.

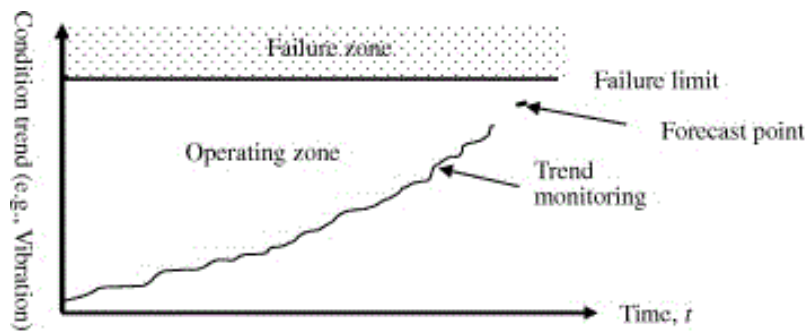
Kunnan tarkkailu ei ota suuremmin kantaa siihen, miten asioita pitäisi tehdä. Painotus on enemmänkin sen ymmärtämisessä, mitä pitäisi ja mitä tullaan saamaan selville. Tämä antaa käsitteille runsaasti liikkumatilaa. Tilanne onkin mielenkiintoinen mietittäessä potentiaalia, joka voidaan saavuttaa yhdistelemällä eri toimialoja ja ajattelutapoja. Ajatusta viedään eteenpäin tutkielman luvussa 4, jossa kunnan tarkkailu pääsee kosketuksiin esineiden internetin kanssa.

*Ylläpidon päätöksenteko* (engl. maintenance decision making) koostuu kahdesta osasta: diagnooseista ja ennusteista. Diagnoosi (engl. diagnosis) mainitaan prosessiksi, jonka tarkoituksena on löytää vian lähde (Jeong, Leon & Villalobos, 2007). Ennusteet (engl. prognosis) sen sijaan antavat odotuksen siitä, milloin vika mahdollisesti ilmenee (Lewis & Edwards, 1997).

Yksinkertaistettuna diagnoosit ovat kerätystä informaatiosta koostettuja tietoja, jotka tarjoavat näkemyksen kohteen nykytilasta. Ennusteet menevät askeleen pidemmälle, pyrkien aikaisemman tiedon ja nykytilanteen perusteella ennustamaan tulevaa käyttäytymistä. Ahmad & Kamaruddin (2012) ovat esitelleet kaksi selventävää mallia diagnoosien ja ennusteiden käyttöön:

Ensimmäinen on CCEB-malli (engl. current condition evaluation-based), jossa päätöksenteko perustuu nykytilanteeseen. Käytännössä kohteelle on määritetty jonkinlainen raja-arvo, jonka ylittäminen johtaa jatkotoimenpiteisiin. Esimerkkinä tästä voisi olla rataspyörästä, jonka tuottamaa vääntövoimaa tarkkaillaan tunnin välein. Jos väännössä havaitaan rajat ylittäviä muutoksia, tai se häviää kokonaan rikkoutumisen tai muun tapahtuman myötä, siirrytään ylläpidollisten toimien suorittamiseen.

Toinen on FCPB-malli (engl. future condition prediction-based), jossa pää-  
töksenteko perustuu tulevan tilanteen ennustamiseen. Tässä mallissa tilanteesta  
pyritään saamaan kokonaiskuva, ja tätä kautta voidaan suunnitella tulevien  
toimien toteuttaminen. Aikaisemman kokemuksen, nykyhetkestä kerätyn tie-  
don ja arvioitujen raja-arvojen kautta voidaan suunnitella ylläpidollisia toimia  
jo hyvissä ajoin ennen virhetilanteita. Esimerkiksi voisi sanoa talon rakenteiden  
tarkkailun. Jos rakenteiden kallistumisen eteneminen alkaisi näyttää huolestut-  
tavalta, esimerkiksi ajan myötä tapahtuvan vajoamisen myötä, tilanteesta annet-  
taisiin varoitus. Vaikka talo ei olisi välittömässä sortumavaarassa, antaisi etu-  
ajassa tehty havainnointi mahdollisuuden monipuoliseen ja järjestelmälliseen  
jatkosuunnitteluun. FCPB-mallin periaate on esillä kuvassa 3.



Kuva 3: FCPB-malli. Ahmad & Kamaruddin (2012)

Sekä CCEB- että FCPB -mallit hyödyntävät määräajoin tehtäviä tarkistuskertoja. CCEB toimii myös epäsäännöllisten tarkastuksien kautta, FCPB:n vaikuttaessa hyötyvän enemmän jatkuvasta tarkkailusta. Vaikka FCPB vaikuttaa näistä kahdesta huomattavasti järkevämmältä ratkaisulta, tilanne ei ole näin yksinkertainen. Vähemmän tärkeiden osien kanssa diagnostiikan, heuristiikan ja algoritmien muodostamat ennusteet ovat varmasti päteviä, mutta loppupelissä tarpeettomia. Käytettävä toimintatapa onkin tärkeää valita tilannekohtaisesti, tarpeista riippuen.

### 3.3 Kuntoon perustuvan ylläpidon sovelluksia

Kuntoon perustuvalla ylläpidolla löytyy käyttökohteensa. Osa ylläpidettävistä kohteista pärjää hyvin korjaavan ylläpidon tai määräaikaisen ylläpidon toteutuksilla. Löytyy kuitenkin tilanteita, joissa tarve tietoon perustuvalla ylläpidolla on suuri. Syynä voivat olla esimerkiksi halu parantaa pitkän aikavälin luotettavuutta, pyrkimys saavuttaa optimaalinen käyttöikä tai olla varmoja toiminnan täsmällisyydestä. Seuraavaksi käydään läpi muutama esimerkkitapaus, joissa kuntoon perustuvaa ylläpitoa on hyödynnetty erilaisista syistä.

Automaatioon ja miehittämättömään tuotantoon pyrkivät toiminnot törmäävät hyvin nopeasti laitteiden kulumisesta johtuviin ongelmiin. Laitteiden kuluneisuus voi vaikuttaa huomattavasti tuotteen tai tuotteiden laatuun. (Jan-

tunen, 2002.) Teollisuuden suosimat toimintatavat, kuten määräaikainen ylläpito, aiheuttavat tehottomuutta kahdesta syystä: tuotteiden käyttöikä menee hukkaan tarpeettoman vaihtamisen takia, ja toisaalta laitteiden äkillisesti rikkoutuessa voidaan korjaustoimenpiteitä joutua odottamaan pitkän aikaa. Jantunen arvioikin, ettei automaattista tuotannonhallintaa ole järkevää toteuttaa ilman keinoja laitteiden kunnon tarkkailuun. Yhdeksi esimerkiksi voisi mainita tunneliporan kulumisen. Poran kärjet kuluvat, ja maaperän ominaisuudet vaikuttavat suuresti kulumisen asteeseen. Korjaamalla tai vaihtamalla terät vain rikkoutumisen aikaan aiheutuu työnseisauksia, ja vaihtamalla ne määräajoin hukataan sekä aikaa että potentiaalista tuotantoa. Varsinkin ottaessa huomioon tunneliporien hintavuuden, kuntoon perustuvan ylläpidon käyttäminen tulevien tapahtumien ennustamiseen ja niihin varautumiseen vaikuttaa hyödylliseltä ja tehokkaalta menettelytavalta.

Armeijat ovat kiinnostuneet kuntoon perustuvan ylläpidon hyödyntämisestä eri tavoin. USA:n armeija onkin hyödyntänyt CBM-ajattelutapaa ajoneuvojensa ylläpitoon (Rabeno & Bounds, 2009). Tämä tapahtui ottamalla käyttöön FHUMS (Focused Health and Usage Monitoring System)-järjestelmän, joka toimi käytännössä tietojen keräämispaikkana ja keskuksena. Ajoneuvon toiminnasta, mm. käynnissä olosta, jarrutuksista, ajettujen teiden laadusta ja reitistä pystyttiin keräämään tietoa esimerkiksi myöhemmän huollon tueksi. Tiedot saatiin joko järjestelmälaatikossa itsessään olevista tunnistimista ja sensoreista tai esimerkiksi moottorin osiin kiinnitetyistä sensoreista. Järjestelmälaatikon ulkopuoliset sensorit oli yhdistetty siihen kaapeleilla. Ajoneuvon kokonaistilasta saatiin koottua varsin kattava kokonaisuus, ja tätä kautta pystyttiin luomaan ennusteita ja yhteenvetoja. Armeijan halukkuus saada juuri tämänhetkistä ja tarkkaa tietoa ei tule yllätyksenä. Taistelukentällä mikään ei saa mennä vikaan.

Öljyn laaduntarkkailun kautta suoritettavat huoltotoimenpiteet mainitsivat Prajapati ym. (2012). Nykyään autossa käytetty öljy vaihdetaan tyypillisesti vuosihuoltojen yhteydessä, tai ajettujen kilometrien perusteella. Öljyn laatuun vaikuttavat monet asiat, mm. mäntien kulumasta syntyvä karsta ja öljyyn hiljalleen sekoittuva silikonipöly. Tarkkailemalla öljyn sisältämiä epäpuhtauksia sekä viskositeettia (tahmeusastetta) voidaan muodostaa kuva öljyn jäljellä olevasta käyttöajasta. Hyödyntämällä tätä tietoa pystytään välttämään turhat vaihtoperaatiot, pidentämään käyttöastetta ja vähentämään kuluja.

IT-alalla kuntoon perustuvan ylläpidon hyödyntäminen vaikuttaa arkipäiväiseltä. Tilanne tulee selvästi esille tarkastellessa datan tallennusta. Prajapati ym. (2012) mainitsevat Pinheron, Weberin ja Barroson (2007) tekemän tutkimuksen HDD-tallennuslaitteiden vikaherkkyydestä. SMART-diagnostiikan parametrit, kuten vasteajat ja lukuvirheet, voivat toimia indikaattoreita tulevista ongelmista. Ensimmäisten lukuvirheiden satuttua tallennuslevyillä on, yhä kasvavissa määrin, suurempi todennäköisyys vikaantua kuin ilman virheitä. Kiintolevyn omaan havainnointiin nojaava SMART tarjoaa tarpeellista tietoa, mutta se ei aina itsessään riitä. Pinheron ym. esittävät 56% virhetilanteista, kuten kovalevyn rikkoutumisista, aiheutuvan ilman SMART-diagnostiikan varoitusta. Tilannetta helpottaa muiden indikaattoreiden, kuten värinän, lämpötilan

ja sammuttamistiheyden ottaminen mukaan. Tämä ei kuitenkaan anna vielä täyttä kuvaa, eikä kaikkia virhetilanteita pystytä tunnistamaan. Kuntoon perustuvan ylläpidon hyödyntäminen voi kuitenkin vähentää virhetilanteita, päätöksien tapahtuessa tarjolla olevan ja jo kerätyn tiedon kautta. Datan ollessa usein korvaamatonta, pitää sen turvallisuus pystyä maksimoimaan.



## 4 MITEN ESINEIDEN INTERNETIÄ VOIDAAN HYÖDYNTÄÄ KUNTOON PERUSTUVASSA YLLÄPIDOSSA?

Esineiden internetin sovellusten hyödyntäminen kuntoon perustuvassa ylläpidossa ei ole uusi idea. Varsinkin langattomien sensoriverkkojen hyödyntämisestä ylläpidollisten toimien tukena on puhuttu jo vuosia (mm. Tiwari, Ballal, & Lewis, 2007; Hou & Bergmann, 2012; Gomes, Adissi, Lima-Filho ym., 2013; Bergmann & Hou, 2014). Tämä ei ole yllätys, johtuen kahden toiminnon loogisesta yhteensopivuudesta: esineiden internetin kyvystä kerätä, hyödyntää ja tarjota tietoa, ja kuntoon perustuvan ylläpidon tarpeesta käyttää tätä tietoa toimintansa mahdollistamiseen. Näiden kahden toiminnon yhdistäminen ei kuitenkaan ole itsestään selvää, ja toteutuksien pohjaksi vaaditaan runsaasti taustatietoa. Seuraavissa luvuissa tullaankin käymään läpi esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon yhteistoiminnan vaatimukset, rakenteellinen sijoittuminen toimintojen osa-alueisiin, näkemyksiä nykyisestä toiminnasta ja ajatuksia tulevasta. Tarkoituksena on selventää, miten em. toimintoja voidaan hyödyntää päämäärän saavuttamiseen. Tämän lisäksi pyrin omien ja muiden pohdintojen kautta herättämään ajatuksia aihealueesta ja sen tulevaisuudesta.

### 4.1 Yhteistoiminnan vaatimukset

Tiwari ym. (2007) ovat tutkimuksessaan listanneet vaatimuksia, jotka esineiden internetin osa-alueiden täytyy täyttää toimiakseen osana kuntoon perustuvan ylläpidon toimintaa. Kyseessä on alun perin Tiwarin ym. näkemys langattomien sensoriverkkojen toimivuudesta CBM:n kanssa, mutta näkemyksiä voidaan hyödyntää suurimmassa osassa esineiden internetin toimintoja.

*Jatkuva tarkkaileminen, ajoittainen datan siirto ja käyttäytymisen muutokset eivät tuota ongelmia esineiden internetille. Jatkuva tarkkaileminen on sisäänrakennettu ominaisuus, jota voidaan hienosäätää monin tavoin. Ajoittainen data-*

siirto on mahdollista antennien, radiosignaalien ja muiden verkostojen kautta. Käyttäytymisen muutoksilla tarkoitetaan esimerkiksi tilannetta, jossa käyttäjä pääsee kysymään sensoritietoa suoraan muun toiminnan aikana.

Vaatimukset *hälytystoiminnoista, skaalautuvuudesta ja energiatehokkuudesta* eivät myöskään nouse esteiksi. Hälytystoiminnoilla tarkoitetaan tilannetta, jossa sensori pystyy esimerkiksi määriteltyjen raja-arvojen rikkoutuessa viestimään tiedon eteenpäin. Skaalautuvuudella tarkoitetaan mahdollisuutta esimerkiksi noodien lisäämiseen tai pysähtymättömään toimintaan noodien rikkoutuessa. Energiatehokkuus on välttämätön osa esineiden internetin toimintaa, varsinkin jos noodit hyödyntävät rajallista patterivirtaa.

Mielenkiintoiseksi vaatimukseksi mainitaan *sopeutumiskyky*. Kuntoon perustuva ylläpito mainitaan hyötyvän ja käyttävän uutta informaatiota toimintojensa suorittamiseen ja aikaisemman kehittämiseen. Tätä tukevat luvussa 3.2 esiteltyjen diagnoosien ja ennusteiden toiminta. Samaan tapaan myös esineiden internetin tulisi seurata samanlaista oppimiskäyrää, jossa aikaisempaa tietoa käytetään toiminnan tehostamiseen. Pitkälle vietyinä esimerkkinä voisi olla säänmittausverkosto, joka tulvan sattuessa hoitaisi itse evakuointinsa esimerkiksi quadrokopterien avulla. Jälkikäteen sensorien asentamista vaara-alueille pystyttäisiin välttämään.

*Mukautettavuudella* tarkoitetaan joko asentamisen tai käytön aikana suoritettuja muutoksia noodien toimintoihin, esimerkiksi lähetystaajuuteen, näyttöidenottotihyteen ja käynnissä oloaikaan. Ylläpidosta vastaava henkilö voi esimerkiksi halua rajoittaa tiettyjen noodien toimintaa, tai kytkeä ne väliajoin pois päältä.

Viimeisenä vaatimuksena mainittiin *palauttehallinta*, joka käytännössä tarkoittaa yhteydenpitoa kohteen ja käyttäjän välillä. Suurena etuna olisi työlään, yksittäisen ja fyysisen hallinnoinnin helpottuminen. Varsinkin luvussa 2.2.3 mainittujen älykkäiden esineiden ominaisuudet tukevat palautteen hallintaa. Käyttäjä pystyisi hyvin suunnitellussa järjestelmässä ottamaan yhteyden kohteeseen esimerkiksi nettisivun välityksellä, ja tekemään tarvittavat muutokset tätä kautta.

Vaikka osa mainituista vaatimuksista, kuten energiatehokkuus ja skaalautuvuus, vaikuttavat itsestään selviltä, on ne tärkeää tiedostaa suunniteltaessa uusia tapoja tiedon hankkimiseen. Kuntoon perustuvan ylläpidon toimiminen riippuu tiedon saamisesta ja käsittelystä, joten vaiheiden optimoiminen parantaa kokonaisuuden tehokkuutta.

Suurin osa vaatimuksista on suoraan yhteensopivia esineiden internetin nykysovelluksien kanssa. Yhteydenpito, havainnointi ja hallinta ovat esineiden internetin ydinpalikoita. Sopeutumiskyky jäi hieman avoimeksi termiksi. Tämä on selitettävissä sillä, että Tiwari ym. ovat tarkoittaneet sopeutumiskyvyllä esineiden internetin sovelluksien toimivuutta ja mukautettavuutta seuraavien tehtävien ja prosessointiaskelten kanssa. Esineiden internet toimisi tämän käsityksen perusteella erilaisten toimintojen mahdollistajana, mikä käy yhteen luvussa 2.5 esittelemäni yhteenvedon kanssa.

## 4.2 Tarkastelussa rakenteellinen yhteistoiminta

Kuntoon perustuva ylläpito koostuu kahdesta pääosasta, kuten luvussa 3.2 huomattiin. Ahmad & Kamaruddin (2012) mainitsivat osiksi kunnan tarkkailun ja ylläpidon päätöksenteon. Mikä on esineiden internetin anti näiden kahden osan toiminnassa? Onko esineiden internet vain tarkkailuun käytettävä apuväline, vai voiko esineiden internetin ominaisuuksia hyödyntää myös muihin tehtäviin? Seuraavissa kappaleissa puidaan näitä kysymyksiä, ja pyritään selvittämään esineiden internetin toiminta osana kuntoon perustuvaa ylläpitoa.

Kunnan tarkkailun toiminnot voidaan laskea yhdeksi CBM:n ydinosaksi. Sensoriteknologia mainitaankin yhdeksi kuntoon perustuvan ylläpidon tärkeimmistä osa-alueista (Mrad, Foote, Giurgiutiu, & Pinsonnault, 2013) diagnoosien, ennusteiden, kommunikaatioteknologioiden ja päätöksenteon lisäksi. Esineiden internetin havaitsevalle osalle, sensoreille, löytyy siis välittömästi suora käyttökohde.

Kyseinen toteamus ei tule yllätyksenä. Suorittaessa toimenpiteitä tietoa hyödyntäen, on tiedon laadulla, määrällä ja ajankohtaisuudella suurta merkitystä. Esineiden internet tarjoaa suurta lisäarvoa juuri tämän alueen toimintoihin. Sensorit pystyvät mittaamaan lukuisia asioita, kuten kulumista, lämpötilaa ja kemiallista koostumusta tarkasti ja tehokkaasti. Esineiden internetin havaitseva sensoriosa pystyy tarjoamaan kuntoon perustuvalla ylläpidolle sen tarvitsemää tietoa.

Ylläpidon päätöksenteon toiminnot eivät ole aivan yhtä selvästi esineiden internetin tukemia kuin kunnan tarkkailu. Välillisenä tukena esineiden internet voi kuitenkin tarjota suurta apua päätöksenteon suorittamiseen. Luvussa 3.2 mainitut diagnoosit ja ennusteet eivät olisi mahdollisia ilman keinoja kerätyn tiedon siirtämiseen. Langaton ja modulaarinen esineiden internet on jo osoittanut pystyvänsä, rajoituksistaan huolimatta, täydentämään nykyisiä viestintäkeinoja ja tarjoamaan uusia väyliä tiedonkulkuun.

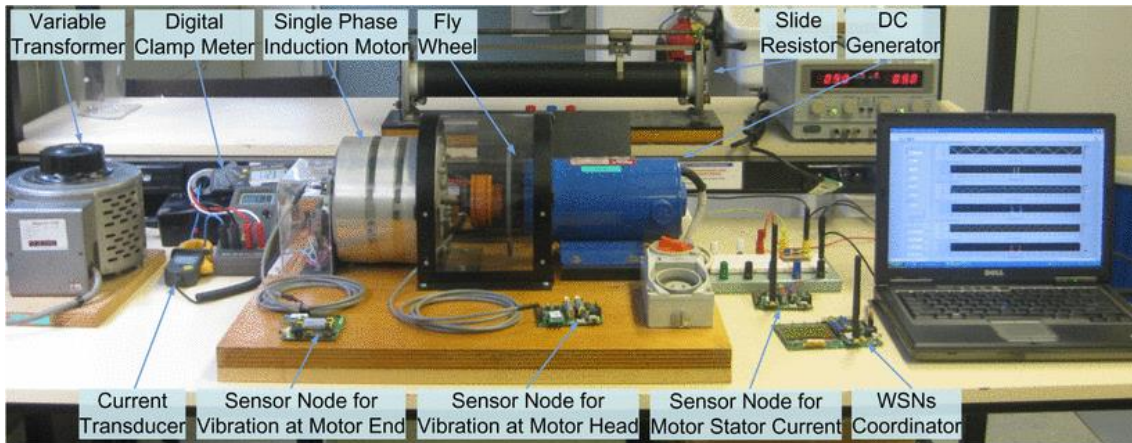
Viestinnän lisäksi diagnoosien ja ennusteiden kokoamaa informaatiota täytyy myös pystyä hyödyntämään. Tässä vaiheessa esineiden internetin toiminnallinen osa nousee esille. Tämä voi esimerkiksi tarkoittaa seuraavan prosessin suorittamista loppuun: Sensorit havaitsevat poikkeaman. Suoritettu diagnoosi saadusta datasta osoittaa, että koneen osan lämpötila on sallittujen arvojen yläpuolella. Tästä lähtee viesti jäähdytysnestettä sisältävän putken venttiilille, joka avautuu. Näin ympyrä on sulkeutunut, ja toiminta voi jatkua.

Kuntoon perustuva ylläpito vaikuttaa hyötyvän esineiden internetin havaitsevasta osasta muita toimintoja enemmän. Tämä ei kuitenkaan ole kiveen hakattu arvio; esimerkiksi seuraavassa luvussa esitellyt Houn ja Bergmannin tutkimukset (2012; 2014) viittaavat noodien itsenäisen tietojenkäsittelyn parantavan noodien energiatehokkuutta. Ylläpidon päätöksenteko saattaa tulevaisuudessa integroitua yhä enemmän esineiden internetin toimintoihin. Tällä hetkellä esineiden internet pystyy tukemaan kuntoon perustuvan ylläpidon toimintoja kattavasti, ollen selvimmin esillä havaitsemisen osa-alueella.

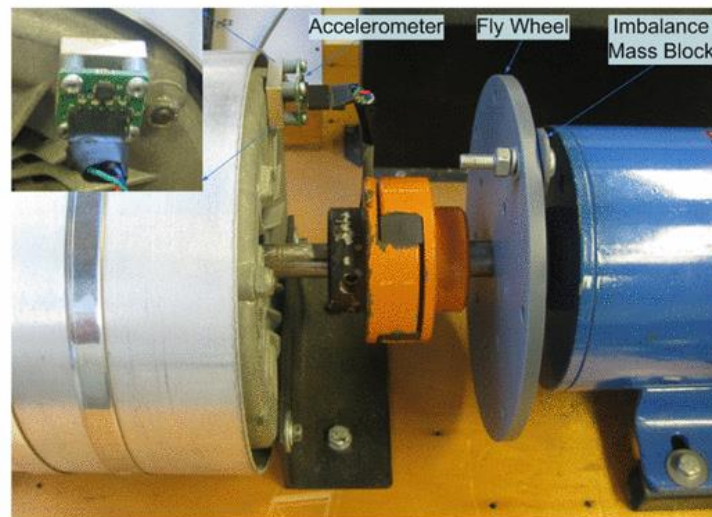
### 4.3 Nykytilanteen arviointia

Edeltävissä luvuissa käytiin läpi suurilta osin teoreettisia näkökulmia esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon toimintaan. Vaikka näiden kahden osa-alueen yhteinen hyödyntäminen on vasta aluillaan, on merkkejä yhteistoinnista jo havaittavissa. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi ajatuksia esineiden internetin hyödyntämisestä nykyisellään ylläpidollisten toimien tukena.

Hou & Bergmann (2012) ovat tutkimuksessaan käsitelleet langattomien sensorien käyttämistä sähkömoottorien havainnointiin hyödyntäen jo nykyisin käytettävissä olevia ratkaisuja. Testijärjestelyssä rakennettiin sähkömoottorin tarkkailuun pienikokoinen sensoriverkko, johon kuuluivat tärinää tarkkailevat (moottorin etu- ja takaosa) sensorit, virrankäyttöä tarkkaileva sensori ja koordinaattorinoodi. Tarkkailevat sensorit lähettivät keräämänsä tiedot tarpeen mukaan koordinaattorinoodille, joka yhdisti tiedot ja siirsi ne eteenpäin kannettavalle tietokoneella koostamista varten. Testitulannetta selventää kuva 4.



(a)



(b)

Kuva 4: Sähkömoottoria tarkkaileva sensoriverkko. Hou & Bergmann (2012)

Saadut tulokset olivat lupaavia. Tutkimus osoitti selvästi sensorien tarkkuuden riittävän erottelemaan esimerkiksi virrankäytön muutokset normaalin ja viallisen sähkömoottorin välillä, sekä tärinän eroavaisuudet rasiuksen aikana. Tuloksena oli käytettävissä olevaa tietoa. Tätä tietoa pystytään hyödyntämään diagnoosien tekemiseen sähkömoottorien nykyisestä tilasta, ja jatkokäyttämään esimerkiksi luvussa 3.2 mainittujen ennusteiden tekemiseen.

Sensoreita on hyödynnetty eri tehtäviin jo vuosikymmeniä, joten niiden käyttö ei ole uutta. Uusi näkökulma niiden käyttöön on tullut langattoman teknologian kautta, jonka Hou & Bergmann (2012) ovat maininneet potentiaalisiksi korvaajaksi langalliselle käyttötavalle. Perustelut vaikuttavat päteville: kaapelointi on kallista, eikä sitä kannata tehdä vain väliaikaista testaamista varten. Tämän lisäksi langattomat sensorit ovat verrattain halpoja, helppoja asentaa ja käteviä siirtää paikasta toiseen.

Täysin ongelmaton siirtyminen kohti langattomuutta ei ole, vaan virrankäytön, tietoturvan ja tiedonsiirron kaltaiset ongelmat ovat alati läsnä. Houn & Bergmannin (2012) tutkimuksesta selvisi kuitenkin muutos kohti tehokkaampaa energian hyödyntämistä, jota tukee myös tutkijaparin myöhempi tutkimus (Bergmann & Hou 2014). Jos kerätyn tiedon käsittelyä delegoidaan kerääville sensoreille itselleen, voidaan paljon virtaa kuluttavaa lähetystoimintaa vähentää. Käytännössä turhaksi nähtyä dataa ei lähetettäisi eteenpäin ollenkaan, vaan prosessointia suoritettaisiin jo keräämisvaiheessa. Tuloksena olisi kasvanut energiankäyttö tietoa käsiteltäessä, mutta erittäin paljon vähentynyt kulutus tietoa siirrettäessä. Bergmann & Hou (2014) ovatkin esittäneet oikein suunnitellun tiedonkäsittelyn pidentävän patterikäyttöisen sensorin käyttöikää runsaasti.

Houn ja Bergmannin keräämiä tuloksia voidaan hyödyntää monin tavoin. Ensinnäkin, niistä selviää langattomien sensoriverkkojen muutos kohti luvussa 2.2.3 esiteltyjä älykkäitä esineitä kohden. Yhä etenevässä määrin autonomiseen toimintaan (tiedon prosessointi kerättäessä, päätöksenteko) pyrkivät sensorit monipuolistuvat, eivätkä voi olla yhtä riippuvaisia sensoriverkkojen muiden osien toiminnoista. Pyrittäessä maksimaaliseen energiatehokkuuteen sensorien välinen viestintä on hyvä pitää minimissään. Älykkäiden esineiden natiivi yhteensopivuus internetin kaltaisten verkostojen kanssa helpottaa viestintää, eikä riippuvuutta luvussa 2.2.2 esitellyn sensoriverkkojen tukiaseman tai kuvassa 4 näkyvän koordinaattorinoodin kaltaisiin keskuksiin ole.

Tuloksista selviää myös sensoriverkkojen ja niiden noodien käyttökelpoisuus laitteiden havainnoimiseen. Langattomien sensoriverkkojen hyödyntäminen kunnon tarkkailuun on toimiva tapa tiedon keräämiseen. Tiedonsiirron tehokkuuden parantuminen, energiankäytön tehostuminen ja havaitsemistarkkuuden kehittyminen ovat jatkuva prosessi, kuten luvun 2 aikana huomattiin. Vaikuttaakin varsin selvältä, että esineiden internet monipuolisena toimintojen mahdollistajana pystyy ottamaan yhä isomman roolin kuntoon perustuvan ylläpidon toiminnoissa. Kaikkein selvimmin hyöty näkyy jo toimivaksi todistetun havainnoinnin kanssa, jota viestintä ja toiminnallinen osa tukevat.

Sähkömoottorien lisäksi myös esimerkiksi hitsaustoiminta ja jätteidenkeräys pystyvät hyötymään esineiden internetin toiminnoista. Kolehmainen mainitsi artikkelissaan (Tivi-lehti, 2014 Joulukuu) esimerkin hitsauslaitteesta, jonka toiminnollisuutta oli lisätty yhdistämällä siihen havainnoiva sensoriosa. Tämän kautta monia työskentelyn osa-alueita pystyttiin seuraamaan. Muun muassa hitsauspillin asento hitsatessa, käytetyn lisäaineen määrä ja ajankäyttö tuottivat ylös kirjattavaa tietoa hitsaustapahtumasta. Kyseinen älykäs esine voidaan siis lukea luvussa 2.2.3 mainituksi toiminnastaan tietoisesti esineeksi, joka pystyy tallentamaan tietoa käytöstään.

Lisääntynyt tieto työtapahtumasta tarjoaa useita etuja. Näitä voivat olla esimerkiksi tarkentunut työpanoksen määrittäminen, laadunhallinnan helpottuminen ja virhetilanteiden nopea havaitseminen. Hitsauksen tapauksessa tieto saattaisi olla kriittisen tärkeässä osassa jopa vuosia myöhemmin. Jos esimerkiksi aikaisemmassa valmistuserässä on huomattu saumojen pettämistä, voidaan sen tekoaikana kerätty tuotannonaikainen tieto ottaa esille ja käyttää ongelman ratkaisemiseen. Myös tämänhetkisen tilanteen käsittäminen voi olla suureksi avuksi: työntekijöitä voidaan varoittaa liian kiivaasta työtahdista, tai pian edessä olevasta välinehuollosta.

Jätteidenkeräyksen kehittyminen sensoriteknologiaa hyödyntäen mainittiin Nuutilan kirjoittamassa artikkelissa (Tekes, 2014 Maaliskuu). Käytännössä roska-astioiden sisältöä luotaava sensori pystyi luomaan kuvan roskiksen täysinäisyydestä, ja lähettämään sen mobiiliverkon välityksellä jatkokäsittelyä varten. Lopulta roska-autoille pystyttiin lähettää tiedot optimaalisesta reitistä ja roskisten tyhjennysvälistä. Tämän mainittiin vähentävän noutokäyntien määrää parhaassa tapauksessa yli puolella. Menetelmä on jo käytössä osassa pohjoismaita.

Tässä luvussa mainitut esimerkkitapaukset sähkömoottorin havainnoinnista, hitsaustapahtuman tarkkailusta ja jätteidenkeräyksen tehostumisesta voidaan laskea esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon yhtenäisiksi toteutustavoiksi. Esimerkkinä sähkömoottorin voidaan ajatella olevan osa tehtaan kuljetushihnaa. Moottorin hajotessa hihna ja sen kuljettamat tavarat pysähtyvät, johtaen pahimmassa tapauksessa koko tuotannon pysähtymiseen. Itse sähkömoottori ei olisi tässä tapauksessa suurin kulujen aiheuttaja, vaan rikkoontumisesta johtunut työnseisaus. Jos kyseessä olisi esimerkiksi elintarvikkealan tuotteita valmistava toimija, voisi pysähdys aiheuttaa nopeasti katastrofaalisen menetyksen päivän tuotannossa pilaantumisen kautta. Tätä myötä havaitsevan sensoriteknologian voidaan sanoa ylläpitävän sähkömoottorin lisäksi koko tuotantoketjua. Jos äkilliset pysähdykset ja tarpeettomat huoltotapahtumat saadaan minimoitua, on kuntoon perustuva ylläpito tehnyt työnsä.

Hitsauksen tarkkailun ja jätteidenkeräyksen voidaan sanoa seuraavan samantyyppisiä suuntaviivoja. Hitsauksen työtehtävistä kerätty tieto voi olla tärkeässä osassa mietittäessä rakenteiden kestävyyttä pitkällä aikavälillä, tai suunniteltaessa uuden hitsausmenetelmän käyttöönottoa. Jätteidenkeräys taas voidaan nähdä osaksi koko yhteiskunnan ylläpitoa, jota mainittu roska-astioiden tarkkailu tehostaa. Laadun, käyttömukavuuden tai muun suureen kehittyminen

edellyttää nykyisten ja menneiden tapahtumien ymmärtämistä. Esineiden internet pystyy tarjoamaan tähän liittyvää tietoa, tarjoten näin mahdollisuuksia nykyisen ylläpitoon ja tulevan kehittämiseen.

Tässä luvussa on käyty läpi esimerkit hitsaustoiminnasta ja jätteidenkeräyksestä, sekä laajempi tutkimus sähkömoottorien tarkkailusta. Osa esimerkeistä on päässyt jo tuotantovaiheeseen, kuten Nuutilan mainitsema jätteidenkeräyksen tehostaminen. Tulokset ovatkin osoittaneet esineiden internetin ominaisuuksien, suurimmalta osin havainnoinnin ja viestinnän, olevan yhteensopivia ja tarjoavan suurta lisäarvoa useille konkreettisille sovelluksille. Saatua lisäarvoa voidaan hyödyntää ylläpidollisten tehtävien tukena.

#### 4.4 Ajatuksia tulevasta

Esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon toiminnot ovat jatkuvan kehityksen alaisena. Esineiden internet on vasta muutaman vuoden vanha käsite, jonka mahdollista potentiaalia on vaikea kuvailla muuksi kuin mullistavaksi. Myös kuntoon perustuvan ylläpidon hyödyntämismahdollisuudet ovat kehittyneet teknologisen kehityksen vanavedessä, kuten aikaisemmissa luvuissa on huomattu. Jatkuva kehitys saakin miettimään tilanteita ja mahdollisuuksia, joiden ilmeneminen tulevaisuudessa on vain ajan kysymys. Seuraavissa kappaleissa olen käynyt läpi omia ideoitani, odotuksiani ja ajatuksiani esineiden internetistä, kuntoon perustuvasta ylläpidosta sekä niiden yhteiskäytöstä.

Yksi esimerkki esineiden internetin hyödyntämisestä voisi olla sen käyttäminen verkkoliikenteen tehostamiseen. Voisiko älykkäiden esineiden verkottuneisuus esimerkiksi avata uusia väyliä internetin jakamiseen? Nykyisten wlan-lähettimeiden ja toistimien (engl. extender) ylläpitämät verkot ovat toimivia kokonaisuuksia, mutta kantaman ja katvealueiden tyyppiset ongelmat ovat aina läsnä. Siirtyminen muutamasta keskuslähettimestä hajautettuun verkonjakoon saattaisi helpottaa ainakin osaa näistä ongelmista.

Esimerkkinä musiikkifestivaaleilla voisi älykkäistä esineistä muodostaa valtaisan kokaisen langattoman verkon peittoalueen. Etuna aikaisempaan olisi älykkäiden esineiden helppo liikuteltavuus, joten ihmismeren vyöryessä kohti virkistysaluetta voitaisiin kyseisen alueen kapasiteettia lisätä. Nykyiset 4G-verkot ovat hyvin suuren rasituksen alaisena ihmiskeskittymiä esiintyessä, kuten stadioneilla ja konserteissa. Tätä rasitusta pystyttäisiin mahdollisesti helpottamaan, ja muitakin mahdollisuuksia löytyy: esimerkiksi VIP-asiakkaiden ja median tiedonsiirto olisivat pääprioriteetteina, varmistaen pätkimättömän yhteyden.

Kyseessä ei tarvitsisi olla vain internetin jatke. Älykkäiden esineiden ominaisuuksia voisivat olla myös kamera väkijoukon tarkkailemiseen, ja sensori säätilan havainnointiin. Älykkäät esineet voisivat hoitaa erilaisia tehtäviä, ja monimutkaisemmassa tapauksessa aktivoitua ja sulkea toimintojaan esiintyneen tarpeen mukaan. Näiden lisäksi toiminnallisena ominaisuutena voisi olla kuulutusmahdollisuus. Kuulutuksella voitaisiin ohjata tietyn alueen ihmiset muual-

le, ilmoittaa artistin esiintymislava tai soittaa tunnelmamusiiikkia hiljaisina hetkinä.

Toinen esimerkki esineiden internetin hyödyntämisestä olisi tutkijaryhmä, joka käyttäisi älykkäitä esineitä tutkimusretkensä ajan. Ensimmäiset älykkäät esineet asennettaisiin tietoliikenneyhteyksien ulottuviin, ja niitä asetettaisiin matkan varrelle aina tietyin väliajoin muiden älykkäiden esineiden kantaman sisään. Näin varmistettaisiin yhteys ulkomaailmaan tilanteesta riippumatta. Älykkäät esineet voisivat sisältää yhteydenpitotoimintojen lisäksi erikoistuneita havainnointivälineitä, riippuen matkan tarkoituksesta.

Kaksi esimerkkikohdetta tälle toiminnalle voisivat olla vuorikiipeily ja luolan tutkiminen. Luolassa yhteydet ulkomaailmaan ovat äärimmäisen rajattuja, ja älykkäiden esineiden asentaminen etenemisen varrelle toisi monia etuja: yhteys internetiin esineiden muodostaman ketjun kautta, mittauslaitteiston keräämän tiedon viestityskyky eteenpäin ja mahdollisuus kutsua apua välittömästi. Varsinkin viimeinen kohta vaikuttaa hyödylliseltä myös vuorikiipeilyn kanssa: hätäsignaali kantautuisi perusleiriin tai pidemmälle, ja apujoukot pystyisivät seuraamaan matkan aikana asetettuja älykkäitä esineitä aina perille saakka.

Uuden ideoinnin lisäksi tulevaisuus antaa suuret mahdollisuudet kehittää vanhaa. Esimerkkinä tästä voisi olla luvussa 3.3 mainittu armeijakäytössä olevan FHUMS-järjestelmä. Nykyisellään se koostui keskuksista, johon tiedot muualla ajoneuvossa sijaitsevista sensoreista kuljetettiin kaapelien kautta tallennusta ja lähetystä varten. Tämän lisäksi keskus sisälsi omia mittauslaitteita. Kokonaisuutta pystyisi siis kuvailla langalliseksi sensoriverkoksi, minkä tyyppi mainittiin luvussa 2.2.2. Millaisia muutoksia käytössä olevaan kokonaisuuteen voisi ajatella suoritettavan?

Yksi havaittavista heikkouksista on itse keskus. Kerätyn tiedon kulkiessa sen kautta, yksikin osuma volframkärkisestä ontelokranaatista pystyisi lamauttamaan ja tuhoamaan sensorien tietoliikenteen. Reittitietojen ja jarrutustilanteiden lisäksi häviäisi kyky muodostaa yleiskuva ajoneuvon tilanteesta. Osuman aiheuttaman vahingon lisäksi tiedon puutteesta johtuva kerrannaisvaikutus voisi johtaa esimerkiksi renkaan vahingolliseen hajottamiseen liiallisen räsituksen myötä.

Mahdollinen ratkaisu ongelmaan saattaisi ilmetä älykkäiden esineiden muodossa. Kun tietoliikenteen turvallisuus kehittyisi hyväksyttävälle tasolle, voitaisiin langattomia teknologioita hyödyntää nykyistä laajemmin. Autonomiseen toimintaan pystyvät älykkäät esineet pystyisivät jatkamaan toimintaansa ja yhteydenpitoaan hyvinkin suurien vahinkojen jälkeen. Tarvetta keskitetylle tietovarastolle tai koordinaattorille ei olisi, ja toiminnot voitaisiin jakaa langattomasti toisiinsa yhteydessä olevien älykkäiden esineiden kesken. Näin toiminta pystyisi jatkamaan mahdollisimman keskeytyksettä.

Hieman maanläheisempänä esimerkkinä voisi olla polkupyörän ja sen osien tarkkailu. Yksi hyödyllisistä ominaisuuksista olisi renkaan tilanteen havainnointi. Vaikka esimerkiksi paineentarkastus on helppo tehdä käsin kokeilemalla, voisi erikoistuneen painesensorin ja muun mittauslaitteiston tietojen yhdistelmä tuottaa kuvan esimerkiksi sisäkumin tilanteesta. Pieni luotaava sen-



sori voitaisiin ujuttaa yhteensopivien venttiilien kautta renkaan sisälle. Tämä sensori kuljetettaisiin ulkoista magneettikehikkoo hyödyntäen renkaan ympäri, ja sensori luotaisi matkan aikana sisäkumin pintaa. Tällöin saataisiin tietoa fyysisistä poikkeavuuksista ja kumin pinnan paksuustasoista. Lopputuotoksena pystyttäisiin tarjoamaan kuva sisäkumin nykyisestä tilasta, ja mahdollisesti luomaan ennusteita tulevasta käyttäytymisestä. Tämä tieto olisi varmasti suurimmalle osalle pyöräilijöistä mieleen, ja säästäisi monet odottamattomilta korjaamokäynneiltä.

Muita hyödyllisiä tiedonlähteitä voisivat olla rungon rasitus ajettaessa sekä vaihteiston ja jarrujen tilanne. Myös runkoon upotettu tunnistinsiru, ja kalteimmissa malleissa GPS-paikannin, voisivat parantaa turvallisuutta. Vaikka osa ennen mainituista toiminnoista voikin peruskäytössä vaikuttaa turhilta, tietyissä tilanteissa pienikin lisätieto voi olla kullanarvoista. Esimerkkinä tästä voisi olla polkupyörän vuokrauspalvelut (kuten englannissa toimiva Nextbike). Satojen, jopa tuhansien yksittäisten pyörien tarkkailu ja ylläpito ovat varmasti vaivalloinen ja kallis toimenpide. Jos kyseisiin pyöriin voitaisiin lisätä jo koamisvaiheessa tietoja kerääviä ja viestiviä sensoreita, pystyttäisiin osa tiedonkeruusta ja korjaustoiminnoista ulkoistamaan automaatiolle. Itse sensorien asennus ja käyttö toisivat lisäkuluja, mutta arvelisin kerätyn tiedon tuomien etujen ylittävän haitat.

Mielenkiintoinen vivahde esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon tulevaisuuteen tulee mietittäessä esineiden internetin itsensä ylläpitoa. Suuri osa nykyisistä langattomista sensoreista hyödyntää patterivirtaa, joten niiden käyttöikä on jo tätä kautta rajattu. Tämän lisäksi materiaalit kuluvat, eikä mikään kestä ikuisesti. Vaikka luvussa 2.2.1 mainittuja radiosignaalein ladattavia tunnisteita luonnehdittiinkin käytännössä ikuisiksi, käyttöiän rajat tulevat aina jossakin vaiheessa vastaan. Tässä tilanteessa jatkotoimenpiteitä pitää miettiä tarkasti.

Tunnisteiden, noodien ja älykkäiden esineiden tehtävien kriittisyys vaikuttaa yhdeltä tärkeimmistä mittareista huollon tarpeellisuuden määrittelyyn. Turvallisuutta valvovat ja asejärjestelmiä tarkkailevat sensorit saisivat suuremman tärkeysasteen kuin postilaatikoiden tunnisteet tai kosteusasteen mittarit. Kriittisten tehtävien, kuten ihmisten terveydentilan tarkkailun ja tietoliikenteen sujuvuus on tärkeää pystyä varmistamaan. Esimerkiksi luvussa 2.4 mainittujen teiden ylläpitoon käytettyjen lämpötilasensorien rikkoutuessa tietoa tien liukkaudesta ja ajokelistä ei saada eteenpäin. Tämä voisi johtaa vakaviin onnettomuuksiin. Tässä tilanteessa rikkoutuneen tai lähitulevaisuudessa rikkoutuvan sensorin poisto ja vaihto uuteen on pakollinen toimenpide. Tunnisteiden, noodien ja älykkäiden esineiden määrän hipoessa tulevaisuudessa mahdollisesti satoja miljardeja, miten tämä toiminta voidaan organisoida?

On mahdollista, että esineiden internetin ympärille muodostuu tulevaisuudessa eräänlainen lisäkerros, jonka tärkein tarkoitus on varmistaa esineiden internetin osien toiminnan jatkuminen. Tämän ylläpidollisen kerroksen toiminta olisi moninaista: yksinkertaisimmillaan se sisältäisi kuntokyselyiden lähettäviä sensorinoodeille, ja pitkälle vietyinä ylläpitoprosessi sisältäisi työvaiheet ai-

na hajonneen sensorin havaitsemisesta uuden kokoamiseen, kuljetukseen ja asentamiseen saakka. Jokaisessa tilanteessa automaation luominen ei olisi tarpeen, mutta ihmiskäsi ei yllä kaikkialle. Tällöin olisi suotavaa hyödyntää automaattista ylläpitoa, jolla toiminta saadaan jatkumaan.

Esineiden internetin standardointi ja rajapinnat saattavat nousta tulevaisuudessa nykyistäkin kuumemmaksi puheenaiheeksi. Erilaiset näkemykset esimerkiksi standardoinnista ja toimintojen saattamisesta yhtenäiseen muotoon ovat jo nykyään tarkastelun alla (mm. Sheng, Yang, Yu ym., 2013). Jos esimerkiksi Kortuemin ym. (2010) visio maailmanlaajuisesta verkottumisesta älykkäiden esineiden kautta toteutuu, tulevat älykkäiden esineiden määrät olemaan valtavia. Monet valmistajat tulevat varmasti tarttumaan tilaisuuteen, ja tuomaan omat tuotteensa markkinoille. Tässä tilanteessa erilaisten fyysisten ja virtuaalisten tuotteiden yhteensopivuus ja toiminta keskenään tulee olemaan ensiarvoisen tärkeää verkottuneisuuden varmistamiseksi.

Myös ajan tuomat muutokset olisi tärkeää ottaa huomioon: Esimerkiksi ylläpidollisen toiminnan jatkuminen vuosikymmenten ajan pitää varmistaa. Jotkin toiminnot saattavat olla riippuvaisia vanhoista toteutuksista, joten uudet sovellukset eivät voi vain unohtaa aikaisempia toteutuksia. Tilanne on selvästi nähtävillä IT-alalla, jossa vanhoja järjestelmiä saatetaan pitää yllä purkkaratkaisuin vuosikymmeniä. Syyt tähän ovat usein moninaiset, aina ekonomisista syistä vaihtamisen mahdottomuuteen saakka. Nykyisistä kokemuksista olisikin tärkeää ottaa opiksi, ja suunnitella esineiden internetin sovellukset alun alkaen yhteensopiviksi, päivitettäviksi ja kehittyviksi kokonaisuuksiksi.

Tässä luvussa olen esitellyt esimerkkejä ja näkemyksiä tulevaisuuden toiminnoista ja nykyisen kehittämisestä. Osa esimerkeistä olisi mahdollisesti suoritettavissa jo nykyään, toisten tarvitessa vielä kehitystä taakseen. Vaikeuksista huolimatta esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon sovelluksien potentiaali on alkanut nousta esiin. Aika näyttää millaiseksi tulevaisuus tulee muotoutumaan.

## 5 YHTEENVETO

Tässä kandidaatintutkielmassa olen käynyt läpi esineiden internetin ja kuntoon perustuvan ylläpidon pääkohdat, hyödyntäen näistä kerättyjä tietoja tutkimuskysymykseen vastaamiseen.

Esineiden internet voidaan kuvailla yhteydenpitoon kykenevien, tietoa keräävien ja luovuttavien toimijoiden muodostamaksi verkostoksi. Teknologisen kehityksen ja maailmanlaajuisen verkottumisen tuomat mahdollisuudet ovat kulminoituneet esineiden internetin havainnoivaan, toiminnalliseen ja yhteydenpidolliseen olemukseen. Esineiden internetin kyky tuottaa ja jakaa tietoa on avannut uusia ovia hyvin monille toimialoille, suunnitelmille ja ajatuksille. Vaikka käytännön sovellukset eivät vielä täytäkään suurten ideoiden vaatimuksia, voidaan esineiden internetiltä odottaa tulevaisuudessa paljon.

Kuntoon perustuva ylläpito hyödyntää tietoa ylläpidollisten toimien suorittamiseen. Kunnon tarkkailu on vaihe, jossa tietoa kerätään käyttöä varten. Tätä seuraava ylläpidon päätöksenteko pyrkii diagnoosien kautta esittämään kohteen nykytilanteen, ja ennusteiden kautta ennustamaan tulevaa käyttäytymistä. Kuntoon perustuvan ylläpidon tärkeimpänä tavoitteena on pitää kohde toimintakuntoisena, tiedon mahdollistaessa paremman nykytilanteen arvioinnin ja tulevien toimintojen suunnittelun.

Esineiden internetin toimintojen on havaittu olevan yhteensopivia kuntoon perustuvan ylläpidon kanssa. Tärkeimmät esineiden internetin tarjoamat hyödyt ylläpidollisille toimille on esitelty seuraavaksi:

- Mahdollisuus lähes reaaliaikaiseen kunnon tarkkailuun
- Kyky tiedonsiirtoon ja vastaanottamiseen langattomasti
- Hintaeu verrattuna kaapelointiin ja kiinteään asentamiseen
- Sensorien modulaarisuus ja verrattain helppo liikuteltavuus
- Riippumattomuus kiinteistä keskuksista, itsenäinen päätöksenteko
- Toiminnallisten tehtävien suoritusmahdollisuus

Esineiden internetillä on tällä hetkellä myös heikkoutensa, jotka saattavat rajata ylläpidollisten toimintojen suorittamista. Nämä on listattu seuraavaksi:

- Teknologioiden ja ajattelutapojen tuoreus
- Mahdollinen riippuvaisuus patterivirrasta rajaa käyttöä, toimintojen suorittamista ja toiminta-aikaa
- Tietoturvan, yksityisyyden ja standardoinnin osa-alueet ovat vasta kehityksen alaisena

Ongelmistaan huolimatta, kuntoon perustuva ylläpito pystyy hyödyntämään esineiden internetin tarjoamaa tietoa toimintojensa suorittamiseen. Täten esineiden internet voidaan nähdä kuntoon perustuvan ylläpidon toiminnan mahdollistajana, jonka havaitsevia, yhteydenpidollisia ja toiminnallisia ominaisuuksia pystytään hyödyntämään monipuolisesti kuntoon perustuvan ylläpidon tukena.

## LÄHTEET

- Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2012). An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. *Computers & Industrial Engineering*, 63(1), 135-149. ISO 690. Haettu osoitteesta <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835212000484>
- Akyildiz, I. F., & Vuran, M. C. (2010). *Wireless sensor networks* (Vol. 4). John Wiley & Sons. Haettu osoitteesta [https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=7YBHYJsSmS8C&oi=fnd&pg=PR7&dq=wireless+sensor+networks&ots=QN5Vgj7cld&sig=Pv\\_S2wJ74ZC06sJ-mR9Lah8kjWk&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=7YBHYJsSmS8C&oi=fnd&pg=PR7&dq=wireless+sensor+networks&ots=QN5Vgj7cld&sig=Pv_S2wJ74ZC06sJ-mR9Lah8kjWk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Alcaraz, C., Najera, P., Lopez, J., & Roman, R. (2010, November). Wireless sensor networks and the internet of things: Do we need a complete integration?. In 1st International Workshop on the Security of the Internet of Things (SecIoT'10). Haettu osoitteesta [https://www.nics.uma.es/pub/seciot10/files/pdf/alcaraz\\_seciot10\\_paper.pdf](https://www.nics.uma.es/pub/seciot10/files/pdf/alcaraz_seciot10_paper.pdf)
- Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' Thing. In the real world, things matter more than ideas. *RFID Journal*. Haettu osoitteesta <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805. Haettu osoitteesta <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128610001568>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2014). From "smart objects" to "social objects": The next evolutionary step of the internet of things. *Communications Magazine, IEEE*, 52(1), 97-105. ISO 690. Haettu osoitteesta <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=6710070>
- Bailey, D., & Wright, E. (2003). *Practical SCADA for industry*. Newnes. ISO 690 Haettu osoitteesta [https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=jLthOQfK-UAC&oi=fnd&pg=PR5&dq=SCADA&ots=Qn8mm-w0Cg&sig=BewZXXQB\\_DkzvmniyNTM3Eq5\\_uE&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=jLthOQfK-UAC&oi=fnd&pg=PR5&dq=SCADA&ots=Qn8mm-w0Cg&sig=BewZXXQB_DkzvmniyNTM3Eq5_uE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Bergmann, N. W., & Hou, L. Q. (2014, December). Energy Efficient Machine Condition Monitoring Using Wireless Sensor Networks. In *Wireless Communication and Sensor Network (WCSN), 2014 International Conference on* (pp. 285-290). IEEE. Haettu osoitteesta <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=7061741>
- Bloch, H. P., & Geitner, F. K. (1983). *Practical machinery management for process plants. Volume 2: Machinery failure analysis and troubleshooting*. Exxon Chemical Co., Baytown, TX. ISO 690

- Bode, K. (2015). Internet Of Not-So-Smart Things: Samsung's Latest Smart Fridge Can Expose Your Gmail Password. Techdirt podcast. Viitattu 10.11.2015. Haettu osoitteesta <https://www.techdirt.com/articles/20150824/06411532041/internet-not-so-smart-things-samsungs-latest-smart-fridge-can-expose-your-gmail-password.shtml>
- Borghain, T., Kumar, U., & Sanyal, S. (2015). Survey of Security and Privacy Issues of Internet of Things. arXiv preprint arXiv:1501.02211. ISO 690. Haettu osoitteesta <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1501/1501.02211.pdf>
- Chapman, L. (2015). Wintersense: Demonstrating the potential of the IoT in winter road maintenance. University of Birmingham. Haettu osoitteesta <http://gtr.rcuk.ac.uk/projects?ref=EP/L02375X/1>
- Chapman, L., Young, D. T., Muller, C. L., Rose, P., Lucas, C., & Walden, J. (2014). Winter road maintenance and the internet of things. In Proceeding of 17th International Road Weather Conference. Haettu osoitteesta [http://www.researchgate.net/publication/263443890\\_Winter\\_Road\\_Maintenance\\_and\\_the\\_Internet\\_of\\_Things](http://www.researchgate.net/publication/263443890_Winter_Road_Maintenance_and_the_Internet_of_Things)
- Chen, D. and Trivedi, K.S. (2001), "Analysis of preventive maintenance with general component failure distribution" , on Dependable Computing, Pro-ceeding of Eighth Pacific Rim International Symposium, December, Seoul, pp. 103 - 7.
- Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in industries: A survey. Industrial Informatics, IEEE Transactions on, 10(4), 2233-2243. ISO 690. Haettu osoitteesta <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=6714496>
- Delgado Gomes, R., Oliveira Adissi, M., Cavalcante Lima-Filho, A., Spohn, M. A., & Antônio Belo, F. (2013). On the Impact of Local Processing for Motor Monitoring Systems in Industrial Environments Using Wireless Sensor Networks. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2013. Haettu osoitteesta <http://www.hindawi.com/journals/ijdsn/2013/471917/>
- Dhillon, B. S. (2002). Engineering maintenance: a modern approach. CRC Press. Haettu osoitteesta [http://www.ircbt.com/ebooks/industrial\\_eng/Engineering%20Maintenance%20-%20A%20Modern%20Approach%20-%20B.%20Dhillon%20\(CRC,%202002\)%20WW.pdf](http://www.ircbt.com/ebooks/industrial_eng/Engineering%20Maintenance%20-%20A%20Modern%20Approach%20-%20B.%20Dhillon%20(CRC,%202002)%20WW.pdf)
- Dimla, D. E. (2000). Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations – a review of methods. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 40(8), 1073-1098. Haettu osoitteesta <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695599001224>
- Epstein, Z. (2015). Remarkable new sensor chip pulls power out of the air so it never needs to be charged. BGR Magazine. Haettu osoitteesta <http://bgr.com/2015/12/08/iot-devices-sensors-no-battery-radio-waves/>

- ETSI. (2013). Internet of things. The European Telecommunications Standards Institute. Viitattu 4.11.2015. Haettu osoitteesta <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/internet-of-things>
- Gartner. (2015). Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies the Computing Innovations That Organizations Should Monitor. Gartner, Inc. Haettu osoitteesta <http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217>
- Goyal, D., & Pabla, B. S. (2015). Condition based maintenance of machine tools – A review. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 10, 24-35. Haettu osoitteesta <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581715000309>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, 29(7), 1645-1660. Haettu osoitteesta <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241>
- Gudymenko, I., Borcea-Pfitzmann, K., & Tietze, K. (2012). Privacy implications of the Internet of Things. In Constructing Ambient Intelligence (pp. 280-286). Springer Berlin Heidelberg. Haettu osoitteesta [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31479-7\\_48](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31479-7_48)
- Hou, L., & Bergmann, N. W. (2012). Novel industrial wireless sensor networks for machine condition monitoring and fault diagnosis. Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on, 61(10), 2787-2798. Haettu osoitteesta <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=6215047>
- IEC. (2014). International Electrotechnical Commission. White Paper. Internet of Things: Wireless Sensor Networks. Viitattu 9.11.2015. Haettu osoitteesta <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-internetofthings-LR-en.pdf>
- INFSO D.4 Networked Enterprise & RFID INFSO G.2 Micro & Nanosystems, in: Co-operation with the Working Group RFID of the ETP EPOSS, Internet of Things in 2020, Roadmap for the Future, Version 1.1, 27 May 2008. Haettu osoitteesta [http://www.smart-systems-integration.org/public/documents/publications/Internet-of-Things\\_in\\_2020\\_EC-EPoSS\\_Workshop\\_Report\\_2008\\_v3.pdf](http://www.smart-systems-integration.org/public/documents/publications/Internet-of-Things_in_2020_EC-EPoSS_Workshop_Report_2008_v3.pdf)
- Jantunen, E. (2002). A summary of methods applied to tool condition monitoring in drilling. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 42(9), 997-1010. Haettu osoitteesta <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695502000408>
- Jardine, A. K., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. Mechanical systems and signal processing, 20(7), 1483-1510. Haettu osoitteesta [http://ac.els-cdn.com/S0888327005001512/1-s2.0-S0888327005001512-main.pdf?\\_tid=1a30b06e-9c2c-11e5-acf4-00000aacb35d&acdnat=1449415073\\_aa3094c222f20095520e8068f57f3ce9](http://ac.els-cdn.com/S0888327005001512/1-s2.0-S0888327005001512-main.pdf?_tid=1a30b06e-9c2c-11e5-acf4-00000aacb35d&acdnat=1449415073_aa3094c222f20095520e8068f57f3ce9)
- Jeong, I. J., Leon, V. J., & Villalobos, J. R. (2007). Integrated decision-support system for diagnosis, maintenance planning, and scheduling of

- manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 45(2), 267-285. Haettu osoitteesta <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540600678896>
- Jing, Q., Vasilakos, A. V., Wan, J., Lu, J., & Qiu, D. (2014). Security of the Internet of Things: perspectives and challenges. *Wireless Networks*, 20(8), 2481-2501. ISO 690. Haettu osoitteesta <http://link.springer.com/article/10.1007/s11276-014-0761-7#/page-1>
- Kahn, J. M., Katz, R. H. and Pister, K. S. J. (1999). Mobile Networking for Smart Dust. ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 99), Seattle, WA, August 17-19. Haettu osoitteesta <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=313558>
- Kolehmainen, A. (2014). Esineiden internet tulee kuin verkkokauppa - "pakko olla mukana". *Tivi-lehti*, 2014 joulukuu. Haettu osoitteesta <https://summa.talentum.fi/article/tv/uutiset/esineiden-internet-tulee-kuin-verkkokauppa-quot-pakko-olla-mukanaquot-/117381>
- Kopetz, H. (2011). Internet of things. In *Real-time systems* (pp. 307-323). Springer US. Haettu osoitteesta [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4419-8237-7\\_13](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4419-8237-7_13)
- Kortuem, G., Kawsar, F., Fitton, D., & Sundramoorthy, V. (2010). Smart objects as building blocks for the internet of things. *Internet Computing, IEEE*, 14(1), 44-51. Haettu osoitteesta [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=5342399&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D5342399](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=5342399&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5342399)
- Landt, J. (2005). The history of RFID. *Potentials, IEEE*, 24(4), 8-11. Haettu osoitteesta <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=1549751>
- Lewis, F. L. (2004). Wireless sensor networks. *Smart environments: technologies, protocols, and applications*, 11-46. Haettu osoitteesta <http://www.ing.unibs.it/~wsnlab/download/WirelessSensorNetworks.pdf>
- Lewis, S. A., & Edwards, T. G. (1997, October). Smart sensors and system health management tools for avionics and mechanical systems. In *Digital Avionics Systems Conference, 1997. 16th DASC., AIAA/IEEE* (Vol. 2, pp. 8-5). IEEE. Haettu osoitteesta [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=637283&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D637283](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=637283&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D637283)
- Li, S., Da Xu, L., & Zhao, S. (2014). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243-259. ISO 690. Haettu osoitteesta <http://link.springer.com/article/10.1007/s10796-014-9492-7>
- Mainetti, L., Patrono, L., & Vilei, A. (2011, September). Evolution of wireless sensor networks towards the internet of things: A survey. In *Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 2011 19th International Conference on* (pp. 1-6). IEEE. Haettu osoitteesta <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=6064380&tag=1>



- McOwan, P. & McCallum, L. (2014). When fridges attack: the new ethics of the Internet of Things. The Guardian. Viitattu 10.11.2015. Haettu osoitteesta <http://www.theguardian.com/science/alexs-adventures-in-numberland/2014/sep/08/when-fridges-attack-the-new-ethics-of-the-internet-of-things>
- Mikkonen, H. (2009). Kuntoon perustuva kunnossapito - käsikirja. Promaint.net. Haettu osoitteesta [http://www.promaint.net/kauppa/julkaisut/kp\\_julkaisusarja/kp\\_13](http://www.promaint.net/kauppa/julkaisut/kp_julkaisusarja/kp_13)
- Mitchell, R. (2014) he Internet of Things at home: 14 smart products that could change your life. Computerworld. Viitattu 24.11.2015. Haettu osoitteesta <http://www.computerworld.com/article/2474727/consumerization/150407-the-internet-of-things.html#slide2>
- Moubray, J. (1997). Reliability centered maintenance. Industrial Press. Sivu 7.
- Mrad, N., Foote, P., Giurgiutiu, V., & Pinsonnault, J. (2013). Condition-Based Maintenance. International Journal of Aerospace Engineering, 2013. Haettu osoitteesta <http://www.hindawi.com/journals/ijae/2013/348532/>
- Neelamkavil, J. (2010). "Condition based maintenance in critical facilities" , Report RR - 305, Institute of Research in Construction, Ottawa, July. Haettu osoitteesta <http://www.managementparadise.com/arunvani/documents/531/condition-based-maintenance-management-in-critical-facilities/>
- Nuutila, S. (2014). Enevo Oy: Kaikuluotain roskiksessa säästää luontoa ja rahaa. Tekes, 2014 maaliskuu. Viitattu 14.1.2016. Haettu osoitteesta <http://www.tekes.fi/tekes/tulokset-ja-vaikutukset/caset/2014/enevo-oy-kaikuluotain-roskiksessa-saastaa-luontoa-ja-rahaa/>
- Pinheiro, E., Weber, W. and Barroso, L.A. (2007), "Failure trends in a large disk drive population". FAST '07: 5th USENIX Conference on File and Storage Technologies.
- Prajapati, A., Bechtel, J., & Ganesan, S. (2012). "Condition based maintenance: a survey", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 18 Iss: 4, pp.384 - 400. Haettu osoitteesta <http://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/13552511211281552>
- Pretz, K. (2013). The Next Evolution of the Internet. Viitattu 4.11.2015. Haettu osoitteesta <http://theinstitute.ieee.org/technology-focus/technology-topic/the-next-evolution-of-the-internet>
- Puccinelli, D., & Haenggi, M. (2005). Wireless sensor networks: applications and challenges of ubiquitous sensing. Circuits and Systems Magazine, IEEE, 5(3), 19-31. Haettu osoitteesta <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=1507522>
- Rabeno, E., & Bounds, M. (2009, March). Condition based maintenance of military ground vehicles. In Aerospace conference, 2009 IEEE (pp. 1-6). IEEE. Haettu osoitteesta <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=4839683>

- Roman, R., Zhou, J., & Lopez, J. (2013). On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things. *Computer Networks*, 57(10), 2266-2279. ISO 690. Haettu osoitteesta <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128613000054>
- Rotunno, T. (2015). Out of beer? Bud Light's smart fridge will tell you. *CNBC News*. Viitattu 10.11.2015. Haettu osoitteesta <http://www.cnbc.com/2015/10/05/out-of-beer-bud-lights-smart-fridge-will-tell-you.html>
- Sheng, Z., Yang, S., Yu, Y., Vasilakos, A., Mccann, J., & Leung, K. (2013). A survey on the ietf protocol suite for the internet of things: Standards, challenges, and opportunities. *Wireless Communications, IEEE*, 20(6), 91-98. Haettu osoitteesta [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=6704479&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6704479&tag=1)
- Sicari, S., Rizzardi, A., Grieco, L. A., & Coen-Porisini, A. (2015). Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. *Computer Networks*, 76, 146-164. ISO 690. Haettu osoitteesta <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128614003971>
- Skarmeta, A., & Moreno, M. V. (2014). Internet of Things. In *Secure Data Management* (pp. 48-53). Springer International Publishing. ISO 690. Haettu osoitteesta [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-06811-4\\_10](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-06811-4_10)
- Takaragi, K., Usami, M., Imura, R., Itsuki, R., & Satoh, T. (2001). An ultra small individual recognition security chip. *IEEE micro*, (6), 43-49. Haettu osoitteesta <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=977757>
- Tang, L., & Guy, C. (2009, June). Radio frequency energy harvesting in wireless sensor networks. In *Proceedings of the 2009 International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing: Connecting the World Wirelessly* (pp. 644-648). ACM. Haettu osoitteesta <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1582519>
- Tiwari, A., Ballal, P., & Lewis, F. L. (2007). Energy-efficient wireless sensor network design and implementation for condition-based maintenance. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 3(1), 1. Haettu osoitteesta <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1210670>
- Thrasher, J. (2015). *RFIDinsider. A Primer On The Internet of Things & RFID*. Viitattu 9.11.2015. Haettu osoitteesta <http://blog.atlasrfidstore.com/internet-of-things-and-rfid>
- Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. *Pervasive Computing, IEEE*, 5(1), 25-33. Haettu osoitteesta [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=1593568#fig\\_1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=1593568#fig_1)
- VTT. Koneiden ja kulkuvälineiden kuntoon perustuva kunnossapito. Kuntoon perustuva ylläpito. Viitattu 15.1.2016. Haettu osoitteesta <http://www.vtt.fi/palvelut/%C3%A4lyk%C3%A4s-teollisuus/k%C3%A4ytt%C3%B6i%C3%A4n-optimointi/koneiden-ja-kulkuv%C3%A4lineiden-kuntoon-perustuva-kunnossapito>

## LIITE 1: KUNTOON PERUSTUVA YLLÄPITO TERMINÄ

Tässä tutkielmassa lähdekirjallisuudessa käytetty termi condition based maintenance suomennettiin kuntoon perustuvaksi ylläpidoksi. Tässä suorassa käännöksessä on kuitenkin ongelmia, jotka on hyvä ottaa esille.

Kuten luvussa 3.2 havaittiin, kuntoon perustuvalla ylläpidolla tarkoitetaan ylläpitoa, jonka tarpeellisuus määritellään kerätyn datan ja tiedon perusteella. Tämä perustui Prajapatin ym. (2012) ja Ahmadin & Kamaruddin (2012) näkemyksiin. Suomennus kuntoon perustuva ylläpito vaikuttaa ensinäkemältä järkevältä: siinä viitataan kohteen kuntoon, jonka tarkkailusta kerätyn tiedon kautta voidaan suorittaa huoltotoimenpiteitä. Täten toiminta kirjaimellisesti perustuu kuntoon ja sen tarkkailuun. Esimerkkinä tästä voisi olla koneen osa, jonka ruosteisuutta, tuottamaa ääntä ja toimintaa koneiston osana tarkkaillaan.

Tällä ajattelutavalla on kuitenkin ongelmansa. Jos kuntoon perustuvaa ylläpitoa käytetään monimutkaisempien toimintojen kanssa, kuten luvussa 2.4 esitellyn älykkään jääkaapin kanssa, sen ongelmallisuus tulee esille. Älykäs jääkaappi voi nimittäin sisältää useita ylläpidollisia toimia:

- Yleinen kunnan tarkkailu (saranoiden, valojen kuluneisuuden ja jäähdytyslaitteiden kunnan tarkkailu)
- Toiminnalliset ominaisuudet (jääkaapin pitäminen täytenä ja sisällön tarkkailu)

Ylläpidon määritelmää, pyrkimystä pitämään kohteensa toimintakuntoisessa tilassa (Dhillon, 2002, 3) voidaan soveltaa molempiin yllä näkyviin kohtiin. Yleiseen kunnan tarkkailuun määritelmän käyttö sopii. Kuntoon perustuvan ylläpidon kanssa tulee kuitenkin este: Mainittujen toiminnallisten ominaisuuksien kanssa pulmana on se, ettei niistä löydy mitään kuntoa mihin ylläpito voisi perustua! Jääkaapin pitäminen täytenä ja sisällön tarkkailu ovat selvästi ylläpidollisia toimia, täytenä pitämisen varmistamiseksi jääkaapin pysymisen pullollaan ja sisällön tarkkailun varmistamiseksi tuotteiden käyttöikien ja tilanteen olevan kunnollisia. Toiminnalliset ominaisuudet hyödyntävät tietoa aivan kuten yleinen kunnan tarkkailukin. Termin "kuntoon perustuva ylläpito" käyttö kuvailemaan laajempia toimintaprosesseja voi täten johtaa hämmennykseen, joka selviää vasta tarkempien perusteluiden kautta.

Yksi syy tähän tilanteeseen on englanninkielisen sanan "condition" nähtävästi sisältäessä laajemman merkityksen kuin suomalainen "kunto". Tämä käy ilmi luvun 3.2 kuvasta 3, jossa diagrammin pystyakseli Condition trend (eg. vibration) viittaa värinän tilanteeseen ja muutokseen. Sana "condition" viittaa täten kohteen lisäksi myös sen toiminnan ja tilanteen muuttumiseen (värinän muutokset). Ensivilkaisulla englanninkielisestä termistä "condition based maintenance" saa tätä kautta laajemman käsityksen kuin suomalaisesta.

Miten tilannetta voitaisiin parantaa, vai onko tarvetta muutokselle edes olemassa? Yksinkertaisena muutoksena olisi termin laajennus, esimerkiksi muotoon "kuntoon ja toimintaan perustuva ylläpito". Näin kohteen kunnon lisäksi mainitaan toiminta, joihin voitaisiin sisällyttää tapahtumat ja niiden muutokset. Vielä pidemmälle vietyinä voitaisiin muodostaa termi "kuntoon, toimintaan ja tilaan perustuva ylläpito". Näin määrittelyyn saataisiin sisällytettyä kohteen kunto, tapahtumien muutokset ja olotilan vaiheet. Tätä termiä käytettäessä älykäs jääkaappi-esimerkin yleisen kunnon tarkkailun ja toiminnallisten ominaisuuksien eroavaisuudet eivät enää olisi ongelma. Kunnon lisäksi toiminnan tapahtumat ja kohteen tila olisivat tarpeellisia ylläpidon suorittamiseen, ja se tulisi selväksi jo termin nimestä.

Mielenkiintoinen ajatus olisi termin kohteen muutos. Tähän mennessä kuntoon perustuva ylläpito on viitannut aina kohteen ominaisuuksiin, olivat ne sitten olotilaa, kuntoa tai toiminnan tapahtumia. Tästä päästäisiin eroon yksinkertaisesti muuttamalla koko termi muotoon "tietoon perustuva ylläpito" (engl. information based maintenance). Kuntoon perustuva ylläpito tarvitsee nykyisellään tietoa toimiakseen, kuten liitteen alussa esiteltiin. Miksei tiedosta siis voisi tehdä tämän ylläpidollisen toimen pääasiaa jo nimeä myöten? Tällöin myös aikaisemmissa kappaleissa nähdyt epäselvyydet häviäisivät: Kohteiden ominaisuuksilla ei olisi enää merkitystä. Kyseessä voisi olla yksittäinen osa, toimintaprosessi tai kaikkien tehtaan toimintojen summa. Merkitystä olisi vain sillä, mitä tietoa kohteista pystyttäisiin keräämään.

Vaikka idea tietoon perustuvan ylläpidon käyttöönotosta vaikuttaa optimaaliselta, pitää sen järkevyyttä miettiä. Nykyään kuntoon perustuva ylläpito on jo vakiinnuttanut itsensä osana kirjallisuutta. Esimerkiksi Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) on käyttänyt termiä nykyisessä muodossaan. Voi myös olla, että kuntoon perustuva ylläpito tulee keskittymään tulevaisuudessa vielä enemmän fyysisiin, keskitettyihin toimintoihin. Tällöin toimintaprosessien ja kokonaisuuksien ylläpidollisille toiminnoille voidaan luoda omat määritelmänsä.

Suurta tarvetta termien muutoksille ei vielä ole, sillä ongelmistaan huolimatta kuntoon perustuvan ylläpidon nimi vastaa useimmiten toimintaansa. Tilanne saattaa kuitenkin muuttua tulevaisuudessa. Terminä tietoon perustuva ylläpito vastaisi tarkasti toimintansa kokonaisuutta, mitä tukisi myös esineiden internetin tärkeyden kasvu tietoa tarjoavana ja tuottavana osana.