

# **Big Datan hyödyntäminen Smart City -ratkaisuiden kehittämisessä**

**Utilizing big data in the development of smart city  
solutions**

Kandidaatintyö

## TIIVISTELMÄ

**Tekijä:** Ella Toimela

**Työn nimi:** Big datan hyödyntäminen smart city -ratkaisuiden kehittämisessä

**Vuosi:** 2020

**Paikka:** Lappeenranta

Kandidaatintyö. LUT-yliopisto, Tuotantotalous.

41 sivua, 6 kuvaa ja 6 taulukkoa

Tarkastaja(t): Nina Tura

**Hakusanat:** Smart city, big data, esineiden internet, älykäs liikkuvuus, älykäs ympäristö

**Keywords:** Smart city, big data, Internet of Things, smart mobility, smart environment

Kaupungistumisen kiihtyessä kaupungit etsivät ratkaisua kaupunkiväestön kasvun aiheuttamiin ongelmiin älykkäiden kaupunkien, eli smart cityjen, mahdollistamista ratkaisuista. Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, kuinka big dataa on mahdollista hyödyntää smart city -ratkaisuiden kehittämisessä. Työssä keskitytään erityisesti tutkimaan, kuinka big dataa hyödynnetään kaupungin älykkään liikkuvuuden sekä älykkään ympäristön osalta.

Työn alussa tarkastellaan smart cityä sekä big dataa käsitteinä sekä oleellisimpia näihin käsitteisiin liittyviä seikkoja. Sen jälkeen perehdytään tarkemmin big dataan, sen lähteisiin ja hyödyntämiseen rajatuissa ympäristöissä, sekä haasteisiin, joita big data tuo mukanaan. Lopun case-esimerkkien avulla tuodaan esille, mitä käytännön ratkaisuja erilaiset, edistykselliset smart city -teknologiaa hyödyntävät kaupungit ovat ottaneet/ottamassa käyttöönsä.

Tutkimuksen tulokset osoittavat big datalla olevan useita hyödyntämismahdollisuuksia smart cityissä. Kaupunkien esineiden internetistä on saatavilla paljon big dataa, jota pohjana käyttäen pystytään kehittelemään toimivia, kaupunkielämää helpottavia ratkaisuja sekä haluttavia ominaispiirteitä. Pullonkaulana kehityksessä havaittiin olevan big datan analysointi.

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	3
1.1	Tavoitteet ja tutkimuskysymykset .....	3
1.2	Työn menetelmät, rajaukset ja rakenne.....	4
2	SMART CITY.....	6
2.1	Smart cityn määritelmät .....	7
2.2	Smart cityjen toiminnallisuus.....	8
3	BIG DATA SMART CITYJEN POHJANA .....	12
3.1	Big datan määritelmät .....	12
3.2	Big datan lähteet.....	14
4	BIG DATAN HYÖDYNTÄMINEN SMART CITY -RATKAISUISSA.....	17
4.1	Älykäs liikkuvuus .....	18
4.2	Älykäs ympäristö .....	20
4.3	Big datan haasteet smart city -ratkaisussa .....	23
5	ESIMERKKEJÄ ÄLYKKÄISTÄ KAUPUNGEISTA.....	25
5.1	Case-esimerkki: Masdar.....	25
5.2	Case-esimerkki: Amsterdam .....	26
5.3	Case-esimerkki: Woven City .....	28
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	31
7	LÄHTEET.....	35

## 1 JOHDANTO

Kaupungistuminen on ollut maailmalla suuntana jo useita vuosia. Vuonna 1950 30 % maailman väestöstä asui kaupungeissa, mutta vuonna 2018 luku oli jo 55%, ja sen on ennustettu vain kasvavan. Kun maailma tulevaisuudessa kaupungistuu entisestään, on huomiota kiinnitettävä kaupunkien onnistuneeseen hallintaan ja kasvuun. (United Nations, 2019) Smart city, eli älykäs kaupunki, on ollut käsitteenä tuttu jo kauan, mutta älykkäät kaupungit eivät ole saaneet tuulta alleen. Syy tähän on yksinkertaisesti se, ettei big data -analytiikan laskentateho ole riittänyt kaupunkien valtaviin datamääriin käsittelyyn. Nykyään tekniikan taso alkaa ylittämään vaaditulle tasolle, ja smart cityt alkavat olla mahdollisempia saavuttaa. (Denver South Economic Development Partnership)

Big data ja esineiden internet ovat tämän hetken ajankohtaisia asioita ja niiden tuottamaa datamäärää voidaan hyödyntää monessa suhteessa. Kaupunkiympäristössä syntyy paljon dataa, kun esineiden internetiin liitetyt laitteet ja anturit luovat sitä, ja myös näiden dataa luovien laitteiden määrä on kasvanut lähivuosina merkittävästi. Big data tarjoaakin kaupungeille mahdollisuuden tärkeiden tietojen hyödyntämiseen smart city -ratkaisuiden luomiseksi. (Hashem et al. 2016, s. 748)

### 1.1 Tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, miten big dataa voidaan hyödyntää smart cityjen, eli älykkäiden kaupunkien kannalta. Lisäksi selvitetään big datan tärkeimmät lähteet smart cityissä ja kartoitetaan mahdollisuuksia, joita big data tuo kaupunkien kehittymiselle.

Työn päätutkimuskysymys siis on:

*”Millä tavoin big dataa voidaan hyödyntää smart city -ratkaisuiden kehittämisessä?”*

Päätutkimuskysymyksestä on vielä eroteltavissa kaksi apukysymystä, joiden avulla saadaan eriteltyä big datan olennaiset lähteet sekä konkreettiset ratkaisut omiksi osa-alueikseen rajatuissa älykkään kaupungin ulottuvuuksissa:

*”Mistä lähteistä big dataa saadaan smart cityssä?”*

*”Kuinka big datan hyödyntäminen näkyy älykkään liikkuvuuden ja älykkään ympäristön kehityksessä ja ratkaisuihin?”*

Tutkimuskysymyksiin vastatessa saadaan selville, millä eri tavoilla dataa saadaan kaupunkiympäristöstä, sekä miten ja millaisin ratkaisuin sitä voidaan hyödyntää älykkään kaupunkiympäristön kehittämisessä älykkään liikkuvuuden sekä älykkään ympäristön saralla.

## **1.2 Työn menetelmät, rajaukset ja rakenne**

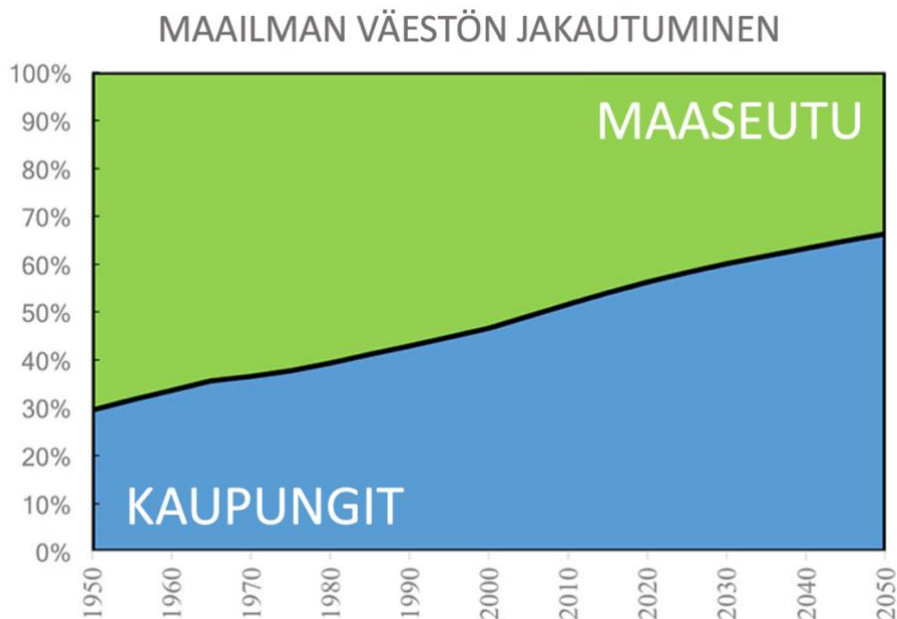
Kandidaatinyö toteutetaan kirjallisuuskatsauksena ja lähteinä hyödynnetään aiheeseen liittyvää teoriakirjallisuutta ja muuta kirjallisuutta. Empiirisessä case-osiossa tuodaan esimerkkien avulla esille kaupunkeja, joissa smart city -ratkaisut ovat edistyksellisiä, ja joissa big dataa on osattu hyödyntää tehokkaasti. Tutkimus on rajattu koskemaan vain big datan lähteitä, esineiden internetin toteutusta pintapuolisesti, sekä big datan tuomia hyötyjä ja haasteita smart cityissä. Datan keräämisen ja analysoinnin teknistä toteutusta ei tarkemmin käsitellä. Työ ei myöskään käsittele kaupunkien rakenteita eikä muita kaupunkitutkimukseen liittyviä seikkoja. Lisäksi työ on rajattu käsittelemään älykkäiden kaupunkien ulottuvuuksista älykästä liikkuvuutta sekä älykästä ympäristöä. Nämä kaksi ulottuvuutta linkittyvät vahvasti big dataan ja erilaisiin big dataan pohjautuvien ratkaisuiden hyödyntämiseen, ja ovat siksi oleellisia työn kannalta. Näiden ulottuvuuksien big datan lähteistä keskitytään pääasiassa esineiden internettiin, sillä se tuottaa eniten big dataa näihin liittyvässä kaupunkiympäristössä sekä olennaisinta dataa sovelluksien kehittämisen kannalta.

Työ koostuu rakenteeltaan kuudesta luvusta, joista johdanto on ensimmäinen. Toinen luku käsittelee smart cityjä. Siinä käydään läpi smart city käsitteenä, niiden toiminnallisuutta, sekä rajataan, mitkä smart cityjen ominaisuudet ovat olennaisia tässä työssä. Luvussa kolme käsitellään, miten big data mahdollistaa smart cityjen olemassaolon. Luvussa selvennetään, mitä big data on, sen lähteitä sekä ominaisuuksia älykkäässä kaupungissa. Toisessa ja kolmannessa luvussa lukija saa siis käsityksen termeistä smart city ja big data, ymmärtää, mitä kaikkea älykkäät kaupungit sisältävät, sekä hahmottaa, mistä big data niissä muodostuu ja miten sitä voidaan käsitellä.

Neljännessä luvussa käsitellään big datan konkreettisempaa hyödyntämistä smart cityissä. Luvussa käydään läpi smart cityjen toiminnallisuuksia, jotka voidaan luoda big dataa ja big data -analytiikkaa hyödyntäen. Luvun luettuaan lukija ymmärtää konkreettisemmin big datan tuomia hyötyjä smart city -ratkaisuiden mahdollistajana. Viidennessä, empiirisessä luvussa, esitellään vielä käytännön esimerkkejä big datan ja smart city -ratkaisuiden yhdistämisestä case-esimerkein. Case-tapauksina toimivat erilaiset kaupungit, joissa näitä on edistyksellisesti hyödynnetty. Viimeisessä, eli kuudennessa luvussa esitetään johtopäätökset sekä yhteenveto työstä. Kappaleessa tiivistetään työn osa-alueet yhteen, sekä esitetään tärkeimmät havainnot kaikista osa-alueista.

## 2 SMART CITY

Kaupungit ovat saamassa avainasemaa ihmiskunnan kehityksessä. Kaupunkiväestön jatkuvan kasvamisen myötä moniin urbaanin elämän osa-alueisiin, kuten ympäristöhallintoon, yleiseen turvallisuuteen, kaupunkisuunnitteluun, teollisuuden helpottamiseen, luonnonvarojen käyttöön, energian säästöön, liikenteenohjaukseen sekä ihmisten väliseen viestintään liittyy kasvavia tarpeita. Edellä mainittujen tarpeiden puuttuminen voi uhata kaupungin kestävästä kehityksestä. (He, et al. 2014, s. 1) United Nationsin (2019) raportin mukaan vuonna 2050 kehittyneemmillä alueilla kaupungeissa asuu 86,6 prosenttia väestöstä ja kehitymättömämmillä alueilla 65,6 prosenttia. Koko maailman väestöstä vuonna 2050 kaupungeissa tulee asumaan 68,4 prosenttia (Kuva 1).



**Kuva 1:** Maailman väestön jakautuminen (mukaillen Allied Telesis 2019)

Koska kaupunkiväestö sekä kaupungistuminen ovat kasvaneet voimakkaasti, on jouduttu kehittelemään uusia ratkaisuja. Älykkäät kaupungit ovat olleet avainasemassa kaupunkilaisten eri elämän osa-alueiden, kuten liikenteen, terveyden, energian ja koulutuksen muuttamisessa. (Hashem et al. 2016, s. 748).

## 2.1 Smart cityn määritelmät

Smart city -käsitteellä on eri merkityksiä riippuen siitä, onko kyse ihmisen vai teknologian näkökulmasta. Syynä tähän on valtioiden eri päämäärät ja näkökulmat, kun ne asettavat tavoitteeksi älykkäiden kaupunkien luomisen. Toisin sanoen, smart citylle ei ole vielä luotu tarkkaa määritelmää, ja on vaikeaa määrittää standardia, globaalisti käytettyä merkitystä sen käsitteelle. (Al Nuaimi et al. 2015. s. 2)

Älykkyydellä kaupunkikontekstissa tarkoitetaan kykyä oppia aiemmin kerätyistä tiedoista ja täten tehdä parempia päätöksiä ja saada parempia tuloksia. Kaupungeista voi siis tulla älykkäämpiä, kun ne yhdistävät älykkäästi kaupungin tapahtumat sekä datan yhdellä integroidulla ratkaisulla. Jotta tämä onnistuu, on tarkasteltava järjestelmiä, joihin pyrkimykset tulla älykkäämmäksi perustuvat, ja tehostettava niitä entisestään. IBM:n näkökulman mukaan älykästä kaupunkia määrittelevät kolme käsitettä: laitteistettu, yhdistetty sekä älykäs. Laitteistetulla tarkoitetaan, että antureita on kaikkialla ja täten dataa saadaan useasta lähteestä, yhdistetyllä taas viitataan televiestintään sekä datan keräämiseen. (Dirks & Keeling 2009, s. 9)

Ejaz & Anpalagan (2019, s. 9) mukaan käsite smart city on luotu potentiaalisena ratkaisuna kaupungistumisen luomiin monimutkaisiin ja kalliisiin ongelmiin. Smart cityjen visioitu tavoite on olla kustannustehokkaista, älykkäitä sekä autonomisia, ja joiden helppokäyttöisyys tarjoaa paremman elämänlaadun. Ashraf Ismailin (2016, s. 3) puolestaan esittää, että kaupunkia voidaan pitää älykkäänä, kun sen sosiaalinen, taloudellinen sekä fyysinen infrastruktuuri on älykästä.

Caragliu et al. (2009, s. 65) kirjoittavat, että kaupungin suorituskyky on fyysisen infrastruktuurin, eli fyysisen pääoman, sekä sosiaalisen infrastruktuurin, eli inhimillisen ja sosiaalisen pääoman, synteesi. Heidän mukaansa inhimillinen ja sosiaalinen pääoma ovat ratkaisevia tekijöitä urbaanille kilpailukyvyille. He uskovat kaupungin olevan älykäs, kun investoinnit inhimilliseen ja sosiaaliseen pääomaan, perinteiseen (liikenne) sekä moderniin (informaatio- ja viestintäteknologia) viestintäinfrastruktuuriin, edistävät kestäväää talouskasvua, korkeaa elämänlaatua sekä luonnonvarojen viisasta hallintaa osallistavan hallinnon avulla.

Smart city voidaan myös nähdä ratkaisuna ajoissa reagoimiseen, palveluiden helpottamiseen sekä kaupunkielämän laadun parantamiseen. Tämä perustuu ympäri kaupunkia oleviin



älylaitteisiin, joiden avulla voidaan seurata kaupunkiympäristöä reaaliajassa, reagoida ajoissa, sekä kerätä dataa älykkääseen päätöksentekoon. (He et al. 2014, s. 1) Kitchin (2014, s. 5) mukaan älykäs kaupunki on kaupunki, joka seuraa ja integroi sen kaikkia kriittisiä infrastruktuureja, kuten teitä, siltoja, tunneleita sekä sähkö- ja vesiverkostoja. Näin on mahdollista optimoida paremmin resurssit sekä suunnitella ennaltaehkäiseviä huoltotoimenpiteitä samalla, kun pystytään maksimoimaan palvelut kaupunkilaisille. Alla on koottuna eri määritelmiä smart city -käsitteelle (Taulukko 1).

**Taulukko 1:** Eri määritelmiä smart city -käsitteelle

<b>Määritelmä smart city -käsitteelle</b>	<b>Lähde</b>
Älykästä kaupunkia määrittelee kolme käsitettä: laitteistettu, yhdistetty sekä älykäs.	Dirks et al. 2009, s. 9
Luotu ratkaisuna kaupungistumisen ongelmiin. Smart cityjen tavoitteena olla kustannustehokkaita, älykkäitä, autonomisia ja helppokäyttöisiä.	Ejaz et al. 2019, s. 9
Kaupunki on älykäs, kun sen sosiaalinen, taloudellinen sekä fyysinen infrastruktuuri on älykästä.	Ismail 2016, s. 3
Kaupunki on älykäs, kun investoinnit edistävät kestäväää talouskasvua, korkeaa elämänlaatua ja luonnonvarojen viisasta hallintaa osallistavan hallinnon avulla.	Caragliu et al. 2009, s. 65
Smart city on ratkaisu ajoissa reagoimiseen, palveluiden helpottamiseen kaupunkiympäristössä, sekä kaupunkielämän laadun parantamiseen	He et al. 2014, s. 1
Smart city on kaupunki, joka seuraa ja integroi sen kaikkia kriittisiä infrastruktuureja, kuten teitä, siltoja, tunneleita, sähkö- sekä vesiverkostoja.	Kitch 2014, s. 5

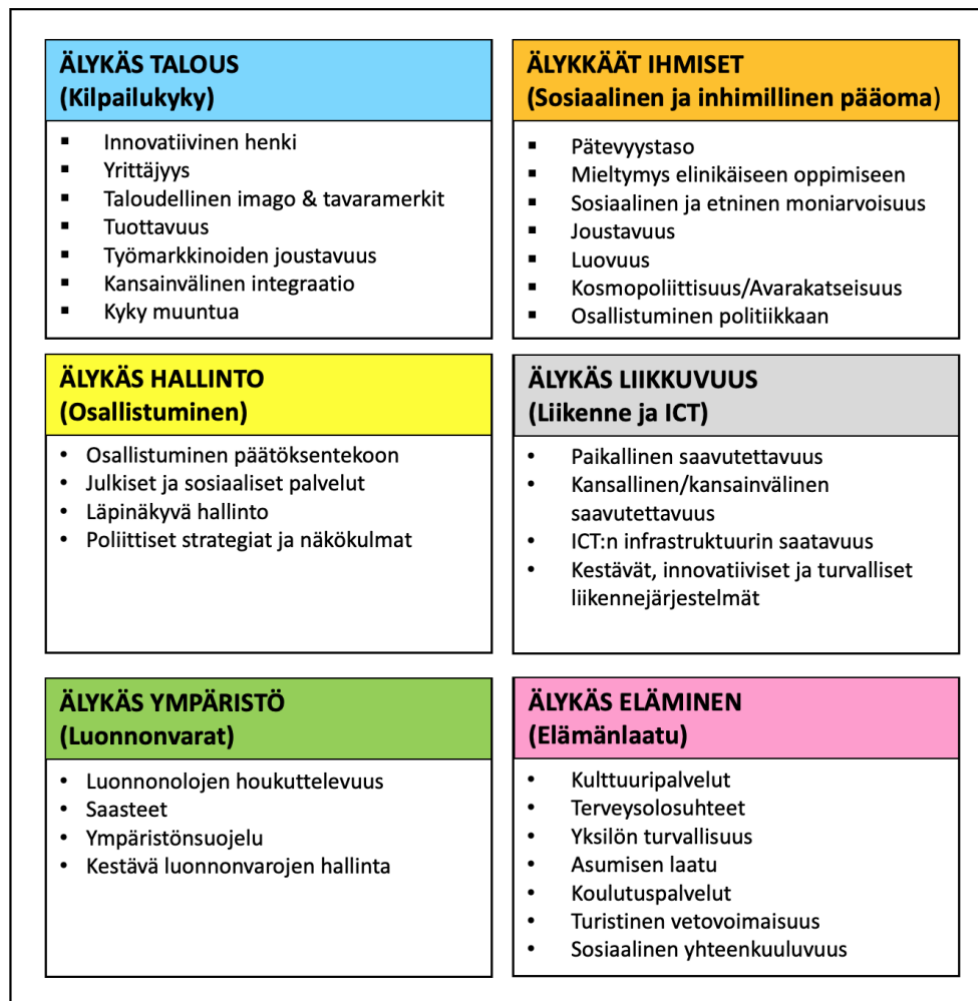
## 2.2 Smart cityjen toiminnallisuus

Intian hallinnon kaupunkikehitysministeriön mukaan älykkäillä kaupungeilla tulisi olla kymmenen infrastruktuurin ydinelementtiä (Taulukko 2). Näiden lisäksi älykkäiden kaupunkien tulisi tarjota asukkailleen kunnollinen elämänlaatu, puhdas ja kestävä ympäristö sekä ”älykkäiden” ratkaisuiden soveltaminen. Kansalaisten tarpeiden täyttämiseksi on lisäksi pyrittävä kehittämään kattavasti koko kaupungin ekosysteemiä, ei vain yhtä kohdetta. (Government of India, Ministry of Urban Development 2015, s. 5-6)

**Taulukko 2:** Älykkään kaupungin infrastruktuurin ydinelementit (Government of India, Ministry of Urban Development 2015, s. 5-6)

<b>Älykkään kaupungin infrastruktuurin ydinelementit</b>
Riittävä vedenjakelu
Varma sähkönjakelu
Jätehuolto, mukaan lukien kiinteän jätteen huolto
Tehokas julkinen liikenne sekä kaupunkiliikenne
Kohtuuhintaisia asuntoja etenkin vähävaraisille
Vahva informaatioteknologian liitettävyyys sekä digitalisaatio
Hyvä hallinto, erityisesti e-hallinto sekä kansalaisten osallistuvuus
Kestävä ympäristö
Kansalaisten, etenkin naisten, lasten ja vanhusten, turvallisuus
Terveys ja koulutus

Viennan teknillisen yliopiston erään projektin mukaan älykkäät kaupungit voidaan jakaa kuuteen ulottuvuuteen, jotka toimivat pohjana smart cityjen tulevalle kehittämiselle (Kuva 2). Jo olemassa olevien ulottuvuuksien lisäksi tulisi myös mahdollistaa uusien ulottuvuuksien lisääminen. Tämänhetkiset kuusi ulottuvuutta ovat älykäs talous, älykäs liikkuminen, älykäs ympäristö, älykkäät ihmiset, älykäs asuminen sekä älykäs hallinto. Jokaiseen näistä vaikuttaa tekijät. Raportissa todetaan, että älykäs kaupunki on kaupunki, joka tähtää tulvaisuudessa menestykseen etenkin näissä kuudessa ulottuvuudessa, ja joka perustuu älykkääseen yhdistelmään itsenäisesti päättävien sekä tietoisten kansalaisten lahjoituksia ja toimintaa. (Giffinger et al. 2007, s. 10-12)



**Kuva 2:** Smart city ulottuvuudet ja tekijät (mukaillen Giffinger et al. 2007, s. 12)

Ejaz et al. (2019, s. 3-5) mukaan älykkään talouden tulisi sisältää muun muassa yrittäjäyys, innovaatiot, tavaramerkit, työmarkkinoiden joustavuus sekä integroituminen kansainvälisille markkinoille. Älykkäiden kaupunkien talouden oletetaan kasvavan, sillä kaupungin väestönkasvu tarjoaa mahdollisuuksia, jotka vastaavat talouden tarpeisiin. Älykkäät ihmiset ovat sen sijaan heidän mielestään osana älykkään kaupungin kehittämisessä. Älykkäitä ihmisiä voidaan mitata indikaattoreilla, joista erityisesti luovuus ja innovaatio ovat tärkeitä, ja monet smart cityt rohkaisevatkin asukkaitaan niihin. Älykkään hallinnon tekijöitä ovat puolestaan muun muassa osallistuminen päätöksentekoon, julkiset ja sosiaaliset palvelut, avoin hallinto sekä poliittiset ja strategiset näkökulmat. Jokainen älykäs kaupunki on erilainen, koska niiden tavoitteet ovat erilaisia. Älykkääseen elämiseen liittyy puolestaan olennaisesti asukkaiden

elämänlaatu. Huomioitavia asioita ovat kulttuuripalvelut, terveysolot, yksilön turvallisuus, asumisen laatu, koulutusmahdollisuudet, matkailukohteet sekä sosiaalinen yhteenkuuluvuus.

Tämän työn kannalta merkittävimmät ulottuvuudet, joita tarkkaillaan, ovat älykäs liikkuvuus sekä älykäs ympäristö. Niihin liittyy ulottuvuuksista selkeinten big data ja big datan mahdollistama kehitys, joka tarjoaa näille kahdelle ulottuvuudelle vahvat mahdollisuudet hyödyntää siihen pohjautuvia ratkaisuja. Tutkimuksessa siis keskitytään älykkään liikkuvuuden sekä älykkään ympäristön tarkasteluun big datan kannalta, eli mitä ulottuvuudet sisältävät ja millaisia älykkäitä ratkaisuja niihin voidaan kehittää big dataa hyödyntäen.

Ejaz et al. (2019, s. 4) kirjoittavat, että liikkuvuus on luultavasti yksi tärkeimmistä kaupungin ulottuvuuksista. Se vaatii kykyä siirtää kaupungin asukkaat paikasta a paikkaan b nopeasti ja tehokkaasti, mutta mahdollisimman vähin päästöin. Älykäs liikkuvuus sisältääkin helpon saavutettavuuden, edistyksellisen informaatio- ja viestintäteknologian (engl. *information and communication technology*, ICT), sekä modernien ja kestävien liikennejärjestelmien hyödyntämisen (Griffinger et al. 2007, s. 12). Älykkästä ympäristöstä Ejaz et al. (2019, s. 4-5) puolestaan mainitsevat, että se vaatii keinoja hiilidioksidipäästöjen pienentämiseen, luonnonvarojen kestävään hallintaan, sähkön ja veden käyttöön sekä ympäristön suojeluun. Älykkään ympäristön tekijät ovat luonnonolojen houkuttelevuus, saasteet, pyrkimys ympäristönsuojeluun sekä kestävä luonnonvarojen hallinta (Griffinger et al. 2007, s. 12).

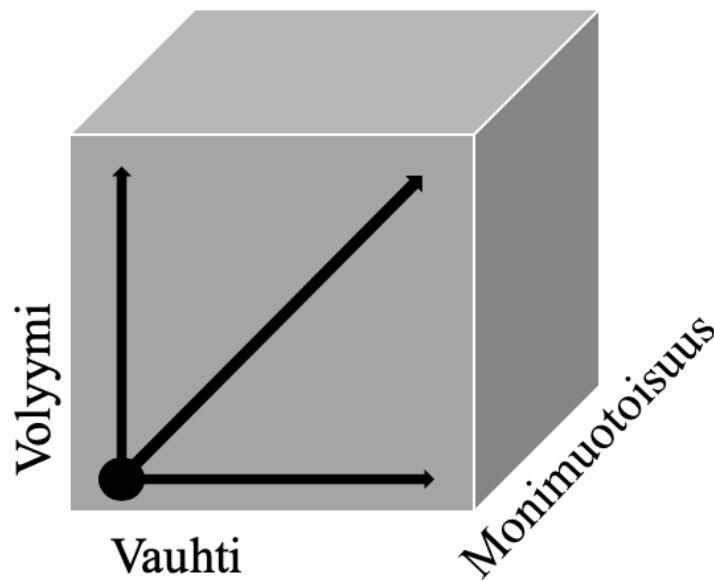
### 3 BIG DATA SMART CITYJEN POHJANA

Big datan läpimurto tapahtui vuonna 2011, ja tämän jälkeen sen tunnettavuus on vain lisääntynyt. Muutos, joka big datan mukana tulee, on pysyvä ja sen vauhti vain kiihtyy, mutta mukana tulevia vaikutuksia on kuitenkin mahdotonta arvioida tulevaisuuden kannalta. (Salo 2014, s. 8-9) Lennokkaimmat visiot tulevaisuuden futuristisesta kaupungista big data pohjanaan voivat vaatia enemmän kuin nykyisellä teknologialla on antaa, mutta teknologian kehitys takaa sen, että tulevaisuuden kaupungeissa tullaan hyödyntämään big dataa uusien ratkaisuiden kehittämisessä.

#### 3.1 Big datan määritelmät

Kuten smart city -käsiteellä, myöskään big data -käsiteellä ei ole yleistä, yhteistä määritelmää, mitä big data oikeastaan tarkoittaa (Buyya et al.2016, s. 3). Pohjimmiltaan se on valtava määrä dataa, jota voidaan analysoida ja hyödyntää päätösten tekemisessä. Terminä big data siis kuvaa suurta määrää järjestäytyntä tai järjestäytymätöntä dataa, jota saadaan useista lähteistä, ja se koostuu monimutkaisesta datasta, joka voi horjuttaa perinteisten yksinkertaisten tietojärjestelmien prosessointitehoa. (Rafferty et al. 2016, s. 1-2)

Salo (2014, s. 8) taas kirjoittaa, että big data käsitteenä viittaa kahteen asiaan; siihen, että datan määrä on lisääntynyt ja monipuolistunut viime vuosina vauhdilla ja tämä vauhti on vain kiihtymässä, sekä ratkaisujen kirjoon, jolla suuren ja vaihtelevien datamassojen tallennusta, liikuttelua sekä hyödyntämistä lähestytään. Yleinen kuvaus big datasta tulee Meta Groupin työntekijä Dough Laneyn vuonna 2001 julkaisemasta raportista, jossa puhutaan big datan kolmesta V:stä, volyyymista, monimuotoisuudesta ja vauhdista ("Volume, Variety and Velocity") (Kuva 3).



**Kuva 3:** Big datan 3V:tä (mukaiillen Laney 2001 s. 3)

Raportissa volyyymilla tarkoitetaan tulevaa datavirtaa sekä datan kumulatiivista volyyymia. Älykkään kaupungin esineiden internetissä on paljon liitettyjä laitteita, mikä johtaa suuren datamäärän syntyyn (Shadroo & Rahmani, 2018, s. 19). Vauhti puolestaan kuvastaa käytetyn, sekä tuotetun datan vauhtia. (Laney 2001, s. 2). Immo Salon (2014, s. 27) sanoin vauhdilla siis viitataan datan virtaamisen nopeuteen, sekä suureen paineeseen reagoida nopeasti uuteen dataan. Älykkäissä kaupungeissa esineiden internet tuottaa paljon reaaliaikaista dataa, esimerkiksi liikenteestä sekä älykkäistä sähköverkoista, ja tätä dataa tulisi myös pystyä käsittelemään reaaliaikaisesti (Hashem et al. 2016, s. 750-752).

Monimuotoisuudella Laney (2011, s. 2) tarkoittaa yhteensopimattomien datamuotojen, yhdenmukaistamattomien tietorakenteiden sekä datan epäjohdonmukaisten merkitysten vaihtelua. Suuret datamäärät ovat siis yleensä vaihtelevia, sillä dataa tulee eri lähteistä sekalaisissa muodoissa (Zhong et al. 2016, s. 573). Smart city -ympäristössä suuri määrä laitteita tuottaa luonnollisesti suuren määrän dataa esineiden internetin välityksellä useissa eri muodoissa, kuten tavallisina viesteinä, kuvina, ääninä ja videoina (Ejaz et al. 2019, s. 31). Myöhemmin big datan ominaisuuksia on luotu lisää, kuten IBM:n 4V:n malli sekä Microsoftin 6V:n malli (Buyya et al. 2016, s. 8-9).

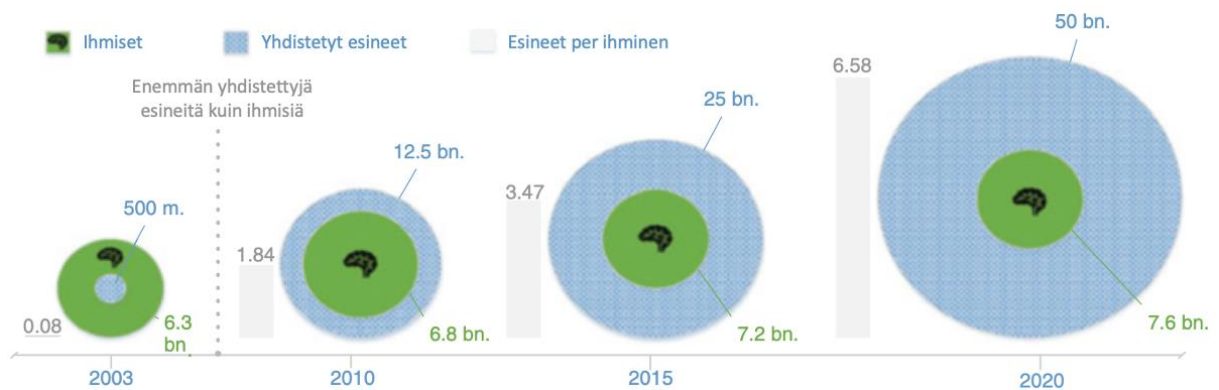
### 3.2 Big datan lähteet

Big dataa saadaan useista eri lähteistä, kuten selaushistoriasta, maantieteellisestä sijainnista sekä sosiaalisesta mediasta (Rafferty et al. 2016, s. 2). Etenkin big datan volyymi ja monimuotoisuus ovat seurausta sen useista lähteistä (Shadroo & Rahmani, 2018, s. 19; Ejaz et al. 2019, s. 31). Helbingin (2016, s. 76) mukaan big datan päälähteet voidaan jakaa neljään eri teknologiseen innovaatioon:

1. Internetiin, joka mahdollistaa globaalin viestinnän
2. World Wide Web:iin, maailmanlaajuisesti saatavilla olevaan nettisivujen verkkoon, joka kehittyi hypertekstin siirtoprotokollan (HTTP) keksimisen jälkeen Cernissä, Genevessä.
3. Sosiaaliseen median, kuten Facebookin, Google +:n, WhatsApp:in tai Twitterin syntyyn, joka on luonut sosiaalisen viestinnän verkot.
4. Esineiden internetin (engl. *Internet of Things*, IoT) syntyyn, joka sallii antureiden ja laitteiden liittämisen internet-verkkoon. Verkossa tulee olemaan enemmän laitteita kuin ihmiskäyttäjiä.

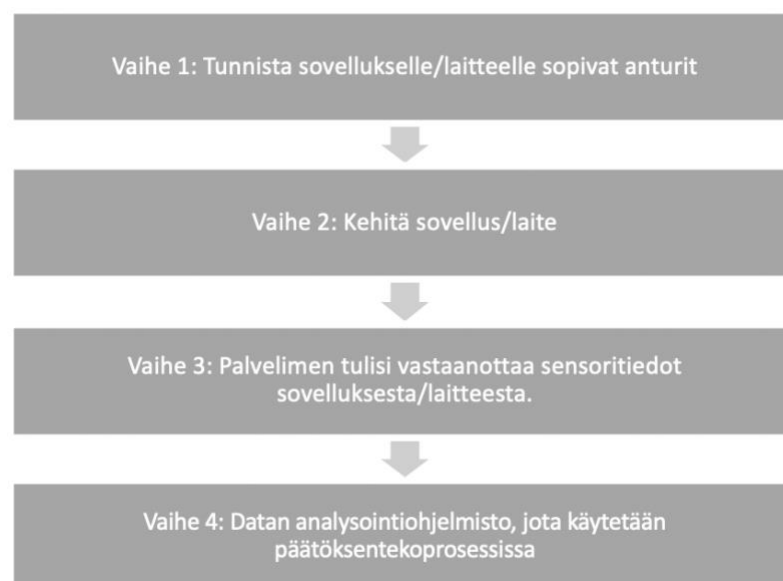
Näistä neljästä lähteestä tässä työssä keskitytään esineiden internetiin ja siihen liittyviin big datan lähteisiin. IoT linkittyy älykkään liikkuvuuden ja ympäristön ympärille kehitettäviin ratkaisuihin ja on merkittävä big datan lähde, tuottaen olennaista dataa ratkaisuiden kannalta. Esineiden internet on ilmiö, jossa yhä suurempi osa esineistä on kytkeytyneenä verkkoon ja lataa dataa sinne, lähettää ja vastaanottaa dataa toisilta esineiltä ja niiden muodostamilta systeemeiltä, sekä vastaanottaa dataa, siitä aggregoitua informaatiota ja toiminnanohjeita keskitetyiltä järjestelmiltä, pilvipalveluista tai paikallisesti ylläpidetyistä järjestelmistä (Salo 2014, s. 21).

Esineiden internet pyrkii muuttamaan fyysiset laitteet älykkäiksi esineiksi, jotka voivat kommunikoida internetin välityksellä. Tällä hetkellä ihmisten välinen vuorovaikutus on hallitseva ajatusmalli internetissä, mutta esineiden internetin myötä tuleva uusi, nouseva ajattelutapa olettaa, että millä tahansa uniikilla tunnisteella identifioituja esineitä voidaan pitää toisiinsa kytkettyinä. (Ejaz et al. 2019, s. 17) Esineiden internet on laajentunut valtavasti viime vuosina, ja Suzuki (2017, s. 173) ennustaa, että vuonna 2050 yli 50 miljardia esinettä tulee olemaan internetissä, tarkoittaen 6,58 laitetta yhtä ihmistä kohden (Kuva 4).



**Kuva 4:** Esineiden internetin kasvu (mukaillen Suzuki 2017, s. 174)

Dataa siis syntyy, kun IoT-laitteet kommunikoivat keskenään. Smart city -järjestelmän kehitys perustuukin esineiden internetiin sekä big dataan. Tällaisen järjestelmän kehittämiseen ja toteutukseen sisältyy datan luominen ja kerääminen, yhdistäminen, suodattaminen, luokittelu, esikäsittely sekä laskenta, ja prosessi saadaan päätökseen päätöksenteossa. Esineiden internetiin liitettyjen laitteiden huomattava kasvu johtaa luonnollisesti myös big datan eksponentiaaliseen kasvuun, ja odotetaan, että big dataa kyetään hallita, analysoida sekä käyttää. Siksi esineiden internet on luonnollinen pari big datan analysointiin, sillä se tarjoaa siihen tarvittavat datamäärät. Esineiden internetin toteutuksessa voidaan tunnistaa neljä vaihetta (Kuva 5). (Prabhu et al. 2019, s. 234-235)



**Kuva 5:** Esineiden internetin toteutuksen vaiheet (Prabhu et al. 2019, s. 235)



Ensimmäisessä vaiheessa tulisi siis huomata tapauskohtaisesti sopivat anturit. Anturi on laite, jonka toimintaperiaatteena on muuttaa sähköiseen muotoon informaatiota ilmiöstä, joka ei ole luonnostaan sähköistä. Anturi kerää informaatiota laitteesta, johon se on asennettu, tai sen ympäristöstä, mutta se yksinään ei vielä riitä tuottamaan käyttökelpoista dataa. (Collin & Saarelainen 2016) Toisessa vaiheessa tulisi luoda laite tai sovellus, johon anturi kiinnitetään. Anturit ovat erittäin olennaisia IoT-järjestelmässä. Ne voivat olla hyvin yksinkertaisia, jolloin tietoja jatkuvasti kerätään ja lähetetään, tai älykkäämpiä, jolloin data lähetetään esineiden internetin yhdyskäytävään vasta, kuin tietyt ehdot täyttyvät. (Rayes & Salam 2019. s. 69) Havainnollistava esimerkki on, että liikenteestä kerätään jatkuvaa dataa, mutta ilman hiilidioksidipitoisuudesta anturi viestittää vasta, kun se on mennyt tietyn rajan yli. Älykkäiden anturisolmujen laaja verkko sekä tietokeskukset/pilvet, joissa antureiden tiedot tallennetaan ja jaetaan, rakentavat älykkään kaupungin infrastruktuurin pääosan (He et al. 2014, s. 1).

Kolmannen vaiheen jälkeen, eli kun laitteen antureista saatu data on lähetetty esineiden internetin yhdyskäytävän kautta, päästään vaiheeseen neljä, eli data tulee analysoida. Tähän on olemassa erilaisia analysointiohjelmistoja, joita hyödynnetään päätöksentekoprosessissa. Verrattuna perinteiseen data-analytiikkaan, big data -analytiikka voi poimia älykkäämpää tietoa, samalla kun maksimoidaan tietojen käsittelynopeus sekä parannetaan päätöksenteon luotettavuutta. Älykkäiden kaupunkien esineiden internet kerää ja jakaa tietoja itsenäisesti (Silva et al. 2017, s. 976).

#### 4 BIG DATAN HYÖDYNTÄMINEN SMART CITY -RATKAISUISSA

Big datan hyödyntämisestä smart cityissä älykkään liikkumisen sekä älykkään ympäristön sovelluksissa on luotavissa viitekehys, jonka puitteissa big datan mahdollistamia ratkaisuja, sen lähteitä sekä sen tuomia haasteita on mahdollista tarkastella (Taulukko 3). Taulukko summaa älykkään liikkuvuuden sekä älykkään ympäristön halutut ominaispiirteet, sekä niihin tarvittavan big datan. Näille yhteiset haasteet ja riskit on myös kuvattu viitekehyksessä. Viitekehys perustuu kappaleessa käsiteltäviin älykkään ympäristön sekä älykkään liikkuvuuden big datan lähteisiin, sekä big dataa hyödyntämällä saatuihin smart city ratkaisuihin.

**Taulukko 3:** Big datan hyödyntäminen älykkään liikkumisen ja älykkään ympäristön puitteissa

Haluttavat ominaispiirteet	Tarvittava big data
Älykäs liikkuvuus <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruuhkien välttäminen</li> <li>• Onnettomuuksien välttäminen</li> <li>• Autoilijoiden informoiminen</li> <li>• Sujuva julkinen liikenne ja työmatkat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esineiden internettiin liitetyt anturit ympäri kaupunkia               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Liikennevaloissa</li> <li>○ Autoissa</li> <li>○ Kameroissa ympäri kaupunkia, kuten teiden varsilla ja parkkipaikoilla</li> </ul> </li> <li>• Dataa julkisten kulkuvälineiden leimauslaitteista sekä kaupunkipyöristä</li> </ul>
Älykäs ympäristö <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ekologisuus</li> <li>• Ilmansaasteiden vähentäminen</li> <li>• Luonnonvarojen kestävä käyttö</li> <li>• Energian kestävä käyttö</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esineiden internettiin liitetyt anturit ympäri kaupunkia               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ilmansaasteita mittaavat monitorit</li> <li>○ Sähköverkon anturit ja mittarit</li> <li>○ Sääoloja mittaavat monitorit</li> </ul> </li> </ul>
<b>Haasteet ja riskit</b>	
Big datan haasteet (Jagandish et al. 2014, s. 90-94) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heterogeenisuus</li> <li>• Epäjohdonmukaisuus ja puutteellisuus</li> <li>• Mittakaava</li> <li>• Ajantasaisuus</li> <li>• Yksityisyys ja datan omistus</li> <li>• Inhimillinen näkökulma; visualisointi ja yhteistyö</li> </ul>	

Big datan lisäksi informaatio- ja viestintäteknologia on smart cityjen elinehto ja ilman sitä smart city -käsitettä ei voi olla olemassa. Koska esineiden internet on oleellinen osa smart cityä, on IoT-sovellukset mahdollistavan ICT-verkon suunnittelu välttämätöntä. ICT toimiikin smart city -sovellusten pohjana ja siksi ICT:n infrastruktuurin on itsessäänkin oltava älykäs. (Allied Telesis 2019)

ICT:stä onkin tulossa yhä kattavampi teknologia kaupunkiympäristöissä ja se tarjoaa tarvittavan perustan tulevaisuuden älykkäiden kaupunkien kestävyydelle ja joustavuudelle. Älykkään kaupungin ICT:n keinot liittyvät usein eri toimialueisiin, kuten maankäyttöön, liikenteeseen sekä energiaan. Kaupungin kestävä kehitys, talouskasvu ja luonnonvarojen hallinta vaativat hyvää suunnittelua ja päätöksentekoa. Tässä suhteessa ICT voi tarjota yhtenäisempiä tietoja kaupunkien parempaan hallintaan. Se voi myös muuttaa merkittävästi älykkäiden kaupunkien hallintoa, etenkin parempien viestintä- ja informaatiopalveluiden muodossa, samoin kuin se tarjoaa mahdollisuuden tarjota kansalaisille tarvittavan tiedon ympäristön ja resurssien parempaan hallintaan ja hyödyntämiseen. Informaatio- ja viestintäteknologiaa voi pitää ensisijaisena mahdollistajana muuttaa älykkäiden kaupunkien sovelluskohtaiset tiedot hyödyllisiksi tiedoiksi. ICT:n näkökulmasta älykkäiden kaupunkien mahdollistajana toimivat älykkäät laitteet, kuten älypuhelimet, anturiverkot, älykkäämmät kodinkoneet ynnä muut laitteet, jotka muodostavat esineiden internetin ja siten muuttuvat käyttäjä- ja ympäristökohtaisten tietojen päälähteeksi. (Khan et al. 2013, s. 381-382)

#### **4.1 Älykäs liikkuvuus**

Kun tarkastellaan älykästä liikkuvuutta, havaitaan sille löytyvän ominaisia big datan lähteitä esineiden internetissä. Esimerkkejä ovat niin kutsutut silmukka-anturit, joita käytetään muun muassa ajoneuvojen nopeuden sekä liikenteen määrän mittaamiseen, sekä ympäri kaupunkia asetetut valvontakamerat, jotka tuottavat valtavan määrän kuvia ja videoita, jotka heijastavat liikenteen malleja ja tarjoavat näin visuaalisen näkökulman liikenteestä. Myös niin kutsuttu FCD-järjestelmä (floating car data) toimii big datan lähteenä. Siinä dataa syntyy liikkuvista autoista, joissa on GPS-sensori. Näin auton kulkureitti voidaan sovittaa tieverkkoon ja saada esimerkiksi tietyn tieosuuden keskimääräiset nopeudet selville, joka puolestaan helpottaa ruuhkien ymmärtämistä. (Cesario, 2019, s. 3; Zomaya & Sakri 2019, s. 154) Myös liikennevalot

ovat oleellinen osa älykästä liikkumista. Kun liikennevaloihin liitetään anturit, saadaan reaaliaikaista dataa esimerkiksi autojen nopeuksista, liikenteen tiheydestä, odotusajasta valoissa sekä liikenneneruukista (Galán-García et al. 2014. s. 557).

Älykkääseen liikkuvuuteen liittyvää dataa kerätään lisäksi työmatkatkoilta. Dataa saadaan, kun työmatkailijat jatkuvasti tuottavat digitaalisia jälkiä kulustaan, esimerkiksi leimatessaan bussitai metrokorttinsa, pysäköintilipputiedoista parkkipaikoilla sekä kaupunkipyöristä. Nämä järjestelmät tuottavat paljon dataa työmatkoilta, jotka tukevat kaupunkisuunnittelijoiden ja päätöksentekijöiden ratkaisuja. (Cesario, 2019, s. 3; Zomaya et al. 2019, s. 154-155)

Smart city -ratkaisut älykkään liikkumisen saralla hyötyvät big datan keräämisestä ja analysoinnista. Lopputuloksena pystytään muun muassa parantamaan liikenteen sujuvuutta analysoimalla dataa; esimerkiksi ruuhkia on mahdollista vähentää ennustamalla liikenneolosuhteita ja mukauttamalla liikenteen hallintaa. Liikenteen ennustaminen aiempien liikennetietojen, sosiaalisen median sekä reaaliaikaisten liikennesyötteiden avulla mahdollistaa muun muassa liikenteen pullonkaulojen tunnistamisen ja toimet niiden synnyn estämiseksi. Tästä voidaan hyötyä yleisen liikenteen sujuvuuden parantamisen lisäksi muun muassa hätätilanteissa, kun hälytysajoneuvot pääsevät sujuvasti ajamaan kohteisiinsa. (Djahel et al. 2015, s. 133-134) Älykäs kaupunki kykenee myös vähentämään ruuhkia ja onnettomuuksia avaamalla uusia teitä, parantamalla infrastruktuuria ruuhkista saatavan datan perusteella, sekä keräämällä dataa parkkipaikoista ja vaihtoehtoisista teistä. Älykkään liikkuvuuden sovellukset mahdollistavat myös antureista, älykkäistä liikennevaloista sekä ajoneuvoissa olevista laitteista kerätyn tiedon välittämisen liikenteessä kulkeville esimerkiksi älypuhelimien kautta. (Al Nuaimi et al. 2015, s. 8)

Toinen älykkääseen liikkuvuuteen liittyvä ominaisuus on julkisen liikenteen älykäs hallinta. Tähän sisältyy julkisten kulkuvälineiden aikataulujen optimointi reaaliaikaisen datan perusteella sekä tavaraliikenteen reittien suunnittelu kuljetuskeskuskissa sekä satamakaupungeissa liikenteen helpottamiseksi. (Simmhan & Perera 2016, s. 117) Yksi julkisen liikenteen sovellus on kaupunkipyörät. Ne ovat liitettyinä esineiden internettiin ja kaupunkilaiset voivat kännykkään ladattavalla sovelluksella ottaa ne käyttöönsä. Kaupunkipyörät helpottavat lyhyen matkan liikkumista, sekä voivat vähentää autoilua ja vaikuttaa osaltaan vihreämpään liikkumiseen. (Liu 2018 s. 344-345) Alla on koottuna yhteenveto älykkään liikkuvuuden ratkaisuista ja big datan lähteistä niissä (Taulukko 4).

**Taulukko 4:** Yhteenveto älykkään liikkuvuuden ratkaisuista ja big datan lähteistä

<b>Älykkään liikkuvuuden ratkaisu</b>	<b>Datan lähde</b>	<b>Lähteet</b>
Työmatkojen sujuvuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Työmatkalaisten luomat digitaaliset jäljet järjestelmiin, kuten leimauslaitteisiin, pysäköintijärjestelmiin sekä kaupunkipyöriin.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cesario, 2019, s. 3; Zomaya et al. 2019, s. 154-155</li> </ul>
Liikenteen sujuvoittaminen: pullonkaulojen tunnistaminen ja ruuhkien vähentäminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anturit liikennevaloissa</li> <li>▪ Valvontakamerat ympäri tieverkostoa</li> <li>▪ FCD-järjestelmä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Galán-García et al. 2014. s. 5</li> <li>▪ Cesario, 2019, s. 3; Zomaya &amp; Sakri 2019, s. 154</li> <li>▪ Djahel et al. 2015, s. 133-134</li> </ul>
Ajankohtaista tietoa liikenteestä kuljettajalle	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anturit tieverkostossa</li> <li>▪ Valvontakamerat ympäri tieverkostoa</li> <li>▪ FCD-järjestelmä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Al Nuaimi et al. 2015, s. 8</li> <li>▪ Cesario, 2019, s. 3; Zomaya &amp; Sakri 2019, s. 154</li> </ul>
Sujuva julkinen liikenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matkustajien luoma data julkisen liikenteen järjestelmiin</li> <li>▪ Anturit sekä kamerat ympäri tieverkostoa</li> <li>▪ FCD-järjestelmä</li> <li>▪ Kaupunkipyörien GPS-sensorit</li> <li>▪ Matkapuhelimet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cesario, 2019, s. 3; Zomaya et al. 2019, s. 154-155</li> <li>▪ Liu 2018 s. 344-345</li> </ul>

## 4.2 Älykäs ympäristö

Älykkään ympäristön sovellukset mahdollistavat luonnonvarojen kestäväen käytön. Big data, jota sen luomiseen vaaditaan, sisältää muun muassa meteorologisia tietoja, kuten dataa kosteudesta, lämpötilasta ja sääolosuhteista, sekä ilmanlaatua koskevia tietoja, kuten hiilimonoksidin, hiilidioksidin, typpidioksidin, rikkidioksidin sekä pienhiukkasten pitoisuudet

ilmassa. Laajan alueen ekologiasta ja meteorologiasta saadaan kerättyä dataa satelliittien avulla, mutta kaupungissa dataa kerätään paikallisemmin ympäri kaupunkia olevien antureiden avulla. (Cesario, 2019, s. 3; Zomaya et al. 2019, s. 154) Ilmanlaadusta saadaan tietoa monitorisysteemeistä ja antureista, jotka mittaavat ilmansaasteita. Kun systeemi liitetään esineiden internettiin, saadaan dataa ilmalaadusta. (Idrees et al. 2018, s. 5)

Yksi tärkeä datan lähde älykkääseen ympäristöön liittyen on energiankulutuksesta ja -tuotosta saatu data, joka sisältää tietoja muun muassa sähkönkulutuksesta ja energiakustannuksista, sekä tarjoavaa tietoa kaupungin luonnonvarojen käytöstä (Cesario, 2019, s. 4; Zomaya et al. 2019, s. 155). Älykkäässä kaupungissa toimii esimerkiksi älykäs sähköverkko, joka parantaa sähköntuotannon ja -jakelun kestävyttä. Älykkääseen sähköverkkoon kuuluu tuotanto-, siirto- ja jakelujärjestelmiin sekä kuluttajien tukiasemiin sijoitetut älykkäät anturit ja mittarit, joista saadaan lähes reaaliaikaista dataa nykyisestä sähköntuotannosta, kulutuksesta sekä mahdollisista vioista. (Al Nuaimi et al. 2015, s. 6)

Sähköverkosta kerätyn big datan hyödyntäminen helpottaa esimerkiksi sähkön toimitusasteisiin liittyvää päätöksentekoa, kun saadaan tietoa sähkön todellisesta kulutuksesta sekä kaikista siihen vaikuttavista olosuhteista. Älykäs ympäristö myös tarjoaa säätietoja, joiden avulla voidaan tiedottaa ihmisillä paremmin vaarallisista sääolosuhteista sekä parantaa energiankäytön hallintaa tarjoamalla parempia ennustuksia. (Al Nuaimi et al. 2015, s. 8) Energian kysynnän ennustamisen sekä älykkäiden mekanismien avulla voidaan siirtää kaupungin ei-akuuttia energiankäyttöä jaksoihin, jolloin energiankäyttö on kaupungissa alhaista tai jaksoihin, jolloin uusiutuvaa energiaa on saatavilla paljon (Cesario, 2019, s. 5; Zomaya et al. 2019, s. 156). Ympäristöstä sekä energiaverkosta kerättyä dataa hyödyntämällä voidaan myös mahdollistaa vaihtaminen luotettavista, mutta saastuttavista hiili- ja kaasulaitoksista enemmän sääolosuhteista riippuvaiseen aurinko- sekä tuulienergiaan (Simmhan et al. 2016, s. 117).

Ilmanlaadusta kerättyä dataa voidaan puolestaan hyödyntää luomalla ennusteita ilmanlaadusta sekä palveluita, jotka hyödyntävät asukkaita sekä yleistä terveyttä. Analysoidulla tiedolla voidaan ymmärtää paremmin ilmansaasteiden lähteitä ja vaikuttaa niihin. (Roman 2019) Puhdas ilma on smart cityissä yksi älykkään ympäristön tärkeistä tekijöistä ja välttämätöntä asukkaiden terveydelle, niin saasteiden suorien (esim. terveystaitat), kuin epäsuorienkin (esim.

ruoan turvallisuus) vaikutusten takia (Czechowski et al. 2017 s. 244). Ilmanlaatu on kaupungeissa huonointa ruuhkaisimmilla kaduilla. Kun data on analysoitu luettavaan muotoon, kaupunkitasolla on mahdollista suunnitella liikennettä niin, ettei suurin osa liikenteestä osu ruuhkaisille teille ruuhka-aikaan. Tämä vähentää alueen ilmansaasteita. (Egan 2019) Yksilötasolla puolestaan kaupunkilaisille voidaan antaa tietoa kaupungin eri osien ilmansaasteista, joka mahdollistaa muun muassa parhaimman kävelyreitit valitsemisen (Beck 2017). Useissa kaupungeissa on nykyään jo käytössä jonkinlainen varoitusjärjestelmä, joka kertoo kansalaisille reaaliaikaisesti ilmanlaadusta ja saasteista kaupungissa (Smartcity Press 2018). Alla on koottuna yhteenveto älykkään ympäristön ratkaisuksista ja big datan lähteistä niissä (Taulukko 5).

**Taulukko 5:** Yhteenveto älykkään ympäristön ratkaisuksista ja big datan lähteistä

<b>Älykkään ympäristön ratkaisu</b>	<b>Datan lähde</b>	<b>Lähteet</b>
Energiankäytön optimointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Satelliitit</li> <li>▪ Säättietoja keräävät anturit</li> <li>▪ Älykkään sähköverkon anturit ja mittarit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Al Nuaimi et al. 2015, s.6</li> <li>▪ Cesario, 2019, s. 3-5; Zomaya et al. 2019, s. 154-156</li> </ul>
Fossiilisista polttoaineista uusiutuvaan energiaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Säättietoja keräävät anturit</li> <li>▪ Älykkään sähköverkon anturit ja mittarit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cesario, 2019, s. 3; Zomaya et al. 2019, s. 154</li> <li>▪ Simmhan et al. 2016, s. 117</li> </ul>
Sääolosuhteiden hyödyntäminen: tiedotus vaarallisista sääolosuhteista, energiankäytön hallinnan parantaminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Satelliitit</li> <li>▪ Säättietoja keräävät anturit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Al Nuaimi et al. 2015, s. 8</li> <li>▪ Cesario, 2019, s. 3; Zomaya et al. 2019, s. 154</li> </ul>
Ilmansaasteiden vähentäminen kaupunkiympäristössä, kaupunkilaisten tiedotus ilmanlaadusta	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ilmansaasteita mittaavat anturit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beck 2017</li> <li>▪ Egan 2019</li> <li>▪ Idrees et al. 2018, s. 5</li> </ul>

### 4.3 Big datan haasteet smart city -ratkaisuissa

Big datan soveltaminen älykkäissä kaupungeissa tuo mukanaan monia etuja, mutta myös haasteita, kuten riittävän laskenta- ja tallennustilan saatavuuden datavirtojen käsittelyyn, joita älykäs kaupunkiympäristö tuottaa (Hashemet al. 2016, s. 749-750). Yhtenä haasteena onkin big datan työläs analysointi. Big datan eksponentiaalinen kasvu ohittaa selvästi tehokkaiden tietokoneiden varastojen sekä laskennallisen kapasiteetin kasvun. Big datan analysoinnin haastavuus edellyttää innovatiivisia analyttisiä sekä laskennallisia keinoja, jotka hyödyntävät paremmin tällä hetkellä käytettävissä olevaa laskentatehoa. (Zhang et al. 2018, s. 51) Jopa tavalliset datan analysointitekniikat, kuten tiedon louhinta-algoritmit, on määriteltävä uudelleen ja niitä on laajennettava, muokattava tai mukautettava big data -skenaarioihin, sillä verrattuna tavanomaisiin tilastollisiin analysointitekniikoihin, big datan analysointi eroaa tietojen saatavuuden mittakaavassa sekä kattavuudessa (Prabhu et al. 2019, s. 15).

Big datan analysoinnissa voidaan Jaganhish et al. (2014, s. 90-94) mukaan tunnistaa kuusi haastetta (Kuva 6). Ensimmäinen niistä on datan heterogeenisuus, joka on ongelmana myös smart cityjen esineiden internetistä kerätyssä datassa. Dataa analysoivat algoritmit olettavat datan olevan homogeenistä, eivätkä ymmärrä nyansseja. Siksi big data tulisi jäsenellä ennen sen analysointia. Toinen ongelma on big datan epä johdonmukaisuus ja puutteellisuus. Big dataa saadaan yhä useammista lähteistä, joiden luotettavuus vaihtelee ja datassa esiintyy epävarmuutta, virheitä sekä puuttuvia arvoja. Jopa virheiden korjaamisen jälkeen jotkut puutteellisuudet ja virheet pysyvät ja näitä on kyettävä hallitsemaan big datan analysoinnin aikana, mikä on erittäin haastavaa. Kolmas haaste on big datan mittakaava. Suurten ja nopeasti kasvavien datamäärien hallinta on ollut haaste jo useiden vuosikymmenten ajan ja tällä hetkellä datan määrä kasvaa nopeammin kuin suorittimien nopeudet ja muut laskennalliset resurssit. Myös ajantasaisuus on haasteena, sillä datamäärien kasvaessa tarvitaan reaaliaikaisia tekniikoita tallennettavien tietojen yhteenvetoa ja suodattamista varten, sillä usein raakadatan tallentaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. Tämä luo haasteen käsitellä dataa tietyn aikaikkunan sisällä.

Luonnollisesti dataa käsitellessä ja hallittaessa ongelmaksi nousee yksityisyys ja datan omistus (Jaganhish et al. 2014, s. 92). Muun muassa esineiden internetiin liittyy turvallisuus- ja yksityisyysongelmia sekä -haasteita. Vallitsevat turvallisuus- ja yksityisyyskysymykset, jotka



haastavat IoT:n, ovat standardikysymyksiä tietojen yksityisyydestä, tietojen luottamuksellisuudesta, luottamuksesta, todennuksesta, eheydestä, kulunvalvonnasta, käyttäjän henkilöllisyydestä sekä käyttäjän yksityisyydestä (Prabhu et al. 2019, s. 236). Kodit ovat täynnä esineiden internetiin liitettyjä laitteita ja myös älykkäiden kaupunkien autot ovat liitettyinä esineiden internettiin. Lisäksi turvallisuusriskit ovat erittäin vakavia, kun esineiden internettiin liitettyjä laitteita käytetään liikemaailmassa. Hakkeroimalla suuryritykseen kuuluvan IoT-laitteen, hyökkääjä voi vakoilla laitteen kautta yritystä. Käyttäjien yksityisyyden ylläpitäminen esineiden internetissä onkin ratkaisevan tärkeää, sillä tiedon määrä on valtava. Ulkopuoliset voivat oppia paljon yksittäisten kaupunkilaisten elämästä, jos he pääsevät dataan käsiksi. (Rayes et al. 2019. s. 211-212) Yksityisyys on vain yksi näkökulma datan omistajuudessa. Kun datan arvo saa yhä enemmän tunnustusta, organisaatioiden omistaman datan arvo nousee keskeisemmäksi, strategiseksi näkökulmaksi. Kysymyksistä kuinka jakaa ja myydä tietoja niiden hallintaa menettämättä on tulossa yhtä tärkeämpiä. (Jagandish et al. 2014, s. 94) Viimeisenä haasteena Jagandish et al. (2014, s. 94) toteavat inhimillisen näkökulman, eli visualisoinnin sekä yhteistyön. On varmistettava, että ketjun päätepisteet, eli ihmiset, ymmärtävät analyysien tulokset oikein, eivätkä huku tietomereen.



**Kuva 6:** Big datan haasteet (mukaillen Jagandish et al. 2014, s. 90-94)

## 5 ESIMERKKEJÄ ÄLYKKÄISTÄ KAUPUNGEISTA

Tässä kappaleessa käydään läpi esimerkkejä smart cityistä työssä aiemmin luodun viitekehyksen perusteella (Taulukko 3). Esimerkkien tarkoituksena on konkretisoida smart city -ratkaisuiden käyttöä sekä kehittämistä oikeissa kaupunkiympäristöissä, sekä havainnollistaa big datan lähteitä sekä hyödyntämistä. Esimerkkikaupungit on valittu niiden edistysellisen smart city -teknologian hyödyntämisen perusteella, mutta työhön on myös valittu erilaisia kaupunkeja havainnollistamaan, kuinka erilaisia älykkäät kaupungit ovat ja kuinka eri pohjilta ne on luotu.

### 5.1 Case-esimerkki: Masdar

Masdar on uusi, vuonna 2008 perustettu kaupunki Abu Dhabissa, Arabiemiirikunnissa. Kaupunki on yksi maailman kestävimmistä kaupunkiyhteisöistä soveltaen reaali maailman ratkaisuja energian- ja vedenkäytön tehokkuuteen, liikkuvuuteen sekä jätteiden vähentämiseen. (Masdar 2020)

Kaupungin tavoitteena älykkään liikkumisen suhteen on integroida kävely ja pyöräily täydellisesti julkisen liikenteen järjestelmiin niin kaupungin sisällä kuin sen ulkopuolellakin. Näin saataisiin aikaan koordinoitu ja kestävä liikennejärjestelmä. Masdarin älykäs liikkuvuus onkin toteutettu muun muassa antureilla ja liikennevaloilla, joista myös tarvittava data kerätään. Näin saadaan minimoitua liikenneruuhkat. (Hafez 2017, s. 46-47) Masdarilla on myös käytössään PRT (Personal Rapid Transit), jossa sähkökäyttöiset ja automatisoidut ajoneuvot tarjoavat taksityyppistä kuljetusta julkisen liikenteen ympäristökuorman tasolla. Ajoneuvot kulkevat vain PRT-käytäviä pitkin ja niitä ohjataan tietokoneella. Ne käyttävät antureita, joiden avulla ne löytävät reitille upotetut magneetit, jotka auttavat ajoneuvon navigointia ja varmistavat, että reitti on esteetön. (Masdar 2020) PRT-järjestelmä on käyttöönotostaan, eli vuodesta 2010 asti kerännyt dataa, jota hyödynnetään automaattisten ajoneuvojen kehittämisessä niin tekniikan kuin käyttäjienkin suhteen. On esimerkiksi havaittu, että PRT-järjestelmän keskimääräinen käyttöaste on 60% ja että viikonloppujen käyttömäärähuippujen aikaan se on lähes 90%. Tämä data on myös auttanut siihen, että järjestelmän saatavuuden onnistumisaste sekä luotettavuus on 99,6-99,9%. (2getthere 2018)

Masdar-instituutin sähkötekniikan ja tietotekniikan apulaisprofessori Dr. Mihai Sanduleanu johtaa projektia, jonka tähtäimessä on muuttaa katuvalot älykkäiksi laitteiksi. Niihin asennetaan anturit, jotka keräävät ja lähettävät dataa sääolosuhteista sekä liikenteestä. Tämä auttaa liikenteen nopeuden seuraamisessa sekä tarjoaa tuvallisemman valaistuksen äärimmäisissä sääolosuhteissa. Anturit mahdollistavat myös katuvalojen mukautuvan himmennuksen, jossa katuvalon valaistuksen voimakkuus kasvaa vähitellen ajoneuvon lähestyessä ja häipy nopeasti kohteen poistuessa. Tämä parantaa sekä energiatehokkuutta että edistää kuljettajan turvallisuutta. (Khan & Solomon 2016)

Masdar ja teknologiayhtiö Huawei ovat yhdessä mukana hankkeessa, jonka tavoitteena on tarjota reaaliaikaisia ennusteita ja varoituksia erilaisista ympäristön tuomista terveysriskeistä kaupungin asukkaille. Ympäri kaupunkia asennetut langattomat anturit mittaavat muun muassa ilmansaasteisiin liittyvää dataa ympäristöstä, ja tutkijat kehittävät sovelluksen, joka osaa visualisoida kerätyn datan sekä ennustaa tarkasti erilaiset terveysriskit ja antaa suosituksia terveelliseen toimintaan ympäristöolosuhteiden perusteella. (Solomon 2017)

Masdar pystyy lisäksi hallinnoimaan ja hallitsemaan energiankulutusta tehokkaasti, sekä käyttämään uusiutuvaa energiaa. Älykäs energianhallinta pitää sisällään määräykset vähän energiaa kuluttavista valaisimista sekä älykkäiden laitteiden, mittareiden sekä rakennusten asentamisen sekä hallinnan. Dataa Masdarin älykkäässä sähkö- ja vesiverkossa saadaan juurikin näistä mittareista ja laitteista, ja data prosessoidaan sisäänrakennetun analyysin avulla, joka ennustavien mallien avulla helpottaa kaupungin sähkö- ja vesivarojen hallintaa. Tämä näkyy konkreettisesti sähkön ja veden käytön vähenemisenä sekä energian ja veden tehokkaana hallintana. Haasteena on tietojen vaikea hallinta ja sen kallis hallinta, mikä on tyypillistä big datalle. (Hafez 2017, s. 46-47)

## **5.2 Case-esimerkki: Amsterdam**

Amsterdam on Alankomaiden pääkaupunki, joka sijaitsee alankoalueella Pohjanmeren rannalla. Se oli yksi Euroopan ensimmäisistä smart city -konseptin käyttöönottajista, ja on vuodesta 2009 seurannut kokonaisvaltaista smart city -strategiaa. Amsterdam onkin yksi

Euroopan johtavimmista älykaupungeista. Amsterdamin smart city -järjestelmä perustuu avoimeen dataan, johon kaikilla on pääsy ja jonne kuka vain voi lisätä dataa. (Smith 2017)

Yksi kaupungin älykkään liikkuvuuden sovelluksista liittyy parkkeeraamiseen. Amsterdamin liikenteestä jopa kolmas syntyy parkkipaikkojen etsinnästä. Ratkaisuna tähän on luotu Smart Flow -alusta, johon anturit keräävät reaaliaikaista dataa pysäköintitiedoista sekä havaitsevat ajoneuvot pysäköintipaikoilla sisäänrakennetun algoritmin suodattaessa kaikki ei-toivotut signaalit pois. Antureista datan kerää HeroInsights, tehokas tiedonkeruujärjestelmä, josta saadaan tietoja esimerkiksi parkkipaikkojen kiertonopeudesta, saatavuudesta sekä käyttöasteesta. Dataa hallinnoi Smart Flow Cloud, alusta anturien hallintaan, valvontaan ja konfigurointiin. Älykkäitä algoritmeja hyödyntämällä alusta pystyy ohjaamaan pysäköinninhakijoita oikeisiin paikkoihin liikenteen optimoinniksi, sekä ei-toivottujen ruuhkien vähentämiseksi. Kaupunkilaisille on kehitetty sovellus, joka näyttää vapaat pysäköintipaikat. Myös viranomaiset hyötyvät ratkaisusta, sillä kerätty ja analysoitu data auttaa kaupunkia pysäköinnin suunnittelussa ja investoinneissa, mikä puolestaan johtaa kokonaisvartiointikustannusten sekä pysäköintikulujen alenemiseen. Älykkään liikkuvuuden sovellukset ovat myös yhteydessä ympäristöön, sillä samanaikaisesti muiden etujen kanssa, tämä vähentäisi kaupungin ilmansaasteita 30-50%. (Yazamtec 2020)

Amsterdamin on myös käynnissä jo yli 10 vuotta sitten alkanut Amsterdam Practical Trail -projekti, jonka tavoitteena on parantaa liikennettä Amsterdamin kehäteillä. Siinä kehäteille, sekä niiden liittymiin on asetettu antureita, jotka mittaavat liikennettä. Kun liikenne kehätiellä ylittää kynnyksarvon, mittari antureineen sekä älykkäät liikennevalot rampilla aktivoituvat. Aktivoituneiden liikennevalojen avulla kehätielle pyrkivää liikennevirtaa säädellään automaattisesti, jotta liikennesuuhkaa siellä saadaan vähennettyä. Tällöin kuitenkin rampille syntyy ruuhkaa, jolloin edellisen rampin mittari sekä liikennevalot aktivoituvat, ja luovat tilaa kehätielle, jotta seuraavalta rampilta päästään liittymään tielle. Liikennevalot ympäröivien alueiden paikallisilla teillä alkavat myös toimia, mikä luo puskuria rampeja kohti kulkevalle liikenteelle. (Praktijkproef Amsterdam 2014)

Projektin toinen osa liittyy suoraan autoilijan informoimiseen. Auton ulkopuolisen teknologian avulla esimerkiksi mahdollinen onnettomuus on nopeasti havaittavissa, ja siitä kerätyn datan avulla on mahdollista informoida ihmisiä näyttämällä varoituksia teiden varsilla, sekä

vaikuttamalla älykkäiden liikennevalojen toimintaan. Auton sisäinen teknologia taas mahdollistaa sen, että esimerkiksi onnettomuuden sattuessa ihmiset saavat varoituksen sekä vaihtoehtoisen, henkilökohtaisen reittiehdotuksen joko auton navigointijärjestelmään tai älypuhelimensa, jolloin ruuhkalta onnettomuuspaikalla voidaan välttyä. (The Netherlands and you 2018)

Ympäristön laadun ja elinkelpoisuuden varmistamiseksi Amsterdamissa on Amsterdam Atmospheric Monitoring Supersite (AAMS), joka on yli 30 sääaseman verkosto, joka kartoittaa Amsterdamin säää pitkällä aikavälillä. Valvontaverkkoon asennetut anturit voivat esimerkiksi tunnistaa viileät kaupunginosat, ja tähän tietoon perustuen on mahdollista tunnistaa parhaat sovellettavat käytännöt. Valvontaverkossa on myös mittari, joka tallentaa koko kaupungin lämmönvaihdon ja haihtumisen. Haihtuminen on tärkeä muuttuja myös kaupungin vesitasapainossa ja siten kaupunkien veden hallinnassa sekä pohjaveden tasolla. Jotta Amsterdamissa saavutettaisiin CO<sub>2</sub>-tasapaino, mitataan kaupungissa myös hiilidioksiditaso. Uusiutuvan energian, kuten aurinkopaneelien käyttö, auttaa saavuttamaan hiilidioksiditavoitteen. (AMS Institute 2016)

Amsterdam on riippuvainen ulkoisista yrityksistä, joilla on tarjota kaupungille tarvittavaa smart city -teknologiaa. Yritykset kuitenkin odottavat saavansa strukturoitua dataa, mutta tosiasiasa data on usein vielä strukturoimatonta, eli useassa eri muodossa, johtuen big datan eri lähteistä. Tämä on haasteena nopeasti kehittyvässä kaupungissa. (Smartcity Press 2017)

### **5.3 Case-esimerkki: Woven City**

Autovalmistaja Toyota ilmoitti vuoden 2020 alussa Consumer Electronics Show'ssa Los Angelesissa aikovansa rakentaa täysin uuden älykkään kaupungin, Woven Cityn, joka tulee sijaitsemaan Fuji-vuoren juurella Japanissa (Pierce 2020, s. 8). Virallisten arvioiden mukaan kaupunki asutetaan vuoden 2021 tienoilla, jolloin alkaa kaupungin kokeellinen vaihe (Ramos 2020). Kokeellisen vaiheen ”elävään laboratorioon” kuuluvat Woven cityn nettisivujen mukaan asukkaat ja tutkijat, jotka kehittävät tekniikoita, kuten autonomiaa, robotiikkaa, liikkuvuutta sekä älykkäitä koteja (Toyota Woven City 2020).

Älykästä liikkuvuutta kaupungissa tullaan soveltamaan tiesuunnittelulla; teiden käyttö on suunniteltu jaettavan kolmeen osaan, nopeille ajoneuvoille, hitaampaa nopeutta liikkuville kulkuneuvoille, kuten pyörille, henkilökohtaisten kulkuvälineiden, kuten sähköpotkulautojen, käyttäjille, ja puistomaisille kävelykaduille, jotka on tarkoitettu vain jalankulkijoille. Katutyypit punoutuvat kaupungissa yhteen ja muodostavat katujen verkoston, joka on omiaan vähentämään ruuhkia ja parantamaan turvallisuutta. Itse liikkumiseen käytetään vain täysin autonomisia ja päästöttömiä ajoneuvoja. (Citron 2020; Gordon 2020) Toyotan e-Palette, itsenäisesti liikkuva auto, on tässä pääroolissa. Ne ovat akkukäyttöisiä, mikä on omiaan edistämään kestäväää liikkumista. Toyota on suunnitellut e-Palettejen kuljettavan ihmisten lisäksi myös kaupungissa liikkuvia tavaroita ja muiden tarvikkeita. (Smartcity Press 2020) E-Palettejen datansiirtomoduulista (eng. *Data Communication Module*, DCM) kerätään data ajoneuvosta sekä liikenteestä Toyotan Big Data Centeriin. Tätä kerättyä dataa hallitaan Toyotan Mobility Service Platformilla (MSPF), jossa sitä hyödynnetään autonomisten kulkuneuvojen hallinnassa sekä kehittämisessä (Toyota 2018).

Woveniin on suunniteltu myös maanalainen kaupunki, jonne on tarkoituksena sijoittaa kaikki tuki-infrastruktuuri. Maan alla autonomiset ajoneuvot kuljettavat esimerkiksi tavaroita, joita kotien esineiden internetiin liitetyt anturit ovat havainneet puuttuvan, ja joita ihmiset ovat tilanneet. Kaupungin infrastruktuuri tulee toimimaan digitaalisen käyttöjärjestelmän avulla, jossa tekoäly ohjaa ja hallitsee antureista saapuvaa dataa. (Blanco 2020) Toyota onkin kertonut keskittyvänsä uusien älykkään liikkuvuuden sovelluksien integroimiseen verkkoon kytkettyyn kaupunki-infrastruktuuriin ja tekee yhteistyötä japanilaisen telekommunikaatioyhtiön NTT:n kanssa, joka tulee toimittamaan yhteydet erittäin nopean langattoman tekniikan avulla. Ajoneuvot puolestaan ovat osana auttamaan luomaan kaupunkiympäristön tarvitsemaa big dataa esimerkiksi liikenteen vaaroista. (Greimel 2020, s. 1)

Älykkääseen ympäristöön liittyvä kestävyys on suuressa osassa myös Wovenissa. Kaupungin rakennukset tehdään pääasiassa puusta hiilijalanjäljen minimoimiseksi, ja kaupunki tulee käyttämään uusiutuvaa energiaa, jota se saa vetypolttokeinoista sekä rakennusten katoille asennettavista aurinkokennoista. Myös liikenteen päästöttömyys ja maanalaisuus mahdollistaa kaupungin puhtaan ilmanlaadun. (Gordon 2020)

Yksi big dataan liittyvistä haasteista, datan yksityisyys ja omistus, on noussut esille myös Toyotan Woven Cityssä. Toyota kertoo, ettei sillä ole vielä suunnitelmia, mitä se aikoo tehdä kaikelle kaupungista ja sen asukkaista kerätylle datalle. Yhtiö kuitenkin väittää, että se on kehittämässä strategioita, joissa painotetaan läpinäkyvyyttä dataan liittyvien toimien suhteen. Selvityksen alla on myös modulaariset datan käyttöoikeudet, jolloin asukkaat voisivat valita, sallivatko he tietyistä lähteistä saatavan datan seurannan ja keräämisen. (Bennett 2020)

Myös muut yritysajat, etenkin niin kutsutut dataajat, on kiinnostunut älykkäiden kaupunkien ja niiden prototyyppien sekä sovellusten suunnittelusta. Muun muassa mediamonialayhtymä Facebook rakentaa oman kaupunkityyppistä aluettaan Menlo Parkiin, Kaliforniaan. (Hirschfeld 2020) Myös internetiin liittyviin palveluihin ja tuotteisiin erikoituneella Googella on ollut käynnissä smart city -projekti Torontossa. Koronaviruspandemian myötä Google ilmoitti kuitenkin luopuvansa projektista pandemian mukana tulleen talouden epävarmuuden myötä. (Wakefield 2020) Voi siis olla, etteivät yritysten omat kaupunkiprojektit ole yhtä kestäväällä pohjalla kuin kaupunkivetoiset projektit, sillä hankkeiden on oltava taloudellisesti kannattavia ja ne ovat riippuvaisempia maailman taloustilanteesta.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tutkia, miten big dataa voidaan hyödyntää smart city -ratkaisuissa ja niiden kehittämisessä. Aihetta lähestyttiin teoriakirjallisuuden kautta, sekä havainnollistettiin case-esimerkeillä. Kirjallisuudesta haettiin tarpeellista teoriaa smart cityjen, big datan, esineiden internetin sekä älykkään liikkuvuuden ja ympäristön osilta. Teorian tarkoituksena oli, että lukija saisi käsityksen käsitteistä, sekä ymmärtäisi, kuinka ne linkittyvät toisiinsa älykkäissä kaupungeissa. Teorian tarkoituksena oli myös varmistaa, että työllä on hyvä tieteellinen pohja. Empiirisessä osassa tarkoituksena oli käydä läpi kolmen erilaisen esimerkkikaupungin edistyksestä smart city -teknologian käyttöä sekä kaupunkien käytössä/tulossa olevia smart city ratkaisuja, jotka hyödyntävät big dataa. Työssä taustalla kulki johdannossa esitetty tutkimuskysymys, johon työn käsittelykappaleiden oli tarkoituksena vastata:

*”Millä tavoin big dataa voidaan hyödyntää smart city -ratkaisuiden kehittämisessä?”*

Tutkimuskysymyksen lisäksi johdannossa esitettiin kaksi apukysymystä:

*” Mistä lähteistä big dataa saadaan smart cityssä?”*

*”Kuinka big datan hyödyntäminen näkyy älykkään liikenteen ja älykkään ympäristön kehityksessä ja ratkaisuissa?”*

Kaupungistuminen on kiihtynyt viimeisten vuosikymmenten aika, ja tulee jatkamaan kasvuaan myös tulevaisuudessa. Kaupunkien kasvamisen myötä on myös kasvanut tarve kaupunkien kehittymiselle sekä tehostumiselle. Tällöin ratkaisua lähdetään hakemaan älykkäistä kaupunkiratkaisuista. Työssä selvisi, että kaupunkia voi kutsua älykkääksi, kun sen ratkaisut ovat älykkäitä useilla osa-alueilla, joista moni pohjautuu big dataan ja sen hyödyntämiseen. Tulevaisuudessa yhä useampi kaupunki tulee pyrkimään kohti älykkäitä kaupunkiratkaisuja vastauksena väestönkasvun aiheuttamille ongelmille, jolloin uusien teknologioiden ja ratkaisuiden kehittäminen muuttuu yhä olennaisemmaksi.

Työssä havaittiin, että usein ratkaisua lähdetään hakemaan big datasta ja sen tuomista sovellusmahdollisuuksista. Big datan määrittely on laajentunut viimeisten vuosien aikana big datan yleistyessä ja kasvaessa. Samalla on kasvanut myös ymmärrys big dataa ja sen



ominaisuuksia kohtaan. Big datan ominaisuudet, joihin työssä viitattiin, olivat sen volyyymi, monimuotoisuus ja vauhti. Tutkimuksessa kävi ilmi, että älykkään kaupungin esineiden internetistä kerätyllä datalla on havaittavissa näitä ominaispiirteitä. Havaittiin myös, että esineiden internet on älykkään kaupungin big datan yksi merkittävimmistä lähteistä.

Älykkäiden kaupunkien big data ja sen hyödyntäminen perustuu siis paljolti esineiden internettiin sekä informaatio- ja viestintäteknologiaan. Työssä havaittiin, että ICT toimii pohjana ja mahdollistajana esineiden internetille ja tätä kautta smart city -ratkaisuille. Lisäksi, jotta big dataa pystyttäisiin hyödyntämään smart city -ratkaisuissa, sitä on saatava tarpeeksi. Tämä tarkoittaa, että esineiden internetiin kytkettyjä esineitä ja laitteita antureineen tulee olla runsaasti sekä laajasti ympäri kaupunkia, jotta big dataa saadaan kattavasti koko kaupungista. Tutkimuksessa selvitettiin rajauksen mukaisesti älykkään liikkuvuuden sekä älykkään ympäristön vaatimat big datan lähteet, sekä yleismaallisia ratkaisuja, joita näitä hyödyntämällä voidaan kehittää. Selvisi, että tärkeimpiä älykkääseen liikkuvuuteen liittyviä big datan lähteitä olivat erilaiset liikenteen anturit, joita on teiden varsilla, liikennevaloissa sekä parkkipaikoilla. Myös valvontakameroista saatava kuva- ja videomateriaali, sekä esineiden internettiin liitetyt autot GPS-tekniikoineen olivat oleellisia luojia älykkään liikenteen vaatimalle big datalle. Älykkään liikkuvuuden vaatimaa dataa puolestaan saadaan satelliiteista, säätietoa ja ilmanlaatua mittaavista antureista sekä muun muassa älykkään sähköverkon mittareista ja antureista.

Koska esineiden internetistä kerätty data on useissa eri muodoissa sen monien eri lähteiden takia, on big dataa osattava käsitellä, jotta sitä pystyttäisiin hyödyntämään. Työssä havaittiin, että big datan analysointi on monimutkaisempaa, kuin tavallisen datan, ja big data -analytiikka vaatii suurempaa kapasiteettia sekä laajempaa ja mukautettua versiota data-analytiikasta, ja näistä syistä se usein on pullonkaulana smart city ratkaisujen kehittämisessä. Tutkimuksessa löytyikin big datalle ominaiset viisi haastetta, jotka haastavat big datan hyödyntämistä. Monet älykkään liikenteen ja ympäristön sovellukset vaativat muun muassa reaaliaikaista päätöksentekoa, joka edellyttää, että dataa tulisi pystyä käsitellä reaaliajassa. Empiiristen esimerkkien kautta huomattiin ongelmia datan hallinnan haastavuudessa sekä hintavuudessa, datan lähteiden määrässä ja sitä kautta sen heterogeenisuudessa sekä sen yksityisyyttä sekä omistusta koskevissa kysymyksissä.

Kun data on käsitelty ja analysoitu, voidaan sen tuomaa tietoa hyödyntää smart city -ratkaisuissa ja niiden kehittämisessä. Big datan mahdollistamia älykkään liikenteen ominaispiirteiden vaatimia ratkaisuja havaittiin työssä olevan muun muassa liikenteen sujuvuus vähentämällä ruuhkia sekä tunnistamalla ja vähentämällä liikenteen pullonkauloja älykkäiden liikennevalojen ja vaihtoehtoisen reittien tarjoamisen avulla. Myös kuljettajan informoiminen ajoissa mahdollisista ongelmista saadun datan valossa sujuvoittaa liikennettä sekä vähentää onnettomuuksia. Työmatkojen sekä julkisen liikenteen sujuvoittamiseen havaittiin myös olevan ratkaisuja, kun julkisen liikenteen aikatauluja optimoidaan analysoidun matkustaja- ja liikennedatan perusteella, sekä kun kaupunkipyöriä otetaan käyttöön. Älykkään ympäristön ratkaisuja haluttujen ominaispiirteiden saavuttamiseksi havaittiin työssä olevan energiantuoton optimoinnin mahdollistaminen sähkönkulutuksen mukaiseksi sekä päinvastoin. Sähkönkulutuksen sekä ympäristöä ja säätietoja koskevan datan avulla mahdollistetaan uusiutuviin energialähteisiin siirtyminen. Säätietoja hyödyntämällä voidaan myös luoda ratkaisuja, jotka edistävät niin ihmisten varoittamista sääolosuhteista, kuin maatalouden parantamista säitä mahdollisimman optimaalisesti hyödyntäen. Olennainen osa niin älykästä ympäristöä kuin liikkuvuuttakin ja niiden ratkaisuja on ilmansaasteiden vähentäminen älykkäässä kaupungissa. Liikenteen osalta päästöt ja ilmansaasteet vähenevät liikenteen ja ruuhkien vähentyessä ja älykkään ympäristön ratkaisuna toimii myös ilmanlaadusta tiedottavat ja varoittavat järjestelmät, jotka informoivat kaupungin asukkaita. Ekologisuus kulkee taustalla lähes jokaisessa älykkään ympäristön ratkaisussa, kun resurssien ja energiankulutusta pyritään vähentämään.

Smart cityt, joita elokuvissa ja muussa viihteessä nähdään, voivat vaikuttaa utopistilta ja datan käsittelyn kapasiteetin tulee vielä kehittyä, jotta kaupunkien tuottamasta datasta saataisiin kaikki irti. Vaikka kaikki mahdollinen teknologia olisikin käytössä, vaatii älykäs kaupunki kuitenkin myös hallinnon, joka pyrkii viemään kaupunki kohti älykkyyttä, sekä yrityksiä, jotka ovat valmiita lähtemään mukaan projekteihin. Nykyään on kuitenkin kaupunkeja, joissa käytössä on edistyksellistä smart city -teknologiaa. Käytännön ratkaisut, joita case-esimerkkikaupungit ovat kehittäneet älykkään liikkuvuuden sekä älykkään ympäristön saralla, on tiivistetty taulukkoon alla (Taulukko 6).

Taulukko 6: Yhteenveto case-esimerkeistä

<i><b>Kaupunki</b></i>	<b>Ratkaisu</b>	<b>Datan lähteet</b>
<i>Masdar</i>	Liikenne-ruuhkien minimoiminen liikennevalojen avulla	Anturit teillä ja liikennevaloissa keräävät dataa liikenteestä
	PRT (Personal Rapid Transit), automaattisten ajoneuvojen kehitys	Anturit PRT:n reitillä, data käyttöasteesta
	Älykkäät katuvalot	Sensorit katuvaloissa keräävät dataa liikenteestä ja sääolosuhteista
	Älykäs energianhallinta	Anturit ja mittarit sähkö- ja vesiverkossa
	Ennusteet ja varoitukset ympäristön terveysriskeistä	Anturit mittaavat ilmaaasteisiin liittyvää dataa ympäristöstä
<i>Amsterdam</i>	Parkkeeraamisen sujuvoittaminen	Anturit keräävät reaaliaikaista dataa pysäköintipaikoista
	Amsterdam Practical Trial, kehäteiden liikenteen sujuvoittaminen	Anturit kehäteillä, rampeissa sekä ympäröivillä teillä keräävät dataa liikenteestä, auton sisäinen teknologia kerää dataa auton sijainnista
	Energian- ja vedenkulutuksen vähentäminen, veden hallinta	Anturit mittaavat kaupungin lämpötilaa ja veden haihtumista
	Ilmanlaadun parantaminen	Anturit mittaavat ilman hiilidioksiditasoa
<i>Woven City</i>	e-Palettejen hyödyntäminen kaupunkilaisten liikuttelussa	e-Palettejen keräämä data liikenteestä sekä ajoneuvoista
	Maanalainen infrastruktuuri ja kuljetusjärjestelmät	Anturit kodeissa ja maanalaisissa kuljetusjärjestelmissä

Työn empiirisestä osiosta oli myös pääteltävissä, että valtiovetoiset smart city -hankkeet ovat mahdollisesti varmemmalla pohjalla kuin yritysvetoiset. Yksittäiseen yritykseen vaikuttaa vahvemmin taloudellisen tilanteen vaihtelu, koska projektissa ei välttämättä ole yhtä paljoa eri tahoja mukana kuin valtiovetoisessa hankkeessa, on projekti helpompi jättää kesken.

Tämän tutkimuksen rajauksen ulkopuolelle jätettiin neljä älykkään kaupungin ulottuvuutta, älykäs talous, älykkäät ihmiset, älykäs hallinto sekä älykäs eläminen. On otettava huomioon, että näillä on oma roolinsa älykkään kaupungin tukipilareina, sekä että näistäkin saadaan oleellista big dataa, jonka pohjalta voidaan kehittää smart cityä tukevia ratkaisuja. Kun kaikki ulottuvuudet osataan ottaa huomioon ja tekniikan ollessa tarpeeksi edistysellistä, on smart city -ratkaisuja mahdollista kehittää entistä kattavammin ja täten tulevaisuuden älykkäillä kaupungeilla on mahdollisuudet kohota vielä älykkäämmiksi.

## 7 LÄHTEET

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*. Vol. 6 (1). s. 1-15.

Allied Telesis. 2019. ICT: The Fundamental Enabler for Smart Cities. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 14.7.2020]. Saatavissa: <https://www.alliedtelesis.com/en/blog/ict-fundamental-enabler-smart-cities>

AMS Institute. 2016. AAMS – Amsterdam Atmospheric Monitoring Supersite. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.7.2020]. Saatavilla: <https://www.ams-institute.org/urban-challenges/resilient-cities/amsterdam-atmospheric-monitoring-supersite/>

Beck, C. 2019. Smart cities air quality sensing – can technology match the hype? [Verkkodokumentti]. [Viitattu 12.7.2020]. Saatavilla: <https://www.aeroqual.com/smart-cities-air-quality>

Bennett, B. 2020. Toyota is building a smart hydrogen-powered city to rival Sidewalk Labs. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.8.2020]. Saatavilla: <https://mobilesyrup.com/2020/01/06/toyota-smart-city/>

Blanco, S. 2020. CES 2020: Toyota Woven City Will Weave Together AI, Hydrogen Power And The Future. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.8.2020]. Saatavilla: <https://www.forbes.com/sites/sebastianblanco/2020/01/06/ces-2020-toyota-woven-city-will-weave-together-ai-hydrogen-power-and-the-future/#2a1190ddeb2e>

Buyya, R., Calheiros, R. N. & Dastjerdi, A. 2016. BIG DATA Principles and Paradigms. Morgan Kauffman. 468 s.

Caragliu, A., Del Bo, C. & Nijkamp, P. 2011. Smart cities in Europe. *Journal on Urban Technology*. Vol. 18 (2). s. 65-82.

Cesario, E. 2019. Big Data Analysis for Smart City Applications. Teoksessa: Schintler, L., A., & McNeely, C., L., (toim.) *Encyclopedia of Big Data Technologies*. Cham, Springer International Publishing. s. 152-158.

Citron, R. 2020. Applying Toyota's Woven City Design to Real-World Cities. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.8.2020]. Saatavilla: <https://guidehouseinsights.com/news-and-views/applying-toyotas-woven-city-design-to-realworld-cities>

Collin, J. & Saarelainen, A. 2016. *Teollinen internet*. Helsinki: Talentum. [E-kirja]. [Viitattu 15.6.2020]. Saatavilla: [https://bisneskirjasto-almatalent-fi.ezproxy.cc.lut.fi/teos/BAFBIXCTEB#/kohta:Teollinen\(\(20\)internet\(\(20\)piste:b4](https://bisneskirjasto-almatalent-fi.ezproxy.cc.lut.fi/teos/BAFBIXCTEB#/kohta:Teollinen((20)internet((20)piste:b4)

Czechowski, P., Badyda, A., Majewski, G., Oniszczyk-Jastrzabek, A., Kraszewski, A., Rogula-Kozłowska, W. & Owczarek, T. 2017. Providing high-quality measurement data in analytical system of air pollution monitoring and their key importance for smart cities residents. *Annals of Warsaw University of Life Sciences--SGGW. Land Reclamation*. Vol. 49 (4). s. 241-253.

Denver South Economic Development Partnership. Here's Why Smart Cities are Possible Today. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 21.7.2020]. Saatavilla: <https://denversouthedp.org/heres-why-smart-cities-are-possible-today/>

Dirks, S. & Keeling, M. 2009. A vision of smarter cities. New York, IBM Corporation. 17 s. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 12.8.2020]. Saatavilla: [https://www-03.ibm.com/press/attachments/IBV\\_Smarter\\_Cities\\_-\\_Final.pdf](https://www-03.ibm.com/press/attachments/IBV_Smarter_Cities_-_Final.pdf)

Djahel, S., Doolan, R., Muntean, G. & Murphy, J. 2015. A Communications-Oriented Perspective on Traffic Management Systems for Smart Cities: Challenges and Innovative Approaches. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. Vol. 17 (1). s. 125-151.

Egan, N. 2019. Why transport planning is so vital to improving air quality. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 12.7.2020]. Saatavissa: <https://airqualitynews.com/2019/07/24/why-transport-planning-is-vital-to-improving-air-quality/>

Ejaz, W. & Anpalagan, A. 2019. *Internet of Things for Smart Cities: Technologies, Big Data and Security*. Cham, Springer International Publishing. 66 s.

Galán-García, J. L., Aguilera-Venegas, G. & Rodríguez-Cielos, P. 2014. An accelerated-time simulation for traffic flow in a smart city. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. Vol. 270, s. 557-563.

Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N. & Meijers, E. 2007. *Smart cities - Ranking of European medium-sized cities*. Vienna University of Technology. 25 s.

Gordon, P. 2020. They will come from the East – the rise of smart cities in the new decade. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 10.8.2020]. Saatavilla: <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/smart-cities/they-will-come-from-the-east-the-rise-of-smart-cities-in-the-new-decade/>

Greimel, H. 2020. This is one Toyota project that will take a village; Advanced research starts with a new town. *Automotive News*. Vol. 94 (6929). s. 18-21.

Hafez, H. A. A. 2017. Big Data in Smart Cities: Analysis and Applications in Arab World. *Egyptian Computer Science Journal*. Vol 41 (1). s. 38-52.

Hashem, I., Chang, V., Anuar, N., Adewole, K., Yaqoob, I., Gani, A., Ahmed, E. & Chiroma, H. 2016. The role of big data in smart city. *International Journal on Information Management*. Vol 36 (5). s. 748-758.

He, Y., Stojmenovic, I., Liu, Y. & Gu, Y. 2014. Smart City. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. Vol. 10 (5).

Helbing, D. 2016. *Thinking Ahead – Essays on Big Data, Digital Revolution, and Participatory Market Society*. Cham, Springer. 194 s.

Hirschfeld, A. 2020. Prototype City Trend Takes Shape as Toyota Announces New Project. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.8.2020]. Saatavilla: <https://observer.com/2020/01/toyota-smart-city-urban-planning-prototype-trend/>

Idrees, Z., Zou, Z. & Zheng, L. 2018. Edge Computing Based IoT Architecture for Low Cost Air Pollution Monitoring Systems: A Comprehensive System Analysis, Design Considerations & Development. *Sensors*. Vol.18 (9). Saatavilla: <https://doi.org/10.3390/s18093021>

Ismail, A. 2016. Utilizing Big Data Analytics as a solution for smart cities. 2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC). IEEE. s. 1-5.

Jagandish, H. V., Gherke, J., Labrinidis, A., Papakonstantinou, Y., Patel, J. M., Ramakrishnan R. & Shababi, C. 2014. Big data and its technical challenges. *Communications of the ACM*. Vol 57 (7). s. 86-94.

Khan, Z., Anjum, A. & Kiani, S. L. 2013. Cloud based Big Data Analytics for Smart Future Cities. *Journal of Cloud Computing*. Vol. 4 (1). s. 381-386.

Khan, Z. & Solomon, E. 2016. Towards a Smarter, Safer, and More Sustainable Transportation System. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 15.7.2020]. Saatavilla: <https://www.ku.ac.ae/towards-a-smarter-safer-and-more-sustainable-transportation-system/>

Kitchin, R. 2014. The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, vol. 79 (1), s. 1-14.

Laney, D. 2001. Application Delivery Strategies. Stamford, Meta Group. 4 s. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.6.2020]. Saatavilla: <https://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocity-and-Variety.pdf>

Liu, L. 2018. IoT and A Sustainable City. *Energy Procedia*, vol. 153, s. 342-346.

Malli, S., S., Vijayalakshmi, S., & Balaji, V. 2018. Real Time Big Data Analytics to Derive Actionable Intelligence in Enterprise Applications. Teoksessa: Dey, N., Hassanien, A. E., Bhatt, C., Ashour, A. S. & Satapathy, S. C. (toim.) *Internet of Things and Big Data Analytics Toward Next-Generation Intelligence*. Cham, Springer International Publishing. s. 99-122.

Masdar. 2020. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 15.7.2020]. Saatavilla: <https://masdar.ae/en>

Pierce, A. 2020. Toyota's Woven City of the Future. *Tech directions*. Vol. 79 (5). s. 8–9.

Prabhu, C. S. R., Chivukula, A. S., Mogadala, A., Ghosh, R. & Livingston, L.M.J. 2019. *Big Data Analytics: Systems, Algorithms, Applications*. Singapore, Springer. 412 s.

Praktijkproef Amsterdam. 2014. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 17.7.2020]. Saatavilla: <https://www.praktijkproefamsterdam.nl/about-amsterdam-practical-trial>

Rafferty, W., Rafferty, L. Hung, P. C. K. 2016. *Introduction to Big Data*. Teoksessa: Hung, P. C. K (toim.) *Big Data Applications and Use Cases*. Cham, Springer International Publishing. s. 1-15.

Ramos, J. 2020. Woven City: when car manufactures design Smart Cities. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 10.8.2020]. Saatavilla: <https://www.smartcitylab.com/blog/governance-finance/woven-city-toyota-builds-city-japan/>

Rayas, A. & Salam, S. 2019. *Internet of Things From Hype to Reality – The Road to Digitization*. 2<sup>nd</sup> ed. Cham, Springer. 366 s.

Roman, T. 2019. *Smart & Breathable Cities*. Vaisala Weather & Environment. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 30.6.2020]. Saatavilla: <https://clicinnovation.fi/wp-content/uploads/2019/08/Smart-and-Breathable-Cities.pdf>

Salo, I. 2014. *Big data & pilvipalvelut*. Jyväskylä, Docendo Oy. 186 s.

Shadroo, S. & Rahmani, A. M. 2018. Systematic survey of big data and data mining in internet of things. *Computer Networks*. Vol 139. s. 19-47.

Silva, B. N., Khan, M. & Han, K. 2017. Integration of Big Data analytics embedded smart city architecture with RESTful web of things for efficient service provision and energy management. *Future generation computer systems*. Vol 107. s. 975-987.

Simmhan, Y. & Perera, S. 2016. Big Data Analytics Platforms for Real-Time Applications in IoT. Teoksessa: Pyne, S., Rao, B. & Rao, S. (toim.). *Big Data Analytics: Methods and Applications*. New Delhi: Springer India. s. 115-135.



Smart Cities Mission Statements & Guidelines. 2015. Government of India, Ministry of Urban Development. 44 s. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.6.2020]. Saatavilla: <https://smartnet.niua.org/sites/default/files/resources/smartcityguidelines.pdf>

Smartcity Press. 2017. Amsterdam – A Data-driven City Of Europe. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 18.8.2020]. Saatavilla: <https://www.smartcity.press/amsterdam-smart-city-initiatives/>

Smartcity Press. 2018. A Clean Environment For Smart Cities To Breathe. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 14.7.2020]. Saatavilla: <https://www.smartcity.press/air-quality-in-smart-cities/>

Smartcity Press. 2020. All You Need To Know About Toyota’s ‘Woven City’ In Japan. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 10.8.2020]. Saatavilla: <https://www.smartcity.press/toyota-woven-city-of-future/>

Smith, L. 2017. Amsterdam Smart City: A World Leader in Smart City Development. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 16.7.2020]. Saatavilla: <https://hub.beesmart.city/city-portraits/smart-city-portrait-amsterdam>

Solomon, E. 2017. Masdar Institute and Huawei Partner to Leverage the Internet-of-Things for Development of “Smart City” Applications. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 15.7.2020]. Saatavilla: <https://www.ku.ac.ae/masdar-institute-and-huawei-partner-to-leverage-the-internet-of-things-for-development-of-smart-city-applications/>

Suzuki, L. R. 2017. Smart Cities IoT: Enablers and Technology Road Map. Teoksessa: Suzuki, L. R., Rassa, S. T. & Pardalos, P. M. (toim.). *Smart City Networks: Through the Internet of Things*. Cham, Springer International Publishing. s. 167-190.

The Netherlands and you. 2018. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 17.7.2020]. Saatavilla: <https://www.netherlandsandyou.nl/latest-news/news/2018/11/12/smart-mobility-from-amsterdam-going-global>

Toyota. 2018. Toyota Launches New Mobility Ecosystem and Concept Vehicle at 2018 CES®. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 10.8.2020]. Saatavilla: <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/20546438.html>

Toyota Woven City. 2020. Welcome to Woven City. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 10.8.2020]. Saatavilla: <https://www.woven-city.global/>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2019. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. New York, United Nations. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 30.6.2020]. Saatavilla: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>

Wakefield, J. 2020. Coronavirus: Google ends plans for smart city in Toronto. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.8.2020]. Saatavilla: <https://www.bbc.com/news/technology-52572362>

Yazamtec. 2020. Success Stories. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 16.7.2020]. Saatavilla: <https://www.yazamtec.com/success-stories/>

Zhang, X., Xie, R. & Ma, P. 2018. Statistical Leveraging Methods in Big Data. Teoksessa: Härdle, W., Lu, H. & Shen, X. (toim.) *Handbook of Big Data Analytics*. Cham, Springer. s. 51-74.

Zhong, R., Newman, S., Huang, G. & Lan, S. 2016. Big Data for supply chain management in the service and manufacturing sectors: Challenges, opportunities, and future perspectives. *Computers & Industrial Engineering*. Vol 101. s. 572-591.

2getthere. 2018. PRT system availability @99.7% since the launch in 2010. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 15.7.2020]. Saatavilla: <https://www.2getthere.eu/masdars-prt-system-functions-99-since-launch-2010/>