

# TEOLLINEN INTERNET KAIVOSTOIMINNASSA

Ilari Veki

Opinnäytetyö  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Sähkötekniikka  
Kaivosalan muuntokoulutus  
Insinööri (AMK)

2017

Tekniikan ja liikenteen ala  
Sähkötekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Ilari Veki	Vuosi	2017
<b>Ohjaaja</b>	DI Jaakko Etto		
<b>Toimeksiantaja</b>	Lapin ammattikorkeakoulu		
<b>Työn nimi</b>	Teollinen internet kaivostoiminnassa		
<b>Sivumäärä</b>	84		

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mitkä tekijät ohjaavat digitaalista muutosta kaivostoiminnassa sekä kuinka digitaalisuus tulee muuttamaan perinteistä kaivostoimintaa. Samalla tavoitteena oli selvittää, miten teollista internetiä voidaan hyödyntää, mitä teknologiaa se käyttää ja minkälaisia käyttömahdollisuuksia se tarjoaa kaivostoiminnalle. Tavoitteena oli myös saada käsitys teollisen internetin ja esineiden internetin yhteisistä piirteistä ja tärkeimmistä eroavaisuuksista. Yksi opinnäytetyön tavoitteista oli myös selvittää, mitä vaatimuksia kaivosympäristö asettaa käytettävälle teknologialle.

Aluksi opinnäytetyössä selvitettiin kaivosten yleistä nykytilannetta sekä etsittiin niitä päätekijöitä, jotka ohjaavat kaivosten digitaalista muutosta. Koska teollinen internet on yksi tärkeimmistä kaivosten digitalisointiin liittyvistä teknologioista, työssä perehdyttiin tarkemmin teolliseen internetiin, siihen liittyvien käsitteiden merkityksiin ja eroihin sekä teollisen internetin teknologiaan. Tämän lisäksi työssä tuotiin esiin teollisen internetin hyötyjä ja haittoja. Lopuksi tutkimuksen tuloksena esitettiin teollisen internetin sovelluksia kaivostoiminnassa. Työ on tehty kirjallisena tutkimuksena. Se pitää sisällään useista kirjallisuus- ja internetlähteistä kerättyä ja analysoitua tietoa.

Yleisestä tilannekatsauksesta selvisi, että kaivosteollisuuden kohtaamat haasteet ajavat alaa muuttumaan. Ratkaisuja haetaan teknologioista ja toimintatapojen uudistamisesta. Termien käsittelyssä nousi esiin, että kaikissa teollisuuden digitalisaatioon liittyvissä käsitteissä on loppujen lopuksi kyse älykkäistä verkotuneista laitteista. Hyötyinä esiin nousivat työntekijöiden turvallisuuden parantaminen, toiminnan tehostaminen ja kustannusten pienentäminen. Haitoista nousivat esiin tietoturvariskit, standardoinnin puute ja järjestelmien yhteensopimattomuus. Parhaina teollisen internetin tuomina mahdollisuuksina kaivostoiminnalle nousi esiin ennakoiva kunnossapito ja kaivosturvallisuus.

Työn lopputuloksena syntyi käsitys siitä, että teollisen internetin avulla on mahdollista saada aikaan uusia toimintoja ja palveluja myös kaivosteollisuudessa.

Avainsanat

kaivosteollisuus, teollinen internet



## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	9
1.1	Työn tausta .....	9
1.2	Työn tavoitteet ja aiheen rajaus .....	9
2	KAIVOSTEN NYKYTILANNE JA SEN ANALYSOINTI .....	11
3	KAIVOKSEN DIGITAALISTA MUUTOSTA OHJAAVAT PÄÄTEKIJÄT .....	14
4	KÄSITTEET JA ILMIÖT .....	18
4.1	Digitaalisuus ja digitalisaatio .....	18
4.2	Teolliseen internetiin liittyviä käsitteitä .....	19
5	TEOLLISEN INTERNETIN HYÖDYT JA HAASTEET .....	25
5.1	Tavoiteltavat hyödyt ja mahdollisuudet .....	25
5.2	Kehittämisen käytännön haasteet .....	27
6	KAIVOSYMPÄRISTÖN ASETTAMAT VAATIMUKSET TEKNOLOGIALLE .....	31
7	TEOLLISEN INTERNETIN MAHDOLLISTAVA TEKNOLOGIA .....	33
7.1	Infrastrukturi .....	33
7.2	Sensorit .....	34
7.2.1	MEMS-anturit .....	35
7.2.2	Energiansyöttö .....	36
7.3	Teollisen internetin liitännäkortit .....	38
7.4	Langattoman tiedonsiirron menetelmien esittely .....	39
7.4.1	Wi-Fi-verkot .....	39
7.4.2	Langattomat likiverkot .....	40
7.4.3	Langattomat pienitehoiset kaukoverkot .....	43
7.4.4	5G tiedonsiirtoverkot .....	45
7.4.5	Muita langattomia tekniikoita .....	46
7.5	Langattomat sensoriverkot .....	47
8	IIOT:N TARJOAMAT MAHDOLLISUUDET KAIVOKSESSA .....	49
8.1	Kaivoksen tuotanto .....	49
8.1.1	Tuotantoprosessien ohjaus ja optimointi .....	49
8.1.2	Kaivoksen prosessien valvonta .....	50
8.1.3	Malmin louhinta .....	51
8.1.4	Malmin seuranta tuotantoprosessissa .....	52
8.1.5	Kalustonhallinta ja -seuranta .....	52

8.2	Koneiden ja laitteiden kunnossapito.....	52
8.3	Tilaus-toimitusketju .....	55
8.4	Turvallisuus ja terveys .....	56
8.4.1	Paikannus ja kulunvalvonta.....	57
8.4.2	Kaivostuuletus ja ilmanvaihto .....	58
8.4.3	Kaivosympäristön olosuhdemittaukset .....	59
8.4.4	Kallion lujitus .....	60
8.4.5	Kallion liikkeiden mittaus .....	62
8.4.6	Miehittämättömät kaivoskoneet.....	63
8.4.7	Puettavan teknologian hyödyntäminen.....	67
8.4.8	Älyvaatteet.....	69
8.5	Ympäristö ja kestävä kehitys.....	70
9	POHDINTA .....	72
	LÄHTEET .....	74

## ALKUSANAT

Opinnäytetyön valvojaa diplomi-insinööri Jaakko Ettoa kiitän neuvoista työn kirjoitusvaiheessa sekä työn tarkistamisesta.

Oulussa toukokuun 8 päivänä 2017.

Ilari Veki

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

3G	Third Generation. Kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia
4G	Fourth Generation. Neljännen sukupolven matkapuhelinteknologia
5G	Fifth Generation. Viidennen sukupolven matkapuhelinteknologia
6LoWPAN	IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks
Big data	Suurten, järjestelemättömien, jatkuvasti lisääntyvien tietomassojen keräämistä, säilyttämistä, jakamista, etsimistä, analysointia sekä esittämistä tilastotiedettä ja tietotekniikkaa hyödyntämällä
CPS	Cyber Physical Systems
EC-GSM	Extended Coverage GSM
ELY	Elinkeino-, ja liikenne- ja ympäristökeskus
GHz	Gigahertz
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
IIoT	Industrial Internet of Things
IoT	Internet of Things
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
IT	Information Technology
LED	Light Emitting Diode
LTE	Long Term Evaluation 4G-standardi
LTE-M	Long Term Evaluation for Machines

LPWAN	Low Power Wide Area Network
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEEE 802.15.4	IEEE:n julkaisema standardi koskien langattomia sensoriverkkoja
kbps	kilobits per second
Mbps	Megabits per second
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
MHz	Megahertz
M2M	Machine to Machine
NB-IoT	Narrow Band IoT
NFC	Near Field Communication
PoE	Power over Ethernet
RFID	Radio Frequency IDentification
TVWS	TV White Space
VoIP	Voice over Internet Protocol
Wi-Fi	Kaupallinen nimi WLAN-tuotteille
Wi-Fi HaLow	Low power long range Wi-Fi
WLAN	Wireless Local Area Network



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Kiinnostus insinööriyön kirjoittamiseen kehittyi opintojen lopussa. Teollista internetiä ei mainittu kaivosopintojen luennoilla, esityksissä eikä materiaaleissa. Yleisesti siitä puhutaan uutena teknologiana ja kaivosteollisuuden tulevaisuuden mullistajana. Tämän myötä itselleni heräsi halu tietää aihealueesta enemmän.

Teollinen internet on selvästi kehittynyt pisteeseen, jossa se pystyy tukemaan ja luomaan uusia toimintoja ja palvelu myös kaivosteollisuudessa. Tätä kautta heräsi kysymyksiä: Mitä tarjottavaa teollisella internetillä on kaivosteollisuudelle? Onko sovelluksia jo olemassa? Minkä tyyppisiä toimintoja voidaan teollista internetiä hyödyntäen mahdollistaa? Teollisen internetin hyödyntäminen kaivoksen eri prosesseissa ja toiminnoissa on hyvä kartoittaa, sillä kaivoksen digitalisointi käyttäen teollista internetiä voi mahdollistaa monia etuja aikaisempaan toimintamalliin verrattuna.

## 1.2 Työn tavoitteet ja aiheen rajaus

Tässä opinnäytetyössä keskitytään tutkimaan digitalisaation ja teollisen internetin vaikutusta kaivosteollisuuteen. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää mikä teollinen internet on, selvittää teollisen internetin vaikutukset, kuten uhat ja mahdollisuudet sekä saada käsitys teollisen internetin ja kuluttajapuolen esineiden internetin yhteisistä piirteistä ja tärkeimmistä eroavaisuuksista.

Koska tämän työn asetelma on varsin laaja, on tutkimuksen suuntaa ohjaamaan järkevää asettaa niin sanotut päätavoitteet. Näiden päätavoitteiden avulla pyritään ohjaamaan tutkimusta kiinnostavaan suuntaan ja löytämään käytössä olevasta aineistosta järkeviä tuloksia. Opinnäytetyön päätavoitteina on selvittää, mitkä päätekijät ohjaavat kaivoksen digitaalista muutosta, mitä teollinen internet kaivoksessa tarkoittaa, millaisista elementeistä se koostuu sekä millaisia käyt-

tömahdollisuuksia se tarjoaa. Tutkimuksen tuloksena esitetään teollisen internetin hyödyntämismahdollisuuksia ja sovelluksia kaivoksessa.

Tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuustutkimusta perehtymällä saatavilla oleviin lähteisiin, kuten asiantuntijaraportteihin, esitelmiin, lehtiartikkeleihin, opinnäytetöihin, yritysten internet-sivustoihin, kirjoihin, tieteellisiin julkaisuihin ja tutkimuksiin. Tämänkaltaisen tutkimusmenetelmä ei ole tavanomainen, mutta tämän opinnäytetyön puitteissa tulkinnallinen lähestymistapa on perusteltavissa sillä, että ilmiönä älykkäät verkottuneet tuotteet ja teollisen internetin kokonaisvaltainen hyödyntäminen kaivoksessa on vielä varsin uutta ja siitä kirjoitetaan vähän verrattuna moniin muihin vastaaviin ilmiöihin. Lähestymistapa on muutenkin luonteva, kun otetaan huomioon tekijän rajalliset mahdollisuudet osallistua ilmiötä koskevaan tieteelliseen tutkimukseen. Opinnäytetyö ei siis pyri eikä edes pystykään luomaan täysin kokonaisvaltaista näkemystä teollisen internetin hyödyntämisestä kaivoksessa, vaan pikemmin pyrkii tuomaan esille erilaisia ilmiöön liittyviä seikkoja ja sovelluksia kaivoksen näkökulmasta. Teoreettiseen tarkasteluun on valittu aiheen kannalta oleellinen käsitteistö ja määritykset, jotka tarjoavat asiayhteyteen liittyvää hyödyllistä kuvausta.

Tämä opinnäytetyö etenee siten, että johdannossa käydään läpi työn tausta, tavoitteet, aiheen rajaus, menetelmä ja tutkimusaineisto. Johdantoluvun jälkeen toisessa luvussa esitetään ja analysoidaan kaivosten nykytilannetta. Kolmannessa luvussa käsitellään päätekijöitä, jotka ohjaavat kaivoksen digitaalista muutosta. Neljännessä luvussa esitetään aiheen kannalta oleellinen käsitteistö ja määritykset. Luvussa 5 kuvataan teollisen internetin mukanaan tuomat hyödyt, mahdollisuudet ja käytännön kehittämisen haasteet. Kuudennessa luvussa esitetään kaivosolosuhteiden asettamia vaatimuksia teknologialle. Seitsemännessä luvussa esitetään teollisen internetin mahdollistavaa teknologiaa. Kahdeksannessa luvussa esitellään teollisen internetin mahdollisia sovelluksia kaivoksessa. Lopuksi luvussa yhdeksän esitetään pohdintaa.

## 2 KAIVOSTEN NYKYTILANNE JA SEN ANALYSOINTI

Suomi on mahdollisuuksien maa monien eri metallimalmien louhinnalle ja taloudelliselle hyödyntämiselle. Maan merkittävimmät metallivarannot muodostuvat kulta-, nikkeli-, kupari-, kromi- ja sinkkiesiintymistä, joista potentiaalisimmat esiintymät sijaitsevat Pohjois- ja Itäsuomessa. (Rissanen & Peronius 2012, 9.) Teräksen raaka-aineena käytettävää rautaa ei Suomesta tällä hetkellä louhita.

Vuonna 2015 suomalaisissa metallimalmikaivoksista tuotettiin 457 000 tonnia ferrokromia, 42 000 tonnia kuparia, 25 000 tonnia sinkkiä ja 9 000 tonnia nikkeliä. Jalometalleista hopeaa tuotettiin 13 100 kg, kultaa 8 300 kg, platinaa 992 kg ja palladiumia 784 kg. Ferrokromi tuotettiin Kemin kaivoksesta, sinkkiä tuotettiin eniten Pyhäsalmosta ja kuparia ja nikkeliä tuotettiin eniten Kevitsan kaivoksesta. Kultaa tuotettiin seitsemästä kaivoksesta, mutta Kittilän kaivos yksinään vastasi 66 %:sta kullan kaivostuotannosta. Hopeasta 80 % tuotettiin Pyhäsalmen kaivoksesta, platinaryhmän metallit tuotettiin Kevitsan kaivoksesta. (GTK 2017, 1.)

Kaivosalan 2015 katsauksen mukaan kaivostuotannon ei odoteta kasvavan merkittävästi vuoteen 2020 mennessä. Kaivosalan tilanne on raaka-aineiden hinnan alhaisuudesta johtuen vaikea sekä Suomessa että kansainvälisesti, ja moni kaivosyhtiö, jolla on taloudellisesti tiukkaa odottaa, raaka-aineiden hintojen nousua. Yhtiöt karsivat kustannuksiaan, ja uusiin kaivoshankkeisiin investoidaan hyvin varovasti. (Kokko 2015, 1)

Kaivosyhtiön oma mahdollisuus vaikuttaa tuotteen hintaan on vähäinen. Tuotteen hinta määräytyy kansainvälisissä raaka-ainepörsseissä. Raaka-aineen jyrkästi vaihteleva hinta lisää kaivosyhtiöille kustannuspainetta. Liiketoiminnan täytyy olla kannattavaa alimmillakin hintatasoilla.

Metallipitoiset mineraalit ovat ehtyvä luonnonvara, ja niiden saaminen maaperästä muuttuu vaikeammaksi ja vaatii enemmän kustannuksia. Yhä haastavammassa paikoissa sijaitsevat kaivoskohteet, alemmat mineraalipitoisuudet ja

energia- ja ympäristörajoitteet vaativat uutta, tehokkaampaa teknologiaa, jolla suurempi osa arvokkaasta aineksesta saadaan talteen vähemmällä räjähteiden, energian, veden ja kemikaalien kulutuksella (Toroskainen 2016).

Kaivosten haastavammat olosuhteet luovat uusia vaatimuksia myös kaivosteollisuuden laitevalmistajille. Tällaisia ovat esimerkiksi turvallisuus, kustannustehokkuus ja laitteiden kestävyys ääriolosuhteissa.

Kaivosteollisuuden haasteet ajavat alaa muuttumaan. Ratkaisuja haetaan teknologioista ja toimintatapojen uudistamisesta. Kaivosyhtiöt panostavat tuotannon tehostamiseen, dynaamiseen suunnitteluun, automatisointiin, robotiikkaan, ennakoivaan kunnossapitoon ja turvallisuuden parantamiseen. Tehokkuutta haetaan datan paremmalla hyödyntämisellä, digitalisaatiolla ja teollisen internetin avulla. (Kokko 2015, 1.)

Digitalisaatiota on tehty teollisuuden piirissä jo pitkään. Digitalisaatio kytkeytyy vahvasti automaatioon ja robotiikkaan. Teollinen internet on osa tätä laajempaa digitalisaation kehityskulkua. Teollisen internetin viimeisin kehitysvaihe, joka pitää sisällään yhä älykkäämpiä verkkoon kytkettyjä tuotteita, sensoreita ja palveluja, tukee tehokkaasti tavoitetta automatisoida kaivoksen prosessit ja toiminnot kaikenkattavasti ja globaalisti.

Teollisen internetin kehittymisen taustalla on tuotteiden älykkyyden edellyttämän teknologian kypsyminen ja sen käyttöönoton kustannuksien laskeminen. Toiseksi tietoverkot ulottuvat nyt suurimpaan osaan teollista maailmaa ja mahdollistavat nopeat yhteydet. Kolmanneksi internet mahdollistaa prosessien ja liiketoiminnan hallinnan ja operoinnin globaalissa mittakaavassa edullisia ja tehokkaita pilvipalveluja hyödyntäen. Lisäksi "big data" -alustojen ja analytiikan kehitys ovat mahdollistaneet suureen informaation määrään perustavan liiketoiminnan. Ei ole myöskään syytä aliarvioida työntekijöiden kasvavan tietoteknisen osaamisen ja teknologiaympönteisten asenteiden vaikutusta. (Juhanko ym. 2015, 3.)

Kaivosyrietysten kauaskantoinen päämäärä ovat miehittämättömät kaivokset, joissa automatisoidut koneet poraavat, louhivat, kuormaavat ja kuljettavat malminikiviä. Tämän vuoksi suuntauksena on integroida kaikkiin kaivoslaitteisiin tiedonkeruun sensorit ja avata tiedonsiirtokeskitettyyn pilvipalveluun. Tämä mahdollistaisi laitteiden ja prosessien reaaliaikaisen hallinnan, käytön optimoinnin ja tehostamisen sekä etäkunnonvalvonnan yhdestä näkymästä. (Collin & Saarelainen 2016, 120.)

Utopistisimmissa tulevaisuuden kaivosvisioissa ihmiset eivät enää käy lainkaan itse kaivoksissa, vaan siellä työskentelevät vain koneet, joita kauko-ohjataan mistä päin maailmaa tahansa. Kukaan ei vielä tiedä, toteutuuko tämä visio, mutta täysin varmaa on ainakin se, että kehittyneemmän teknologian ansiosta kaivostuotannosta tulee yhä tehokkaampaa, turvallisempaa, ympäristöystävällisempää ja edullisempaa. (Burman 2016, 10.)

Vaikka digitalisaation ja automaation tärkeys tulee korostumaan nykyaikaisessa kaivoksessa, ei voida unohtaa muutosta toimintamalleissa. Digitaalisuus tulee ottaa osaksi organisaation jokaista prosessia. Vanhat liiketoimintamallit muuttuvat hitaasti, joten muutosta ei tehdä yhdessä yössä. Mitään ei tapahdu ilman osaavia ja motivoituneita ihmisiä. Muutoksen johtaminen onkin kaivosyhtiöiden johdon tärkein tehtävä.

### 3 KAIVOKSEN DIGITAALISTA MUUTOSTA OHJAAVAT PÄÄTEKIJÄT

Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, kaivosalan tilanne Suomessa ja maailmanlaajuisesti on vaikea. Raaka-aineiden hinnat laskevat, kaivoskohteet sijaitsevat yhä syvemmällä ja haastavammissa paikoissa, uusien kaivosten avaaminen on hidasta ja niihin investoidaan hyvin varovasti, malmien mineraalipitoisuudet ovat alhaisia ja niiden saaminen maaperästä muuttuu yhä vaikeammaksi. Näiden lisäksi energia- ja ympäristörajoitteet vaativat yhä tehokkaampien menetelmien käyttöönottoa.

Kaivosten menestystä mitataan tuotantomäärillä. Kaivoksilla on jatkuvasti kova tarve keksiä uusia ratkaisuja kustannustehokkuuden lisäämiseksi ja tuottavuuden parantamiseksi. Kaivosteollisuudelle on yhä tärkeämpää pitää huolta työntekijöiden turvallisuudesta, noudattaa lakeja, olla sosiaalisesti hyväksytty ja minimoida ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia. Kun henkilöturvallisuutta ja prosessien tehostamista koskevat vaatimukset kasvavat, yhä useammat kaivokset joutuvat luopumaan vanhasta tekniikasta ja siirtyvät tietotekniikan avulla ohjattuun toimintaan. Jos kaivos halutaan automatisoida, on siirryttävä täysin digitaaliseen ympäristöön ja langattoman teknologian käyttöön. Uusien teknologioiden, kuten esineiden internetin, globaali verkottumisen, robotiikan, pilvipalveluiden, data-analytiikan, älykkäiden sensorien ja päätelaitteiden, avulla kaivoksista tulee nykyaikaisia digitaalisia kaivoksia. (Scholze 2016, 1.)

Edellä kuvatun perusteella kaivosteollisuuden digitaalista muutosta ohjaavat päätekijät voidaan kuvata seuraavasti:

- kaivosten tuottavuuden lisääminen
- kaivosturvallisuuden parantaminen
- kaivosten ympäristöturvallisuuden hallinta
- kustannussäästöt
- automaation lisääminen
- vaatimustenmukaisuus eli lakien, sääntöjen ja määräysten noudattaminen

- tietoverkkojen turvallisuuden parantaminen
- uusien teknologioiden käytön lisääminen. (Scholze 2016, 1.)

Kaivosteollisuus on paljon pääomaa sitova teollisuudenala. Sen keskeinen tavoite on suunnittelemattomien seisokkien minimointi, kustannusten alentaminen ja tuottavuuden parantaminen. Tavoitteen saavuttamiseksi kaivosteollisuuden tulee automatisoida prosessejaan sekä kehittää ja käyttöönottaa uusia teknologioita prosessien saannon ja tehokkuuden optimoimiseksi. Kaivosteollisuuden prosessit pääpiirteissään ovat kaivoksen geologia ja kaivossuunnittelu, louhinta, mukaan lukien sisäiset kuljetukset sekä malmin talteenotto. (Businessoulu 2014, 13.)

Prosessien saannon ja tehokkuuden optimointiin ratkaisuna voi olla tuotannon avainkoneiden ennakoiva kunnossapito ja huolto, prosessien uudenlaisten mitausten kehittäminen ja reaaliaikainen ohjaus sensortechniikkaa ja tietokantoja soveltamalla sekä kunnossapidon tietojen ja ohjauksen integrointi kaivoksen ohjausjärjestelmään. Kunnossapidon ennustettavuuden avulla voidaan nostaa laitteiden käyttöastetta. (Businessoulu 2014, 15.)

Lisäämällä koneiden ohjaukseen automaatiota, itseohjautuvuutta ja valvontoja voidaan parantaa kaivosteollisuuden kustannustehokkuutta. Älykkään sensortechnologian avulla koneet voivat liikkua ja suorittaa työtehtävän etäohjattuna tai autonomisesti ja ne kykenevät järkevästi reagoimaan odottamattomiin tilanteisiin. Autonomisten koneiden käytöllä työturvallisuus kaivoksissa paranee, koska liikkuvat koneet ja ihmiset eivät ole samassa tilassa, koneiden käyttöaste paranee sekä työn tehokkuus paranee. Korkea automaatioaste ja miehittämättömien koneiden ja ajoneuvojen käyttö mahdollistavat katkeamattoman ympärivuorokautisen kaivostoiminnan. (Mäkelä 2007, 2-3.)

Lisäämällä sensoreilla tapahtuvaa reaaliaikaista seuranta voidaan alentaa kaivosteollisuuden kustannuksia. Esimerkkejä ovat muun muassa avainkoneiden kriittisten komponenttien, kuten laakereiden kunnan valvonta, nostohissien vai-

jereiden kunnonvalvonta, järeiden lastauskoneiden kriittisten rakenteiden väsymisen ja hiusmurtumien seuranta. (Businessoulu 2014, 17.)

Kehittämällä automaatiota ja ottamalla käyttöön uusinta teknologiaa voidaan parantaa kaivosteollisuuden kilpailukykyä. Automaatioratkaisuja tutkitaan muun muassa malminetsinnän, mineraalianalyysin, malmin murskauksen sekä rikastuksen tehostamiseksi ja optimoimiseksi. Uusi langaton sensoriteknologia on halpaa eikä sen käytölle pitäisi olla enää estettä. Vastaavasti olemassa olevaa teknologiaa voidaan hyödyntää järkevästi esimerkiksi koulutuksessa ja simulaatioissa. (Koskenlaakso 2014; Damag 2016.)

Yhä kiristynyt kaivostoimintaa ohjaava ja säätelevä kaivoslainsäädäntö on yksi kaivosten digitaalista muutosta ohjaava tekijä. Kaivoslain (621/2011) tarkoituksena on edistää kaivostoimintaa ja järjestää sen edellyttämä alueiden käyttö ja malminetsintä niin, että ne ovat yhteiskunnallisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestäviä (Finlex 2011). Uusien teknologioiden käyttö kaivostoiminnassa mahdollistaa paremman tiedon keruun ja raportoinnin ympäristöä, terveyttä ja kestävä kehitystä koskevista asioista.

Kaivostoiminnan ympäristöturvallisuutta säännellään useilla säädöksillä. Ympäristöturvallisuuden näkökulmasta keskeiset säännökset liittyvät toiminnanharjoittajan lakisääteisiin velvollisuuksiin ja kaivostoiminnan ennako- ja jälkivalvontaan. Kyse on sääntelykokonaisuudesta, jonka avulla ehkäistään ennalta kaivostoiminnasta aiheutuvia haitallisia ympäristövaikutuksia ja valvotaan kaivostoiminnan lainmukaisuutta. (YM 2014,12.)

Ympäristövastuullisuus tarkoittaa kaivosyhtiön ympäristövaikutusten tuntemista ja niiden hallintaa. Kehittämällä mittausratkaisuja ja automatisoimalla ympäristön seuranta kaivosyhtiöt voivat nostaa ympäristöturvallisuuden tasoa. Mittaamalla muun muassa vesistön kuormitusta, virtaamaa, pinnankorkeutta ja säätilaa tarkasti voivat kaivosyhtiöt ohjata vedenpuhdistusprosessia kustannustehokkaasti.



Tietoturvallisuus ja sen uhat puhuttavat myös kaivosteollisuutta. Digitalisaatio vie yhä enemmän kaivoksen toiminnot verkkoon ja pilvipalveluihin. Digitalisoituva ja globalisoituva maailma tuo mukanaan suurien mahdollisuuksien lisäksi tietoturvaan liittyvät riskit. Tietoverkkojen monimutkaisuus ja uudet tietoturvan uhat luovat haasteita liiketoiminnan varmuudelle ja turvallisuudelle. Omalla toiminnallaan kaivosyhtiöt voivat vaikuttaa paljon siihen, miten turvassa liiketoimintaa koskevat tiedot ovat. Tietoturvan hallinta on siten oltava osa yritystoiminnan ydintä.

Digitaalisuus tulee muuttamaan organisaation rakenteita ja tapaa suunnitella strategioita. Digitalisaation keinoin voidaan kehittää perinteisiä toimintamalleja ja prosesseja entistä tehokkaammiksi ja sujuvammiksi. Digitaalisuus vaikuttaa työntekijöihin ja työnkuvaan tietomäärän ja järjestelmien määrän lisääntyessä. Digitalisaation myötä vanhat liiketoimintamallit ja arvoketjut tulevat muuttumaan.

Kaivosteollisuudelta vaaditaan hyvää tuottavuutta, laatua, turvallisuutta ja ympäristöystävällisyyttä. Lisäksi trendinä ovat asiakaslähtöisyys, tiedon analytiikkaan perustuva johtaminen, uusien liiketoiminta- ja palvelumallien kehittäminen ja globaali liiketoiminta. Kaikkiin näihin vaatimuksiin ja trendeihin teollinen internet tuo monia uusia ratkaisuja. Keskeisimpiä ovat tiedon määrä ja käsittelyn reaaliaikaisuus, tapahtumien ennakoitavuus, toimintojen liikuteltavuus ja lisääntynyt automaatio (Collin & Saarelainen 2016, 129).

## 4 KÄSITTEET JA ILMIÖT

### 4.1 Digitaalisuus ja digitalisaatio

Digitaalisuudella tarkoitetaan sähköisessä muodossa olevan tiedon käsittelyä, siirtämistä ja varastointia sekä esittämistä. Tieto sijaitsee yleensä erilaisissa tietokannoissa, ja tiedon rakenne määritellään tietokantaohjelmistoilla. Digitaalista tietoa siirretään ja käsitellään sovelluksilla tai ohjelmistoilla, jotka ovat myös itsessään sähköisessä muodossa tuotettuina joillakin tunnetuista ohjelmistokielistä. Digitaalinen tieto kulkee tietoverkoissa joko langattomasti tai langallisesti. Digitaalisessa muodossa olevaa tietoa on yleisesti ottaen tehokkaampi ja nopeampi käsitellä, siirtää, esittää ja varastoida kuin perinteisesti fyysisessä muodossa olevaa tietoa, kuten esimerkiksi paperia. (Lahti & Salminen 2014, 19.)

Digitaalisuuteen liittyvät läheisesti myös käsitteet digitaalinen, digitointi, digitalisointi ja digitalisaatio. Näissä käsitteissä asian ydin pysyy samana, mutta käsitteen laajuus ja näkökulma muuttuvat. Digitalisaatiosta seuraavassa lähemmin.

Digitalisaatiolla ei vielä ole yksiselitteistä määritelmää vaikka se käsitteenä on ollut ajankohtainen jo muutaman vuoden. Digitalisaatio ei ole irrallinen ilmiö, vaan se on yhteydessä kaikkeen tekemiseen. Se on digitaalisen teknologian kasvavaa integroimista päivittäisiin toimintoihin, kuten tuotteisiin, palveluihin, organisaatioihin ja yhteiskuntaan. Se on toiminnan muuttamista hyödyntämään digitaalisuutta, esimerkiksi tiedon keräämistä ja hyödyntämistä sähköisessä muodossa.

Digitalisaatio vaatii päätöksiä, prosessien muokkaamista, henkisten ja hallinnollisten esteiden poistamista, priorisointia sekä etenkin strategista ajattelua kehitystoiminnassa. Teknologiaa sen toteuttamiseksi on jo tarpeeksi. (Venhunen 2015, 1.) Tämän lisäksi digitalisaation mukana tulee tarve kasvattaa osaamista tietoliikenteen, tiedon tallentamisen, analytiikan ja käyttökokemuksen alueilla.

Digitalisaatio 2.0 on sitä, että esineiden internet ja teollinen internet tuottavat valtavat määrät monipuolista dataa kiihtyvään tahtiin. Datan tuottamisen lisäksi ne myös hyödyntävät siitä jalostettua informaatiota toimintansa ohjaamisessa. Visualisoitujen mallien avulla voidaan tehostaa ihmisen usein intuitioon nojaavaa päätöksentekoa ja automaation avulla laitteiden ja niiden muodostamien järjestelmien autonomista toimintaa. (Salo 2015, 1.)

Älykkyys koneissa ja esineissä nojaa tietenkin analytiikkaan ja se puolestaan suoritetaan yhä useammin suurelta osin pilvessä. Yksinkertaisesta ja siten myös edullisesta laitteestakin tulee näennäisen älykäs nopealla yhteydellä pilvessä tarjottuun tekoälyyn. (Salo 2015, 1.)

#### 4.2 Teolliseen internetiin liittyviä käsitteitä

Tässä kappaleessa määritellään lyhyesti seuraavat käsitteet:

- esineiden internet
- teollinen internet
- teollisuus 4.0
- kaikkien internet
- koneiden välinen viestintä
- kyberfyysiset järjestelmät
- big data
- pilvi tietovarastona
- ekosysteemit
- teknologia- ja palvelualustat.

Esineiden internetissä on kyse älyn lisäämisestä fyysisiin tuotteisiin, esineisiin tai laitteisiin. Tuote on älykäs kun se aistii asioita ympäristöstään ja omasta toiminnastaan. Sen sensorit ja prosessit tuottavat jatkuvasti tietoa, ja tuo tieto kerätään talteen. Tuote on myös liitetty internetiin, jonka avulla kerätty tieto voidaan siirtää taustajärjestelmään sen käsittelyä varten. Internet-yhteyttä voidaan

hyödyntää myös komentojen lähettämiseen, jolloin laitetta voidaan hallita etäältä. (Arrow 2015.)

Internetiin liitettyjen esineiden tuottamaa tietoa käsitellään eli analysoidaan ja jalostetaan eteenpäin, jotta tieto olisi helposti hyödynnettävässä muodossa. Analytiikka voi järjestellä tietoa automaattisesti ja reaaliaikaisesti, ja tietoa voidaan tuoda esineiden lisäksi myös ulkopuolisista lähteistä tiedon laajentamiseksi. (Arrow 2015.)

Esineiden internetissä keskeinen tekijä on infrastruktuuri, joka mahdollistaa esineiden internetiin liittyvän tiedon keräämisen, tallentamisen ja jakamisen. Langattomat yhteydet ja pilvipalvelut ovat oleellinen osa kokonaisuutta, koska kerättävä data on tallennettava paikkaan josta se voidaan edelleen jakaa muille laitteille. (Arrow 2015.)

Esineiden ja asioiden internet ei rajoitu mihinkään tiettyyn sektoriin vaan sille voidaan löytää sovelluksia useilta toimialueilta muun muassa talotekniikassa, turvalaitteissa, lääketieteen laitteistossa, älyvaatteissa ja lukemattomissa kuluttajatuotteissa. Tässä opinnäytetyössä tulkitaan, että esineiden ja asioiden internet kohdentuu käsitteenä enemmän kuluttajille suunnattuihin tuotteisiin ja palveluihin kuin teollisuuden tarpeisiin. Teollinen internet on yritysten näkökulma verkkoon kytkettyihin älykkäisiin tuotteisiin ja palveluihin.

Yksi teollisen internetin varsin lyhyt määritelmä on älykkäät koneet, edistynyt analytiikka ja ihmiset. Koneet verkotetaan, analytiikalla jalostetaan koneiden tuottamaa informaatiota ja ihmiselle tarjotaan digitaalinen yhteys verkkoon. (Airikka 2015, 21.)

Teollinen internet voidaan jakaa älykkäisiin verkon muodostamiin laitteisiin, yhteiseen IT-alustaan, data-analytiikkaan ja informaation visualisointiin käyttäjille. Olennaisesti teknologiaan liittyvät pilvipalvelut, tietokantaratkaisut, ohjaus- ja automaatiojärjestelmät sekä linkit yritysten muihin tietojärjestelmiin. (Airikka 2015, 21.)

Teollinen internet mahdollistaa laitteiden ja koneiden monitoroinnin, järjestelmän ohjauksen, tuotannon optimoinnin ja autonomian. Teollisuus on perinteisesti toiminut suljetuissa intranet-järjestelmissä, mutta teollisen internetin myötä on järjestelmät avattava hallitusti asiakkaille, yhteistyökumppaneille, alihankkijoille ja edustajille. Teollista internetiä tukevat tuotteiden älykkyys, alhainen kustannustaso, nopeat tietoverkot, internet ja analytiikan kehitys. (Airikka 2015, 21.)

Industrie 4.0 eli Teollisuus 4.0 on Saksan hallituksen ajama kansallinen hanke, joka esitettiin Hannoverin teollisuusmessuilla vuonna 2011. Hankkeen lähtökohтана on maan valmistavan teollisuuden kilpailukyvyn säilyttäminen ja vahvistaminen. Sen keskeinen konsepti ja tavoite on älykäs tehdas. Konseptin mukaan tulevaisuuden tehtaissa äly on koneissa ja laitteissa, jotka viestivät keskenään. Tuotantoprosessia ohjaava järjestelmä toimii itsenäisesti ja optimoi toimintaansa analytiikan ja asetettujen määritysten rajoissa. Sille tunnusomaista on, että digitaaliset ratkaisut yhdistävät ihmiset, tuotteet, palvelut, asiakkaat ja alihankkijat. Liiketoiminta tulevaisuudessa on osa globaalia verkostoa ja muodostavat autonomisia kokonaisuuksia, joissa älykkäät koneet, tuotantoprosessit ja varastot toimivat reaaliajassa yhteen parantaen tuotteen elinkaaren ja toimitusketjun hallintaa. (Collin & Saarelainen 2016, 37-38.)

Internet of Everything on Ciscon lanseeraama termi, joka korostaa yhtiön visiota siitä, että lopulta kaikki verkottuu. Internet of Everything eli kaikkien internet yhdistää kuluttajan, yhteiskunnan ja teollisuuden näkökulmat tuomalla yhteen ihmiset, prosessit, datan sekä asiat ja esineet ja muuttamalla niitä koskevan informaation uusiksi mahdollisuuksiksi, rikkaammiksi kokemuksiksi ja houkutteleviksi liiketoimintatilaisuuksiksi yksilöille, yrityksille ja kansakunnille. (Juhanko ym. 2015, 5.)

Koneiden välisellä viestinnällä eli M2M:lla tarkoitetaan automaattista tietoliikennettä koneiden tai päätelaitteiden välillä. Viestintä voi tapahtua joko langattomasti tai kiinteän verkon yli. Laitteiden välinen viestintä on oleellinen osa esineiden internetiä. (Artte ym. 2015, 15.)

Teollisuusautomaatiossa M2M-palvelut ovat jo arkipäivää. Erilaiset anturit ja mittarit keräävät tietoa teollisuuskoneiden toiminnasta automaattisesti tietokantoihin. Reaaliaikaisen ja tarkentuneen tiedon avulla voidaan monitoroida ja etäohjata koneita. (Piiroinen 2008, 1.) Tähän mennessä sovellukset ovat vielä kuitenkin pääosin ihmisen ja koneen välistä viestintää. Teknologian ja järjestelmien kehittyminen kuitenkin mullistaa myös konekommunikaation jossa koneet alkavat aidosti viestiä keskenään ohjelmapohjaisen, verkotetun ja sisältötietoisien älykkyyden ohjaamana (Collin & Saarelainen 2016, 33). Monessa mielessä tällöin voidaan puhua jo teollisesta internetistä.

Kyberfyysiset järjestelmät ovat järjestelmiä, jotka ovat vuorovaikutuksessa fyysisen maailman kanssa. Järjestelmä tekee havaintoja, analysoi saadun tiedon ja lopuksi muuttaa käyttäytymistään sen mukaan. Tästä toiminnasta järjestelmät ovat saaneet nimensä: etuliite ”kyber” on lyhenne sanasta ”kyberneettinen” mutta viittaa tässä tapauksessa lähinnä järjestelmän virtuaaliseen toimintaan, kun taas ”fyysinen” sana viittaa järjestelmän kykyyn olla vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. (Vuorio 2010, 1.)

Kyber-fyysiset järjestelmät suunnitellaan yleisesti useamman laitteen laajuisina verkkoina. Nämä verkot koostuvat keskenään kommunikoivista sensoreista, toimilaitteista ja laskentayksiköistä. Järjestelmän kaikki edellä mainitut osat kuvitellaan yhdeksi suljetuksi kokonaisuudeksi, puhutaan järjestelmistä koostuvasta järjestelmästä. Tämä siirtää fokuksen yksittäisistä komponenteista niiden yhteistoimintaan. (Vuorio 2010, 1.)

Kyber-fyysisiä järjestelmiä ovat esimerkiksi älykkäät tehtaot, jossa sulautetut tietotekniset laitteet, älykkäät esineet, ihmiset ja ympäristöt yhdistyvät viestintäinfrastruktuurin välityksellä. Käytännössä tämä on sama asia kuin verkkoon kytketyt tuotteet ja palvelut tai yleinen esineiden internet. (Collin & Saarelainen 2016, 33.)

Teollisessa internetissä verkkoon kerääntyy dataa jatkuvasti suuria määriä ja useista eri lähteistä, kuten digitaalisten palveluiden käytöstä verkon yli, erilais-

ta koneista, sensorijärjestelmistä ja laitteista. Kun puhutaan tallennettavan tiedon äärimmäisen suuresta määrästä, puhutaan big datasta. (Collin & Saarelainen 2016, 199.)

Big datan hyödyntämiseen liittyvät kysymykset koskevat datan tallentamista, yhdistelemistä, siirtämistä ja ennen kaikkea datan analysointia. Big dataan liittyy tiedon käytön näkökulmasta läheisesti avoimuus. Tietoaineistojen vapaalla saatavuudella tavoitellaan uusien palvelujen lisäksi tehokkuutta ja läpinäkyvyyttä. (LVM 2014, 2-3, 17.)

Big datan käytön kannalta olennaista on, että verkot, niin kiinteät kuin langattomat, toimivat hyvin. Pienilläkin viiveillä voi olla ratkaisevan suuri merkitys erilaisien big dataan perustuvien ratkaisujen kannalta. Big datan analyysi ja erilaiset ratkaisut perustuvat usein reaaliaikaisen tiedon käyttöön. Niinpä pienetkin katkot tiedonkeruussa ovat kriittisiä. (LVM 2014, 15.)

Verkkoon liitettyihin laitteisiin, tuotteisiin ja komponentteihin kannattaa liittää järjestelmä, johon dataa voidaan kerätä, varastoida, käsitellä, analysoida ja ennustaa (Plattonen 2015). Yleinen trendi IT-ratkaisujen hankinnassa oman palvelimen tai konesalin sijasta ovat pilvipalvelut.

Pilvipalvelut ovat verkkoyhteyden välityksellä tarjottavia tietojenkäsittely- ja tallennuspalveluita. Tyypillisesti ne ovat usean käyttäjän kesken jaettuja tietoteknisiä resursseja joita voidaan käyttää internetin avulla riippumatta palvelun maantieteellisestä sijainnista. Yksityinen pilvipalvelu on tietyn organisaation vain omaan tarpeeseensa hankkima ja käyttämä.

Kun älykkäistä laitteista, tuotteista tai erilaisista sensoreista kerätty data tallennetaan keskitetysti paikkaan, josta siihen päästään helposti käsiksi, voidaan tuota datamassaa alkaa hyödyntää. Älykkäistä internetiin liitettyistä tuotteista ei ole hyötyä, ennen kuin yhteyttä käytetään johonkin, oli se sitten laitteen etäohjaamista tai datan keräämistä. Kerättyä dataa kannattaa käsitellä ja analysoida

eli jalostaa hyödylliseen muotoon. Käytännössä tämä tarkoittaa datan jäsentelyä, turhan tiedon pois karsimista ja tietojen yhdistämistä. (Plattonen 2015.)

Saatavilla on teollisen internetin tarpeisiin suunniteltuja pilvipalveluja, joissa tietovaraston lisäksi on laitehallintaa, analytiikkaa ja visualisointia tukevat työkalut (Collin & Saarelainen 2016, 202).

Teollisen internetin konkreettisten sovellutusten keskeisessä roolissa ovat sen ympärille kehittyvät ekosysteemit, jotka keräävät sisälleen ja yhteyteensä erilaisia yrityksiä ja toimijoita. (Ailisto ym. 2015, 30.) Verkostoitunut paikallinen tai alueellinen yhteistyö tuottaa tuotteita ja palveluita asiakkaille, jotka ovat myös osa ekosysteemiä. Tässä yhteydessä merkittävä tekijä on ekosysteemiin kuuluvien yritysten yhteinen kiinnostus tarvittavan teknologia-alustan ja sopivien komponenttien, tuote- ja palveluinnovaatioiden tarjontaan ja niiden menestymiseen. Ekosysteemi rakentuu luottamukselle ja kaikkien osallistujien hyötymiselle. Kaikkien liiketoiminnan ekosysteemin jäsenien tulee olla motivoituneita työskentelemään yhdessä hyödyttääkseen yhteisöä ja luodakseen arvoa ja kilpailuetua. (Hytti & Ruusunen 2016, 15–21.)

Käsitykseni mukaan ekosysteemi voidaan nähdä infrastruktuurina, joka tarjoaa systeemin keskiössä olevalle kaivokselle integroituja teollisen internetin ratkaisuja ja, joka mahdollistaa samalla pienille ja keskisuurille yrityksille palveluiden yhdistämisen ja liiketoiminnan toteuttamisen.

Teknologia-alusta tarjoaa rakenteellisen, teknologisen ja strategisen viitekehyksen uusien tuotteiden kehitykseen, sekä tuotteiden elinkaarenaikaiseen ylläpitoon. Yhteiseen teknologiaan perustuvia alustoja hyödynnetään uusien tuotteiden, tuoteperheiden ja prosessien kehittämisessä ja ylläpidossa siten, että yhteensopivuus edelliseen, nykyiseen ja tulevaan tuotesukupolveen, sekä ekosysteemeihin säilyy. (Juhanko ym. 2015, 15.)



## 5 TEOLLISEN INTERNETIN HYÖDYT JA HAASTEET

### 5.1 Tavoiteltavat hyödyt ja mahdollisuudet

Digitalisaation mukanaan tuomia hyötyjä voidaan kuvata erikseen yritysten, yhteiskunnan ja kuluttajan näkökulmasta. Yhteiskunnalle digitalisaation hyödyt näkyvät tietoyhteiskunnan kehittymisenä ja integroitujen digitaalisten palveluiden syntymisenä. Kuluttajalle ne ilmenevät esineiden ja asioiden internetin näkökulmasta. Yritysten tavoittelemat hyödyt tulevat pääasiassa teollisen internetin myötä ja ne voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: toiminnan tehostaminen, tuotteiden arvon kasvattaminen tai kokonaan uusi liiketoimintamalli. (Juhanko ym. 2015, 20–22.)

Nykyisen liiketoiminnan tehostaminen ja pääoman tehokas käyttö ovat ensimmäinen tavoite teollisen internetin soveltamiselle. Vaikutukset näkyvät suoraan yrityksen kustannuksissa. Toinen merkittävä tavoite on kehittää olemassa olevia tuotteita ja palveluita entistä älykkäämmiksi sisällyttämällä niihin uusia ominaisuuksia, lisäämällä asiakaskohtaista räätälöintiä ja parantamalla käytettävyyttä. Tämä nostaa nykyisen liiketoiminnan asiakasarvoa, ja sen myötä saada aikaan yritykselle liikevaihdon ja kannattavuuden kasvua. Kolmanneksi on tarkasteltava täysin uusia liiketoimintamalleja. Uudet ratkaisut mahdollistavat uutta liiketoimintaa esimerkiksi palveluliiketoiminnan muodossa. Palveluliiketoiminta voi korvata joko osin tai jopa kokonaan aikaisemman liiketoimintakonseptin. Perinteinen asiakas-palveluntuottaja -suhde muuttuu, kun loppuasiakkaan saama lisäarvo tuotetaan verkottuneesti, yhteistyössä eri palvelu- ja teknologiaratkaisujen tuottajien kanssa. (Jaakkonen ym. 2016, 17; Quava 2017, 6.)

Monilla liiketoiminnan osa-alueilla on hyötyä ajantasaisesta tiedosta ja sen jalostamisesta päätöksenteon tueksi. Kerätyn datan ja siitä jalostetun tiedon paremman hyödyntämisen kautta yritys voi tehostaa toimintaansa. Mikäli tiedon saatavuus olisi helpompaa, se mahdollistaisi uusien entistä kustannustehokkaampien palveluiden luomisen. Tähän teollinen internet tarjoaa toimivia ratkaisuja.

Teollisen internetin avulla yritys voi hyödyntää tietoa ainakin viidellä eri tavalla. Ensimmäiseksi, useista eri lähteistä kertyvän datan kokoaminen ja tiivistäminen merkitykselliseksi tiedoksi johtaa parempaan kokonaiskuvan hahmottamiseen. On tärkeää tietää, mitä todella tapahtuu yrityksen prosesseissa ja miten eri tekijät ja ilmiöt liittyvät toisiinsa. Toiseksi, teollisen internetin ominaispiirre eli tiedon jalostamiseen liittyvä automaatio tuo lisää nopeutta ja tarkkuutta esimerkiksi vianselvitystilanteisiin. Kolmas tiedon hyödyntämisen tapa on toiminnan ennakoitua. Erityisesti ennakoiva kunnossapito hyötyy paljon teollisen internetin tuomasta tiedosta ja useisiin muuttujiin perustuvista ennusteista. Neljäs tapa hyödyntää tietoa on mahdollistaa liiketoiminnan kasvu esimerkiksi asiakaskäyttäytymisen paremman ymmärtämisen kautta. Laittevalmistajan tietäessä tarkasti, miten asiakkaat yksittäisiä laitteita käyttävät, on mahdollista tarjota huolto ja käytön ohjaus paremmin kuin mihin asiakas itse omilla tiedoillaan pystyisi. Viimeiseksi, viides tiedon hyödyntämisen tapa liittyy hiljaiseen tietoon ja sen saattamiseen koko organisaation tiedoksi. (Ackerman ym. 2016.)

Teollinen internet pelkkänä teknologiana ei edistä yritysten kilpailukykyä, vaan se toimii mahdollistajana toiminnan tehostamiselle ja uuden liiketoiminnan käynnistämiseksi. Palveluliiketoiminnassa palvelu liitetään osaksi tuotetta. Onnistunut palveluliiketoiminta edellyttää asiakkaan prosessien tuntemista ja niihin tarttumista. Asiakas haluaa lisäarvoa, jota ei omassa organisaatiossa ole tai johon ei olla valmiita panostamaan. Kyse on monesti asiantuntemuksen myynnistä. (Rantanen 2017, 1.)

Laitteiden ja laitekannan kunnonvalvonta, kunnossapito, kehittäminen ja modernisointi ovat esimerkkejä teollisten yritysten palveluliiketoiminnasta, jossa teollista internetiä voidaan hyödyntää monin tavoin. (Ackerman ym. 2016.)

Yksittäisistä laitteista tai prosesseista saatava tieto ja sen pätevä analysointi on tärkeä ja ensimmäinen lähtökohta sille, että palvelu voidaan kohdentaa oikeaan tarpeeseen ja oikeaan aikaan. Selkeää kustannussäästöä tuo se, että laitteiden toimintavarmuus säilyy hyvänä ja että kunnossapito- ja kehittämistoimet pystytään ennakoimaan ja kohdentamaan oikein. Oikein aikataulutettu va-

raosvaihto tai huolto ei ole vain kustannuskysymys, vaan myös turvallisuusasia ja keskeinen osa yrityksen riskienhallintaa. (Ackerman ym. 2016.)

Tiedon analysoinnin suurin hyöty tavoitetaan automaation kautta. Kun datan käsittely on täysin automatisoitua, reaaliaikaista, ja turvallista voidaan tehdä ennakkoon tulkintoja ja päätöksiä joiden avulla liiketoiminta voidaan ohjata oikeaan suuntaan. (Quava 2017, 14–15.)

## 5.2 Kehittämisen käytännön haasteet

Teollisella internetillä on hyötyjen ja mahdollisuuksien lisäksi myös joitain haasteita tai riskitekijöitä, jotka voivat hidastaa teollisen internetin käyttöönottoa ja kehittymistä. Tässä kappaleessa kuvataan teollisen internetin mukanaan tuomia teknistaloudellisia haasteita teollisuusyritysten näkökulmasta.

Morgan Stanley- ja Automation World -lehti ovat selvittäneet muun muassa kyselytutkimuksella vuonna 2015, että kaksi teollisen internetin tärkeintä haastetta ovat tietoturvariskit ja standardoinnin puute. Muita havaittuja haasteita ovat olleet muun muassa vanha laitekanta, merkittävät alkuinvestoinnit, työntekijöiden osaamisen puute, tiedon eheys, järjestelmien yhteensopivuus ja teknologian luotettavuus. (Morgan Stanley 2016.)

World Economic Forumin kyselytutkimuksen mukaan kaksi teollisen internetin tärkeintä haastetta ovat järjestelmien yhteensopivuus ja tietoturvariskit. Muita havaittuja haasteita ovat olleet muun muassa turvallisuus, liiketoimintamallien puute, vanha laitekanta, tietoliikenneyhteyksien ja sensorien puute, työntekijöiden osaamisen puute ja teknologian kypsyttömyys. (World Economic Forum 2015, 10–11.)

Kuten edellä kuvatut kyselytutkimukset osoittavat, liittyy teollisen internetin leviämiseen vielä runsaasti erilaisia haasteita joista tärkein on tiedon turvallisuuden liittyvä tietoturvariski. Tyypillisiä tietoturvariskejä ovat järjestelmään kohdis-

tuva tietomurto, data-yhteyden riittämätön suojaus, ohjelmistovirheet, palvelunestohyökkäys ja haittaohjelmat.

Teollisen internetin ekosysteemin toimivuuden kannalta on järkevää toimia avoimessa ympäristössä, missä yrityksen yhteistyökumppaneilla on mahdollisuus päästä käsiksi tietoihin ja palveluihin internetin välityksellä. Verkottuminen ja pilvipalvelut liittyvätkin olennaisesti tietoturvariskiin. Teollisen internetin kehityksen kannalta on tärkeää, että yritykset pystyvät tunnistamaan riskit ja rakentamaan toimivat ratkaisut tietoturvaongelmien hoitamiseksi. Jo yksikin merkittävä tietomurto jossakin yrityksessä voisi hidastaa teollisen internetin kehitystä.

Kyselytutkimuksen mukaan toinen merkittävä ongelma teollisen internetin hyödyntämisessä on se, miten eri järjestelmät kytetään liittämään toisiinsa. Tällä hetkellä tiedonsiirtojen rajapintojen standardit vielä puuttuvat ja järjestelmät ovat hyvin hajautettuja. Verkkoon kytketyt laitteet ja internet eivät vielä riitä, vaan järjestelmien pitäisi pystyä paremmin kommunikoimaan keskenään. Kilpailu standardeista ja alustoista on vielä ratkaisematta. (Lindroos ym. 2016, 35.)

Teollisen internetin kehityksen kannalta olisi hyvä löytää yhteiset toimintatavat ja pelinsäännöt eli standardit. Standardit ovat tärkeitä, koska ne varmistavat järjestelmän toimivuuden eri laitevalmistajien kesken ja takaavat sen, että ratkaisut voidaan siirtää uusiin laitteisto- ja ohjelmistoympäristöihin mahdollisimman vaivattomasti. Tällä hetkellä teollisen internetin ratkaisut ovat enemmän tai vähemmän laitevalmistajasta riippuvaisia asiakaskohtaisia ratkaisuja. Kyseinen teknologia ei välttämättä valikoidu myöhemmin standardiratkaisuksi. Tästä syystä moni yritys odottaa, että toimintatavat ja standardit selkiytyvät ennen kuin panostavat teolliseen internetiin tosissaan.

IEEE standardointijärjestöllä on meneillään P2413-standardointihanke, jonka tarkoituksena on määritellä yhtenäinen arkkitehtuurikehys eri IoT-sovellusaloille. (IEEE 2017.)

Vanha laitekanta hidastaa teollisen internetin kehitystä monissa teollisuusyrityksissä, joilla on paljon asennettua laitekantaa ympäri maailman. Koska vanhaa laitekantaa on paljon, teollinen internet rakentuu palasista ja laitekohtaiset ratkaisut ovat tästä syystä räätälöityjä. Teknologian uusiminen olisi teoriassa mahdollista, mutta se on kallista ja hankalaa. Teknologian uusiminen puhtaalta pöydältä on paljon helpompaa ja mahdollistaa myös uusimman teknologian käytön. (Lindroos ym. 2016, 36–37.)

Laitteet ja koneet on modernisoitava, jotta teollinen internet tulevaisuudessa saadaan tehokkaaseen käyttöön. Harvalla kuitenkaan on mahdollisuus uusia koko laitekantaansa kerralla. Tästä syystä teollinen internet etenee osittain laitekannan uusiutumisen tahdissa. (Lindroos ym. 2016, 37.)

Teollisen internetin aikana älykkäistä laitteista, tuotteista tai erilaisista sensoreista kerätyn datan arvo ja siihen liittyvät mahdollisuudet saavat uuden merkityksen. Kyky ymmärtää ja analysoida tietoa nopeasti on oleellinen tekijä, sillä tulevaisuudessa teollinen internet perustuu nimenomaan tietoon ja sen arvoon. Tästä syystä yritykset joutuvat panostamaan suurten datamassojen käsittelyyn ja analysointiin liittyvään osaamiseen sekä uusien dataan perustuvien liiketoimintamallien kehittämiseen. Teollisuudessa on perinteisesti ollut kyse fyysisistä koneista, raaka-aineista ja tehtaista. Digitaalisessa maailmassa kaiken ytimessä ovatkin data ja sen analysointi sekä uudelleen käyttö. (Lindroos ym. 2016, 37.)

Datamassojen hyödyntämiseen liittyvät haasteet voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: osaamiseen, tekniikkaan ja organisaatioon liittyviin haasteisiin.

Big dataan liittyvät osaamisvaatimukset ovat osin uusia ja seurausta big datan uudentyypisistä ominaisuuksista. Big datan hyödyntäminen edellyttää soveltamisympäristön tuntemusta muun muassa IT-infrastruktuurin hallintaa, datamassojen yhdistelyn ja analysoinnin menetelmien osaamista sekä ymmärrystä datamassojen merkityksestä ja siitä, miten dataa voidaan tapauskohtaisesti hyödyntää organisaation toimintaa tukevalla tavalla. (Heikkilä 2014.)

Tekniset haasteet liittyvät pääsääntöisesti toteutusvalintoihin. Big data on käsitteenä laaja ja erilaisia teknisiä toteutusvaihtoehtoja on runsaasti. Ei ole olemassa yksittäistä parasta ratkaisua vaan toteutus määräytyy tapauskohtaisesti. Selkeiden referenssien, parhaiden käytäntöjen ja standardien puuttuessa organisaatioilla on haasteita muodostaa kokonaisvaltaista näkemystä ja tehdä big dataan liittyviä teknisiä valintoja. (Heikkilä 2014.)

Organisaatioon liittyvät haasteet ovat kulttuuriin ja toimintatapoihin liittyviä seikkoja, jotka aiheuttavat haasteita big datan käyttöönotolle ja hyödyntämiselle. Big datan hyödyntäminen edellyttää, että organisaation kulttuuri ja vallitsevat tavat toimia tukevat tietoon pohjautuvaa päätöksentekoa. Big datan mahdollisuudet ja hyödyt hahmottava yrityksen johto on edellytys sen onnistuneelle käyttöönotolle. Toisaalta käyttöönotto ja tavoitteiden saavuttaminen voivat muodostua yhtä lailla haasteelliseksi, jos big dataan liitettävä visio on rakennettu epärealistiseksi. (Heikkilä 2014.)

Edellä esitettyjen haasteiden lisäksi esille voidaan nostaa vielä asioita, jotka voivat aiheuttaa haasteita big datan käyttöönotolle, kuten yksityisyyden suojaan ja henkilötietojen käsittelyyn liittyvä lainsäädäntö sekä tiedon omistajuuteen liittyvät seikat. Kuka omistaa teollisen internetin sovelluksista kerätyn tiedon?

## 6 KAIVOSYMPÄRISTÖN ASETTAMAT VAATIMUKSET TEKNOLOGIALLE

Kaivoksissa on useita kohteita joissa tarvitaan tiedonsiirtoa, kuten laitteiden ja kaivostyökoneiden ohjaus ja valvonta, henkilöiden ja ajoneuvojen paikannus ja kulunvalvonta sekä henkilöiden välinen informaation siirto. Nopeasti kehittyvä kaivosautomaatio asettaa myös vaatimuksia tietoliikennetkaisuille. Tiedonsiirto-kanavia pitkin on kyettävä välittämään niin mittaukset, prosessin säädöt, ääni kuin kuvakin. Tällaiseen ei langallisilla ratkaisuilla pystytä helposti. Näiden lisäksi kaivosympäristössä on useita muita tekijöitä, minkä takia langattomuus on olennainen tekijä ajatellen tiedonsiirron toteutusta.

Kaivoksissa liikkuminen on rajoitettua ja kontrolloitua, koska niissä liikkuu lastauskoneita sekä huolto- ja tarkastusajoneuvoja. Lastauskoneet ja ajoneuvot voivat tukkia käytävät kokonaan. Lisäksi voidaan suorittaa räjäytyksiä eri aikoina kaivoksesta riippuen. Turvallisuutta ajatellen kaikkien laitteiden ja henkilöiden paikkatieto tulisi olla saatavilla keskitetysti. Tästä johtuen yksi tiedonsiirrolle asetettava kriteeri on, että sitä pitäisi pystyä käyttämään paikannuksessa hyödyksi. (Keski-Säntti 2005, 3.)

Lämpötila kaivoksissa on yleensä tasainen, mutta sekä kosteutta että pölyämistä voi esiintyä runsaasti. Myös työkoneissa esiintyvät värinät voivat olla huomattavia. Laitteiden tulee olla suunniteltuja kestäämään rasituksia, niiden tulee olla koteloituja ja ne pitää sijoittaa sellaiseen paikkaan, että niiden toiminta on luotettavaa. (Keski-Säntti 2005, 3.)

Ympäristönä kaivokset ovat muuttuvia tunneliverkostoja, jolloin myös tiedonsiirtoverkon pitää olla joustavasti muunneltavissa vastaamaan uutta tilannetta. (Keski-Säntti 2005, 3.)

Käytäväverkoston laajuudesta johtuen työkoneet ja henkilöt joutuvat työskentelemään usean tietoverkon tukiaseman alueella. Tästä syystä yhteyden siirtyminen tukiasemasta toiseen täytyy tapahtua täysin automaattisesti. (Keski-Säntti 2005, 3.)

Kaivoskäytävissä signaalien kantavuus voi olla suurempi kuin aukeassa tilassa, vastaavasti vaadittavat kantomatkat signaalille voivat olla pitkiä. Kaivoskäytävissä esiintyvät mutkat sekä risteykset lyhentävät kantavuutta ja siten asettavat omat vaatimuksensa järjestelmän toteuttamiselle. Myös kaivostunneleissa liikkuvat koneet voivat vaikuttaa kantavuuteen. (Keski-Säntti 2005, 3.)

Erilaisten mittausantureiden tarvitsema tiedonsiirtokapasiteetti anturilta tiedonkeruuyksikölle vaihtelee. Mikäli tiedonsiirtoa halutaan käyttää kaivoskoneiden etäohjauksessa, muodostuu tärkeäksi tekijäksi tiedonsiirron kapasiteetti, koska tällöin on tarpeellista välittää myös kuvallista ohjausinformaatiota. (Keski-Säntti 2005, 3.)

Tiedonsiirron nopeus on tärkeää, koska etäohjattujen laitteiden tulee olla täsmällisesti käytettäviä. Nopeus riippuu lähetystehon ja käytössä olevan taajuuskaistan rajoituksista. Käytettävä tiedonsiirtoprotokolla on myös tärkeä tekijä ajatellen tiedonsiirron nopeutta, sillä riippuen sovelluksesta tulee käytettävän protokollan sisältää riittävä virheen havainnointi ja virheellisen tiedon uudelleen lähettäminen tai korjaus. (Keski-Säntti 2005, 3.)

Mitä suurempia tietomääriä siirretään verkossa, sitä suurempia ovat laitteistojen vaatimat tehot. Vaikka itse tiedonsiirto voi olla langatonta, tarvitsevat laitteet ja tukiasemat virtalähteen. Liikkuvien laitteiden virransyöttö voidaan toteuttaa akuilla, mutta tukiasemat tarvitsevat liittymän sähköverkkoon. (Keski-Säntti 2005, 3.)



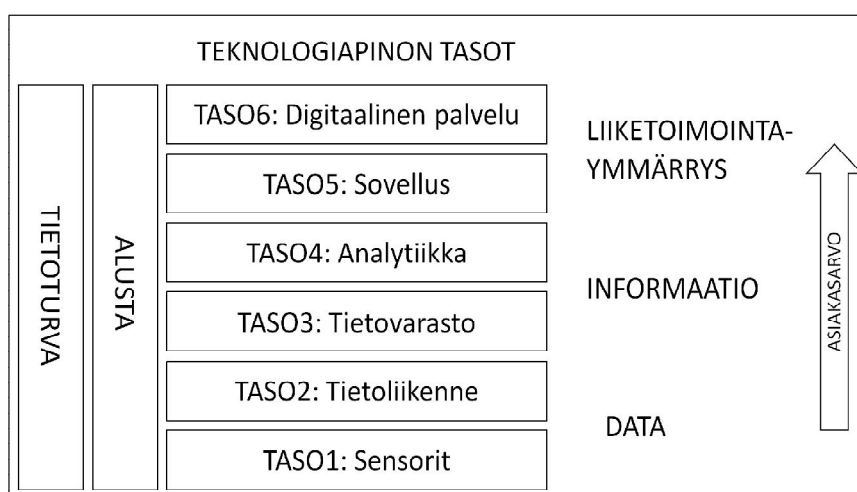
## 7 TEOLLISEN INTERNETIN MAHDOLLISTAVA TEKNOLOGIA

### 7.1 Infrastrukturi

Arkkitehtuurisesti teollisen internetin infrastrukturi koostuu ohjelmistoista, sovelluksista, verkostoista, laitteista, tuotepilvestä, alustoista sekä toimintaa säätelevistä säännöistä. (Ailisto ym. 2015,13.)

Teknisesti teollisen internetin ratkaisut koostuvat perusmuodossa laitteisiin liittyvistä sensoreista ja paikallisen tiedon käsittelyyn soveltuvista päätelaitteista, ohjausyksiköistä, tiedonsiirtoväylästä, datavarastosta ja kehittyneestä analyysikyvykkyydestä. Näillä komponenteilla yksittäisestä laitteesta voidaan kerätä laitteen toimintaan liittyvää dataa, hyödyntää sitä päätöksenteossa ja ohjata laitteen toimintaa. (Ingalsuo 2015, 25–26.)

Teollisen internetin infrastruktuuria kuvataan yleisesti teknologiatasojen mallina. Kuviossa 1 on esitetty Collinin (Collin & Saarelainen 2016, 142) näkemys teollisen internetiin keskeisesti liittyvistä teknologiatasoista. Collin on ottanut lähtökohdaksi kuusitasoisen version, koska se sisältää toteutuksen ja hankinnan näkökulmasta selkeät tekniset kokonaisuudet.



Kuvio 1. Teollisen internetin teknologiset tasot (Collin & Saarelainen 2016, 142).

Kuviossa 1 tasolla 1 ovat mittaustietoa tuottavat sensorit, joita on asennettu koneisiin ja laitteisiin. Tasolla 2 sensoreista saatu tieto siirtyy tietoliikenteen avulla keskitettyyn tasolla 3 olevaan tietovarastoon, tyypillisesti pilvitietokantaan. Tiedonsiirto kulkee myös toiseen suuntaan esimerkiksi etähallinnan toimenpiteiden takia. Tasolla 4 datamassa käsitellään pilvilaskennan ja big data-analytiikan avulla. Tasolla 5 data siirtyy tietokone- ja mobiilisovelluksiin esimerkiksi graafisena esityksenä, käyttöliittymän ja kojelaudan muodossa. Tasolla 6 ovat älykkäät digitaaliset palvelut, jotka yhdistyvät yrityksen liiketoimintaprosesseihin. Digitaaliset palvelut yhdistävät asiakkaat, toimittajat ja muut avainkumppanit liiketoimintaprosesseihin ja malleihin (Collin & Saarelainen 2016, 143). Ylimpänä kuvassa olevat liiketoimintaa tukevat digitaaliset palvelut kytkeytyvät siis alimmalla tasolla oleviin laitteisiin ja sensoreihin välissä olevien tasojen kautta. Dataa syntyy kuvan alareunassa, se jalostuu ja siirtyy kohti liiketoimintaa.

Infrastruktuuria kuvaavassa teknologiapinossa tulee lisäksi huomioida myös vertikaaliset palvelukokonaisuudet, kuten tietoturva, standardit, integraatio-, operointi- ja hallintapalvelut sekä käyttöjärjestelmät. (Ailisto ym. 2015,13.)

Teollisen internetin ratkaisut eivät rajaudu pelkästään digitaaliseen automaatioon, vaan olemassa olevilla IT-järjestelmillä ja niiden välisellä integraatiolla on merkittävä rooli. Kaivoksessa erilaisia ja eritasoisia IT-järjestelmiä käytetään muun muassa tuotannon automatisointiin, tuotannon tuotannonohjaukseen ja toiminnanohjaukseen.

Teollisen internetin infrastruktuurin rakentaminen kattavaksi vaatii väistämättä investointeja. Mitä paremmin olemassa oleva IT-järjestelmien kokonaisarkkitehtuuri on rakennettu sitä helpompi ja nopeampi on rakentaa uudet teollisen internetin sovellukset (Collin & Saarelainen 2016, 144).

## 7.2 Sensorit

Sensoreita, kuten myös niiden määritelmiä löytyy useita. Joissain yhteyksissä sensorin synonyymiksi mielletään käsite anturi. Tässä työssä näiden kahden

käsitteen välillä on kuitenkin ero. Anturilla tarkoitetaan laitetta, joka mittaa jotain fysikaalista suuretta ja lähettää tietonsa joko visuaalisesti käyttäjälle tai jonain viestinä ohjausjärjestelmälle. Sensori sen sijaan on kokonaisuus, joka pystyy käsittelemään mittausviestejä monipuolisemmin. Tämän tekee mahdolliseksi tietotekniikan käyttäminen mittausviestin käsittelyssä. Sensoreiden jaottelu, vaatimukset ja määritelmät riippuvat käytettävästä sovelluksesta ja siitä millaista informaatioita ne on suunniteltu käsittelemään sekä käytössä olevasta teknologiasta.

Sensorit voidaan jakaa yksinkertaisiin sensoreihin ja älykkäisiin sensoreihin. Yksinkertaisten sensoreiden tehtävä voisi jaon mukaan olla tietyn fysikaalisen suureen mittaus ohjauksen mukaan. Mittausdataa keräävän laitteen on kyettävä ottamaan sensorilta tuleva data vastaan reaaliajassa. Lisäämällä toiminnallisuutta sensori kykenee varastoimaan tietoa hetkellisesti ja muuttamaan mitatun datan digitaaliseen muotoon. Tällaiset sensorit eivät vielä sisällä minkäänlaista omaa tiedon prosessointia tai analysointia. Älykäs sensori voisi puolestaan tarjota reaaliaikaista tietoa laitteen tilasta ja ympäristöolosuhteesta yhdistämällä useampia mittaustoimintoja prosessoinnin avulla. Kerätyn tiedon perusteella niiden tarkoitus on vaikuttaa toisten laitteiden ja prosessien tilaan. Älykkäät sensorit voivat analysoida ja prosessoida kerättyä tietoa jatkokäyttöä varten lähellä sen syntyäpaikkaa. (Taiponen 2006, 28; Manninen 2008, 4.) Tarvittaessa sensoreista kerätty tieto voidaan lähettää verkon yli pilvipalveluun.

### 7.2.1 MEMS-anturit

MEMS tulee sanoista Micro Electro Mechanical Systems ja se tarkoittaa mikroelektroniikan ja mikromekaniikan yhdistämistä. MEMS-tekniikan avulla saadaan mikromekaaniset anturit ja toimilaitteet integroitua mikroelektroniikkaan. MEMS-antureissa käytetään perusmateriaalina piitä, koska sillä on hyvät mekaaniset ja sähköiset ominaisuudet. Pii ei muun muassa väsy kuten metallit ja palautuu aina samaan asentoon taivutuksen jälkeen. (Ihalainen 2014, 42.)

MEMS-komponenttien avulla on mahdollista tehdä uusia pienikokoisia mittauslaitteita, joiden suorituskyky ylittää nykyiset ratkaisut ja mahdollistaa samalla alhaisen tehonkulutuksen ja alhaisen yksikköhinnan. Yksi MEMS-komponentti voi olla 1-100 mikrometrin kokoinen ja itse anturi voi ylittää 20 mikrometrinä millimetriin. (Collin & Saarelainen 2016, 152.)

MEMS-teknologiaan perustuvalla kiihtyvyyssanturilla voidaan mitata tärinää, iskuja ja nopeuden muutoksia, joista on hyötyä esimerkiksi kaivostutkimuksessa sekä seismisten tapahtumien ja rakennetun infrastruktuurin kunnan valvonnassa.

### 7.2.2 Energiansyöttö

Sensorilaitteet käyttävät virtaa mittaamiseen, datan prosessointiin ja viestintään. Mikäli sensorilaitteelta vaaditaan sijaintitietoa, virtaa kuluttaa myös paikannusjärjestelmä. Virran loppuminen laitteelta voi aiheuttaa ongelmia lähinnä etäisissä tai vaikeasti saavutettavissa käyttökohteissa. Sensoriverkoissa virran loppuminen laitteelta saattaa aiheuttaa merkittäviä muutoksia verkon topologiaan ja johtaa reititysmuutoksiin, jopa koko verkon organisointiin uudelleen (Vaara-Sjöblom 2008, 7).

Joissakin käyttökohteissa sensorilaitteiden huoltaminen, esimerkiksi pariston vaihto, on hankalaa tai jopa mahdotonta. Tällaisissa tapauksissa laitteen käyttöikä on sama kuin pariston kesto. Langattomassa sensoriverkossa voi olla jopa satoja laitteita sovelluksesta riippuen ja ne voivat sijaita laajalla alueella. Paristojen vaihto sensoriverkon laitteille ei välttämättä ole aina edes taloudellisesti kannattavaa.

Kaapelointia voidaan käyttää laitteiden sähköistykseen ja liittämiseen automaatiojärjestelmään. Mikäli järjestelmässä on paljon laitteita, tarvitaan paljon kaapelointia. Sensorilaitteen ympäristöolosuhteet voivat olla joskus hyvinkin haasteellisia. Esimerkiksi kaivoksissa kaapelointia ei voida toteuttaa turvallisuussyistä,

ympäristön rasituksesta johtuen tai ympäristö muuttuu niin usein, että toistuvat muutokset estävät käytännössä kaapeloinnin (Keski-Säntti 2005, 3).

Kaapelointia voidaan joutua käyttämään sähköistykseen, jos laitteiden virrankulutus on korkea. Jos sensorilaitte on kiinteässä ethernet-verkossa, se voidaan sähköistää ethernet-kaapelin kautta PoE-tekniikan avulla. PoE-tekniikka on yksi vaihtoehto kohteisiin, joihin erillinen sähköistys on vaikea tai kallis järjestää.

Tulevaisuuden laitteissa ei datakaapelointia enää ole, vaan mittaustiedonsiirto ja viestintä hoidetaan langattomasti. Keskeisenä tavoitteena tulevaisuuden laitteissa onkin langattomuus ja alhainen energiankulutus. Laitteiden alhainen energiankulutus, uusien virransyöttömenetelmien ja virransäästöominaisuuksien kehittäminen on avainasemassa langattomissa sensori- ja sensoriverkkosovelluksissa, koska tavoitteena on myös toiminnallisesti mahdollisimman pitkäikäinen sensori ja sensoriverkko (Vaara-Sjöblom 2008, 8).

Sensorilaitteelle pidempää käyttöikää pyritään hakemaan rajoittamalla sen energiankäyttöä. Pariston kesto riippuu radioliikenteen tyypistä ja liikenteen määrästä (Collin & Saarelainen 2006, 161). Sensorilaitteiden käyttö voidaan jaksottaa erilaisiin toiminnallisiin tiloihin, joista jokainen tila kuluttaa tietyn virtamäärän käyttöjaksonsa aikana. Käytännössä käyttöjaksot pyritään määrittämään mahdollisimman lyhyeksi ja lepojaksot mahdollisimman pitkiksi. Yleisiä toimintatiloja ovat muun muassa: laitteen herätys, mittaus ja tiedon muokkaus viestimutoon, RF-vahvistimen käynnistäminen, viestin välittäminen, ja RF-vahvistimen sammuttaminen. Kaksisuuntaisissa sensoreissa toimintatiloja ovat herätys, vastaanottimen käynnistys, tiedon vastaanotto ja käsittely, viestiin reagointi ja sammuttaminen. (Canzian 2016, 32.)

Yleistymässä ovat sensorit, jotka kykenevät keräämään energiaa ympäristöstä. Ne pystyvät itse tuottamaan tarvitsemansa energian esimerkiksi säteily-, liike-, ja lämpöenergiasta sekä biokemiallisesta energiasta. (Nisu 2016, 15–25.) Lou-

hittu energia voi toimia akun rinnalla lisäenergiamuotona ja sen avulla voidaan jatkaa sensorilaitteiden elinikää.

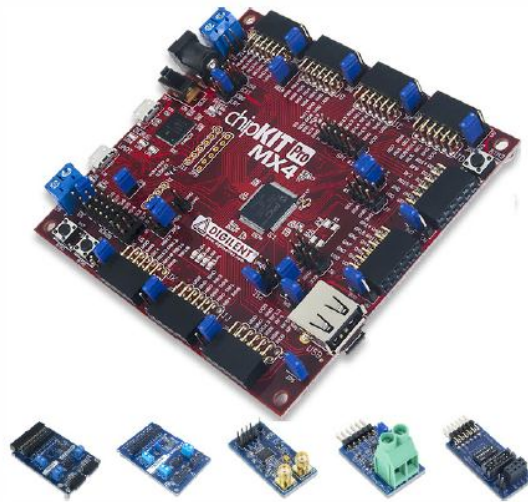
Tulevaisuudessa virtaa voi syöttää sensoreille langattomasti. Menetelmä perustuu Power over Wi-Fi-tekniikkaan, jossa hyödynnetään WLAN-tukiaseman ympäristöönsä säteilemiä radiosignaaleja, joiden energia riittää vähävirtaisille sensoreille. Tasaisen virransyötön muodostamiseksi WLAN-reititin lähettää datavirran rinnalla vapaana olevilla radiokanavilla niin sanottuja energiapakettilähetyksiä. Energian hyödyntäminen vaatii radiosignaalin muuttamisen sähköksi ja sen syöttämisen sensorille tai ladattavalle paristolle. (Collin & Saarelainen 2006, 162.)

### 7.3 Teollisen internetin liitännäkortit

Teolliseen internetiin suunniteltu laite koostuu yleensä yhdestä mikro-ohjaimesta tai muusta suorittimesta ja joukosta antureita joko suoraan laitteeseen integroituna tai langattoman yhteyden kautta. Laitteessa tarvitaan myös internet-yhteys, joka on useimmiten langaton. Internet-yhteyden lisäksi laitteessa voi olla yhteydet paikallisiin anturiverkkoihin ja toimilaitteisiin. Lähes kaikissa laitteissa tarvitaan käyttöliittymä ainakin toimintojen konfigurointia varten. Käyttöliittymä on nykyisin yhä useammin nettiselainpohjainen ja pilvessä toimiva. (UT 2016, 26-28.)

Laitteen varsinaisia toimintoja varten mikro-ohjaimen tulee liittää antureita ja toimilaitteita. Yleisimpiä toimilaitteita on rele- tai puolijohdekytkin. Joissakin sovelluksissa tarvitaan myös moottorinohjausta. Antureilla on hyvin tärkeä, monesti jopa päärooli teollisen internetin sovelluksissa. Monet verkkoon liitetyt laitteet ovat itse asiassa pelkkiä antureita, ja jokaisessa laitteessa on vähintään yksi anturi. Eniten käytettyjä ovat lämpötila- ja kosteusanturit, muita yleisiä tyyppejä ovat liikeanturit, paineanturit, erilaisten kaasujen ilmaisimet ja magneettikenttää mittaavat anturit. (UT 2016, 26–28.)

Kuvassa 1 on PIC32-mikro-ohjaimen perustuva teollisen internetin laitealusta. Kortin reunoilla näkyviin liittimiin voi liittää Pmod-yksiköitä, joita on noin seitsemänkymmentä erilaista, ja joihin kuuluu antureita, toimilaitteita ja näyttöjä. Kortin alapuolella näkyy muutamia esimerkkejä.



Kuva 1. PIC32-mikro-ohjaimen perustuva teollisen internetin laitealusta (UT 2016, 28).

#### 7.4 Langattoman tiedonsiirron menetelmien esittely

Internet-yhteyden lisäksi teollisessa internetissä tarvitaan usein paikallisia langattomia yhteyksiä, joiden kautta sovellukset, laitteet ja sensorit ottavat yhteyden toisiinsa. Langatonta tiedonsiirtoa varten markkinoilla on useita eri teknologiavaihtoehtoja joista uusimmat on suunniteltu esineiden ja teollisen internetin tarpeisiin. Oikean tiedonsiirtotekniikan löytäminen eri sovelluksiin voi olla haastavaa. Jokaisella tekniikalla on omat vahvuudet ja heikkoudet. Pääasialliset erot muodostuvat kuitenkin radiosignaalin kantamasta, tiedonsiirron nopeudesta ja kaistasta, verkkotopologiasta, tehonkulutuksesta ja tietoturvasta (Collin & Saarelainen 2016, 171).

##### 7.4.1 Wi-Fi-verkot

Yleisesti käytössä ovat erilaiset Wi-Fi-verkot. Ne pohjautuvat IEEE:n langattoman tiedonsiirron standardiin 802.11 ja noudattavat suoraan ethernet-verkon

tähtitopologiaa. Tekniikan tärkein käyttökohde onkin muodostaa langaton lähiverkko, joka voi myös tarjota yhteyden kiinteään tietoverkkoon. (Reiter 2014, 6.)

Suurin osa Wi-Fi-verkoista toimivat 2,4 GHz:n taajuudella. Ne voivat toimia myös 5 GHz:n taajuudella, jolloin käytettävissä on suurempi tiedonsiirtonopeus ja enemmän kanavia (Reiter 2014, 7). Verkon tiedonsiirtonopeus riippuu käytetystä standardista. Standardille 802.11 tiedonsiirtonopeus on 2 Mbps. Standardi 802.11ac tuo jopa 1 Gbps nopeuden WLAN-verkkoon (Cisco 2014, 5). Vastavasti signaalien kantamat edellä mainituille standardeille ovat 20 m ja 35 m.

Kaikki teolliseen internetiin liitetyistä laitteista eivät tarvitse laajaa tiedonsiirtoa ja suurta siirtonopeutta, sen sijaan suuri siirtoetäisyys on usein tärkeämpi ominaisuus. Esimerkiksi Wi-Fi-verkon ominaisuudet ovat juuri päinvastaiset, siirtonopeus on suuri mutta kantama melko pieni. (UT 2016, 27.)

Uusi Wi-Fi HaLow perustuu standardiin 802.11ah ja se on kehitetty IoT- ja M2M-käyttöä varten. Teknologia toimii alle 900 MHz:n taajuudella ja tarjoaa näin ollen jopa 100 metrin kantaman ja paremman rakenteiden läpäisykyvyn. Lisäksi tekniikan vahvuuksia ovat pieni virrankulutus ja verkkotopologiatuki suurelle laitemäärälle. (Ogasawara 2016, 1.)

#### 7.4.2 Langattomat likiverkot

Langattoman likiverkon (WPAN) ratkaisuna käytetään yleisimmin muun muassa Bluetooth-, ZigBee- ja 6LoWPAN-tekniikoita.

Bluetooth on standardiin IEEE 802.15.1 perustuva langaton tiedonsiirtotekniikka jota käyttäen voidaan liittää oheislaitteita kannettaviin laitteisiin. Sitä käytetään pääasiassa korvaamaan kaapelit lyhyen etäisyyden tiedonsiirrossa laitteiden välillä suorissa yhteyksissä sekä tähtikytkentäisissä verkoissa. Saavutettava maksimitiedonsiirtonopeus on 2 Mbps. (Reiter 2014, 8.)



Bluetoothista on olemassa useita versioita, joista muun muassa Bluetooth LE on suunniteltu IoT-sovelluksia varten. Sen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on hyvin pieni energiankulutus. Standardi ei myöskään rajoita verkossa yhtä aikaa kytkettyjen laitteiden määrää. Käytännössä laitteiden määrä kannattaa rajoittaa 10-20 laitteeseen. (Reiter 2014, 8.)

Bluetooth LE mahdollistaa jopa 250 metrin toimintaetäisyyden optimioloissa ja käytännössä noin 100 kbps tiedonsiirtonopeuden (Nilsson & Saltztein 2012, 1). Tekniikka on tarkoitettu laitteille, jotka tarvitsevat pitkän akunkeston suuren tiedonsiirtonopeuden sijaan, kuten sensorit, jotka mittaavat lämpötilaa, kosteutta, kulutusta jne.

Uusi vaihtoehto IoT-sovelluksiin on Bluetooth 5. Uuden tekniikan myötä signaalin kuuluvuusalue tulee kasvamaan nelinkertaiseksi, siirtonopeus kaksinkertaiseksi ja siirrettävän datan määrä kahdeksankertaiseksi. (Bluetooth SIG 2016.)

ZigBee on tiedonsiirtotekniikka, joka pohjautuu IEEE 802.15.4 -standardin käyttöön. Zigbee-tekniikalle ominaista on alhainen siirtonopeus, pieni tehonkulutus ja halpa hinta. Tyypillisesti siinä käytetään 2,4 GHz:n taajuutta, vaikka standardi mahdollistaa myös 868 MHz:n ja 915 MHz:n taajuuksien käytön. Tiedonsiirtonopeus voi olla 250 Mbps, mutta toteutuneet siirtonopeudet ovat paljon alhaisempia. Tiedonsiirron etäisyys on 100 metriä. Zigbee:ssä on virransäästöominaisuus, jonka ansiosta se pystyy olemaan pitkiä aikoja lepotilassa ja näin säästämään energiaa. (Reiter 2014, 9.)

Zigbee-tekniikkaa voidaan käyttää muun muassa teollisuuden ohjaus- ja automaatiojärjestelmien sekä sensoriverkkojen tiedonsiirrossa. Sen avulla voidaan yhdistää useita sensoreita sekä muita tietoa kerääviä laitteita. (Elahi & Gschwender 2009, 1.)

Zigbee-verkossa on kolme erilaista laitetta: koordinaattori, reititin ja päätelaite. Verkossa on yksi koordinaattori jonka tehtävänä on verkon muodostaminen, sen hallinta ja tiedon tallentaminen. Reitittimet huolehtivat tiedon välityksestä ja

päätelaitteet tiedon mittaus- ja ohjaustoiminnoista. Yhdessä Zigbee-verkossa voi olla jopa 65 000 laitetta. (Elahi & Gschwender 2009, 2-3.)

Zigbee-tekniikassa on käytössä kolme verkkotopologiaa: tähti, puu ja mesh. Näistä tärkein on mesh-topologia jota kutsutaan myös peer-to-peer verkoksi. Tällaisessa verkossa kaikki verkon laitteet voivat viestiä keskenään kuuluvuus-alueella. Tietoa voidaan siirtää multihop-menetelmällä, missä tieto kulkee lähettäjältä vastaanottajalle muiden verkon solmujen kautta. Yhden laitteen poistuminen tai rikkoutuminen ei vaikuta verkon toimintaan. Mesh-topologia mahdollistaa suurien verkkokokonaisuuksien muodostamisen ja laitteiden lisääminen ja verkon muunneltavuus on yksinkertaista. Mesh-verkko pitää sisällään koordinaattorisolmun, muutaman reititinsolmun ja päätelaitteita. (Elahi & Gschwender 2009, 4.)

6LoWPAN on langattoman tiedonsiirron standardi, joka perustuu IEEE 802.15.4-standardiin ja on kehitetty esineiden internetiä varten. 6LoWPAN-standardissa on otettu käyttöön IPv6-protokolla, joka tarjoaa laajemman osoiteavaruuden. IPv6-osoiteavaruuden laajuus mahdollistaa suuremmat verkot ja esimerkiksi erilaisten mobiiliteknologioiden käyttöönottamisen. IPv6 tukee myös verkon automaattista asennusta. Saadakseen yhteyden internetiin 6LoWPAN vaatii ethernet- tai Wi-Fi -portin. Suurin osa käyttöönotetusta internetistä perustuu IPv4-protokollan käyttöön, tästä johtuen 6LoWPAN-standardin yhteydessä käytetään IPv6-/IPv4-muunnosprotokollaa. Standardin erikoisuutena on vielä se, että eri 6LoWPAN-verkoissa olevat laitteet voivat kommunikoida keskenään. 6LoWPAN käyttää sekä 2,4 GHz:n että 868 MHz:n/915 MHz:n taajuuksia. Standardin edut ovat mesh-verkkotopologia, suuri verkon koko, luotettava yhteys sekä pieni virrankulutus. (Reiter 2014, 9-10.)

6LoWPAN-verkossa on kolme erilaista laitetta: reunareititin, reititin ja päätelaite. 6LoWPAN-verkko on yhdistetty IPv6-verkkoon reunareitittimen kautta. Sen tehtäviin kuuluu datan välittäminen 6LoWPAN-verkon laitteiden ja internetin välillä, pakettien välittäminen 6LoWPAN-verkossa sekä verkon muodostaminen ja ylläpito. Reititin välittää datapaketteja 6LoWPAN-verkossa muille laitteille. Pääte-

laitteet eivät reititä datapaketteja muille laitteille verkossa. Virransäästösyistä päätelaite voi jaksollisesti kytkeä radiolähettimen pois päältä. (Olsson 2014, 2-3.)

#### 7.4.3 Langattomat pienitehoiset kaukoverkot

Langattoman pienitehoisen kaukoverkon (LPWAN) toteuttamiseen on useita vaihtoehtoja. LPWAN-verkot voidaan jakaa taajuusalueen mukaan kahteen ryhmään: lisensoituihin taajuusalueisiin, jotka koskevat matkaviestintäjärjestelmiä ja lisenssivapaisiin IMS-taajuuksiin. IMS-taajuusalueet ovat tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön. Näiden taajuuksien käyttö ei edellytä erillistä lupaa. Lisenssivapauden takia IMS-taajuuksia käytetään paljon langattomaan viestintään. (Sensoan 2017.)

Kolme lisensoidun alueen LPWAN-tekniikkaa on LTE-M, NB-IoT ja EC-GSM. LTE-M tarkoittaa koneiden välistä viestintää, NB-IoT tarkoittaa kapeakaistaista esineiden internetiä ja EC-GSM laajennetun kattavuuden EGPRS:ää. Useat kapeakaistaiset IoT-verkot käyttävät lisensoimattomia IMS-taajuusalueita. Näitä ovat muun muassa SigFox, LoRaWAN ja Weightless. (Sensoan 2017.)

SigFox on kapeakaistainen tiedonsiirtotekniikka, joka on suunniteltu erityisesti IoT-sovellusten tarpeisiin. Se toimii lisenssivapaalla 868 MHz:n taajuusalueella. Sen matalataajuinen radiosignaali läpäisee erittäin hyvin rakenteita. SigFoxin erikoisuus on sen lyhyt lähetysaika. Yhden viestin maksimi koko on 12 tavua, ja sen saa lähettää 140 kertaa päivässä käyttäen 100 bps siirtonopeutta. Rajoitus mahdollistaa alhaisen virrankulutuksen ja pitkän toiminta-ajan. SigFox-verkkoa hyödyntäviä laitteita ovat esimerkiksi erilaiset sensorit, joista halutaan saada säännöllisesti tietoa lämpötilasta ja kosteudesta, ohjelmoitavat painonapit, paikannuslaitteet, palovaroittimet jne. SigFox-laitetta voidaan myös ohjata, mutta vain 4 ohjaussanomaa on sallittu päivässä. Teknologia on hyvin edullista hankkia ja käyttää. (Saarelainen 2016; Sensoan 2017.)

LoRaWAN on myös yksi esineiden ja teollisen internetin käyttöön soveltuva vaihtoehto ja on hyvin samantyyppinen teknologia kuin SigFox. Se toimii myös lisenssivapaalla alle 1 GHz:n taajuudella. Tiedonsiirtokaista ja -nopeus ovat kuitenkin suurempi kuin SigFox:ssa. Teknologia hyödyntää hajaspektritekniikkaa. (Sensoan 2017.)

Weightless on avoin langattoman tiedonsiirron standardi, joka on tarkoitettu laitteiden väliseen tiedonvälitykseen. Standardi jakautuu kolmeen versioon: Weightless-W, Weightless-N ja Weightless-P.

Weightless-W hyödyntää televisiolähetysten vajaan käytettyjä ja käyttämättömiä taajuusalueita niin sanottua television valkoista taajuusspektriä (TVWS). Kyseisen taajuusalueen käyttäminen ei kuitenkaan ole ongelmattonta. Valkoista taajuusaluetta ei ole saatavana kaikkialla, vapaan kanavan taajuus ei ole aina sama ja taajuusalueesta johtuen laitteiden antennit ovat suurikokoisia. Toisaalta Weightless-W tarjoaa jopa 10 Mbps nopeuden paikoissa, joissa TVWS on käytävissä ja antennien koko ei ole ongelma. (LinkLabs 2015; Weightless-W 2017.)

Weightless-N toimii alle gigahertsin taajuuksilla käyttäen hyvin kapeita taajuuskaistoja. Radiosignaalin kattavuus on useita kilometrejä ja se läpäisee erittäin hyvin rakenteita. Standardissa on käytössä tähtimäinen verkkotopologia ja se soveltuu parhaiten sensoriverkkoihin. Käyttökohteita ovat esimerkiksi erilaiset mittarit, anturit, koneiden ja laitteiden valvonta jne. (LinkLabs 2015; Weightless-N 2017.)

Weightless-P on suunniteltu erityisesti IoT:n tarpeiden mukaan. Standardi toimii alle yhden gigahertsin taajuuksilla ja se hyödyntää 12,5 kHz:n kapeita kanavia joko aika- tai taajuusjakoisesti. Datanopeus voi olla 200 bitistä sataan kilobittiin asti sekunnissa. Weightless-P-radion kantavuus ylittää jopa kahden kilometrin päähän, joten sillä voidaan toteuttaa melko kattava IoT-verkko. Standardin käyttöä kaksisuuntaista kommunikaatiota ja se lupaa erittäin korkean palvelun laadun. Weightless-P sopii parhaiten yksityisiin verkkoihin ja sovelluksiin, joissa

kaksisuuntainen ohjaustiedonsiirto on tärkeää. (LinkLabs 2015; Weightless-P 2017.)

NB-IoT on kapeakaistainen verkkotekniikka, joka on suunniteltu erilaisiin esineiden internetin tarpeisiin. Se toimii 4G/LTE-verkkojen päällä. NB-IoT voidaan ottaa käyttöön vapautuvilla GSM-kantoaaltotaajuuksilla, LTE-taajuuksien suoja-kaistoilla tai käyttämällä osaa operaattorin LTE-taajuusalueesta. LTE-verkon etuna on se, että verkko on jo käytössä ja NB-IoT-laitteet voivat siirtää dataa operaattorin normaalin LTE-liikenteen sisällä. (Jäntti 2016.)

NB-IoT tekniikkaa käytetään yhteyksille, jotka sopivat alhaisille tiedonsiirtomäärille ja mahdollistavat pitkät toiminta-ajat, jopa 10 vuoden akun keston. Pienemmän virrankulutuksen ohella NB-IoT:n etuja ovat hyvä radiosignaalin kattavuus, mahdollisuus liittää yhteen verkkosoluun jopa 100 000 laitetta sekä edullinen laitteiden hinta. (Lehtiniitty 2016.)

EC-GSM teknologia perustuu nykyisiin GSM/GPRS-verkkoihin. Teknologian käyttö ei edellytä verkossa laitepäivityksiä. Palvelu voidaan lisätä verkkoihin ohjelmistopäivityksinä. Tiedonsiirto tapahtuu GPRS 900 MHz:n kaistalla ja yhdessä solussa voi olla 50 000 yksittäistä lähetin-vastaanotin laitetta. (Ericsson 2016, 8.)

LTE-M on LTE-teknologian variantti, joka mahdollistaa IoT-laitteiden välisen viestinnän 4G-verkossa. LTE-M on suoraan yhteensopiva tavanomaisen 4G/LTE-verkon kanssa. LTE-M-teknologian tavoitteena on tarjota pienitehoinen, edullinen, vaihtelevan datanopeuden ja riittävän kantaman omaavaa teknologiaa esineiden ja teollisen internetin sovelluksien tarpeisiin. (Ericsson 2016, 9.)

#### 7.4.4 5G tiedonsiirtoverkot

Tällä hetkellä kuluttajat, teollisuus ja liikenteen erilaiset järjestelmät ja sovellukset hyödyntävät 3G- ja 4G/LTE-matkaviestinverkkoja. LTE onkin alan viimeisintä teknologiaa ja mahdollistaa parhaimmillaan sadan megabitin latausnopeuden

tukiasemasta päätelaitteelle. Langattoman tiedonsiirron ja verkkoihin kytkeytyneiden laitteiden ja esineiden määrän voimakas kasvu tuo kuitenkin nopeasti neljännen sukupolven verkon kapasiteettirajan vastaan. Kapasiteetin lisäksi uusien verkkojen haasteita ovat alati kasvavat tiedonsiirtonopeudet sekä verkkoviiveet. 5G-tekniikan uskotaankin nostavan latausnopeudet gigabiteihin ja laskevan verkkoviiveet jopa alle millisekunnin. (Hakala 2015.)

Esineiden internetin ja teollisen internetin voimakkaan kasvun myötä verkkoon yhteydessä olevien laitteiden määrä tulee siis kasvamaan räjähdysmäisesti. Perinteisten tietokoneiden ja mobiililaitteiden lisäksi verkossa ovat jatkossa kodinkoneet, autot, työkoneet, erilaiset sensorit ja monet muut älykkäät laitteet. Tämä vaatii verkolta huimaa kapasiteettia ja joustavuutta. (Hakala 2015.)

5G-tekniikan tarkoitus on mahdollistaa monia uusia palveluja. Jo nyt kehitteillä olevia sovellutuksia ovat esimerkiksi kuskittomat ja älykkäät autot, etäohjattavat työkoneet ja tehdastuotannon hallinta verkon yli. (Hakala 2015.) 5G-verkkojen uskotaan tulevan kaupalliseen käyttöön vuonna 2020.

#### 7.4.5 Muita langattomia tekniikoita

RFID on yleisnimitys radiotaajuuksia käyttäville etätunnistus- ja seurantateknologioille. RFID-järjestelmässä kommunikoidaan tunnisteen ja lukijan välillä radiosignaalin avulla. Tunnisteessa oleva tieto välitetään lukijalle, mistä se kulkeutuu informaatiojärjestelmään. Lukuetaisyys riippuvat taajuudesta, käytettäväs- tä tehosta, lukijan herkkyydestä ja antennin suuntakuviosta. RFID-tunniste on tunnistettavaan kohteeseen kiinnitettävä tarra, kortti, lappu, nappi tai implantti, joka sisältää antennin ja pienen mikropiirin. (GS1 2017.)

NFC on lyhyen matkan langaton radiotekniikka, joka perustuu RFID-tekniikkaan. Se tarjoaa kaksisuuntaisen yhteyden kahden laitteen välille. Laitteiden välille syntyy yhteys, kun laitteet tuodaan muutaman senttimetrin päähän tai ne koskettavat toisiaan. Toimintaetaisyys on alle 4 cm ja yhteyden nopeus

on 424 kbps. Tekniikan käyttökelpoisuutta rajoittaa vähäinen signaalin kantama. NFC:tä hyödynnetään lähinnä lähimaksuvälineenä. (NFC 2017.)

## 7.5 Langattomat sensoriverkot

Langattomat sensoriverkot koostuvat joukosta sensorilaitteita, jotka ovat sijoitettuna haluttuun ympäristöön joko sisä- tai ulkotiloissa. Langattoman sensoriverkon tarkoituksena on kerätä tietoa toimintaympäristöstä ja siinä olevista laitteista, prosessoida sitä ja välittää se eteenpäin analysoitavaksi. Toimintaympäristön havainnoinnin lisäksi sensoriverkot voivat myös ohjata toimintaa kerätyn tiedon käsittelyn ja analysoinnin perusteella.

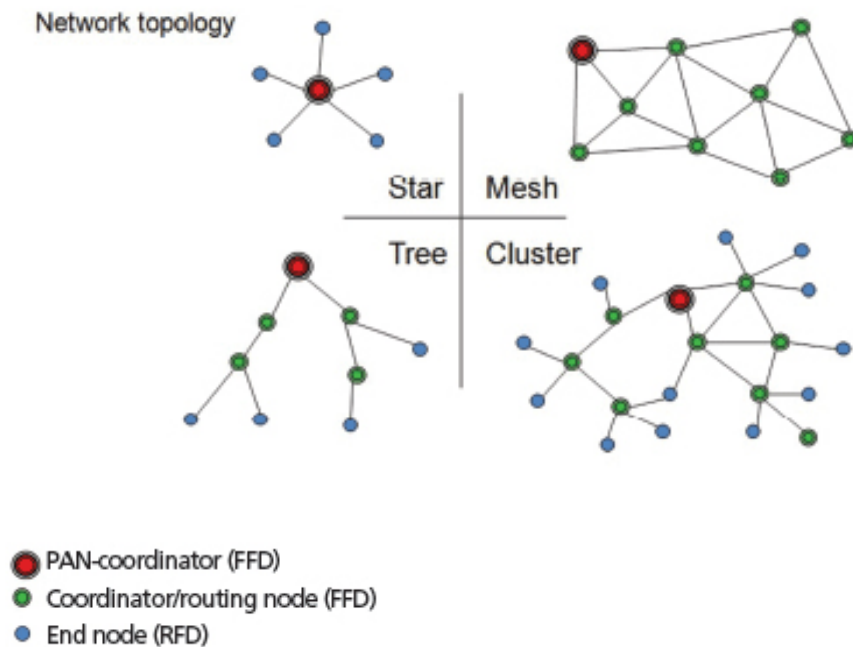
Sensoriverkko koostuu tyypillisesti sensorisolmuista, verkonhallintasolmusta, toimilaitteista ja sovellusohjelmistoista. (Yinbiao ym. 2014, 19).

Sensorisolmu koostuu neljästä toiminnallisesta lohkokosta: teholähteestä, yhdestä tai useammasta sensorista, mikro-ohjaimesta ja langattomasta lähetin-vastaanottimesta. Teholähde tuottaa solmun tarvitseman virran. Sensorit tarjoavat mikro-ohjaimelle reaaliaikaista tietoa toimintaympäristöstä sekä laitteiden tilasta. Mikro-ohjain muokkaa ja käsittelee sensoreilta kerättyä tietoa ennen kuin lähettää tietoa eteenpäin lähetin-vastaanottimen kautta verkkoon. Sensorisolmu voi myös reitittää muiden solmujen viestejä esimerkiksi mesh-verkossa. (Yinbiao ym. 2014, 20.)

Sensorisolmuille on ominaista, että ne ovat edullisia, pienikokoisia ja helppoja asentaa. Siirrettävät datamäärät ovat alhaisia eikä suurta siirtonopeutta tarvita. Solmun tehonkulutus on ratkaisevan tärkeää, sillä solmut saavat sähkötehonsa paristoista tai keräämällä sen ympäristöstä (Wikström 2016, 24).

Sensoriverkoissa on käytössä tyypillisesti neljä verkkotopologiaa (Kuvio 2): tähti, puu, klusteripuu ja mesh. Tähtitopologiassa kaikki solmut ovat suoraan yhteydessä keskussolmuun, joka toimii verkonhallintasolmuna. Kaikki verkon laitteet keskustelevat pelkästään sen kanssa. Topologia sopii hyvin sovelluksiin,

joissa ei ole tarvetta solmujen keskinäiseen viestintään, vaan keskussolmu toimii tiedonkeruupisteenä. Keskussolmu toimii myös liityntäpisteenä muihin järjestelmiin ja internetiin. Klusteripuutopologiassa verkon laitteet on jaoteltu hierarkkisiin ryhmiin. Jokaisessa ryhmässä on yksi laite, joka toimii pääsolmuna ja huolehtii yhteydenpidon muihin ryhmiin. Ryhmän muut solmut muodostavat hierarkkisen puun pääsolmuun nähden. Mesh-verkossa laite voi olla yhteydessä suoraan kaikkiin naapurisolmuihin ja reitittää tiedon luotettavinta reittiä pitkin verkonhallintasolmulle. (Vaara-Sjöblom 2008, 10–14; NI 2016.)



Kuvio 2. Langattomien sensoriverkkojen verkkotopologiat (Ajmeri 2013).

Langattomia sensoriverkkoja hyödynnetään monenlaisissa mittausta vaativissa tehtävissä. Niiden tyypillisiä käyttökohteita ovat ympäristön seuranta (ilma, vesi, kaasu, maa-ainekset), rakennusten ja siltojen rakenteiden valvonta, teollisuuden koneiden valvonta, teollisuuden prosessien mittaus- ja ohjausjärjestelmät sekä erilaisten laitteiden paikannus ja seuranta. (NI 2016.)



## 8 IIOT:N TARJOAMAT MAHDOLLISUUDET KAIVOKSESSA

### 8.1 Kaivoksen tuotanto

Kaivoksen tuotantovaiheessa malmikivi louhitaan kallioperästä. Jos malmiesiintymä sijaitsee lähellä maanpintaa, käytetään avolouhintaa. Mikäli malmi sijaitsee syvemmällä, louhitaan sitä maanalaisin menetelmin.

Louhittu malmi murskataan ja jauhetaan sopivan pieniksi kappaleiksi rikastusprosessia varten. Yleensä hienonnusta jatketaan, kunnes malmin sisältämät arvomineraalit esiintyvät tarpeeksi puhtaina itsenäisinä rakeina. Rikastusvaiheessa arvottomammasta kiviaineksesta erotetaan halutut arvoaineet ja/tai mineraalit kemiallisilla tai mekaanisilla prosesseilla. Yleisiä käytettyjä rikastusmenetelmiä ovat vaahdotus, ominaispainorikastus, magneettinen rikastus, erilaiset liuotusmenetelmät tai näiden yhdistelmät. (Karlsson 2011.)

Rikastusprosessissa syntynyt rikaste kuivataan ja varastoidaan odottamaan kuljetusta asiakkaalle jatkokäsittelyä varten. Rikaste on yleensä hienojakoisena mineraaliaineksena tai harkkoina, kuten monen kultakaivoksen tapauksessa. Rikastusprosessissa ylijäänyt aines pumpataan veden mukana rikastushiekka-alkuille. (Karlsson 2011.)

#### 8.1.1 Tuotantoprosessien ohjaus ja optimointi

Kaivoksen toimintojen yhdistäminen jatkuvaksi prosessiksi, jossa rikastamolle turvataan tasainen ja laadukas malmisyötevirta on vaativa tehtävä. Sen toteuttaminen edellyttää kokonaisvaltaista näkemystä kaikista kaivoksen toiminnoista ja reaaliaikaista tietoa päätöksen teon tueksi. Ratkaisuna kaivoksen prosessien reaaliaikaiseen ohjaamiseen ja optimoinnin tehostamiseen on automaation ja tiedonkeruun lisääminen kaikkiin kaivosprosesseihin, prosessianalysoinnin lisääminen sekä analysoidun datan laajamittainen hyödyntäminen (Riihilahti & Lehto 2015, 19). Teollinen internet tukee tehokkaasti tavoitetta automatisoida toiminnot kaiken kattavasti.

Laajamittainen tiedon hyödyntäminen perustuu sen reaaliaikaiseen näkyvyyteen kaikilla kaivoksen osastoilla. Tähän luodaan edellytykset lisäämällä kaivoksen toiminnan- ja tuotannonohjausjärjestelmien sekä informaatiojärjestelmien välille integraatiota, keskinäistä näkyvyyttä ja älykkyyttä. Näin saadaan toiminnan- ja tuotannonohjausjärjestelmät tuottamaan enemmän reaaliaikaista tietoa informaatioteknologian ohjelmistoihin ja pilvipalvelujen sovelluksiin. Seurauksena saavutetaan paremman kokonaisnäköyksen kautta älykkäämpi tuotanto, joka mahdollistaa tuotannon ja kustannusten optimoinnin, tarkastelemalla ja säätämällä toimintoja dynaamisesti koko kaivostoiminnan arvoketjussa. Esimerkiksi hyvällä kommunikaatiolla voidaan kaivoksen räjäytys ja murskaus optimoida yhteistyössä rikastamon jauhatusprosessin kanssa. (Gallestey ym. 2015.)

Kaivoksen tuotantovirrassa on tällä hetkellä selkeitä huippuja ja hiljaisia aikoja. Vuoronvaihtojen, lounaiden ja taukojen aikana tuotanto laskee merkittävästi. Päämääränä on tehostaa kaivostoimintaa niin, että tuotanto voi olla käynnissä vuorokauden ympäri. Tämä tavoite edellyttää automatisoitujen tuotantoprosessien käyttöä. (Boliden 2015.)

Automaation lisääminen kaikkiin kaivoksen prosesseihin näkyy myös työajan tehokkaampana hyödyntämisenä. Henkilöstö voi työskennellä koko työvuoron ajan, eikä työntekijöiltä kulu aikaa esimerkiksi louhintatilaan siirtymiseen ja sieltä poistumiseen. Automaattiset tai maanpinnalta etäohjattavat koneet voivat myös jatkaa työskentelyä räjäytysten jälkeisen tuuletuksen aikana. (Boliden 2015.)

### 8.1.2 Kaivoksen prosessien valvonta

Kaivoksen tulevaisuus on siinä, että laitteistot, järjestelmät ja ihmiset yhdistetään yhdeksi kokonaisuudeksi. Teollinen internet ja automaatio ovat teknologioita, jotka mahdollistavat yhdistämisen. Ideana on saada kaikki kaivoksen toiminnot kommunikoimaan samalla tavalla ja integroida ne yhteen järjestelmään, josta kaikki informaatio on saatavilla. Paikallisia valvomoita voidaan käyttää, mutta trendinä on siirtyminen keskitettyyn hallintaan. (Gallestey ym. 2015.)

Keskitetty hallinta tehdään yhdestä tietokoneohjatusta valvomosta, jossa prosessin hoitajat istuvat tarkkailemassa ja analysoimassa isoista näytöistä kaivoksen prosessien teknistä dataa. Tiedon reaaliaikaisuus mahdollistaa prosessin parannusten ottamisen heti käyttöön sekä suorituskyvyn optimoimisen. (Gallestey ym. 2015.)

Kaivoksen prosesseja ohjataan myös etäohjauskeskuksista. Maan alla toimivia koneita esimerkiksi ohjataan kauko-ohjaimien ja langattomien verkkojen avulla. Poistamalla ihmiset prosesseista pienennetään kustannuksia, lisätään tuottavuutta ja parannetaan turvallisuutta. Samalla minimoidaan kuljetuksen ja liikenteen tarpeita. Keskitetty hallinta ja etäoperointi luovat turvallisen, luotettavan ja ennustettavan tuotantoprosessin. (Gallestey ym. 2015.)

Nykyaikaisissa kaivoksissa prosesseja voidaan ohjata myös älypuhelimella tai tabletilla. Henkilöstö pystyy kytkeytymään esimerkiksi rikastamon ohjausjärjestelmään kaivoksen langattoman verkon kautta. Näin he pystyvät ohjaamaan laitoksen prosesseja, tutkimaan piirustuksia ja kytkentäkaaviota sekä etsimään vikoja ja raportoimaan niistä. Kaivostyöntekijöiden tärkein työkalu onkin nykyään kauko-ohjain tai tabletti, joiden avulla he hallitsevat kaikkea aina kairauksesta ja kalliotilojen räjäytyksestä louhitun malmin lastaukseen ja murskaukseen. (Boliden 2015.)

### 8.1.3 Malmin louhinta

Automaation seurauksena metallipitoisuudeltaan alhaista malmia voidaan louhia kannattavammin. Lisääntyneen automaation ansiosta malmia voidaan tulevaisuudessa louhia myös yhä syvemältä, mikä on entistä tärkeämpää, koska juuri siellä tulevaisuuden malmilöydökset sijaitsevat. (Boliden 2015.)

Kaivoksen langaton verkko, koneiden automaattinen tiedon raportointi ja reaaliaikaisesti päivittyvät paikannustiedot mahdollistavat louhinnan tehokkaamman suunnittelun. (Boliden 2015.)

#### 8.1.4 Malmin seuranta tuotantoprosessissa

RFID-tekniikkaan perustuvalla menetelmällä voidaan jäljittää malmia ja sen kulkua louhinnasta räjäytyksen, murskainten ja välivarastojen läpi rikastamoon.

RFID-tagit sijoitetaan yleensä räjäytysreikiin ennen räjäytystä tai räjäytyksen jälkeisiin kivikasoihin. Räjäytyksen jälkeen tagi louhitaan, kuljetetaan ja prosessoidaan malmin kanssa, kunnes se saavuttaa kuljettimen. Kuljettimen RFID-antenni havaitsee tagit ja tallentaa kyseisen tagin tunnuksen ajan. Sitten RFID-tagitiedot ladataan kaivoksen tietokantaan ja analysoidaan tarpeen mukaan. (Wortley & Isokangas 2012, 6.)

#### 8.1.5 Kalustonhallinta ja -seuranta

Kalustonhallinta tehostaa ajoneuvojen käyttöä. Ajoneuvoista kerätyt tiedot antavat arvokasta tietoa ajotavasta, tuottavuudesta ja taloudellisuudesta. Tämän seuranta ja diagnostiikka voi parantaa merkittävästi kaluston toimintavarmuutta, turvallisuutta ja käyttötaloutta.

Teollisen internetin rooli kalustonhallinnassa on suoraviivainen. Sen tehtävänä on kerätä kalustoon asennetuilta sensoreilta tietoa reaaliaikaisesti ja siirtää tieto kaivoksen kalustonhallintajärjestelmään tai pilvipalveluun säilytettäväksi ja analysoitavaksi. Sensoreiden kautta saatava tieto voi liittyä, kuljettajan tunnistukseen, ajoneuvon seurantaan ja paikkatietoon, kunnonvalvontaan, kuljettajan ajotapakäyttäytymiseen tai polttoainetalouteen. Älykkäällä ja reaaliaikaisella seurannalla ja diagnostiikalla voidaan säästää merkittävästi polttoainetta ja auton kulumista, parantaa kuljettajan ajotapaa, vähentää riskejä ja ylläpitokustannuksia. (Burnson 2017.)

#### 8.2 Koneiden ja laitteiden kunnossapito

Kunnossapidon hallinta on erittäin merkittävää kaivoksen kustannustehokkuuden, käyttövarmuuden ja käyttöasteen kannalta. Siinä kaivoksen ja rikastamon

koneiden ja laitteiden häiriötön toiminta, käyttövarmuus ja laadukas tuotanto varmistetaan ehkäisevällä, suunnitelmallisella ja systemaattisella kunnossapidolla. Kunnossapito jakaantuu liikkuvan kaluston ja kiinteiden prosessikoneiden sekä tehdasalueen kunnossapitoon. (Hakapää & Lappalainen 2011, 329.)

Teollisen internetin avulla kunnossapidosta saadaan älykkäämpää. Se perustuu kaivoksen ja rikastamon koneista ja laitteista saatavan reaaliaikaisen tiedon keräämiseen, varastointiin, jalostamiseen ja analysointiin omien prosessien kehittämistä varten. Yhdistämällä datavirtoja ja analysoimalla entistä tehokkaammin poikkeamia ja häiriöitä koneiden toiminnassa sekä niiden syy ja seuraussuhteita päästään tilanteeseen, jossa huoltotarve on ennakoitavissa ja kunnossapitoa voidaan ohjata tarkemmin. Kunnossapidosta tulee enemmänkin tarvepohjaista kuin varmuuden vuoksi tehtävää huoltoa.

Koneiden parempi käyttöaste edellyttää tehokkaampaa kunnossapitoa. Myös tässä uusi tekniikka voi olla avuksi. Yksi mahdollisuus on kerätä käyttötiedot koneista automaattisesti. Näiden tietojen pohjalta voi suunnitella ennaltaehkäisevää huoltoa, joka perustuu koneiden tarkkaan käyttöaikaan ja koneiden kulumiseen. Kun kunnossapitosuunnitelma laaditaan yhdessä tuotantosuunnitelman kanssa, huollot voidaan sovittaa ajankohtiin, jolloin koneita tarvitaan vähiten. Näin voidaan estää mahdolliset tuotantohäiriöt ja suunnittelemattomat tuotantokatkokset. (Boliden 2015, 12.)

Esimerkiksi Australiassa brittiläinen kaivoyhtiö Rio Tinto käyttää massiivisia itseajavia kuorma-autoja malminkuljetuksessa. Komatsun valmistamassa kuorma-autossa on noin 200 sensoria (Kuva 2): moottorissa yli 30, vaihteistossa yli sata ja alustassa yli 40 kappaletta (Postscapes 2017). Pilparan kaivoksissa autonomisiin malminkuljetusjärjestelmiin kuuluu yhteensä 71 kuorma-autoa (Rio Tinto 2017). Niistä kertyy joka päivä valtava määrä dataa, jota käytetään ennakkoivaa huoltoa ja kuljetusten optimointia varten.



Kuva 2. Komatsun valmistamassa itseajavassa kuorma-autossa on noin 200 sensoria (Postcapes 2017).

Koneisiin ja laitteisiin tuodun älyn avulla pystytään seuraamaan, minkälaisia muutoksia tuotantoprosessissa tapahtuu tai miten koneita ja laitteita käytetään. Näitä tietoja voidaan verrata simuloituun tilanteeseen, jotta haluttu lopputulos pystytään varmistamaan. Laitteiden kunnan ennustamisessa käytettäviin analysointimenetelmiin voidaan yhdistää tarkan mitatun tiedon lisäksi käyttäjien kokemuksia laitteiden toiminnasta, jolloin niin sanottu hiljainen tieto saadaan käyttöön osaksi käytännön toimintaa. (Pekkarinen 2016.)

Teollinen internet antaa kaivosyhtiölle mahdollisuuden verkostoitua. Verkostoitumisessa ovat mukana kaivosyhtiön lisäksi alansa osaamista edustavat laite-toimittajat sekä kaivosyhtiön alihankkijat. Kunnossapidon tieto on kaikkien käytettävissä ja sitä jaetaan nopeasti. Reaaliaikaisen tiedon avulla verkosto toimii tehokkaasti varmistaen lyhyet reagointiajat ja sujuvan huoltotyön käynnistymisen. Uutta tekniikkaa hyödyntämällä tiedon saatavuus on helpompaa ja se mahdollistaa myös uusien kunnossapitopalveluiden luomisen joiden avulla kaivosyhtiö voi parantaa kustannustehokkuuttaan.

Teollinen internet parantaa kunnossapidon sisäistä tiedonhallintaa. Kunnossapitoilmoitukset voidaan tehdä suoraan tietojärjestelmään mobiililaitteella. Ilmoituksessa voidaan hyödyntää standardoidun tiedon lisäksi esimerkiksi valokuvan

ottamista ja videoita. Sähköisesti välitettävä tilannekuva jouduttaa töiden tekemistä huomattavasti. Häiriöilmoituksen järjestelmään voi tehdä niin kaivoksen työntekijä kuin laitevalmistajien kunnossapitoasentajakin. (Pöysä 2015.)

Etähuolto on yksi vaihtoehto vikatilanteiden selvittämisessä. Etähuoltoon perustuvat palvelut voidaan kohdistaa yksittäisiin koneisiin, laitteisiin, osaprosesseihin, tuotantolinjan osiin tai kokonaisiin tuotantjärjestelmiin. Etähuollon edellytyksenä ovat laitteet ja prosessit, joihin voidaan kytkeytyä tietoverkon kautta ja joista on saatavissa tarvittavaa digitaalista tietoa. (Kangas 2002, 4.) Teollinen internet tukee etänä tehtävää kunnossapitotoimintaa hyödyntämällä tehokkaasti kohdeprosessista kerättävän tiedon.

Palveluliiketoimintana etähuollon tavoitteena on luoda pitkäaikainen ja tiivis yhteistyö laitetoimittajan ja asiakkaan välille sekä laajentaa palvelua asteittain. Ensimmäisessä vaiheessa tarjotaan kaukovalvontaa. Laitetoimittajan asiantuntijoilla on yhteys asiakkaan toimivaan prosessiin ja sen järjestelmiin. Etäyhteyden kautta selvitetään pulmatilanteita, mitataan järjestelmien suorituskykyä sekä voidaan muuttaa järjestelmien kokoonpanoja ja päivittää ohjelmia. Toisessa vaiheessa lisätään diagnostiikkaa ja prosessiin upotettuja hälytyksiä. Kolmannessa vaiheessa panostetaan asiakkaan prosessien suorituskyvyn nostamiseen optimoimalla ja ennakoivalla huollolla. (Kangas 2002, 5-6.)

### 8.3 Tilaus-toimitusketju

Teollinen internet tarjoaa tilaus-toimitusketjun alueelle tehokkuutta ja kustannussäästöjä. Käsintehdyt tilausten käsittely on aikaa vievää ja kallista. Digitaalisen pilvipalvelun ja mobiilisovelluksen avulla voi vastaanottaa tilauksia, muodostaa toimituksia, tehdä kuljetustilauksia, tulostaa toimitusyksiköiden rahikirjat sekä lähettää tilaajalle toimitustiedot (Tekes 2015). Laskutuksista, kuljetuksista ja ajotiedoista saadaan kerättyä enemmän tietoa reaaliaikaisesti ja tiedon käsittely on automatisoidumpaa. Laitteistot ja tietojärjestelmät voidaan saada kommunikoimaan keskenään ja havaittaviin poikkeamiin kyetään reagoimaan nopeasti ja ennakoivasti. Tiedot varaston, tuotannon, kuljetusten tapahtumista ovat reaaliaikaisesti hyödynnettävissä myös kaivoksen tietojärjestelmissä.

Logistiikassa teollista internetiä voidaan hyödyntää autojen ja rahtien liikkeiden seurantaan ja jäljitettävyyteen, reittien optimointiin, polttoainetaloudellisuuteen ja automaattisiin toimenpiteisiin rahdin saavuttua määränpäähän. Lisäksi kuljetusten turvallisuutta voidaan lisätä erilaisilla hälytys- ja valvontajärjestelmillä sekä liikenteen ja porttien ohjauksella kaivosalueella.

Volvo Trucksin toimitusjohtajan Claes Nilssonin (Nilsson 2016.) mukaan autonomisesti ajavissa autoissa käytettävän tekniikan ansiosta kaivoksen logistiikka voidaan optimoida tavalla, joka poikkeaa täysin nykyisestä. Kuorma-autoja voidaan käyttää keskeytyksettä. Tarkan reittisuunnittelun ja tasaisen nopeuden ansiosta ruuhkautumista ei tapahdu, ja kuormien lastaus ja purku nopeutuu. Räjähdytystöiden yhteydessä kuljettajien on normaalisti odotettava kaivoskäytävän tuulettumista ennen malmin lastaamista, mutta autonomisilla kuorma-autoilla ei tällaisia rajoituksia ole. Tämä tarkoittaa, että jokainen kuorma-auto voidaan hyödyntää tehokkaammin ja kuljetustehtäviä voidaan ajaa vuoron aikana useampia. Ajoneuvoista tulee erottamaton osa kaivoksen tuotantojärjestelmää. Kun kuljetusten rytmi ja nopeus pysyvät tasaisina, myös polttoainekulutus pienenee ja kuluminen vähenee. Optimoitu logistiikka parantaa tuottavuutta.

#### 8.4 Turvallisuus ja terveys

Ympäristö kaivoksissa on erittäin haastava ja siellä tapahtuva työ ei ole riskitöntä. Vaaroja ja työterveyteen vaikuttavia tekijöitä on runsaasti, kuten arvaamaton kallioperä, työskentely isoilla koneilla, räjähteet, työskentely jyrkkien ja korkeiden luiskien läheisyydessä, tippuvat lohkarieet, melu, kuumuus, pöly, kosteus, kaasut, joskus huono näkyvyys sekä yksin tehtävät työvaiheet (Hakapää & Lappalainen 2011, 357).

Kaivoksissa voi esiintyä myös vakavia vaaratilanteita, kuten tulipalot, kaasu- ja pölyräjähdykset, liejun- ja vedenpurkaukset sekä suuret sortumat (Hakapää & Lappalainen 2011, 360). Yksikään kaivosyhtiö ei halua kenenkään vahingoittuvan työssään, tästä syystä työturvallisuudesta ei voida tinkiä. Kun lisäksi onnet-



tomuuksien välttäminen auttaa pitämään työntekijät töissä ja siten vähentämään seisokkiaikaa, turvallisuuteen sijoittaminen kannattaa.

Teknologian kehitys näkyy kaivosten jokaisella osa-alueella, myös kaivosturvallisuudessa. Kaivosten automatisointi ja uuden tekniikan käyttöönotto tulevat vaikuttamaan merkittävästi kaivosten turvallisuuteen. Teollinen internet tukee tehokkaasti toimintojen automatisointia, sen yksi tärkeimmistä tavoitteista on tehdä kaivoksesta turvallisempi.

#### 8.4.1 Paikannus ja kulunvalvonta

Ihmisten ja liikkuvien kaivoskoneiden reaaliaikainen valvonta maan alla on turvallisuuden kannalta ehdoton edellytys. Vaativimmat työskentely-ympäristöt sekä henkilöturvallisuuden kohdistuvat vaatimukset tekevät paikannustekniikan käytön välttämättömäksi. Kaikki asiat, jotka halutaan löytää helposti, voidaan merkitä paikannusjärjestelmään, jolloin niitä voidaan tarkastella älypuhelimella, tabletilla tai tietokoneella. Jos jotakin tapahtuu, halutaan tietää, keitä on kaivoksessa tai sen ulkopuolella, keitä on pelastuskontissa ja missä pelastettavat tarkalleen ovat. Kaivoksessa tehtävien räjäytystöiden aikana on tärkeää voida varmistua siitä, että kaikki työntekijät ovat poistuneet kaivoksesta. Kaivoksen henkilökunnalle, paikannus on ehdoton navigointityökalu. Puhelimesta näkee helposti, missä on lähin uloskäynti tai pelastuskontti. (Rantala 2015.)

Langattomat lähiverkot ovat yleistyneet nopeasti kaivoksissa. Niitä käytetään erityisesti VoIP-puheluihin. Lähiverkkojen lisääntyminen luo valmiin infrastruktuurin myös lähiverkkopaikannusta käyttäville päätelaitteille. Toimivan paikannuksen edellytyksenä maanalaisessa kaivoksessa onkin luotettava ja kattava langaton lähiverkko. Bluetooth-teknologia tarjoaa myös mahdollisuuden paikantaa kytkeytyvä laite sen kantaman tarkkuudella. Vaihtoehtona voi olla myös etätunnistustekniikat muun muassa RFID-tunnisteen käyttö. Ulkopaikannukseen soveltuvia paikannusmenetelmiä ovat muun muassa matkapuhelinverkkoihin perustuva verkkopaikannus ja satelliittipaikannus.

Lähiverkkotunnistuksen tai RFID-lukijoiden ja -tunnisteiden avulla saadaan kaivoksen kulunvalvonta tarkkaan seurantaan. Paikannusjärjestelmää voidaan hyödyntää myös kaivoksen vierailijoiden kirjaamiseen ja sisään ajavien ajoneuvojen tunnistamiseen.

Automatisoimalla vaarallisten ja suojaamattomien alueiden valvontaa voidaan parantaa henkilöturvallisuutta kaivoksessa. Sijaintitietojen käyttöön perustuvalla teknologialla voidaan asettaa virtuaalisia aitoja eli turvallisuusrajoja joita työntekijät tai liikkuvat kaivoskoneet eivät saa ylittää. Turvajärjestelmät pysäyttävät sekä alueelle pääsyn, että sieltä mahdollisesti omille teilleen yrittävän koneen. (Mobilaris 2017.)

Onnettomuuden sattuessa pelastustoimenpiteiden nopeuttamiseksi voidaan paikannuksella ja langattomien päätelaitteiden avulla ilmoittaa vaarassa oleville työntekijöille lyhin ja nopein hätäpoistumisreitti (Mobilaris 2017).

#### 8.4.2 Kaivostuuletus ja ilmanvaihto

Maanalainen kaivos vaatii tehokkaat tuuletus- ja ilmanvaihtojärjestelmät, sillä työntekijöiden turvallisuus on varmistettava kaikissa olosuhteissa. Tuuletustarvetta aiheuttavat räjäytyskaasut, dieselkaluston pakokaasut sekä pöly, jota syntyy räjäytyksissä ja louheen käsittelyssä. Tuuletusjärjestelmät puhdistavat kaivoksen ilman ja tuottavat happea niin työntekijöille kuin dieselkäyttöisten kaivoskoneiden tarpeisiin.

Tuuletusilman tehokas ohjaus työskentelyalueella on erittäin tärkeää. Tuuletuksen ohjaus on osa kaivoksen automaatiojärjestelmää. Järjestelmän ohjelmoinnissa otetaan huomioon vuodenaika, räjäytysten aikataulu sekä yö- ja viikonloppukevennykset kaivoksen toiminnassa. Tuuletuksen ohjausjärjestelmä voi olla myös paikallinen. Yksinkertaisen automatiikan avulla on mahdollista tietyissä pisteissä säilyttää esimerkiksi ilman virtausmäärä tai -suunta tai haluttu lämpötila. (Hakapää & Lappalainen 2011, 300–301.)

Kuten edellisessä kappaleessa totesin, langaton verkko mahdollistaa paikannuksen käytön. Paikannusta voidaan käyttää myös ilmanvaihdon ohjaukseen. Ilmanvaihtoa voidaan ohjata sen mukaan, missä osassa kaivosta ajoneuvot ovat ja ovatko ne käytössä. Näin säästetään ympäristöä ja resursseja. Tekniikan ansiosta päästöt pienenevät, sillä kuljettajat voivat suunnitella ajoja paremmin. (Burman 2016, 10–11.)

Jotta tuuletuksen ohjaaminen on mahdollista, tarvitaan mittaustietoa. Mittaustieto voi olla peräisin joko jatkuvasta mittausjärjestelmästä tai pitkältä aikaväliltä. Parhaisiin tuloksiin päästään ohjausjärjestelmällä, joka reagoi kaivoksen tuuletilanteen tarpeisiin lähes reaaliajassa. (Hakanpää & Lappalainen 2011, 301.)

Tuuletuksen ohjaus on perinteisesti toteutettu automaatiojärjestelmillä, jossa automaation toteutus on ollut hajautettua. Ohjaus- ja mittaustiedonsiirto on toteutettu käyttäen automaatiokaapelointia. Teollinen internet tukee myös tehokkaasti mittaustiedonkeruuta ja tuuletuksen ja ilmanvaihdon ohjauksen automatisointia ja etäohjausta. Lisäksi langattomien palveluiden avulla puhaltimia voidaan kytkeä päälle tai pois esimerkiksi älypuhelimien avulla (Torikka 2008).

#### 8.4.3 Kaivosympäristön olosuhdemittaukset

Kaivostoissa altistutaan monille pölyille ja kaasuille. Pölyille voidaan altistua niin malmin ja kiven louhinnassa, porauksessa ja murskauksessa kuin niiden lastauksessa ja kuljetuksessakin. Terveydelle haitallisia kaasualtistuksia kaivostyössä voivat olla esimerkiksi räjähdyskaasuista häkä ja typen oksidit. Lisäksi kaivoksessa voidaan altistua pakokaasuille, rikkidioksidille ja muille rikkiyhdisteille sekä uraanista lähtöisin olevalle radonille. (Keskimaunu & Pohjanen 2014, 22.) Altistuminen asbestille ja arseenille on myös mahdollista.

Altistumien vähentäminen on yksi kaivosturvallisuuden toiminnalle asettamista tavoitteista. Tavoitteen saavuttamisen edellytyksenä ovat reaaliaikaiset olosuhdeiden mittaukset ja valvonta. Näin kaivokset voivat minimoida riskejä ja varmistaa työntekijöiden turvallisuuden sekä toiminnan tehokkuuden.

Mittauslaitteista rakennetaan mittausjärjestelmä, johon voidaan liittää suuri määrä mittauslähettäjiä. Kaikkien lähettimien mittaustiedot kerätään pilvipalvelimelle, josta mittaustietoja voidaan seurata tietokoneella, tableteilla ja älypuhelimilla. Mittausjärjestelmä hyödyntää langatonta teknologiaa ja mesh-tyyppistä verkkotopologiaa. Mesh-verkko on reitittävä langaton verkko, jossa paketit kahden solmun välillä voivat kulkea usean eri reitin kautta. Jos yhteys katkeaa tai reitti on liian heikko, verkko etsii uuden reitin.

Teollista internetiä hyödyntävä reaaliaikaiseen tiedonkeruuseen perustuva mittausjärjestelmä vähentää tarvetta käydä paikanpäällä lukemassa mittareita ja säästää näin manuaalisen työn tuomia kustannuksia. Mittausjärjestelmä havaitsee nopeasti poikkeamat ja raja-arvojen ylitykset mikä puolestaan parantaa kaivosturvallisuutta.

#### 8.4.4 Kallion lujitus

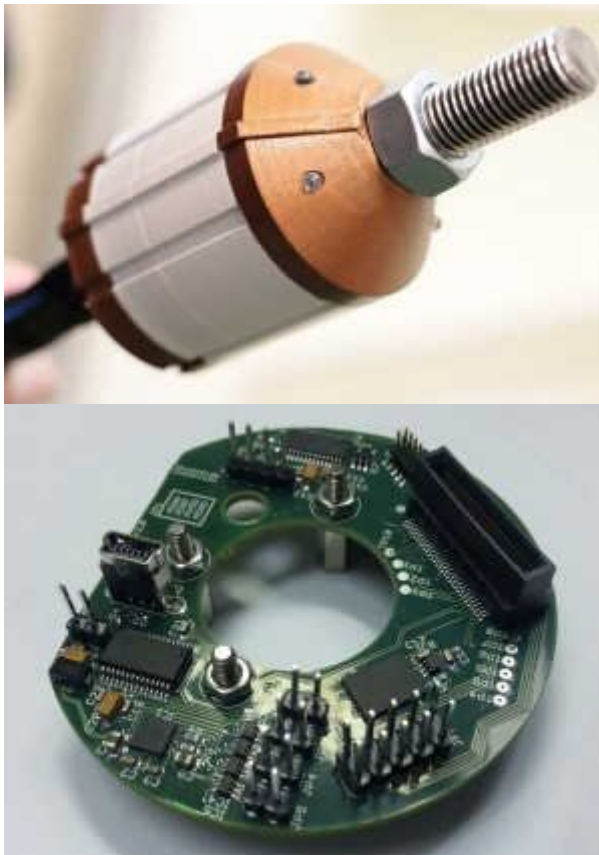
Kalliotilan pysyvyyteen vaikuttavat monet toisiinsa kytkeytyvät seikat. Merkittäviä ovat kallion geologia, jännitystilat sekä vesiolosuhteet. Kiven mekaaniset ominaisuudet, kalliotilojen muoto, koko ja sijainti, raot, siirrokset sekä heikkousvyöhykkeet vaikuttavat lujituksen tarpeeseen. (Kokkonen 2015, 55.)

Maanalaisessa kaivoksessa pultituksen tarkoitus on rajoittaa kalliossa tapahtuvia muodonmuutoksia ja pitää rakoilleet kalliokappaleet yhdessä. Pulteilla lujitettu kallio muodostaa louhitun tilan ympärille holvimaisen yhteen sidotun kaaren, joka vahvistaa kalliota kestäväksi itsenäisenä rakenteena siihen jännitystilasta tai muusta syystä johtuvat varsinaiset rasitukset. Pultituksella pyritään myös kiinnittämään mahdollisesti irtoavat lohkat ympäröivään ehjään vyöhykkeeseen. (Kokkonen 2015, 56.)

Pultituksella on suuri merkitys kallion lujituksessa. Jos yksi tai useampi pultti vikaantuu seurauksena voi olla kallion sortuminen aiheuttaen tuotannon seisoikin, kaivoskoneen rikkoutumisen tai jopa työntekijän kuoleman. Kalliopultin kunnon tarkastamiseen ei ole olemassa yksinkertaista keinoa. Pultti voi katketa yllirasituksesta tai se voi menettää otteen kallioon ilman näkyviä muutoksia.

Ericsson on kehittänyt älykkään sensorin (Kuva 3), joka sisältää venymäanturin. Kiinnittämällä sensori perinteiseen kalliopulttiin sen avulla voidaan mitata esimerkiksi kalliopultin venymistä ja värinää. Sensorin virrankulutus on hyvin pieni ja riittävä määrä virtaa saadaan nappiparistolla moneksi vuodeksi. Älykäs kalliopultti kommunikoi ja siirtää dataa muiden älykkäiden kalliopulttien kanssa muodostaen automaattisesti mesh-topologian mukaisen sensoriverkon käyttäen esimerkiksi 6LoWPAN-tekniologiaa. Jokainen verkossa oleva sensori lähettää mittaustietonsa langattomasti internetin kautta pilvipalvelimelle. Mittaustoimintojen lisäksi sensorissa on LED-valoja joiden avulla voidaan ilmaista toiminnallisia tiloja, kuten normaali tila sekä eriateisia varoituksia. LED-valoja voidaan käyttää tarvittaessa myös opastamaan ihmisiä lähimmälle hätäpoistumisreitille. Tulevaisuudessa sensoriin voidaan yhdistää esimerkiksi kaasua ja tulipaloja tunnistavia antureita. (Eklund 2015.)

Kuvassa 3 on esitetty Ericssonin kehittämä kalliopulttiin kiinnitettävä älykäs sensori.



Kuva 3. Kalliopultti ja siihen kytkettävä älykäs sensori (Eklund 2015).

#### 8.4.5 Kallion liikkeiden mittaus

Maanalaisessa kaivoksessa kallion liikkeitä seurataan visuaalisella havainnoinnilla louhinnan edetessä sekä kallioon kiinteästi asennettavien mittalaitteiden avulla. Tällaisia mittalaitteita ovat esimerkiksi inklinometri ja ekstensometri (Julkinen & Rantajärvi 2015, 36).

Inklinometri on maaperän liikkeiden valvontaan yleisesti käytetty mittauslaite. Mittaus tehdään inklinometrisauvasta, joka sisältää kaksiakselisia kallistusantureita. Anturit ovat sauvassa tyypillisesti metrin välein. Mittaussauva asennetaan maaperään pystysuoraan asentoon siten, että se liikkuu ja taipuu maaperän kerrosten liikkeiden mukaan. Siirtymäprofiili lasketaan sauvan antureiden antamista tiedoista. (FinMeans siirtymän mittaus 2017.)

Ekstensometri on myös maaperän liikkeitä mittaava laite. Mittalaitteet ovat kolmipiste- tai viisipiste-ekstensometrejä joiden mittausalue on 25–100 millimetriä. Ekstensometrit asennetaan kallioreikään ja, eri syvyyksiin asennetut ankkurit liikkuvat referenssipäähän nähden kallion liikkeiden mukana. Samalla saadaan tieto ankkureiden ja referenssipään lämpötiloista. (FinMeans kallion liikkeiden mittaus 2017.)

Automaattiset kalliomittaukset ja tulosten langaton siirto auttavat parantamaan turvallisuutta ja säästävät manuaalisen työn tuomia kustannuksia. Manuaalisissa mittauksissa mittausväli on harva, eikä niistä myöskään selviä milloin muutokset ovat todella tapahtuneet. Parin viikon aikana kalliossa voi tapahtua isoaakin liikettä, pahimmillaan aina sortumaan asti. Automaattisilla mittauksilla muutosten ajankohta saadaan tarkasti selville ja muutokset voidaan yhdistää tarkemmin louhintahetkeen ja esimerkiksi käytettyihin räjähteisiin. Etäluettavat mittalaitteet voidaan lisäksi asentaa myös vaikeakulkuisiin paikkoihin. (FinMeans kallion liikkeiden mittaus 2017.)

Teollista internetiä, älykästä sensoriteknologiaa ja langatonta tiedonsiirtoa käyttäen voidaan rakentaa turvallisuutta parantava, kustannustehokas, reaaliaikais-ta mittaustietoa keräävä ja raportoiva kalliomekaniikan seurantajärjestelmä.

#### 8.4.6 Miehittämättömät kaivoskoneet

Kaivoksessa lastaus ja kuljetus ovat helpoimmin automatisoitavissa olevia koh-teita työtehtävien toistuvuuden ja samankaltaisuuden johdosta. Näissä työteh-tävissä hyödynnetäänkin automaattisesti liikkuvia kiviautoja ja etäohjattavia las-tauskoneita yhä enenevässä määrin.

Miehittämättömät ja etäohjattavat koneet lisäävät kaivosturvallisuutta ja poista-vat inhimillisen virheen mahdollisuuden. Tuottavuus kasvaa, koneiden käyttöas-te nousee, polttoaine- ja energiatehokkuus paranevat ja päästöt vähenevät. Yk-si operaattori voi ohjata useampaa konetta. Kuljettajan työ on muuttunut enem-män suorittajasta valvojaksi. Koneet ovat myös pienentyneet, sillä ohjaamo tai jousitusta ei enää tarvita, koska uusi rakenne ei enää huomioi mahdollisia kul-jettajan tarpeita. (Päiviö 2016.)

Muun muassa Sandvik, Volvo ja Komatsu ovat kehittäneet innovatiivisia itseoh-jautuvia kaivoskone- ja kuorma-autokonsepteja kaivosteollisuuden tarpeisiin.

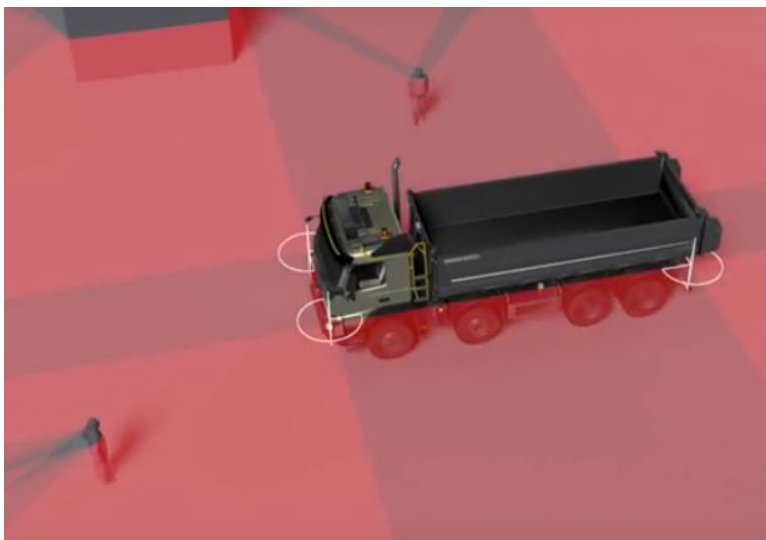
Sandvikin kehittämässä kaivoksen automaatiojärjestelmässä yksi operaattori voi käyttää maan pinnalla olevasta ohjauskeskuksesta useaa lastauskoneita ja dumpperia. Liikenteenohjaus- ja navigointijärjestelmät huolehtivat automaatti-esti koneiden liikkumisesta tunneleissa ja kauhan tyhjennyksestä. Vain kauhan täyttö vaatii operaattorin osallistumista videoyhteyden ja kauko-ohjauksen avul-la. Automaattisesti ajavia koneita käytetään ihmisiltä ja muulta liikenteeltä sulje-tuissa kaivoksen osissa. (Kervinen 2003; Sandvik 2017.)

Volvo on kehittänyt automaattisesti ajavia kuorma-autoja ja autonomisista kuorma-autoista voi vähitellen kehittyäkin tärkeä osa kaivostoimintaa. Sarjaval-misteisia kuorma-autoja on varustettu uusilla toiminnoilla. Mukana on muun

muassa järjestelmä, jossa hyödynnetään tutka- ja lasertoimisia antureita. (Konepörssi 2016.)

Volvo Trucksin toimitusjohtaja Claes Nilsson kertoo, että alkuvaiheessa järjestelmä tarkkailee kaivoksen geometriaa ja muodostaa kartan kuorma-autolle määrätystä reitistä. Kerättyjen tietojen perusteella säädellään ajoneuvon ohjausta, vaihteiden vaihtamista ja nopeutta. Anturit mittaavat jatkuvasti kuorma-auton ympäristöä jokaisella matkalla ja optimoivat edelleen kuorma-auton reittiä ja toimintaa. (Konepörssi 2016.) Bolidenin kaivoksessa malmia kuljettavan Volvon kuorma-auton etäohjauksessa kokeillaan 5G-teknologiaa (Ericsson 2015).

Claes Nilsson korostaa myös turvallisuuden tärkeyttä ja jatkaa, autonomisen kuorma-auton on oltava vähintään yhtä turvallinen ja luotettava kuin ihmisen ohjaaman. Jos kuorma-auton tuntumassa ilmenee jokin este, ajoneuvo pysähtyy automaattisesti ja kuljetushallintakeskus saa siitä ilmoituksen. Järjestelmän kuudesta anturista kaksi valvoo aina samaa aluetta kuorma-auton ympäristöstä. Jos kuorma-autossa ilmenee vika, sitä voidaan ohjata kuljetushallintakeskuksesta. (Konepörssi 2016.) Kuvassa 4 on esitetty havainnekuva kuinka sensorit valvovat kuorma-auton ympäristöä.



Kuva 4. Volvon autonomisesti kulkeva kuorma-auto (Konepörssi 2016).



Volvon pääjohtaja Martin Weissburgin näkemyksen mukaan kaivoskoneissa automaatio on vahvan kehityksen alainen sektori tänä päivänä ja koneisiin ja niiden käyttöön liittyviä tuotteita, kuten älypuhelimia, tabletteja ja applikaatioita, tullaan hyödyntämään enenevässä määrin. Teollinen internet on tullut jo jäädäkseen ja tarjoaa valtavat mahdollisuudet tulevaisuudessa. Koneet eivät kuitenkaan vielä keskustele kovin paljoa keskenään, joten sillä saralla on edelleen kehittämistä. (Päiviö 2016).

Monissa itseohjautuvissa autoissa on edelleen tilat ja ratti kuljettajaa varten. Jos tietokone tekee virheen, voi ihmiskuljettaja ottaa ohjat. Komatsun mukaan kuljettajan poisjättäminen raivaa tilaa uusille innovaatioille. Yhtiön kehittämä kuorma-auto on tästä hyvä esimerkki. (Tamminen 2016.) Kuvassa 5 on esitetty Komatsun kehittämä kahteen suuntaan navigoiva kuorma-auto.

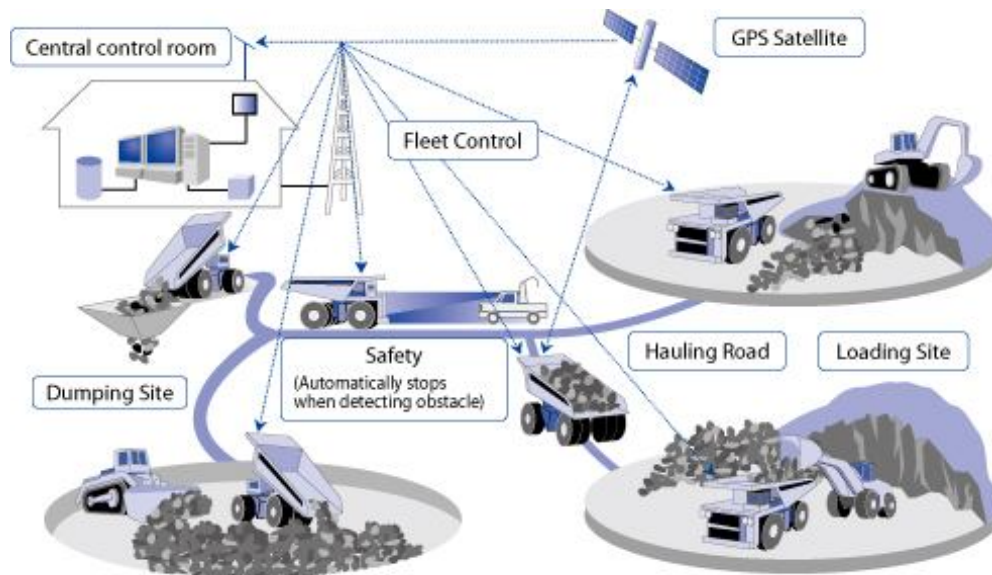


Kuva 5. Komatsun kehittämä innovatiivinen kuorma-auto ei kuljettajaa kaipaa (Tamminen 2016).

Komatsun automaattisesti liikkuvat kiviautot tunnetaan nimellä Front Runner ja niiden järjestelmä hyödyntää tarkkaa kaivoksen karttapohjaa. Autoissa on edelleen tarkka GPS-paikannus sekä automaattinen esteiden ja ajoneuvojen havaitseminen, joka hyödyntää tutkaa ja lasersädettä. Koneet ovat langattomassa

verkossa ja operaattori näkee autojen tarkat sijainnit sekä kulkusuunnat valvonnetietokoneelta. (Tamminen 2016.)

Kuviossa 3 on esitetty periaatekuva siitä, miten Komatsun kehittämä autonominen lastausjärjestelmä toimii.



Kuvio 3. Komatsun kehittämä autonominen lastausjärjestelmä (Komatsu 2017).

Autonomisten lastauskoneiden lisäksi Sandvik kehittää ja valmistaa autonomisia porajärjestelmiä, joita käytetään avolouhostyyppisissä kaivoksissa. Niillä tehdään kallioperään reikiä kiven irrottamista, kallioperän tutkimista tai injektointia varten. Injektointilla vahvistetaan ja tiivistetään kalliorakennetta.

Autonomisen poravaunun ohjaus pohjautuu langattoman radioverkon, GPS-navigoinnin, törmäyksiä valvovien kameroiden ja sijaintitietoon perustuvan tekniikan käyttöön. Porauksen aikana porausjärjestelmä kerää tietoa muun muassa kallion geologiasta, poraukseen kuluneesta ajasta ja poran terän tunkeutumisnopeudesta. (Sandvik Mining 2012.) Langattoman tiedonsiirron ja reaaliaikaisen tiedonkeruun ansiosta järjestelmä soveltuu hyvin osaksi teollista internetiä.

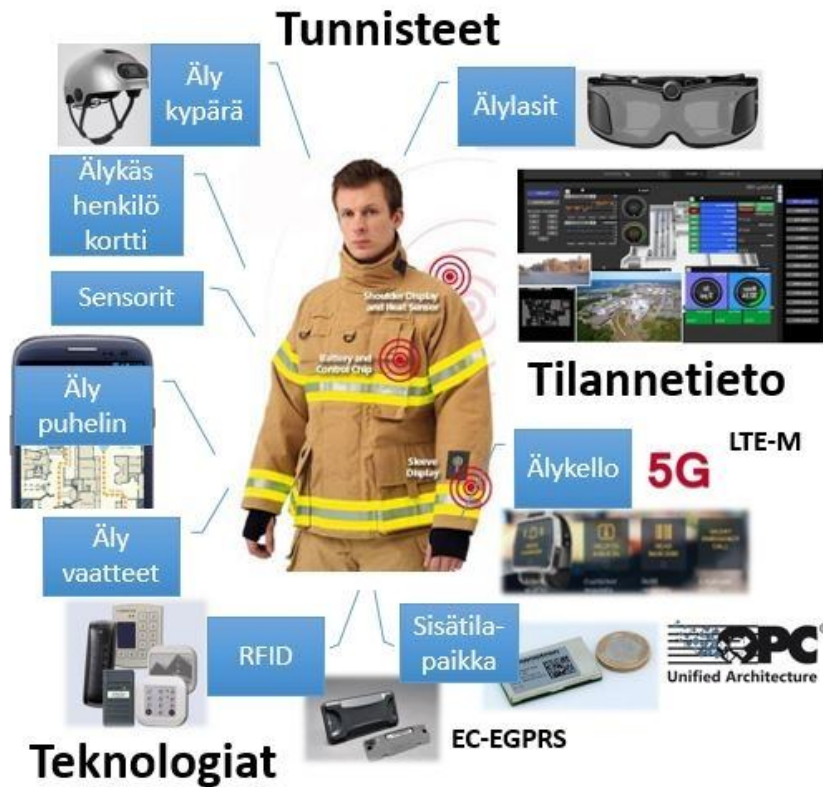
Edellä mainittujen lisäksi autonomisiin kaivoskoneisiin kuuluvat itsenäisesti kulkevat malmijunat, kauko-ohjattavat porauslaitteet, pusku- ja puskutraktorit ja kaivinkoneet.

#### 8.4.7 Puettavan teknologian hyödyntäminen

Teknologian kehittymisen myötä erilaiset kannettavat päätelaitteet, tabletit ja älypuhelimet sovelluksineen alkavat olla nykyään jo arkipäivää. Puettavat laitteet edustavat seuraavaa kehitysvaihetta, jossa laitteet saadaan kulkemaan mukana entistä saumattomammin, ja laitteiden käyttö voidaan toteuttaa siten, että kädet ja silmät jäävät vapaaksi varsinaisen työn tekemiselle. (Optiscan 2017.)

Puettaville laitteille ominaista on pieni koko sekä muotoilu siten, että ne kulkevat helposti käyttäjänsä mukana erillisenä keholla olevana laitteena tai jopa vaate-tukseen integroituna. Teknologian avulla työn tekijälle voidaan tuottaa entistä monipuolisemmin oikea-aikaista tietoa tehtävän suorittamiseen liittyen ilman, että varsinainen työn suoritus häiriintyy ylimääräisten laitteiden kantamisesta ja käyttämisestä. (Optiscan 2017.)

Kuviossa 4 on esitetty Centria ammattikorkeakoulun BILINE-hankkeen näkemys turvallisuuteen liittyvistä digitaalisista ratkaisuista. BILINE-hankkeessa rakennetaan tutkimusekosysteemi, jossa digitaalisen tunnistusteknologian kokonaisturvallisuutta edistäviä digitaalisia palveluita voidaan kokeilla ja kehittää (Centria tutkimus ja kehitys, 2016.)



Kuvio 4. Puettavaa teknologiaa (Centria tutkimus ja kehitys, 2016).

Motion Metrics yhtiö on yhteistyössä Vandrico yhtiön kanssa kehittänyt puettavan teknologian ratkaisuja erityisesti kaivosteollisuuden tarpeisiin. Motion Metrics on erikoistunut toteuttamaan ratkaisuja kaivoslaitteiden valvontaan ja Vandrico on keskittynyt työpaikkojen puettavaan teknologiaan. Puettavalla teknologialla voidaan parantaa työn tehokkuutta, tuottavuutta ja työntekijöiden turvallisuutta. (Motion Metrics, 2014; Sipola & Leinonen 2015, 47.)

Motion Metrics ja Vandrico ovat kehittäneet MetricsGear-alustan, joka mahdollistaa kriittisten hälytysten ja varoitusten lähettämisen suoraan kenelle tahansa kaivoksen henkilökunnalle älykelloon. Älykellon avulla voidaan ilmoittaa asiaan kuuluville henkilöille tapahtumista, kuten kaivinkoneen kauhan kadonneesta kynnestä tai koneiden törmäysriskistä. Hälytys mahdollistaa kaivoshenkilöstön nopean reagoinnin tilanteeseen estääkseen onnettomuuksia ja parantaakseen tuottavuutta. (Motion Metrics, 2014; Sipola & Leinonen 2015, 47.)

#### 8.4.8 Älyvaatteet

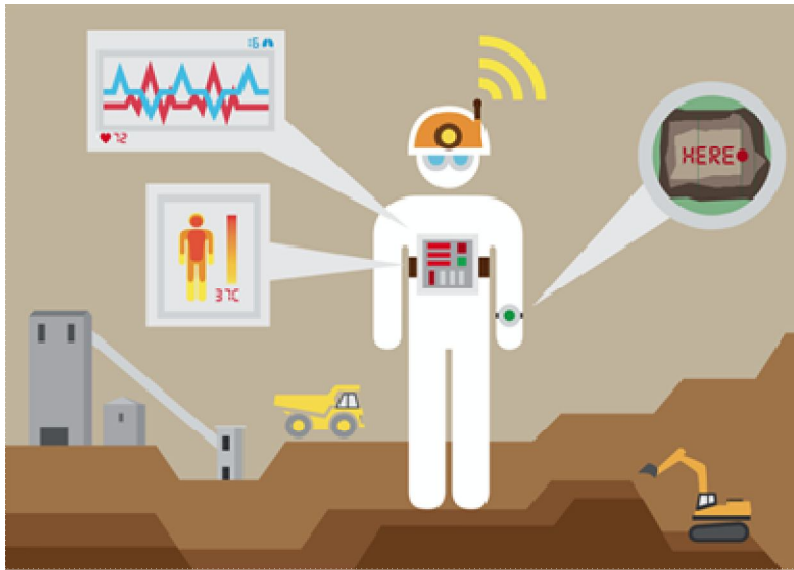
Älyvaatteet edustavat seuraavaa kehitysvaihetta jolla kaivostyöntekijöiden turvallisuutta voidaan parantaa.

Älyvaate on normaalin vaateen kaltainen asu, joka vastaanottaa informaatiota ympäristöstä ja vaateen kantajasta. Älyvaate mahdollistaa jatkuva-aikaisen työntekijän terveydentilan seurannan. (Myllylä 2009, 2-4.)

Älyvaatteeseen asennettujen sensoreiden avulla (Kuvio 5) voidaan seurata ihmisen tärkeitä elintoimintoja, kuten EKG:tä, EMG:tä, sykevaihtelua, verenpainetta, valtimoveren happikylläisyyttä, ihon lämpötilaa, ihoon kohdistuvaa painetta, lihasten sähköistä toimintaa, liikkeitä ja asentoja sekä niissä tapahtuvia muutoksia. (Myllylä 2009, 2-4.)

Tietoa työntekijän elintoiminnoista ja asennosta lähetetään automaattisesti älyvaatteeseen integroidulla radiolähttimellä kaivoksen keskusvalvomoon tai pilvipalveluun, jossa digitaalinen palvelu huolehtii sen seurannasta ja hälytysten lähetyksestä oikeille ihmisille (Braul 2016). Elintoimintojen muuttuessa niin, että ne eivät ole enää normaalin rajoissa on merkinä siitä, että työntekijä on avun tarpeessa. Kaatunut tai paikallaan oleva työntekijä voi myös olla avun tarpeessa. Tiedot elintoiminnoista on suureksi avuksi pelastustoimeen ryhtyville ensiavun antajille.

Älyvaatteeseen asennettujen sensoreiden avulla voidaan seurata myös työskentely-ympäristön olosuhteita, kuten lämpötilaa, kosteutta, valaistusta sekä terveydelle haitallisten altisteiden esiintymistä. Asetettujen raja-arvojen ylityksestä voidaan antaa suoraan hälytys työntekijälle tai tieto lähetetään kaivoksen keskusvalvomoon josta työntekijää varoitetaan vaaralliseksi muuttuneesta työskentely-ympäristöstä. (Jayabharata & Marimuthu 2015.)



Kuvio 5. Älyvaatteeseen asennettujen sensoreiden avulla voidaan seurata ihmisen tärkeitä elintoimintoja ja olinpaikkaa (Equivaltal 2017).

## 8.5 Ympäristö ja kestävä kehitys

Kaivosteollisuus on erittäin energiaa kuluttava teollisuudenala. Älykkäällä energianmittauksella ja -seurannalla edistetään kaivostoimintojen energiatehokkuutta ja lasketaan energiakustannuksia. Esimerkiksi Ruotsissa LKAB:n kaivoksessa käytössä olevalla ABB:n energianhallintajärjestelmän avulla toiminnan energiankulutuksesta ja kustannuksista saadaan luotettavaa mittaustietoa. Energianhallintajärjestelmä seuraa pilvipalvelusovelluksen kautta etänä kaivoksen kaikkien prosessien tietoja. Kerätyn aineiston avulla voidaan paikantaa prosessin potentiaaliset parannuskohteet samoin kuin energiatehokkaasti toimivat prosessin osat. Tieto toimii pohjana myös energiansäästötoimille. (ABB 2012.)

Kaivostoiminnasta aiheutuu ympäristövaikutuksia sen elinkaaren kaikissa vaiheissa. Se, millaisia nämä vaikutukset ovat, riippuu malmin louhinta- ja käsitteilytavasta, malmin tyypistä sekä esiintymän koosta, geometriasta ja sijainnista. Tavat, jolla näitä vaikutuksia hallitaan ja tarkkaillaan, määräytyy pääasiassa ympäristöluvan mukaisesti. Tarkkailuohjelmia voidaan edellyttää esimerkiksi vesien laadun seurannalle, ilmapäästöille, jätteille ja satunnaisille jätevesipäästöille. (Hakapää & Lappalainen 2011, 371.)

Ympäristölainsäädäntö tiukkenee jatkuvasti, mikä tulee olemaan kaivosyhtiöille suuri haaste. Kaivosyhtiöt hakevat tasapainoa sen suhteen, miten ne pystyvät vastaamaan uusiin vaatimuksiin ja turvaamaan ympäristöä kustannustehokkaasti. Mittapisteitä ja reaaliaikaista seuranta on lisättävä. Ratkaisuja haetaan uusista teknologioista ja toimintatapojen uudistamisesta.

Teollinen internet, kehittynyt mittausteknologia ja seurannan automatisointi nostavat kaivosten ympäristöturvallisuuden uudelle tasolle verrattuna menetelmään, jossa ympäristöturvallisuuden valvonta perustuu satunnaisesti tapahtuvaan silmämääräiseen havainnointiin ja kertanäytteenottoon.

Kaivosteollisuuden tarpeisiin suunniteltujen siirrettävien mittauslaitteiden avulla voidaan mitata metallien ja muiden haitallisten aineiden vesistökuormituksia ja päästöjä tarkasti sekä ohjata kenttäolosuhteissa tapahtuvia veden puhdistusprosesseja ympärivuotisesti paikasta ja ajasta riippumatta. Mittalaitteiden avulla kerättävä mittausdata lähetetään langattomasti eteenpäin kaivoksen omaan automaatiojärjestelmään tai internetiin, ja näin voidaan pitoisuuksien nousuista saada reaaliaikainen tieto korjaavia toimenpiteitä varten. (Seppälä 2016.)

Mittauslaitteiden avulla kertyvän tiedon perusteella syntynyt hälytys siirtyy kaivoksen kunnosta ja toiminnasta vastaavien tahojen mobiililaitteisiin tai sähköpostiin, kun raja-arvot seurattavien päästöjen osalta ylittyvät. Uusi teknologia mahdollistaa tiedon saamisen heti. Esimerkiksi kaivoksella tapahtuvaan päästöön voidaan välittömästi reagoida ja näin ollen estää suurten metallimäärien joutumisen vesistöön. (Seppälä 2016.)

## 9 POHDINTA

Teollinen internet kuvaa toimintakenttää, joka muodostuu kun yhdistetään internetin tuomat mahdollisuudet teollisuusjärjestelmien maailmaan niin, että yhdessä ne mahdollistavat olemassa olevien toimintaprosessien kehittämisen uudella tavalla ja tiedon kokonaisvaltaisen hyödyntämisen. Teollinen internet on digitalisoitumisen seurauksena tapahtuvaa toimintojen ja järjestelmien tehostumista, jossa laitteiden älykkyyden lisääntyminen mahdollistaa myös aikaisempaa tarkemman toiminnan.

Teollisen internetin myötä koneet, laitteet ja tietojärjestelmät liittyvät yhteen ja tieto siirtyy globaalissa verkossa. Jotta tämä yhdentymisen olisi mahdollista, teollinen internet tarvitsee teknisiä osatekijöitä, kuten älykkäitä sensoreita keräämään tietoa prosesseista, koneista ja laitteista, tiedon reaaliaikaisuutta, luotettavaa langatonta tiedonvälitystä, tiedon varastointia ja yhdistämistä, analytiikkaa päätöksenteon tueksi sekä digitaalisia palveluja. Näiden osatekijöiden päälle voidaan rakentaa myös uudenlaisia yritysten välisiä liiketoimintamalleja, jotka toimiakseen edellyttävät avoimuutta ja luottamusta. Teollinen internet pelkkänä osatekijöiden summana ei edistä yritysten kilpailukykyä vaan sen toimii mahdollistajana toiminnan tehostamisessa ja uusien liiketoimintamahdollisuuksien käynnistämässä.

Teollinen internet kehittyy vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa sensoreista saadun tiedon pohjalta pyritään parantamaan prosessien ja laitteiden tuottavuutta. Tiedon pohjalta luodaan toimintaa kuvaavia ja ennustavia malleja joita hyödynnetään prosessien ohjauksessa sekä koneiden ja laitteiden käytön optimoinnissa ja kunnossapidon suunnittelussa. Ensimmäinen vaihe on jo menossa. Toisessa vaiheessa tulee mukaan älykkäät koneet ja laitteet. Lopussa älykkäät koneet kykenevät kommunikoimaan keskenään ennalta sovitun protokollan mukaan.

Teollinen internet on selvästi kehittynyt pisteeseen, jossa se pystyy tukemaan ja luomaan uusia toimintoja ja palveluja myös kaivosteollisuudessa. Hyödyntämäl-



lä koko teollisen internetin potentiaalin ja saattamalla ihmiset, laitteet, koneet ja järjestelmät yhdeksi integroiduksi ympäristöksi, kaivosyhtiöt voivat parantaa tuottavuutta, alentaa kustannuksia ja lisätä työvoiman tyytyväisyyttä. Tärkein saavutus on kuitenkin turvallisuuden parantuminen.

Ilmiönä älykkäät verkottuneet tuotteet ja teollisen internetin kokonaisvaltainen hyödyntäminen kaivoksessa on vielä varsin uutta. Teollisen internetin matka kaivosteollisuudessa on vasta alkanut.

Esimerkkinä uudesta systeemistä on älykäs kaivos. Älykkään kaivoksen tunnusmerkkejä ovat muun muassa kaivoksen laajuiset langattomat tietoverkot, autonomiset kaivoskoneet, prosessinomainen kaivostuotanto, itsenäiset tuotantoprosessit ja etäohjattu tuotanto. Miehittämättömät kaivokset ovat sekä kaivosyhtiöiden että kaivoskonevalmistajien selkeä tahtotila. Aikataulu on kuitenkin hämärän peitossa. Jopa vuosi 2030 tulee aika pian.

## LÄHTEET

ABB. 2012. Suomen ABB:n innovaatio edistämässä LKAB:n kaivostoimintaa ruotsissa. Viitattu 4.1.2017

<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/3761c546d13ec1fdc1257a7800214acb.asp>.

Airikka, P. 2015. Teollinen internet ja etäseuranta ratkaisuna. Automaatioväylä 4/2015, 21–22. Viitattu 4.1.2017 [http://www.automaatiovayla.fi/wordpress/wp-content/uploads/2016/05/Automaatiovayla\\_4\\_2015.pdf](http://www.automaatiovayla.fi/wordpress/wp-content/uploads/2016/05/Automaatiovayla_4_2015.pdf).

Ailisto, H. (toim.), Mäntylä, M. (toim.), Seppälä, T. (toim.), Collin, J., Halén, M., Juhanko, J., Jurvansuu, M., Koivisto, R., Kortelainen, H., Simons, M., Tuominen, A. & Uusitalo, T. 2015. Suomi – Teollisen Internetin Piilaakso. Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 4/2015. Viitattu 16.1.2017 [http://www.foggara.fi/wpcontent/uploads/2015/11/Suomi\\_Teollisen\\_Internetin\\_Piilaakso.pdf](http://www.foggara.fi/wpcontent/uploads/2015/11/Suomi_Teollisen_Internetin_Piilaakso.pdf).

Ajmeri, A. 2013. Field wireless networks. ISA. Viitattu 26.3.2017

<https://www.isa.org/standards-publications/isa-publications/intechmagazine/2013/december/field-wireless-networks>.

Arrow. 2015. IoT-matka. Internet of Things on mahdollisuus. Arrow ECS. Viitattu 26.1.2017 <http://iotfinland.fi>.

Artte, U., Hjort, M., Saura, A., Vartiainen, H., Wikstöm, T., Kouki, P. & Suhonen, S. Mobiilisanasto - Matkaviestintöosaston (TSK 29) täydennysosa. Sanastokeskus TSK ry. Helsinki 2015. Viitattu 29.1.2017

<http://www.tsk.fi/tiedostot/pdf/Mobiilisanasto.pdf>.

Bluetooth SIG. Bluetooth 5 coming soon. Viitattu 16.2.2017

<https://www.bluetooth.com/news/pressreleases/2016/06/16/-bluetooth5-quadruples-rangedoubles-speedincreases-data-broadcasting-capacity-by-800>.

Boliden. 2015. Metals for modern life 2015. Boliden 2015. Viitattu 17.3.2017

<http://www.boliden.fi/Documents/Press/Publications/Boliden%20metals-for-modern-life-fin.pdf>.

Braul, P. 2016. How miners can collect the necessary data to prevent deaths. Viitattu 23.1.2017 <http://magazine.cim.org/en/2016/February/feature/Know-no-fear.aspx#.VsyJE8gDQHI.twitter>.

Burman, P. 2016. Tulevaisuuden kaivos on digitaalinen. Metals for modern life 2016. Boliden 2016, 10. Viitattu 22.1.2017

[http://www.boliden.com/Documents/Press/Publications/Metals%20for%20modern%20life/337-6514%20Metals%20for%20modern%20life%202016\\_FI.pdf](http://www.boliden.com/Documents/Press/Publications/Metals%20for%20modern%20life/337-6514%20Metals%20for%20modern%20life%202016_FI.pdf).

Burnson, F. 2017. Fleet Management and The Internet of Things: What You need to Know. Software Advice. Viitattu 26.3.2017

<http://www.softwareadvice.com/resources/fleet-management-internet-of-things/>.

Businessoulu. 2014. Teollisuus tekee vallankumouksen. ICT:n uudet mahdollisuudet teollisuudessa (kaivos, energia, infra, logistiikka ja rakentaminen). Julkaisu-sarja. Businessoulu, TeollisuusForum. Viitattu 9.3.2017  
[https://www.businessoulu.com/media/teollisuusforum\\_materiaalit/julkaisut/ict\\_uudet\\_mahdollisuudet\\_b5\\_20140526.pdf](https://www.businessoulu.com/media/teollisuusforum_materiaalit/julkaisut/ict_uudet_mahdollisuudet_b5_20140526.pdf).

Canzian, C. 2016. Mittaamalla akut kestävät pidempään. Uusiteknologia.fi 1/2016, 32–35. Teknologiamediat Oy. Viitattu 19.3.2017  
<http://www.uusiteknologia.fi/2016/05/11/mittaamalla-iot-yksikon-akut-kestavat-pidempaan/>

Centria tutkimus ja kehitys. 2016. Biline - Turvallisuuteen liittyvät digitaaliset ratkaisut. Centria Ammattikorkeakoulu. Viitattu 18.3.2017  
<http://tki.centria.fi/hanke/biline-turvallisuuteen-liittyvat-digitaaliset-ratkaisut/6222/6222/6222>.

Cisco, 2015. 802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi. Technical White Paper. March 2014. Viitattu 18.2.2017  
[http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white\\_paper\\_c11-713103.pdf](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white_paper_c11-713103.pdf).

Collin, J., Saarelainen, A. 2016. Teollinen internet. Talentum. Helsinki 2016.

Damag, S. 2016. The Digital Mine: Automation, Tech, Big Data, And Analytics Fuel Growth. Digitalist Magazine. SAP. Viitattu 9.3.2017  
<http://www.digitalistmag.com/future-of-work/2016/03/23/digital-mine-automation-tech-big-data-analytics-fuel-growth-04088727>.

Eklund, B. 2015. Internet of Things in mining. Ericsson. Viitattu 18.3.2017  
<https://www.ericsson.com/research-blog/internet-of-things/internet-of-things-in-mining>.

Elahi, A., Gschwender, A. 2009. Introduction to the Zigbee wireless sensor and control network. Viitattu 21.3.2017  
<http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=1409785&seqNum=4>.

Ericsson. 2015. Ericssonin 5G-verkko tekee Ruotsin kaivoksista turvallisempia. Ericsson 1.6.2015. Viitattu 21.3.2017  
<https://www.epressi.com/tiedotteet/tietotekniikka/ericssonin-5g-verkko-tekee-ruotsin-kaivoksista-turvallisempia.html>.

Ericsson. 2016. Cellular networks for massive IoT. Whitepaper. Viitattu 25.2.2017  
[https://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp\\_iot.pdf](https://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp_iot.pdf).

Equival. 2017. How miners can collect the real time data to prevent deaths. Viitattu 9.3.2017  
<https://twitter.com/equival/status/702170004708581376>.

Finlex. 2011. Kaivoslaki. Viitattu 8.3.2017  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110621>.

FinMeans kallion liikkeiden mittaus. 2017. Kallion liikkeiden mittaus. FinMeans Oy. Viitattu 19.3.2017 <http://www.finmeas.com/kallion-liikkeiden-mittaus>.

FinMeans siirtymän mittaus. 2017. Siirtymien mittaus. FinMeans Oy. Viitattu 19.3.2017 <http://www.finmeas.com/siirtyman-mittaus>.

Gallestey, E., Westerlund, P., Lima, E., Rietschel, F., Andai, R., & Colbert, C. 2015. White paper. Next Level mining: Securing the future through integrated operations & information technologies. ABB. Viitattu 25.3.2017 [https://library.e.abb.com/public/5d588609dd1842de95c7f7312dbd24fe/Next\\_Level\\_Mining\\_White\\_%20paper.pdf](https://library.e.abb.com/public/5d588609dd1842de95c7f7312dbd24fe/Next_Level_Mining_White_%20paper.pdf).

GS1. 2017. RFID. GS1 Finland Oy. Viitattu 25.2.2017 <https://www.gs1.fi/standardit/tunnista/rfid>.

GTK. 2017. Geologinen tutkimuskeskus. Metallien kaivostuotannon tunnusluku ja vuonna 2015. Viitattu 22.1.2017 [http://www.gtk.fi/\\_system/print.html?from=/geologia/luonnonvarat/metallit](http://www.gtk.fi/_system/print.html?from=/geologia/luonnonvarat/metallit)

Hytti, S., Ruusunen, S. 2016. Ekosysteemit yritysmaailmassa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tuotantotalouden laitos. Kandidaattityö. Viitattu 1.2.2017 [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/123695/Kandidaatinty%C3%B6\\_Hytti\\_Sara\\_Ruusunen\\_Sanna.pdf](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/123695/Kandidaatinty%C3%B6_Hytti_Sara_Ruusunen_Sanna.pdf).

Hakala, N. 2015. Mikä ihmeen 5G? Katsaus tulevaisuuden mobiiliverkkojen kehitykseen. Mobiili.fi. Viitattu 25.2.2017 <http://mobiili.fi/2015/10/15/mika-ihmeen-5g-katsaus-tulevaisuuden-mobiiliverkkojen-kehitykseen>.

Hakapää, A., Lappalainen, P. 2011. Kaivos- ja louhintatekniikka. Kaivosteollisuus ry. Opetushallitus. Vammalan Kirjapaino Oy, 2011. Helsinki.

Heikkilä, A. 2014. Big datan käyttöönoton ja hyödyntämisen keskeisiä haasteita. Bigdata.fi 18.8.2014. Viitattu 5.3.2017 <http://www.bigdata.fi/blogi/vierailijakirjoitus/big-datan-kayttoonoton-ja-hyodyntamisen-keskeisia-haasteita>.

IEEE. 2017. IEEE project P2413 -Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT). IEEE Standards Association. Viitattu 4.3.2017 <https://standards.ieee.org/develop/project/2413.html>.

Ihalainen, A. 2014. Älykkäät anturit hammaskytkimen kunnonvalvonnan välineinä. Karelia-ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 12.2.2017 [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/86482/Ihalainen\\_Aki.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/86482/Ihalainen_Aki.pdf).

Ingalsuo, T., 2015. Digitalisaatio ja arvon yhteisluonti valmistavassa teollisuudessa teollinen internet ja sosiaalinen tietojenkäsittely mahdollisuuksina. Tampereen yliopisto. Informaatiotieteiden yksikkö. Pro gradu -tutkielma. Viitattu

4.2.2017 <https://tampub.uta.fi/bitstream/handle/10024/97386/GRADU-1434369009.pdf>.

Jaakkonen, K., Kääriäinen, J. & Tihinen, M. 2016. Askeleet kohti teollista internetiä. Automaatiovayla 1/2016, 15–17. Viitattu 3.3.2017 [http://www.automaatiovayla.fi/wordpress/wp-content/uploads/2016/05/Automaatiovayla\\_1\\_2016.pdf](http://www.automaatiovayla.fi/wordpress/wp-content/uploads/2016/05/Automaatiovayla_1_2016.pdf).

Jayabharata, S., Marimuthu, CN. 2015. Wearable Real Time Health and Security Monitoring Scheme for Coal Mine Workers. Reach article. Journal of Electronic Systems. Viitattu 19.3.2017 <https://www.omicsgroup.org/journals/wearable-real-time-health-and-security-monitoring-scheme-for-coalmine-workers-2332-0796-1000152.php?aid=60305>.

Juhanko, J. (toim.), Jurvansuu, M. (toim.), Ahlqvist, T., Ailisto, H., Alahuhta, P., Collin, J., Halen, M., Heikkilä, T., Kortelainen, H., Mäntylä, M., Seppälä, T., Salminen, M., Simons, M. & Tuominen, A. 2015. Suomalainen teollinen internet – haasteesta mahdollisuudeksi: taustoittava kooste. ETLA Raportit No 42. Viitattu 4.1.2017 <http://pub.etla.fi/ETLA-Raportit-Reports-42.pdf>.

Julkunen, J., Rantajärvi, H. 2015. Louhosseinämien stabiliteetin valvontamenetelmän luonti Kevitsan kaivokselle. Lapin AMK. Maanmittaustekniikka. Opinnäytetyö. Viitattu 19.3.2017 [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91288/Julkunen\\_Jaakko\\_Rantajarvi\\_Henri.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91288/Julkunen_Jaakko_Rantajarvi_Henri.pdf?sequence=1).

Jäntti, R. 2016. Tutkijat toteuttaneet kapeakaistaisen esineiden internetjärjestelmän prototyypin. Aalto-yliopisto. Viitattu 23.2.2017 <http://www.aalto.fi/fi/current/news/2016-06-28>.

Kallioniemi, T. 2009. Zigbee standardin toiminta ja periaatteet. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tutkintotyö. Viitattu 17.2.2017 [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13729/Kallioniemi\\_Tapio.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13729/Kallioniemi_Tapio.pdf)

Kangas, M. 2002. E-Service Investointihyödykkeiden huolto. SITRA. Helsinki 2002. Viitattu 15.3.2017 <https://media.sitra.fi/2017/02/27172224/eservice-2.pdf>.

Karlson, T. 2011. Kaivostoiminta ja kaivoksen elinkaari. Geologia.fi. Viitattu 23.3.2017 <http://www.geologia.fi/index.php/sv/2011-12-21-12-30-30/luonnonvarat/kaivostoiminta-ja-kaivoksen-elinkaari>.

Kervinen, J-P. 2003. Suomalainen kaivoskone menestyy Kiinassa. Tekniikka ja talous 17.11.2003. Viitattu 21.3.2017 <http://www.tekniikkatalous.fi/arkisto/2003-11-17/Suomalainen-kaivoskone-menestyy-Kiinassa-3262781.html>.

Keskimaunu, S., Pohjanen, M. 2014. Avolouhos työympäristönä MineHealth – hankkeessa. Lapin ammattikorkeakoulu. Hyvinvointipalveluiden osaamisala. Opinnäytetyö. Viitattu 19.3.2017

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76584/Keskimaunu\\_Sanna\\_Pohjanen\\_Minna.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76584/Keskimaunu_Sanna_Pohjanen_Minna.pdf).

Keski-Säntti, J. 2005. Kaivosympäristöön soveltuvat langattomat tiedonsiirto-menetelmät. Viitattu 1.2.2017  
[http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/pmo\\_kaivosymparistoon\\_soveltuvat\\_tiedons4.pdf](http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/pmo_kaivosymparistoon_soveltuvat_tiedons4.pdf).

Kokko, M. 2015. Kaivosala keskittyy kannattavuuden parantamiseen. Toimiala-raportti Syksy 2015. Elinkeino-, ja liikenne- ja ympäristökeskus. 24.9.2015. Viitattu 6.1.2017  
[http://www.temtoimialapalvelu.fi/files/2458/Kaivosalan\\_nakymat\\_syksy\\_2015.pdf](http://www.temtoimialapalvelu.fi/files/2458/Kaivosalan_nakymat_syksy_2015.pdf).

Kokkonen, T. 2015. Kaivosalan työturvallisuus. Lapin AMK. Tekniikan ja liikenteen koulutusala. Konetekniikka. Opinnäytetyö. Viitattu 18.3.2017  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/102958/Kokkonen\\_Tero.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/102958/Kokkonen_Tero.pdf?sequence=1).

Komatsu. 2017. How Autonomous Haulage System Works. Komatsu. Viitattu 22.3.2017 [http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/product\\_supports](http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/product_supports).

Konepörssi. 2016. Autonomista Volvo FXM -kuorma-autoa testataan kaivoksessa. Konepörssi 11.10.2016. Viitattu 20.3.2017  
<http://www.koneporssi.com/uutiset/testauksessa-autonominen-volvo-fmx-kuorma-auto>.

Koskenlaakso, L. 2014. Automaatio tehostaa kivenmurskausta. Rajapinta 1/2014. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 9.3.2017  
<http://www.tut.fi/rajapinta/artikkelit/2014/1/automaatio-tehostaa-kivenmurskausta>.

Lahti, S. Salminen, T. 2014. Digitaalinen taloushallinto. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Laine, E-L. 2010. Geologisen 3D-paikkatiedon hallinta. Positio 1/2010. Viitattu 7.3.2017  
[https://www.paikkatietoikkuna.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=cfd6087a-7613-4561-9777-ac1a2d697d47&groupId=108478](https://www.paikkatietoikkuna.fi/c/document_library/get_file?uuid=cfd6087a-7613-4561-9777-ac1a2d697d47&groupId=108478).

Lehonkoski, L. 2010. Zigbee-verkot. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Kandidaattityö. Viitattu 17.2.2017  
<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/66229/Zigbee-verkot.pdf>.

Lehtiniitty, M. 2016. Mikä NB-IOT? Uusi Huaweiin edistämä verkkotekniikka tuo nettiyhteyden esineisiin pidemmällä akunkestolla ja edullisemmin. Mobiili.fi. Viitattu 23.2.2017 <http://mobiili.fi/2016/09/03/mika-nb-iot-uusi-huaweiin-edistama-verkkotekniikka-tuo-nettiyhteyden-esineisiin-pidemmallalla-akkukestolla-ja-edullisemmin>.

Lindroos, O. 2014. Digitaalinen liiketoiminta perustuu ideatalouteen. Solita Oy. Viitattu 9.3.2017 <https://www.solita.fi/think-tank/digitaalinen-liiketoiminta-perustuu-ideatalouteen>.

Lindroos, O., Pirinen, V., Stenbäck, A., Aro, M., Penttinen, P., Pankakoski, J., Hagros, K. & Seppälä, T. 2016. Mikä jarruttaa IoT-kehitystä? Think Tank Teollinen internet ja IoT. Solita Oy. Viitattu 4.3.2017 <https://www.solita.fi/think-tank>.

LinkLabs. 2015. What Is Weightless. Viitattu 24.2.2017 <https://www.linklabs.com/blog/what-is-weightless>.

LVM, 2014. Big data- strategia. Liikenne- ja viestintäministeriö. Julkaisu X/2013. Viitattu 30.1.2017 <https://www.lvm.fi/lvm-site62-mahti-portlet/download?did=139030>.

Manninen, J-P. 2008. Langattoman Kilavi-sensorisolmun kehittäminen. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Diplomityö. Viitattu 11.2.2017 <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6546/manninen.pdf>.

Mobilaris. 2017. Solutions for information advanced in underground mines. Mobilaris. Viitattu 18.3.2017 <http://www.mobilaris.se/getdoc/0008459d-bb58-475d-ac56-dc59bffe3376/mining-and-industrial-intelligence>.

Morgan Stanley. 2016. The Internet of Things and the New Industrial Revolution. Viitattu 4.3.2017 <http://www.morganstanley.com/ideas/industrial-internet-of-things-and-automation-robotics>.

Myllylä, S. 2009. Älyvaate. Keski-pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan osasto. Opinnäytetyö. Viitattu 19.3.2017 [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/5672/Sirpa\\_Myllyla.pdf.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/5672/Sirpa_Myllyla.pdf.pdf?sequence=1).

Mäntylä, M. 2015. Teollinen Internet: kaverikutsuja koneilta. Automaatioväylä 1/2015, 8–10. Viitattu 9.3.2017 [http://www.automaatiovayla.fi/wordpress/wp-content/uploads/2016/05/Automaatiovayla\\_1\\_2015.pdf](http://www.automaatiovayla.fi/wordpress/wp-content/uploads/2016/05/Automaatiovayla_1_2015.pdf).

Mäkelä, H. 2007. Autonomisen liikkuvan koneen teknologiat. Navitec Systems Oy. Viitattu 9.3.2017 [http://www.eis.fi/ect/ect2007/ECT07\\_Alykkaatkoneet/ECT070906\\_AlykkaaKoneet\\_HannuMakela.pdf](http://www.eis.fi/ect/ect2007/ECT07_Alykkaatkoneet/ECT070906_AlykkaaKoneet_HannuMakela.pdf).

Mäkinen, J. 2013. Langaton radioverkko kaivokseen. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinööriyö. Viitattu 2.2.2017 [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/59280/langaton\\_radioverkko\\_kai\\_vokseen.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/59280/langaton_radioverkko_kai_vokseen.pdf).

NFC. 2017. What is NFC?. NFC Forum. Viitattu 25.2.2017 <http://nfc-forum.org/what-is-nfc/about-the-technology>.

NI. 2016. What is a Wireless Sensor Network? National Instruments. Viitattu 26.2.2017 <http://www.ni.com/white-paper/7142/en>.

Nisu, T. 2016. IoT sensoreiden energian louhinta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Diplomityö. Viitattu 02.02.2017 [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/125355/Diplomityo\\_Timo\\_Nisu.pdf](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/125355/Diplomityo_Timo_Nisu.pdf).

Nilsson, R., Saltzain, B. 2012. Bluetooth Low Energy vs. Classic Bluetooth: Choose the Best Wireless Technology For Your Application. Medical Electronic Design. Viitattu 18.2.2017 <http://www.medicalelectronicsdesign.com/article/bluetooth-low-energy-vs-classic-bluetooth-choose-best-wireless-technology-your-application>.

Ogasawara, T. 2016. Next generation Wi-Fi 802.11ah announced with almost double the range, low power. Viitattu 18.2.2017 <https://www.extremetech.com/electronics/220355-next-generation-wi-fi-802-11ah-announced-with-almost-double-the-range-lower-power>.

Olsson, J. 2014. 6LoWPAN demystified. Texas Instruments. Viitattu 19.2.2017 <http://www.ti.com/lit/wp/swry013/swry013.pdf>.

Opitscan. 2017. Puettava teknologia - älyläsit. Optiscan. Viitattu 18.3.2017 <http://www.optiscangroup.com/fi/smartglasses>.

Pekkarinen, T. 2016. Teollinen internet tänään. Case Caverion. IoT-konsepti teollisuuteen ja kiinteistöihin. Promaint. Viitattu 14.3.2017 <http://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Teollinen-internet-tanaan>.

Plattonen, J. 2015. IoT- datan käsittely ja ennustaminen. IoT Finland. Viitattu 31.1.2017 <http://iotfinland.fi/iot-datan-kasittely-ja-ennustaminen/#more-138>.

Piironen, M. 2008. Koneiden välinen viestintä nostaa taas päätään. Tekniikka & Talous 7.9.2008. Viitattu 29.1.2017 <file:///C:/Users/k%C3%A4ytt%C3%A4j%C3%A4/Downloads/koneiden-v-linen-viestint-nostaa-taas-p-t-n.pdf>.

Postscapes. 2017. Smart mining guide. A closer look at the smart connected mining industry services and example case studies. Rio Tinto Pilbara & Perth, Western Australia. Viitattu 29.3.2017 <https://www.postscapes.com/connected-mining>.

Päiviö, O. 2016. Volvon paluu tulevaisuuteen 2. Konepörssi 28.9.2016. Viitattu 21.3.2017 <http://www.koneporssi.com/uutiset/volvon-paluu-tulevaisuuteen-osa-2>.

Pöysä, J. 2015. Älyratkaisut mullistavat kunnossapidon. Kauppalehti 28.4.2015. Viitattu 15.3.2017 <http://www.kauppalehti.fi/uutiset/alyratkaisut-mullistavat-kunnossapidon/rEJ3RGGe>.



- Quava. 2017. Yritysjohdon opas IoT:n ja teollisen internetin hyödyntämiseen. Elisa & Quava. Viitattu 18.3.2017  
[http://quava.fi/site/attachments/yritysjohdon\\_opas\\_IoT\\_ja\\_teollisen\\_internetin\\_hyodyntamiseen.pdf](http://quava.fi/site/attachments/yritysjohdon_opas_IoT_ja_teollisen_internetin_hyodyntamiseen.pdf).
- Rantala, V. 2015. Teknologia lisää kaivosten turvallisuutta. Näkemyksiä ja visioita. Tieto Oy. Viitattu 18.3.2017 <https://www.tieto.fi/nakemyksia-ja-visioita/teknologia-lisaa-kaivosten-turvallisuutta>.
- Rantanen, R. 2017. Palveluliiketoiminta - mitä se on. Ukipolis Oy. Viitattu 3.3.2017  
<https://asiakas.kotisivukone.com/files/ukipolis.palvelee.fi/Vipina/amitec.pdf>.
- Reiter, G. 2014. Wireless connectivity for the Internet of Things. White paper. Texas Instruments. Viitattu 19.2.2017  
<http://www.ti.com.cn/cn/lit/wp/swry010/swry010.pdf>.
- Riihilahti, J., Lehto, J. 2015. Kaivosautomaation trendit. Automaatioväylä 4/2015, 19. Viitattu 25.3.2017 [http://www.automaatiovayla.fi/wordpress/wp-content/uploads/2016/05/Automaatiovayla\\_4\\_2015.pdf](http://www.automaatiovayla.fi/wordpress/wp-content/uploads/2016/05/Automaatiovayla_4_2015.pdf).
- RioTinto. 2017. Driving productivity in the Pilbara. RioTinto. Viitattu 29.3.2017  
[http://www.riotinto.com/ourcommitment/spotlight-18130\\_18328.aspx](http://www.riotinto.com/ourcommitment/spotlight-18130_18328.aspx).
- Rissanen, T., Peronius, A. 2012. Suomen kaivostoiminnan toimialakatsaus 2012. Sarja B. Raportit ja selvitykset 3/2013. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Kemi 2013.
- Rousku, K. 2012. Kyberturvallisuus - mitä se oikeastaan on? Tivi.fi Viitattu 9.3.2017 <http://www.tivi.fi/blogit/2012-09-06/Kyberturvallisuus---mit%C3%A4-se-oikeastaan-on-3194338.html>.
- Saarelainen, A. 2016. Suomen ensimmäinen esineiden internetin operaattori aloittaa. Tivi.fi. Viitattu 22.2.2017 [http://www.tivi.fi/Kaikki\\_uutiset/suomen-ensimmainen-esineiden-internetin-operaattori-aloittaa-6578589](http://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/suomen-ensimmainen-esineiden-internetin-operaattori-aloittaa-6578589).
- Sandvik. 2017. Mine automation systems. Sandvik. Viitattu 21.3.2017  
<http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/1181/Internet/FI02071.nsf/LUSL/SLFrameForm131716BAD03F021DAC225786100653418?OpenDocument>.
- Sandvik Mining. 2012. Autonomous rotary drilling. Sandvik Mining. Viitattu 23.2.2017  
[http://www.miningandconstruction.sandvik.com/\\_\\_c125715e002ebf7d.nsf/Alldocs/Products\\*5CMine\\*automation\\*systems\\*5CAutoMine\\*2AAutoMine\\*Rotary\\*Drilling/\\$file/AutoMine\\_Bro\\_Oct1\\_13\\_web.pdf](http://www.miningandconstruction.sandvik.com/__c125715e002ebf7d.nsf/Alldocs/Products*5CMine*automation*systems*5CAutoMine*2AAutoMine*Rotary*Drilling/$file/AutoMine_Bro_Oct1_13_web.pdf).

Salo, K. 2015. Big data. Digitalisaatio 2.0 Älykkäät koneet ja esineet 15.4.2015. Viitattu 23.1.2017 <http://www.bigdata.fi/artikkelit/digitalisaatio-20-alykkaat-koneet-ja-esineet>.

Scholze, Jennifer. 2016. How Internet of Things will Drive the Digital Mine 13.1.2016. SAP. Viitattu 6.3.2017 <https://blogs.sap.com/2016/01/13/how-internet-of-things-will-drive-the-digital-mine>.

Sensoan, 2016. Uudet pientehoiset pitkän kantaman verkot nopeuttavat IoT:n käyttöönottoa. Sensor Architectures and Networks 30.5.2016. Viitattu 19.2.2017 <http://www.sensoan.com/fi/2016/05/30/pienitehoiset-iot-verkot>.

Seppälä, P. 2016. Mittalaite varoittaa ajoissa vesistöön liuenneista raskasmetalleista. ETH-tekniikka Oy. Promaint 24.5.2016. Viitattu 16.3.2017 <http://promaintlehti.fi/Turvallisuus-ja-ymparisto/Mittalaite-varoittaa-ajoissa-vesistoon-liuenneista-raskasmetalleista>.

Sipola, J., Leinonen, J. 2015. Katsaus automaatio- ja mittausteknologian trendeistä kaivostoiminnassa. Lapin AMK:n julkaisuja. Sarja B. Raportit ja selvitykset 25/2015. Viitattu 18.3.2017 <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/103877/B%2025%202015%20Katsus%20automaatio%20ja%20mittausteknologian%20valmis.pdf?sequence=4>.

Taiponen, A. 2006. Teollisuus-ethernetin teknistaloudellinen selvitys sähkötukkukaupan näkökulmasta. Lappeenrannan tekninen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Diplomityö. Viitattu 11.2.2017 <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/30404/nbnfi-fe200902241195.pdf>.

Tamminen, T. 2016. Komatsun itseohjautuva kuormuri on täysin autonominen - ei edes hyttiä kuljettajalle. Mikrobitti 9/2016. Viitattu 22.3.2017 <http://www.mikrobitti.fi/2016/09/komatsun-itseohjautuva-kuormuri-on-taysin-autonominen-ei-edes-hyttia-kuljettajalle>.

Tammisto, P. 2015. Ihmisten, palveluiden ja esineiden internet - suomalaisen teollisuuden suuri mahdollisuus. Tekniikka ja talous 20.5.2015. Viitattu 13.3.2017 <http://www.tekniikkatalous.fi/kumppaniblogit/abb/ihmisten-palveluiden-ja-esineiden-internet-suomalaisen-teollisuuden-suuri-mahdollisuus-3321643>.

Tekes. 2015. Tilaus-toimitusketjun digitalisointi boostaa bisnestä. Viitattu 15.3.2017 <https://www.tekes.fi/nyt/uutiset-2015/tilaus-toimitusketjun-digitalisointi-boostaa-bisnesta>.

Torikka, M. 2008. Kemin kaivos viestii VoIP-puhelimilla. Tekniikka ja talous 21.2.2008. Viitattu 18.3.2017 <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/ict/2008-02-21/Kemin-kaivos-viestii-voip-puhelimilla-3301298.html>.

Toroskainen, K. 2016. Etelä-Afrikassa kaivosalan innovaatioita etsimässä. EY. Viitattu 11.2.2017 <https://yrityselaman360blog.ey.com/2016/03/03/etela-afrikassa-kaivosalan-innovaatioita-etsimassa>.

UT, 2016. IoT-liitäntäkortit kehitykseen. Uusiteknologia.fi 1/2016, 26-31. Teknologiamediat Oy.

Vaara-Sjöblom, E. 2008. Verkonmuodostus ja -hallinta IEEE 802.15.4 -standardiin perustuvassa sensoriverkossa. Jyväskylän yliopisto. Tietotekniikan laitos. Pro gradu -tutkielma. Viitattu 11.2.2017 [https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/18723/URN\\_NBN\\_fi\\_jyu-200806305569.pdf](https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/18723/URN_NBN_fi_jyu-200806305569.pdf).

Venhunen, V. 2015. Digitalisaatio. Digit 30.7.2015. Viitattu 23.1.2017 <http://blogs.helsinki.fi/avtenhun/2015/07/30/digitalisaatio>.

Verronen, P., Nokela, S. 2016. Biline-esiselvitys tekniikat ja teknologiat. Centria-ammattikorkeakoulu. Raportteja ja selvityksiä, 11. Viitattu 16.2.2017 <http://projekti.centria.fi/data/liitteet/e8399134d65648e2b20f83f0433dfde5.pdf>.

Vilkkö, M., Itävuori, P., Väyrynen, T. 2014. Automaatio tehostaa kiven murskausta. Rajapinta 1/2014. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 26.3.2017 <http://www.tut.fi/rajapinta/artikkelit/2014/1/automaatio-tehostaa-kiven-murskausta>.

Vuorio, M. 2010. Kyber-fyysiset järjestelmät ja niiden lääketieteelliset sovellukset. Turun Yliopisto. Informaatioteknologian laitos. TkK-tutkielma. Viitattu 16.2.2017 [http://mars.cs.utu.fi/julkkari/opetus/opinnaytteet/abstracts/2010\\_tkk\\_vuorio\\_marius.pdf](http://mars.cs.utu.fi/julkkari/opetus/opinnaytteet/abstracts/2010_tkk_vuorio_marius.pdf).

Weightless-N. 2017. Weightless-N. Weightless SIG. Viitattu 24.2.2017 <http://www.weightless.org/about/weightlessn>.

Weightless-W. 2017. Weightless-P. Weightless SIG. Viitattu 24.2.2017 <http://www.weightless.org/about/weightlessp>.

Weightless-W. 2017. Weightless-W. Weightless SIG. Viitattu 24.2.2017 <http://www.weightless.org/about/weightlessw>.

Wikström, K. 2016. IoT-anturiverkot käyttöön. Uusiteknologia.fi 2/2016, 24-27. Viitattu 24.2.2017 [http://www.uusiteknologia.fi/wp-content/uploads/2016/11/2\\_2016\\_low.pdf](http://www.uusiteknologia.fi/wp-content/uploads/2016/11/2_2016_low.pdf)

World Economic Forum. 2015. Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services. REF 020315. Viitattu 4.3.2017 [http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA\\_IndustrialInternet\\_Report2015.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_IndustrialInternet_Report2015.pdf).

Wortley, M., Isokangas, E. 2012. Edistysaskelia malmin jäljittämässä. Mittari 1/2012, 6–8. Viitattu 12.2.2017  
[http://www.measurepolis.fi/mittarimittari2012\\_web.pdf](http://www.measurepolis.fi/mittarimittari2012_web.pdf).

Yinbiao, S., Lee, K., Lanctot, P., Jianbin, F., Hao, H., Chow, B., Desbenoit, J., Stephen, G., Hui, L., Guondong, X., Chen, S., Faulk, D., Kaiser, T., Satoh, H., Jinsong, O., Linkun, W., Shou, W., Yan, Z., Junping, S., Haibin, Y., Peng, Z., Dong, L. & Qin, W. 2014. Internet of Things: Wireles Sensor Networks. White paper. IEC. Viitattu 26.2.2017 <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-internetofthings-LR-en.pdf>.

YM. 2014. Kaivosten ympäristöturvallisuus. Viranomaistyöryhmän loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 3/2014. Ympäristöministeriö. Viitattu 8.3.2017  
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/42781>.