

Toni Järvinen

**ESINEIDEN INTERNET ÄLYKAUPUNGEISSA - KESTÄVÄN KEHITYKSEN HAASTEISIIN VASTAAMINEN**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA  
2018

## TIIVISTELMÄ

Järvinen, Toni

Esineiden internet älykaupungeissa – Kestävän kehityksen haasteisiin vastaaminen

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2018, 34 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatin tutkielma

Ohjaaja: Pirhonen, Maritta

Esineiden internetiin kuuluvien laitteiden määrä kasvaa jatkuvasti tuottaen valtavan määrän dataa. Esineiden internetin tuottaman big datan avulla pystytään vastaamaan erilaisiin haasteisiin. Yksi tärkeimmistä haasteista on kestävän kehityksen turvaaminen. Kaupungistumisen myötä etenkin kaupunkialueilla on kasvava tarve vähentää päästöjen määrää sekä tehostaa julkisia palveluita, kuten jätteenhuoltoa ja liikennettä. Älykaupunki mahdollistaa näihin haasteisiin ratkaisuja. Tutkielmassa tullaan esittelemään erilaisia älykaupunkien ratkaisuja jotka edistävät kestävää kehitystä. Lisäksi tarkasteluun otetaan myös suomalaisia älykaupunkien käyttämiä älykkäitä infrastruktuureja ja sovelluksia. Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena.

Asiasanat: IoT, Esineiden internet, Big data, Data-analytiikka, Älykaupunki, Kestävä kehitys

## **ABSTRACT**

Järvinen, Toni

Internet of Things in smart cities - Responding to the challenges of sustainable development

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2018, 34 pp.

Information Systems Science, Bachelor's thesis

Supervisor: Pirhonen, Maritta

The number of devices connected on the Internet of Things continues to grow. This growth produces huge amount of data. The big data produced by the Internet of things can be used to solve different types of challenges. One of the most important challenges is to secure sustainable development. Because of the urbanization, there is a growing need to reduce emissions and improve public services such as waste management and traffic. The smart city enabled solutions to these challenges. This thesis will present various smart city solutions that helps the progress of sustainable development. Smart infrastructure and solutions used by smart cities in Finland will be taken under examination. The thesis has been written as a literature review.

Keywords: IoT, Internet of Things, Big data, Data analytics, smart city, sustainable development

## TAULUKOT

TAULUKKO 1 Suomalaiset älykaupungit .....	25
---	----

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ESINEIDEN INTERNET JA BIG DATA.....	8
	2.1 Esineiden internet .....	8
	2.2 Esineiden internetin arkkitehtuuri .....	9
	2.3 Big data ja pilvilaskenta .....	14
	2.3.1 Big data.....	14
	2.3.2 Data-analytiikka.....	15
3	ÄLYKAUPUNKI JA KESTÄVÄ KEHITYS.....	18
	3.1 Älykaupunki.....	18
	3.2 Kestävä kehitys.....	19
	3.3 Kestävä kehitys kaupungeissa .....	20
4	ESINEIDEN INTERNETIN SOVELTAMINEN KESTÄVÄN KEHITYKSEN HAASTEISIIN VASTAAMISESSA .....	22
	4.1 Esineiden internetin ratkaisut älykaupungeissa .....	22
	4.2 Älykkäitä kestävän kehityksen kaupunkiratkaisuja Suomessa .....	25
5	YHTEENVETO .....	28
	LÄHTEET.....	30

# 1 JOHDANTO

Internetin luomat mahdollisuudet ovat muuttaneet merkittävästi ihmisten jokapäiväistä elämää, mahdollistaen muun muassa kommunikaation paikasta riippumatta sekä erilaisia elämää helpottavia ratkaisuja. Esineiden internetiä ennustetaan seuraavaksi suureksi muutokseksi internetin käytössä. Se mahdollistaa internetin hyödyntämisen jokapäiväisessä elämässä ja laajentaa mahdollisuuksia sen käyttämiselle. (Atzori, Iera & Morabito, 2010)

Vuonna 2008 internetiin yhdistettyjen laitteiden määrä ylitti maapallolla elävien ihmisten määrän ja vuoteen 2020 mennessä on ennustettu esineiden internetiin kuuluvan jopa 50 miljardia laitetta (Rathore, Ahmad, Paul & Rho, 2016). Markkinoiden koko vuonna 2015 oli noin 700 miljardia euroa, ja vuosittainen kasvu laitteiden määrässä ja markkinoiden koossa on jopa 30 prosenttia (Sheth, 2016). Suuren kasvun vuoksi esineiden internet on otollinen aihe tutkimukselle, jotta sen potentiaali ja mahdollisuudet pystytään maksimoimaan mahdollisimman hyvin.

Teknologian ja talouden kehitys on johtanut ihmisten ja palveluiden keskittymisen kaupunkeihin. Kaupungistuminen synnyttää uusia työpaikkoja, sekä parantaa taloutta alueilla, joille ihmiset keskittyvät. Toisaalta se kasvattaa liikennemuutoksia, erilaisten päästöjen, kuten hiilidioksidin ja kasvihuonekaasujen suurempaa pääsyä ilmastoon, sekä jätteiden lisääntymistä. Tämä luo haasteen kestävä kehityksen tavoitteiden saavuttamiselle. Yhdistyneet kansakunnat ja Euroopan unioni ovat asettaneet kunnianhimoiset tavoitteet kestävä kehitykselle. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi tulee kehitellä älykkäitä ratkaisuja, jotka parantavat nykyisiä käytössä olevia ratkaisuja (Ahvenniemi, Huovila, Pinto-Seppä & Airaksinen, 2017)

Kasvaneisiin vaatimuksiin on kehitelty älykaupunkia, jonka avulla pystytään turvaamaan resurssien riittävyys kaupunkien koon kasvaessa (Cocchia, 2014). Älykaupunki on sidonnainen esineiden internetiin, sillä esineiden internetin luoman datan avulla pystytään tuottamaan erilaisia älykkäitä palveluita, joiden avulla pyritään parantamaan elämän laatua ja tehokkuutta kaupungeissa. Älykaupungille ei ole yhtä yleisessä käytössä olevaa määritelmää, mutta sen tarkoitukseksi voidaan sanoa julkisten resurssien hyödyn maksimoiminen ja

asukkaille tarjottavien palveluiden parantaminen, samalla kustannuksia laskien. (Zanella, Bui, Castellani, Vangelista & Zorzi, 2014)

Pelkästään älykaupunkimarkkinoiden on ennustettu kasvavan vuoteen 2020 mennessä satojen miljardien arvoiseksi. Älykaupunkimarkkinat koostuvat eri osa-alueista, kuten älykkäästä hallinnosta, älykkäästä liikkumisesta, älykkäistä rakennuksista ja älykkäästä ympäristöstä. (Zanella ym., 2014)

Tutkielmassa tullaan käsittelemään älykaupunkeja älykkään ympäristön näkökulmasta, sillä yksi ajankohtaisimmista ja globaaleista haasteista on se, kuinka pystymme vastaamaan kestäväen kehityksen haasteisiin luomalla uusia innovaatioita ja menetelmiä, ja näin ollen turvaamaan esimerkiksi juomaveden saannin ihmisille, sekä tehdä kaupungeista ja asuinoloista kestäviä, sekä energiatehokkaita. (Corbett & Mellouli, 2017)

Keskeisimmät käsitteet tutkielmassa ovat siis: esineiden internet, big data, älykaupunki ja kestävä kehitys. Näiden pohjalta tutkimuskysymykset tutkielmassa ovat seuraavat:

- Miten esineiden internetiä hyödynnetään älykaupungeissa?
- Minkälaisen esineiden internetin mahdollistamien ratkaisujen avulla saavutetaan kestäväen kehityksen tavoitteet älykaupungeissa?
- Minkälaisia kestäviä ratkaisuja on suomalaisissa älykaupungeissa?

Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, joten se pohjautuu vahvasti aiemmin tehtyyn tutkimuskirjallisuuteen. Olennaisena osana kirjallisuuskatsausta toimii lähteiden etsiminen. Keskeisten lähteiden löytämisen jälkeen ruvettiin suunnittelemaan tutkielman rakennetta. Rakenteen hahmottamisen jälkeen ruvettiin työstämään sisältölukuja. Sisältölukujen valmistumisen jälkeen työstettiin johdanto, sekä yhteenvetoluku. Ja aivan lopuksi käytiin läpi tutkielman muotoilu ja tarkastettiin että tutkielma on selkeä ja helposti seurattava.

Lähteidenhakuprosessissa keskeisinä tietokantoina ovat toimineet Scopus, sekä Google Scholar. Keskeisimmät hakutermit ovat olleet seuraavat: "iot", "internet of things", "Smart city", "sustainability", "Sustainable development", sekä "Sustainable smart cities". Myös edellämainittujen termien yhdistelmiä on käytetty lähteiden löytämiseen. Lähteitä valittaessa tärkeimpänä kriteerinä on sisällön lisäksi ollut lähteen luotettavuus, sekä viittausten määrä. Suurin osa tässä tutkielmassa käytetyistä lähteistä ovat olleet julkaisufoorumin mukaan toisen, tai kolmannen tason lähteitä.

Luvussa 2 käsitellään esineiden internet ja siihen vahvasti osana kuuluva big data. Toisessa luvussa tarkoituksena on antaa lukijalle selkeä kuva siitä, mikä on esineiden internet ja kuinka se toimii, sekä siitä, kuinka big dataa syntyy, mitä se on ja mitä sille tehdään. Luvussa 3 käsitellään älykaupunki, sekä kestävä kehitys. Luvussa 4 käydään läpi esineiden internetin mahdollistamia erilaisia sovelluksia ja ratkaisuja älykaupungeissa, niin yleisellä tasolla, kuin Suomen mittakaavassa.

## 2 ESINEIDEN INTERNET JA BIG DATA

Tässä luvussa esitellään käsitteet esineiden internet sekä big data.

### 2.1 Esineiden internet

Esineiden internetillä (tai asioiden internetillä, engl. Internet of Things) tarkoitetaan erilaisten keskenään kommunikoivien ja yhteiseen päämäärään pyrkivien asioiden ja esineiden kokonaisvaltaista läsnäoloa ympärillämme (Giusto, Lera, Atzori & Morabito, 2010). Kuitenkaan esineiden internetillä ei ole yhtä vakiintunutta käsitettä, vaan se pystytään määrittelemään monella eri tapaa. Yksinkertainen kuvaus on, että esineiden internet on internet infrastruktuuri, jossa jokapäiväiset internetiin yhdistetyt objektit pystyvät kommunikoimaan keskenään, sekä lähettämään ja vastaanottamaan datapaketteja. (Bibri, 2015)

Atzori, Iera ja Morabito (2010) esittävät tutkimuksessaan kolme lähestymistapaa esineiden internetiin. Ensimmäinen näistä lähestymistavoista on esineiden näkökulmasta, jolla tarkoitetaan esineiden internetin tunnistamista erilaisten "älyesineiden" kautta. Näitä esineitä ovat muun muassa erilaiset sensorit, RFID-tunnisteet tai muut vastaavat laitteet. (Atzori ym., 2010)

Toinen lähestymistapa on lähestyä esineiden internetiä internetin näkökulmasta. Tällöin tarkastelussa keskitytään erilaisiin internet-protokolleihin. Yksi mahdollistaja valtavan määrän laitteiden yhdistämiselle internetiin on IPv6-protokolla, joka korvaa vanhemman IPv4-protokollan, ja mahdollistaa lähes äärettömän määrän yksilöllisiä osoitteita eri laitteille (Bibri, 2017).

Kolmas lähestymistapa on lähestyä esineiden internetiä sen semantiikan kautta. Semantiikalla tarkoitetaan esineiden internetin kontekstissa sitä, kuinka erilaisia teknologioita voidaan käyttää eri esineiden ja informaation kuvaamiseen. Tällaisia teknologioita ovat muun muassa XML- (Extensible Markup Language) ja JSON- (JavaScript Object Notation) kielet. Semantiikan avulla pystytään saavuttamaan hyötyjä esimerkiksi datapakettien koossa, säilytystilan kanssa ilmenevissä ongelmissa, sekä energian kulutuksessa. (Su, Riekkö, Nurminen, Nieminen & Koskimies, 2015)



Euroopan unionin RFID-tunnisteiden käyttämistä ja käyttöönottoa tutkimiseen perustetun CASAGRAS-yhtymä esittelee vision esineiden internetistä globaalina infrastruktuurina, joka yhdistää virtuaaliset ja fyysiset esineet, sekä alleviivaa nykyisten ja kehitteillä olevien internet protokollien ja teknologioiden merkittävyyden, jotta esineiden internetistä tulisi autonomisten ja keskenään toimivien laitteiden luonnollinen arkkitehtuuri. (Atzori ym., 2010)

Keskeinen osa esineiden internetiä on sensoreiden keräämä data. Data voi olla lähtöisin mistä tahansa ilmiöstä, josta pystytään keräämään informaatiota, ja tämän datan avulla pyritään saavuttamaan jokin tietty päämäärä.

Datan säilytys ja prosessointi tapahtuu yleensä verkon reunalla tai jollain ulkoisella palvelimella. Mikäli mahdollista kerätty data pyritään esikäsittelmään, joko dataa keräävässä sensorissa, tai jossain muussa siihen soveltuvassa laitteessa. Tämän jälkeen data lähetetään normaalisti jollekin ulkoiselle palvelimelle, useimmiten pilvipalvelun avulla. Esineiden internetin laitteet ovat useimmiten rajoittuneita niiden pienen muistin, virran ja laskentakyvyn takia, mikä luo haasteita oikeanlaisen datan löytämiseksi. (Sethi & Sarangi, 2017)

## 2.2 Esineiden internetin arkkitehtuuri

Esineiden internet koostuu laitteista, jotka ovat yhteydessä internetiin ja jotka toimivat yhdessä toteuttaakseen monimutkaisia tehtäviä. Esineiden internetin verkosto rakentuu sulautetuista sensoreista, toimilaitteista (aktuaattori), prosessoreista ja vastaanottimista. Esineiden internet ei siis ole yksittäinen teknologia vaan se on pikemminkin monen eri teknologian yhdistelmä. (Sethi & Sarangi, 2017)

Esineiden internetillä ei ole yhtä laajasti hyväksyttyä arkkitehtuuria, mutta yksi yleisimmin käytetyistä malleista on Domingon (2012), Jian, Fengin, Fanin ja Lein (2012) esittämä kolmikerroksinen malli. Nimensä mukaan se koostuu kolmesta kerroksesta jotka ovat alhaalta ylöspäin kuvattuna seuraavat:

- Havaintokerros, jonka tarkoituksena on saada kaikki tarpeellinen tieto kerättyä talteen fyysisestä ympäristöstä. Havaintokerroksessa toimivat sensorit, langattomat WSN-verkot (engl. Wireless Sensor Network), RFID-järjestelmät, puhelimet, sekä muut laitteet, jotka pystyvät aistimaan ja keräämään informaatiota ympäristöstään. Tämä kerros luo pohjan esineiden internetille luomallaan ja keräämällään datalla.
- Verkkokerros, jonka perimmäisenä tarkoituksena on kuljettaa havaintokerrokselta saatu data eteenpäin sovelluskerrokselle. Verkkokerros käyttää langallisia, langattomia, puhelinverkkoja, langattomia WSN-verkkoja, Ethernetiä, WiFiä ja muita teknologioita datan kuljettamisen mahdollistamiseksi.
- Sovelluskerros, joka prosessoi ja analysoi monimutkaisen datan. Poistaen siitä ylimääräisen informaation, sekä muotoilee ja tulkitsee sen käyttäjälle haluttuun suuntaan. Data käännetään sisällöksi käyttäjälle,

ja sitä pystytään hyödyntämään esimerkiksi yrityksen hallinnossa, luonnonkatastrofien ehkäisemisessä, tuotantolinjan hallinnassa ja muissa vastaavissa tilanteissa. (Domingo, 2012; X. Jia, Q. Feng, T. Fan & Q. Lei, 2012)

Useasti käytetään myös CASAGRAS-yhtymään kuuluvan professori Anthony Furnessin vuonna 2008 hahmottelemaa viisitasoista arkkitehtuurimallia esineiden internetistä (Tan & Wang, 2010). Viisitasoisessa mallissa arkkitehtuurin viisi kerrosta alhaalta ylöspäin kuvattuna ovat:

- Havainnointikerros, joka sijaitsee alimmaisena ja sillä on sama tehtävä kuin kolmitasoisessa mallissa
- Kuljetuskerros, joka kuljettaa datan havainnointikerrokselta ylemmille kerroksille käyttäen samoja teknologioita kuin kolmikerroksisen mallin verkkokerros.
- Prosessointikerros, (tai väliohjelmistokerros) joka säilyttää, analysoi ja prosessoi kuljetuskerrokselta tulevaa dataa, käyttäen hyväkseen erilaisia tietokantoja, pilvilaskentaa ja big datan laskentatyökaluja.
- Sovelluskerros, joka toimii samalla periaatteella kuin kolmikerroksisessa mallissa.
- Liiketoimintakerros, joka on arkkitehtuurin ylin kerros ja sen vastuulla on hallita koko esineiden internetin järjestelmää, mukaan lukien sovellukset, liiketoiminnan ja tietosuojan. Kerroksen tarkoituksena on helpottaa liiketoiminasuunnitelmien rakentamista ja tulevaisuuden visiointia. (R. Khan, Khan, Zaheer & Khan, 2012; Mashal ym., 2015; Sethi & Sarangi, 2017)

Viisitasoinen arkkitehtuurimalli on kehitelty vastaamaan esineiden internetin kasvun myötä syntyneisiin haasteisiin ja mahdollisuuksiin, tuoden lisää ulottuvuuksia ja hallittavuutta arkkitehtuuriin.

**Sensorit ja toimilaitteet** ovat laitteita, jotka auttavat fyysisen ympäristön kanssa vuorovaikutuksessa olemista. Sensorilla tarkoitetaan laitetta, joka pystyy tarjoamaan palautetta omasta sisäisestä sekä sitä ympäröivän ympäristön tilasta. Sensori voi esimerkiksi olla älypuhelin tai pesukone. Jotta sensoreiden keräämästä datasta voidaan saavuttaa konkreettista hyötyä, tulee se kerätä ja analysoida järkevästi. Toimilaitte taas on laite, jota käytetään ympäristön muuttamiseen, esimerkiksi lämpötilasäädin. (Sethi & Sarangi, 2017)

Sensorit ovat olennainen osa älykkäitä esineitä ja sitä kautta esineiden internetiä. Jokaisen esineiden internetin sovelluksen tai ohjelman on sisällytettävä vähintään yksi sensori kerätäkseen dataa ympäristöstä. Sensoria voidaan kuvailla laitteeksi, joka havainnoi tai mittaa jotain fyysistä ominaisuutta tai syötetään ympäristöstään, sekä toimii ja reagoi tähän kerättyyn dataan tietyllä tavalla. (Bibri, 2018; Sethi & Sarangi, 2017)

Bibri ja Krogstie (2017) määrittelevät erilaiset sensorit sen mukaan mitä ja miten kutkin sensorit havaitsevat. Esimerkkejä sensoreista ovat muun muassa: Paikantamissensorit (käyttävät hyväkseen GPS-teknologiaa), optiset sensorit (Infrapuna-teknologia), valosensorit (Valokennot), äänisensorit (mikrofonit),

lämpösensorit (lämpömittarit), painesensorit (ilmapuntarit), liikesensorit (tutkat), biosensorit (sykemittarit), elonmerkkisensorit (sydämen seuranta laitteet), tunnistus- ja jäljityssensorit (RFID ja NFC). (Bibri & Krogstie, 2017)

Nykypäivänä kaikkialla läsnä olevat älypuhelimet toimivat hyvänä esimerkkinä sensorista. Niistä löytyvät useaan eri tarkoitukseen kelpaavat tunnistimet, joita pystytään hyödyntämään erilaisissa esineiden internetin sovelluksissa. Useat sovellukset, joita käytetään jokapäiväisessä elämässä keräävätkin dataa älypuhelimien käyttäjistä ja ympäristöstä ja auttavat näin sovellusta toimimaan paremmin ja helpottamaan käyttäjän elämää. (W. Z. Khan, Xiang, Aal-salem & Arshad, 2013)

Toimilaitteella tarkoitetaan laitetta, joka pystyy muokkaamaan ympäristöä haluamaansa suuntaan. Ne voivat toimia automaattisesti tai niitä voi käyttää manuaalisesti käyttöliittymän kautta. Toimilaitteet tuottavat liikettä ja ne voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: sähköisiin (käyttävät sähköä toiminnan tuottamiseen), hydraulisiin (tuottavat mekaanista liikettä nesteen tai hydrauliiikan avulla) ja paineilmallisiin (käyttävät paineilmaa toiminnan tuottamiseen) toimilaitteisiin. Toimilaitteita käytetään esimerkiksi lukkojen avaamiseen/sulkemiseen, hälytysten luomiseen tai älykodin hallintaan. (Sethi & Sarangi, 2017)

Yleisimpiä sensoreiden käyttämiä teknologioita ovat RFID- (Radio Frequency Identification) ja NFC-teknologiat (Near Field Communication). **RFID-teknologia** on tunnistusteknologia, jossa RFID-tunniste (tai RFID-tägi), joka sisältää dataa, luetaan RFID-lukijalla, jolloin data siirtyy tunnisteesta lukijaan radioaaltojen avulla. Parhaimmillaan lukija pystyy lukemaan tägejä muutaman sadan metrin päästä. (Want, 2006)

RFID-laitteita on olemassa kahden tyyppisiä, aktiivisia ja passiivisia. Aktiiviset tunnisteet tarvitsevat energian lähteen toimiakseen, jolloin ne ovat joko yhdistetty virtalähteisiin, tai ne käyttävät akkua toimiakseen. Passiiviset tunnisteet puolestaan eivät tarvitse virtalähteitä toimiakseen, vaan ne toimivat lukijan lähettämällä virralla. (Sethi & Sarangi, 2017; Want, 2006)

**NFC-teknologia** perustuu RFID-teknologiaan ja se käyttää hyväkseen magneettista kenttää, joka mahdollistaa kahden NFC-teknologialla varustellun laitteen kommunikaation keskenään. NFC toimii vain lyhyellä muutaman senttimetrin kantamalla. NFC-teknologiassa on kaksi erilaista tyyppiä, aktiivinen ja passiivinen. Aktiivisessa tyyppissä kumpikin laite synnyttää magneettisen kentän mahdollistaakseen kommunikaation, kun taas passiivisessa vain toinen laite synnyttää magneettisen kentän. Passiivinen tyyppi on siis energiaa säästäväisempi.

Suurimpana erona RFID-teknologiaan on se, että NFC-teknologian avulla pystytään kommunikoimaan kumpaankin suuntaan, eli kumpikin laite pystyy sekä lähettämään, että vastaanottamaan dataa. NFC-teknologia on käytössä esimerkiksi lähes kaikissa älypuhelimissa ja lähimaksumahdollisuuden sisältävissä pankkikorteissa. (Sethi & Sarangi, 2017)

**Datan esikäsittely:** Sensorien keräämä data vaihtelee paljon ja kerätty data sisältää paljon päällekkäistä ja turhaa tietoa, jolloin sen tallentaminen ja säilyttäminen aiheuttavat paljon turhaa tallennustilan käyttöä sekä vaikeuttaa da-

tan analysointia. Tämän takia kerätty data tulee esikäsitellä, jotta siitä saatava hyöty pystytään maksimoimaan. (M. Chen, Mao & Liu, 2014)

Datan esikäsitely koostuu datan integroinnista, puhdistamisesta sekä päällekkäisyyden poistamisesta. Datan integrointi, jolla tarkoitetaan useasta eri lähteestä tulevan datan yhdistämistä tarjoamalla käyttäjälle yhdistetyn kattauksen eri lähteistä tulleesta datasta (Lenzerini, 2002). Datan puhdistaminen, jolla tarkoitetaan epätarkan, keskeneräisen tai irrallisen datan tunnistamista, ja sen muokkaamista tai poistamista, jotta datan laatua pystytään parantamaan (Chen ym., 2014). Datan päällekkäisyyden poistaminen, jolla tarkoitetaan toisteisen tai ylimääräisen datan tunnistamista ja poistamista, jonka ansiosta pystytään saavuttamaan säästöjä niin datan kuljetuskustannuksissa, kuin datan säilytystilan suhteen (Chen ym., 2014).

**Kommunikointi:** Lähes kaikki nykypäivän tiedonsiirto pohjautuu vuonna 1984 ISO-järjestön (International Organisation for Standardization) kehittämään OSI-malliin (engl. Open Systems Interconnection), mikä on käsitteellinen malli, jonka tarkoituksena on kuvailla ja yhdenmukaistaa tärkeimmät tiedonsiirtoon vaadittavat toiminnot riippumatta käytettävästä laitteistosta ja teknologiasta. (Rayes & Salam, 2017)

OSI-malli koostuu seitsemästä kerroksesta, jotka ovat olennainen osa tiedonsiirtoa laitteiden välillä. Kerrokset ovat ylhäältä alaspäin kuvattuna seuraavat: Sovelluskerros, Esitystapakerros, Istuntokerros, Kuljetuskerros, Verkkokerros, Siirtokerros ja Fyysinen kerros. Jokainen kerroksista tarjoaa viereisille kerroksille palveluita datan kuljetuksen mahdollistamiseksi. (Rayes & Salam, 2017)

OSI-malli on vaikuttanut TCP/IP-tietoliikenneprotokollan (engl. Transmission Control Protocol/Internet Protocol) kehitykseen. TCP/IP-protokolla on olennainen osa esineiden internetin tiedonsiirtoa. TCP-protokolla lähettää datapaketit epämuodollisissa sarjoissa tavuja, käyttäen apunaan sarjanumeroita sekä hyväksymisviestejä laitteiden välillä. Verrattuna OSI-malliin, TCP-protokolla mahdollistaa datan uudelleen lähettämisen, mikäli data ei pääse perille asti. TCP-protokolla pystyy myös hallitsemaan datan lähettämisen ja vastaanottamisen nopeutta, mikäli laitteiden väleillä on eroja sekä lähettämään paketit oikeassa järjestyksessä vastaanottajalle. Näiden syiden takia TCP toimii luotettavana tiedonsiirto-protokollana. (Rayes & Salam, 2017)

Esineiden internetin laitteiden rajoittuneisuuden takia kommunikaatioon liittyy spesifejä haasteita kuten: laitteiden yksilöllinen tunnistaminen, virtaa säästävä kommunikaatio, reititys protokollat, nopea ja paketit perille toimittava kommunikaatio, sekä älylaitteiden liikkuvuus. (Zeng, Guo & Cheng, 2011)

Matalatehoiseen tiedonsiirtoon käytettävissä oleva protokolla on 6LoWPAN (IPv6 over Low power WPAN), jota käytetään pakettien lähettämiseen IEEE 802.15.4 standardia käytettäessä mikä on käytössä esineiden internetin fyysisen kerroksen datan siirrossa (Palattella ym., 2013).

Yleensä kommunikaatio esineiden internetissä toteutuu käyttäen IP-protokollaa ja IETF (The Internet Engineering Task Force) on luonut esineiden internetin protokollan normaalin IP-protokollan pohjalta. Normaali TCP/IP-protokolla koostuu neljästä kerroksesta, jotka ovat: sovelluskerros, kuljetuskerros, verkkokerros ja fyysinen kerros. Esineiden internetin IP-protokollassa uutena kerroksena normaaliin TCP/IP-protokollaan tulee sopeutumiskerros

(Adaptation layer). Palattella ym., (2013) määrittelevät esineiden internetin IP-protokolla toiminnan seuraavasti:

- Fyysinen ja MAC-kerros, joka käyttää IEEE 802.15.4-protokollaa joka on suunniteltu mahdollistamaan kommunikaatio suppeille, matalan tehon laitteille, joista esineiden internet koostuu. IEEE 802.15.4-protokolla käyttää lähettämiseen vain prosentin WiFi-verkkojen vaatimasta virrasta.
- Sopeutumiskerros, joka käyttää 6LoWPAN-protokollaa (IPv6 over low power wireless personal area networks), joka toimii IEEE 802.15.4-protokollan päällä ja näin mahdollistaa kommunikaation fyysisen kerroksen ja kuljetuskerroksen välillä.
- Verkkokerros, joka noudattaa reititys protokollaa (RPL) matalatehoisille verkoille (engl. Low Power and Lossy Networks, LLNs), joka pyrkii laskemaan parhaan mahdollisen reitin, jotta laitteet pystyvät toimimaan mahdollisimman vähällä teholla ja viiveellä paketteja siirtäessä (Vasseur ym., 2011).
- Kuljetuskerros, joka käyttää esineiden internetissä TCP-protokollan sijasta UDP-protokollaa, joka sopii paremmin esineiden internetin asetamiin rajoitteisiin.
- Sovelluskerros, jossa käytetään yleensä joitain HTTP-protokollan variaatioita, kuten Constrained Application Protocol (CoAP) tai Message Query Telemetry Transport (MQTT), jotka ovat suunniteltuja esineiden internetin rajoitettuihin vaatimuksiin ja ympäristöön.

**Prosessointi/väliohjelmisto:** Prosessointi - tai väliohjelmistokerros (engl. Middleware) on ohjelmistokerros, joka toimii teknologioiden ja sovellusten välissä. Sen tehtävänä on piilottaa eri tekniikoiden yksityiskohdat ja tarjota ohjelmointirajapinta (engl. Application programming interface, API), jotta ohjelmistokehittäjä pystyy keskittymään vain hänelle olennaisiin asioihin. (Atzori ym., 2010)

Väliohjelmistokerros pyrkii tarjoamaan toiminnallisia elementtejä, kuten:

- Yhteentoimivuus, jonka avulla mahdollistetaan eri sovellusten välinen informaation vaihdanta hyödyntäen erilaisia kommunikointirajapintoja.
- Kontekstin tunnistaminen, jonka tehtävänä on tunnistaa kerätystä datasta tietyt elementit, joiden avulla pystytään tuottamaan oikeanlainen tulos. Tähän reagoidaan prosessoimalla kerätty data ja tuottamaan vaadittuja ratkaisuja ja päätöksiä.
- Laitteiden löytäminen ja hallitseminen, joka mahdollistaa esineiden internetin verkossa olevien laitteiden löytää toisensa ja lähettää tietoja omasta sijainnistaan.
- Turvallisuus, jonka tehtävänä on luoda luotettavuutta ja todenperäisyyttä.

- Datan määrän hallinta, jonka tehtävänä on vähentää eri lähteistä tulevan datan määrää sovelluskerrokselle.
- Pilvipalvelut, koska suurin osa esineiden internetin tuottamasta datasta analysoidaan pilvessä, tulee väliohjelmistokerroksen toimia erilaisen pilvipalveluiden kanssa (Sethi & Sarangi, 2017)
- Skaalautuvuus, vaatimusten kasvaessa väliohjelmistokerroksen tehtäväksi jää vastata skaalautuvuudesta. (Bandyopadhyay, Sengupta, Maiti & Dutta, 2011; Sethi & Sarangi, 2017)

**Sovellukset/ohjelmat:** Esineiden internetin sovellukset vaikuttavat eri aihealueilla. Sovellukset pystytään määrittelemään internetin tyyppin, kattavuuden, skaalautuvuuden, heterogeenisyyden, toistettavuuden, käyttäjän osallistumisen sekä sovelluksen vaikuttamisen mukaan (Gluhak ym., 2011). Yleisimmät tutkimuksissa esiintyvät esineiden internetin sovellusten aihealueet keskittyvät muun muassa: terveydenhuoltoon, kodin ja kodinkoneiden hallintaan, ympäristön- ja veden huoltoon, liikenteen ohjaukseen sekä yritysten toiminnan tehostamiseen. (Bibri & Krogstie, 2017)

## 2.3 Big data ja pilvilaskenta

### 2.3.1 Big data

Yhdistämällä suuren määrän fyysisiä sensoreilla varustettuja esineitä ja asioita internetiin synnyttää valtavan määrän dataa. Tätä dataa kutsutaan big dataksi. Yksinkertaisesti kuvailtuna big datalla tarkoitetaan kokoelmaa dataa, joka on liian suuri perinteisille, datan käsittelyyn tarkoitetuille järjestelmille (Bibri, 2017). Suuren määränsä vuoksi big data ylittää perinteisen laitteistoympäristön ja ohjelmistotyökalujen kyvykkyyden säilytystilan, hallinnan ja prosessoinnin suhteen. (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari & Ayyash, 2015)

Gartnerin analyytikko Doug Laney esitteli vuonna 2001 kolmen V:n mallin, jonka avulla määritellään datan kasvun tuottamia haasteita ja mahdollisuuksia. Tämän mallin V:t ovat seuraavat: volyyymi (engl. volume), nopeus (engl. velocity) ja monipuolisuus (engl. variety). Volyymin tarkoituksena on kuvailla datan määrää sen kasvaessa, nopeudella tarkoitetaan sitä, kuinka nopeasti data pystytään prosessoimaan ja monipuolisuudella tarkoitetaan erityyppistä dataa. (Laney, 2001) Kolmen V:n mallin perusteella big datan hallinta pohjautuu kaikkien näiden kolmen V:n kasvamiseen, eikä vain pelkän datan määrän kasvuun.

Kolmen V:n malliin on myöhemmin lisätty kaksi muuta V:tä, arvo (engl. value) ja totuudenmukaisuus (veracity). Arvon lisääminen malliin korostaa big datan sisältämiä mahdollisuuksia, sekä tuo esille sen suurimman haasteen: kuinka löytää valtavasta määrästä dataa erilaiset arvokkaat tiedot. Totuudenmukaisuudella taas tarkoitetaan, että käytettävissä oleva data on luotettavaa,

eikä sitä ole muokattu tai käsitelty kolmannen osapuolen toimesta. (Chen ym., 2014; Demchenko, Grosso, De Laat & Membrey, 2013)

Esineiden internetin tuottama big data eroaa perinteisestä big datasta sillä, että esineiden internetin tuottama data on yleensä perinteistä dataa heterogeenisempää, epämuodollisempaa ja se sisältää paljon päällekkäistä tai turhaa dataa. Kuitenkin esineiden internetistä pystytään erottamaan kolme ominaisuutta, joiden ansiosta se pystytään selvästi yhdistämään big dataan. Nämä ominaisuudet ovat: valtava määrä laitteita jotka tuottavat valtavan määrän dataa, esineiden internetin tuottama data on jäsentelemätöntä, tai puoliksi jäsenneltyä ja esineiden internetin data on hyödytöntä, ellei sitä analysoida. (Chen ym., 2014)

### 2.3.2 Data-analytiikka

Data-analytiikalla tarkoitetaan sopivien tilastollisten metodien käyttämistä suurten datamäärien analysointiin. Esimerkiksi keskittää, eritellä ja jalostaa hyödyllinen data, jotta löydetään olennaisesti kontekstiin kuuluva data, sen arvon maksimoimiseksi, sekä uuden hyödyllisen tiedon luomiseksi. Data-analytiikan avulla pystytään hyödyntämään esineiden internetin sensoreilta tulevaa dataa ja saavuttamaan sen avulla jotain konkreettista hyötyä, kuten suunnittelemaan linjauksia niin yrityksissä, kuin valtioiden tasolla, tai parantamaan erilaisten palveluiden ja hyödykkeiden laatua. (Bibri, 2017; Chen ym., 2014)

Big datan myötä vaatimukset data-analytiikan työkaluille ovat kasvaneet datan määrän kasvaessa. Hyvin prosessointitehoa tarjoavien datakeskusten lisäksi yhtenä vaihtoehtona data-analytiikan työkaluiksi toimivat kaikkialla ympäristössä olevat älylaitteet, jotka ovat toimettomina suurimman osan ajastaan. Nämä älylaitteet luovat verkoston, jossa laskentateho riittää datan analysointiin esineiden internetissä. (Mukherjee, Paul, Dey & Banerjee, 2014)

**Pilvilaskennan** avulla dataa pystytään hallitsemaan etänä, luotettavasti ja edullisesti (Al-Fuqaha ym., 2015). Pilvilaskenta on internetin välityksellä toimivien sovellusten ja datakeskuksissa toimivien laitteistojen ja järjestelmien muodostama verkosto, jossa datan laskenta ja säilytys toteutetaan etänä datakeskuksissa eli ”pilvissä” (Armbrust ym., 2010).

Pilvipalvelut pystytään jakamaan kolmeen eri pääkategoriaan, jotka ovat PaaS (Platform as a Service), SaaS (Software as a Service) ja IaaS (Infrastructure as a Service). PaaS on pilvipalvelu, jossa tarjotaan palvelualustan ulkoistamiseen tärkeitä vaihtoehtoja, kuten käyttöjärjestelmän ja sovelluskehitysviitekehityksen tukea. SaaS-pilvipalvelu tarjoaa sovellusten tai ohjelmiston käytön etänä ilman tarvetta asentamiselle omalle laitteelle. IaaS-pilvipalvelulla tarkoitetaan prosessointi-, tallennus- ja verkkopalveluita, käyttäjän pystyessä hallitsemaan käyttöjärjestelmää, tallennustilaa ja sovelluksia. (Botta, De Donato, Persico & Pescapé, 2016)

Pilvilaskennan ja esineiden internetin yhdistäminen on kuitenkin haasteellista erinäisistä syistä johtuen. Al-Fuqaha ym. (2015) mainitsevat haasteiksi seuraavat:

- Synkronointi, koska useasti käytössä on useita eri pilvilaskennan palveluita eri tarjoajilta, on haasteellista mahdollistaa reaaliaikaisia palveluita, sillä ne ovat usein muodostettu monen päällekkäisen pilvipalvelun kesken.
- Standardisointi, usean pilvipalveluntarjoajan kesken kommunikointi luo haasteen standardisoinnille.
- Luotettavuus, tietoturva luo haasteen pilvipalveluiden ja esineiden internetin laitteiden välille, niiden poikkeavien turvallisuusrakenteiden takia.
- Hallinta, pilvipalveluiden ja esineiden internetin järjestelmien hallinta on haastavaa, koska kummatkin omaavat erilaiset resurssit ja komponentit.
- Arvon luominen, kuinka esineiden internetin pilvipalveluilla pystytään tuottamaan lisäarvoa asiakkaan toiminnalle ja vastaamaan odotuksiin, verrattuna perinteisiin menetelmiin.

Useat pilvilaskennan käyttäjät käyttävät pilvilaskentaa datan varastointiin ja jakamiseen, sekä tietokantojen analysoinnin työkaluna, apuna johtamisessa, sekä päätöksenteossa. Pilvilaskenta toimii suurten datamäärien käsittelyssä, tieteellisten ongelmien ratkaisemisen apuna, sekä kuten tässä tutkielmassa myöhemmin selviää, apuna urbaanin big datan keräämisessä kestävässä älykaupungeissa. (Bibri, 2018; Paquette, Jaeger & Wilson, 2010)

**Sumulaskenta** (engl. Fog computing) toimii siltana älylaitteiden ja suurten kokoluokkien pilvilaskenta ja tallennuspalveluiden välillä. Pilvilaskenta omaa huomattavasti suuremman laskentatehon, säilytystilan ja kommunikointipalvelut, mutta sumulaskenta toimii erinomaisesti pienemmän kokoluokan järjestelmille, joita useat esineiden internetin järjestelmät ovat. Etuina sumulaskennalla ovat lähempänä tapahtuva laskenta, joka tarjoaa nopeamman reaaliaikaisen palveluiden tuottamisen, kun dataa ei tarvitse lähettää erikseen pilvipalvelimille. (Al-Fuqaha ym., 2015)

Sumulaskennalla tarkoitetaan laskenta, tallennus ja verkon palveluiden toteuttamista pilvilaskentakeskusten ja loppukäyttäjien laitteiden välillä. Sumupalvelu siirtää edellä mainitut palvelut datakeskuksilta tietoverkkoihin, joissa toimivat laitteet toteuttavat palvelut, joko tietoverkkojen solmuissa, tai tietoverkkojen laidoilla toimivissa laitteissa. Siirtämällä laskennan lähemmäksi loppukäyttäjää pystytään välttämään perinteisen pilvilaskennan heikkouksia. (Bonomi, Milito, Zhu & Addepalli, 2012; Perera, Qin, Estrella, Reiff-Marganec & Vasilakos, 2017)

Sumulaskenta ei noudata yhtä tiettyä arkkitehtuuria vaan se on enemmänkin käsite, jonka tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman suuri osa datan analysoinnista tietoverkkojen solmuissa (Yannuzzi, Milito, Serral-Graciá, Montero & Nemirovsky, 2014). Onkin hyvä ymmärtää, että sumulaskennan tarkoituksena ei ole syrjäyttää kokonaan pilvilaskennan osuutta datan analysoinnissa, vaan esikäsitellä mahdollisimman paljon dataa tietoverkon omassa piirissä, jolloin datakeskusten vastuulle ei jää niin paljoa (Perera ym., 2017).



Sumu- ja **reunalaskennan** (engl. edge computing) tavoitteina on rajoittaa pilveen siirrettävän datan määrää, vähentää tietoverkkojen ja internetin latenssia, sekä parantaa järjestelmän vastausaikaa etäjärjestelmissä. Sumu- ja reunalaskennan ero tulee siinä millä tasolla datan prosessointi suoritetaan. Sumulaskennassa prosessointi tapahtuu LAN-verkon (lähiverkko) tasolla, jossa data prosessoidaan joko tietoverkon solmukohtassa tai esineiden internetin yhdyskäytävässä. (Bibri, 2018)

Reunalaskennassa prosessointi puolestaan tapahtuu "reunalaitteissa". "Reunalaitteella" tarkoitetaan mitä tahansa laskenta- tai tietoverkkolaitetta, joka on sijoitettu datan lähteiden (sensoreiden) ja pilvipalveluiden välille. Reunalaskennassa laskennan tulisi tapahtua datan lähteiden läheisyydessä. Vaikka sumu- ja reunalaskenta toimivat pitkälti samalla tavalla, keskittyy reunalaskenta enemmän esineiden ja sumulaskenta puolestaan infrastruktuurin näkökulmaan. (Shi, Cao, Zhang, Li & Xu, 2016)

Sumulaskenta vaatii monia erilaisia yhteyksiä ja protokollia laitteiden kommunikaation mahdollistamiseksi ja jokainen näistä yhteyksistä kasvattaa vikojen ilmenemisen mahdollisuutta dataa kuljettaessa. Reunalaskenta taas yksinkertaistaa kommunikaatioketjua lähettämällä datan prosessoitavaksi mahdollisimman lähellä olevaan reunalaitteeseen. Näin ollen reunalaskenta parantaa tehokkuutta datan määrän kasvaessa, koska kommunikaatioketjusta tulee yksinkertaisempi, mikä johtaa nopeampaan tiedonsiirtoon ja näin ollen tehostaa esineiden internetin sovellusten toimivuutta. (Bibri, 2018)

### 3 ÄLYKAUPUNKI JA KESTÄVÄ KEHITYS

Tässä luvussa käsitellään käsitteet älykaupunki ja kestävä kehitys, sekä näiden pohjalta kestävä älykaupungin viitekehys.

#### 3.1 Älykaupunki

Älykaupunki (engl. Smart city) on käsitteenä monimerkityksellinen ja sille ei löydy kirjallisuudesta yhtä tiettyä yleisesti hyväksyttyä käsitettä. Keskeistä älykaupungeissa on niiden pohjautuminen tieto- ja viestintätekniiikan laajalmaiselle hyödyntämiselle kaupunkikontekstissa. Yleisesti ottaen voidaan sanoa älykaupungin tarkoituksena olevan ihmisten elämänlaadun parantaminen sekä kaupunkien resurssien käytön tehostaminen. (Mustonen, Koponen & Spilling, 2015; Neirotti, De Marco, Cagliano, Mangano & Scorrano, 2014)

Yksi älykaupungin tärkeimmistä tehtävistä on löytää oikea data, oikeaan aikaan ja oikeassa paikassa. Tämä data mahdollistaa etenkin päätösten teon parantamisen. Tämä paranneltu päätösten tekeminen mahdollistaa valtioiden ja kaupunkien paremman ja nopeamman kehityksen, kun pystytään tekemään aiempaa parempia ratkaisuja, aiempaa nopeammin. (Rathore ym., 2016)

Yksi yleisimmin käytetyistä älykaupungin viitekehyksistä on Giffingerin (2007) esittelemä Eurooppalainen Älykaupunki Luokitus (engl. the European Smart Cities Ranking), jota voidaan käyttää tietyn älykaupungin suuntauksen määrittämisessä. Luokitus koostuu kuudesta erilaisesta luokasta (Giffinger & Pichler-Milanović, 2007), jotka ovat:

- Älykäs eläminen (Smart Living)
- Älykäs hallinto (Smart Governance)
- Älykkäät ihmiset (Smart People)
- Älykäs liikkuvuus (Smart Mobility)
- Älykäs talous (Smart Economy)
- Älykäs ympäristö (Smart Environment)

Useat tutkijat, jotka tukevat tätä luokitusta tai jotakin vastaavanlaista useasta eri osa-alueesta koostuvaa näkemystä, ovat sitä mieltä, että yksikään osa-alue ei kuitenkaan voi toimia yksinään eristyksissä muista osa-alueista (Albino, Berardi & Dangelico, 2015). Useissa lähteissä älykaupunki jaetaan useisiin eri määritteleviin piirteisiin, mistä voidaan päätellä älykaupungin olevan enemmän osiensa summa, kuin jokin yksi tietty sovellus tai osa-alue.

Yleinen harhaluulo on, että älykaupunki toimii tietotekniikan luomalta pohjalta automaattisesti ja ikään kuin itsestään. Kuitenkin yksi tärkeimmistä aspekteista on ymmärtää, että ilman ihmisten kapasiteettia ja sen hyödyntämistä tietotekniikan apuna, älykaupunki ei voi toimia kaupunkia parempaan suuntaan kehittäväällä tavalla. (Hollands, 2008)

Älykaupungin pitäisikin pystyä auttamaan älykkäitä ihmisiä luomaan älykkäitä ratkaisuja kaupunkiympäristön luomiin haasteisiin. Älykaupungin tulisi pystyä luomaan ympäristö, joka ajaa ihmisiä yrittäjyyteen, tarjoamalla avaimet uusien ratkaisujen luomiseen. (Albino ym., 2015)

### 3.2 Kestävä kehitys

Kestävän kehityksen alkuperäinen määritelmä on Brundtlandin (1987) WCED:lle (World Commission on Environment and Development) kirjoittaman raportin mukaan muutosprosessi, jossa resurssien hyödyntäminen, investointien ohjaaminen, teknologisen kehityksen suuntautuminen, ja institutionaaliset muutokset ovat sopusoinnussa ja tehostavat ihmisten tarpeiden ja pyrkimysten täyttämiseen tarvittavaa potentiaalia.

Lisäksi kestävä kehitys pyrkii edistämään harmoniaa ihmisten synnyttämien luonnosten ja ihmisen ja luonnon välillä. Erityisesti keskittyen kehitys- ja ympäristökriiseihin, joita tämän hetkiset poliittiset ja taloudelliset instituutiot eivät ole päihittäneet, eivätkä voi päihittää. Kestävän kehityksen tavoittelemisen edellyttää:

- Poliittisen järjestelmän, joka turvaa kansalaisten osallistumisen päätöksentekoon.
- Taloudellisen järjestelmän, joka pystyy tuottamaan ylijäämiä ja teknistä tietoa autonomisesti.
- Sosiaalisen järjestelmän, joka tarjoaa ratkaisuja ristiriitaisesta kehityksestä syntyneille jännitteille.
- Tuotantojärjestelmän, joka kunnioittaa ekologisia velvoitteita.
- Teknologisen järjestelmän, joka etsii jatkuvasti uusia ratkaisuja.
- Kansainvälisen järjestelmän, joka edistää kestäväää kauppaa ja rahoitusta.
- Hallinnollisen järjestelmän, joka on joustava ja pystyy korjaamaan omia virheitään. (Brundtland, 1987)

Kestävällä kehityksellä on kolme tavoitetta, jotka ovat: parantaa elämisen laatua, elää saatavilla olevien varojen mukaisesti ja investoida teknologiseen

kehitykseen (Bätägan, 2011) Näistä tavoitteista pystytään päättelemään, että tieto- ja viestintäteknologian kehitys on tärkeä osa kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa.

Vuoden 2015 syyskuussa yhdistyneet kansakunnat (YK) asettivat 17 kestävän kehityksen tavoitetta, jotka tulisi saavuttaa vuoteen 2030 mennessä. Näistä kestävän kehityksen tavoitteista kaksi liittyy kaupungistumisen tuomiin haasteisiin. Nämä tavoitteet ovat puhtaan veden ja viemäroinnin saatavuuden varmistaminen kaikille, jotta kaikilla ihmisillä on mahdollisuus päästä käsiksi kohtuuhintaiseen ja puhtaaseen veteen. Vuoteen 2030 mennessä tulisi kaupungeista ja ihmisasutuksista lisäksi tehdä turvallisia, kestäviä erilaisia uhkia kohtaan, sekä kestäviä. Tarkoituksena on tarjota kaikille, mutta etenkin rajoitteita omaaville ihmisille, pääsy turvalliseen ympäristöön, niin viheralueille, kuin julkisille alueille. (Corbett & Mellouli, 2017)

### 3.3 Kestävä kehitys kaupungeissa

Suurin osa maailman väestöstä elää nykyisin kaupunkialueilla. Kaupungistuminen on tuonut mukanaan uudenlaisia haasteita kuten, kaupunkien energian, ja muiden resurssien merkittävästi muuttuneen kulutuksen. Jotta nykyinen urbaani, resursseja paljon kuluttava elämäntyyli pystytään mahdollistamaan, tulee näihin haasteisiin löytää erilaisia vastauksia. Euroopan Unioni (2014) ja Yhdistyneet Kansakunnat (2016) ovat asettaneet ilmasto ja energiatavoitteet tuleville vuosille, joista ilmenee, että erilaisten älyratkaisujen kehittäminen on välttämätöntä. (Ahvenniemi ym., 2017; Hiremath, Balachandra, Kumar, Bansode & Murali, 2013)

Kestävän kaupungin tunnistaa siitä, että se ei kuluta loppuun kaikkia resurssejaan, vaan kaikkia tuotantoon liittyviä resursseja ja olosuhteita pystytään hyödyntämään jatkossakin (Keeble, 1988). Kestävän kehityksen kannalta kaupunkialueilla on säilytettävä mahdollisimman hyvä sisäinen tasapaino taloudellisen toiminnan, väestönkasvun, infrastruktuurin ja palvelujen välillä. Jotta tulevaisuuden jättikaupungeissa eläminen pystytään mahdollistamaan, on tärkeää tutkia ja keksiä ratkaisuja näihin haasteisiin. (Hiremath ym., 2013)

Kestävät kaupungit käyttävät erilaisia teknologioita vähentääkseen kasvihuonepäästöjä. Kestävän kaupungin päätavoite on tehdä kaupungista niin sanottu ”vihreä kaupunki”. Tällä tarkoitetaan niin infrastruktuurin parantamista, kuin päästöjen vähentämistä, kestävyuden kehittämiseksi. (Bätägan, 2011)

Useat älykaupungin määritelmät keskittyvät pitkälti sosiaaliseen ja yhteiskunnalliseen näkökulmaan, jättäen ympäristön vähemmälle huomiolle. Siinä missä monet älykaupungin määritelmät keskittyvät koulutuksellisiin, kulttuurillisiin, tieteellisiin, innovatiivisiin, sekä tieto- ja viestintäteknikallisiin näkökulmiin, keskittyy kestävä kehitys kaupunkikonteksti alueisiin, kuten: luontoon ja rakennettuun ympäristöön, veden ja jätteen huoltoon, sekä logistiikkaan. Kestävät kaupungit itsessään eivät ole olleet riittäviä vastaamaan uusiin haasteisiin osittain siksi, koska niiltä ovat puuttuneet riittävät tieto- ja vies-

tintäteknologian ratkaisut, jotka pystyisivät toimimaan ratkaisuina näihin ongelmiin (Bibri, 2018).

Uudet älykkäät teknologiat ovat avaintekijöitä kasvihuonepäästöjen vähentämisessä, sekä energiatehokkuuden parantamisessa. Näiden teknologioiden tulee olla toimivia ja eheitä sekä pystyä vaikuttamaan ympäristötekijöiden lisäksi myös asukkaiden hyvinvointiin, sekä taloudelliseen kestävyteen. Kestävän kehityksen ja älykaupungin määritelmät jakavatkin pääpiirteittäin samat päämäärät ja ovatkin sulautumassa hiljalleen yhteen. (Ahvenniemi ym., 2017)

**Kestävällä älykaupungilla** tarkoitetaan tieto- ja viestintätekniiikan hyödyntämistä älykaupungeissa, ottaen huomioon kestävä kehityksen tavoitteet. Näin ollen kestävä älykaupunki keskittyy normaalia älykaupunkia enemmän luonnonvarojen tasaiseen hyödyntämiseen, sekä tulevaisuuden elämisen mahdollistamiseen. (Ahvenniemi ym., 2017; Kramers, Höjer, Lövehagen & Wang, 2014)

Kestävään älykaupunkiin liittyy edistyneen tieto- ja viestintätekniiikan laaja-alaista ja pitkälle vietyä hyödyntämistä erilaisten kaupungissa toimivien integroitujen järjestelmien yhteydessä. Näitä tekniikoita hyödyntäen kaupungissa pystytään hallitsemaan käytettävissä olevia resursseja turvallisesti, kestävästi ja tehokkaasti, jotta pystytään aikaan saamaan parempia taloudellisia ja ekologista tuloksia. (Bibri, 2018)

Olennainen osa kestävä älykaupungin käsitettä on big data-analytiikan hyödyntäminen osana käytössä olevia tekniikoita, prosesseja, alustoja infrastruktuureja ja sovelluksia, sekä muiden tieto- ja viestintäteknologioiden muotojen tukena. Datakeskeinen lähestymistapa omaa valtavan potentiaalin kestävä kehityksen haasteisiin vastaamisessa. Erilaiset esineiden internetin big data sovellukset toimivat myös päätöksenteon apuvälineinä erilaisissa toiminnallisissa, hallinnollisissa ja suunnitelmallisissa tehtävissä kestävä kehityksen apuna. (Bibri, 2018; Bibri & Krogstie, 2017)

On tärkeää, että kestävä kehityksen ja älykaupungin pyrkimykset kulkevat käsi kädessä, sillä nykyisen teknologian mahdollistamana (etenkin esineiden internetin luoman datan avulla) kestävä älykaupungit ovat paras vastaus kaupungistumisen ja sen luomien haasteiden voittamiseen. Etenkin päätöksenteossa ja hallinnassa tulisi käyttää data-analytiikkaa ja älykkäitä ja innovatiivisia ratkaisuja hyödyksi, jotta kestävä kehitystä pystytään edistämään. (Bibri, 2018)

## 4 ESINEIDEN INTERNETIN SOVELTAMINEN KESTÄVÄN KEHITYKSEN HAASTEISIIN VAS- TAAMISESSA

Tässä luvussa käydään läpi konkreettisia keinoja, kuinka esineiden internetistä pystytään hyötymään kestävästä kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa älykaupungeissa.

### 4.1 Esineiden internetin ratkaisut älykaupungeissa

Esineiden internetiä voidaan hyväksikäyttää älykaupungeissa monin eri tavoin. Yleisimmät kestävästä kehitykseen liittyvät vaikutusalueet, joita esineiden internetin ja data-analytiikan avulla voidaan edesauttaa ovat älykäs energia, älykäs liikenteen tehostaminen, älykäs vesitalouden parantaminen, älykäs jätehuollon parantaminen, uudet älykkäät rakennus- ja asumismenetelmät, älykäs infrastruktuuri sekä älykkäät ympäristön ja riskien hallintaan liittyvät toiminnot. Muita merkittäviä kaupunkiasumiseen liittyviä vaikutusalueita, joihin pystytään esineiden internetin avulla vaikuttamaan ovat julkinen turvallisuus, ilmanlaatu ja saasteet, julkinen terveys, biodiversiteetin katoaminen ja energiatehokkuus. (Bibri, 2018; Z. Khan, Anjum & Kiani, 2013)

**Älykäs energia:** Esineiden internetin luoman datan aikaansaamana pystytään optimoimaan energian kulutusta niin kuluttajien tasolla, kuin suuremmis- sa yrityksissäkin. Kuluttajat pystyvät tarkkailemaan energian hintoja älylaitteis- taan, jolloin he voivat suorittaa paljon kulutusenergiaa vaativat toiminnot kuten asunnon lämmittämisen tai pyykin pesemisen aikaan jolloin energia on hal- vempaa. Tarjonnan ja kysynnän tarkkaileminen parantaa päätösten tekoa myös sähkön tuotantolaitoksissa, koska sähkön tuotanto voidaan optimoida kysyn- nän mukaan eikä sitä silloin tuoteta liikaa eikä liian vähän. Dynaaminen hin- noittelu on otettu käyttöön esimerkiksi Helsingissä ja Lontoossa (Airaksinen & Kokkola, 2015). Lisäksi energiankulutuksen ennustaminen helpottuu ja strategi-

set päätökset kuten resurssien paras mahdollinen käyttö helpottuu, niin yrityksissä kuin kaupungeissa. (Al Nuaimi, Al Neyadi, Mohamed & Al-Jaroodi, 2015)

**Älykäs sähköverkko:** Älykäs sähköverkko tarkoittaa sähköverkkoa, joka laskee saatavilla olevia energian lähteitä sekä energian tarvetta ja käyttää viisainta ratkaisua kuhunkin tilanteeseen. Jos on mahdollista käyttää esimerkiksi auringosta tulevaa sähköä, käyttää älykäs sähköverkko tätä uusiutuvaa energiaa aina kuin mahdollista ja vain tarpeen tullen perinteisin keinoin kuten fossiilisesti tuotettua sähköä. (Sethi & Sarangi, 2017)

Älykäs sähköverkko käyttää tietoverkon reunoilla olevia yhdyslaitteita (ks. Reunalaskenta), jotka laskevat energian lähteiden saatavuuden, sekä hinnan ja määrittää mistä syötteestä kuluttajalle siirretään energiaa. Kun energian kulutusta tasataan aikaisemmin vähälle käytölle jääneelle ajalle, vähentyy samalla myös suurimmat hiiltä ja rahaa polttavat kulutuspiikit, mikä johtaa suoraan päästöjen vähenemiseen ja hintojen alenemiseen (Bibri & Krogstie, 2017).

**Älykäs liikenteen tehostaminen:** Yksi tärkeimmistä liikenteen tehostamisen menetelmistä on liikenteen sujuvuuden parantaminen. Tämä tapahtuu tunnistamalla tiettyjä kaavoja, joita suuresta määrästä sensoreiden luomasta dataa pystytään tunnistamaan. Tämän avulla pystytään vähentämään onnettomuuksia sekä liikenneuhkia, ja näiden myötä päästöjen määrää. (Hashem ym., 2016)

Yhtenä esimerkkinä toimivat älykkäät liikennevalot ja liikennemerkit, joiden sensorit ovat yhteyksissä liikenneverkostoon, luoden reaaliaikaisen näkyvän liikenteestä, josta saadun big datan avulla pystytään luomaan älykkäitä päätöstentekojärjestelmiä, jotka laskevat mahdollisimman tehokkaasti sujuvan liikenteen. Liikennevalot voivat toimia tietoverkkojen solmukohtina (ks. Sumulaskenta), joissa voidaan toteuttaa nopeita päätöksiä tarvitsevia laskentoja, kuten havainnoida lähestyviä hälytysajoneuvoja tai jalankulkijoita ja toimia näiden tarpeiden mukaan (Sethi & Sarangi, 2017). USA:n Pittsburghissa on käytönotettu vastaavanlainen järjestelmä, joka on vähentänyt liikenneuhkia ja odottelun määrää, vähentäen päästöjen määrää yli 20 prosentilla. (Al Nuaimi ym., 2015)

Älykkään parkkeerauksen avulla pystytään vähentämään ajoneuvojen polttoaineen kulutusta, sekä säästää ihmisten aikaa parkkipaikkojen etsimisen sijasta johonkin hyödylliseen tarkoitukseen. Älyparkkeerauksella tarkoitetaan sitä, että asukkailla on mahdollisuus käyttää parkkipaikkojen sensoreiden luomaa tietokantaa, jolloin asukkaan on helppo paikantaa lähin vapaa parkkipaikka. (Rathore ym., 2016)

Datan avulla pystytään vähentämään myös toimitusketjujen ja logistiikan hallintoon kuluvia päästöjä parantamalla ajoneuvojen ja laivojen reittejä. Toinen toimitusketjujen tehostamiseen kuuluva osa on tilausten yhdistäminen ja optimointi, joka toteutetaan data-analytiikan avulla (Al Nuaimi ym., 2015).

Esineiden internet tarjoaa asukkaille palveluita, joiden avulla he pystyvät optimoimaan omat reittivalintansa mahdollisimman taloudelliseksi, mikä säästää samalla myös luontoa. Myös päätöksentekijät pystyvät hyötymään asukkaiden lähettämästä datasta, pystyen nopeampaan päätöksentekoon edistääkseen liikenteen sujuvuutta. Esineiden internetin hyödyntäminen hillitsee liikenteen

aiheuttamia saasteita, energian kulutusta ja parantaa liikenteen ja liikkuvuuden tehokkuutta. (Bibri, 2018)

**Älykäs vesitalouden parantaminen:** Esineiden internetin ratkaisuja pystytään hyödyntämään saastuneen veden lähteen paikallistamisessa ja analysoinnissa, jonka avulla pystytään ehkäisemään tulevia riskejä. Esineiden internetin ja sen mahdollistaman datan avulla pystytään tehostamaan ja optimoimaan kaupunkien vedenhuollon järjestelmät. Tutkimukset osoittavat, että reaaliaikaiset jäteveden järjestelmät tehostavat jätevesilaitosten toimintaa, samalla vähentäen operatiivisia kuluja ja parantaen veden laatua. (Y. Chen & Han, 2018)

Vedenhuollon avulla pystytään varautumaan myös luonnonkatastrofeihin. Kiinassa on toteutettu järjestelmää, jonka avulla pystytään ennakoimaan ja varautumaan sulavien lumien aiheuttamiin tulvilta. Järjestelmässä käytetään erilaisia sensoreita, kameroita ja lähettämiä, jotta lumimassojen elämistä pystytään ennakoimaan ja välttämään suuremmilta katastrofeilta. (Fang ym., 2015)

**Älykäs jätehuollon parantaminen:** Yksi kaupunkien suurimmista ongelmista on jätteiden hallinta. Yleisimmät ongelmat syntyvät palveluiden hinnasta, sekä jätesäilytystilan puutteesta. Esineiden internetin ja data-analytiikan hyödyntäminen voi tuottaa ratkaisun edellä mainittuihin ongelmiin, sekä edistää ympäristön hyvinvointia. Esimerkkejä ratkaisuista ovat esimerkiksi älykkäät jäteastiat, jotka tunnistavat sensoreiden avulla, kuinka täynnä ne ovat ja voivat lähettää viestin keskukseseen, milloin niitä tulee tyhjentää. Itäisessä Suomessa tehdyssä tutkimuksessa ilmenee, että keräysrekkujen reitit voidaan optimoida, jotta polttoainekulut pysyvät matalina ja ympäristöön pääsee vähemmän päästöjä (liittyy myös liikenteen tehostamiseen) (Nuortio, Kytöjoki, Niska & Bräysy, 2006).

**Älykkäät rakennus- ja asumismenetelmät:** New Yorkin julkaistessa vuonna 2012 kaupungin rakennusten käyttämän energian datana, ilmeni että 74 prosenttia kaupungin kasvihuonepäästöistä syntyi asumisen seurauksena. Saman datan avulla ilmeni myös, että New Yorkin asuinrakennukset käyttivät 48 prosenttia kaikesta energiasta. (Airaksinen & Kokkola, 2015)

Tuotetusta energiasta suuri osa menee rakennusten kulutukseen, josta etenkin lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointi muodostavat suuren osan. Rakennusten tulee pystyä aistimaan sensoreiden välityksellä, mikä ympäristön tila on kullakin hetkellä, jotta lämmitys ja muut rakennusten toiminnot pystytään optimoimaan kuhunkin hetkeen sopivaksi, mistä seuraa turhan energian kulutuksen ja päästöjen vähentymistä. Sensoreiden avulla pystytään myös ennustamaan energiankulutusta, jolloin pystytään varautumaan eri tilanteisiin. (Hancke, de Silva & Hancke Jr., 2013)

Kuluttajille on tehty sovelluksia, joiden avulla kuluttaja pystyy hallitsemaan kotitalouden lämmitystä internet-sovelluksen, tai älypuhelimien kautta. Hieman edistyneempiä sovelluksia ovat älykkäät termostaatit, joiden sensorit ja aktuaattorit ovat yhteyksissä taloudessa asuvien älypuhelimiin ja niiden GPS-järjestelmiin. Älykkäät GPS-pohjaiset termostaatit tarkkailevat asukkaiden älylaitteiden GPS-signaalia, jonka pohjalta termostaatti hallitsee asunnon lämpötilaa. Lämmitys voidaan laittaa pienemmälle asukkaalle ollessa poissa, ja päinvastoin lämmittää enemmän asukkaalle ollessa paikalla. GPS-pohjaiset termostaatit pystyvät säästämään 7 prosenttia lämmityskustannuksissa. (Qin ym., 2016)



**Älykäs ympäristö:** Sensoreiden avulla pystytään luomaan dataa, jonka avulla kehitetään valtioiden maatalouksia, pystytään varoittamaan ihmisiä sääoloista sekä pystytään hallitsemaan energian kulutusta tarjoamalla tarkempia ennusteita kysynnästä (Al Nuaimi ym., 2015).

Keino millä esineiden internet pystyy parantamaan elinympäristöä ja tätä kautta ihmisten elämän laatua on ilmanlaadun parantaminen. Ilman laatua seuraavien sensoreiden asettaminen ympäri kaupunkia auttaa saasteiden tunnistamisessa, jolloin niitä on helpompi ehkäistä. Etenkin laitteiden laskentatehon kasvaessa pystytään ottamaan käyttöön parempia seuranta työkaluja, joiden avulla pystytään tekemään ratkaisuja, jotka vähentävät saasteiden määrää. (Bibri, 2018)

## 4.2 Älykkäitä kestävä kehityksen kaupunkiratkaisuja Suomessa

Suomalaiset älykaupungit ovat pärjänneet mainiosti erilaisissa vertailuissa. Esimerkiksi vuonna 2014 Euroopan parlamentin julkaisemassa selvityksessä Helsinki nousi yhdeksi kuudesta eurooppalaisesta kärkikaupungista, jotka hyödyntävät älypalveluita (Airaksinen & Kokkola, 2015). Tässä alaluvussa käsitellään muutamaa suomalaista malliesimerkkiä eri kaupungeissa sijaitsevista älykaupunkialueista, sekä niiden kestävä kehitystä edesauttavista ratkaisuista. Taulukosta 1 ilmenee suomalaisissa älykaupungeissa käytössä olevat tai suunnitteilla olevat älykkäät infrastruktuurit ja älykkäät sovellukset.

TAULUKKO 1 Suomalaiset älykaupungit

	<b>Infrastrukturi:</b>	<b>Sovellukset:</b>
<b>Helsinki</b>	- Älykäs sähköverkko -Joustopalvelu- ja varaustilapalvelu - Esineiden internetin datan hyödyntäminen	-Jätteen imupalvelu -Jaetut sähköautot -Energiankulutus mittarit -Älykäs valaistus
<b>Jyväskylä</b>	-Älykäs sähköverkko -Energianhallintajärjestelmät -Älykkäät parkkipaikat	-Älypistorasiat
<b>Tampere</b>	-Älykkäät rakennukset -Älykäs liikkuminen	-Älykäs ratikka -Älykkäät liikennevalot -Autonomiset autot
<b>Oulu</b>	-Älykkäät rakennukset	-Rakennusten hallintalaitteet

**Helsinki** hyödyntää avointa julkista dataa palveluissaan. Antaen keräämänsä datan julkiseen käyttöön, kuka tahansa yksityinen kuluttaja tai yritys voi käyttää dataa haluamallaan tavalla. Avoimen datan lisäksi Helsinkiä voidaan

pitää myös joukkoliikenteen sekä kaukolämmön ja kaukokylmän pioneerina (Airaksinen & Kokkola, 2015). Vuonna 2013 käytettävissä oli yli tuhat tietokantaa, jotka kattoivat alueita kuten liikenteen, talouden, työllistämisen ja hyvinvoinnin. (Hashem ym., 2016)

Helsingin Kalasataman kaupunginosa toimii edelläkävijänä älykaupunkirakentamisen osalta. Alueelta löytyviä ja suunnitteilla olevia kestävästä kehitystä edesauttavia ratkaisuja ja palveluja ovat muun muassa: jätteiden imupalvelu, joka kerää esilajitellut jätteet ja lähettää keräyspisteisiin 70km/h nopeudella (Airaksinen & Kokkola, 2015), jaetut sähköautot, älykäs HIMA-mittarointi, jonka avulla asukkaat pystyvät tarkkailemaan energiankulutustaan, aurinkovoimala ja sähkövarasto, sekä älykkäällä valaistuksella toimiva puisto. (Fiksu Kalasatama, 2018)

Alueen älykkääseen infrastruktuuriin kuuluvat älykäs sähköverkko, sekä esineiden internetin mahdollistama verkosto, jonka avulla yritykset ja yksityishenkilöt pystyvät tuottamaan omia palveluitaan kerätyn datan avulla. Myös kalastaman alueella sijaitsevat vapaana olevat tilat ovat joustotila-hankkeen myötä kaikkien saatavilla ja varattavissa. (Fiksu Kalasatama, 2018)

**Jyväskylän** Kankaalle on rakenteilla älykäs kaupunginosa, jonka yhtenä keskeisimmistä teemoista on vastata kestävästä kehityksen periaatteisiin, etenkin ympäristön suunnittelun ja rakentamisen avulla. Kankaan alueella esineiden internetin mahdollistamaa älykästä infrastruktuuria pyritään hyödyntämään esimerkiksi älykkäällä sähköverkolla, joka mahdollistaa esimerkiksi älykkäiden pistorasioiden hyödyntämisen. Älykkäät pistorasiat ovat energiatehokkaita ja luovat turvallisemman kotiympäristön (Keles ym., 2015). Lisäksi osa alueen sähköstä tuotetaan alueella omavaraisesti erinäisten uusiutuvien energialähteiden, kuten vesi- ja aurinkoenergian avulla. (Jyväskylän Kangas: Kehittämishanke ja tulevaisuuden visiot, 2015)

Infrastruktuuriin kuuluu myös älykkäät energianhallintajärjestelmät, joiden avulla säästetään energian kulutuksessa, sekä älykkäät parkkipaikat, jotka helpottavat autojen pysäköintiä ja vähentävät näin päästöjä. Kankaan alue on suunniteltu siten, että ilman autoa liikkuminen tulisi olemaan mahdollisimman helppoa. (Jyväskylän Kangas: Kehittämishanke ja tulevaisuuden visiot, 2015)

**Tampereen** kaupungin kehitysvisiona on luoda innovatiivisia ja digitaalisia älykaupunkiratkaisuja eri toimijoiden, kuten yritysten, organisaatioiden ja kaupunkilaisten yhteistyönä (Smart Tampere, 2018). Yhtenä tärkeimmistä painotusalueista on kestävästä kehityksen turvaaminen kaupungissa. Tampereen tavoitteena on olla esimerkkikaupunki älyliikenteen ja joukkoliikenteen suhteen (Airaksinen & Kokkola, 2015).

Älykkään liikkumisen kärkihankkeina Tampereella on muun muassa älyratikka, jonka on tarkoitus aloittaa liikennöinti vuodesta 2021 alkaen, sekä uudenlaisten kaupunkiympäristöjen kehittäminen. Myös autonomisen liikenteen ja liikkumisen kehittämiseen panostetaan erilaisilla uusilla innovaatioilla, kuten itsestään kulkevilla autoilla, joiden avulla pystytään säästämään energiaa ja vähentämään päästöjä. (Smart Tampere, 2018)

Myös älykkäitä liikennevaloja ja niiden hyödyntämistä julkisen liikenteen apuna on kokeiltu Tampereella. Apuna älykkäiden liikennevalojen käytössä käytetään avointa dataa, jota Tampereen kaupungilta saadaan. (Salhotra, 2016)

Yksi kestävän kaupungin haasteisiin vastaaminen Tampereella on älyrakentamisen avulla niin rakennuksiin, kuin infrastruktuuriin liittyen. Tavoitteina on rakentaa älykkäästi toimivia kestävän kehityksen kestäviä rakennuksia. Alueella toimii monia erilaisia projekteja, kuten Euroopan unionin tukema Stardust-projekti jossa tavoitteena on luoda esineiden internetin avulla keskenään kommunikoivia rakennus-, liikenne- ja energiaratkaisuja. (Smart Tampere - Rakennukset, 2018)

**Oulussa** vuonna 2014 90 prosenttia rakennetuista taloista oli matalaenergiataloja, jotka kuluttavat vähemmän energiaa verrattuna normaaleihin taloihin. Oulussa rakennetaan etenkin pohjoisiin olosuhteisiin soveltuvaa ”Arktista älykaupunkia”, joka nousee Oulun Hiukkavaaran kaupunginosaan. (Airaksinen & Kokkola, 2015)

Hiukkavaarassa keskitytään pohjoisten olosuhteiden tuomiin haasteisiin, kuten lumen ja pakkasen vaikutukseen rakentamisessa. Kestävän kehityksen haasteisiin vastaaminen on haastavaa vaikeissa olosuhteissa, tämän takia alueella kokeillaan uusia energiatehokkaita innovaatioita, uusiutuvia energiamuotoja, sekä tieto- ja viestintäteknologian hyödyntämistä. Esineiden internetiä hyödynnetään Hiukkavaarassa esimerkiksi rakennusten automaatio- ja säätölaitteissa, jotka pystyvät kommunikoimaan muiden älylaitteiden kanssa (Tulevaisuuden Talot, 2014). (Airaksinen & Kokkola, 2015)

## 5 YHTEENVETO

Tutkielmassa käsiteltiin esineiden internet ja sen arkkitehtuurit ja teknologiat, big data ja data-analytiikka, kestävä kehitys, sekä älykaupunki ja sen esineiden internetiä käyttävät kestäväään kehitykseen liittyvät ratkaisut ja sovellukset. Tutkielman tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

- Miten esineiden internetiä hyödynnetään älykaupungeissa?
- Minkälaisen esineiden internetin mahdollistamien ratkaisujen avulla saavutetaan kestävä kehityksen tavoitteet älykaupungeissa?
- Minkälaisia kestäviä ratkaisuja on suomalaisissa älykaupungeissa?

Esineiden internetillä tarkoitetaan käytännössä keskenään kommunikoiden ja johonkin tiettyyn päämäärään pyrkivien laitteiden infrastruktuuria, jossa laitteet pystyvät lähettämään keskenään datapaketteja (Bibri, 2015; Giusto ym., 2010). Esineiden internetin tuottaman datan avulla pystytään ratkaisemaan eri elämän osa-alueisiin liittyviä ongelmia.

Älykaupungeissa esineiden internetiä hyödynnetään erilaisten sovellusten tai infrastruktuuriratkaisujen muodossa. Nämä sovellukset ja ratkaisut toimivat eri elämisen osa-alueilla, kuten energian, jäte- ja vesihuollon, rakennusten ja päätöksenteon parissa. Keskeinen osa esineiden internetin hyödyntämisessä älykaupungeissa on sensorien keräämä data, jonka pohjalta pystytään saamaan parempaa tietoa sensoreiden tilasta tai niiden ympäristöstä. Kerättyä dataa kutsutaan big dataksi ja analysoimalla big data pystytään toteuttamaan uusia ja parempia ratkaisuja ja sovelluksia, jotka tehostavat tai parantavat edellä mainittuja elämisen osa-alueita.

Kestävä kehityksen tavoitteiden saavuttamiseksi älykaupungeissa, tulee toteuttaa etenkin ympäristöä edesauttavia ja parantavia ratkaisuja. Useimmiten tällaiset ratkaisut vähentävät päästöjen määrää, vähentävät energian kulutusta, tai optimoivat energian tai muun hyödykkeen tuotantoa. Esimerkkiratkaisuja, joiden avulla päästään lähemmäksi kestävä kehityksen tavoitteita ovat muun muassa:

- Älykkäät liikennevalot ja liikennemerkkit

- Älykkäät parkkipaikat
- Reittien optimointi
- Älykkäät lämmitysratkaisut
- Älykäs ilmanlaadun seuranta
- Älykkäät jäteastiat

Suomalaiset älykaupungit ovat innovatiivisia ja kestävät vertailun muualla maailmassa sijaitseviin älykaupunkeihin. Etenkin Helsingin Kalasataman alue ja Tampereen älykaupunki konsepti ovat innovatiivisia ja toimivat edelläkävijöinä monissa asioissa. Helsingissä ihmisiä yritetään osallistuttaa mukaan älykaupunkiin jakamalla tuotettu data avoimeen käyttöön kaikille sekä tuottamalla erilaisia jakamispalveluita, kuten sähköautojen, sekä tilojen jakamista. Myös älykkäät energia- ja lämmitysratkaisut ovat olennainen osa Helsingin älykaupunkia.

Tampereella taas tavoitteena on olla esimerkkikaupunki älykkään joukko-liikkumisen ja liikenteen suhteen, mahdollistaen samanaikaisesti kestävän kehityksen. Alueelle on rakenteilla muun muassa älyratikka sekä suunnitteilla älykkäät autonomiset autot. Liikenteen ohella Tampereella on tarkoituksena luoda älykkäitä rakennuksia, jotka mahdollistavat niin rakennusten, kuin liikenteen infrastruktuurin keskinäisen kommunikaation.

Jyväskylässä Kankaan alue toimii älykaupunginosana. Tarkoituksena on luoda alueelle älykkäät parkkipaikkaratkaisut, jotka vähentävät päästöjä, sekä älykkäitä energianhallintaratkaisuja joiden ansiosta turha kulutus pystytään minimoimaan. Oulussa rakennetaan Hiukkavaaraan älykästä kaupunginosaa. Hiukkavaarassa on tarkoituksena rakentaa älykkäitä rakennuksia, jotka minimoivat energian kulutuksen ja toimivat etenkin pohjoisissa, arktisissa olosuhteissa.

Kaiken kaikkiaan uudet tieto- ja viestintäteknologiaan perustuvat innovaatiot ja ratkaisut toimivat vastauksena kestävän kehityksen tarpeisiin. Olennaisena osana tässä on esineiden internetin tuottama big data, jota analysoimalla pystytään löytämään kehitystä vaativia alueita ja keksiä uusia ratkaisuja niiden tarpeisiin. Aihetta on siis syytä tutkia lisää jatkossa ja keskittyä etenkin kaupungistumisen tuomiin haasteisiin, joihin tieto- ja viestintäteknologian kehittymisen myötä syntynyt älykaupunki toimii vastauksena.

## LÄHTEET

- Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I. & Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities?. *Cities*, 60(1), 234-245.
- Airaksinen, M. & Kokkola, M. (2015). *Smart city : Research highlights*. Espoo: VTT.
- Al Nuaimi, E., Al Neyadi, H., Mohamed, N. & Al-Jaroodi, J. (2015). Applications of big data to smart cities. *Journal of Internet Services and Applications*, 6(1), 1-15.
- Albino, V., Berardi, U. & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 1-19.
- 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 and Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., . . . Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50-58.
- Atzori, L., Iera, A. & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
- Bandyopadhyay, S., Sengupta, M., Maiti, S. & Dutta, S. (2011). Role of middleware for internet of things: A study. *International Journal of Computer Science and Engineering Survey*, 2(3), 94-105.
- Bătăgan, L. (2011). Smart cities and sustainability models. *Informatica Economică*, 15(3), 80-87.
- Bibri, S. E. (2018). The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 38, 230-253.
- Bibri, S. E. (2015). *The shaping of ambient intelligence and the internet of things: Historico-epistemic, socio-cultural, politico-institutional and eco-environmental dimensions*. Springer.
- Bibri, S. E. (2017). The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 38, 230-253.

- Bibri, S. E. & Krogstie, J. (2017). The core enabling technologies of big data analytics and context-aware computing for smart sustainable cities: A review and synthesis. *Journal of Big Data*, 4(1), 38-88.
- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J. & Addepalli, S. (2012). Fog computing and its role in the internet of things. Teoksessa *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing (MCC 12) (13-15)*
- Botta, A., De Donato, W., Persico, V. & Pescapé, A. (2016). Integration of cloud computing and internet of things: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 56, 684-700.
- Brundtland, G. H. (1987). *Report of the world commission on environment and development: " Our common future."* Yhdistyneet kansakunnat.
- Chen, M., Mao, S. & Liu, Y. (2014). Big data: A survey. *Mobile Networks and Applications*, 19(2), 171-209.
- Chen, Y. & Han, D. (2018). Water quality monitoring in smart city: A pilot project. *Automation in Construction*, 89, 307-316.
- Cocchia, A. (2014). Smart and Digital City: A Systematic Literature Review. Teoksessa R. Dameri, C. Rosenthal-Sabroux, *Smart city (13-43)*. Springer.
- Corbett, J. & Mellouli, S. (2017). Winning the SDG battle in cities: How an integrated information ecosystem can contribute to the achievement of the 2030 sustainable development goals. *Information Systems Journal*, 27(4), 427-461.
- Demchenko, Y., Grosso, P., De Laat, C. & Membrey, P. (2013). Addressing big data issues in scientific data infrastructure. (48-55) IEEE.
- Domingo, M. C. (2012). *An overview of the internet of things for people with disabilities*
- Fang, S., Xu, L., Zhu, Y., Liu, Y., Liu, Z., Pei, H., . . . Zhang, H. (2015). An integrated information system for snowmelt flood early-warning based on internet of things. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 321-335.
- Fiksu Kalasatama. (2018). Fiksu Kalasatama Haettu 1.4.2018 osoitteesta <https://fiksukalasatama.fi/rakennuspalikat/hankeportfolio/>
- Giffinger, R. & Pichler-Milanović, N. (2007). *Smart cities: Ranking of european medium-sized cities* Centre of Regional Science, Vienna University of Technology.
- Giusto, D., Lera, A., Atztori, L. & Morabito, G. (2010). *The internet of things (1)* Springer.

- Gluhak, A., Krco, S., Nati, M., Pfisterer, D., Mitton, N. & Razafindralambo, T. (2011). A survey on facilities for experimental internet of things research. *IEEE Communications Magazine*, 49(11)
- Hancke, G. P., de Silva, B. C. & Hancke Jr., G. P. (2013). The role of advanced sensing in smart cities. *Sensors (Switzerland)*, 13(1), 393-425.
- Hashem, I. A. T., Chang, V., Anuar, N. B., Adewole, K., Yaqoob, I., Gani, A., . . . Chiroma, H. (2016). *The role of big data in smart city*
- Hiremath, R. B., Balachandra, P., Kumar, B., Bansode, S. S. & Murali, J. (2013). Indicator-based urban sustainability – A review. *Energy for Sustainable Development*, 17(6), 555-563.
- Hollands, R. G. (2008). Will the real smart city please stand up? intelligent, progressive or entrepreneurial? *City*, 12(3), 303-320.
- Jyväskylän kangas. (2015). Kehittämishanke ja tulevaisuuden visiot. Haettu 1.4.2018 osoitteesta <https://www.slideshare.net/KaupunginKangas/kangas-kehittmishankkeen-tulevaisuudenvisiot>
- Keeble, B. R. (1988). The brundtland report: 'Our common future'. *Medicine and War*, 4(1), 17-25.
- Keles, C., Karabiber, A., Akcin, M., Kaygusuz, A., Alagoz, B. B. & Gul, O. (2015). *A smart building power management concept: Smart socket applications with DC distribution*
- Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R. & Khan, S. (2012). Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. (s. 257-260) IEEE.
- Khan, W. Z., Xiang, Y., Aalsalem, M. Y. & Arshad, Q. (2013). Mobile phone sensing systems: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(1), 402-427.
- Khan, Z., Anjum, A. & Kiani, S. L. (2013). Cloud based big data analytics for smart future cities. *IEEE Computer Society* (381-386). Washington DC, USA.
- Kramers, A., Höjer, M., Lövehagen, N. & Wangel, J. (2014). Smart sustainable cities–Exploring ICT solutions for reduced energy use in cities. *Environmental Modelling & Software*, 56, 52-62.
- Laney, D. (2001). 3D data management: Controlling data volume, velocity and variety. *META Group Research Note*, 6(70)



- Lenzerini, M. (2002). Data integration: A theoretical perspective. *Proceedings of the twenty-first ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART symposium on Principles of database systems* (233-246). New York, USA.
- Mashal, I., Alsaryrah, O., Chung, T., Yang, C., Kuo, W. & Agrawal, D. P. (2015). Choices for interaction with things on internet and underlying issues. *Ad Hoc Networks*, 28, 68-90.
- Mukherjee, A., Paul, H. S., Dey, S. & Banerjee, A. (2014). Angels for distributed analytics in iot. *IEEE World Forum on Internet of Things 2014* (565-570) Seoul, Korea
- Mustonen, V., Koponen, J. & Spilling, K. (2015). Alykäs kaupunki – Smart city. *Liikenne- Ja Viestintäministeriön Julkaisuja 12/2014*.
- Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G. & Scorrano, F. (2014). Current trends in smart city initiatives: Some stylised facts. *Cities*, 38, 25-36.
- Nuortio, T., Kytöjoki, J., Niska, H. & Bräysy, O. (2006). Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. *Expert Systems with Applications* 30(2), 223-232
- Palattella, M. R., Accettura, N., Vilajosana, X., Watteyne, T., Grieco, L. A., Boggia, G. & Dohler, M. (2013). Standardized protocol stack for the internet of (important) things. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 15(3), 1389-1406.
- Paquette, S., Jaeger, P. T. & Wilson, S. C. (2010). Identifying the security risks associated with governmental use of cloud computing. *Government Information Quarterly*, 27(3), 245-253.
- Perera, C., Qin, Y., Estrella, J. C., Reiff-Marganiec, S. & Vasilakos, A. V. (2017). Fog computing for sustainable smart cities: A survey. *ACM Computing Surveys*, 50(3)
- Qin, Y., Sheng, Q. Z., Falkner, N. J. G., Dustdar, S., Wang, H. & Vasilakos, A. V. (2016). When things matter: A survey on data-centric internet of things. *Journal of Network and Computer Applications*, 64, 137-153.
- Rathore, M. M., Ahmad, A., Paul, A. & Rho, S. (2016). Urban planning and building smart cities based on the internet of things using big data analytics. *Computer Networks*, 101, 63-80
- Rayes, A. & Salam, S. (2017). The internet in IoT – OSI, TCP/IP, IPv4, IPv6 and internet routing. Internet of things from hype to reality. *Springer*, 33-56
- Salhotra, E. (2016). Enterprise 2.0 and open data in a smart city: The case of tampere. (s. 307) Academic Conferences International Limited.

- Sethi, P. & Sarangi, S. R. (2017). Internet of things: Architectures, protocols, and applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017
- Sheth, A. (2016). Internet of things to smart IoT through semantic, cognitive, and perceptual computing. *IEEE Intelligent Systems*, 31(2), 108-112.
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y. & Xu, L. (2016). Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637-646.
- Smart Tampere. (2018). Haettu 3.4.2018 osoitteesta <http://smart tampere.fi/fi>
- Smart Tampere (2018). Rakennukset Haettu 3.4.2018 osoitteesta <http://smart tampere.fi/fi/alykkaat-teemat/alykkaat-rakennukset>
- Su, X., Riekkki, J., Nurminen, J. K., Nieminen, J. & Koskimies, M. (2015). Adding semantics to internet of things. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 27(8), 1844-1860.
- Tan, L. & Wang, N. (2010). Future internet: The internet of things. 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE) (380). Chengdu, Kiina
- Oulun rakennusvalvonta. (2014). Tulevaisuuden talot. Haettu 2.4.2018 osoitteesta <http://www.tulevaisuudentalot.fi/tietoa-hankkeesta/>
- Vasseur, J., Agarwal, N., Hui, J., Shelby, Z., Bertrand, P. & Chauvenet, C. (2011). RPL: The IP routing protocol designed for low power and lossy networks. *Internet Protocol for Smart Objects (IPSO) Alliance*, 36
- Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. *IEEE Pervasive Computing*, 5(1), 25-33.
- X. Jia, Q. Feng, T. Fan & Q. Lei. (2012). RFID technology and its applications in internet of things (IoT). 2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet) (1282-1285) Three Gorges, Kiina.
- Yannuzzi, M., Milito, R., Serral-Graciá, R., Montero, D. & Nemirovsky, M. (2014). Key ingredients in an IoT recipe: Fog computing, cloud computing, and more fog computing. 2014 IEEE 19th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD) (325-329). Ateena, Kreikka
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L. & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32.
- Zeng, D., Guo, S. & Cheng, Z. (2011). The web of things: A survey. *JCM*, 6(6), 424-438.