

Samuli Apell

**TEOLLISEN INTERNETIN HYÖDYNTÄMINEN
TEOLLISUUDESSA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2021

TIIVISTELMÄ

Apell, Samuli

Teollisen internetin hyödyntäminen teollisuudessa

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2021, 27 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja(t): Kyppö, Jorma

Esineiden internetiä pidetään lupaavana seuraavana kehitysaskelena Internetin kehityksessä, joka tarjoaa paljon uusia mahdollisuuksia lukuisissa eri käyttökohteissa. Teollisessa internetissä keskitytään esineiden internetin hyödyntämiseen teollisuuskäytössä, ja sen uskotaan parantavan muun muassa tuottavuutta, turvallisuutta ja taloudellisuutta teollisuuden yrityksissä. Tässä tutkielmassa käsitellään teollista internetiä ja sen hyödyntämiseen liittyviä sovelluksia, hyötyjä ja haasteita, ja lisäksi verrataan käsite-eroja teollisen internetin ja esineiden internetin välillä. Tutkimus on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, ja lähteinä on käytetty pääosin vertaisarvioituja tieteellisiä verkkojulkaisuja ja e-artikkeleita, joita on haettu JYKDOK- ja Google Scholar-tietokannoista. Tutkielman tuloksissa käsiteltiin teollisen internetin ja esineiden internetin välisiä näkemuseroja sekä esiteltiin teollisuussovelluksia, joissa teollista internetiä voidaan hyödyntää. Lisäksi tuloksissa esiteltiin teollisen internetin keskeisimpiä hyötyjä ja haasteita.

Asiasanat: esineiden internet, teollinen internet, sensori, RFID, kyberfyysiset järjestelmät, Industry 4.0

ABSTRACT

Apell, Samuli

Utilization of the Industrial Internet of Things in industries

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2021, 27 pp.

Information Systems Science, Bachelor's thesis

Supervisor(s): Kyppö, Jorma

The Internet of Things is seen as a promising next step in the development of the Internet, and it offers many new possibilities in a wide variety of applications. The Industrial Internet of Things focuses on using Internet of Things for industrial use and it is believed to improve productivity, security, and economy in industrial enterprises, for example. This thesis discusses the Industrial Internet of Things and the benefits, applications, and challenges associated with its utilization, and it also compares the conceptual differences between the Industrial Internet of Things and the Internet of Things. This thesis has been carried out as a literature review, and the sources used are mainly peer reviewed scientific online publications and e-articles, that are retrieved from the JYKDOK and Google Scholar databases. The results of this thesis dealt with the differences between the Industrial Internet of Things and Internet of Things and presented some industrial applications in which the Industrial Internet of Things can be utilized. In addition, the main benefits and challenges of the Industrial Internet of Things were presented.

Keywords: Internet of Things, Industrial Internet of Things, sensor, RFID, cyber-physical systems, Industry 4.0

KUVIOT

KUVIO 1 Teollinen internet kyberfyysisten järjestelmien näkökulmasta..... 14

TAULUKOT

TAULUKKO 1 Kuluttaja-IoT:n ja teollisen internetin vertailua 16

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
KUVIOT	4
TAULUKOT	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	7
2 ESINEIDEN INTERNET	9
2.1 Esineiden internet	9
2.2 Rakenne.....	10
2.3 Teknologiat	11
2.3.1 RFID ja NFC	11
2.3.2 Sensorit ja sensoriverkot.....	11
3 TEOLLINEN INTERNET	13
3.1 Keskeisiä käsitteitä.....	13
3.1.1 Kyberfyysiset järjestelmät (CPS)	14
3.1.2 Industry 4.0	15
3.2 Rakenne.....	15
3.3 Esineiden Internetiin verrattuna	16
4 TEOLLINEN INTERNET TEOLLISUUDESSA	18
4.1 Hyötyjä.....	18
4.1.1 Valvonta ja hallinta	18
4.1.2 Big datan hyödyntäminen.....	18
4.1.3 Kestävä kehitys.....	19
4.2 Sovelluksia	19
4.2.1 Tuotantoteollisuudessa	19
4.2.2 Maataloudessa	20
4.2.3 Terveystieteissä	20
4.2.4 Kaivosteollisuudessa	20
4.3 Haasteita.....	20
4.3.1 Energiatehokkuus	21
4.3.2 Tiedonhallinta	21
4.3.3 Rinnakkaiselo ja viestintä.....	21
4.3.4 Turvallisuus ja yksityisyys.....	22

5	YHTEENVETO	23
	LÄHTEET	25

1 JOHDANTO

Internet on viime vuosina muuttanut ihmisten elämää lukuisilla tavoilla, ja se on mahdollistanut vuorovaikutuksen ihmisten välillä virtuaalisella tasolla. Esineiden internetiä pidetään seuraavana ulottuvuutena tähän virtuaaliseen vuorovaikutukseen, sillä se mahdollistaa viestinnän älyobjektien ja kehittyneiden laitteiden avulla (Atzori, Iera & Morabito, 2010). Esineiden internet koostuu laitteista, jotka ovat yhdistettynä verkkoon ja voivat siten viestiä muiden laitteiden sekä ihmisten kanssa (Gubbi, Buyya, Marusic & Palaniswami, 2013). Tähän mennessä suurin osa viestinnästä Internetissä on suoritettu ihmisen toimesta, mutta esineiden internetin avulla viestintää voidaan laajentaa ihmisten väliseksi, laitteen ja ihmisen väliseksi tai laitteiden väliseksi (Tan & Wang, 2010). Esineiden internet tarjoaa jo tällä hetkellä lupaavia mahdollisuuksia ja sovelluksia useilla eri aloilla, ja sen dynaaminen luonne sekä visio kuulostavat monelle houkuttelevalta (Singh, Tripathi & Jara, 2014).

Esineiden internetin hyödyntämistä teollisuudessa kutsutaan teolliseksi internetiksi. Teollinen internet on teollisuudelle ajankohtainen ja merkittävä aihe, sillä sen tuomat mahdollisuudet ja muutokset pakottavat yrityksiä muuttamaan toimintatapojaan (Garrehy, 2015). Lisäksi aikaiset teollisen internetin käyttöönottoprosessit yrityksissä ovat osoittaneet, että niillä on potentiaalia parantaa teollisuusprosessien laatua ja mahdollistaa uusia liiketoimintamahdollisuuksia (Lydon, 2016).

Teollisella internetillä vaikuttaa siis olevan suuri vaikutus teollisuusalojen prosesseihin ja liiketoimintaan. Tästä huolimatta teollinen internet on suhteellisen vähän tutkittu käsite kirjallisuudessa, ja käsite-eroja teollisen internetin ja esineiden internetin välillä ei ole käsitelty kirjallisuudessa paljoa. Lisäksi teolliseen internetiin liittyy useita samankaltaisia käsitteitä, kuten kyberfyysiset järjestelmät ja Industry 4.0, eikä kyseisten käsitteiden suhdetta teolliseen internetiin tai esineiden internetiin ole tutkittu kovinkaan perinpohjaisesti. Näiden seikkojen vuoksi tässä tutkielmassa pyritään tuomaan selvyyttä teollisen internetin käsitteeseen ja vaikutuksiin eri teollisuusaloilla, sekä samalla vertailemaan teollisen internetiä esineiden internetiin.

Tämä tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, ja siten lähteinä on käytetty pääosin vertaisarvioituja tieteellisiä verkkojulkaisuja ja e-artikkeleita. Tiedonhakuun on käytetty JYKDOK- ja Google Scholar-tietokantoja. Tutkielmassa on pyritty käyttämään mahdollisimman uusia ja tuoreita lähteitä, jotta niiden tarjoama tieto olisi ajankohtaista. Tutkielmassa keskeisimmät käsitteet ovat esineiden internet ja teollinen internet, ja tiedonkeruussa keskeisimmät käsitteet olivat "Internet of Things", "IoT", "Industrial Internet of Things" ja "IIoT". Tutkielman tavoitteena on vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitä eroja esineiden internetin ja teollisen internetin välillä on?
- Missä muodossa teollisuuden internetiä hyödynnetään teollisuudessa?
- Millaisia hyötyjä ja haasteita teollisuuden internet pitää sisällään?

Tutkielman toisessa luvussa määritellään esineiden internetiä käsitteenä ja tutustutaan yleisesti sen rakenteeseen sekä keskeisimpiin teknologioihin. Kolmannessa luvussa käsitellään teollista internetiä, siihen liittyviä keskeisimpiä käsitteitä ja luvun lopussa verrataan teollisen internetin sekä esineiden internetin välisiä eroja. Neljännessä luvussa keskitytään käsittelemään teollisen internetin hyödyntämiseen liittyviä keskeisiä asioita, kuten teollisen internetin tarjoamia hyötyjä, sovelluksia ja mahdollisia haasteita teollisuudessa.

2 ESINEIDEN INTERNET

Tässä luvussa tullaan käsittelemään esineiden internetiä yleisestä näkökulmasta. Alkuun esitellään esineiden internetiä käsitteenä ja pyritään määrittelemään, mitä esineiden internet on. Sen jälkeen käsitellään esineiden internetin rakennetta ja arkkitehtuuria, ja lopuksi esitellään joitakin teknologioita, joita voidaan hyödyntää esineiden internetiä toteutettaessa.

2.1 Esineiden internet

Internet koskettaa nykyisin elämää ympäri maailman, ja Internetin kehityksestä puhuttaessa keskeiseksi käsitteeksi on noussut esineiden internet (Internet of Things, IoT). Esineiden Internetille on olemassa monenlaisia määritelmiä, ja sille on vaikeaa löytää täysin yksiselitteistä määritelmää. Sen pohjimmaisena innovaationa voidaan kuitenkin pitää sitä, että siinä pyritään yhdistämään fyysisiä ja digitaalisia komponentteja, jotta uusia tuotteita ja liiketoimintamalleja saataisiin luotua (Wortmann, Flüchter, 2015). Esineiden internetiä voidaan siis pitää tosielämää ja virtuaalista maailmaa yhdistävänä tekijänä (Huang, Li, 2010).

Esineiden internetin näkemystä on lähestytty kirjallisuudessa lukuisista eri näkökulmista. Atzorin ym., (2010) mukaan esineiden internetiä voi lähestyä kolmesta eri näkökulmasta. Ensimmäinen näkökulma keskittyy esineiden internetin tarkasteluun sen mahdollistavien laitteiden ja teknologioiden, kuten RFID:n ja sensorien näkökulmasta. (Atzori ym., 2010). Kyseiset laitteet täydentävät internetissä olevia kokonaisuuksia, kuten päätelaitteita ja reitittimiä (Kortuem, Kawsar, Fitton & Sundramoorthy, 2010).

Toisessa näkökulmassa esineiden internetiä tarkastellaan enemmän internetiin suuntautuneesta näkökulmasta. Siinä esineiden internetiä pidetään mahdollistavana arkkitehtuurina palvelujen ja sovellusten käyttöönottoa varten, joille tunnusomaisia piirteitä ovat esimerkiksi suuri tietokapasiteetti ja yhteentoimivuus. (Atzori ym., 2010.)

Kolmannessa näkökulmassa esineiden internetiä tarkastellaan semantiikan avulla. Siinä taustalla on ajatus siitä, että tulevaisuudessa internetiin liittyvien kohteiden määrä on hyvin suuri, ja sen vuoksi esineiden internetin tuottaman tiedon tallentamiseen, yhdistämiseen ja järjestämiseen liittyviä haasteita tulee esiintymään paljon, ja niiden ratkaisemisessa voidaan käyttää semanttisia teknologioita (Atzori ym., 2010). Toma, Simperl ja Hench (2009) määrittelevät neljä vaihetta, joiden avulla esineiden internetin mahdollisuuksia voidaan hyödyntää semantiikan avulla. Näitä vaihteita ovat IoT-objektien asianmukainen mallintaminen, IoT:n tuottaman datan päättely, IoT:n vaatimukset täyttävät semanttiset toteutusympäristöt ja skaalautuva tallennus- ja kommunikaatioinfrastruktuuri (Toma ym., 2009).

2.2 Rakenne

Esineiden Internetin rakennetta ja arkkitehtuuria on kuvailtu vaihtelevilla tavoilla, ja joissakin tapauksissa myös kerrosten nimeämisissä voi nähdä vaihtelua. Yksi käytetty tapa kuvailla Esineiden Internetin arkkitehtuuria on kuvailtu kolmitasoisena jaon mukaan, joka koostuu havainnointikerroksesta, verkkokerroksesta ja sovelluskerroksesta (Mahmoud, Yousuf, Aloul & Zualkernan, 2015). Tämä kolmitasoinen jako ei kuitenkaan välttämättä riitä kaikkiin sovelluksiin, ja esineiden internetin ominaisuuksia voidaan selittää myös viisitasoisen jaon mukaan (Wu, Lu, Ling, Sun & Du, 2010). Khan, Khan, Zaheer ja Khan (2012) esittävät tämän jaon seuraavalla tavalla:

- Havainnointikerros koostuu fyysisistä objekteista ja sensorilaitteista, joiden tehtävänä on identifioida ja kerätä niiden sisältämää informaatiota. Tämä informaatio sitten lähetetään eteenpäin verkkokerrokselle. (Khan ym., 2012.)
- Verkkokerroksen tarkoituksena on siirtää sensorilaitteiden tarjoama informaatio prosessointia varten eteenpäin. Tämä voidaan suorittaa joko kiinteästi tai langattomasti ja teknologiana voi olla 3G, Wifi, Bluetooth tai jokin muu teknologia riippuen laitteesta. (Khan ym., 2012.)
- Palvelukerros vastaanottaa informaation verkkokerrokselta ja säilöö sen tietokantaan. Palvelukerroksella suoritetaan informaation prosessointia ja kokonaisvaltaista laskentaa. (Khan ym., 2012.)
- Käyttökerros tarjoaa globaalisti tarvittavia palveluja käyttäjille alemman kerroksen tarjoaman informaation perusteella (Khan ym., 2012).
- Liiketoimintakerros on vastuussa koko IoT-järjestelmästä. Siinä voidaan laatia liiketoimintamalleja tai kaavioita käyttökerroksen tuottaman datan perusteella. Liiketoimintakerroksen tarjoaman analyysin perusteella voidaan päätellä tulevia liiketoimintastrategioita ja päätöksiä. (Khan ym., 2012.)

2.3 Teknologiat

Esineiden internetin toteuttamisessa ja mahdollistamisessa käytetään lukuisia teknologioita, joista merkittäviä ovat esimerkiksi RFID- ja NFC-teknologiat sekä sensoriverkot.

2.3.1 RFID ja NFC

RFID eli Radio frequency identification on teknologia, jota voidaan pitää yhtenä esineiden internetin keskeisimmistä mahdollistajista (Tan, Wang, 2010). RFID koostuu tunnistesta ja tunnisteen lukijasta, jossa tunniste voi olla jokin siru tai leima, josta pystytään tunnistamaan fyysisen objektin identiteetti. RFID-lukija lähettää tunnistelle kyselysignaalia ja vastaanottaa tietoa sisältävää signaalia tunnistelta (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari & Ayyash, 2015). Alun perin esineiden internetin konsepti keksittiin RFID:n ympärille, ja sen kyky identifioida ja jäljittää RFID-tunnisteita reaaliajassa on huomattu erittäin hyödylliseksi muun muassa valmistajien ja jakelijoiden keskuudessa (Li, Da Xu & Zhao, 2015).

Korkeimmalta tasolta tarkastellessa RFID-laitteet voidaan jakaa aktiivisiin ja passiivisiin luokkiin. Aktiivisiin luokkiin kuuluvat laitteet tarvitsevat jonkin energianlähteen, kuten integroidun akun (Want, 2006). Tämän vuoksi aktiivisten RFID-laitteiden tuotantokustannukset ovat korkeammat kuin passiivisten, mutta niiden kattavuus on parempi (Atzori ym., 2016). Passiivisiin luokkiin puolestaan kuuluvat laitteet, jotka eivät tarvitse virtalähdettä tai huoltotoimenpiteitä. Passiivisia RFID-laitteita yleensä pidetään kiinnostavampana vaihtoehtona kuin aktiivisia RFID-laitteita niiden pienemmän koon ja rajattoman käyttöikänsä vuoksi. (Want, 2006.) Tällä hetkellä RFID on yksi tärkeimpiä esineiden internetin mahdollistavia tekijöitä sen toimivuuden ja alhaisten kustannusten vuoksi (Atzori ym., 2016).

NFC eli Near Field Communication tunnetaan RFID-teknologiaan pohjautuvana uudempana teknologiana, jossa laitteet voivat kommunikoida keskenään lähikontaktissa (Whitmore, Agarwal & Xu, 2015). RFID-teknologian tapaan NFC-teknologiassa käytetään tunnistetta, joka voi olla joko vain luettavissa RFID:n tapaan tai uudelleenkirjoitettavissa (Coskun, Ozdenici & Ok, 2013).

2.3.2 Sensorit ja sensoriverkot

Sensorit ovat laitteita, jotka kykenevät mittaamaan ympäristöstä tai muista objekteista erilaisia ominaisuuksia. Sensoriverkot (Wireless Sensor Network, WSN) koostuvat tällaisista sensoreista, ja näistä sensoreista voidaan myös kerätä dataa hyödynnettäväksi (Whitmore ym., 2015; Gubbi ym., 2013). Esineiden internetissä objektien väliseen kommunikaatioon pääosin hyödynnetään sensoriverkkoja. Sensoriverkkoja puolestaan voidaan yhdistää suurempiin verkkoihin, kuten

Internetiin, jolloin objektien keräämää dataa voidaan hyödyntää laajemmin. Siten sensoriverkot voivat mahdollistaa esineiden internetin muodostamisen. (Tan, Koo, 2014.) Muihin teknologioihin verrattuna sensoriverkot tarjoavat etuja muun muassa skaalautuvuuden, luotettavuuden ja alhaisten kustannuksien suhteen (Lin ym., 2017). Tämän lisäksi sensoriverkkoja voidaan käyttää yhteistyössä RFID-teknologian kanssa ja siten tehostaa datan hyödyntämistä (Atzori ym., 2010).

3 TEOLLINEN INTERNET

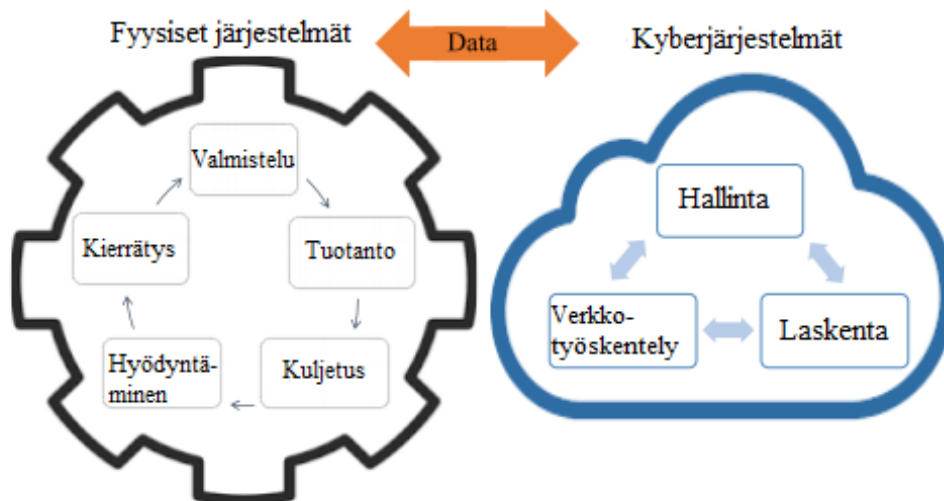
Tässä luvussa tullaan käsittelemään teollista internetiä ja siihen liittyviä asioita. Aluksi pyritään määrittelemään teollisen internetin käsitettä ja muita tärkeitä käsitteitä teolliseen internetiin liittyviä käsitteitä, kuten kyberfyysisiä järjestelmiä ja Industry 4.0:aa. Sen jälkeen tutkitaan, miten esineiden internetin rakennetta ja arkkitehtuuria käsitellään teollisen internetin näkökulmasta, ja lopuksi käsitellään esineiden internetin ja teollisen internetin välisiä näkemys- ja käsitte-eroja.

3.1 Keskeisiä käsitteitä

Kun esineiden internet on alkanut yleistyä, sen tarjoamia mahdollisuuksia ja etuja on alettu soveltamaan lukuisiin eri kohteisiin. Yksi näistä lupaavista koh-teista on teollisuus, ja esineiden internetin tarjoamat mahdollisuudet teollisuus-käytössä voivat tuoda lupaavia muutoksia (Garrehy, 2015). Esineiden internetin tapaan teolliselle internetille on esitetty useita määritelmiä. Pohjamääritelmänä teolliselle internetille (Industrial Internet of Things, IIOT) voidaan kuitenkin pitää yleistä esineiden internetin teknologioiden hyödyntämistä teollisessa ympäristössä, teollisten päämäärien saavuttamista varten (Boyes, Hallaq, Cunningham & Watson, 2018). Teollista internetiä voidaan pitää yhtenä esineiden internetin osajoukkona, ja se mahdollistaa paremman ymmärryksen tuotanto-prosesseista ja siten mahdollistaa tehokkaan ja kestävä tuotannon (Sisinni, Saifullah, Han, Jennehag & Gidlund ym., 2018). Teollisen internetin yhteydessä usein ilmaantuvia käsitteitä ovat CPS eli kyberfyysiset järjestelmät ja Industry 4.0.

3.1.1 Kyberfyysiset järjestelmät (CPS)

Usean aiemman tässä tutkielmassa esitellyn käsitteen tapaan kyberfyysisille järjestelmille ei ole olemassa täysin yksimielisesti hyväksyttyä määritelmää. Kyberfyysiset järjestelmät voidaan kuitenkin määritellä järjestelminä, joita käytetään fyysisen maailman toimintojen valvontaan ja kontrollointiin (Humayed, Lin, Li & Luo, 2017). Kuviossa 1 Xu ym. (2018) esittelevät teollista internetiä kyberfyysisen järjestelmien näkökulmasta. Teolliseen internetiin kuuluva kyberfyysinen järjestelmä koostuu tyypillisesti kahdesta avainkomponentista, jotka voidaan jakaa kyberjärjestelmiin ja fyysisiin järjestelmiin (Xu, Yu, Griffith & Golmie, 2018). Fyysisissä järjestelmissä usein seurataan tuotannon elinkaarta, johon kuuluvat muun muassa valmistelu, tuotanto ja kuljetus. Jokainen elinkaaren vaiheista tuottaa paljon uutta dataa. Kyberjärjestelmien hallinta-, laskenta- ja verkkotyöskentelyjärjestelmät käyttävät tätä dataa komponenttien ja järjestelmien integrointiin, valvontaan ja hallintatehtäviin, jotta fyysiset järjestelmät toimivat tehokkaasti. (Xu ym., 2018.)



KUVIO 1 Teollinen internet kyberfyysisen järjestelmien näkökulmasta

Kyberfyysiset järjestelmät eroavat perinteisemmistä IT- tai ICT-järjestelmistä siten, että kyberfyysisissä järjestelmissä vuorovaikutus on reaaliaikaisempaa. Tämä on mahdollista kyberfyysisissä järjestelmissä hyödynnettyjen sensorien myötä, joiden avulla järjestelmät saavat lisätietoa (Boyes ym., 2018). Kyberfyysiset järjestelmät ovat merkityksellisiä teollisessa internetissä, sillä teolliseen internetiin kuuluu suuresti sen riippuvuus teollisessa kontekstissa järjestelmiin ja objekteihin, joita voidaan kutsua kyberfyysisiksi järjestelmiksi (Ganschar, Gerlach, Hämmerle, Krause & Schlund, 2013).

3.1.2 Industry 4.0

Industry 4.0 voidaan määritellä neljäntenä teollisena vallankumouksena, ja sillä tarkoitetaan yleisesti Internet-teknologioiden hyödyntämistä tehokkuuden parantamiseksi älypalveluiden ja älytehtaiden avulla (Sisinni ym., 2018). Tälle neljännelle vallankumoukselle tyypillistä on se, että siinä keskeisessä osassa ovat kyberfyysiset järjestelmät ja niiden kyky kommunikoida keskenään, jotta ne voisivat tehdä itsenäisiä päätöksiä ja siten parantaa teollista tehokkuutta ja tuotavuutta (Boyes ym., 2018). Yleensä termi kirjoitetaan varsinkin englanninkielisissä artikkeleissa muodossa Industry 4.0. Joissakin artikkeleissa voidaan kuitenkin nähdä, että termi kirjoitetaan saksankielisessä muodossa "Industrie 4.0", sillä termi keksittiin ensimmäisenä Saksassa (Siemens, 2014). Esineiden internetin tarjoamia mahdollisuuksia ja kyberfyysisiä järjestelmiä voidaan pitää yhtenä Industry 4.0:n avainkomponenteista (Hermann, Pentek & Otto, 2016), ja sen vuoksi nämä kolme käsitettä yleensä liittyvät toisiinsa teollista internetiä käsittelevissä artikkeleissa.

3.2 Rakenne

Kuten aiemmin jo mainittiin, esineiden internetin rakenteen ja arkkitehtuurin kuvaamiseen ei ole yhtä ainoaa vakiintunutta määritelmää, ja yleisimpiä tapoja kuvailla rakennetta on joko kolmi- tai viisitasomallin avulla. Esineiden internetin rakennetta kuvaillaessa teollisen internetin näkökulmasta vaikuttaa siltä, että yleisimmin käytetty tapa kuvailla rakennetta on kolmitasomallin tapainen rakenne. Esimerkiksi Xu ym. (2018) esittelevät kolmitasomallin jakautuvan havainnointikerrokseen, verkkokerrokseen ja käyttökerrokseen. Havainnointikerroksella fyysiset laitteet koostuvat muun muassa sensoreista, tuotantovälineistä ja muista tuotantoon sekä automaatioon liittyvistä objekteista, ja käyttökerros koostuu lukuisista tuotantoon liittyvistä sovelluksista ja ratkaisuksista, kuten älytehtaista ja älykkäistä toimitusketjuista. Verkkokerroksella havainnointikerroksen fyysisten laitteiden keräämä data siirretään käyttökerroksen hyödynnettäväksi. (Xu ym., 2018.)

Yleisesti tarkasteltuna teollisen internetin rakenteen kuvaamiseen ei siis löydy yhtä yleisesti hyväksyttyä mallia, mikä voi johtua siitä, että kaikkia tarkasteltavia teollisen internetin ominaisuuksia on vaikeaa ottaa huomioon mallia kehiteltäessä. Esimerkiksi Sisinni ym. (2018) mukaan teollisen internetin rakenteen täytyisi korostaa heterogeenisten, eri tekniikoita käyttävien laitteiden laajennettavuutta, skaalautuvuutta, modulaarisuutta ja yhteentoimivuutta. Tällaisten ominaisuuksien sisällyttäminen yhteen kokonaisvaltaiseen malliin voi olla vaikeaa, ja sen vuoksi teollisen internetin rakenteen kuvaamiseen löytyy kirjallisuudesta lukuisia, eri ominaisuuksiin keskittyviä malleja.

3.3 Esineiden Internetiin verrattuna

Esineiden internet ja teollinen internet vaikuttavat hyvin samantyyppisiltä ja joskus samaa asiaa tarkoittavilta käsitteiltä, mutta kyseisten käsitteiden väliltä voidaan löytää joitakin näkemuseroja. Usein esineiden internetillä sellaisenaan tarkoitetaan kuluttajan esineiden internetiä, jossa esineiden internetiä pyritään soveltamaan yhdessä, jotta ihmisen elämää ja toimintaa voidaan tehostaa ja parantaa (Sisinni ym., 2018). Seuraavassa taulukossa (Taulukko 1) Sisinni ym. (2018) esittävät esineiden internetin eli kuluttaja-IoT:n ja teollisen internetin välisiä eroja.

TAULUKKO 1 Kuluttaja-IoT verrattuna teolliseen internetiin

	Kuluttaja-IoT	Teollinen IoT
Vaikutus	”Vallankumous”	Evoluutio
Palvelumalli	Ihmiskeskeinen	Laiteorientoitu
Nykyinen tila	Uusia laitteita ja standardeja	Olemassa olevia laitteita ja standardeja
Yhdistettävyys	Infrastruktuuria ei suvaita, solmut voivat olla mobiileja	Strukturoitu (kiinteitä solmuja, keskitetty verkonhallinta)
Kriittisyys	Ei tarkkaa (pois lukien lääketieteelliset sovellukset)	Tehtäväkriittistä (ajoitus, luotettavuus, turvallisuus, yksityisyys)
Datan volyyymi	Keskiverto- tai korkea	Korkea tai hyvin korkea

Suurin osa yleisistä kommunikaatiovaatimuksista esineiden internetin ja teollisen internetin välillä on samanlaisia, mutta tässäkin on näkemuseroja. Esinei-

den internetissä keskitytään enemmän uusiin kommunikaatiostandardeihin, jotta yhä uusia laitteita saataisiin yhdistettyä Internetiin (Sisinni ym., 2018), ja teollisessa internetissä puolestaan pyritään yhdistämään aiemmin itsenäisesti toimivia tehtaita ja koneita, jotta toimintaa saataisiin tehostettua (Da Xu, He, Li, 2014). Tämän vuoksi teollisen internetin vaikutusta voidaan kutsua enemmänkin evoluutioksi kuin vallankumoukseksi (Sisinni ym., 2018). Kyseisestä johtopäätöksestä voidaan kuitenkin nähdä näkemyseroja, sillä Garrehyn (2015) artikkelissa esineiden internetin hyödyntämistä teollisuudessa kutsutaan osaksi esineiden internetin mahdollistamaa uutta vallankumousta.

Yhdistettävyyden ja kriittisyyden suhteen esineiden internetin ja teollisen internetin erot perustuvat yleisesti siihen, että esineiden internetiä pidetään joustavampana teknologiana, jossa ei ole tiukkaa aikataulutusta tai tiukkoja luotettavuusvaatimuksia, toisin kuin teollisessa internetissä (Sisinni ym., 2018). Datan volyyymi riippuu esineiden internetissä suuresti siitä, mihin sitä sovelletaan. Teollinen internet keskittyy datan hyödyntämiseen esimerkiksi ennaltaehkäisevässä laitteiden huoltotoiminnassa ja tehokkaammassa logistiikassa, minkä vuoksi liikkuvan datan volyyymi on yleensä teollisessa internetissä suurempi (Sisinni ym., 2018).

Artikkeleita ja muuta kirjallisuutta tarkastellessa voidaan nähdä eroja siinä, miten teollisen internetin ja esineiden internetin käsitteitä käytetään. Joissakin artikkeleissa teollista internetiä pidetään erillisenä, esineiden internetistä eroavana käsitteenä, mutta vastaavasti joissakin artikkeleissa teollista internetiä kutsutaan yksinkertaisesti esineiden internetin hyödyntämiseksi teollisuuden alalla. Tämä voi johtua siitä, että teollinen internet ei käsitteenä ole vielä täysin yleisessä tietoisuudessa, eikä esineiden internetin ja teollisen internetin eroista löydy täyttä selvyyttä.

4 TEOLLINEN INTERNET TEOLLISUUDESSA

Tässä luvussa käsitellään teollisen internetin hyödyntämiseen liittyviä asioita teollisuudessa. Aluksi käydään läpi teollisen internetin tarjoamia ominaisuuksia, joiden avulla teollisesta internetistä voidaan hyötyä teollisuudessa. Sen jälkeen käsitellään erilaisia esimerkkejä teollisuuden sovelluksista, joissa teollista internetiä hyödynnetään, ja lopuksi käsitellään teollisen internetin hyödyntämiseen liittyviä haasteita.

4.1 Hyötyjä

Teollinen internet tarjoaa teollisuuden yrityksille monenlaisia uusia työkaluja ja mahdollisuuksia, joiden avulla teollisuustoimintaa voidaan tehostaa. Kirjallisuudessa usein ilmaantuvia teollisen internetin hyötyjä ovat kehittyneet valvonta- ja hallintalaitteet, big datan kerääminen ja hyödyntäminen sekä kestävä kehityksen tehostaminen teollisen internetin laitteiden avulla.

4.1.1 Valvonta ja hallinta

Teollisuudessa valvontaan ja hallintaan liittyvät järjestelmät keräävät tietoa esimerkiksi laitteiden suorituskykyyn, energiakulutukseen ja ympäristöolosuhteisiin liittyen. Teollisen internetin tarjoamalla pitkälle kehittyneillä valvonta- ja hallintateknologioilla, kuten älykkäällä sähköverkolla ja älymittareilla, voidaan tunnistaa mahdollisia parannuksia tai ongelmia, jotta kustannuksia saadaan laskettua ja tuottavuutta parannettua. (Lee & Lee, 2015.)

4.1.2 Big datan hyödyntäminen

Big data on käsite, joka tarkoittaa hyvin suurien tietomäärien keräämistä ja analysointia, jotta sen perusteella voidaan saada oivalluksia ja siten tehdä parempia päätöksiä (Freedman, 2017). Teollisen internetin sensoreita sisältävät laitteet ja

koneet kykenevät keräämään erittäin suuria määriä tietoa ja välittämään sitä eteenpäin analyysityökaluille, jotta ihmiset voivat tehdä sen perusteella päätöksiä ja parannuksia (Lee & Lee, 2015). Joissakin tapauksissa näitä parannuksia voidaan toteuttaa välittömästi hyödyntämällä teollisen internetin kykyä hallita tuotantovarojen toimintaa (Freedman, 2017).

4.1.3 Kestävä kehitys

Teollinen internetin tarjoamat teknologiat vaikuttavat mahdollistavan lupaavia ratkaisuja ja hyötyjä ympäristöön ja kestäväan kehitykseen liittyen. Teollisuudella on suuri merkitys kestäväan kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa, ja sen vuoksi teollisuuden muuttuminen teolliseksi internetiksi on mielenkiintoinen aihe kestäväan kehityksen näkökulmasta (Beier, Niehoff & Xue, 2018). Kestäväan kehityksen kontekstissa kolme lupaavaa teollisen internetin ominaisuutta ovat resurssitehokkuus, kestävä energia ja avoimuus (Niehoff, Beier, 2018). Teollinen tarjoaa parempaa prosessien avoimuutta ja joustavuutta yrityksissä, mikä puolestaan luo uusia mahdollisuuksia tukea kestäväa kehitystä teollisuuden yrityksissä (Beier ym., 2018).

4.2 Sovelluksia

Teollisen internetin tarjoamia hyötyjä ja mahdollisuuksia voidaan hyödyntää lukuisilla teollisuuden aloilla nykyhetkellä sekä tulevaisuudessa. Esimerkkejä teollista internetiä hyödyntävistä aloista ovat tuotantoteollisuus, maatalous, terveydenhuolto ja kaivosteollisuus.

4.2.1 Tuotantoteollisuudessa

Teollinen internet vaikuttaa olevan tuotantoteollisuudelle lupaava teknologia, jonka ominaisuudet voivat tehostaa tuotantoa monella eri tavalla. Pääsyyinä teollisen internetin omaksumiseen muun muassa tuotannon valmistajien keskuudessa on se, että teollisen internetin avulla voidaan parantaa tuottavuutta ja tehokkuutta älykkään ja etähallinnan keinoin (Sisinni ym., 2018). Teollista internetiä hyödyntävä älykäs tuotantoyksikkö voi koostua suuresta yhdistetystä teollisuusjärjestelmästä, joka koostuu materiaaleista, osista, koneista, työkaluista, varastoista ja logistiikasta, jotka voivat välittää tietoja ja kommunikoida keskenään (Sadiku, Wang, Cui & Musa, 2017). Lisäksi teollisen internetin lähestymistavat voivat keskittyä myös asiakastietoihin ja niiden keräämiseen lukuisista lähteistä, joiden avulla tuottajat pystyvät muun muassa vastaamaan asiakkailleen nopeammin kuin ennen (Jaidka, Sharma & Singh, 2020).

4.2.2 Maataloudessa

Teollisen internetin keräämää tietoa voidaan hyödyntää lukuisilla tavoilla myös maataloudessa. Tästä esimerkkinä voi olla viljely, jossa teollisen internetin avulla voidaan parantaa viljelytekniikoita, vähentää jätettä ja tehostaa viljelykasvien hoitoon vaadittavia toimenpiteitä (Jaidka ym., 2020). Lisäksi teollisen internetin mahdollistama täsmäviljely voi auttaa maanviljelijöitä mittaamaan muun muassa maaperän ravinteita, lannoitteita, siemeniä ja lämpötiloja anturien tiheiden käyttöönnoton avulla, jolloin tuottavuus on lähes kaksinkertaistunut (Sisinni ym., 2018).

4.2.3 Terveysthuollossa

Teollisella internetillä on huomattu olevan tärkeitä käyttökohteita terveydenhuollon alalla. Yhtenä esimerkkinä tästä toimivat sairaalat, joissa väärin hälytysten, hitaiden vastausten ja virheellisen tiedon aiheuttamat joko inhimilliset tai tekniset virheet ovat edelleen tärkein syy ehkäistävissä olevaan kuolemaan ja potilaan kärsimykseen. Teollisen internetin teknologioita hyödyntävien laitteiden avulla sairaaloissa voidaan parantaa potilaiden turvallisuutta ja vähentää sekä inhimillisiä että teknisiä virheitä, sekä samalla käyttää sairaalan resursseja tehokkaammin. (Sisinni ym., 2018.)

4.2.4 Kaivosteollisuudessa

Kuten hieman jo aiemmin mainittiin, teollisen internetin omaksuminen teollisuudessa voi mahdollistaa lukuisia merkittäviä tehokkuuteen ja turvallisuuteen liittyviä parannuksia. Yhtenä esimerkkinä voidaan pitää teollisen internetin hyödyntämistä kaivosteollisuudessa, jossa kaivoksien ankarissa työoloissa työskentely on merkittävästi turvallisempaa, taloudellisempaa ja tuottavampaa teollisen internetin tarjoamien automaattioratkaisujen avulla (Sisinni ym., 2018). Lisäksi teollisen internetin teknologioiden käyttöönotto voi olla kaivoksissa melko vaivatonta, sillä Zhoun, Damianon, Whisnerin ja Reyesin (2017) mukaan suuri osa maanalaisiin kaivoksiin asennetuista sensoreista ja viestintäjärjestelmistä voidaan integroida teollisen internetin järjestelmiin helposti joko ilman muutoksia tai pienillä muokkauksilla.

4.3 Haasteita

Vaikka teollinen internet vaikuttaa tarjoavan lukuisia lupaavia työkaluja teollisuusprosesseihin, sen omaksumiseen liittyy kuitenkin myös joitakin haasteita, jotka on otettava huomioon (Sisinni ym., 2018). Teollisen internetin haasteet vaikuttavat johtuvan yleensä teollisen internetin lisääntyneestä energia- ja tieto-

tarpeesta, erilaisten laitteiden yhteistoiminnasta ja tietoturvaan sekä yksityisyyteen liittyvistä haasteista.

4.3.1 Energiatehokkuus

Suureen osaan teollisen internetin sovelluksista tarvitaan laitteita, joiden täytyy toimia vuosia siten, ettei niiden eliniän aikana ole tarvetta vaihtaa paristoja tai akkuja (Sisinni ym., 2018). Tämän vuoksi teollisessa internetissä on tärkeää löytää sellaisia laiteratkaisuja, jotka ovat mahdollisimman energiatehokkaita. Energiatehokkaita ratkaisuja on kehitetty lukuisia, mutta viime aikoina lupaavat ratkaisut ovat keskittyneet energian uudelleen keräämiseen ympäristöstä muun muassa lämpö-, aurinko-, värinä- ja radiotaajuusenergiaa hyödyntämällä. Erityisesti radiotaajuusenergian hyödyntäminen on lupaava vaihtoehto sen langattomuuden, helposti saatavilla olevan energian, alhaisten kustannusten ja laitteiden pienen koon vuoksi. (Sisinni ym., 2018.)

4.3.2 Tiedonhallinta

Käsiteltävän tiedon määrä tulee kasvamaan teollisen internetin myötä suuresti. Tämä johtuu teollisiin laitteisiin integroiduista sensoreista ja toimilaitteista, jotka tuottavat yhä suurempia määriä tietovirtoja suurella nopeudella (Khan ym., 2020). Tiedonhallinnassa haasteet liittyvät pääosin tiedon käsittelyyn, siirtoon, saatavuuteen ja varastointiin, ja teollisen internetin tiedonhallintamallien on pystyttävä vastaamaan näihin haasteisiin tehokkaasti (Khan ym., 2020). Tietovarastoja on hajautettava prosessien tehokkuuden ja vasteajan parantamiseksi, jotta ne pystyvät vastaamaan yhä enemmän kaistanleveyttä kuluttavien laitteiden vaatimuksiin (Lee & Lee, 2015).

4.3.3 Rinnakkaiselo ja viestintä

Viestintä on teollisessa internetissä pakollinen ominaisuus, jotta tietoa pystytään siirtämään eri laitteiden välillä (Khan ym., 2020). Teollisen internetin yleistyessä siihen tullaan liittämään lukuisia rinnakkaisia laitteita ja yhteyksiä, jolloin rinnakkaiseloon ja yhteentoimivuuteen liittyviä haasteita voi esiintyä (Sisinni ym., 2018). Teollisen internetin tietoliikenteen on pystyttävä käsittelemään suuria määriä heterogeenisiä laitteita ja tarjota niille riittävästi kaistanleveyttä, jotta tiedonsiirto onnistuu mahdollisimman alhaisella viiveellä (Khan ym., 2020). Lisäksi suurena rinnakkaiseloon liittyvänä haasteena voidaan pitää teollisessa internetissä olevia lukuisia eri viestintäteknologioita ja protokollia, sillä yksittäinen teknologia tai protokolla ei itsessään kykene tarjoamaan kaikkia teolliselle internetille vaadittavia ominaisuuksia ja vahvuuksia. (Khan ym., 2020.)

4.3.4 Turvallisuus ja yksityisyys

Turvallisuus vaikuttaa olevan merkittävä haaste sekä esineiden internetille että teolliselle internetille. Osa teollisen internetin turvallisuuteen liittyvistä haasteista periytyy esineiden internetiltä, mutta teollisen internetin ja esineiden internetin välisten erojen vuoksi teollisen internetin turvallisuushaasteet keskittyvät enemmän kriittisten teollisuusjärjestelmien suojaamiseen (Yu & Guo, 2019). Turvallisuushaasteet johtuvat tyypillisesti teollisen internetin laiteliikenteen salauksen puutteesta, turvattomista käyttöliittymistä, puutteellisesta ohjelmistosuojauksesta tai riittämättömästä valtuutuksesta. Tällaiset haavoittuvuudet turvallisuudessa vaikeuttavat teollisen internetin käyttöönottoa yrityksissä, sillä IIoT-laitteiden keräämä tieto voi olla arkaluontoista (Lee & Lee, 2015). Lisäksi jopa pienenä tai tavallisena pidettävä turvallisuusuhka voi pahimmillaan hajottaa koko teollista internetiä hyödyntävän yrityksen (Jaidka ym., 2020).

Yksityisyyteen liittyvät päähaasteita teollisessa internetissä ovat tiedonkeruuprosessi ja tiedon anonymisointi. Tiedonkeruuprosessi teollisessa internetissä käsittelee tyypillisesti älyobjekteista kerättäviä tietoja ja niiden pääsyn hallintaa, ja anonymisointi on puolestaan prosessi, jolla pyritään varmistamaan tietojen nimettömyys sekä salauksen suojauksen että tietosuhteiden salaamisen avulla. Tiedonkeruuseen liittyvää yksityisyyttä voidaan varmistaa tietojen keräämistä ja tallentamista koskevilla rajoituksilla. Tiedon anonymisoinnissa haasteena ovat erilaiset tiedon salausmenetelmät, jotka saattavat vaikeuttaa yksityisyyden säilyttämistä. Lisäksi kerätyt tiedot täytyy jakaa teollisessa internetissä IIoT-laitteiden kesken, mikä voi aiheuttaa lisähaasteita. (Sisinni ym., 2018.)

5 YHTEENVETO

Tässä tutkielmassa käsiteltiin esineiden internetiä ja teollista internetiä käsitteinä sekä niiden välisiä eroja näkökulmien suhteen, ja sen jälkeen tarkasteltiin teollisen internetin hyödyntämiseen liittyviä ominaisuuksia, hyötyjä ja haasteita teollisuuskontekstissa. Tutkielmassa käsiteltiin seuraavia kysymyksiä:

- Mitä eroja esineiden internetin ja teollisen internetin välillä on?
- Missä muodossa teollisuuden internetiä hyödynnetään teollisuudessa?
- Millaisia hyötyjä ja haasteita teollisuuden internet pitää sisällään?

Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, ja lähteinä käytettiin vertaisarvioituja tieteellisiä verkkojulkaisuja ja e-artikkeleita. Tutkielmassa käytettiin lähteitä, jotka olivat mahdollisimman tuoreita, jotta ne tarjoaisivat viimeaikaisinta ja ajankohtaisinta tietoa. Tutkielma koostuu johdannosta, kolmesta sisältöluvusta ja yhteenvedosta.

Toisessa luvussa käsiteltiin esineiden internetin käsitettä, sen tyypillisiä rakenteita ja esineiden internetissä yleisesti käytettäviä teknologioita. Esineiden internetille käsitteenä ei löydy kaiken kattavaa määritelmää, mutta sitä on lähestytty kirjallisuudessa lukuisista eri näkökulmista. Esineiden internetiä voidaan pohjimmiltaan kuitenkin pitää teknologiana, jossa pyritään yhdistelemään fyysisiä ja digitaalisia komponentteja, josta saadaan erilaisia hyötyjä ja ratkaisuja ongelmiin. Esineiden internetissä keskeisessä asemassa ovat siinä hyödynnettävät RFID- ja NFC-teknologiat, erilaiset sensorit ja sensoriverkot.

Kolmannessa luvussa esiteltiin teollinen internet ja siihen liittyvät keskeiset käsitteet sekä rakenteet. Lopuksi luvussa vertailtiin teollista internetiä esineiden internetiin ja samalla pyrittiin vastaamaan tutkielman ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Teollisessa internetissä pyritään hyödyntämään esineiden internetiä teollisessa ympäristössä ja teollisten päämäärien saavuttamista varten. Teollinen internet eroaa esineiden internetistä muun muassa palvelumallin, yhdistettävyyden, kriittisyyden ja tiedon määrän suhteen, mutta yleisesti teollisessa internetissä keskitytään enemmän teollisiin päämääriin, ja esineiden internetissä keskitytään puolestaan enemmän kuluttajien ja ihmisten elä-

mään liittyvien asioiden parantamiseen. Teollisen internetin ja esineiden internetin välinen ero on kuitenkin vielä kirjallisuudessa hieman häilyvä, ja teollisen internetin käyttö käsitteenä ei ole kirjallisuudessa täysin vakiintunut.

Tutkielman neljännessä luvussa käsiteltiin teollisen internetin hyödyntämiseen liittyviä asioita teollisuuskontekstissa. Kyseisessä luvussa pyrittiin vastaamaan tutkimuksen kahteen viimeiseen tutkimuskysymykseen, jotka liittyvät teollisen internetin hyödyntämiseen, hyötyihin ja haasteisiin. Teollinen internet voi tarjota teollisuuden yrityksille merkittäviä hyötyjä, ja tästä esimerkkinä ovat pitkälle kehittyneet valvonta- ja hallintateknologiat, big datan analysointi ja hyödyntäminen sekä kestävään kehitykseen liittyvät ominaisuudet. Hyötyjen ohella teollinen internet pitää sisällään myös haasteita, jotka on pidettävä mielessä, jotta teollista internetiä voidaan hyödyntää tehokkaasti. Kyseiset haasteet liittyvät pääosin energiatehokkuuteen, tiedonhallintaan, rinnakkaiseloon, turvallisuuteen ja yksityisyyteen. Teollista internetiä voidaan soveltaa lukuisilla eri teollisuuden aloilla, josta esimerkkinä ovat sovellukset muun muassa tuotanto-teollisuuden, maatalouden, terveydenhuollon ja kaivosteollisuuden aloilla. Teollisen internetin käyttöönotto on parantanut kyseisillä aloilla teollisuusprosessien tehokkuutta, taloudellisuutta ja turvallisuutta runsaasti jo tälläkin hetkellä, ja teollista internetiä voidaan myös todennäköisesti hyödyntää lähes kaikilla teollisuuden aloilla tulevaisuudessa.

Tässä tutkielmassa keskeistä oli tutkia esineiden internetin ja teollisen internetin käsitteitä yleisesti ja niiden välisiä eroja, ja lopuksi tutkielmassa keskeisesti käsiteltiin teollisen internetin hyödyntämiseen liittyviä hyödyntämiskeinoja, sovelluksia eri teollisuusaloilla ja mahdollisia haasteita. Tutkielman mahdollisena rajoitteena on melko vähäinen lähdekirjallisuuden määrä teollisen internetin suhteen, sillä vaikka esineiden internetiä ja sen hyödyntämistä on käsitelty lähdekirjallisuudessa paljon, teollinen internet vaikuttaa olevan käsitteenä melko vähän käytetty tällä hetkellä. Tämän lisäksi teollisen internetin ja esineiden internetin välinen ero on hieman häilyvä tämänhetkisessä lähdekirjallisuudessa, ja joissakin artikkeleissa IoT-laitteiden teollisuussovellukset määriteltiin osaksi esineiden internetiä, eikä teollista internetiä. Näiden rajoitteiden vuoksi hyödyllisiä jatkotutkimusaiheita voisivat olla esineiden internetin ja teollisen internetin välisten erojen tarkempi määrittely ja yleisesti teollisen internetin hyödyntämiseen liittyvien asioiden perusteellinen tutkiminen. Siten teollisesta internetistä saataisiin selkeämpi käsitys tiedeyhteisöissä ja sen hyödyntäminen olisi tehokkaampaa teollisuusaloilla.

LÄHTEET

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M. & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. doi:10.1109/COMST.2015.2444095
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787–2805.
- Beier, G., Niehoff, S., & Xue, B. (2018). More sustainability in industry through industrial internet of things?. *Applied sciences*, 8(2), 219.
- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J. & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in industry*, 101(C), 1–12. doi:10.1016/j.compind.2018.04.015
- Coskun, V., Ozdenizci, B. & Ok, K. (2013). A Survey on Near Field Communication (NFC) Technology. *Wireless Personal Communications*, 71(3), 2259–2294. doi:10.1007/s11277-012-0935-5
- Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on industrial informatics*, 10(4), 2233–2243.
- Freedman, B. (2017). The Opportunities and Challenges of the Industrial Internet of Things. *Quality*, 16VS.
- Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0 (Vol. 150)*. D. Spath (Ed.). Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Garrehy, P. (2015). The Internet of Things: Manufacturing's Latest Technology Revolution. *Manufacturing Business Technology*.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*.
- Huang, Y. & Li, G. (2010). A Semantic Analysis for Internet of Things

- Humayed, A., Lin, J., Li, F., & Luo, B. (2017). Cyber-physical systems security – A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(6), 1802–1831.
- Jaidka, H., Sharma, N., & Singh, R. (2020). Evolution of iot to iiot: Applications & challenges. Available at SSRN 3603739.
- Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R. & Khan, S. (2012). Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges.
- Khan, W. Z., Rehman, M. H., Zangoti, H. M., Afzal, M. K., Armi, N., & Salah, K. (2020). Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges. *Computers & Electrical Engineering*, 81, 106522.
- Kortuem, G., Kawsar, F., Fitton, D. & Sundramoorthy, V. (2010). Smart objects as building blocks for the Internet of things. *IEEE Internet Computing*, 14(1), 44–51. doi:10.1109/MIC.2009.143
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440.
- Li, S., Da Xu, L., & Zhao, S. (2015). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243–259.
- Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H. & Zhao, W. (2017). A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. *IEEE internet of things journal*, 4(5), 1125–1142. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2683200>
- Lydon, B. (2016). IoT impact on manufacturing. *InTech*, 63(6), 8–11.
- Mahmoud, R., Yousuf, T., Aloul, F. & Zualkernan, I. (2015). Internet of things (IoT) security: Current status, challenges and prospective measures.
- Matthew N. O. Sadiku, Yonghui Wang, Suxia Cui, & Sarhan M. Musa. (2017). The INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, IJASRE (ISSN: 2454–8006), 3(11), 1–5. <https://doi.org/10.7324/IJASRE.2017.32538>
- Niehoff, S., & Beier, G. (2018). Industrie 4.0 and a sustainable development: A short study on the perception and expectations of experts in Germany. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 12(3), 360–374.
- Siemens, S. (2014). Industry 4.0: Secure the future, grasp opportunities. PACE.

- Singh, D., Tripathi, G., & Jara, A. J. (2014). A survey of Internet-of-Things: Future vision, architecture, challenges and services. In 2014 IEEE world forum on Internet of Things (WF-IoT) (287–292). IEEE.
- Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U., & Gidlund, M. (2018). Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(11), 4724–4734.
- Tan, J. & Koo, S. G. M. (2014). A Survey of Technologies in Internet of Things.
- Tan, L., & Wang, N. (2010). Future internet: The internet of things. In 2010 3rd international conference on advanced computer theory and engineering (ICACTE) (Vol. 5, V5–376). IEEE.
- Toma, I., Simperl, E., & Hench, G. (2009). A joint roadmap for semantic technologies and the internet of things. In *Proceedings of the Third STI Roadmapping Workshop, Crete, Greece* (Vol. 1, 140–53).
- Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. *IEEE Pervasive Computing*, 5(1), 25–33. doi:10.1109/MPRV.2006.2
- Whitmore, A., Agarwal, A. & Xu, L. (2015). The Internet of Things--A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 261. doi:10.1007/s10796-014-9489-2
- Wortmann, F. & Flüchter, K. (2015). Internet of Things. *Business & Information Systems Engineering*, 57(3), 221–224. doi:10.1007/s12599-015-0383-3
- Wu, M., Lu, T., Ling, F., Sun, J. & Du, H. (2010). Research on the architecture of Internet of Things.
- Xu, H., Yu, W., Griffith, D., & Golmie, N. (2018). A survey on industrial Internet of Things: A cyber-physical systems perspective. *IEEE Access*, 6, 78238–78259.
- Yu, X., & Guo, H. (2019). A survey on IIoT security. In 2019 IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS) (1–5). IEEE.
- Zhou, C., Damiano, N., Whisner, B., & Reyes, M. (2017). Industrial Internet of Things: (IIoT) applications in underground coal mines. *Mining engineering*, 69(12), 50.