



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TEPPO VITIE  
DIGITALISAATION MAHDOLLISUUDET ENERGIAN TUOTAN-  
NOSSA JA JAKELUSSA

Diplomityö

Tarkastaja: TUT Industry Professor  
Tero Joronen  
Tarkastajan ja aiheen hyväksynyt  
tekniikan luonnontieteellisen tiedekun-  
nan dekaani 26. huhtikuuta 2017

## TIIVISTELMÄ

**TEPPO VITIE:** Digitalisaation mahdollisuudet energiantuotannossa ja jakelussa  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Diplomityö, 32 sivua, 4 liitesivua  
kesäkuu 2017  
Ympäristö- ja energiatekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Voimalaitos- ja polttotekniikka  
Tarkastaja: TUT Industry Professor Tero Joronen

**Avainsanat:** Big data, digitalisaatio, energiantuotanto, kaukolämpö, käynnissäpito, IoT, pilvipalvelut, voimalaitos

Tässä diplomityössä esitetään ennuste siitä, mitä vaikutuksia digitalisaatiolla on energiantuotannossa ja jakelussa vuoteen 2030 mennessä. Työn yhteydessä digitalisaatio määritellään ilmiöksi, jossa digitaalisen tiedon ja tietotekniikan monipuolinen hyödyntäminen yleistyy. Ilmenemistapoja on monia, mutta tyypillisesti aiheeseen liittyy organisaatioiden toimintatapojen muuttuminen niin, että tarjotaan ja käytetään entistä enemmän digitaalisia palveluita ja työkaluja. Tunnusomaista on, että tiedon jakaminen eri järjestelmien ja toimijoiden välillä lisääntyy ja käytettävissä olevan tiedon määrä kasvaa. Internetillä, mobiililaitteilla ja suurten datamäärien tehokkaalla käsittelyllä on tässä suuri merkitys. Digitalisaatio nykyisenkaltaisena laajana ilmiönä tulee erottaa digitalisoitumisesta, joka tarkoittaa yksittäisten toimintojen korvaamista sähköisillä toteutustavoilla.

Energiantuotannossa ja jakelussa digitalisoitumista on tapahtunut jo pitkään, mutta varsinaisessa digitalisaatiossa energia-ala on monia muita toimialoja jäljessä monista erisyistä. Digitalisaatiota hidastaa energiantuotantolaitosten pitkä käyttöikä ja käytössä olevien automaatiojärjestelmien hidas uusiutuminen. Saavutettu toiminnan taloudellisuus voi olla käytössä olevilla järjestelmillä niin hyvä, että lisäinvestointeja uudistuksiin ei pidetä tarpeellisina, ja niistä saatava lisähyöty ei ole riittävä. Digitalisaation haittana ovat myös lisääntyneet kyberturvallisuusriskit ja tarve varautua niihin. Energiantuotanto ja jakelu ovat luonteeltaan niin turvallisuuskriittisiä, että uudistukset eivät saa vaarantaa jatkuvaa ja luotettavaa käyttöä. Hidasteista huolimatta energia-ala uudistuu jatkuvasti ja kiinnostus digitalisaation mahdollisuuksiin on suurta.

Digitalisaatioon liittyvien uusien työkalujen ja toimintatapojen on vastattava tarpeeseen, joka niiden hankkijalla on, tai luotava kokonaan uusia mahdollisuuksia toiminnan kehittämiseen. Energiantuotannossa ja jakelussa keskeinen tavoite on kannattava liiketoiminta, johon pyritään tehokkaalla, joustavalla ja oikein mitoitettulla tuotannolla. Tulevaisuudessa kiinnostavia mahdollisuuksia ovat IoT-alustat, jotka pyrkivät helpottamaan datan keräämistä ja tiedonjakoa, sekä yhdistämään palveluiden tuottajia ja käyttäjiä. 3D-mallinnus sekä virtuaali- ja lisätty todellisuus voivat tuoda apua tilojen visualisointiin ja tilanteen parempaan hahmottamiseen. Kunnossapidossa etäyhteydet mahdollistavat nopeat asiantuntijapalvelut ja big datan ja koneoppimisen kautta kulumisen seuranta ja ennakointi kehittyvät. Etäyhteydet ja koneoppiminen voivat vaikuttaa myös tuotantoprosessien ohjaukseen parantamalla etäkäyttömahdollisuuksia. Tehokkaampi tiedonjakaminen ja analysointi voivat parantaa yksittäisten laitojen lisäksi koko tuotantoverkon optimointia.

## ABSTRACT

**TEPPO VITIE:** Possibilities of Digitalization for Energy Production and Distribution

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 32 pages, 4 Appendix pages

June 2017

Master's Degree Programme in Environmental and Energy Technology

Major: Power Plants and Combustion Technology

Examiner: TUT Industry Professor Tero Joronen

Keywords: Big data, cloud services, digitalization, district heating, energy production, IoT, maintenance

This Master of Science Thesis describes changes and improvements that are expected to emerge in energy production and distribution as a result of digitalization by 2030. Digitalization is defined as a global phenomenon, in which the use of digital information and information technology widely increases. It often reshapes how organizations act as increasingly more digital tools and services become available. The amount of information that is shared between different systems increases. Internet, mobile devices, and efficient processing of large data sets have an important part in digitalization. Digitalization is a large phenomenon that differs from digitization, which better describes a smaller scale measures of replacing manual tasks with digital alternatives.

In energy production and distribution digitalizing has been going on for years already, but in digitalization the energy industry is behind in development compared to many other industries. Some of the reasons for that are that power plants have quite long life spans and system renewals are not often needed. The existing ways of acting might already be so efficient, that there is no clear need for new innovations. Digitalization also raises a lot of cyber safety threats that need to be taken into consideration. In energy production and distribution safe and reliable operating must be secured. Despite the hindrances energy industry is constantly looking for ways to improve existing working methods and there is significant interest towards the possibilities of digitalization.

New tools and procedures that are inspired by digitalization must bring added value to the customer in order to be successful. They might solve existing problems or create completely new operating models. A crucial objective for companies operating in energy production and distribution is to be efficient, flexible, and profitable. Digitalization might help to reach these objectives and a lot of interesting possibilities are being developed. In the future, IoT-platforms might improve the way data is collected and shared. 3D models, virtual and augmented reality have a potential to help visualize and share important information. Remote connections might provide easy access to specialist services and big data and machine learning could be used to detect faults and malfunctions. Also, the remote operating of power plants relies on reliable connections. More efficient ways of sharing and analyzing data will help in the reach for optimal use of the whole energy system.

## ALKUSANAT

Tässä diplomityössä käsitellään erittäin ajankohtaista, laajaa ja kiinnostavaa aihetta: digitalisaatiota. Aihe on monille tuttu ja usein esillä eri yhteyksissä, mutta se mitä sillä tarkoitetaan tai miten se ymmärretään voi vaihdella paljonkin. Työssä esitellään näkemyksiä siitä, miten digitalisaatio vaikuttaa energiantuotantoon ja jakeluun tulevaisuudessa. Selvitys painottuu energiantuotantolaitosten käyttöön ja kunnossapitoon, johon sisältyy myös energiantuotantolaitoksista ja siirtoverkoista koostuvan kokonaisuuden hallinta.

Työssä esiteltävä näkemys tulevaisuuden mahdollisuuksista on muodostunut paitsi kirjallisuusselvityksen, myös monien keskustelu- ja esittelytilaisuuksien perusteella. Työn tekijänä esitän tässä kiitokseni kaikille näihin tilaisuuksiin osallistuneille. Kiitos myös työn teettäneen VGB Suomi -yhdistyksen voimalaitosvaliokunnan jäsenille avusta ja neuvoista työn aikana.

Työn ohjaajana toimi Tampereen Sähkölaitoksen tietohallintojohtaja Johannes Lindell ja tarkastajana TUT Industry Professor Tero Joronen. Heille haluan esittää kiitokset sujuvasta yhteistyöstä ja aktiivisesta otteesta työn ohjauksessa.

Kiitos perheelleni ja ystävilleni kaikesta tuesta opintojeni aikana.

Espoossa, 10.1.2018

Teppo Vitie

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	DIGITALISAATIO .....	3
2.1	Digitalisaation kehitys .....	4
2.2	Teknologian kehitys .....	6
2.3	Digitalisaation teknologinen perusta .....	7
2.4	Digitalisaation tiedollinen perusta .....	9
2.5	Digitaalinen turvallisuus .....	10
3.	ENERGIANTUOTANTO JA JAKELU .....	12
3.1	Sähköntuotanto ja jakelu .....	12
3.2	Lämmöntuotanto ja jakelu .....	13
3.3	Energia-alan tulevaisuudennäkymät .....	14
3.4	Laitoskokonaisuus .....	15
4.	DIGITALISAATION NYKYTILA ENERGIANTUOTANNOSSA JA JAKELUSSA .....	16
4.1	Käytön optimointi .....	16
4.2	Valvomotyö .....	17
4.3	Kunnossapito .....	18
5.	TUTKIMUSAINEISTO .....	19
5.1	Keskustelutilaisuudet .....	19
5.1.1	Käytön optimointi .....	20
5.1.2	Valvomotyö .....	20
5.1.3	Kunnossapito .....	22
5.2	Yritysesittelyt .....	22
5.3	Digitalisaation mahdollisuudet voimalaitoksissa -seminaari .....	23
6.	DIGITALISAATION MAHDOLLISUUDET ENERGIANTUOTANNOSSA JA JAKELUSSA .....	25
6.1	Käytön optimointi .....	25
6.2	Valvomotyö .....	26
6.3	Kunnossapito .....	27
7.	YHTEENVETO .....	28
7.1	Digitaaliset työkalut .....	28
7.2	Sovellusmahdollisuudet .....	30
7.3	Pohdinta .....	31
	LÄHTEET .....	33

LIITE A: VOIMALAITOSKESKUSTELUJEN AIHELISTA

LIITE B: ESIMERKKEJÄ DIGITALISAATIOSTA ENERGIA-ALALLA

LIITE C: DIGITALISAATION MAHDOLLISUUDET VOIMALAITOKSISSA -SEMINAARIN OHJELMA

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

A/D-muunnin	Analogisesta digitaaliseksi -signaalimuunnin
AR	Augmented reality, lisätty todellisuus
CHP	Combined heat and power, lämmön ja sähkön yhteistuotanto
ICT	Tieto- ja viestintäteknologia
IT	Tietotekniikka
IoT	Internet of things, esineiden internet
kV	Kilovoltti
MW	Megawatti
TWh	Terawattitunti
VGB	Vereinigung der Großkesselbesitzer
VR	Virtuaalitodellisuus

# 1. JOHDANTO

Tämän diplomityön taustalla on VGB Powertech -yhdistyksen suomalaisista jäsenyrityksistä koostuvan VGB-voimalaitosvaliokunnan kiinnostus digitalisaatiota kohtaan. VGB Powertech on kansainvälinen sähkön- ja lämmöntuottajien yhdistys, johon kuuluu 484 jäsentä 35 maassa. Yhdistys tekee jäsenyrityksiä tukevaa tutkimus- ja kehitystyötä ja myös välittää tietoja jäseniensä käyttöön. Suomalaisessa VGB-valiokunnassa mukana ovat seuraavat yritykset:

- Fortum Power and Heat Oy
- Helen Oy
- Jyväskylän Energia Oy
- Lahti Energia Oy
- Lappeenrannan Lämpövoima Oy
- PVO-Lämpövoima Oy
- Tampereen Sähkölaitos Oy
- Teollisuuden Voima Oy
- Vantaan Energia Oy
- Vaskiluodon Voima Oy

Yritykset ovat suuria suomalaisia energiayhtiöitä, joiden toimintaan kuuluu sähkön- ja lämmöntuotantoa sekä energian jakelua asiakkaille. Kokonaisuutena tarkastellen yritysten käytössä on hyvin monipuolinen valikoima erilaisia energiantuotantolaitoksia, ja yksittäisilläkin yrityksillä on hallussaan laajoja, useiden laitosten tuotantokokonaisuuksia.

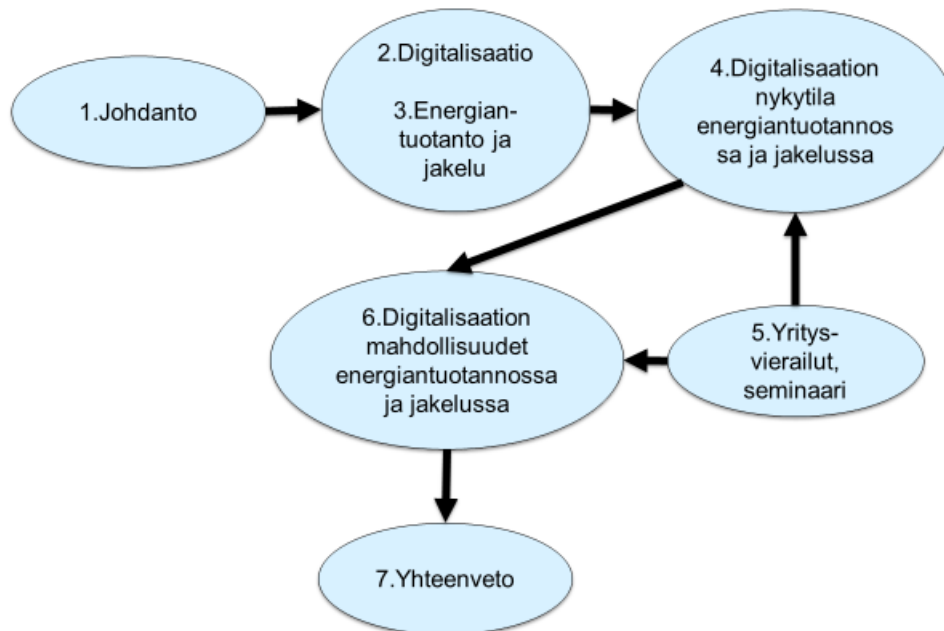
Energiayhtiöillä on jatkuva tarve kehittää toimintaansa ja ylläpitää kilpailukykyään. Tämä diplomityö tukee näitä tavoitteita selvittämällä mitä mahdollisuuksia digitalisaatio tuo energiantuotannon ja jakelun kehittämiseen. Tarkoituksena on kartoittaa tulevaisuuden mahdollisuuksia laaja-alaisesti niin, että yksittäisten tuotteiden sijaan ratkaisuita esitellään yleisellä tasolla ja selvityksestä on hyötyä kaikille VGB-voimalaitosvaliokunnan jäsenyrityksille.

Energiantuotannon ja jakelun digitalisaatiosta on aiemmin tehty tutkimuksia niin kaukolämmön[1] kuin sähköntuotannonkin[2] näkökulmista. Digitalisaatio on myös esillä monissa energiantuotannon tulevaisuutta käsittelevissä tutkimuksissa[3-5].

Tässä työssä painopiste on digitalisaation vaikutuksissa energiantuotantolaitosten käyttöön ja kunnossapitoon ja selvityksen aikahorisontti ulottuu vuoteen 2030 asti. Työssä vastataan tutkimuskysymykseen: ”Mitä mahdollisuuksia digitalisaatiolla on energiantuotannossa ja jakelussa vuoteen 2030 mennessä?”. Aihetta on rajattu niin, että se sisältää käytön optimoinnin, valvomotyön ja kunnossapidon.

Työ perustuu kirjallisuusselvitykseen, yritysten pitämiin esityksiin ja energiayhtiöissä järjestettyihin keskustelutilaisuuksiin. Yritysten pitämässä esityksissä esiteltiin kunkin yrityksen toimintaa, tuotteita ja tulevaisuudennäkymiä digitalisaatioon liittyen. Keskustelutilaisuuksissa koottiin energiayhtiöiden työntekijöiden ajatuksia ja näkemyksiä digitalisaatiosta ja mahdollisista kehityskohteista sekä puutteista, joita omassa työssä on kohdattu. Diplomityöhön liittyen järjestettiin myös VGB Suomi -yhdistyksen voimalaitosvaliokunnan ja Suomen Automaatioseuran voimalaitosjaoksen yhteinen Digitalisaation mahdollisuudet voimalaitoksissa -seminaari.

Diplomityön rakenne on esitetty kuvassa 1. Työn aloittaa johdanto, jonka jälkeen luvuissa 2 ja 3 esitellään taustatiedoiksi perusasioita digitalisaatioilmioistä sekä energiantuotannosta ja jakelusta. Luku 4 käsittelee digitalisaation nykytilaa energiantuotannossa ja jakelussa. Luvussa 5 esitellään työhön kuuluneet vierailutilaisuudet ja seminaari. Digitalisaation tulevaisuuden mahdollisuuksia energiantuotannossa ja jakelussa käsittelee luku 6. Luku 7 on työn päättävä yhteenveto.



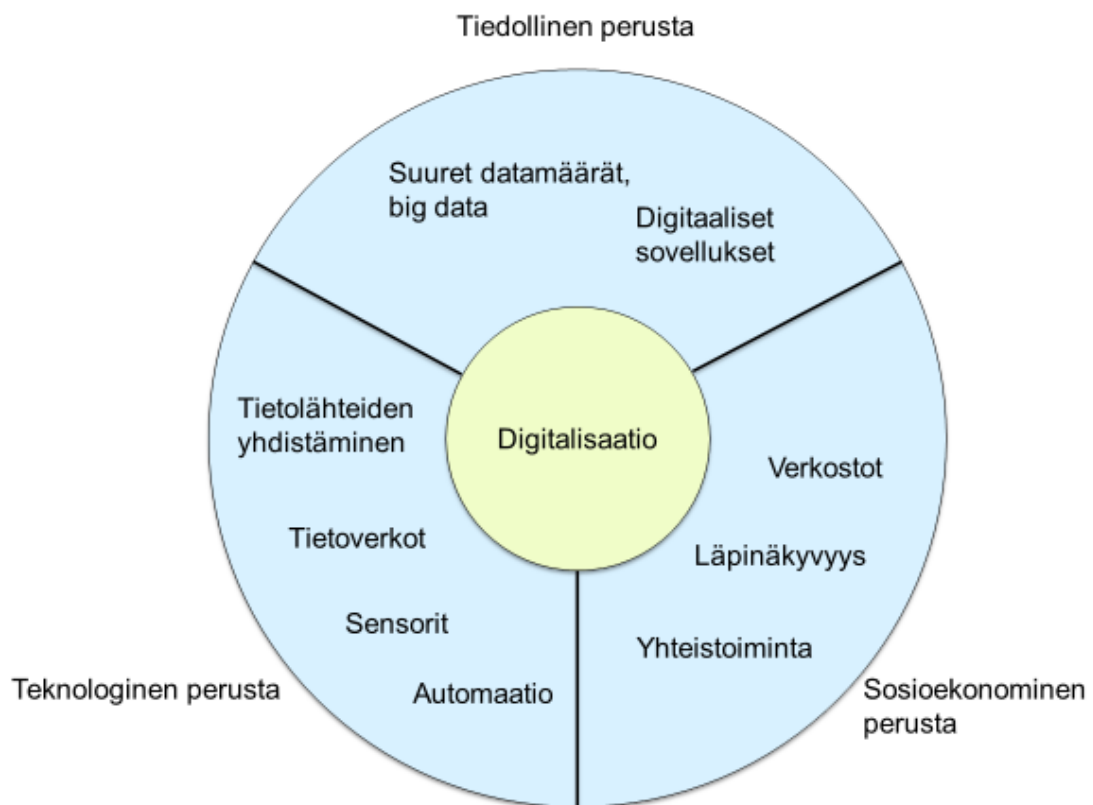
### ***Kuva 1: Työn rakenne***

Rakenne noudattaa tieteellisen tutkimusraportin rakennetta. Luvuissa 2 ja 3 esitellään työn teoreettinen viitekehys ja tausta, joiden pohjalta esitellään nykytila luvussa 4. Luku 5 esittelee tiedonhankinnassa käytetyt menetelmät ja aineiston, jonka perusteella muodostuivat luvun 6 ratkaisuehdotukset. Työhön kuuluneissa vierailutilaisuuksissa ja seminaarissa käsiteltiin tulevaisuuden mahdollisuuksien lisäksi myös digitalisaation nykytilaa, joten luvussa 5 esitettävät asiat vaikuttavat sekä luvuissa 4, että 6. Työn päättää havainnoista ja ratkaisuista johdettu yhteenveto.



## 2. DIGITALISAATIO

Digitalisaatiota pidetään yhtenä nykyajan suurista megatrendeistä [6]. Sillä tarkoitetaan lisääntyvää tietotekniikan ja digitaalisen tiedon monipuolista hyödyntämistä teollisessa tuotannossa ja yritysten toiminnassa. Digitalisaatio ei ole uusi ilmiö, mutta viime vuosina aihe on kuitenkin noussut entistä tärkeämmäksi yhteiskuntaa ja ihmisten toimintaa muokkaavaksi tekijäksi. Joidenkin näkemysten mukaan elämme digitaalisen murroksen tai uuden teollisen vallankumouksen alkuvaihetta [6-8]. Tunnusomaista on manuaalisen työn väheneminen ja automaation sekä digitaalisten palveluiden lisääntyminen. Entistä tehokkaampi tietojen kerääminen, varastointi, jakaminen ja analysointi toimivat pohjana uusille sovelluksille ja toimintamalleille.



**Kuva 2: Digitalisaation perusta (muokattu lähteestä [9])**

Digitalisaatioilmiön taustalla olevia tekijöitä voidaan tarkastella kuvan 2 esittämän mallin mukaisesti. Siinä digitalisaation perusta on jaettu kolmeen osaan: teknologiseen, tiedolliseen ja sosioekonomiseen perustaan. Teknologisen perustan merkitys on, että tarjolla on tekniikka ja työkaluja, joiden avulla datan tuottaminen, hallinta ja käyttö ovat mahdollisia. Digitalisaation teknologiseen perustaan kuuluu tietoverkkojen ja tietojenkäsittelyyn liittyvien teknologioiden kehitys. Tiedollinen perusta puolestaan kuvaa datan muuttamista hyödylliseksi tiedoksi. Suurista datamassoista (big data) voidaan analysoinnin ja

sovellusten avulla tuottaa hyödyllistä tietoa liiketoiminnan kehittämiseen. Sosioekonomi- nen perusta puolestaan kuvaa ympäristöä, jossa jalostettua tietoa käytetään. Digitalisaa- tioon kuuluu esimerkiksi ihmisten ja organisaatioiden uusia toimintamalleja ja verkostoi- tumista.[9]

Ilmarinen ja Koskela [10] esittävät, että digitalisaatio muodostuu useasta rinnakkaisesta murroksesta, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Näitä murroksia ovat asiakaskäyttäytymi- sen, teknologian, ja markkinoiden murrokset. Asiakaskäyttäytymisen muutokset perustu- vat kuluttajien kasvaviin odotuksiin palveluiden laadusta. Palveluiden odotetaan olevan jatkuvasti saatavilla sujuvasti ja vaivattomasti, asiakkaat ovat hintatietoisia ja itsepalvelu koetaan hyvänä ratkaisuna. Yhä kasvava osa ihmisistä on lapsuudesta asti tottunut tieto- koneiden ja internetin käyttöön ja uudenlaisten käyttötapojen ja palveluiden omaksumi- nen on heille nopeaa. Osa asiakkaista ei kuitenkaan käytä digitaalisia palveluita yhtä in- nokkaasti. Yritysten ja julkisen sektorin toimijoiden haasteena onkin tarjota palveluita myös niille asiakkaille, joilla ei ole mahdollisuutta tai halua käyttää digitaalisia palveluita. [10]

Teknologian murroksella tarkoitetaan teknologian nopeaa kehitystä. Osana siihen kuuluu tietotekniikan komponenttien hintojen laskeminen, jonka seurauksena digitaalisen tekno- logian käyttö on mahdollista ja taloudellisesti järkevää yhä useammassa kohteissa. Mark- kinoiden murrokseen liittyy digitaalisuutta tehokkaasti hyödyntävien haastajien ilmaan- tuminen monille toimialoille. Digitaalisessa ympäristössä eduksi ovat nopea reagointi ja uudistuminen. Digitalisaatio on siis laaja, useasta eri tekijästä muodostuva ilmiö, jonka pohjalla on teknologian kehitys. [10]

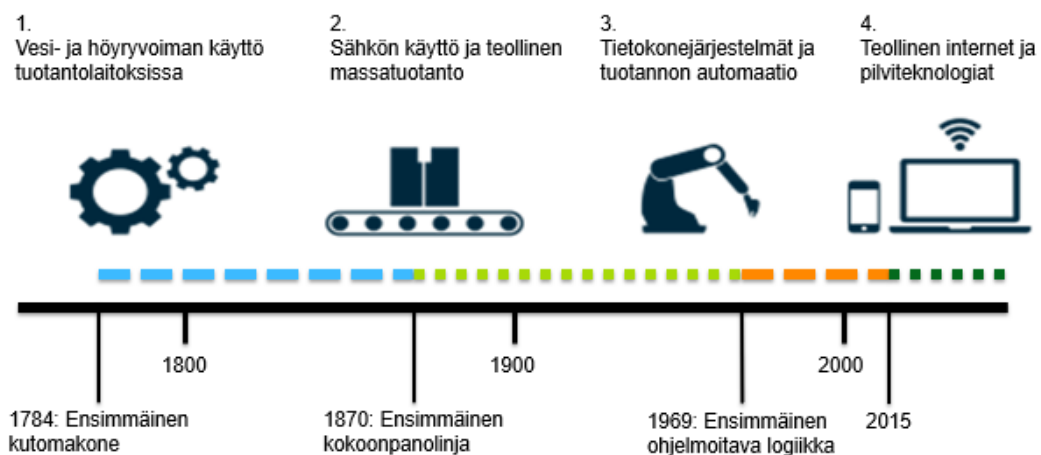
Seuraavissa kappaleissa esitellään tarkemmin digitalisaation kehitys ja siihen liittyviä keskeisiä osatekijöitä. Teknologian kehitys mahdollistaa digitalisaation uusien laitteiden ja tekniikoiden kehittyessä ja halventuessa. IoT liittyy laitteiden ja järjestelmien välisten yhteyksien määrän kasvamiseen ja verkostoitumiseen. Tiedon keruulla ja big datalla on iso merkitys käsiteltävien tietojen hankinnassa ja hallinnassa. Digitaaliset sovellukset ja palvelut käyttävät kerättyä dataa ja tuovat hyötyjä yritysten toimintaan. Tärkeä osa digi- talisaatioilmiössä on myös digitaalisen turvallisuuden ylläpitämisellä.

## 2.1 Digitalisaation kehitys

Digitalisaation taustalla oleva digitalisoituminen tarkoittaa asioiden, esineiden tai proses- sien siirtymistä digitaaliseen muotoon. Digitalisoitumista on esimerkiksi perinteistä valo- kuvausta syrjäyttävä digikuvaus ja paperilomakkeiden korvaaminen sähköisillä verkko- lomakkeilla. Pelkkä digitalisoituminen ei vielä tarkoita samaa kuin digitalisaatio [10]. Di- gitalisoituminen toimii kuitenkin askelena digitalisaation suuntaan ja luo pohjan toimin- tamallien uudistumiselle. Joskus käytetään termiä digitaalinen murros, joka kuvaa sitä, että nykyinen digitaalisten palveluiden lisääntyminen nähdään alkuna niiden laajamittai- semmalle hyödyntämiselle.

Vesa Ilmarinen ja Kai Koskela esittävät digitalisaation kehityskulun sukupolvimallilla, jossa kullakin sukupolvella on omat tunnuspiirteensä [10]. Malli kuvaa, miten digitalisaation vaikutukset liiketoimintaan kasvavat ajan kuluessa. Digitalisaation alkuna pidetään internetin yleistymistä 1990-luvulla, mikä toi mukanaan kotisivut, verkkokaupan ja verkkomarkkinoinnin. Digitalisaation sijaan tällöin puhuttiin kuitenkin vielä enemmän digitalisoitumisesta ja e-busineksesta. Digitalisaatio käsitteenä otettiin yleiseen käyttöön vasta vuosituhannen vaihteessa alkaneen digitalisaation 2. sukupolven aikana. Tämän sukupolven tunnuspiirre on, että digitaalisuus, verkkokauppa ja mobiili-internet yhdessä muiden tekijöiden kanssa muuttavat markkinoiden toimintalogiikoita. Digitalisaation 3. sukupolvi on juuri aluillaan, ja se tuo muutoksia myös yritysten liiketoiminnan ja arvontuotannon ytimeen. Tärkeä havainto on, että esitetyn mallin mukaan digitalisaation vaikutukset kasvavat kiihtyvällä vauhdilla.

Teknologian kehitys tukee digitalisaatiota, ja tällä hetkellä tämä kehitys on nopeampaa kuin koskaan [6]. Tietokoneiden laskentatehon kasvu, tietotekniikan komponenttien halpeneminen, internetin käytön lisääntyminen ja mobiililaitteiden kehitys ovat kaikki osaltaan vaikuttaneet siihen, että digitaaliset palvelut ja toimintatavat ovat yleistyneet. Eräiden näkemysten mukaan digitalisaatio ja tekniikan kehittyminen ovat käynnistäneet neljännen teollisen vallankumouksen [8,11] ja teollinen tuotanto on voimakkaasti uudistumassa digitalisaation myötä. Aiempien teollisten vallankumousten perustana ovat olleet höyryvoima, sähkö ja automaatio. Ne ovat kukin vuorollaan tuoneet omat tunnuspiirteensä teolliseen toimintaan ja tehokkaampina syrjäyttäneet vanhat toimintatavat. Nyt käynnissä olevan neljännen teollisen vallankumouksen ennustetaan olevan aiempia huomattavasti nopeampi ja vaikuttavan lähes kaikkiin teollisuuden aloihin ympäri maailmaa. Kuvassa 3 on esitetty teollisten vallankumousten aikajana.

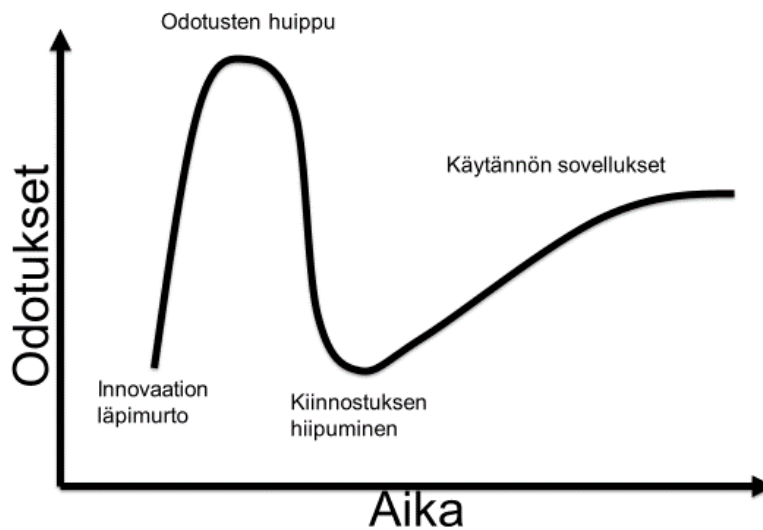


**Kuva 3: Teollisten vallankumousten aikajana (muokattu lähteestä [11])**

Neljännen teollisen vallankumouksen ajureina pidetään uusia ja tulevaisuudessa nousevia teknologioita. Näitä ovat esimerkiksi IoT, eli internet of things ja pilvipalvelut. Tärkeässä asemassa on datan hallinta ja tiedonsiirto eri järjestelmien välillä.

## 2.2 Teknologian kehitys

Teknologian kehitys ja digitalisaatio liittyvät voimakkaasti toisiinsa. Tämän hetken suurista teknologian kehityksen trendeistä on tehty useita listauksia [12-15], ja trendeissä on mukana niin digitaaliseen teknologiaan, kuin suoraan energiantuotantoonkin liittyviä aiheita. Tutkimus – ja konsultointiyritys Gartner sijoittaa omissa raporteissaan uudet ja nousevat teknologiat kuvan 4 mukaiselle hypekäyrälle.



**Kuva 4: Gartnerin nousevien teknologioiden hypekäyrä (muokattu lähteestä [16])**

Hypekäyrä kuvaa uusiin innovaatioihin kohdistuvien odotusten muutoksia innovaatioiden kehittyessä kohti kaupallista hyödynnettävyyttä. Mallin mukaan uusiin innovaatioihin kohdistuvat odotukset ovat suurimmillaan pian teknologisen läpimurron jälkeen, vaikka todellisia, käyttökelpoisia tuotteita ei olisikaan. Tämän jälkeen kiinnostus ja odotukset hiipuvat. Kiinnostus nousee kuitenkin jälleen teknologian edelleen kehittyessä ja käyttökelpoisten sovellusten yleistyessä. Hypekäyrän alkuvaiheissa olevat, vielä kehitystä vaativat teknologiat ovat tulevaisuuden mahdollisuuksia, jotka voivat 10-20 vuoden kuluttua päätyä laajamittaiseen käyttöön. Hypekäyrä kuvaa yksittäisiä innovaatioita, eikä digitalisaatiota megatrendinä. Käyrän kuvaama malli on kuitenkin hyvä lähtökohta digitalisaatioon liittyvien uudistusten yleistymisen ennakkointiin ja tulevien hyötyjä analysointiin.

## 2.3 Digitalisaation teknologinen perusta

Digitalisaation teknologiseen perustaan kuuluvat erilaiset tekniset ratkaisut, laitteet ja työkalut, joilla datan tuottaminen, hallinta ja esittäminen ovat mahdollisia. Kaiken lähtökohdaksi on digitaalisessa muodossa käsiteltävä data. Tietokoneiden toiminta perustuu binäärijärjestelmään, jossa kaikki informaatio kuvataan sarjana ykkösiä ja nollija. Pienin mahdollinen tietoalkio on yksi bitti, joka voi saada arvon 1 tai 0. Tavu koostuu kahdeksasta bitistä, ja yhdellä tavulla voidaan esittää jo  $2^8 = 256$  erilaista tapausta. Tavujen määrällä kuvataan esimerkiksi datan tallennuskapasiteettia ja siirtonopeutta. Digitaalisessa muodossa oleva data, esimerkiksi mittaustieto, kuvataan vain tietyllä, käytössä olevan tavumäärän rajoittamalla tarkkuudella. Digitaalisuuden vastakohta on analogisuus, jossa informaatio kuvataan jatkuvilla suureilla.

Suurista datamassoista käytetään usein englanninkielistä nimitystä big data. Sillä tarkoitetaan suuria digitaalisessa muodossa olevia tietomääriä. Niiden hallinta ja tarkempi analysointi on tullut mahdolliseksi vasta viime aikoina tiedon keräys-, siirto- ja tallennuskapasiteetin kasvaessa. Aiemmin, nykyistä pienempien kapasiteettien ollessa käytössä on ollut tärkeämpää rajata kerättävän datan määrää.

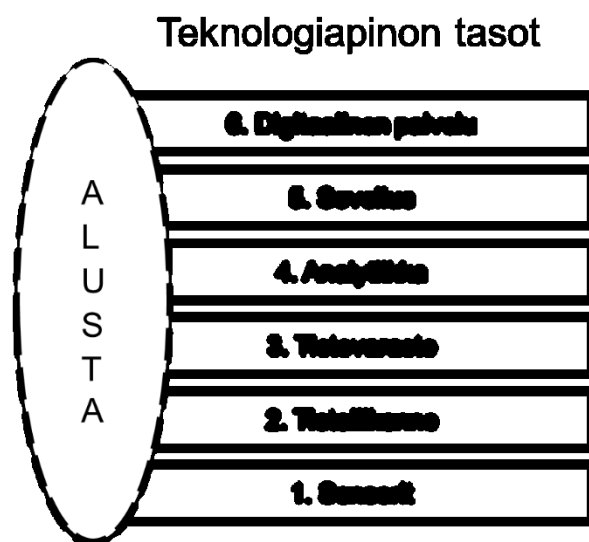
Laitteissa, koneissa ja teollisissa prosesseissa kerätään paljon dataa sensoreilla, jolloin saadaan mittaustietoa halutusta kohteesta. Oleellista on, että sensorin analoginen mittaustulos muunnetaan A/D-muuntimella digitaaliseen muotoon. Yleisiä mitattavia suureita ovat lämpötila, paine, pinnankorkeus, virtausmäärä ja kiihtyvyyt. Data voi sensoreiden tuottaman mittaustiedon lisäksi olla myös esimerkiksi henkilötietoja, tilastoja tai mitä tahansa digitaalisesti tallennettua tietoa. [17]

Dataa kerätessä on tärkeää huolehtia sen oikeellisuudesta. Datan jatkokäyttö voi olla hyödyttömiä tai jopa vaarallista jos se ei vastaakaan todellisuutta. Mitatun datan osalta myös mittauksen tarkkuus ja luotettavuus on huomioitava. Mittalaitteita on tarpeen mukaan puhdistettava ja kalibroitava, jotta mittausdataa voidaan käyttää. Antureiden oikealla sijoittelullakin on merkitystä, koska itse anturikin voi häiritä mitattavaa kohdetta.

Digitalisaation yhteydessä usein esiintyvät lyhenne IoT tulee englanninkielisestä termistä Internet of Things, suomeksi käännettynä asioiden internet. Se tarkoittaa laitteiden ja koneiden kytkeytymistä osaksi maailmanlaajuista internet-verkkoa. Verkon kautta laitteet voivat olla yhteydessä muihin laitteisiin ja järjestelmiin, myös maantieteellisesti pitkien etäisyyksien yli. Teollisuudessa puhutaan myös teollisesta internetistä, kun tuotantoon osallistuvia laitteita liitetään internetiin. Tuotantolaitoksen sisäinen verkko voidaan toteuttaa langallisesti tai langattomasti useilla eri teknologioilla joilla on hyvät ja huonot puolensa. Yhteyksien ja verkkoon kytkettyjen laitteiden määrän kasvaessa tietoturvan merkitys korostuu.

Laitteiden kytkeytyminen internetiin antaa mahdollisuuden ohjata ja valvoa niitä mistä tahansa, missä on pääsy internetiin. Laitteiden keräämät tiedot ja niihin liittyvät mittaukset voidaan jakaa, ja laitteiden ohjelmistot päivittää verkon yli. Laitteet voivat myös saada verkon kautta niiden toimintaan vaikuttavaa tietoa esimerkiksi tuotantolinjan eri vaiheista, ja sopeuttaa toimintansa muuttuviin olosuhteisiin. IoT on noussut ajankohtaiseksi, koska viimeisten 10 vuoden aikana sensorien, laskentatehon, muistin ja tiedonsiirron kustannukset ovat laskeneet merkittävästi. [18] Keskeinen esimerkki digitaalisista työkaluista ovat digitaaliset palvelualustat (engl. platform). Ne ovat eräänlaisia tiedonjakamisen keskuksia, jotka yhdistävät eri osapuolia, ja tukevat digitaalisten sovellusten käyttöä. Jotkin tunnetut alustat toimivat kauppapaikkoina, joissa kuluttajat ja palveluntarjoajat kohtaavat. Esimerkiksi taksipalvelu Uber ja verkkokauppa Amazon ovat tällaisia alustoja.

Teollisen internetin kannalta alustat voidaan nähdä työkaluna, joka yhdistää teollisen internetin teknologiapinon muut tasot toisiinsa. Tätä ajattelutapaa on havainnollistettu kuvassa 5. Alustan tehtävä osana teollisen internetin rakennetta on luoda ympäristö, jossa muut osatekijät kohtaavat.[17]



*Kuva 5: Alusta yhdistää teollisen internetin muut osatekijät (muokattu lähteestä [17])*

J. Collinin kirjassa *Teollinen internet* [17] esitetään alustoille seuraavia ominaisuuksia:

- Alustan liitettävyys sensoriverkkoon
- Laitteiden hallinta ja sääntöjen muodostaminen
- Datan aggregointi ja prosessointi
- Tietokanta, yleensä pilvipalvelu
- Datan analysointi, raportointi ja visualisointi
- Sovelluskehityksen työkalut ja rajapinnat
- Rajapinnat ulkoisiin tietojärjestelmiin
- Tietoturva, pääsynhallinta, tunnistaminen

Kaikilla alustaratkaisuilla ei kuitenkaan ole samoja tai yhtä laajoja ominaisuuksia. Suureen osaan tarjolla olevista alustoista sisältyy vain datan keräily, normalisointi ja yksinkertainen viestintäväylä. Kattavammat alustat mahdollistavat suuremman anturimäärään liittämisen ja niihin kuuluu myös monipuolisia datan käytön ja hallinnan työkaluja. [17]

Datan esittämisen ja visualisoinnin suuria muutoksia ovat AR- ja VR-lasien kehittyminen. AR-, eli lisätyn todellisuuden näkymään voidaan lisätä grafiikkaa, joka sijoittuu näkymään ja liikkuu oikein suhteessa todelliseen ympäristöön. VR-, eli virtuaalitodellisuudessa puolestaan koko näkymä on luotu keinotekoisesti. Kehittyneet VR- ja AR-lasit tunnistavat käyttäjän päänniikkeiden lisäksi myös eleitä ja käsien ja silmien liikkeitä, joiden avulla voidaan hallita käytettyjä sovelluksia. [19]

## 2.4 Digitalisaation tiedollinen perusta

Digitaaliset sovellukset ja palvelut ovat digitalisaation lopputuotteita. Niissä hyödynnetään useista eri lähteistä kerättävää dataa ja IoT:n tarjoamia etäyhteyksiä. Sovellusten ja palveluiden kehityksessä keskeistä on ymmärtää, mikä tieto on olennaista ja miten saatavilla olevaa tietoa voidaan hyödyntää. Pelkkä raakadata tarjoaa vain yksinkertaista informaatiota, mutta sitä voidaan kuitenkin analysoida ja muokata havainnolliseen muotoon, jolloin puhutaan datan jalostamisesta. Ihmiselle on paljon helpompaa tulkita visualisoitua dataa kuvaajista ja kaavioista kuin lukuarvoja täynnä olevia taulukoita.

Yksi tärkeä osa digitalisaatiota on suurten datamassojen, big datan, hyödyntäminen. Tallennuskapasiteetin jatkuvasti putoava hinta ja tiedonsiirtonopeuksien kasvu ovat tehneet mahdolliseksi todella suurten datamäärien tallentamisen ja jakamisen. Suurista tietomääristä voidaan tietokoneohjelmien avulla tehdä hyödyllisiä johtopäätöksiä, kun löydetään yhteyksiä asioiden välillä. Mitä enemmän dataa on tutkittavana, sitä enemmän mahdollisuuksia yhteyksien, poikkeamien ja säännönmukaisuuksien tunnistamiseen löytyy. Esimerkiksi koneen kulumisen ja käyttöolosuhteiden väliltä voi löytyä yhteyksiä, kun käytössä on tieto koneen huoltohistoriasta ja vallinneista olosuhteista.

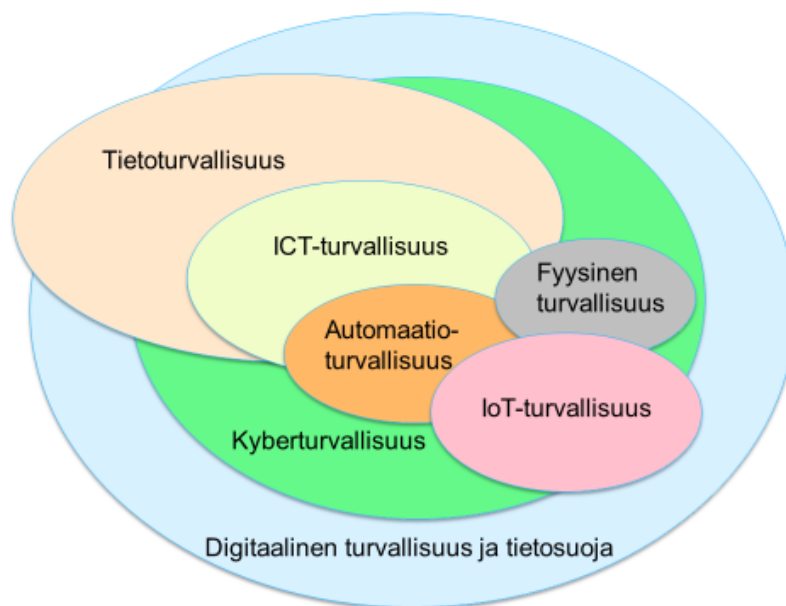
IoT merkitsee paitsi laitteiden, myös yritysten verkottumista. Laittevalmistajalla voi olla reaaliaikainen yhteys asiakkaalle toimittamaansa laitteeseen ja käytössään mittaustietoa laitteen toiminnasta. Valmistaja voi verrata laitteen toimintaa muihin samanlaisiin ja tunnistaa häiriötilanteet. Laitteen päivitykset voidaan asentaa verkon yli heti kun ne ovat saatavilla. Myös yhteydet muihin palveluntarjoajiin, kuten kunnossapitoa tarjoavaan yritykseen voidaan toteuttaa verkon kautta, jolloin palveluntarjoajalla on pääsy tarpeellisiin tietoihin. Pilvipalveluissa tiedot tai käytettävät ohjelmat ovat tallennettuna palveluntarjoajan servereille ja niiden käyttö edellyttää internet-yhteyttä.

Datan jakaminen ei kuitenkaan ole aina yksinkertaista. Yrityksillä voi olla paljonkin tietoa, jota ei kuitenkaan haluta jakaa muille. Joitakin tietoja, kuten ihmisten henkilökohtaisia tietoja, ei edes saa jakaa eteenpäin ilman lupaa. Jotkin tiedot taas voisivat paljastaa

liikaa yrityksen toiminnasta tai sitten ajatellaan, että muut eivät saa hyötyä yrityksen datasta. Datan omistajuuskaan ei aina ole selvää ja usein on erikseen sovittava, mihin tarkoitukseen jaettua tietoa saa käyttää. Yksi ehto voi olla, että kun tietoja käytetään ja jaetaan edelleen, on tieto esitettävä niin, että lähde ei voi tunnistaa.

## 2.5 Digitaalinen turvallisuus

Digitalisaation ja teollisen internetin suurimpia haittoja on turvallisuusuhkien kasvaminen. Teollisten järjestelmien liittäminen internetiin johtaa väistämättä uusiin riskeihin, ja turvallisuudesta huolehtimisen merkitys kasvaa. Keskeisiä kyberturvauhkia aiheuttavat taloudellisen hyödyn saavuttamiseen pyrkivät rikolliset, sekä kyberterroristit, jotka pyrkivät aiheuttamaan aineellisia vahinkoja [19]. Digitaalinen turvallisuus kattaa alleen tietoturvallisuuden, kyberturvallisuuden ja joukon muita osin päällekkäisiä turvallisuuskäsitteitä. Digitaalisen turvallisuuden osa-alueet on esitetty kuvassa 6.



**Kuva 6: Digitaalisen turvallisuuden osa-alueet (muokattu lähteestä [19])**

Tietoturvallisuuteen kuuluu perinteisesti toimenpiteet, joilla tuetaan suojattavan kohteen luottamuksellisuutta, eheyttä ja saatavuutta. Kuvassa 6 esitetyn mallin mukaisesti tietoturvallisuuteen kuuluu myös digitaalisen turvallisuuden ulkopuolelle jäävä osuus, koska sillä kuvataan myös analogisen tai manuaalisen toiminnan suojaamista. Kyberturvallisuus puolestaan kattaa alleen suuren osan tieto-, ICT-, automaatio-, IoT- ja fyysisen turvallisuudesta. Kyberturvallisuuteen liittyy siis tietoturvallisuutta voimakkaammin todelliset, fyysiset laitteet ja prosessit.



Myös turvallisuuden toteuttamiseen liittyy toisiinsa vaikuttavia osa-alueita. Turvallisuustoimenpiteitä ohjaavat vaatimukset perustuvat pääsääntöisesti lainsäädäntöön, asiakasvaatimuksiin ja tunnistettujen uhkien hallintaan. Tehtävien toimenpiteiden tarkoituksena on varmistaa turvallinen ja vaatimustenmukainen toiminta. Turvallisuuteen pyrkimisessä lähtökohtana on toiminnan johtaminen. Organisaation johto on vastuussa turvallisuuden toteuttamisesta. Riskienhallinta tarkoittaa, että organisaatiossa on tunnistettava ja arvioitava sen toimintaan liittyvät riskit sekä suoritettava toimenpiteet joilla riskit saadaan pudotettua hyväksyttävälle tasolle. Häiriötilanteisiin varautuminen on välttämätöntä, koska teknisten laitteiden ja palveluiden toimintavarmuus ei ole täydellinen.

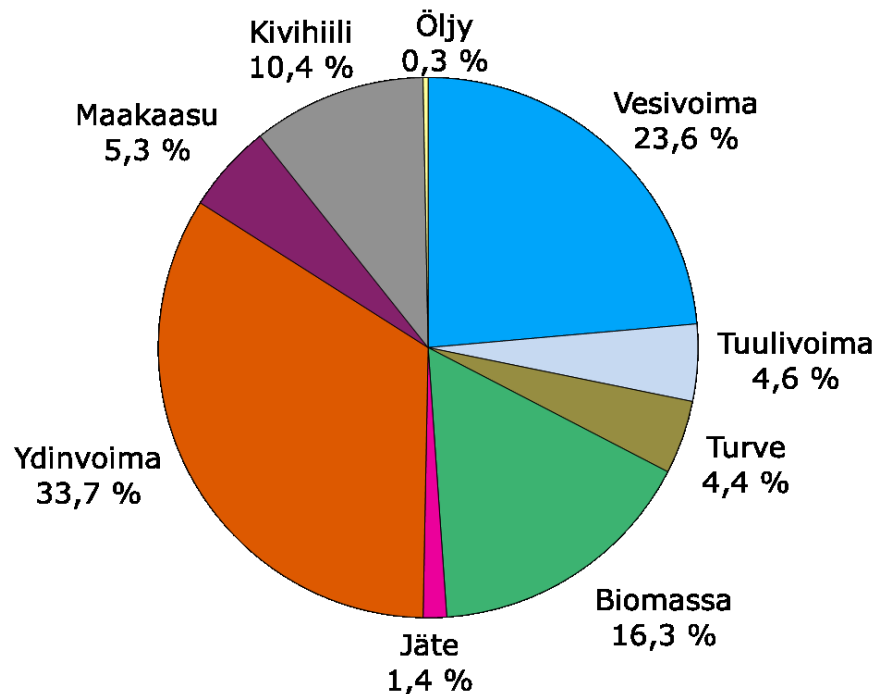
Teknisellä tietoturvallisuudella tarkoitetaan keinoja, kuten virustorjuntaa ja palomureja, joilla huolehditaan tietoliikenneverkkojen, päätelaitteiden ja palvelujen teknisestä turvallisuudesta. Hallinnollinen tietoturva kattaa ohjeet ja prosessit, joilla turvallisuustoimenpiteitä toteutetaan. Henkilöstöä pidetään usein tietoturvan heikoimpana lenkkinä. Henkilöstöön liittyvän tietoturvan parantamiseksi voidaan huolehtia henkilöstön tehokkaasta tietoturvakoulutuksesta ja tietojen ylläpitämisestä. Tietoturvallisuuden toteumista tulee myös jatkuvasti seurata ja reagoida havaittuihin puutteisiin.

### 3. ENERGIANTUOTANTO JA JAKELU

Energiantuotannolla tarkoitetaan tässä yhteydessä sähkön ja lämmön tuotantoa suurissa, teollisen mittakaavan laitoksissa. Energianjakelu puolestaan kattaa energian siirron kuluttajille sähkö- ja kaukolämpöverkoissa. Energiantuotantolaitokset voidaan jakaa päätuotteen perusteella voimalaitoksiin, joissa tuotetaan pääasiassa sähköä, ja lämpölaitoksiin joiden päätuote on lämpö. Mikäli samalla laitoksella tuotetaan sekä sähköä, että lämpöä, sitä nimitetään yhteistuotantolaitokseksi eli CHP-laitokseksi (Combined Heat and Power, yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto).

#### 3.1 Sähköntuotanto ja jakelu

Sähköä tuottavat voimalaitokset voidaan jaotella tarkemmin niiden käyttämän energialähteen mukaan. Kuvassa 7 on esitetty eri energialähteiden osuus Suomessa vuonna 2016 tuotetusta sähköenergiasta. Tuotantomäärien perusteella yleisimmät sähköntuotantolähteet ovat ydinvoima, vesivoima ja biomassa. Tuotetun sähkön kokonaismäärä oli 66,1 TWh, josta ydinvoiman osuus oli 33,7 %, vesivoiman 23,6 % ja biomassan 16,3 %. Muita käytössä olevia energialähteitä ovat tuulivoima turve ja jäte, sekä fossiiliset polttoaineet kivihiili, maakaasu ja öljy.[20]



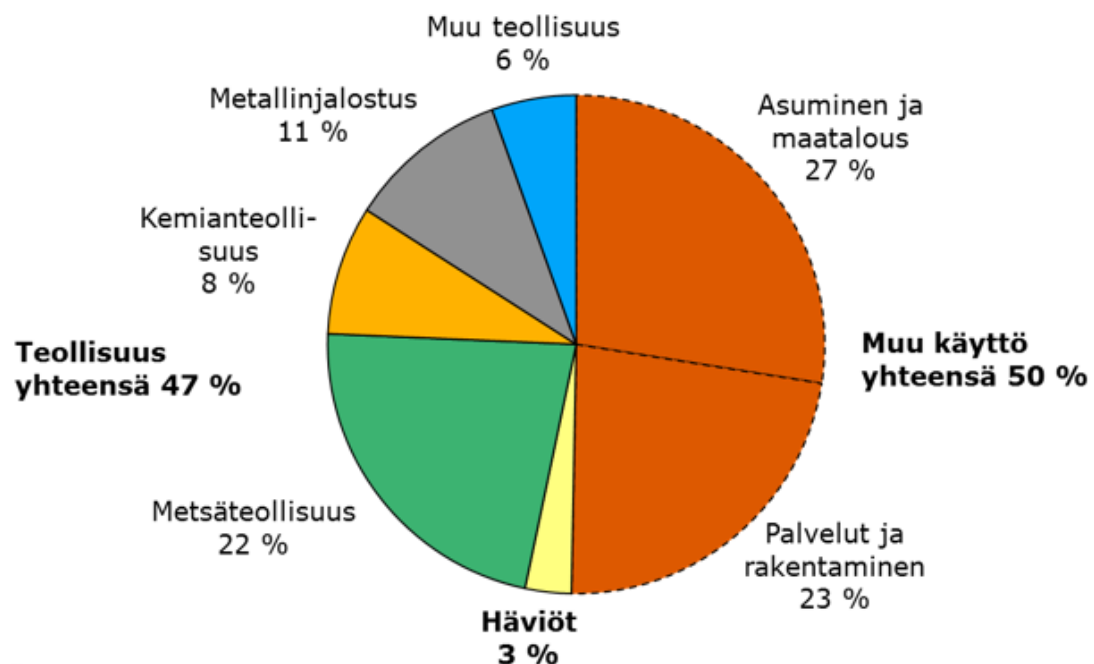
*Kuva 7: Sähköntuotanto Suomessa 2016 [20]*

Voimalaitoksissa tuotettu sähkö siirretään kuluttajille sähköverkossa. Suomessa sähköverkko on jaettu kanta- alue- ja jakeluverkkoon. Kantaverkko on Fingrid Oyj:n omistama

suurjännitteinen verkko, jossa sähkön siirtomäärät ja etäisyydet ovat suurempia kuin alue- ja jakeluverkossa. Kantaverkon jännitetasot ovat 400 kV, 220 kV ja 110 kV. Fingridin vastuulla on myös huolehtia sähköjärjestelmän käyttövarmuudesta ja kulutuksen ja tuotannon tasapainosta. Suuret voimalaitokset kytkeytyvät kantaverkkoon, jossa sähkö siirtyy edelleen alue- ja jakeluverkkoihin. [21]

Alueverkot ovat kantaverkkoon kuulumattomia 110 kV verkkoja ja jakeluverkot tätä pienemmän jännitetaso- verkkoja. Alue- ja jakeluverkot ovat paikallisten verkkoyhtiöiden omistamia ja sähkökuluttajat liittyvät niihin. Siirtolinjojen lisäksi merkittäviä siirtoverkon komponentteja ovat sähköasemat ja jakelumuuntamot, joissa eri jännitetaso- verkot kytkeytyvät toisiinsa. Paikalliset sähkönsiirtoverkot toimivat alueellaan monopoliase- massa, ja energiamarkkinavirasto valvoo niiden toimintaa.

Vuonna 2016 sähköä kulutettiin Suomessa 85,1 TWh, joten Suomessa tuotetun 66,1 TWh:n lisäksi sähköä tuotiin ulkomailta 19,0 Twh [21]. Tuodun sähkön määrä on vuoden ajalta laskettu nettosumma, koska sähköenergiaa siirretään myös Suomesta ulkomaille. Sähkön kulutuksesta nettotuonnin osuus oli 22,3 %. Kulutus jakautuu suunnilleen tasan teollisuuden ja muun käytön välille, häviöiden osuus vuonna 2016 oli 3 % kulutuksesta. Kulutuksen tarkempi jakautuminen vuonna 2016 on esitetty kuvassa 8.



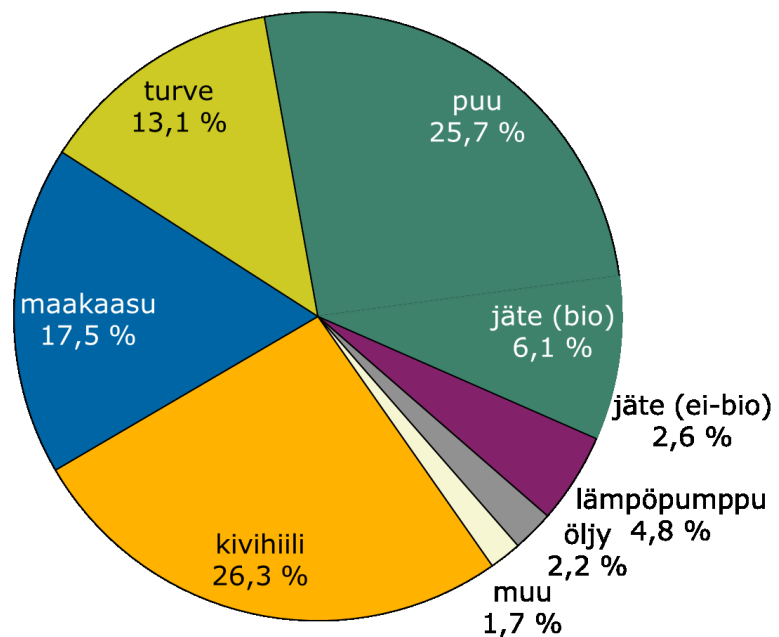
*Kuva 8: Sähkön käytön jakautuminen Suomessa 2016 [21]*

### 3.2 Lämmöntuotanto ja jakelu

Kaukolämmityksessä lämpölaitoksella tuotettu lämpö siirretään kulutuskohteisiin kauko- lämpöverkossa kiertävän veden avulla. Laitoksilla lämmitetty vesi siirtyy kaukolämpö- putkessa asiakkaalle, jossa se luovuttaa lämpöenergiaa. Jäähdytynyt vesi palaa toista putkea

myöten takaisin laitokselle. Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto yli 60 % osuudella lämmitetystä rakennustilavuudesta [22]. Kaukolämmön lisäksi lämpöenergiaa hyödynnetään teollisuuden prosesseissa prosessihöyrynä.

Suuri osa kaukolämmöstä tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotannolla, jolloin sama laitos tuottaa käyttämästään energialähteestä sekä sähköä, että lämpöä. Vuonna 2016 yhteistuotannon osuus kaukolämmön 36,6 TWh:n kokonaistuotannosta oli 70 % ja erillistuotannon osuus 30% [22]. Tuotannossa käytetyistä energialähteistä tärkeimpiä ovat kivihiili ja puu. Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytettyjen polttoaineteiden osuudet on esitetty kuvassa 9.



*Kuva 9: Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytetyt polttoaineet 2016 [22]*

### 3.3 Energia-alan tulevaisuudennäkymät

Digitalisaation lisäksi energia-alan tulevaisuuteen vaikuttavat monet muutkin tekijät, ja erilaisia vaihtoehtoisia tulevaisuudennäkymiä on useita. Sähköntuotannon osalta tulevia muutoksia on käsitelty esimerkiksi Roadmap 2025 -hankkeessa [4]. Muutostekijöitä voidaan jaotella yhteiskunnallisiin, tuotannon ja kulutuksen, verkkotekniikoiden ja sähkömarkkinoiden muutoksiin.

Yhteiskunnallisia muutostekijöitä ovat esimerkiksi päästövähennystavoitteet, kaupungistuminen, korostuva kriisivalmius, pyrkimys tuotannon omavaraisuuteen ja lisääntyvä digitalisaatio. Tuotannon ja kulutuksen puolella muutoksia aiheuttavat lisääntyvä hajautettu pientuotanto, tuotannon muuttuvien kustannusten pienentyminen, sähköautojen yleistyminen, sähkön käytön energiatehokkuuden parantaminen, joustava kysyntä ja akkuvarastojen yleistyminen. Verkkotekniikoiden muutoksia ovat jakeluverkkojen laajamittainen

kaapelointi ja tehoelektroniikan halpeneminen, ja sähkömarkkinoiden muutostekijöitä regulaation stabiiliuden kasvaminen, yhteis pohjoismainen vähittäissähkömarkkina, kapasiteettimekanismit sähkömarkkinoilla sekä kapasiteettipohjaiset verkkotariffit. [4]

Energiantuotantorakenteen muutoksista on olemassa useita vaihtoehtoisia ennusteita[3,4]. Merkittävän tekijänä pidetään uusiutuvan ja hajautetun energiatuotannon lisääntymistä. Vastaavasti fossiilisten polttoaineiden, etenkin öljyn ja kivihiilen käytön enustetaan laskevan. Säariippuvan tuuli- ja aurinkovoiman osuuden kasvu lisää tarvetta energian varastoinnille ja kysyntäjoustolle.

### **3.4 Laitoskokonaisuus**

Energiayhtiöillä voi olla omistuksessaan useampia energiantuotantolaitoksia ja niiden osuuksia. Tällaisessa tilanteessa on yksittäisten laitosten lisäksi otettava huomioon koko laitoskokonaisuus. Laajoissa kaukolämpöverkoissa käytettävän lämpöenergian tuottaminen ja kiertävän veden lämpötilan hallinta edellyttävät useiden lämpölaitosten ja pienempien lämpökeskusten käytön koordinoitua. Sama lämpömäärä voidaan tuottaa useampien laitosten tuotannon summana, jolloin laitoskohtaiset tehot riippuvat toisistaan.

Tuotannon optimoinnissa pyritään löytämään koko laitoskokonaisuuden kannalta paras mahdollinen tuotantotapa. Tehtävä ei ole yksinkertainen, kun käytössä on useita eri polttoaineita käyttäviä laitoksia, joilla sähkön ja lämmön tuotanto voivat riippua toisistaan. Tilanteeseen vaikuttavat myös ennusteet kulutuksesta, lämmön siirtymisen viiveet kaukolämpöverkossa, energian varastointimahdollisuudet ja energian muuttuvat hinnat.

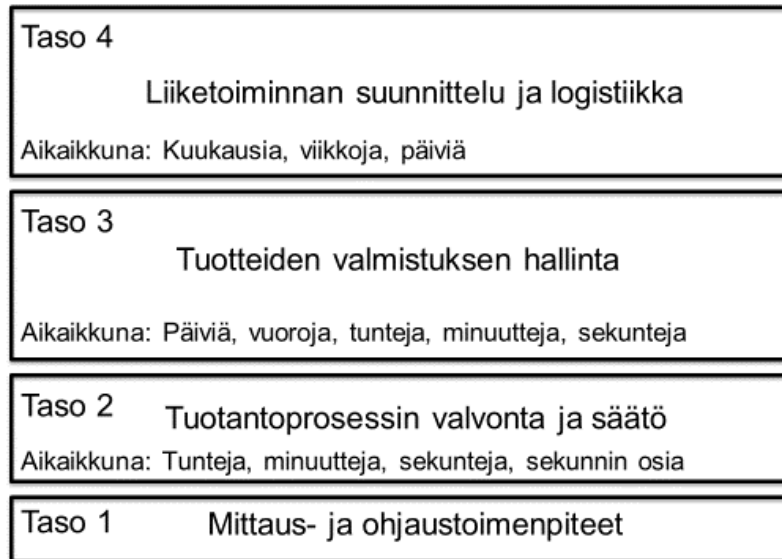
## 4. DIGITALISAATION NYKYTILA ENERGiantuotannossa ja jakelussa

Digitalisaation vaikutukset näkyvät jo energiantuotannossa ja jakelussa. Esimerkiksi sähkön kulutuksen mittaamiseen käytetään etäluettavia mittareita, joista saadaan tuntitason mittaustietoa. Muihin toimialoihin verrattuna energia-ala on kuitenkin vasta digitalisaation alkuvaiheessa. Esimerkiksi median, vähittäiskaupan ja tietoliikennealoilla digitalisaation vaikutukset ovat voimakkaampia [1]. Lisää esimerkkejä digitalisaatiosta energia-alalla on koottu listaksi, joka on tämän työn liitteenä B.

Joskus energiantuotantolaitosten digitalisaatio yhdistetään digitaalisen prosessitekniikan käyttöönottoon, jota on tapahtunut jo 1960-luvulta alkaen. Tietojen keruu, raportointi ja analogisten säätimien asetusarvojen ohjaus olivat prosessitietokonesovellusten ensimmäisiä tehtäviä. Sittemmin digitaalitekniikka on yleistynyt myös voimalaitosautomaatiojärjestelmissä [23]. Automaatio ja informaatioteknologia ovat vuosien saatossa aluksi lähestyneet toisiaan, ja sitten sulautuneet integroiduksi arkkitehtuuriksi.

### 4.1 Käytön optimointi

Energiantuotannon ja jakelun eri osa-alueista muodostuu monimutkainen kokonaisuus. Eri osatehtäviä, kuten kunnossapitoa, tuotannon suunnittelua ja prosessin ohjausta varten on käytössä erillisiä sovelluksia ja järjestelmiä, joiden toiminta kuitenkin liittyy toisiinsa. Tuotantokokonaisuutta voidaan hallita esimerkiksi ANSI/ISA-95-standardin mukaisella mallilla, joka määrittelee ohjauksen eri tasot ja niiden väliset suhteet. ANSI/ISA-95 mukainen hierarkia on esitetty kuvassa 10.



**Kuva 10: ANSI/ISA-95 mukainen osajärjestelmien hierarkiajako (muokattu lähteestä [24])**

Voimalaitoksilla käytetyt, useat eri tarkoituksiin hankitut järjestelmät voidaan sijoittaa kuvan 11 malliin niitä kuvaaville tasoille. Ylimmälle 4. tasolle kuuluvat yrityksen toiminnanohjausjärjestelmät, joiden avulla huolehditaan esimerkiksi tuotannon aikatauluttamisesta ja materiaalivirroista. Tuotannon- tai valmistuksenohjausjärjestelmät sijoittuvat tasolle 3 ja prosessin ohjaus- ja säätöjärjestelmät tasolle 2. Tasolla 1 ovat prosessin mitaukset ja ohjauslaitteet.

Tuotannosuunnittelussa apuna käytettävät optimointijärjestelmät antavat ohjeita siitä, miten käytössä olevia tuotantolaitoksia on järkevintä käyttää. Energiayhtiön kannalta edullisimman tuotantotavan valinta ei ole aina yksinkertaista, vaan tilanteeseen vaikuttaa esimerkiksi sähköstä saatavan hinnan vaihtelut, polttoainekustannukset eri laitoksilla ja eri laitosten käynnistysviiveet. Järjestelmät pystyvät ottamaan huomioon esimerkiksi kaukolämpöverkkojen kulkuaikaviiveet ja sääennusteen. Optimointijärjestelmien antama tuotantosuunnitelma voitaisiin yhdistää suoraan laitosten käyntiohjeeksi, mutta tois- taiseksi yleisempää on käyttää sitä operaattoreiden apuna.

## 4.2 Valvomotyö

Tyypillisesti energiantuotantolaitosten seuranta ja ohjaus on keskitetty valvomoon, joka on fyysinen huone lähellä energiantuotantolaitosta. Yleensä energiantuotantoprosessien ohjaus tapahtuu automaatiojärjestelmän käyttöliittymän kautta valvomoon sijoitetuilta operaattorityöasemilta. Operaattorityöasemien monitorien lisäksi käytetään paljon suurkuvanäyttöjä, joilla esitetään tyypillisesti yleistilanteen hahmottamista tukevia kuvia.

Valvontakameroiden käyttö on nykyään yleistä, ja laitoksen keskeisistä kohteista saadaan livekuvaa välitettyä valvomoon. [23]

Etäyhteydet mahdollistavat energiantuotantolaitosten ohjaamisen myös laitosalueen ulkopuolelta jo nykyään. Etäkäytön hyödyt saavutetaan, kun useiden eri laitosten paikalliset valvomot voidaan korvata keskitetyllä valvomolla, josta ohjataan useampaa laitosta. Ennen vuotta 2017 kiinteää polttoainetta käyttävän energiantuotantolaitoksen etäkäytön kokoraja oli 40 MW, mutta uudistunut paineastialaki sallii nykyisin myös tätä tehokkaampien laitosten etäkäytön. [25]

### **4.3 Kunnossapito**

Energiantuotantolaitosten ja jakeluverkkojen kunnossapito on välttämätöntä normaalin toiminnan ylläpitämiseksi. Kunnossapito käsittää huolto- ja korjaustöiden lisäksi koneiden ja laitteiden kunnonvalvonnan ja prosessien uudistukset. Koska huollot ja korjaukset ovat kalliita ja vievät paljon aikaa, on eduksi tehdä huoltoja vain sen verran kuin tarvitaan riittävän häiriöttömän tuotannon varmistamiseksi [23].

Ennakoiva huolto pyrkii siihen, että huoltotoimenpiteet voidaan tehdä hallitusti jo ennen vikojen ilmaantumista. Tarpeeseen perustuvan huollon tavoitteena taas on se, että tarpeettomia ennakkohuoltojakaan ei tehdä, vaan korjaukset ja huollot perustuvat todelliseen kuntoon. Kustannuksiltaan edullisinta on tarpeeseen perustuva huolto, kun turhat huollot vältetään, mutta myös hallitsemattomista laiterikoista aiheutuvat toiminnan keskeytykset voidaan välttää. Tarpeeseen perustuvaa huoltoa tehdään jo nykyään diagnostiikkaohjelmien avulla ja kunnonseuranta on mahdollista etäyhteyksien avulla.



## 5. TUTKIMUSAINEISTO

Kirjallisuuteen ja muihin tutkimuksiin perehtymisen lisäksi diplomityötä varten hankittiin tietoa kolmella tavalla:

1. VGB Suomi -yhdistyksen jäsenyhtiöissä järjestetyt keskustelutilaisuudet
2. Muiden yritysten esittelytilaisuudet
3. Digitalisaation mahdollisuudet voimalaitoksissa -seminaari.

Tilaisuuksien avulla pystyttiin tavoittamaan suuri määrä energia-alalla töitä tekeviä ihmisiä, joiden tiedoilla ja ajatuksilla oli keskeinen vaikutus tämän selvityksen tuloksiin. Keskusteluissa oli esillä digitalisaation yleisten mahdollisuuksien lisäksi myös yksityiskohdaisemmin eri yritysten näkökulmia tai tiettyjä tuotteita ja palveluita. Tässä työssä ei kuitenkaan esitellä yksittäisiä ratkaisuita vaan tilaisuuksissa esille nousseita asioita käsitellään kokonaisuutena ja yleisenä yhteenvetona.

### 5.1 Keskustelutilaisuudet

VGB Suomi -yhdistyksen jäsenyhtiöissä järjestettyjen keskustelutilaisuuksien tarkoituksena oli koota yhtiöiden henkilökunnan ajatuksia ja kokemuksia digitalisaatiosta. Samalla kartoitettiin voimalaitoksilla mahdollisesti olevia puutteita ja ideoita toiminnan kehittämisestä. Keskustelutilaisuuksien ohjelma sisälsi tyypillisesti diplomityöprojektin esittelyn ja yleisesityksen isäntäyhtiöstä.

Varsinaiset keskustelut toteutettiin teemahaastatteluna, jossa ei käytetä ennalta laadittua tarkkaa kysymyslistaa, vaan haastattelu etenee väljemmin valmiiksi päätetyn aihepiirin ympärillä [26]. Näin keskusteluihin käytettävä aika voidaan kohdistaa niihin asioihin, jotka herättävät paikalla olijoiden kesken eniten ajatuksia. Keskustelujen pohjaksi oli osallistujille jo ennen tapaamista jaettu aihelista, johon kirjatut kysymykset oli jaettu kolmeen kategoriaan:

1. Käytön optimointi
2. Valvomotyö
3. Kunnossapito.

Keskustelutilaisuuksien täysi aihelista on työn liitteenä A.

Keskustelut käytiin avoimesti niin, että myös aihelistan ulkopuolelta nousseita ajatuksia nostettiin esiin. Keskusteluiden sisältö riippui luonnollisesti hyvin voimakkaasti siitä, mitä kussakin tilaisuudessa paikalla olijat pitivät tärkeänä. Kukin keskustelutilaisuus käytiin eri kokoonpanolla, ja tilaisuuksittain vaihtelua oli myös osallistujamäärässä ja osallistujien työtehtävissä ja taustoissa. Vaikka jokainen keskustelutilaisuus oli yksilöllinen, voi keskusteluita silti tarkastella myös kokonaisuutena. Yhteensä keskustelutilaisuuksia pidettiin kevään 2017 aikana 5.

### 5.1.1 Käytön optimointi

Yhtiöissä on käytössä järjestelmiä, joilla optimoidaan niin energiantuotantolaitosten kuin kaukolämpöverkonkin käyttöä. Tavoitteena on käyttää olemassa olevaa tuotantokapasiteettia mahdollisimman kannattavalla tavalla. Optimoinnissa otetaan siis tässä yhteydessä huomioon yhden laitoksen sijaan suurempi laitoskokonaisuus tai jakeluverkko ja siihen kuuluvat lämpökeskukset. Optimointia varten järjestelmiin on mallinnettu tiedot käytössä olevista laitoksista ja käytön rajoitteista. Myös sääennusteita hyödynnetään tulevan energiantarpeen laskennassa. Optimointijärjestelmien tehtävä on tukea tuotannosuunnittelua ja antaa ohjeita laitosten parhaasta ajotavasta.

Käydyissä keskusteluissa tuli esiin, että optimointijärjestelmien tuottamia ajo-ohjeita ja ennusteita käytetään ihmisten päätöksenteon tukena. Optimointijärjestelmä voi antaa tarkat ehdotukset jokaisen laitoksen käyntitehosta, ja ne olisi mahdollista siirtää suoraan asetusarvoiksi laitoksille, mutta näin ei ole haluttu toimia. Keskusteluiden perusteella halutaan edelleen jättää ihmisten varmistettavaksi, että optimointijärjestelmien ehdotukset ovat järkeviä ja turvallisia.

Käytön optimoinnin ja tuotannosuunnittelun kehittämiseksi ehdotettiin, että tuotannonohjauksen käytössä olisi entistä helpommin saatavilla tarkempaa tietoa energiankulutuksesta ja laitosten käytettävyydestä. Yksittäisellä lämpölaitoksella saattaa olla tietoa tuotantoa rajoittavasta tekijästä, esimerkiksi lämmönvaihtimien likaantumisesta, jota ei kuitenkaan ole kirjattu mihinkään. Tietoja vaihdetaan yhä paljon puhelimessa, jolloin ongelma on, että tieto vaihtuu vain keskustelijoiden kesken, esimerkiksi laitosten ja tuotannosuunnittelun välillä. Toisaalta puhelinkeskustelujen etuina pidettiin viestinnän helpoutta ja mahdollisuutta tilanteen kuvailuun ja neuvotteluun. Tuotantosunnitelmat tehdään käytettävissä olevien tietojen perusteella ja optimointijärjestelmä ottaa huomioon vain siihen syötetyt tiedot. Mikäli tiedot eivät vastaa todellisuutta, ei tuotantosunnitelmaan voi olla paras mahdollinen. Sama pätee myös toiseen suuntaan: mitä tarkemmat tiedot ovat käytettävissä, sen tarkemmin suunnitelmat voidaan myös toteuttaa.

Myös todellisen, reaaliaikaisen mittaustiedon käytöstä puhuttiin. Eräissä keskusteluissa tuli ilmi, että kaukolämpöverkon asiakkailta mitatut kulutustiedot ovat käytettävissä vasta parin vuorokauden viiveellä. Kulutustiedon sijaan käytössä oli tiedot laitosten tuottamasta lämpötehosta, joiden perusteella kulutusta arvioitiin. Kaukolämpöverkkoon myös toivottiin lisää mittauspisteitä paineesta ja lämpötilasta.

### 5.1.2 Valvomotyö

Joidenkin keskustelutilaisuuksien yhteydessä vierailtiin myös valvomohuoneessa. Yhteistä kaikille oli operointi- ja suurkuvanäyttöjen suuri määrä. Suurikokoisemmat suurkuvanäytöt oli asetettu taustalle, ja pienempiä operointinäyttöjä oli työpöytien äärellä.

Yhteen operointiasemaan oli kytketty useampia näyttöjä. Valvomoihin tuli myös ympäri laitosta sijoitettujen valvontakameroiden kuvaa.

Valvomoihin liittyen juteltiin usein etäkäyttömahdollisuudesta. Yhden näkemyksen mukaan nykyisenkaltainen, yhteen huoneeseen sijoitettu valvomo on lähinnä jäännemeneisyydestä. Yhtiöillä on jo kokemuksia pienempien lämpölaitosten etäkäytöstä, ja tekninen mahdollisuus olisi olemassa myös suurempien laitosten etäkäyttöön. Suurempia laitosten etäkäytössä nähdään kuitenkin olevan enemmän riskejä ja asiaa rajoittaa myös lainsäädäntö. Erityisen tärkeänä etäkäytön kannalta pidettiin tietoturvaa ja yhteyksien luotettavuutta. Etäkäytön etuina pidettiin kustannussäästöjä, jos keskitetystä valvomosta voidaan ohjata useampaa laitosta. Etäkäyttömahdollisuus lisää myös turvallisuutta, koska prosessi on edelleen ohjattavissa, vaikka valvomo jouduttaisiin evakuoimaan, tai sen käyttö muuten estyisi.

Yhteen tilaan sijoitettua valvomoa kuvailtiin tiedon solmupisteeksi, ja operoinnin keskittymistä yhteen tilaan pidettiin myös etuna. Operaattoreiden kommunikointi ja tiedonkulku ovat luontevia, kun kaikki ovat samassa huoneessa, ja voivat keskustella tehdyistä toimenpiteistä. Tiedonkulussa nähtiin myös olevan ongelmia, ja operaattoreilla ei välttämättä ole aina kaikkea tarpeellista tietoa käytettävissään. Ratkaisuksi tiedonkulkuun on käytössä päiväkirjasovelluksia, joihin vuoron tapahtumat on tarkoitus kirjata ylös. Tekstin lisäksi on mahdollista lisätä myös kuvia tai videoleikkeitä. Kokemuksia on kuitenkin myös siitä, että kaikkia kirjauksia ei tehdä sähköisessä muodossa. Tähän syyksi esitettiin, että kirjaamista pidetään vaivalloisena.

Valvomoista poistutaan toisinaan myös kentälle, esimerkiksi tarkastamaan laitteiden toimintaa tai ratkaisemaan häiriötilanteita. Tyypillisesti tällöin käytetään yhteydenpitoon valvomon ja kentän välillä radiopuhelimia. Häiriön ratkaiseminen saattaa edellyttää ohjaustoimenpiteitä, kuten moottorin käynnistämisen, jolloin kenttämies pyytää valvomossa olevaa operaattoria käynnistämään moottorin. Kentällä kulkeva operaattori saattaa myös olla kiinnostunut prosessin tilasta, ja kysyä haluamiaan tietoja radiolla valvomosta. Keskusteluissa mietittiin, olisiko hyödyllistä tarjota kenttämiehen käyttöön mobiililaitte, jolla prosessia pystyy ohjaamaan. Toisena asiana mietittiin videokuvayhteyttä kentältä valvomoon. Kaikkia prosessin kohteita ei ole valvottu kiinteillä kameroilla, ja kenttämiehen mukana kulkevalla kameralla saisi videokuvaa mistä tahansa.

Tulevaisuuden mahdollisuutena pidettiin lisätyn todellisuuden näyttöä, joka kulkee mukana kentällä. Näyttöön piirtyisi prosessin tietoja joko listana, tai oikeiden laitteiden kohdalle. Esimerkiksi tietyn pumpun ollessa näkökentässä, sen käyntitieto ja virtausmäärä piirtyisi näytölle pumpun viereen.

### 5.1.3 Kunnossapito

Kunnossapidossa tunnistettiin ongelmia tiedon hajanaisuudessa ja kunnossapitojärjestelmien käytössä. Kunnossapitoon liittyviä laitteiden käyttöohjeita ja laitteiden huoltohistoriaa toivottiin helpommin saataville. Kunnossapitoa ja korjausta varten tehtävien huoltopyyntöjen ja vikailmoitusten kirjaaminen järjestelmään koettiin hankalaksi. Kokemuksia oli siitä, että jostain tietystä vikakohteesta oli tiedetty jo pitkään ja siitä oli saatettu keskustella jollakin porukalla, mutta vikaa ei korjattu, koska kukaan ei ollut kirjannut asiaa kunnossapitojärjestelmään.

Kunnossapidon osalta nähtiin, että laitteiden huoltotarpeen tarkemmasta arvioinnista voisi olla apua. Joitakin huoltoja tehdään kalenterin mukaan, riippumatta todellisesta käytöstä. Turhia huoltoja voisi jäädä tekemättä, jos todelliset käyttötiedot hyödynnettäisiin. Kuitenkin näkemyksiä esitettiin myös siitä, että jo nykyisellä kunnossapidolla saavutetaan riittävän hyvä laitteiden käytettävyys kohtuullisilla kustannuksilla. Kalliit investoinnit eivät välttämättä toisi niin paljon lisää hyötyjä, että ne olisivat kannattavia.

Mahdollisena kehityskohtena pidettiin paikannusta ja kulkuopastusta huoltokohteille. Mikäli kaikkien laitteiden sijaintitiedot ja kulkuopastus niiden luokse olisivat saatavissa, voitaisiin huoltomiesten ajankäyttöä tehostaa. Huolto- ja korjaustöitä joudutaan tekemään myös paikoissa, jotka eivät ole ennalta tuttuja, ja vieraassa ympäristössä oikean huoltokohteen löytäminen voi olla hankalaa. Potentiaalisena mahdollisuutena nähtiin myös etäyhteydet kunnossapidon asiantuntijoihin. Vikakohteella oleva työntekijä voisi video- ja kuvayhteyden avulla saada asiantuntijaopastuksen juuri kyseisen vian korjaamiseen.

## 5.2 Yritysesittelyt

Yritysesittelyissä eri yritysten edustajat kertoivat näkemyksiään digitalisaatiosta ja tulevasta kehityksestä. Tilaisuudet olivat tyypillisesti parin tunnin tapahtumia, joissa esiteltiin kohdeyritys yleisesti ja tarkemmin toiminta voimalaitosten digitalisaatioon liittyen. Esittelytilaisuuksia järjestettiin yhteensä 6. Yritysten esittelyt toivat esille digitalisaatioon liittyviä yleisiä ajatuksia, sekä myös konkreettisia jo käytössä tai kehitteillä olevia ratkaisuita.

Keskeinen yritysesittelyissä toistuva aihe oli palvelualustat. Esittelyjä pitäneillä yrityksillä oli kehitteillä tai käytössä energia-alalle suunnattuja teollisen internetin alustoja, joiden käyttö ei vielä ole kovinkaan yleistä. Alustojen yhteydessä tärkeää on yhteensopivuus ja liitettävyys jo käytössä oleviin tieto- ja automaatiojärjestelmiin.

Tiedonsiirrossa ja anturoinnissa ennustettiin langattomien teknologioiden yleistymistä. Aidossa langattomuudessa anturille tai mittalaitteelle ei ole vedetty edes virtajohtoa, vaan käyttöenergia toteutetaan muulla tavoin. Langattomat tiedonsiirtoratkaisut kohdistuisivat etenkin hajanaisiin mittauskohteisiin, kuten kaukolämpöverkon mittauspisteisiin. Myös

langatonta operointimallia esitettiin. Tässä ratkaisussa operaattoreiden käytössä on koko laitoksen alueella langattomassa verkossa toimivat tablettitietokoneet, joilta ohjaustoimenpiteet voidaan suorittaa. Tiedonsiirrosta esitettiin myös automaattisen jakamisen ja tarkkailun sovelluksia, joissa esimerkiksi tieto säiliön pinnasta tai laakerin poikkeuksellisesta värinästä jaetaan automaattisesti yhteistyökumppanin kanssa.

### **5.3 Digitalisaation mahdollisuudet voimalaitoksissa -seminaari**

Diplomityöhön liittyvä Digitalisaation mahdollisuudet voimalaitoksissa -seminaari toteutettiin yhteistyössä VGB Suomi -yhdistyksen voimalaitosvaliokunnan ja Suomen Automaatioseuran voimalaitosjaoksen kesken. Seminaari järjestettiin Tampereella 25.4.2017 ja ohjelmaan kuului 8 puolen tunnin esitystä, joissa käsiteltiin digitalisaation voimalaitostoimintaan liittyviä vaikutuksia ja tulevaisuuden näkymiä. Esitysten pitäjät kysyttiin yrityksistä, joiden näkemyksistä ja toiminnasta oltiin kiinnostuneita sekä VGB Suomi -yhdistyksessä että Automaatioseurassa. Seminaarin ohjelma, josta ilmenevät myös esitysten pitäjät ja aiheet, on diplomityön liitteenä C. Seminaarista tiedotettiin sekä VGB Suomen, että Automaatioseuran jakelussa, ja seminaarin toteutunut osallistujamäärä oli 84 henkeä.

Yksi seminaarin tavoitteista oli tukea diplomityön tekemistä, ja esityksissä tulikin hyvin esille, miten eri yrityksissä tehdään töitä digitalisaatioon liittyen. Seminaariesitysten perusteella voimalaitoksille on jo nykyisin tarjolla kiinnostavia digitalisaatioon liittyviä tuotteita ja palveluita, joista on myös käyttökokemuksia. Seminaariesitykset ovat saatavilla Suomen automaatioseuran materiaalipankissa [27].

Esityksissä käsiteltiin digitalisaatiota yleisenä ilmiönä, mutta myös yksittäisiä siihen liittyviä ratkaisuita. Myös seminaarissa IoT-alustat tulivat useampaan kertaan esille. Digitaalisten alustojen kehityksessä mainittiin yritysten välisen yhteistyön tärkeys alustan kehityksessä. Yksi digitaalisen alustan eduista on, että alustan kautta saa käyttöönsä useita eri valmistajien tarjoamia sovelluksia. Alustalle on siis eduksi, jos siellä on tarjolla monen yhteistyökumppanin kehittämiä sovelluksia ja se on monipuolisen tarjonnan vuoksi asiakkaalle houkuttelevampi ja hyödyllisempi. Energiantuotannossa ja jakelussa sovellukset voivat olla esimerkiksi kunnossapidon tiedonhallintaan, jakelun ja tuotannon optimointiin tai vaikka tuotantojärjestelmän tilan visualisointiin liittyviä sovelluksia. Vaikka alustojen kautta tarjottavat palvelut olisivatkin maksullisia, on uusien palveluiden kokeileminen ja käyttöönotto nopeampaa ja suoraviivaisempaa, jos ne saavat alustalla jaetun datan helposti käyttöönsä.

Digitalisaation turvallisuutta parantavista mahdollisuuksista esimerkki oli kuvaus työntekijöiden ja koneiden sisäpaikannuksen sovelluksesta, jossa koneen liike estetään muiden henkilöiden ollessa vaara-alueella. Paikantamista voidaan käyttää paitsi liikkuvien koneiden, kuten trukkien ja kuormauslaitteiden, myös paikallaan olevien koneiden ja kuljettimien vahinkokäynnistymisten estämiseksi [28]. Turvallisuuden kannalta paikannuksen

käyttöä voi ajatella jo käytössä olevien turvallisten työtapojen ja turvalukitusten lisäksi tehtävänä ylimääräisenä varmistuksena. Työntekijöiden sijainninseurannan voi yhdistää myös mukana kuljetettaviin kaatumista tai haitallisia kaasuja tarkkaileviin sensoreihin tai avunkutsupainikkeeseen, jolloin onnettomuudesta saadaan välittömästi tieto välitettyä eteenpäin ja apu ohjattua oikeaan paikkaan.

Virtuaali- ja lisätyn todellisuuden mahdollisuuksista esiteltiin niiden käyttöä suunnittelun, koulutuksen ja kunnossapidon apuna [29]. Virtuaalitodellisuudessa koulutus esimerkiksi valvomotyöhön voi toteutua todellisuutta mukailevassa ympäristössä. Prosessisimulaattoreita käytetään voimalaitosprosessien simulointiin ja niiden avulla voidaan mallintaa laitosten käyttäytymistä erilaisissa toimintaolosuhteissa ja niiden vastetta operaatoreiden ohjaustoimenpiteisiin. Operaattoreiden koulutuksessa käytetään valvomosimulaattoreita, joissa valvomohuoneen olosuhteet on kopioitu fyysiseen tilaan, mutta käytettävät työasemat ja hallintalaitteet eivät ole kytkettyinä todelliseen voimalaitosprosessiin, vaan prosessisimulaattoriin. VR-simulaattoreissa puolestaan olemassa tai suunnitteilla olevan valvomon 3D-malli yhdistetään prosessisimulaattoriin. VR-koulutussovellusten yhteydessä voidaan käyttää 3D-mallien lisäksi myös todellisesta ympäristöstä kuvattuja 360°-kuvia ja -videoita, jotka VR-laseilla katsottuna luovat kokemuksen paikalla olemisesta.

Huoltotyöntekijälle lisätyn todellisuuden näyttö voi tarjota työtehtävän mukaiset ohjeet tai suunnitelmat suoraan näkökenttään. Jos näyttö on integroitu kypärään tai muuten tuettu käyttäjän silmien eteen, jäävät molemmat kädet vapaiksi työtehtäviä varten. Lisätyn todellisuuden näyttö voi olla myös tablettitietokoneen tai puhelimen näyttö. AR-laitteen tunnistessa sijaintinsa tai kohteita ympäristöstään, voi näytölle piirtää esimerkiksi tilaan liittyviä prosessiarvoja, antureiden mittaustietoja tai koneiden ja laitteiden tietoja. AR-laitteiden kameroilla ja muilla antureilla voidaan kerätä tietoja ympäristöstä ja esimerkiksi lämpökameran avulla osoittaa lämpötilaeroja.

Oppivan keinoälyn ja data-analytiikan mahdollisuutena esiteltiin prosessidatasta poikkeamia tunnistavaa sovellusta [30]. Normaalista käyttötilanteesta kerättyyn vertailudataan nähden on mahdollista erottaa poikkeamia, joiden avulla voi ennustaa esimerkiksi laitteiden huoltotarvetta. Laitteiden käyttöolosuhteista riippuvaa kulumista voidaan myös ennustaa, ja sen perusteella esimerkiksi optimoida käytettävää polttoainetta. Vikojen ja häiriötilanteiden ennakoimisen lisäksi on tärkeää, että tilanteeseen voidaan myös puuttua parhaalla mahdollisella tavalla, joko korjaamalla laitteita ennalta, muuttamalla prosessin ajotapaa tai varautumalla hajoamiseen, jolloin katko jää mahdollisimman lyhyeksi. Palveluna tarjottavassa ennakoivan kunnossapidon sovelluksessa asiakkaan tuotantolaitoksen tilaa seurataan palveluntarjoajan valvomosta reaaliaikaisesti.

## 6. DIGITALISAATION MAHDOLLISUUDET ENERGIANTUOTANNOSSA JA JAKELUSSA

Vaikka digitalisaation vaikutukset energiantuotantolaitoksilla ovat alkaneet jo vuosia sitten, niin kehitys ei kuitenkaan pysähdy. Digitalisaation avulla tavoiteltavia asioita ovat esimerkiksi kustannustehokkuus, optimaalisten ajotapojen löytäminen, järjestelmien välisen tiedonsiirron sujuvuus, turvallisuus, käytettävyys, päästöjen hallinta ja hyvä suorituskyky. Digitalisaation tuomia mahdollisuuksia ja muutoksia voidaan ennustaa ja analysoida nykyisen tilanteen ja nähtävissä olevan kehityksen perusteella. On muistettava, että tunnistettujen mahdollisuuksien lisäksi voi tapahtua myös äkillisiä ja yllättäviä muutoksia, joiden vaikutukset voivat olla hyvinkin merkittäviä. Seuraavissa kappaleissa esitellään digitalisaation mahdollisuuksia energiantuotannon käytön optimoinnissa, valvomotyössä ja kunnossapidossa.

### 6.1 Käytön optimointi

Energiantuotannon ja jakelun hallinnassa big data, keinoäly ja koneoppiminen voivat entisestään parantaa suunnittelu- ja optimointisovellusten toimintaa. IoT -alustojen, tai muiden ratkaisujen avulla voidaan yhdistää entistä suurempi määrä tietoa sovellusten käyttöön, mikä johtaa laskennan ja ennusteiden tarkkuuden paranemiseen. Sähkön akkuvastoinnin kehittyminen tuo lisää joustoa tuotannon ajoittamiseen ja sähkön kulutushuipuihin varautumiseen. [4]

Energiantuotannon kannalta keskeisiä tulevaisuudennäkymiä on sähkön kysyntäjoustopien ja hajautetun tuotannon lisääntyminen [3,4]. Kysyntäjoustopien ja sähkön hajautetun tuotannon toteutumiseen ja hallintaan tarvitaan entistä älykkäämpiä sähköverkoja ja kulutus ja tuotantotietojen seuranta. On myös mahdollista, että kysynnän jousto avaa mahdollisuuksia uudenlaiseen palveluliiketoimintaan, jossa loppuasiakkaan mikroverkon hallinta energiavarastointiin ja kulutuskohteeseen on palveluntarjoajan vastuulla [3]. Energiantuotannon ja siirron lisäksi energiayhtiöt voivat tulevaisuudessa tarjota asiakkaille myös niihin liittyviä palveluita, kuten asiakkaan energiankäytön optimointia. Tarjottavien palveluiden on vastattava tehokkaasti asiakkaiden tarpeeseen.

Laitoksilla käytettävät monet eri järjestelmät nähdään toisinaan rasitteena, jos tieto ei liiku eri järjestelmien välillä ja työntekijät joutuvat käyttämään useita järjestelmiä rinnakkain. Useat yritykset kehittävät energiayhtiöiden käyttöön tarkoitettuja IoT-alustoja, jotka voivat helpottaa tietojen jakoa eri järjestelmien välillä, tai tarjota käyttäjälle yhden yhteisen käyttöliittymän kautta pääsyn kerättyihin tietoihin. Myös Fingridin kehittämä da-

tahub on esimerkki tietojen hallinnan ja jakamisen alustasta. Vuonna 2019 käyttöön otettava datahub toimii keskitettynä tiedonvaihtojärjestelmänä sähkön myyjien, loppukäyttäjien ja verkonhaltijoiden välillä [31].

Tulevaisuudessa tarkka mallintaminen mahdollistaa digitaalisten kaksosten (engl. digital twin) luomisen niin energiantuotantolaitoksista kuin jakeluverkoistakin. Digitaalisten kaksosten avulla voidaan analysoida käyttötapojen vaikutuksia ja ennustaa toimenpiteiden seurauksia, ja näin löytää kokonaisuuden kannalta edullisimmat toimintatavat. [18]

## 6.2 Valvomotyö

Valvomotyö tulevaisuuden energiantuotantolaitoksilla ei enää välttämättä ole sidottua valvomohuoneeseen. Laitoksen operointi ja tilan seuraaminen voi olla mahdollista langattomaan verkkoon yhdistetyillä tableteilla, jotka ovat käytettävissä mistä tahansa tuotantolaitoksen alueella. Koneita ja laitteita voidaan näin ohjata myös kentältä. Kentältä ohjaamisen ohella yksi mahdollisuus on, että kentällä liikkuvan operaattorin mukana kulkevalla kameralla saadaan välitettyä kuvayhteys kentältä valvomoon. Lisätyn todellisuuden näytöt voivat näyttää prosessitietoja, jotka yhdistyvät oikeiden sijaintien kohdalle.

Tuotantolaitosten prosessinohjausjärjestelmien käyttöliittymät kehittyvät helppokäyttöisemmiksi ja selkeämmiksi. Ohjausvaihtoehdoiksi tulee puhe-, ääni-, ele- ja kosketusohjaus. Käyttäjäkokemus on entistä luontevampi, ja ohjausjärjestelmät tukevat operointia esittämällä ennusteita ohjaustoimenpiteiden vaikutuksista tai toimenpide-ehdotuksia ja ohjeita häiriötilanteissa.

Ohjattavan prosessin tila voidaan esittää entistä havainnollisemmin 3D-mallien avulla. Malleihin on kuvattu laitteet ja putkilinjat todellisille paikoilleen, ja mallin yhteydessä näytetään myös mittauksia prosessista. Sisäpaikannusjärjestelmät lisäävät turvallisuutta seuraamalla, missä ihmisiä liikkuu ja tarvittaessa estämällä laitteiden käynnistämisen ihmisten ollessa vaarallisella alueella.

Etäkäyttöön digitalisaatio voi tuoda samoja mahdollisuuksia kuin paikallisellekin valvomotyölle, mutta etäkäytössä korostuu lisäksi tarve olla yhteydessä etäohjattaviin kohteisiin. Tietoliikenneyhteyksien on oltava erittäin luotettavia ja valvomon ja kenttähenkilöstön yhteistyön sujuvaa. Käytössä voi olla kuva- ja ääniyhteyksiä kunnossapitohenkilökuntaan tai myös kauko-ohjattaviin kameralennokkeihin, jotka välittävät tietoja paikasta päältä.

Virtuaaliodellisuuden hyödyntämisellä voi tulevaisuudessa olla merkittävä vaikutus laitosten etäkäyttöön, kun operointi voidaan toteuttaa täysin virtuaalisessa valvomossa. Näin fyysistä valvomohuonetta ei tarvitse rakentaa lainkaan, mutta operointiin on silti käytössä luontevan yhteistyön mahdollistava ympäristö. Virtuaalilaseja käyttävä operaattori voi



liikkua ja toimia virtuaalisessa valvomossa yhdessä muiden henkilöiden kanssa. Operoinnin lisäksi virtuaalivalvomoa voidaan käyttää koulutussimulaatioissa. Todellisen valvomohuoneen mukaisessa virtuaalivalvomossa voidaan simuloida tilanteita, joita todellisessa valvomossa ei voida harjoitella, kuten tulipalon sammuttamista tai varmentaa uuden valvomo-layoutin suunnittelu.

### 6.3 Kunnossapito

Energiantuotannon ja siirtoverkkojen kunnossapitoon liittyviin tulevaisuuden mahdollisuuksiin kuuluu entistä tarkempi vikojen havainnointi ja ennustaminen. Antureiden halpeneminen ja mittaustarkkuuden paraneminen mahdollistavat yhä useampien kohteiden tarkkailun ja etäyhteydet helpottavat laitteiden seuranta. Langattomien yhteyksien parantuminen helpottaa tiedonsiirtoa etäkohteista. Laitteista tehtävien mittausten lisäksi koko tuotantoprosessista kerättävää dataa voidaan analysoida ja koneoppimisen kautta tunnistaa häiriöitä ja vikatilanteita. Data-analytiikan kehitys tuo yhä paremmin esille vikojen syyt ja vaikutukset.

Kunnossapito ja huoltotyön tukena voidaan tulevaisuudessa käyttää lisätyn todellisuuden näkymää, jossa läpikatsottavalle näytölle tuodaan tietoja ja ohjeita. Huoltotyöntekijän tukena voi olla myös kamera- ja puheyhteys tiettyyn huoltotyöhön tai laitteeseen erikoistuneeseen asiantuntijaan, joka voi opastaa huoltotyössä reaaliaikaisesti etänä. Huoltokohteiden löytämistä helpottaa niiden sijoittaminen laitoksen 3D-malliin ja sisäpaikannus, joka seuraa työntekijöiden sijaintia.

Varaosien hankinnassa 3D tulostus voi nousta tärkeäksi tekijäksi. Tulostustekniikoiden ja käytettävissä olevien materiaalien kehitys voi mahdollistaa minkä tahansa osan edullisen valmistuksen, kunhan siitä on olemassa tietokonemalli. Uusien osien lisäksi 3D tulostuksella voidaan korjata hajonneita tai kuluneita osia lisäämällä materiaalia olemassa olevaan kappaleeseen. Tavoiteltavia etuja ovat tuotteiden toimitusaikojen lyheneminen ja varaosavarastojen tarpeen pieneneminen.

## 7. YHTEENVETO

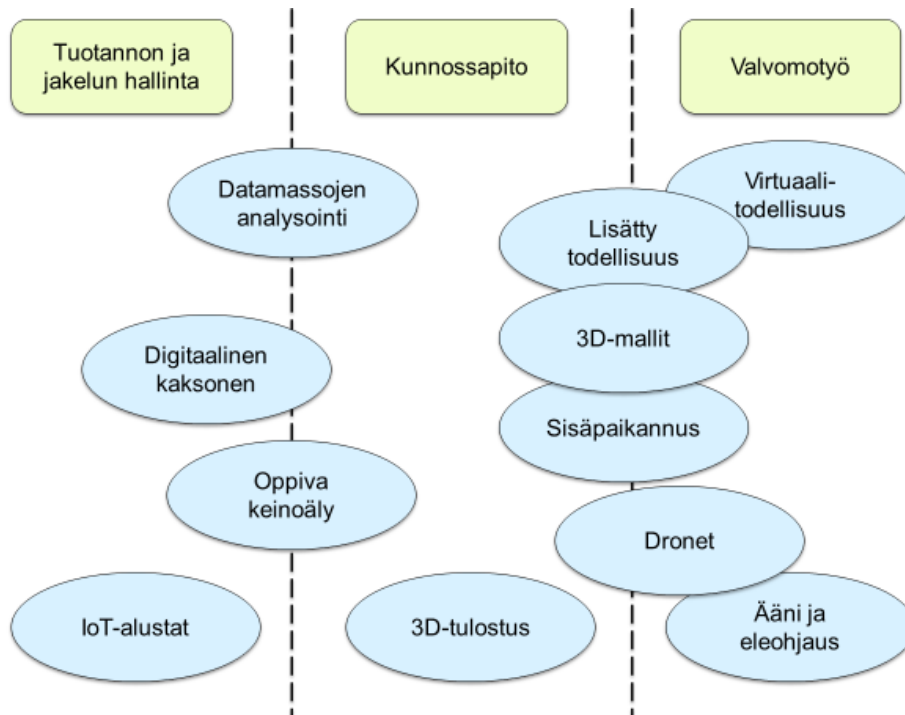
Työlle asetettiin tutkimuskysymys: ”Mitä mahdollisuuksia digitalisaatiolla on energiantuotannossa ja jakelussa vuoteen 2030 mennessä”. Selvityksen perusteella digitalisaation voidaan nähdä tuovan paljon uusia mahdollisuuksia. Tapahtuvasta kehityksestä, muutoksista ja uusista työkaluista voi toisaalta olla hankala osoittaa, mitkä muutokset ovat osa digitalisaatiota ja mikä siitä erillistä toiminnan kehittämistä. Täsmällistä eroa ei voida tehdä, ja tulkinta riippuu siitä, miten digitalisaatio määritellään. Tarkan rajan vetäminen ei kuitenkaan ole tärkeää, sillä mahdollisuudet ovat olemassa riippumatta siitä, luetaanko ne osaksi digitalisaatiota vai ei. Toinen määrittelykysymys liittyy tässä työssä käytettyyn näkökulmaan, että digitalisaatio luo mahdollisuuksia. Sen sijaan voitaisiin myös ajatella, että digitalisaatio ei luo mahdollisuuksia, vaan pikemminkin tietynlaisten mahdollisuuksien käyttöönotto luo digitalisaatioilmiön.

Työn aikana kertyneet tiedot osoittavat, että digitalisaatio tarjoaa paljon uusia mahdollisuuksia energiantuotantoon ja jakeluun. Uusien teknologioiden hyödyntämisestä kertyi lukuisia esimerkkejä, joissa uusille ratkaisuille on jo löydetty hyödyllisiä käyttökohteita. Käyttökokemusten perusteella ratkaisut kehittyvät edelleen ja päätyvät yhä laajempaan käyttöön.

Digitalisaation jako teknologiseen, tiedolliseen ja sosioekonomiseen perustaan esitettiin työn johdantoluvussa kuvassa 2. Työssä digitalisaation sosioekonomisen osan käsittely on jäänyt vähälle huomiolle ja se ei työn rajauksen vuoksi ole yhtä keskeinen kuin teknologinen ja tiedollinen osa. Seuraavissa kappaleissa esitetään tiivistetysti digitalisaation tiedolliseen ja teknologiseen osaan jaetut mahdollisuudet energiantuotannossa ja jakelussa. Työn viimeisessä kappaleessa esitetään yleisiä työn aiheesta nousseita huomioita.

### 7.1 Digitaaliset työkalut

Digitalisaation teknologiseen perustaan kuuluu, että teknologian kehittyessä saataville tulee yhä enemmän ja parempia välineitä ja työkaluja datan keräämiseen, hallintaan ja esittämiseen. Kuvassa 11 esitetään keskeisiä digitalisaatioon liittyviä työkaluja, joita luultavasti hyödynnetään energiantuotannossa ja jakelussa runsaasti vuoteen 2030 mennessä. Kuvassa 11 eri työkaluja on sijoiteltu suhteessa eri käyttökohteisiin, niin, että työkalu on sen kohteen alla, jossa sen vaikutukset ovat voimakkaimmat. Monet kuvan työkaluista, kuten oppiva keinoäly, ovat kuitenkin hyvin monikäyttöisiä ja niiden soveltaminen on mahdollista useissa käyttökohteissa.



**Kuva 11: Digitalisaatioon liittyviä työkaluja**

Tuotannon ja jakelun hallinnassa datamassojen analysointi, digitaaliset kaksoiset ja oppiva keinoäly auttavat tulevaisuudessa entistä tehokkaammin parhaiden mahdollisten sähkön- ja lämmön tuotantovaihtoehtojen löytämisessä. IoT-alustat helpottavat suurten tietomäärien jakamista ja hallintaa eri toimijoiden välillä. Alustojen suuri hyöty on, että ne helpottavat tiedon jakamista eri tietolähteistä useiden eri sovellusten käyttöön, ja tukevat siten uusien sovellusten käyttöönottoa.

Kunnossapidossa datamassojen analysointi ja oppiva keinoäly nopeuttavat vikojen havaitsemista ja 3D-tulostus vähentää varaosavarastojen tarvetta. Lisätty todellisuus tuo ohjeet ja prosessitiedot huoltohenkilökunnan helposti saataville. Koko laitoksen 3D-malli helpottaa suunnittelutyötä, ja sisäpaikannus yhdistettynä koko laitoksen 3D-malliin helpottaa huoltokohteiden löytämistä. Vaikeasti saavutettavia kohteita voidaan tarkastaa droneilla. 3D-mallien lisäksi tulevaisuudessa voidaan käyttää 360°-kuvia ja videoita laitoksen olosuhteiden havainnollistamiseen ja tietojen jakamiseen.

Valvomotyössä virtuaalitodellisuus voi mullistaa toiminnan, kun fyysistä valvomohuonetta ei välttämättä tarvita enää lainkaan. Lisättyyn todellisuuteen, 3D-malleihin, sisäpaikannukseen ja droneihin kuuluvat samat edut kuin kunnossapidossa. Ääni ja eleohjaus voivat tehdä laitosten operoinnista sujuvampaa.

## 7.2 Sovellusmahdollisuudet

Digitalisaation tiedollinen perusta käsittää kerättyä dataa jalostavat hyödylliset sovellukset. Energiantuotannossa ja jakelussa näistä sovellusmahdollisuuksista voidaan tunnistaa 3 keskeistä teemaa:

1. Tietojen tehokas kerääminen ja jakaminen
2. Etäyhteydet ja asiantuntijapalvelut
3. Kehittynyt datan analysointi

Teemat ja niihin liittyvät sovellukset on esitetty tiivistetysti kuvassa 12.



**Kuva 12: Digitalisaation mahdollisuuksien jako teemoittain**

Kuvassa 12 ensimmäinen sovellusalue on tietojen kerääminen ja jakaminen. Jo nykyään energiantuotannosta mitataan ja kerätään paljon dataa, mutta tulevaisuudessa kerättävä määrä voi kasvaa entisestään. Tietojen keräämisen, eri lähteistä yhdistämisen ja jakamisen helpottamiseksi on nousemassa IoT-alustoja, jotka voivat tarjota myös työkaluja ja ohjelmia datan jatkokäsittelyyn. Tietojen tehokas jakaminen tarkoittaa, että kaikki kerätty tieto on kaikkien käytössä olevien, eri tehtäviä suorittavien osajärjestelmien saatavilla. IoT-alustat voivat myös yhdistää asiakkaita ja palveluntarjoajia niin, että palveluntarjoajilla on käytössään asiakkaalta hankittua dataa. Energiayhtiöt voivat alustojen kautta joko hankkia palveluita itselleen, tai tarjota omia palveluitaan kuluttajille.

Kuvan 12 toinen alue, etäyhteydet ja asiantuntijapalvelut vaikuttavat tuotantolaitosten käytössä ja kunnossapidossa. Tuotantolaitosten operointi on mahdollista paikallisvalvon lisäksi myös etänä ohjauskeskuksesta, josta voidaan keskitetysti operoida useita eri

laitoksia. Etäkäytön tukena on kameroita ja mahdollisesti kuva- ja puheyhteys paikan päällä oleviin operaattoreihin. Myös huoltotöissä voidaan käyttää asiantuntijapalveluita etänä. Erikoistumista vaativat huoltotyöt voidaan suorittaa asiantuntijan avustuksella jakamalla kuva- ja ääniyhteys huoltokohteelta. Laitteiden, kuten pumppujen ja puhaltimien valmistajat voivat myydä laitteen sijaan palvelua, jolloin valmistaja huolehtii laitteen ylläpidosta niin, että se on sovitulla tavalla asiakkaan käytettävissä.

Kuvassa 12 viimeinen sovellusalue on kehittynyt datan analysointi. Se mahdollistaa entistä tarkemman kunnonvalvonnan ja tuotannon optimoinnin. Kunnossapidon tueksi saadaan yhä tarkempia arvioita laitteiden kulumisesta ja huoltotarpeesta ja vikoihin johtavat olosuhteet voidaan tunnistaa ja oppia välttämään. Energiantuotantoa optimoivat järjestelmät pystyvät yhä tarkemmin arvioimaan edullisimman tavan käyttää tuotantolaitoksia ja energiavarastoja ja simuloinnin perusteella laskettu ohje voidaan siirtää suoraan sitä noudattavaan ohjausjärjestelmään.

### 7.3 Pohdinta

Työn tuloksena on esittely digitalisaation mahdollisuuksia. Uusien mahdollisuuksien tunnistaminen on tärkeää, mutta se, että jokin on mahdollista ei tarkoita, että se kannattaisi toteuttaa. Digitalisaation yhteydessä uudet mahdollisuudet perustuvat ICT-teknologian kehitykseen, mutta mahdollisuuksien käyttöönotto puolestaan perustuu niillä saatavien hyötyjen arviointiin. Uusilla menetelmillä saavutettavien hyötyjen osoittaminen ei ole aina yksinkertaista, ja kaikissa tapauksissa tavoiteltuja hyötyjä ei välttämättä saavuteta ollenkaan.

Digitalisaatioon liittyy ajatus teknologisesta vallankumouksesta ja digitaalisesta murroksesta. Vaikka kehitys ja uusien mahdollisuuksien ilmaantuminen olisikin nopeaa, on pohjalla kuitenkin aina nykytila. Energiantuotannossa ja jakelussa tämä korostuu suhteellisen hitaan uusiutumisen takia. Uusia järjestelmiä tai laitteita voidaan harvoin ottaa käyttöön niin, ettei niiden toimintaa tarvitse sopeuttaa toimimaan yhdessä jo käytössä olevien, ehkä vanhojenkin järjestelmien kanssa.

Vaikka tällä hetkellä onkin vaikea erottaa kaikista digitalisaation mahdollisuuksista niitä, joiden käyttöönotto toisi hyötyjä oman energiayhtiön toimintaan, voi sellaisia olla jo tarjolla hyvinkin paljon. Suurten muutosten sijaan voi olla helpompi lähteä liikkeelle pienillä kokeiluilla jolloin taloudellinen riski sijoittaa hyödyttömään uudistukseen on pienempi. Kokeilemalla uusia ratkaisuja, voidaan erottaa lukuisista sovelluksista parhaat, joiden käyttöä voidaan myöhemmin laajentaa.

Mahdollisuuksien lisäksi digitalisaatio voi olla myös uhka perinteisille energiayhtiöille. Olemassa olevien toimijoiden rinnalle voi nousta kilpailijoiksi uusia digitaalisuuteen no-

jaavia palveluntarjoajia. Digitalisaatioon liittyvät kyberturvallisuus uhat lisääntyvät tietoliikenneyhteyksien ja määrän kasvaessa. Tiedon jakamiseen liittyy ongelmia, koska omaan toimintaan liittyviä tietoja ei haluta luovuttaa muille.

Viimeisenä ajatuksena haluan nostaa esille hyvän käyttäjäkokemuksen merkityksen. Suurin osa digitalisaation mahdollisuuksista ei toimi itsenäisesti, vaan on ihmisten käytössä tukemassa heidän työskentelyään. Ohjelmistojen ja laitteiden sujuva ja luonteva käyttö on edellytyksenä sille, että niistä saadaan paras mahdollinen hyöty. Pahimmillaan sekavat ja kömpelöt järjestelmät koetaan rasitteena, jolloin niiden käyttöä vältetään eikä tarkoitettuja hyötyjä saavuteta.

## LÄHTEET

- [1] Rohkeasti eteenpäin ennen kuin muut ehtivät ensin - Digitalisaation vaikutukset kaukolämpöalalla, Deloitte & Touche Oy, 2016.
- [2] Digital Transformation of Industries, World Economic Forum White Paper, 2016.
- [3] P. Salokoski, Tulevaisuuden energia 2030...2050, Tekes, 2017.
- [4] L. Kumpulainen et al, Roadmap 2025 - Sähkömarkkina- ja verkkovisio 2035 & Roadmap 2025, 2016, Saatavissa: [https://energia.fi/files/786/Roadmap\\_2025\\_loppuraportti.pdf](https://energia.fi/files/786/Roadmap_2025_loppuraportti.pdf)
- [5] The Future of Electricity -New Technologies Transforming the Grid Edge, World Economic Forum, 2017.
- [6] E. Kiiski Kataja, Megatrendit 2016 – Tulevaisuus tapahtuu nyt, Sitra, 2016.
- [7] M. Lehti, P. Rouvinen, P. Ylä-Anttila, Suuri hämmennys: Työ ja tuotanto digitaalisessa murroksessa, ETLA, 2012.
- [8] K. Schwab, The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond, Saatavissa: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- [9] Bittejä ja biomassaa - Tiekartta digitalisaation vauhdittamaan biotalouteen, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 2017.
- [10] V. Ilmarinen, K. Koskela, Digitalisaatio - yritysjohton käsikirja, Alma Talent, 2015.
- [11] B. Gottorp Jeppsen, Realizing the Fourth Industrial Revolution. Saatavissa: <https://mjolner.dk/2015/01/14/realizing-the-fourth-industrial-revolution/>
- [12] K. Panetta, Gartner's Top 10 Strategic Technology Trends for 2017, Saatavissa: <http://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartners-top-10-technology-trends-2017/>
- [13] Accenture Technology Vision 2017, Accenture, Saatavissa: [https://www.accenture.com/t20170530T164033Z\\_\\_w\\_\\_us-en/\\_acnmedia/Accenture/next-gen-4/tech-vision-2017/pdf/Accenture-TV17-Full.pdf](https://www.accenture.com/t20170530T164033Z__w__us-en/_acnmedia/Accenture/next-gen-4/tech-vision-2017/pdf/Accenture-TV17-Full.pdf)
- [14] Tech trends 2017 - The kinetic enterprise, Deloitte, Saatavissa: <https://www2.deloitte.com/ug/en/pages/technology/articles/tech-trends.html#report>
- [15] Top 10 emerging technologies of 2016, World Economic Forum, 2016.
- [16] Gartner Hype Cycle, Saatavissa: <https://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp>
- [17] J. Collin, A. Saarelainen. Teollinen internet, Alma Talent, 2016.

- [18] M. Annunziata, G. Bell, Powering the future - Leading the digital transformation of the power industry, GE, 2015.
- [19] K. Rousku, R. Linturi, C. Andersson, S. Stenfors, I. Lähteenmäki, T. Kärki, J. Limméll, Pilkahduksia tulevaisuuteen – digitalisaation ja robotisaation mahdollisuudet, Valtiovarainministeriö 2017.
- [20] Energiavuosi 2016 – Sähkö, Energiateollisuus ry, Saatavissa: [https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi\\_2016\\_-\\_sahko.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2016_-_sahko.html)
- [21] M. Kauniskangas, Hyvä tietää sähkömarkkinoista, Energiateollisuus ry ja Fingrid Oyj, 2013.
- [22] Energiavuosi 2016 – Kaukolämpö, Energiateollisuus ry, Saatavissa: [https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi\\_2016\\_-\\_kaukolampo.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2016_-_kaukolampo.html)
- [23] T. Joronen, J. Kovacs, Y. Majanne, Voimalaitosautomaatio, Suomen automaatioseura ry, 2007.
- [24] Syncade delivers ISA95 Level 3 standards-based functionality, Saatavissa: <http://www2.emersonprocess.com/en-IN/news/pr/Pages/902-syncade.aspx>
- [25] A. Kirves, Etäkäyttö mahdollistaa Vapon asiakkaille jopa miljoonaluokan säästöt, Polte, No 1, 2017, s. 22–28.
- [26] Teemahaastattelu, KvaliMOTV, Saatavissa: [http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L6\\_3\\_2.html](http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_2.html)
- [27] Suomen Automaatioseura ry:n materiaalipankki, Saatavissa: <https://www.automatioseura.fi/materiaalipankki/voimalaitos/>
- [28] S. Lahtinen, Digitalisoinnin mahdollisuudet voimalaitoksissa, Saatavissa: [https://www.automatioseura.fi/site/assets/files/1600/digitalisoinnin\\_mahdollisuudet\\_voimalaitoksissa.pdf](https://www.automatioseura.fi/site/assets/files/1600/digitalisoinnin_mahdollisuudet_voimalaitoksissa.pdf)
- [29] M. Olkkonen, Digitalisaation merkitys voimalaitoksen tehokkuuden kasvattamisessa ennen, nyt ja tulevaisuudessa, Saatavissa: [https://www.automatioseura.fi/site/assets/files/1600/digitalisaation\\_merkitys\\_voimalaitoksen\\_tehokkuuden\\_kasvattamisessa\\_ennen-\\_nyt\\_ja\\_tulevaisuudessa.pdf](https://www.automatioseura.fi/site/assets/files/1600/digitalisaation_merkitys_voimalaitoksen_tehokkuuden_kasvattamisessa_ennen-_nyt_ja_tulevaisuudessa.pdf)
- [30] M. Muilu, MP Intelligence: käytettävyyden valvonta IoT-ratkaisun avulla käytännössä, Saatavissa: [https://www.automatioseura.fi/site/assets/files/1600/mp\\_intelligence-\\_kaytettavyyden\\_valvonta\\_iot-ratkaisun\\_avulla\\_kaytannossa.pdf](https://www.automatioseura.fi/site/assets/files/1600/mp_intelligence-_kaytettavyyden_valvonta_iot-ratkaisun_avulla_kaytannossa.pdf)
- [31] Datahub, Fingrid Oyj, Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/palvelut/vahittaismarkkinoiden-tiedonvaihto/datahub/>



## LIITE A: VOIMALAITOSKESKUSTELUJEN AIHELISTA

### Käytön optimointi

- Mitä ongelmia ja tavoitteita laitoksen käyttöön liittyy?
- Miten päätetään laitokselle tilanteeseen sopiva käyntiteho? Vaikuttaako muiden laitosten käynti?
- Miten verkosta saadaan tietoa ja vaikuttaako se käyttöön?

### Valvomotyö

- Mitä ongelmia ja tavoitteita valvomotyöhön liittyy?
- Mitä uutta tietoa laitoksen tilasta voitaisiin hyödyntää?
- Onko mahdollisuutta etäkäyttöön?
- Miten valvomotyöskentelyä voitaisiin helpottaa tai tehostaa?

### Kunnossapito

- Mitä ongelmia ja tavoitteita kunnossapitoon liittyy?
- Miten laitteiden kuntoa ja huoltotarvetta seurataan, onko parannettavaa?
- Voidaanko huollon ennakointia parantaa?
- Voidaanko mahdollisia vikaantumisia havaita ennakkoon?
- Onko mahdollisilla kunnossapidon kumppaneilla sama reaaliaikainen tieto käytössään kun omalla väellä?

### Yleisesti

Mitä näkemyksiä voimalaitosten käytön ja kunnossapidon tulevaisuudesta on?

## LIITE B: ESIMERKKEJÄ DIGITALISAATIESTA ENERGIA-ALALLA

- Turvallisuuden web-pohjainen koulutus- ja tenttisysteemi ("etänä etukäteen valmiiksi") (Lahti-Energia)
- Kulunvalvontasysteemi (Lahti-Energia)
- Vierailijoiden sisäänkirjautumissysteemi (Tampereen Sähkölaitos)
- Hissien kunnon seurannan, analysoinnin ja huoltotoimenpiteiden kohdistamisen etäsysteemi (Kone Oy)
- IFS / tiedot kännykkään kunnossapitohenkilöille (HELEN)
- Helen, lämpölupauskampanja
- Laitosten kunnonvalvonnan etäseuranta- ja analysointisysteemit (Maintpartner, Caverion, Fortum)
- Pienten kopterien käyttö voimalaitosten kohteiden kuvaamisessa ja kunnon katsomisessa vaikeissa ja korkeissa paikoissa
- Virtuaalivalvomo suunnittelun apuna (Fortum, ydinvoima)
- Hyötysuhteen optimointityökalu (Fortum / Suomenoja)
- Voimalaitoksen kuvaus /"360-asteen videot" (Fortum / Imatra)
- Virtuaalikypärän hyödyntämistä (kenttätyöskentely, prosessiarvoja,,,,) (Fortum, ydinvoima)
- Apros-työkalu prosessien suunnittelussa ja optimoinnissa (Fortum).
- Sähköiset työmaapöytäkirjat (Fortum, Turbiinit ja generaattorit)
- Kaukolämpöverkon visualisointisysteemi (Fortum Suomenoja, Cyberlightning Oy).
- MP Intelligence: käytettävyyden valvonta IoT- ratkaisun avulla käytännössä (Maintpartner).
- Etäkäyttösystemi / miehittämättömät vesivoimalaitokset (yli 200 laitosta), (Fortum, Kemijoki)
- Etäkäyttösystemi / miehittämättömät lämpölaitokset (yli 100 laitosta ?), (Adven)
- Voimalaitosten kamerasysteemit etäkäytön apuna (Fortum, Kemijoki)
- Langaton instrumentointi (anturit lähettävät tietoa laitteiden kunnosta langattomasti)
- Energiateollisuus ry:n teettämä selvitys digitalisaatiosta kaukolämpöalueella.
- Tekes: Meneillään digitaalisuusalueeseen liittyviä projekteja: Digitaalisuusalueen johtaja Pekka Sivonen, [pekka.sivonen@tekes.fi](mailto:pekka.sivonen@tekes.fi):
  - a. "Data to Wisdom"
  - b. "Mantis EU&Tekes hanke", <http://www.mantis-project.eu/>
  - c. Hiljattain päättyneistä: Data to Intelligence: Digile, <http://www.datatointelligence.fi/>
- Trelab: ohjelmoitavat pienikokoiset mittalaitteet
- Valmet FuelDiet ja kaukolämpöverkon optimointisovellus
- Revisioprojektien päiväkirjasovellus, automaattinen raportti merkintöjen perusteella (Fortum)
- Batcave- sähköakkuprojekti: TOPI-sovellus Litium-ioni-akkujen käytöstä sähköverkon nopeaan säätöön (Fortum, Järvenpää)
- Voimalaitoskemiaan ja ympäristöön liittyviä uusia digitaalisia työkaluja:

- MP INtelligence – vesikemian ja päästövähennyslaitteiden (savukaasupäästöjen) toiminnan optimointi sekä prosessien poikkeavan käyttäytymisen havaitseminen (Maintpartner).
- \* Kemometrian hyödyntäminen käyttöhenkilöstölle abstraktien kemian prosessien havainnollistamisessa esimerkiksi dimensioiden vähentämiskeinoilla.
- \* Mittalaitteiden kunnan seuranta ja huoltojen ajoittaminen laitetoimittajan etävalvonnan perusteella.

## LIITE C: DIGITALISAATION MAHDOLLISUUDET VOIMALAITOKSISSA - SEMINAARIN OHJELMA

### TAMPERE 25.4.2017

---

9:00 – 9:30 Kahvitarjoilu

9:30 – 9:40 Tilaisuuden avaus. Johannes Lindell, Tampereen Sähkölaitos

---

9:40 – 10:10 Elina Kiiski Kataja, Sitra:  
Megatrendit - tulevaisuus tapahtuu nyt

10:10 – 10:40 Miko Olkkonen, Fortum:  
Digitalisaation merkitys voimalaitoksen tehokkuuden kasvattamisessa ennen, nyt ja tulevaisuudessa

10:40 – 11:10 Dimitri French, GE:  
What is digitalization and what does it mean for power plants  
The critical role of cyber security

11:10 – 11:40 Jussi Uddfolk, Siemens:  
Digitalisaatio voimalaitoksen elinkaaren tukena

---

11:40 – 12:40 LOUNAS

---

12:40 – 13:10 Arto Makkonen, Accenture:  
Voimaa digitalisuudesta – turvallisempi ja tehokkaampi voimalaitosten tulevaisuus

13:10 – 13:40 Markku Muilu, Maintpartner:  
MP Intelligence: käytettävyyden valvonta IoT-ratkaisun avulla käytännössä

13:40 – 14:15 KAHVITAUKO

14:15 – 14:45 Jaani Silvennoinen, Valmet:  
Voimalaitoksen polttoaineportfolion ja suorituskyvyn hallinta FuelDiet ratkaisun avulla

14:45 – 15:15 Sami Lahtinen, Empower:  
Digitalisoinnin mahdollisuudet voimalaitoksessa

---

15:15 – 15:30 Tilaisuuden yhteenveto. TUT Industry Professor Tero Joronen

15:30 – Kahvitarjoilu, aikaa keskusteluille

---