

Mikael Ruotsalainen

ESINEIDEN INTERNET VIHREÄSSÄ IT:SSÄ



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2020

TIIVISTELMÄ

Ruotsalainen, Mikael

Esineiden internet vihreässä IT:ssä

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2020, 29 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja: Clements, Kati

Tämä kandidaatin tutkielma käsittelee esineiden internetin ja ylipäänsä IT:n ympäristövaikutuksia ja sitä, miten esineiden internetiä voidaan hyödyntää ympäristön hyvinvoinnin edistämiseksi. Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena hyödyntäen tietokantoja kuten Google Scholar ja JYKDOK. Tutkielmassa selvitetään ensin esineiden internetin käsitettä, avainteknologioita sekä haasteita. Tämän jälkeen käsitellään vihreän IT:n käsitettä, vaikutuksia ympäristöön sekä sen hyötyjä ja haittoja. Viimeisenä pohditaan esineiden internetin ympäristövaikutuksia. Katsauksessa selviää, että esineiden internet edistää ympäristön hyvinvointia, joko suorasti tai epäsuorasti. Suorat vaikutukset saadaan aikaan muuntaen itse esineiden internetiä ja sen teknologioita vihreämmäksi. Epäsuorat vaikutukset tarkoittavat esineiden internetin teknologian ja sovellusten hyödyntämistä muilla kuin informaatioteknologian aloilla. Tutkimuksen perusteella voidaan myös päätellä, että esineiden internetin tarjoamat epäsuorat ympäristöedut ovat huomattavasti merkittävämpiä kuin suorien ympäristöhaittojen vähentäminen.

Asiasanat: vihreä IT, vihreä esineiden internet, esineiden internet, ympäristöystävällisyys

ABSTRACT

Ruotsalainen, Mikael

Internet of things in green IT

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2020, 29 p.

Information Systems, Bachelor's Thesis

Supervisor: Clements, Kati

This Bachelor's thesis addresses the environmental impacts of the Internet of Things and of IT in general, and how the Internet of Things can be used to promote environmental well-being. The thesis was implemented as a literature review using databases such as Google Scholar and JYKDOK. Firstly, the paper explores the concept, key technologies and challenges of the Internet of things. Then, the concept of green IT, environmental impacts of IT and benefits and harms of IT will be explored. Finally, the impact of the Internet of Things on the environment is discussed. The study shows that the Internet of Things contributes to the well-being of the environment, either directly or indirectly. The direct effects are achieved by greening the Internet of Things itself and by greening its technologies. Indirect effects refer to the utilization of IoT-technology and applications in non-IT areas. The study also concludes that indirect environmental benefits of the Internet of Things are greater than the benefits that come from reducing the direct environmental impacts of the IoT.

Keywords: green IT, green IoT, IoT, environmental friendliness

KUVIOT

KUVIO 1 Vihreän IT:n ulottuvuudet	12
KUVIO 2 Vihreän IT:n viitekehys	12

TAULUKOT

TAULUKKO 1 Esineiden internetin suorien ympäristövaikutusten optimointi	17
TAULUKKO 2 Esineiden internetin epäsuorien ympäristövaikutusten optimointi	21

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	ESINEIDEN INTERNET	7
2.1	Määritelmä	7
2.2	Avainteknologiat.....	7
2.2.1	Älykäs objekti	8
2.2.2	Radiotaajuinen etätunnistus (RFID).....	8
2.2.3	Langaton sensoriverkko	9
2.3	Haasteita	10
3	VIHREÄ IT	11
3.1	Määritelmä	11
3.2	Vihreän IT:n viitekehys	12
3.3	Hyödyt ja haitat.....	14
3.3.1	Hyödyt.....	14
3.3.2	Haitat	15
4	ESINEIDEN INTERNET VIHREÄSSÄ IT:SSÄ.....	16
4.1	Vihreämpi esineiden internet.....	16
4.2	Vihreämpi ympäristö esineiden internetin avulla	19
4.2.1	Automatisoitu teollisuus.....	21
4.2.2	Elinympäristön tarkkailu	22
4.2.3	Terveys ja hyvinvointi.....	23
4.2.4	Kuljetus	23
4.2.5	Energiankäyttö	24
4.2.6	Vihreä älykäs kaupunki	24
5	YHTEENVETO	26

1 JOHDANTO

Ilmastokriisi ja sitä seurannut ympäristöystävällisyyden tavoittelu on kasvanut paljon viime vuosien aikana. Vihreä ajattelutapa on kasvanut niin yksilöiden, yritysten, hallitusten kuin yhteiskunnankin tasolla. Vihreä ajattelutapa on myös levinnyt sellaisille alueille, joilla sitä ei ennen ole ajateltu tarvittavan. Teknologian valtava kehitys ja näin ollen myös sen määrä maailmassa on nostanut vihreän ajattelutavan esiin myös IT:ssä. Tästä on kehittynyt ”vihreän IT:n” termi, mikä käsittää ympäristöystävällisyyden tavoittelun informaatioteknologiassa ja sen avulla. Vihreän IT:n tarve kasvaa jatkuvasti teknologian kehittyessä ja lisääntyessä sekä maapallon ilmaston tilan heikentyessä entisestään.

Teknologian kehitys on mahdollistanut myös suuren innovaation syntymisen, jota kutsutaan ”esineiden internetiksi”. Erilaisten sensortechnologioiden, älykkään kommunikoinnin ja toiminnallisten kokonaisuuksien yhdistelmänä esineiden internet on noussut monien tutkijoiden, yrittäjien ja kuluttajien tietoisuuteen. Esineiden internet ja sen käytännön sovellukset ovat herättäneet mielenkiintoa myös vihreän IT:n saralla.

Tässä kandidaatintutkielman tarkoituksena on käsitellä esineiden internetiä, vihreää IT:tä ja esineiden internetin ympäristöystävällisyyttä. Tutkielma toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Tutkimuskysymys on määriteltävä seuraavasti:

- Miten esineiden internetiä hyödyntämällä voidaan edistää ympäristön hyvinvointia?

Ennen kuin esineiden internetin ympäristövaikutuksia tarkastellaan, tulee esineiden internetiä ja vihreää IT:tä käsitellä yleisellä tasolla, jotta käsitteet tulisivat selvemmiksi. Siksi tutkielma onkin rajattu kolmeen osaan.

Ensimmäisessä osassa määritellään esineiden internetin käsite. Lisäksi käydään läpi sen avainteknologioita ja mahdollisia haasteita. Toisessa osassa selvitetään vihreän IT:n käsitettä, käydään läpi sen vaikutuksia ympäristöön sekä keskustellaan sen tarjoamista hyödyistä ja siitä koituvista haitoista. Viimeisessä osassa käsitellään esineiden internetin vaikutuksista ympäristön hyvinvointiin. Lopuksi esitellään tutkielman yhteenveto.

Tulokset osoittavat, että esineiden internetillä on monia ympäristön hyvinvointiin positiivisesti vaikuttavia tekijöitä. Näitä tekijöitä ovat esineiden internetiin liittyvien komponenttien vihertämisen mahdollisuudet sekä kattavat sovellukset ja niiden jatkuva lisääntyminen ja kehitys, jotka mahdollistavat ympäristöystävällisemmän tulevaisuuden kaikilla yhteiskunnan osa-alueilla.

2 ESINEIDEN INTERNET

Esineiden internet on teknologinen vallankumous, joka edustaa tietotekniikan ja viestinnän tulevaisuutta (Wu, Lu, Ling, Sun & Du, 2010). Se on laaja käsite, joka pitää sisällään paljon. Seuraavissa luvuissa selvennetään tätä käsitettä ja siihen liittyviä asioita. Aluksi esineiden internet määritellään käsitetasolla, jonka jälkeen avataan keskeisiä teknologioita liittyen esineiden internetiin. Lopuksi käydään läpi esineiden internetin haasteita ja siitä koituvia ongelmia.

2.1 Määritelmä

Madakam, Ramaswamy & Tripathi, (2015) mukaan esineiden internetistä ei ole yhtä tarkkaa määritelmää, joka olisi kaikkien hyväksyttävissä, mutta heidän mielestään seuraava määritelmä kuvaa termiä parhaiten: esineiden internet on avoin ja kattava älykkäiden esineiden verkko, joka pystyy itsenäiseen organisointiin, informaation, datan ja resurssien jakamiseen sekä reagoimaan ja toimimaan ympäristönsä muuttuvissa olosuhteissa. (Madakam ym., 2015)

Nimi esineiden internet (englanniksi Internet of Things, IoT) sai alkunsa vuonna 1999 Kevin Ashtonin esitelmän otsikkona (Ashton, 2009). Hän viittasi sillä yksilöllisesti tunnistettaviin objekteihin ja niiden virtuaalisiin esityksiin internetin kaltaisessa rakenteessa (IEC, 2014). Nämä kohteet voivat olla mitä vain suurista rakennuksista, teollisuuslaitoksista, lentokoneista, autoista, koneista, kaikenlaisista tavaroista, suuremman järjestelmän erityisistä osista kasveihin, eläimiin, ihmisiin ja jopa erityisiin ruumiinosiin (IEC, 2014).

Esineiden internet muuttaa entistä kommunikoinnin käsitettä. Ennen kuka vain saattoi kommunikoida kenelle tahansa ajasta ja paikasta riippumatta, mutta nyt kuka tai mikä tahansa voi kommunikoida kenelle tai mille tahansa, eli kommunikointi ei enää rajoitu vain ihmisiin (Coetzee & Eksteen, 2011). Kommunikointi on siis nykyisin ihmiseltä ihmiselle, ihmiseltä koneelle tai koneelta koneelle tapahtuvaa vuorovaikutusta (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari & Ayyash, 2015). Esineiden internetissä sana ”esine” viittaa tarkemmin esineeseen liittyvään informaatioon eikä vain yleisesti esineeseen (Huang & Li, 2010).

2.2 Avainteknologiat

Esineiden internetissä käytettyjen avainteknologioiden ymmärtäminen auttaa saamaan paremman käsityksen esineiden internetin todellisesta merkityksestä ja toiminnallisuudesta. Esineiden internetiin liittyy paljon erilaista teknologiaa ja seuraavaksi esitellään niistä kolme keskeisintä. Nämä teknologiat ovat älykäs objekti, radiotaajuinen etätunnistus ja langaton sensoriverkko.

2.2.1 Älykäs objekti

Al-Fuqaha ym., (2015) mukaan esineiden internetin maailmanlaajuisesti käytössä olevien älykkäiden objektien määrä tulee olemaan 212 miljardia vuoden 2020 loppuun mennessä. Miorandi ym., (2012) määrittelevät älykkään objektin käsitteen seuraavasti:

- Se on fyysinen olomuoto ja niihin liittyviä fyysisiä ominaisuuksia, kuten koko tai muoto.
- Se on kykenevä viestimään jollain lailla, kuten löytää ja vastaanottaa saapuvia viestejä ja vastata niihin.
- Se omaa yksilöivän tunnisteiden
- Se on liitetty ainakin yhteen objektiin kuvaavaan nimeen ja koneella luettavaan osoitteeseen, jota voidaan käyttää kommunikointiin kohteen kanssa
- Sen on kyettävä suorittamaan jonkinlaista peruslaskentaa, joka voi vaihdella yksinkertaisista suorituksista monimutkaisiin.
- Niillä voi olla keino havaita fyysisiä ilmiöitä, kuten lämpötila, valo tai sähkömagneettinen säteily, tai kyky suorittaa toimintoja, jotka vaikuttavat jollain lailla fyysiseen todellisuuteen.

Kortuem, Kawsar, Sundramoorthy & Fitton, (2009) jakavat älykkäät objektit kolmeen eri tyyppiin niiden sisältämien toimintojen, havainnointikyvyn, vuorovaikutustoiminnan ja tuotettavan tiedon perusteella. Nämä eri tyypit ovat nimeltään toiminta-, menettelytapa- ja prosessitietoiset objektit.

Toimintatietoiset objektit ovat kaikkein yksinkertaisimpia ja ne tietävät ympäröivästä maailmasta vain sen verran, mitä ne itse saavat siitä kerättyä ja mitä niiden ympärillä tapahtuu. Pääasiassa se vain kerää tietoa ympäriltään, eikä ole interaktiivisesti toiminnassa ympäristönsä kanssa.

Menettelytapatietoiset objektit ovat toimintatietoisia objekteja, jotka voivat tulkita tapahtumia ja toimintoja itse, niillä määritettyjen sääntöjen ja toimintaohjeiden mukaan. Ne ovat enemmän interaktiivisia kuin pelkät toimintatietoiset objektit, jolloin ne voivat esimerkiksi varoittaa, jos jokin niille annettu tukinnan kohde ylittää halutun rajan.

Prosessitietoiset objektit ymmärtävät organisaation prosessit, joihin ne kuuluvat, ja voivat yhdistää reaali maailman toiminnat ja tapahtumat, jotka käsittelevät näitä prosesseja.

Edellisten objektien ominaisuuksien lisäksi prosessitietoiset objektit osaavat antaa neuvoja erilaisissa tehtävissä, toimenpiteissä ja päätöksenteossa ylipäänsä. Kortuem ym., (2009)

2.2.2 Radiotaajuinen etätunnistus (RFID)

Radiotaajuinen etätunnistus on tunnistusteknologia tiedon etälukuun ja -tallentamiseen, jossa tunnistin (RFID-tag) pitää sisällään tietoa ja lähettää sitä lukijaan (RFID-reader) radiosignaalien avulla (Sethi & Sarangi 2017). Toisin kuin aiempi viivakooditekniikka, RFID mahdollistaa tunnistamisen etäältä, eikä se tarvitse näköyhteyttä tunnistamiseen. RFID-tunnistimet pystyvät käsittelemään suurempia määriä uniikkeja ID-tunnisteita, kuin viivakoodit ja ne pystyvät käsittelemään myös eri tyylistä dataa, kuten valmistajan tai tuotetyypin tietoja ja ympäristötekijöitä, kuten lämpötilaa (Want, 2004). Tämä on hyvin tärkeää esineiden internetin toimivuuden kannalta ja Miorandi ym., (2012)

toteavatkin artikkelissaan, että RFID-tekniikalla tulee olemaan suuri rooli esineiden internetin tunnistustekniikassa. Myös Tan & Wang (2010) toteavat, että RFID nähdään keskeisenä mahdollistajana esineiden internetin tulevaisuudessa. RFID-tekniikkaa sovelletaan esimerkiksi toimitusketjun hallinnassa, kulunvalvonnassa, identiteetin todennuksessa ja esineiden seurannassa (Sethi & Sarangi 2017).

Want, (2004) mukaan RFID-tekniikka on tunnettu jo noin 70 vuoden ajan, mutta sitä ei ole hyödynnetty, kun vasta viime vuosina, sillä tekniikka on ollut hyvin kallista verrattuna tulostettuihin viivakoodeihin. Tekniikan tuottamisesta ja sähkönkulutuksesta koituvat menot eivät kata niistä koituvia tuloja. Kuitenkin esimerkiksi esineiden internetin yhteydessä käytettynä RFID-tekniikasta koituvat menot ovat pienemmät kuin hyödyt.

Want, (2004) jakaa RFID-tekniikan aktiivisiin ja passiivisiin laitteisiin. Aktiiviset laitteet tarvitsevat virtalähteen toimiakseen, ne ovat joko kiinnitettynä virtalähteeseen tai sisältävät pariston. Paristollisten laitteiden elinikä on sidonnainen paristoon ja on tämän takia rajallinen, mutta ne ovat halvempia ja pienempikokoisia, kuin virtalähteeseen sidotut laitteet. Passiiviset laitteet ovat hyvin mielenkiintoisia, sillä ne eivät tarvitse paristoja tai ylläpitoa ja siksi niillä on periaatteessa loputon elinikä ja ne menevät hyvin pieneen tilaan. Passiivinen laite saa käyttämänsä energian lukijan lähettämistä sähkömagneettisista aalloista. (Want, 2004)

2.2.3 Langaton sensoriverkko

Langattomilla sensoriverkoilla on suuri merkitys esineiden internetissä, kun ne yhdistetään radiotaajuiseen etätunnistukseen. Tällöin ympäristöä pystytään havainnoimaan entistäkin paremmin ja kuva nykytilasta tarkentuu entisestään (Atzori, Iera & Morabito, 2010). Monesti vain yhden sensorin tiedoista ei ole hyötyä suurten alueiden ja monimutkaisten toimintojen seuraamisessa. Tällöin eri sensorinoodien on oltava vuorovaikutuksessa toistensa kanssa langattomasti. Muiden kuin IP-tekniikoiden, kuten RFID:n, NFC:n ja Bluetooth:in haittana on se, että niiden kantama on hyvin pieni, joten niitä ei voida käyttää monissa sovelluksissa, joissa suurta aluetta on tarkkailtava monien eri paikoissa sijaitsevien sensorinoodien kautta. (Sethi & Sarangi 2017)

Sethi & Sarangi, (2017) mukaan langaton sensoriverkko (WSN) koostuu kymmenistä tuhansista sensorinoodista, jotka ovat yhteydessä toisiinsa langattomalla tekniikalla. Ne keräävät tietoa ympäristöstä ja välittävät sen emolaitteille, jotka välittävät tiedot pilveen. Sensorinoodit ovat luonteeltaan rajoitettuja, mutta ylemmän tason valvonta-asemalla on virtaa ja resursseja prosessoida kerättyä tietoa. (Sethi & Sarangi, 2017)

Zhang & Wang, (2006) mukaan langattoman sensorinoodi koostuu tyypillisesti sensorista, mikro-ohjaimesta, radiotaajuisesta lähetinvastaanottimesta ja virtalähteestä. Sensori on tarkoitettu jonkin fyysisen ilmiön, kuten valon lämpötilan, äänen, paineen, yms. lukemiseen. Mikrokontrollerin avulla sensorin kykenee yhteistyöhön muiden solmujen kanssa. (Zhang & Wang, 2006)

2.3 Haasteita

Esineiden internet avaa paljon uusia mahdollisuuksia ja tarjota valtavia taloudellisia etuja, mutta niiden mukana nousee esille myös paljon keskeisiä haasteita (Khan ym., 2012). Tutkimuksissa eniten esiin nousseita haasteita ovat standardointi ja yhteentoimivuus, yksityisyyden, tietoturvan ja identiteetin hallinta, (mm. Al-Fuqaha ym., 2015; Khan ym., 2012; Miorandi ym., 2012) sekä tämän tutkielman tutkimuskysymykseenkin viittaava sensorien energiankulutus ja vihreämmän esineiden internetin luominen (Khan ym., 2012). Näihin haasteisiin vastaaminen antaa palveluntarjoajille ja sovellusohjelmoijille mahdollisuuden toteuttaa palvelunsa tehokkaammin ja tuottavammin (Al-Fuqaha ym., 2015).

Standardisointia tarvitaan, jotta esineiden internetin laitteiden ja palveluiden yhteentoimivuus paranisi (Coetsee & Eksteen, 2011). Lähes kaikki valmistajat tuottavat laitteita käyttämällä omaa tekniikkaansa, joka ei välttämättä ole muiden käytettävissä. Siksi on erittäin tärkeää standardoida esineiden internet, jotta objektien välinen yhteentoimivuus saadaan aikaan (Khan ym., 2012). Standardisointiyrityksiä on tehty tähän mennessä jo paljon (Al-Fuqaha ym., 2015; Atzori ym., 2010). Standardisointia lähestytään tyypillisesti joko suuntautuen enemmän internetiin tai sitten esineisiin. Suuntautumisesta riippuen päästään eri tuloksiin (Atzori ym., 2010).

Turvallisuus tai tietoturva on merkittävä haaste esineiden internetille, sillä IoT-tietoturvalle ei ole yhteistä standardia ja arkkitehtuuria (Al-Fuqaha ym., 2015). Ilman järjestelmätason luottamuksen, todentamisen ja yksityisyyden suojaa asiaankuuluvat sidosryhmät eivät todennäköisesti ota esineiden internetin tarjoamia ratkaisuja käyttöön laajassa mittakaavassa (Miorandi ym., 2012). Aluksi tietoturvaongelmia ratkaistiin tapauskohtaisesti, mutta nyt pyritään löytämään standardisoituja ratkaisuja (Miorandi ym., 2012).

Yksityisyys tarkoittaa, että vain käyttäjä itse voi hallita tietoja ja että mikään muu käyttäjä ei voi käyttää tietoja tai käsitellä niitä (Lin ym., 2017). Käyttäjien tulee pystyä valvomaan, mitä heidän henkilötietojaan kerätään, kuka tietoja kerää ja milloin tämä tapahtuu. Lisäksi vain valtuutettujen palveluntarjoajien tulisi päästä käyttämään kerättyjä tietoja ja lopuksi, yllä olevia tietoja tulisi säilyttää vain siihen asti, kun niitä varmasti tarvitaan (Atzori ym., 2010). Yllä mainittua ei ole mahdollista toteuttaa sensoriverkkojen tapauksessa, sillä ihmiset eivät voi hallita, mitä tietoja heistä kerätään, kun ne saapuvat alueelle, jossa sensoriverkko on käytössä (Atzori ym., 2010).

Lin ym., (2017) mukaan identiteetillä voidaan varmistaa, ettei valtuuttamattomia laitteita tai sovelluksia voida yhdistää esineiden internetiin. Esineiden internetissä kaiken datan ja esineiden tunnistaminen ja todentaminen on vaikeaa, koska esineiden internet koostuu suuresta määrästä erilaisia esineitä. Siksi tehokkaiden mekanismien suunnittelu esineiden tai asioiden todentamiseksi on olennaista esineiden internetissä. (Lin ym., 2017)

Khan ym., (2012) mukaan verkon energiankulutus kasvaa erittäin nopealla tahdilla. Tähän syynä on datanopeuksien huima kasvu, Internet-yhteensopivien palvelujen määrän kasvu ja Internet-yhteyteen kytkettyjen reunalaitteiden (Edge devices) nopea kasvu. Tulevaisuuden Internet lisää verkon energiankulutusta merkittävästi. Siksi on otettava käyttöön vihreitä tekniikoita, jotta verkkolaitteet olisivat mahdollisimman energiatehokkaita. (Khan ym., 2012)

3 VIHREÄ IT

Ilmastokriisi ja sitä seurannut ympäristöystävällisyyden tavoittelu on viime noussut yhä tärkeämpään asemaan maailmassa. Myös informaatioteknologian ympäristöystävällisyyden merkitys on kasvanut viime vuosina (Chow & Chen, 2009) ja siihen on myös paneuduttu enemmän. IT pyrkii lieventämään ilmaston lämpenemistä joko suorasti tai avustavana voimana. Tämän luvun alussa määritellään vihreän IT:n käsite, jonka jälkeen keskustellaan sen vaikutuksista ympäristöön vihreän IT:n viitekehyksen kautta ja lopuksi esitellään sen hyötyjä ja haittoja.

3.1 Määritelmä

Vihreä IT tarkoittaa informaatioteknologiaa, joka jollain lailla edistää ympäristön hyvinvointia (Mingay, 2007; Molla ym., 2008; Murugesan & Gangadharan, 2012). Sen päätehtävänä on vähentää ympäristöön kohdistuvia negatiivisia vaikutuksia tai edistää positiivisten vaikutusten ylläpitoa ja kehitystä (Jenkin, Webster, & McShane, 2011). Vaikka vihreä IT on noussut isoksi puheenaiheeksi tieteen saralla, liittyy siihen vieläkin monia näkökulmia, joita ei ole tieteellisesti tutkittu (Jenkin ym., 2011).

Molla ym., (2008) määritelmän mukaan vihreä IT on kokonaisvaltainen ja systemaattinen lähestymistapa IT-infrastruktuuriin liittyvien haasteiden ratkaisemiseksi. Näitä haasteita ovat Molla ym., (2008) mukaan datakeskusten tilan ja energiankulutuksen tehokkuus, liiketoiminnan tietoteknisten osuuksien ympäristövaikutusten vähentäminen, ympäristöystävällisten liiketoimintakäytäntöjen tukeminen IT:n avulla, ja IT:n rooli hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen taloudessa.

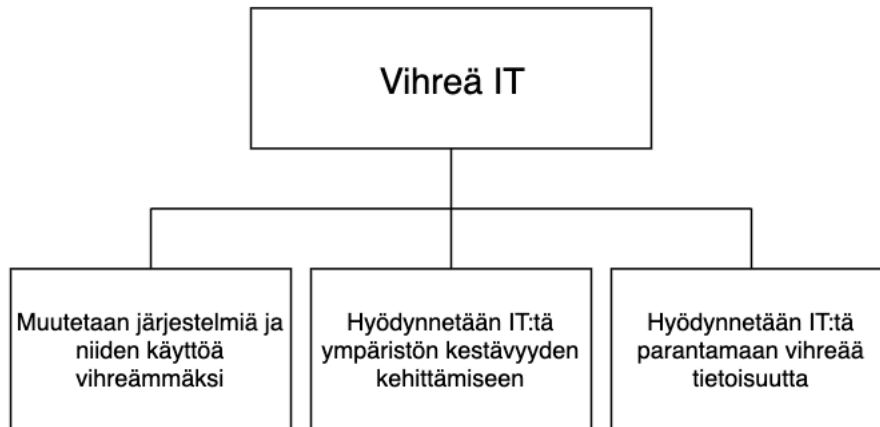
Murugesan & Gangadharan, (2012) jakavat Vihreän IT:n kolmeen toisiaan täydentävään ulottuvuuteen (ks. Kuvio 1), jotka ovat erilaisia tapoja, joilla IT edistää ympäristön hyvinvointia. Pähkinänkuoressa nämä ulottuvuudet ovat IT:n suorat ympäristövaikutukset, IT:n epäsuorat ympäristövaikutukset, jotka edesauttavat muita osa-alueita vihreämpään suuntaan ja IT:n hyödyntäminen vihreämmän tietoisuuden levittämisessä.

Ensimmäinen ulottuvuus käsittää tietokoneiden, ohjelmistojen ja viestintäjärjestelmien tehokkaan ja hyödyllisen suunnittelun, valmistuksen sekä käytön ja hävittämisen, jolloin negatiiviset ympäristövaikutukset ovat mahdollisimman vähäiset. Se siis käsittää IT:stä koituvat suorat ympäristövaikutukset. Tähän ulottuvuuteen lukeutuvat esimerkiksi helpommin hävitettävien komponenttien käyttö ja suunnittelu tietokoneissa tai osien uudelleen hyödyntäminen. (Murugesan & Gangadharan, 2012) Suurin osa IT:n suorista ympäristöhaitoista on peräisin datakeskuksista ja tarkemmin määritettynä niiden energiankulutuksesta ja jäädytyksestä (Daim ym., 2009).

Toisessa ulottuvuudessa on kyse siitä, miten IT:tä käytetään hyödyntämään, tukemaan ja avustamaan muita yrityksen tai organisaation ympäristön edistämiseen liittyviä hankkeita. Esimerkiksi kauppojen tarjoamat kuitittomat palvelut ja yritysten paperiarkistojen sähköistäminen ovat tällaisia hankkeita. Tähän ulottuvuuteen lukeutuvat myös IT:n tarjoamat tuet muilla tieteenaloilla ympäristön hyvinvoinnin edistämässä. (Murugesan & Gangadharan, 2012)

Kolmas ulottuvuus käsittelee IT:n hyödyntämistä vihreän tietoisuuden levittämisessä. Se auttaa keräämään, prosessoimaan ja jakamaan tietoa, joka vaikuttaa

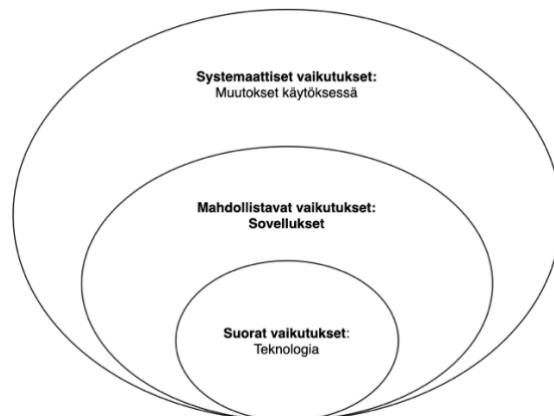
merkittävästi ympäristön hyvinvointiin. Esimerkiksi ympäristövaikutusten uutisoiminen ja levittäminen sosiaalisen median ja internetin välityksellä on tällaista tietoisuuden lisäämistä. (Murugesan & Gangadharan, 2012)



KUVIO 1 Vihreän IT:n ulottuvuudet (Murugesan & Gangadharan, 2012)

3.2 Vihreän IT:n viitekehys

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) määrittelee vihreälle IT:lle viitekehysten (Kuvio 2), joka kuvaa IT:n ympäristövaikutusten ominaispiirteitä kolmella eri tasolla (OECD, 2010). Sen tasot ovat hyvin samanlaiset, kuin yllä esiteltyt IT:n ulottuvuudet.



KUVIO 2 Vihreän IT:n viitekehys (OECD, 2010)

OECD, (2010) mukaan ensimmäisenä viitekehyksessä kuvataan IT:n suorat vaikutukset ympäristöön. Nämä viittaavat positiivisiin ja negatiivisiin vaikutuksiin, jotka johtuvat IT:n tuotteiden ja prosessien fyysisestä olemassaolosta. Nämä suorat vaikutukset voidaan jakaa vielä kahteen osaan: tuotteiden valmistajien ympäristövaikutuksiin ja niiden käyttäjien ympäristövaikutuksiin. Valmistajat vaikuttavat ympäristöön sekä tuotannon aikana, että toiminnan kautta. Lisäksi tuotteiden suunnittelu määrittelee niiden

vaikutukset ympäristöön yrityksen rajojen ulkopuolella. Esimerkiksi energiatehokkaat komponentit voivat vähentää laitteiden käyttämää energiaa ja modulaariset IT-laitteet ja kemikaalien vähentynyt käyttö tuotannossa voivat parantaa uudelleenkäyttöä ja kierrätettävyyttä. Kuluttajat taas voivat vaikuttaa suoraan ympäristöjalanjälkeen ostamalla, kuluttamalla, käyttämällä ja käsittelemällä IT-tuotteita paremmin. He voivat esimerkiksi valita energiatehokkaita ja sertifioituja, ”vihreitä” IT-laitteita muiden tuotteiden sijaan. Tuotteen käyttöön päätyttyä kuluttajat voivat palauttaa laitteet uudelleenkäyttöön, kierrätykseen, jne. Tämä pienentää ympäristön kuormitusta verrattuna kaatopaikalle sijoittamiseen tai polttamiseen, mikä on tavallisin ratkaisu näissä tilanteissa. (OECD, 2010)

OECD, (2010) jatkaa, että viitekehyksen toinen taso käsittelee IT:n mahdollistamia tai siitä koituvia vaikutuksia muilla toimialoilla. Mahdollistavat vaikutukset syntyvät sovelluksista, jotka vähentävät ympäristövaikutuksia muissa taloudellisissa ja sosiaalisissa toimissa. IT vaikuttaa siihen, miten muut tuotteet suunnitellaan, valmistetaan, kulutetaan, käytetään ja hävitetään. Tämä tekee tuotannosta ja kulutuksesta resurssitehokkaampaa. Mahdollisia kielteisiä vaikutuksia ovat esimerkiksi tietotekniikan avulla toimivien järjestelmien energiankäytön lisääntyminen verrattuna perinteisiin järjestelmiin. IT-tuotteet voivat vaikuttaa muiden tuotteiden ja toimintojen ympäristöjalanjälkeen koko taloudessa neljällä tavalla, jotka ovat optimointi, dematerialisaatio ja korvaaminen, induktiovaikutukset ja heikentyminen. Optimoinnilla informaatioteknologia voi vähentää toisen tuotteen ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi älykkäät sähköjakeluverkot vähentävät siirto- ja jakeluhävikkiä ja älykkäät lämmitys- ja valaisujärjestelmät rakennuksissa parantavat energiatehokkuutta. Dematerialisaatio ja korvaaminen taas tarkoittaa IT-teknologian käyttöä fyysisten tuotteiden ja prosessien korvaamiseksi digitaalisilla tuotteilla ja prosesseilla. Esimerkiksi digitaalinen musiikki vähentää fyysisen musiikin määrää. Induktiovaikutukset ilmenevät, jos IT-tuotteet auttavat lisäämään kysyntää muille tuotteille. Esimerkiksi tehokkaat tulostimet voivat lisätä paperin kysyntää. Hajoamista (degradation) tapahtuu, jos muihin kuin IT-tuotteisiin upotetut IT-laitteet vaikeuttavat tuotteiden kierrätystä ja hävittämistä. (OECD, 2010)

Kolmas taso OECD, (2010) mukaan käsittelee IT:n systeemisiä vaikutuksia. Se tarkoittaa ihmisten käytöksen muutoksia ja muita ei-teknologisia tekijöitä, jotka vaikuttavat ympäristöön. Systeemisiin vaikutuksiin sisältyy vihreän IT:n laajan soveltamisen tahalliset ja tahattomat seuraukset. IT-sovellukset voivat vaikuttaa systeemisesti ympäristöön seuraavilla keinoilla:

- Tarjoamalla ja paljastamalla tietoa, joka tarkoittaa ympäristölle kriittisen tiedon keräämistä ympäristöstä ja sen jakamista ja levittämistä kaikkien ihmisten, yritysten ja hallitusten tietoisuuteen, jolloin voidaan mukauttaa yleisiä elämäntapoja, tuotantoa ja kaupantekoa ilmastonmuutoksen torjumiseksi.
- Mahdollistamalla dynaamisen hinnoittelun ja edistämällä hintaherkkyyttä, jolloin ihmiset pystyvät jatkuvasti tietämään tuotteiden ja palveluiden oikean hinnan. Esimerkiksi sähkönhinnan ollessa korkealla, asiakkaat käyttävät vähemmän sähköä, mikä vähentää sähkön kokonaiskulutusta. Se siis edistää ihmisten kestävästä käytöstä.
- Edistämällä teknologian omaksumista, jolla voi olla joko positiiviset tai negatiiviset vaikutukset, riippuen siitä, IT:n käyttäminen verrattuna vanhanaikaisiin metodeihin enemmän vai vähemmän ympäristöystävällistä. Positiivisia ja negatiivisia vaihtoehtoja on esitelty ylempänä.

- Laukaisemalla rebound-vaikutuksia, joka tarkoittaa, että vaikka pienemmällä tasolla IT-teknologia saattaa pienentää ympäristövaikutuksia, niin isommalla tasolla vaikutukset saattavat olla päinvastaisia. Esimerkiksi jos pesukoneen vedenkulutus on todella pieni, se vähentää vedenkulutuksesta koituvia ympäristövaikutuksia. Toisaalta taas tehokkuutensa takia ihmiset saattavat pestä enemmän pyykkiä, jolloin kokonaisuudessa vedenkulutus voi vain kasvaa. (OECD, 2010)

3.3 Hyödyt ja haitat

Kuten jo luvussa 3.2 mainittiin, IT sekä kuormittaa, että auttaa ympäristöä. Tässä kappaleessa paneudutaan tarkemmin IT:n hyötyihin ja haittoihin. Niistä voidaan huomata, että IT:llä on mahdollisuus tuottaa ympäristölle enemmän hyvää kuin haittaa ja näin saattaa ollakin jo, mutta parempien tulosten saavuttamiseksi kaikkien tulisi kuitenkin keskittyä enemmän ympäristön hyvinvoinnin edistämiseen, vaikka se ei aina olisikaan tuottavaa tai muuten hyödyllistä (Murugesan & Gangadharan, 2012).

3.3.1 Hyödyt

Vihreä IT ei ole vain energiatehokkaampien informaatioteknologioiden kehittämistä, vaan suurin hyöty saavutetaan kahdesta jälkimmäisestä ulottuvuudesta, jotka esiteltiin luvussa 3.1. Murugesan & Gangadharan, (2012) kertoo, että IT:n suora osuus kasvihuonekaasupäästöistä on vain noin 2–3% ja suurin osa päästöistä tulee muista kuin IT-lähteistä. Lisäksi SMART 2020 -raportin mukaan IT:n suurin vaikutus tulee olemaan energiatehokkuuden mahdollistaminen muilla aloilla, mikä mahdollistaisi viisi kertaa suuremmat säästöt hiilidioksidipäästöissä, kuin koko tieto- ja viestintäteknologian kokonaispäästöt vuonna 2020 (Murugesan & Gangadharan, 2012). Vihreällä IT:llä on myös mahdollista vähentää kasvihuonepäästöjä viidellätoista prosentilla (Jenkin ym., 2011; Murugesan, 2008).

Vihreän IT:n ympäristöhyödyt johtuvat siis energiatehokkuuden parantamisesta, kasvihuonepäästöjen madaltamisesta, vähemmän ympäristöä rasittavien materiaalien käytöstä ja kannustamisesta laitteiden ja niiden osien uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen (Murugesan, 2008). Lisäksi hyödyt tulevat esiin suunnitellessa ja toteuttaessa tietojärjestelmiä, jotka edistävät kestäviä liiketoimintaprosesseja. Esimerkki tällaisten järjestelmien hyödyntämisestä on telekonferenssien käyttö hajautetussa työympäristössä lentämisen ja muun matkustuksen vähentämiseksi (Boudreau, Chen & Huber, 2008). Energiankulutuksen vähentäminen ja sen tehokas käyttö pienentää päästöjä. IT:n avulla voidaan tarkkailla ja optimoida energiatehokkuutta missä vain prosessissa (Mishra, Akman & Mishra, 2014), joten vihreä IT voi vähentää päästöjä millä tahansa alalla. Asioiden uudelleenkäyttö, kierrätys ja kunnostus vähentää elektronista ongelmajätettä. Vihreä IT auttaa pienentämään yritysten hiilijalanjälkeä sekä jätettä ja saasteita ylipäänsä (Molla ym., 2008).

Murugesan, (2008) mukaan vihreä IT hyödyttää myös yrityksiä. Nykypäivän ympäristötrendin ansiosta vihreämpien tuotteiden, palveluiden ja prosessien hyödyntäminen liiketoiminnassa antaa yrityksille kilpailuedun verrattuna muihin yrityksiin. Lisäksi myös ylempänä mainitut asiat, kuten energiankulutuksen optimointi

vähentää energiankulutuksesta koituvia kustannuksia yrityksille. Energiatehokkuus ja taloudelliset edut ovatkin kaksi suurinta syytä, miksi ihmiset ja yritykset suosivat vihreää IT:tä. (Murugesan, 2008)

3.3.2 Haitat

Kaikki informaatioteknologia ja siihen liittyvät asiat ovat haitaksi ympäristölle jollain lailla. Suurimmat IT:stä koituvat ympäristölliset haitat tulevat datakeskuksista, henkilökohtaisten ja muiden tietokoneiden käytöstä sekä suorasti, että epäsuorasti tietokoneohjelmista (Murugesan & Gangadharan, 2012). Tämän lisäksi on olemassa paljon muitakin IT:stä koituvia haittoja, mutta tässä luvussa käydään läpi vain edellä mainitut kolme haittaa.

Daim ym., (2009) mukaan datakeskuksia käytetään lähes kaikilla talouden sektorilla prosessien, tiedonhallinnan ja viestinnän toimintojen tukemiseksi. Datakeskuksien tarve on jatkuvassa kasvussa, sillä maailma siirtyy koko ajan enemmän sähköisiin palveluihin, prosesseihin ja toimiin. (Daim ym., 2009) Vuonna 2011 datakeskuksien energiankulutus oli 3,5% Yhdysvaltojen kokonaisenergiankulutuksesta ja että datakeskusten päästöt tulevat vuoteen 2020 mennessä kattamaan 18% koko informaatio- ja viestintäteknologian hiilijalanjäljestä (Murugesan & Gangadharan, 2012). Energiankulutus ja jäähdytys ovat datakeskuksien suurimmat saastuttajat (mm. Daim ym., 2009; Jenkin ym., 2011). Ne kattavat 30% koko datakeskusten kuluista (Murugesan, 2008). Datakeskusten ”vihertäminen” vähentäisi ympäristön kuluttamista ja säästäisi yrityksiltä paljon rahaa (Daim ym., 2009).

Tietokoneiden energiankulutus on toinen iso IT:n ympäristötekijä. Murugesan & Gangadharan, (2012) mukaan tietokoneiden ja muiden elektronisten laitteiden määrä on kasvanut valtavasti ja uudet tehokkaammat laitteet korvaavat vanhempia versioita. Tästä syystä energiankulutus on kasvanut ja varsinkin ongelmajätteen määrä on kasvanut huomattavasti. (Murugesan & Gangadharan, 2012) Jokainen taso tietokoneen elämässä, sen valmistaminen, käyttö ja hävittäminen, sisältävät ympäristöllisiä ongelmia (Murugesan, 2008). Vaikka yhden tietokoneen käyttöön ja viilennykseen kuluva energia ei olisikaan kovin paljon, yhdistettynä tietokoneiden määrään, pienetkin toimet tekevät isoja muutoksia ympäristölle ja rahapussille (Murugesan & Gangadharan, 2012).

Voisi luulla, etteivät tietokoneohjelmat ole kovinkaan kuormittavia ympäristölle. Näin ei kuitenkaan ole. Murugesan & Gangadharan, (2012) mukaan ohjelmistoilla on tärkeä rooli energian kokonaiskulutuksen ja laskentatehokkuuden määrittämisessä. Esimerkiksi yksittäinenkin huonosti toimiva, laskennallisesti tehoton tai ei-virtaystävällinen ohjelmistokomponentti voi estää koko laitteiston sisäänrakennetut virranhallintaedut. Tämän lisäksi tietokoneohjelmat ovat tärkeimmät lähteet vihreämmän toiminnan ja tietoisuuden rakentamisessa, joten niiden toimivuus ja tehokkuus on kriittistä (Murugesan & Gangadharan, 2012).

4 ESINEIDEN INTERNET VIHREÄSSÄ IT:SSÄ

Vihreä esineiden internet tarkoittaa edellisen luvun perusteella käytännössä esineiden internetin hyödyntämistä ympäristön hyvinvoinnin edistämiseksi. Sekä Shaikh Zeadally, & Exposito, (2015), että Zhu, Leung, Shu & Ngai, (2015) mukaan se voidaan jakaa kahteen eri osaan: suoriin ja epäsuoriin vaikutuksiin. Ensimmäinen osa käsittelee esineiden internetin suoria vaikutuksia ympäristöön, eli pyritään pienentämään esineiden internetistä koituvia ympäristövaikutuksia. Toinen osa käsittelee sitä, miten esineiden internetin mahdollistamat sovellukset ja palvelut auttavat kokonaisuudessa vähentämään ympäristöön kohdistuvia negatiivisia vaikutuksia ja edistämään positiivisia vaikutuksia. Ensimmäisessä osassa internetin kasvihuonejalanjäljen optimointia edistetään entisestään ja toisessa osassa esineiden internetin käyttö auttaa vähentämään kasvihuoneilmiötä. Koko vihreän esineiden internetin elinkaaren tulisi keskittyä vihreään suunnitteluun, vihreään tuotantoon, vihreään hyödyntämiseen ja vihreään hävittämiseen/kierrätykseen, jotta sen vaikutuksia ympäristöön ei olisi tai ne olisivat mahdollisimman pienet. (Shaikh ym., 2015; Zhu ym., 2015)

4.1 Vihreämpi esineiden internet

Suorien negatiivisesti ympäristöön vaikuttavien asioiden optimoiminen nähdään vihreän esineiden internetin suorina vaikutuksina. Esineiden internetin suorien negatiivisten ympäristövaikutusten vähentäminen voidaan jakaa esineiden internetin komponenttien ympäristöystävällisyyden optimointiin. Tässä luvussa käydään läpi kaikista suurimmat komponentit, jotka ovat myös esitelty taulukossa 1. Nämä komponentit ovat radiotaajuinen etätunnistus, langattomat sensoriverkot, pilvilaskenta (cloud computing), datakeskukset sekä koneiden välinen viestintä (M2M communications).

Komponentti	Ympäristöystävällisyyttä edistäviä esimerkkejä	Positiiviset vaikutukset ympäristöön	Lähteet
Radiotaajuinen etätunnistus	<ul style="list-style-type: none"> - Tunnisteiden koon pienentäminen - Biohajoavat, tulostettavat ja paperiset tunnisteet - Tunnisteiden tehokas irrottaminen - Energiatehokkuuden kehitys 	<ul style="list-style-type: none"> - Yleisesti materiaalin sekä haitallisten materiaalien määrän vähentyminen - Kierrätyksen ja hävittämisen helpottuminen - Energiankulutuksen vähentyminen 	Shaikh ym., (2015), Zhu ym., (2015)
Langattomat sensoriverkot	<ul style="list-style-type: none"> - Virransäästötilan tehokas hyödyntäminen - Energiankeräysmenetelmien tehostaminen ja kehittäminen 	<ul style="list-style-type: none"> - Energiankulutuksen vähentyminen - Laitteiden eliniän pidentyminen ja ongelmajätteen vähentyminen 	Shaikh ym., (2015), Zhu ym., (2015)

	- Datan keräyksen vähentäminen ja reitityksen optimointi		
Pilvilaskenta	- Dynaaminen varaaminen - Monivuokrasuhde - Palvelimien käyttöasteen kasvattaminen - Datakeskusten tehokkuus	- Energiankulutuksen vähentyminen - Infrastruktuuriin käytettyjen materiaalien vähentyminen	Murugesan & Gangadharan, (2012)
Datakeskukset	- Dynaaminen jännitetaajuuden skaalaus ja tehon hallinta - Tehokkaampien arkkitehtuurien käyttö - Virtualisointi	- Energiankulutuksen vähentyminen - Infrastruktuuriin käytettyjen materiaalien vähentyminen	Cavdar & Alagoz, (2012), Murugesan, (2008), Valancius ym., (2009)
Koneiden välinen viestintä	- Lähetystehon minimointi - Energiansäästömekanismien yhtenäistäminen, esim. kognitiivinen radio	- Energiankulutuksen vähentyminen	Lu ym., (2011)

TAULUKKO 1 Esineiden internetin suorien ympäristövaikutusten optimointi

RFID-tekniologian vihertäminen tapahtuu esimerkiksi niiden tunnisteen koon pienentämisellä, joka vähentää niihin käytettyjen hajoamattomien materiaalien määrää. Lisäksi perinteisiä tunnisteen tulisi pyrkiä korvaamaan biohajoavilla, tulostettavilla ja paperisilla RFID-tunnisteilla, jolloin hajoamattoman materiaalien määrä vähentyisi myös. (Zhu ym., 2015) RFID-tunnisteita on hyvin vaikea kierrättää ja hävittää ja näin ollen myös objektien, joihin RFID-tunniste on liitetty, kierrätys ja hävittäminen hankaloituu (Shaikh ym., 2015). Tunnisteen tehokas irrottaminen objekteista auttaisi tähän ongelmaan. Energiatohokkaiden algoritmien ja protokollien kehitys auttaisi optimoimaan RFID-tunnisteen estimointia, säätämään lähetystehon tasoa dynaamisesti, välttämään tunnisteen törmäyksiä toisiinsa ja muuhun ympäristöön sekä välttämään ylikuormitusta (Zhu ym., 2015).

Langattomien sensoriverkkojen vihertämiseen on kehitetty monia eri ratkaisuja. Zhu ym., (2015) esittelevät muutamia näistä ratkaisuista. Sensorinoodien käyttö tulisi rajoittaa vain niihin hetkiin, kun niiden tarvitsee työskennellä, muulloin noodien tulisi olla virransäästötilassa tai ”nukkumassa” säästääkseen virtaa. Energiankeräysmenetelmiä tulisi kehittää paremmaksi. Niissä voidaan hyödyntää langatonta latausta tai energian keräystä ympäristöstä, kuten aurinko- ja kineettinen energia sekä värinästä ja lämpötilojen vaihtelusta syntyvä energia. (Zhu ym., 2015) Tämä pidentää käytettyjen laitteiden elinikää ja vähentää ongelmajätettä sisältävien paristojen määrää (Shaikh ym., 2015). Zhu ym., (2015) mukaan kerättyä dataa tulisi myös optimoida ja vähentää, sillä turhan datan kerääminen, varastointi ja analysointi on turhaa kulutusta ja vie tallennustilaa. Datan vähentämismekanismia on esimerkiksi adaptiivinen näytteenotto, pakkaus, verkon koodaus ja datan aggregointi. Reititystekniikoita tulisi kehittää energiatohokkaammiksi. Tekniikoita näihin ovat esimerkiksi monireittinen reititys, klusteriarkkitehtuurit, energia reititysmittarina ja solmun mobiliteetti. (Zhu ym., 2015)

Pilvilaskennan yleistymisen myötä yhä enemmän sovelluksia ja dataa siirretään pilveen ja pilvipalveluiden datakeskukset kuluttavat valtavia määriä energiaa, mikä johtaa korkeisiin operatiivisiin kustannuksiin ja hiilidioksidipäästöihin (Shaikh ym., 2015). Pilvilaskennan vihertämiseen on myös kehitetty paljon eri toimintatapoja. Murugesan & Gangadharan, (2012) esittelevät neljä avaintekijää, jotka madaltavat huomattavasti pilvipalveluiden energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä:

- Ensimmäinen tekijä on dynaaminen varaaminen, mikä tarkoittaa, että käytetään koko ajan vain sen verran laskentatehoja, kun on tarpeen. Perinteisesti datakeskukset varautuvat pahimpaan mahdolliseen ruuhkaan, jolloin ne pitävät päällä koko ajan niin paljon tietokoneita, ettei ole mahdollista, että palvelimet ruuhkautuvat. Pilvilaskenta on mahdollistanut dynaamisen varaamisen, jolloin datakeskukset ylläpitävät aktiivisia palvelimia aina nykyisen kysynnän mukaan, mikä johtaa energiankulutuksen pienenemiseen verrattuna konservatiivisen lähestymistavan ylikuormitukseen.
- Toinen tekijä on monivuokrasuhde (multi-tenancy) lähestymistapa. Tämä tarkoittaa sitä, että palvelun tarjoaja palvelee monia eri yrityksiä samalla infrastruktuurilla ja ohjelmistolla. Tämä tapa on tietenkin paljon energiatehokkaampi, kuin useiden ohjelmistokopioiden luominen eri infrastruktuureihin. Lisäksi yrityksillä on yleensä hyvin vaihtelevia kysyntämalleja. Siten monivuokrasuhde mahdollistaa kysynnän huipun tasoittumisen, mikä voi minimoida ylimääräisen infrastruktuurin tarpeen ja pienentää kysynnän vaihtelua. Tämä johtaa tehokkaampaan ennustamiseen ja suurempiin energiasäästöihin.
- Kolmas tekijä on palvelimien käyttöasteen kasvattaminen. Yleisesti infrastruktuuri, joka ei hyödynnä pilvilaskentaa toimii erittäin alhaisella käyttöasteella. Virtualisointiteknologioiden avulla useita sovelluksia voidaan isännöidä ja suorittaa samalla palvelimella, joka nostaa käyttöasteen tasot jopa seitsemäänkymmeneen prosenttiin. Tämä vähentää dramaattisesti aktiivisten palvelimien määrää. Vaikka palvelimien korkea käyttöaste kuluttaakin enemmän energiaa, niin korkeammalla käyttöasteella toimivat palvelimet toteuttavat suuremman työmäärän samalla energian kulutuksella.
- Viimeinen tekijä on datakeskusten tehokkuus. Käyttäen energiatehokkaimpia teknologioita, pilvipalvelujen tarjoajat voivat parantaa energiatehokkuutta neljälläkymmenellä prosentilla verrattuna perinteisiin datakeskuksiin. Energiatehokkuutta parantavia tekijöitä ovat palvelinten suunnittelun parantaminen modulaaristen säiliöiden, vesi- tai ilmapohjaisen jäähdytyksen tai edistyneen virranhallinnan avulla. Lisäksi pilvilaskenta sallii palvelujen siirtämisen useampien datakeskusten välillä, mikä lisää energiatehokkuutta. Tämä pystytään toteuttamaan nopeiden verkkojen ja virtualisoidujen palveluiden avulla sekä mittauksen, datakeskusten seurannan ja kirjanpidon avulla.

Näiden pilvilaskennan piirteiden avulla organisaatiot voivat vähentää hiilidioksidipäästöjään vähintään kolmellakymmenellä prosentilla siirtämällä sovelluksensa pilveen. Säästöjä kasvattaa suurten pilvipalvelukeskusten korkea hyötysuhde. (Murugesan & Gangadharan, 2012)

Kuten on jo aiemminkin mainittu, datakeskukset kuluttavat eniten energiaa koko informaatioteknologiasta. Datakeskuksen laskentapalvelinten energiankulutusta voidaan vähentää dynaamisella jännitetaajuuden skaalauksella tai dynaamisella tehon hallinnalla,

mikä tarkoittaa sitä, että palvelimia kytketään joko pois päältä tai laitetaan ”nukkumaan” silloin, kun niillä ei ole käyttöä (Cavdar & Alagoz, 2012). Tehokkaampien arkkitehtuurien käyttö, kuten nanodatakeskus, pienentää energiankulutusta. Nanodatakeskus tarkoittaa hajautettua palvelualustaa, joka perustuu pieniin hallinnoituihin ”palvelimiin”, jotka sijaitsevat verkon reunoilla (Valancius, Laoutaris, Massoulié, Diot, & Rodriguez, 2009). Virtualisointi mahdollistaa sen, että yksi fyysinen palvelin voi jakaa infrastruktuuriaan muille virtuaalisille palvelimille. Tämän seurauksena saadaan vähennettyä fyysisten laitteiden määrää, mikä vähentää hankintakustannuksia, energiankulutusta ja jäähdytyksen tarvetta (Murugesan, 2008).

Lu, Li, Liang, Shen, & Lin, (2011) mukaan koneiden välisen viestinnän energiatehokkuutta voidaan optimoida vähentämällä lähetysteho minimaaliseksi, suunnittelemalla mahdollisimman tehokkaat viestintäprotokollat algoritmisten ja hajautettujen laskentatekniikoiden avulla, yhtenäistämällä energiansäästömekanismit esimerkiksi ylikuormitussuojauksella tai resurssien allokoinnilla ja hyödyntämällä energian keräämistä ja kognitiivisen radion (cognitive radio) etuja. Kognitiivisen radion etuja ovat taajuuksien tunnistaminen ja niiden hallinta, häiriöiden vähentäminen ja tehon optimointi. (Lu ym., 2011)

4.2 Vihreämpi ympäristö esineiden internetin avulla

Kuten jo luvussa 3 todettiin, IT:n positiiviset ympäristövaikutukset ovat paljon suuremmat muilla kuin itse IT:n aloilla. Koska esineiden internet on IT:n alakäsite, myös esineiden internetiä hyödyntämällä muilla aloilla, voidaan saavuttaa paljon suuremmat ympäristöhyödyt, kuin vain vihertämällä itse esineiden internetiä. Seuraavaksi esitellään erilaisia esineiden internetin sovelluksia, jotka auttavat edistämään ympäristön hyvinvointia, keskittyen juurikin näiden sovellusten mahdollistaviin ympäristöhyötyihin.

Esineiden internetin sovelluksia on kehitetty hyvin kirjavasti eri elämän alueille. Kuitenkin suurin osa näistä sovelluksista on vasta teorian tasolla ja niitä ei vielä voida hyödyntää yhteiskunnassamme (Atzori ym., 2010; Sethi & Sarangi, 2017). Käytössä olevat sovellukset hyödyntävät pääosin vain matalampien tasojen toimintoja, kuten RFID-teknologiaa. Aiemmat tutkimukset kuitenkin osoittavat, että esineiden internet tulee parantamaan huomattavasti elämänlaatua yhteiskunnassamme (Sethi & Sarangi, 2017).

Al-Fuqaha ym. (2015) määrittelee esineiden internetin sovellukset neljään eri tasoon, jotka ovat identiteettiin liittyvät sovellukset, tiedonkeruusovellukset, yhteistyöhön liittyvät sovellukset ja kaiken kattavat sovellukset. Identiteettiin liittyvät sovellukset ovat kaikkein alkeellisimpia ja tärkeimpiä, koska kaikkien sovellusten täytyy identifioida käyttämänsä objektit. Niitä hyödynnetään kaikissa muissa sovelluksissa. Tiedonkeruusovellukset keräävät ja yhdistävät ra’an datan, joka pitää käsitellä raportoida IoT-sovelluksille. Yhteistyöhön liittyvät sovellukset toimivat aiempien sovellusten yläpuolella. Ne analysoivat tuotettua dataa, tekevät päätöksiä ja reagoivat niiden perusteella. Kaiken kattavat sovellukset taas tarjoavat yhteistyöhön liittyviä sovelluksia aina, kun niitä tarvitaan ja kaikille, jotka niitä tarvitsevat, missä tahansa. Tavoitteena olisi, että kaikki esineiden internetin sovellukset tulisivat jossain vaiheessa olemaan kaiken kattavia, mutta tämä on hyvin haastavaa ja melko epätodennäköistä, sillä IoT-sovelluksiin liittyviä haasteita on vielä paljon. Suurin osa esineiden internetin sovelluksista toimiikin kolmella ensimmäisellä mainitulla tasolla. (Al-Fuqaha ym., 2015)

Shaikh ym., (2015) jakaa ympäristön hyvinvointia edistävät sovellukset karkeasti kuuteen eri kategoriaan, jotka ovat automatisoitu teollisuus, elinympäristön tarkkailu, terveys ja hyvinvointi, kuljetus, energiankäyttö sekä vihreä, älykäs kaupunki. Nämä sovellukset ovat myös koottu taulukkoon 2.

Sovelluskategoria	Ympäristöystävällisyyttä edistäviä esimerkkejä	Positiiviset vaikutukset ympäristöön	Lähteet
Automatisoitu teollisuus	- Tuotantokoneiden tehokkaampi ja optimoitu käyttö sekä seuranta	- Hiilidioksidipäästöjen vähentyminen - Energiankulutuksen vähentyminen - Resurssien vähentynyt käyttö - lämpö- ja materiaalihävikin vähentyminen	Al-Fuqaha ym., (2015), Shaikh ym., (2015)
Elinympäristön tarkkailu	- Luonnon tehokkaampi valvonta - Luonnonilmiöiden ehkäisy - Ilmansaasteiden tehokkaampi valvonta ja analysointi - Maanviljelyn optimointi - Vedenkäytön optimointi - Eläinten hyvinvoinnin parantaminen - Valtamerten ja vesistöjen tehokkaampi tutkiminen ja seuranta	- Ympäristön (kuten kasvien) tuhoutumisen vähentäminen - Luonnonilmiöistä koituvien haittojen ehkäisy - Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen - Maanviljelyyn käytettävien resurssien vähentyminen - Vedenkulutuksen vähentyminen - Tapaturmien vähentyminen - Kulkuneuvojen päästöjen vähentyminen	Khan ym., (2012), Miorandi ym., (2012), Sethi & Sarangi, (2017), Shaikh ym., (2015)
Terveys ja hyvinvointi	- Potilaille puettavat tai kiinteät terveydentilan seurausta edistävät IoT-laitteet - Vihreiden sairaaloiden ja laitteiden suosiminen ja käyttö - Älykkään tiedonkeräyksen hyödyntäminen	- Resurssien tehokkaampi käyttö - Energiankulutuksen vähentyminen - Sairaalaan/sairaalaan siirtymisen vähentyminen -> polttoaineen ym. vähentynyt käyttö	Al-Fuqaha ym., (2015), Miorandi ym., (2012), Shaikh ym., (2015)

	- Koneiden tekemän työn kasvattaminen suhteessa ihmisen työhön		
Kuljetus	- Älykäs pysäköinti - Älykäs liikenteenohjaus - Älykäs logistiikka	- Ilmansaasteiden vähentyminen - Polttoaineen kulutuksen vähentyminen - Elintarvikkeiden ym. hävikin pienentyminen - Energiankulutuksen vähentyminen	Shaikh ym., (2015)
Energiankäyttö	- Älykkäät sähköverkot	- Energiankulutuksen vähentyminen - Hiilidioksidipäästöjen vähentyminen	Al-Fuqaha ym., (2015), Shaikh ym., (2015)
Vihreä älykäs kaupunki	- Älykkäät rakennukset - Älykkäät katuvalot - Älykäs jätteiden lajittelu - Tehokkaampi ilmansaasteiden seuranta kaupungeissa	- Energiankulutuksen vähentyminen - Ilmastointiin, lämmitykseen ja valistukseen käytetyn energian vähentyminen - Vedenkulutuksen vähentyminen - Jätteistä koituvien ympäristöhaittojen vähentyminen	Al-Fuqaha ym., (2015), Khan ym., (2012), Sethi & Sarangi, (2017), Shaikh ym., (2015)

TAULUKKO 2 Esineiden internetin epäsuorien ympäristövaikutusten optimointi

4.2.1 Automatisoitu teollisuus

Shaikh ym., (2015) mukaan teollisuuden sektori on yksi suurimmista ympäristön saastuttajista. Esimerkiksi Iso-Britannia käyttää vuosittain teollisella sektorilla noin 36 miljoonaa tonnia öljyä ja kuluttaa siihen yli 16 miljardia dollaria. Tämä on yli kolmasosa maan vuosittaisesta energian kokonaiskulutuksesta. Esineiden internetin hyödyttäminen teollisuudessa johtaa erilaisiin sovelluksiin, jotka ovat auttaneet vähentämään hiilidioksidipäästöjä ja näin tarjonneet tietä vihreälle automatisoidulle teollisuudelle. (Shaikh ym., 2015)

Al-Fuqaha ym., (2015) mukaan automatisoitu teollisuus on teollisuuden koneistamista niin, että valmistus pystyttäisiin tekemään käyttäen mahdollisimman vähän ihmisten tekemää työtä. Sen avulla ryhmä koneita voi tuottaa tuotteita nopeammin ja tarkemmin kuin ihminen, keskittyen neljään eri elementtiin: kuljetukseen, käsittelyyn, havaintoihin ja viestintään. Esineiden internetiä käytetään automatisoidussa teollisuudessa tuotantolaitteiden operaatioiden, toimintojen ja tuottavuuden ohjaamiseen

ja tarkkailuun internetin välityksellä. Esimerkiksi jos jokin tuotantokone kohtaa äkillisen ongelman toiminnassaan, IoT-järjestelmä lähettää välittömästi huoltopyynnön huolto-osastolle ongelman korjaamiseksi. Tästä syystä energiankulutus pienenee, koska koneita pystytään käyttämään energiatehokkaammin ja resursseja kuluu vähemmän, sillä koneet pystyvät hyödyntämään resursseja tehokkaammin. (Al-Fuqaha ym., 2015) Shaikh ym., (2015) mukaan esineiden internetin tarjoamalla teknologialla voidaan myös tehokkaammin seurata teollisuuslaitosten erilaisia parametreja, kuten lämpötilaa, ilmansaasteita ja koneiden vikoja. Näitä parametreja voidaan sitten koostaa ja vertailla, jolloin voidaan pienentää energiankulutusta, syntyviä saasteita sekä turhaa lämpö- ja materiaalihävikkiä. Lisäksi langattomien sensoriverkkojen hyödyttäminen energiankulutuksen arvioinnissa ja suunnittelussa lisää energiatehokkuutta entisestään. (Shaikh ym., 2015)

4.2.2 Elinympäristön tarkkailu

Esineiden internet tarjoaa suuria hyötyjä ympäristön tarkkailuun, sen hyvinvoinnin edistämiseen ja negatiivisten vaikutusten ennakoimiseen, välttämiseen ja mittaamiseen. Miorandi ym., (2012) kertoo, että ihmiset ovat asentaneet luontoon todella paljon sensoreita ym., jotka mittaavat jatkuvasti lämpötilaa, tuulta, sadetta ja esimerkiksi jokien vedenkorkeuksia. Nämä viestivät keskenään ja lähettävät tietoa eteenpäin, joka analysoidaan isompina kokonaisuuksina. Tämän avulla pystytään analysoimaan tapahtumia, jotka voivat vaarantaa ihmisiä, eläimiä tai luontoa. Esineiden internet mahdollistaa myös sellaisten paikkojen, kuten tulivuorien, syvien vedenalaisten paikkojen tai syrjäisien alueiden analysoinnin, joihin ihminen ei muuten pääsisi niin helposti käsiksi. Näin pystytään paremmin reagoimaan ympäristölle haitallisiin luonnonilmiöihin, kuten metsäpaloihin, tulviin, maanjäristyksiin ja tulivuorenpurkauksiin. (Miorandi ym., 2012)

Esineiden internetiä voidaan hyödyntää enemmänkin valtamerten ja vesistöjen tutkimiseen. Shaikh ym., (2015) mukaan vedenalaisien sensoriverkkojen hyödyttäminen auttaa keräämään valtameristä tietoa saasteiden määrästä, estää merellä tapahtuvia tapaturmia ja ongelmia sekä tehostaa navigointia, mikä edistää ympäristöongelmien tietoisuutta, vähentää tapaturmista koituvia ympäristöhaittoja, kuten vaarallisten aineiden päätymistä vesistöihin, ja vedessä liikkuvien kulkuneuvojen päästöjen vähentämistä (Shaikh ym., 2015).

Esineiden internetin teknologian avulla pystytään myös analysoimaan ilmansaasteita, kuten autoista tulevia päästöjä. Tien pintaan voidaan asettaa sensoreita, jotka laskevat jokaisen ohi ajavan auton päästöt ja ilmoittavat automaattisesti, jos jonkin auton päästöt ylittävät päästörajoitukset, jolloin kyseinen auto voidaan pysäyttää ja asia voidaan korjata (Sethi & Sarangi, 2017). Myös maanviljelyn optimointiin on monia sovellusmahdollisuuksia. Älykkäät maanviljelyteknologiat auttavat maanviljelijöitä ymmärtämään paremmin viljeltävien kasvien kuntoa ja mahdollisia ongelmia (Khan ym., 2012). Tämä nostaa merkittävästi maanviljelyn tehokkuutta, parantaa viljeltävien tuotteiden laatua ja vähentää niihin käytettyjen resurssien määrää, kuten vettä ja lannoitteita (Khan ym., 2012). Kasvien paremman kunnon ansiosta ne poistavat tehokkaammin hiilidioksidia ilmasta. Vedenkäytön vähentäminen on myös suuri hyöty ympäristölle. Myös eläinten hyvinvoinnin parantaminen ja niiden tehokas kasvattaminen esineiden internetin teknologian avulla auttavat pienentämään eläinten aiheuttamia ympäristövaikutuksia (Shaikh ym., 2015).

4.2.3 Terveys ja hyvinvointi

Esineiden internetillä on hyvin tärkeä rooli terveydenhuollon saralla, sillä sensorien ja toimilaitteiden avulla pystytään tehostamaan potilaiden terveydentilan seuraamista ja lääkkeiden jakamista sekä annostelua (Al-Fuqaha ym., 2015). Miorandin ym. (2012) mukaan potilaat voivat pitää yllään sensoreita, jotka mittaavat heidän kehonlämpöään, verenpainettaan ja hengitystä. Muut laitteet, joko puettavat tai kiinteät, voivat kerätä tietoa potilaiden toiminnoista ja elinolosuhteista. Näistä kerätty informaatio lähetetään sitten terveyskeskukseen, missä hoitohenkilökunta voi tarpeen mukaan reagoida, jos potilaan tila muuttuu uhkaavasti. Tämä vähentää kulkemista sairaalaan ja kodin välillä, sekä tehostaa hoitoa entisestään. Ihmiset voivat myös käyttää esineiden internetin teknologiaa jokapäiväisessä elämässään seurataksaan päivittäisiä toimintojaan, kuten päivässä käveltyjen askelten määrää, kalorien kulutusta ja liikuntasuorituksiensa tuloksia, jolloin he saavat hyödyllisiä tietoja liittyen hyvinvointiinsa. (Miorandi ym., 2012)

Al-Fuqaha ym., (2015) esittelee yhden spesifin esimerkin älykkäästä terveydenhuollosta: eräässä sairaalassa on otettu käyttöön RFID-pohjainen sovellus, joka seuraa henkilökunnan käsienspesua sen jälkeen, kun he ovat hoitaneet potilasta. Tämän operaation käyttö voi ehkäistä tartuntojen määrää, joka aiheuttaa vuosittain 90 000 kuolemaa ja 30 miljardin dollarin tappiot. (Al-Fuqaha ym., 2015)

Shaikh ym., (2015) mukaan tällä hetkellä energiatehokkaita ratkaisuja potilaiden auttamiseksi tuetaan suosimalla ja kehittämällä vihreitä sairaaloita ja laitteita, jotka vaativat joko todella alhaista virtaa tai ei energianlähdettä lainkaan. Hyödyntämällä potilaiden ja lääketieteellisen laitteiston reaaliaikaista seuranta ja tunnistamista voidaan tehostaa hoitoa ja vähentää virheiden ja ongelmien määrää, mikä vähentää energiankulutusta ja resurssien turhaa käyttöä. Myös hyödyntämällä esimerkiksi älykästä tiedonkeräystä voidaan lyhentää käsittelyaikaa ja automatisoida hoitomenetelmien käsittelyä sekä hoidon ja toimenpiteiden tarkastusta. Koneiden tekemän työn kasvattaminen suhteessa ihmisten tekemään työhön vähentää ympäristön kuormitusta, sillä tiedot voidaan kerätä energiatehokkaammalla tavalla ja tallentaa automaattisesti pilveen jatkokäsittelyä varten. (Shaikh ym., 2015)

4.2.4 Kuljetus

Shaikh ym., (2015) mukaan autot, junat, bussit, polkupyörät ja tiet ovat nykyään yhä enemmän varusteltuina tunnisteilla, antureilla, toimilaitteilla ja tarvittavalla prosessointiteholla tärkeän tiedon lähettämiseksi liikenteenohjauspaikoille. Tällaiset edistyneet kuljetusjärjestelmät auttavat reitittämään liikennettä paremmin, tarjoavat turisteille asianmukaiset matkustustiedot ja seuraavat kuljetettujen tavaroiden tilaa. Sovellukset, joilla esineiden internet edistää ympäristön hyvinvointia liittyvät parkkeeraukseen, ruuhkien havaitsemiseen ja logistiikkaan/toimituksiin. (Shaikh ym., 2015)

Shaikh ym., (2015) mukaan ajoneuvojen lisääntynyt käyttö viime vuosina on aiheuttanut ongelman löytää vapaita paikkoja ajoneuvojen pysäköintiin, etenkin suurimmissa kaupungeissa. Tämä tilanne vaikuttaa ilman saastumiseen, polttoainehukkaan ja autoilijoiden mielialaan. Esineiden internetin teknologioihin pohjautuva älykäs pysäköintijärjestelmä lieventää tätä ongelmaa. Ajoneuvojen lisääntynyt käyttö on lisännyt myös liikenneruuhkien määrää. Esineiden internetin teknologiaa hyödyntämällä voidaan välttää liikenneruuhkia antamalla ajoneuvoille

mahdollisuus kommunikoida keskenään ja jakaa tietoja teistä ja niiden olosuhteista. Tämä vähentää hiilidioksidipäästöjä ja auttaa rakentamaan vihreää ympäristöä. Logistiikassa ja tavarantoimituksessa esineiden internet auttaa langattomien sensoriverkkojen ja radiotaajuisten etätunnistuksen avulla. Näillä teknologioilla mahdollistetaan toimitusketjujärjestelmien reaaliaikainen tarkkailu ja tuotteiden tietojen tarkempi ja reaaliaikaisempi keräys ja sen analysointi. Tehokkaammat kuljetusreitit, tavarantoimituksen laaduntarkkailu ja paremmin toimivat tilausjärjestelmät vähentävät elintarvike- ja muuta hävikkiä ja kuljetukseen käytettyjen kulkuneuvojen saasteita sekä energiankulutusta. (Shaikh ym., 2015)

4.2.5 Energiankäyttö

Al-Fuqaha ym., (2015) mukaan älykkäät sähköverkot hyödyntävät esineiden internetiä parantamaan ja tehostamaan talojen ja rakennusten energiankulutusta. Ne käyttävät esineiden internetiä yhdistääkseen miljoonia tai jopa miljardeja eri rakennusten mittareita energiantoimittajien verkkoon. Näitä mittareita käytetään energiankulutuksen keräämiseen, analysointiin, hallintaan, seurantaan ja organisointiin. Esineiden internet antaa energiantoimittajille mahdollisuuden parantaa palveluitaan vastaamaan kuluttajien tarpeita. Sen hyödyntäminen sähköverkoissa vähentää myös mahdollisia vikoja, lisää tehokkuutta ja parantaa palveluiden laatua. (Al-Fuqaha ym., 2015) Kaiken kaikkiaan sähköverkojen älykäs optimointi ja tehokkaammat mittarit sähkönkulutuksen seurantaan ja analysointiin auttavat käyttäjiä vähentämään heidän energiankulutustansa ja hiilidioksidipäästöjä (Shaikh ym., 2015).

4.2.6 Vihreä älykäs kaupunki

Älykäs kaupunki voidaan nähdä esimerkkinä kaiken kattavasta sovelluksesta. Se käsittää ihmisten elämän helpottamista kokonaisen kaupungin tasolla (Al-Fuqaha ym., 2015). Esimerkkejä kaupungissa käytetystä IoT-teknologiasta on liikenteen ja vesijärjestelmien tehostaminen (Sethi & Sarangi, 2017), ilmanlaadun tarkkailu, hätäreittien tehokas löytäminen (Khan ym., 2012) ja terveydenhuollon sekä yleisen turvallisuuden parantaminen (Miorandi ym., 2012). Lisäksi älykkääseen kaupunkiin voidaan liittää alakäsitteenä älykkäät rakennukset ja älykkäät kodit (Al-Fuqaha ym., 2015). Käytännössä älykäs kaupunki siis yhdistää kaikki muut esineiden internetin sovellukset ja hyödyntää niitä tavoitteenaan edistää kaupungin toimintaa mahdollisimman tehokkaasti. Tukholma ja Barcelona ovat tämänhetkisen tiedon mukaan älykkäimmät kaupungit maailmassa (Sethi & Sarangi, 2017).

Vihreissä älykkäissä kaupungeissa koko kaupungista on tehty tehokkaampi ja ympäristöystävällisempi. Terveydenhuolto, palvelut, kuljetukset, hallitus, kodit ja rakennukset toimivat edistäen ympäristön hyvinvointia (Al-Fuqaha ym., 2015; Shaikh ym., 2015). Shaikh ym., (2015) mukaan rakennuksista tehdään vihreämpiä älykkään teknologian avulla, jolloin esimerkiksi ilmastointi, lämmitys, vedenkulutus ja valaistus toimii tehokkaammin ja näin ollen ympäristöystävällisemmin. Myös esimerkiksi katuvalot sammutetaan valoa aistivien sensorien avulla valoisaan aikaan, jolloin säästetään huomattavasti energiaa. RFID-teknologiaa hyödyntämällä voidaan myös tehostaa jätteiden lajittelua ja kierrätystä, jolloin vääränlaisia roskia ja jätettä ei mene väärin lajittelukohteisiin. Lisäksi esineiden internetin teknologian hyödyntäminen tekee

ilmansaasteiden seurannasta yksinkertaisempaa ja parantaa siten ymmärrystä ympäristöstä. (Shaikh ym., 2015)

5 YHTEENVETO

Tässä kandidaatintutkielmassa käsiteltiin esineiden internetiä, vihreää IT:tä ja vihreää esineiden internetiä. Tutkielman huomio keskittyi esineiden internetin ympäristöystävällisyyden parantamiseen ja sen hyödyntämiseen ympäristön hyvinvoinnin edistämiseksi. Myös IT:n ja tarkemmin ottaen esineiden internetin vihertäminen ja sen avulla ympäristön hyvinvoinnin edistäminen ovat kasvaneet ihmisten toiminnassa. Tämän kirjallisuuskatsauksena toteutetun tutkielman tarkoituksena oli selvittää, miten esineiden internetiä voidaan vihertää ja miten sen avulla voidaan auttaa ympäristöä ja sen hyvinvointia. Tutkimuskysymys oli seuraava:

- Miten esineiden internetiä hyödyntämällä voidaan edistää ympäristön hyvinvointia?

Aluksi käsiteltiin esineiden internetiä ja vihreää IT:tä yleisesti. Esineiden internet voidaan kuvailla avoimeksi ja kattavaksi älykkäiden esineiden verkoksi, joka pystyy itsenäiseen organisointiin, informaation, datan ja resurssien jakamiseen sekä reagoimaan ja toimimaan ympäristönsä muuttuvissa olosuhteissa. Esineiden internet kehittyy kovaa tahtia ja sille on esitetty paljon yhteiskuntaa hyödyttäviä sovelluksia. Odotukset esineiden internetistä ja sen mahdollistavista asioista ovatkin suuret.

Vihreää IT:tä voidaan luonnehtia jakamalla se kolmeen kategoriaan: IT:n suorien ympäristövaikutusten minimoointiin, IT:n auttaviin toimiin muiden alojen ympäristövaikutusten minimoinnissa sekä IT:n hyödyntämiseen vihreämmän tietoisuuden levittämisessä. Tarve vihreälle IT:lle onkin kasvanut paljon viime vuosien aikana, sillä informaatio- ja kommunikaatioteknologia ja sen mukana nousseet päästöt ovat kasvaneet huomattavasti. Myös IT:n tarve muilla tieteen ja talouden sarjoilla on kasvanut johtuen IT:n mahdollisuuksista hyödyttää muita aloja ympäristön hyvinvoinnin kannalta.

Esineiden internetin hyödyttäminen ympäristön hyvinvoinnin edistämiseksi jaettiin kahteen osaan: Esineiden internetin omien ympäristövaikutusten minimoointiin ja esineiden internetin hyödyntämiseen muiden alojen ympäristövaikutusten minimoinnissa. Omien ympäristövaikutusten minimoointi toteutuu esineiden internetin eri komponenttien ympäristövaikutusten minimoinnissa. Näitä komponentteja ovat esimerkiksi radiotaajuinen etätunnistus, langattomat sensoriverkot, pilvilaskenta, datakeskukset sekä koneiden välinen viestintä. Muiden alojen ympäristövaikutusten minimoinnin edistäminen tapahtuu pääosin esineiden internetin erilaisten sovellusten avulla. Nämä sovellukset edistävät ympäristön hyvinvointia lähes jokaisella elämän osa-alueella, kuten teollisuudessa, elinympäristössä, terveydenhuollossa, kuljetuksessa, energiankäytössä sekä kaupungeissa kokonaisuudessa.

Tutkimuksesta selviää, että esineiden internetiä on mahdollista muuttaa ympäristöystävällisemmäksi. Vaikka tarkkoja lukuja onkin mahdotonta mitata, voidaan kuitenkin olettaa, että jälkimmäinen osa edistää ympäristön hyvinvointia paljon enemmän, kuin ensimmäinen. Tämä johtuu siitä, että koko IT:n aiheuttamat päästöt ympäristölle ovat vain noin 2-3% koko maailman ympäristöpäästöistä ja täten esineiden internetin osuus on tästä luvusta vielä vähemmän. Kuitenkin esineiden internetin mahdollistavat teknologiat edistävät ympäristön hyvinvointia huomattavasti. Lisäksi vihreä ajattelu kasvaa koko ajan maailmassa ja esineiden internetissä, joten ympäristöä edistäviä sovelluksia tulee jatkuvasti lisää ja ne kehittyvät entisestään. Jatkotutkimuksena

esineiden internetin eri komponenteille, kuten langattomille sensoriverkoille ja radiotaajuisille etätunnistusteknologioiden, tulisi luoda paremmat energiankulutusmallit, joiden kautta energiankulutusta olisi helpompi optimoida. Lisäksi esineiden internetin eri sovellusten, kuten älykkään kaupungin ja ympäristön tarkkailun sovellusten, palveluvaatimusten ja ominaisuuksien ymmärrystä olisi syytä parantaa.

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.
- Ashton, K. (2009). That ‘internet of things’ thing. *RFID journal*, 22(7), 97-114.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805.
- Bilal, M. (2017). A review of internet of things architecture, technologies and analysis smartphone-based attacks against 3D printers. arXiv preprint arXiv:1708.04560.
- Boudreau, M. C., Chen, A., & Huber, M. (2008). Green IS: Building sustainable business practices. *Information systems: A global text*, 1-17.
- Cavdar, D., & Alagoz, F. (2012, December). A survey of research on greening data centers. In *2012 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)* (pp. 3237-3242). IEEE.
- Chow, W. S., & Chen, Y. (2009). Intended belief and actual behavior in green computing in Hong Kong. *Journal of Computer Information Systems*, 50(2), 136-141.
- Chuang, S. P., & Huang, S. J. (2018). The effect of environmental corporate social responsibility on environmental performance and business competitiveness: The mediation of green information technology capital. *Journal of Business Ethics*, 150(4), 991-1009.
- Coetzee, L., & Eksteen, J. (2011). Internet of things—promise for the future? An Introduction.
- Daim, T., Justice, J., Krampits, M., Letts, M., Subramanian, G., & Thirumalai, M. (2009). Data center metrics: An energy efficiency model for information technology managers. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 20(6), 712-731.
- Huang, Y., & Li, G. (2010, August). Descriptive models for Internet of Things. In *2010 International Conference on Intelligent Control and Information Processing* (pp. 483-486). IEEE.
- IEC. (2014). International Electrotechnical Commission. White Paper. Internet of Things: Wireless Sensor Networks. Viitattu 31.12.2019. Haettu osoiteesta <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-internetofthings-LR-en.pdf>
- Jenkin, T. A., Webster, J., & McShane, L. (2011). An agenda for ‘Green’ information technology and systems research. *Information and Organization*, 21(1), 17-40.

- Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. (2012, December). Future internet: the internet of things architecture, possible applications and key challenges. In 2012 10th international conference on frontiers of information technology (pp. 257-260). IEEE.
- Kortuem, G., Kawsar, F., Sundramoorthy, V., & Fitton, D. (2009). Smart objects as building blocks for the internet of things. *IEEE Internet Computing*, 14(1), 44-51.
- 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.
- Lu, R., Li, X., Liang, X., Shen, X., & Lin, X. (2011). GRS: The green, reliability, and security of emerging machine to machine communications. *IEEE communications magazine*, 49(4), 28-35.
- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(05), 164.
- Mingay, S. (2007). Green IT: the new industry shock wave. *Gartner RAS Research Note G*, 153703(7).
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad hoc networks*, 10(7), 1497-1516.
- Mishra, D., Akman, I., & Mishra, A. (2014). Theory of reasoned action application for green information technology acceptance. *Computers in human behavior*, 36, 29-40.
- Molla, A., Cooper, V., Corbitt, B., Deng, H., Peszynski, K., Pittayachawan, S., & Teoh, S. Y. (2008). E-readiness to G-readiness: Developing a green information technology readiness framework. *ACIS 2008 Proceedings*, 35.
- Murugesan, S., & Gangadharan, G. R. (2012). Green IT: an overview. *Harnessing green IT: Principles and practices*, 1-21.
- Murugesan, S. (2008). *Harnessing green IT: Principles and practices*. *IT professional*, 10(1), 24-33.
- OECD. (2010). *Greener and Smarter: ICTs, the Environment and Climate Change*.
- Said, O., & Masud, M. (2013). Towards internet of things: Survey and future vision. *International Journal of Computer Networks*, 5(1), 1-17.
- Sethi, P., & Sarangi, S. R. (2017). Internet of things: architectures, protocols, and applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017.
- Shaikh, F. K., Zeadally, S., & Exposito, E. (2015). Enabling technologies for green internet of things. *IEEE Systems Journal*, 11(2), 983-994.

- Tan, L., & Wang, N. (2010, August). Future internet: The internet of things. In 2010 3rd international conference on advanced computer theory and engineering (ICACTE) (Vol. 5, pp. V5-376). IEEE.
- Valancius, V., Laoutaris, N., Massoulié, L., Diot, C., & Rodriguez, P. (2009, December). Greening the internet with nano data centers. In Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies (pp. 37-48). ACM.
- Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. *IEEE pervasive computing*, (1), 25-33.
- Wu, M., Lu, T. J., Ling, F. Y., Sun, J., & Du, H. Y. (2010, August). Research on the architecture of Internet of Things. In 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE) (Vol. 5, pp. V5-484). IEEE.
- Zhang, L., & Wang, Z. (2006, October). Integration of RFID into wireless sensor networks: architectures, opportunities and challenging problems. In 2006 Fifth international conference on grid and cooperative computing workshops (pp. 463-469). IEEE.
- Zhu, C., Leung, V. C., Shu, L., & Ngai, E. C. H. (2015). Green internet of things for smart world. *IEEE Access*, 3, 2151-2162.