



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA

Oona Lehtonen

**Älykaupunkikonseptin hyödyntäminen kaupungin  
kestävän kehityksen lisäämisessä**

Tekniikan ja innovaatiojohtami-  
sen akateeminen yksikkö  
Kauppatieteiden pro gradu- tut-  
kielma  
Tietojärjestelmätiede

Vaasa 2024

---

**VAASAN YLIOPISTO****Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö**

<b>Tekijä:</b>	Oona Lehtonen		
<b>Tutkielman nimi:</b>	Älykaupunkikonseptin hyödyntäminen kaupungin kestävän kehityksen lisäämisessä		
<b>Tutkinto:</b>	Kauppätieteiden maisteri		
<b>Oppiaine:</b>	Tietojärjestelmätiede		
<b>Työn ohjaaja:</b>	Juho-Pekka Mäkipää		
<b>Valmistumisvuosi:</b>	2024	<b>Sivumäärä:</b>	62

---

**TIIVISTELMÄ:**

Kaupunkien asukasluku kasvaa jatkuvasti. Jo nyt suurin osa maailman ihmisistä asuu kaupunki-alueilla, ja tulee kasvamaan tulevaisuudessa niin, että reilusti yli puolet maailman väestöstä tulee asumaan kaupungeissa. Siksi olisikin tärkeää, että kaupungit toimisivat kestävästi ja rasittaisivat ympäristöä mahdollisimman vähän. Kaupungit kuitenkin tuottavat suurimman osan maailman päästöistä, joten olisi perusteltua pyrkiä vähentämään niitä. Tähän ongelmaan voisi olla mahdollista hyödyntää älykaupunkiteknologiaa.

Tämän tutkielman tarkoitus onkin siis tutkia älykaupunkikonseptin hyödyntämistä kestävämpien kaupunkien suunnittelussa. Tutkimus on toteutettu systemaattisen kirjallisuuskatsauksena ja tavoitteena on poimia kirjallisuudesta parhaita älykaupunkien keinoja kaupunkien päästöjen vähentämiseen. Tarkoituksena on siis luoda yhteenveto näistä keinoista. Kovin paljon tutkimuksia älykaupunkiin liittyen pelkästään ympäristön ja kestävyysnäkökulmasta ei ole, minkä takia tämä aihe valittiin. Lisäksi aihe on hyvin ajankohtainen ja sellainen, joka tulee varmasti pysymään relevanttina pitkään.

Kaupungeissa on paljon mahdollisuuksia päästöjen pienentämiseen varsinkin liikenteen ja energian osalta. Molempia voidaan optimoida erilaisten seurantajärjestelmien avulla, jolloin esimerkiksi energian kulutusta voidaan optimoida. Liikenteen osalta julkiseen liikenteeseen tulisi panostaa ja lisäksi hyödyntää erilaisia älykkäitä liikenteen seurantajärjestelmiä, joiden avulla myös liikennettä voidaan kerätyn datan perusteella optimoida.

Monissa löytyneissä ratkaisuista hyödynnettiin eri puolille kaupunkia asetetuista sensoreista saatua dataa. Data onkin yksi tärkeimmistä tekijöistä älykaupungeissa. Sen avulla pystytään tekemään informoituja päätöksiä, joiden kautta voidaan vaikuttaa kaupungin ympäristöystävällisyyteen. Datan perusteella voidaan vaikuttaa juuri edelle mainittuihin liikenteeseen ja energiaan.

Kirjallisuudesta löytyi paljon potentiaalisia älykaupungin ratkaisuja, joita voidaan ottaa käyttöön esimerkiksi uutta älykaupunkihanketta aloitettaessa tai jo olemassa olevaan kaupunkiin. Tällaisia ratkaisuja voisivat olla esimerkiksi älykäs sähköverkko, joka mahdollistaa paljon energian tuotannon ja kulutukseen liittyviä ratkaisuja niiden optimoinniksi. Myös liikenteeseen panostaminen esimerkiksi integroidun liikennejärjestelmän luomisella on tärkeää kaupunkien kestävän kehityksen kannalta. Kaikkia tutkielman ratkaisuja ei tarvitse kaupungeissa hyödyntää, mutta jo varmasti parilla saa luotua hyötyjä kaupunkiympäristössä.

---

**AVAINSANAT:** älykaupunki, älytekniikka, älykkäät sähköverkot, kestävyys, kestävä kehitys, ympäristövaikutukset, data

## Sisällys

1	Johdanto	6
1.1	Tutkimuksen tavoite	7
1.2	Tutkimuksen tarve	9
1.3	Tutkielman rakenne	9
2	Tärkeimmät käsitteet ja teoriat	10
2.1	Älykaupunki	10
2.1.1	Älykaupungin kuusi teemaa	13
2.1.2	Älykäs sähköverkko	15
2.2	Teknologia	17
2.2.1	Esineiden internet	17
2.2.2	Big Data	18
2.2.3	Pilvilaskenta	19
2.3	Kestävyys ja kestävä kehitys	20
3	Tutkimusmenetelmä	23
3.1	Systemaattinen kirjallisuuskatsaus	23
3.2	Katsauksen suunnittelu	23
3.3	Katsauksen toteuttaminen	24
4	Tulokset	28
4.1	Älykäs liikenne	33
4.2	Älykäs ympäristö	36
4.2.1	Älykäs sähköverkko ja -energia	37
4.2.2	Älykäs jätehuolto	39
4.2.3	Luonto ja kasvillisuus	40
4.3	Älykäs eläminen	41
4.4	Älykäs hallinto	42
5	Älykaupungin keinot luoda kestäväää kehitystä	45
6	Diskussio	47
6.1	Tieteelliset löydökset ja jatkotutkimusaiheet	47

6.2	Käytännön kontribuutio	50
7	Yhteenveto	54
7.1	Tutkimuksen rajoitteet ja tulevaisuuden tutkimus mahdollisuudet	56
8	Lähteet	57

## Kuviot

Kuvio 1.	Älykaupunkien piirteitä ja työkaluja, joita on mainittu älykaupunkien määritelmässä (mukailtu Eremia ja muut, 2017).	12
Kuvio 2.	Älykaupunki ja siihen liittyvät kuusi teemaa.	14
Kuvio 3.	Esimerkkejä YK:n kestävän kehityksen tavoitteista (mukailtu lähteestä United Nations).	22
Kuvio 4.	Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen artikkelien valinnan vaiheet.	27

## Taulukot

Taulukko 1.	Katsauksen vaiheet.	26
Taulukko 2.	Systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa löydettyt artikkelit ja niistä selvinneet löydökset.	28
Taulukko 3.	Keinoja, joita kaupungeissa voidaan hyödyntää kestävyuden lisäämiseksi, listattuna osa-alueiden mukaan. Sensorit ja data liittyvät kaikkiin osa-alueisiin jollakin tapaa.	46

# 1 Johdanto

Kaupungeissa asuvan väestön osuus kasvaa jatkuvasti. On ennustettu, että vuoteen 2030 mennessä jopa yli 60 prosenttia maailman väestöstä asuisi kaupungeissa (Eremia ja muut 2017). Tämä olisi merkittävä osuus ihmisistä. Eremian ja muiden (2017) mukaan tällä hetkellä kaupungeissa asuu jo noin puolet maailman ihmisistä, ja kaupungit kuluttavat jopa 75 prosenttia kaikesta tuotetusta energiasta. He kertovat kaupunkien myös olevan vastuussa 80 prosentista kasvihuonekaasuista. Urbanista kehityksestä ja siihen liittyvistä ongelmista onkin keskusteltu paljon viime vuosina, he vielä mainitsevat. Kaupunkien kasvaessa voi lisäksi syntyä uusia ongelmia, esimerkiksi lisääntyneistä ruuhkista, jätteen käsittelystä sekä saasteista (Camero & Alba, 2019).

Tämän takia onkin myös tärkeää kiinnittää huomiota kaupunkien ympäristöystävälliseen ja kestävään suunnitteluun. Älykaupunkiteknologia voisi olla tässä ratkaisuna. Tämä tutkimus voisikin tuoda ratkaisun ongelmaan tarjoamalla tutkimuksen, jossa on samaan paikkaan kerätty parhaimmilla vaikuttavia konsepteja ja teknologioita, joiden avulla kaupunki voi pienentää ympäristölle aiheuttamaansa rasitusta. Älykaupunkikonseptissa pyritään parantamaan kaupunkien toimivuutta tieto- ja viestintätekniikan (ICT) avulla (Camero & Alba, 2019). Tässäkin tutkielmassa monet älykaupungin tärkeimmistä toiminnoista keskittyvät ICT teknologiaan. Lisäksi älykaupungin määritelmässä myös mainitaan kestävyys yhtenä sen päätavoitteista (Toli & Murtagh, 2020), ja siihen voidaan pyrkiä ICT:n avulla.

Tutkimus toteutettiin systemaattisena kirjallisuuskatsauksena. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus seuraa systemaattisesti metodologista lähestymistapaa, selittäen avoimesti ja selkeästi menettelytavat, joilla tutkimus on toteutettu (Okoli, 2015). Tutkimuksen avulla uusia älykaupunkeja kehitettäessä voidaan alusta alkaen ottaa mukaan tutkimuksessa mainittuja tapoja esimerkiksi liikenteen hallintaan ja energian tuotantoon ja jakeeluun, jotta päästään siihen pisteeseen, että ympäristölle haitallisten päästöjen määrä on

mahdollisimman pieni. Tutkielmaan kerättyjä tapoja voidaan ottaa käyttöön jo myös olemassa olevissa kaupungeissa, kun pyritään parantamaan niiden kestävyyttä.

Tutkimus aloitettiin kartoittamalla tutkimuksen tavoite, joka on luoda yhteenveto älykaupungin käytännöistä, joista olisi hyötyä kaupungin kestävyiden parantamisessa. Tällaisia yhteenvetoja kun ei oikeastaan jo olemassa olevasta kirjallisuudesta tunnu löytyvän. Tämän jälkeen aloitettiin aineiston kerääminen olemassa olevista tutkimuksista teoriaosuutta varten. Tämän jälkeen toteutettiin itse systemaattinen kirjallisuuskatsaus, jonka avulla pyrittiin saamaan vastaus tutkimuksen kysymykseen.

## 1.1 Tutkimuksen tavoite

Tässä pro gradu- tutkielmassa perehdytään älykaupunkeihin ympäristöllisen kestävyiden kannalta. Tarkoituksena on koota yhteen parhaita älykaupungin käytäntöjä, jotka vaikuttaisivat positiivisesti kaupungin kestävyteen erityisesti ympäristön näkökulmasta samalla sen päästöjä pienentäen. Käytännöt liittyvät niin infrastruktuuriin kuin kaupungin hallintaan ja energian tuotantoon ja käyttöön. Käytäntöjä voidaan hyödyntää niin uutta kaupunkia suunnitellessa kuin vanhaa paranneltaessa. Tavoitteena on samalla vastata pro gradu- tutkielman tutkimuskysymykseen, joka on

*Millä älykaupungin keinoin voidaan luoda kestävää kehitystä kaupungeissa?*

Yhteenveto voi toimia apuna kaupunkien päättäjille, kun he pohtivat mihin suuntaan kaupunkia tulisi kehittää. Uutta älykaupunkihanketta aloittaessa voidaan tutkielmasta poimia helposti mukaan hyviä käytäntöjä, jos tavoite on pyrkiä ympäristön kannalta parhaaseen lopputulokseen. Tutkielmaan kerättyjen käytäntöjen tarkoituksena on pääasiassa siis vastata kaupunkien tarpeeseen pienentää haitallisia päästöjään, mutta samalla monet keinoista voivat myös lisätä kaupunkien asumismukavuutta, kuten viheralueiden lisääminen. Eli kestävyys voi lisääntyä myös laajemmin, joten käytäntöjen hyödyntämisestä voi siis olla monenlaista hyötyä.

Tutkielmaa toteutettaessa löytyi paljon mahdollisia käytäntöjä, joita kaupungeissa voitaisiin hyödyntää. Suurimmat mahdollisuudet ympäristön kannalta liittyvät erityisesti liikenteeseen ja energiaan. Kumpaakin näistä optimoimalla voidaan päästä suuriin päästöjen vähennyksiin. Tässä auttaa monenlaiset sensorit, joiden avulla voidaan kerätä dataa, jonka kautta pystyy tekemään erilaisia päätöksiä, esimerkiksi energian tuotannossa. Näin ei tule turhaa kulutusta ja tuotantoa, jolloin pystytään myös vähentämään näistä aiheutuvia päästöjä.

Liikenteessä julkisen liikenteen lisäämiseen pyrkimällä voidaan pienentää yksityisautoilun aiheuttamia päästöjä. Julkisen liikenteen houkuttelevuutta ja sujuvuutta lisäämällä sen käyttöastettakin pystyttäisiin nostamaan. Myös liikenteessä erilaisilla sensoreilla voidaan seurata liikenteen kulkua ja tunnistaa esimerkiksi ruuhkakohdat, joissa muun muassa liikennevalojen avulla voidaan sujuvoittaa liikennettä ja pienentää ruuhkia. Liikennevalojen avulla voidaan myös suosia julkista liikennettä, jolloin sillä olisi mahdollisuuksien mukaan aina etuajo-oikeus risteyksissä.

Tärkeää on kaupungeissa myös panostaa kasvillisuuteen ja luontoon, sillä ne sitovat hiidioksidia ilmasta sekä lisäävät asumismukavuutta. Kasvillisuutta voidaan hyödyntää myös rakennuksissa, joissa esimerkiksi viherseinät ja -katot parantavat rakennusten energiatehokkuutta, sillä kasvillisuus eristää rakennusta, jolloin se ei tarvitse yhtä paljon lämmitystä tai viilennystä. Tämä taas auttaa vähentämään energiankulutuksesta ja -tuotannosta aiheutuvia päästöjä.

Lisäksi tärkeää kaupungissa on myös hallinto, jolla on tärkeä tehtävä hyödyntää kaikkea kaupungista kerättyä dataa tekemällä oikeita päätöksiä, jotka johtaisivat kaupungin toimintaa kestävämpään suuntaan. Data on yksi tärkeimmistä välineistä älykaupungeissa.

## 1.2 Tutkimuksen tarve

Älykaupunkeihin liittyen on tehty paljon tutkimusta varsinkin viime vuosien aikana, myös liittyen niiden kestävyYTEEN. Niiden perusteella on mahdollista saada paljon tietoa siitä, kuinka älykaupunkeja on toteutettu ja millaisia elementtejä niissä on hyödynnetty ja voisi hyödyntää. Kuitenkaan älykaupunkien ominaisuuksia yhteen vetäviä tutkimuksia ei oikeastaan ole, varsinkaan sellaisia, jotka olisi toteutettu nimenomaan ympäristön kannalta toimivia ratkaisuja yhteen kooten. Niinpä ajatuksena oli luoda tutkimus, jossa on kerätty yhteen toimivia ja tehokkaita käytänteitä älykaupungeista, joilla voidaan lisätä niiden kestävyyttä erityisesti ympäristön kannalta.

## 1.3 Tutkielman rakenne

Tutkimus alkaa tärkeimpien käsitteiden läpikäymisellä kappaleessa kaksi. Kappaleessa käydään läpi älykaupunki-termi ja muita siihen liittyviä asioita, esimerkiksi älykaupungin kuusi teemaa. Kappaleessa käydään läpi myös älykaupunkeihin kirjallisuuden perusteella olennaisesti liittyvää teknologiaa, muun muassa esineiden internet ja big data. Lopuksi esitellään myös kestävä kehitystä ja sitä, kuinka sitä on tällä hetkellä toteutettu kaupungeissa.

Kappaleessa kolme esitellään tutkimusmenetelmä, eli systemaattinen kirjallisuuskatsaus. Kappaleessa käydään läpi, kuinka kirjallisuuskatsaus on toteutettu, sekä sen prosessi, jotta katsaus olisi toistettavissa. Kappaleessa neljä taas on tuotu esille tärkeimmät systemaattisesta kirjallisuuskatsauksesta löytyneet tulokset, jotka on tiivistetty kappaleessa viisi. Tuloksien pohjalta kappaleessa kuusi on toteutettu diskussio, jossa pohditaan tuloksien toimivuutta ja tärkeyttä. Lopuksi kappaleessa seitsemän on yhteenveto lopettamassa tutkielman.

## 2 Tärkeimmät käsitteet ja teoriat

Tässä kappaleessa käydään läpi tutkimukseen liittyviä tärkeimpiä käsitteitä. Tärkein tekijä tutkimuksessa on älykaupunki, johon tämä kappale vahvasti liittyy. Lisäksi kappaleessa käydään älykaupunkiin olennaisesti liittyviä tekijöitä, kuten erilaisia teknologioita, joita älykaupungeissa yleisesti hyödynnetään. Lisäksi myös kestävyys on tutkielman kannalta tärkeä teema, joten sitä käsitellään myös tässä kappaleessa.

### 2.1 Älykaupunki

Kaupunkien kasvaessa uusia ongelmia ilmenee, kuten liikenneruuhkat, jätteiden hoito ja saasteet (Camero & Alba, 2019). Viimeisten vuosikymmenien aikana älykkäät urbaanit teknologiat ovat alkaneet osana älykaupunkiagenda peittää kaupungeja tavoitteena luoda laajan ja älykkään infrastruktuurin ranka (Yigitcanlar & Kamruzzaman, 2018). Näin pyritään vastaamaan kaupungeissa syntyviin ongelmiin.

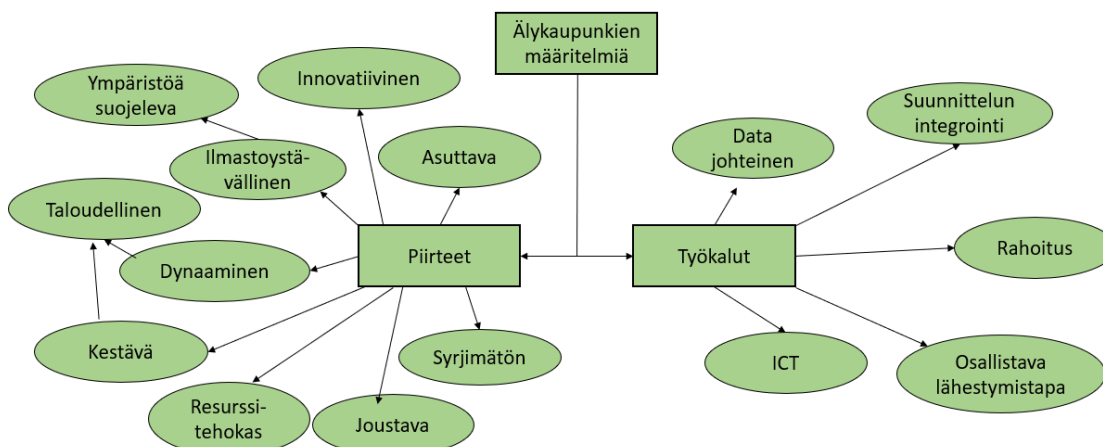
Songin ja muiden (2017) mukaan älykaupunki on edelleen hieman epäselvä konsepti, sillä sille ei ole aivan yksiselitteistä määritelmää. He sanovat, että tällä hetkellä ”älykaupunki”-termiä käytetään melkein pä mistä tahansa teknologiavetoisesta urbaanista aloitteesta. Älykaupungille ei kuitenkaan näytä olevan yhtä kaikkeen sopivaa määritelmää (Toli & Murtagh, 2020). Erilaisia määritelmiä kuitenkin riittää.

Yleisesti ottaen älykaupunki käyttää tieto- ja viestintäteknikkaa (ICT) elämisen, työnteon ja kestävyden parantamiseen (Eremia ja muut, 2017). ICT onkin erittäin oleellinen tekijä älykaupungissa (Monzon 2015), sillä se mahdollistaa infrastruktuurin tehokkaan hyödyntämisen ja kestävä kehityksen niin taloudellisesta, sosiaalisesta että kulttuurisesta näkökulmasta (Eremia ja muut, 2017). Kestävyden katsotaan myös olevan yksi päätavoitteista älykaupungissa (Toli & Murtagh, 2020), jonka takia sitä tässäkin tutkielmassa tarkastellaan.

Älykaupunki voidaan siis mieltää modernina kaupunkina, joka hyötyy ICT:stä (Kirimtat ja muut, 2020). Modernin ICT, ja sen lisäksi internet ja datan jakelun jatkuva laajeneminen luovat laajemmat mahdollisuudet urbaanien ihmisten työntekoon ja elämiseen liittyvien olojen parantamiseen (Song ja muut, 2017).

Yigitcanlar ja Kamruzzaman (2018) määrittelevät älykaupungin olevan visio tämän vuosituhannen ideaalista ja kestävästä kaupungista. Älykaupunki olisi määritelmän mukaan tehokas, teknologisesti kehittynyt, vihreä sekä sosiaalisesti syrjimätön. Kestävyys on siis tärkeä osa tätä määritelmää.

Myös Eremian ja muiden (2017) mukaan älykaupungin tulisi olla kestävä eikä vahingoittaa ympäristöä. Kuten myös aikaisemmin mainittu, kestävyys onkin yksi tärkeimmistä älykaupungin piirteistä, sillä Kirimtatin ja muiden (2020) mukaan kaupungit kuluttavat jopa 75 prosenttia kaikesta maailmassa tuotetusta energiasta, sekä tuottavat 80 prosenttia hiilidioksidipäästöistä. He sanovatkin, että älykaupungin tavoitteena olisi siis olla kestävä ja energiatehokas urbaani keskus. Kuvio 1 näyttää älykaupungin pääpiirteitä ja päätyökaluja, jotka ovat saatavilla kunnalle ja sen asukkaille. Nämä tekijät voivat muovata kaupunkista älykkään (Eremia ja muut, 2017).



**Kuvio 1.** Älykaupunkien piirteitä ja työkaluja, joita on mainittu älykaupunkien määritelmissä (mukailtu Eremia ja muut, 2017).

Infrastrukturi on keskiössä älykaupungeissa ja teknologia on se, joka mahdollistaa tämän infrastruktuurin (Monzon 2015). Parempi infrastrukturi kuljetukselle voidaan luoda hyödyntämällä digitaalista teknologiaa resurssien tehokkaamman käytön parantamiseen sekä päästöjen pienentämiseen (Toli & Murtagh, 2020). Mutta tärkeintä kaupungin älykkyyden kannalta on se, että kaikki järjestelmät ovat integroitu ja yhteydessä (Monzon 2015).

Songin ja muiden (2017) mukaan älykaupunki on kaupunki, jossa ICT:tä hyödynnetään urbaanin elämän tasapainoisen ja sukupolvien välisen kestävyuden saavuttamiseen. Eremia ja muut (2017) mainitsevat, että ICT:tä hyödynnetään kaikkien tärkeiden toimintojen monitoroimiseen, kuten teiden, siltojen, julkisen liikenteen, veden, energian sekä tärkeiden rakennusten. Heidän mukaansa näitä monitoroimalla kaupunki pystyy paremmin optimoimaan resurssit, suunnittelemaan ehkäiseviä ylläpitotoimia, ja tarkkailemaan turvallisuutta samalla maksimoiden kaupungin palvelut asukkailleen.

Kaupunkien älykkäällä kehittämisellä pyritään muun muassa vähentämään köyhyyttä, epätasa-arvoa ja työttömyyttä, sekä tehostamaan energiaressurssien hallintaa (Eremia ja

muut, 2017). Älykaupunkiprojektien tärkein vaatimus onkin se, että ne pyrkivät vastaamaan kaupunkien tulevaisuudessa kohtaamiin haasteisiin (Monzon 2015), joita voivat olla esimerkiksi juuri edellä mainitut teemat.

Kirimtat ja muut (2020) kertovat kaupunkien keskittyvän nykyään enemmän älykkääksi tulemiseen hyödyntäen datanhallintamenetelmiä, kuten IoT, big dataa ja pilvilaskenta-tekniikoita. He sanovat näiden auttavat kaupunkien pyrkimyksessä luoda parannuksia niin liikenteen hallintaan, kestävien luonnonvarojen hallintaan, elämän laatuun, että älykaupungin infrastruktuuriin.

Monzonin (2015) mukaan älykaupunkikonsepti viittaa kokonaisvaltaiseen lähestymistapaan kaupungin hallintaan ja kehitykseen liittyen. Hän kertoo älykaupunkien tärkeimpiä innovaatioita olevan käyttäjälähtöisen lähestymistavan lisääntyminen, jonka kautta urbaaneja ongelmia tutkitaan asukkaiden näkökulmasta. Hän lisää, että kaupungin asukkaita myös osallistetaan enemmän kaupungin toimivuuteen. Näin ollen Monzonin mukaan älykaupungeilla on siis täysin kokonaisvaltainen lähestymistapa urbaaneihin haasteisiin.

Älykaupunkia ekologisesta perspektiivistä katsoen se pyrkii saamaan paikalliset hallinnot, yritykset ja yhteisöt sitoutumaan kasvihuonepäästöjen pienentämiseen, kertovat Yigitcanlar & Kamruzzaman (2018) artikkelissaan. He mainitsevat älykaupunkien myös pyrkivän kasvattamaan urbaanin alueen väestötiheyttä ja lisäämään viheralueita. Ekologisuus on siis tärkeä osa älykaupunkien toimintaa.

### **2.1.1 Älykaupungin kuusi teemaa**

Älykaupungeista puhuttaessa termiin liitetään usein kuusi eri teemaa (Kuvio 2). Ne ovat älykkäät ihmiset (Smart People), älykäs talous (Smart Economy), älykäs hallinto (Smart Governance), älykäs liikenne (Smart Mobility), älykäs ympäristö (Smart Environment) sekä älykäs eläminen (Smart Living) (Kirimtat ja muut, 2020; Monzon, 2015).



**Kuvio 2.** Älykaupunki ja siihen liittyvät kuusi teemaa.

Camero ja Alba (2019) kertovat älykkäät ihmiset- teeman tarkoittavan sitä, että luovuutta parannetaan ja innovatiivisuutta edistetään hyödyntämällä IT:tä ja tietojenkäsittelytehtä. Heidän mukaansa näiden avulla myös mahdollistetaan työnteko, henkilöstöhallinto ja pääsy koulutukseen. Myös osallistuminen julkiseen elämään on osa älykkäät ihmiset-teemaa.

Älykkäeseen talouteen Camero ja Alba (2019) kertovat liittyvän muun muassa e-business, e-commerce, sekä taloudelliset mahdollisuudet, joita ICT tarjoaa. He lisäävät myös yrittämisen liittyvän vahvasti älykkäeseen talouteen, sekä esimerkiksi työmarkkinoiden joustavuuden. Lisäksi älykkäessä taloudessa myös keskitytään paljon innovaatioon sekä tehokkuuteen (Camero & Alba, 2019).

Älykkään hallinnon Camero ja Alba (2019) kertovat hyödyntävän tietojenkäsittelyoppia ja IT:tä demokraattisten prosessien ja julkisten palveluiden parantamiseen, sekä myös paremman suunnittelun ja päätöksenteon tukemiseen. Päätöksenteko on iso osa älykästä hallintoa, ja siinä hyödynnetään vahvasti kaupungista kerättyä dataa. Myös osallistaminen päätöksentekoon on osa älykästä hallintoa (Camero & Alba, 2019).

Älykäs liikenne sisältää pääasiassa aloitteita, jotka pyrkivät parantamaan liikennettä ja logistiikkaa IT:tä hyödyntäen, mainitsevat Camero ja Alba (2019). Heidän mukaansa älykäs liikenne pyrkii tuomaan ICT-infrastruktuuria saataville, ja luomaan kestäviä, innovatiivisia ja turvallisia kuljetusjärjestelmiä. Älykkääseen liikenteeseen liittyy myös liikenteen ja liikennevalojen optimointi (Belli ja muut, 2020).

Camero ja Alba (2019) mainitsevat älykkään ympäristön taasen sisältävän esimerkiksi älykkään energian, eli muun muassa älykkään sähköverkon ja uusiutuvat energian lähteet, veden, vihreät rakennukset, urbaanin vihreän suunnittelun, urbaanit palvelut, sekä resurssien käytön tehostamisen, uudelleen käytön ja korvaamisen ympäristöolojen parantamiseksi. Eli toisin sanoen älykäs ympäristö koostuu resurssien kestävästä käytöstä ja hallinnasta, he sanovat.

Viimeinen teema on älykäs eläminen, johon kuuluu IT:tä hyödyntäviä aloitteita, joiden avulla mahdollistetaan uusia elämäntyyylejä, sekä luodaan turvallisia ja terveellisiä kaupunkeja, jotka ovat houkuttelevia asukkaille, kertovat Camero ja Alba (2019). He kertovat, että kaupunkeihin pyritään myös luomaan niin kulttuuri- kuin opetustilojakin. Lisäksi he mainitsevat älykkään elämisen pyrkivän myös parantamaan asumisen tasoa. Älykäs eläminen siis keskittyy älykkäisiin rakennuksiin, sekä elämän laatuun (Kirimtat ja muut, 2020).

### **2.1.2 Älykäs sähköverkko**

Älykäs sähköverkko, tai älykäs verkko, on järjestelmä, jonka avulla kaikki muut järjestelmät toimivat (Eremia ja muut, 2017). Älykäs sähköverkko tarjoaa lupaavaa teknologiaa vihreiden energianlähteiden liittämiseksi sähkönjakelujärjestelmään, luoden myös mahdollisuuksia energiankäytön kontrollointiin (Badidi ja muut, 2020). Elektroninen energiainfrastruktuuri on yksi kaupunkien tärkeimmistä välineistä (Eremia ja muut, 2017),

sillä älykäs sähköverkko auttaa parantamaan energian käsittelyä, sekä pienentämään ympäristöön liittyvää jalanjälkeä (Berntzen ja muut, 2018).

Älykkään sähköverkon ajatellaan mukautuvan heitteleviin uusiutuvan energian lasteihin, mahdollistavan virtauksen sisään ja pois erilaisista hajautetuista lähteistä, ja vastaavan joustavasti kuluttajakohtaisiin vaatimuksiin (Quitow & Rohde, 2022). Joten älykäs sähköverkko mahdollistaa varsin joustavan toiminnan sähkönjakelussa. Lisäksi älykkääseen sähköverkkoon voidaan myös integroida muita sähköön liittymättömiä osa-alueita, kuten vesi, kaasu, lämmitys, viilennys, jätteen hallinta ja sähköllä toimiva liikenne (Quitow & Rohde, 2022).

Berntzen ja muut (2018) kertovat älykkäiden mittarien olevan tärkeä osa tällaista sähköverkkoa. Heidän mukaansa niiden avulla voidaan jatkuvasti mitata sähkön kulutusta kotitalouksissa ja muissa rakennuksissa. Mittarit mahdollistavat sen, että kuluttajat voivat saada paremman kuvan energian kulutuksestaan ja näin ollen kiinnittää huomiota sen pienentämiseen (Kaleem ja muut, 2017; Badidi ja muut, 2020).

Al Nuaimi ja muut (2015) kertovat älykkään sähköverkon olevan elektroninen verkkojärjestelmä, joka hyödyntää ICT:tä datan keräämisessä ja sen pohjalta toimimisessa. Heidän mukaansa tällaista dataa voi olla esimerkiksi sähkön toimittajien ja -kuluttajien käyttäytyminen. Lisäksi he kertovat sähköverkon parantavan tehokkuutta, luotettavuutta, taloudellisuutta ja kestävyyttä sähkövoiman tuotannossa ja jakelussa.

ICT mahdollistaa sähköjärjestelmien tarkkailun sekä kahdenvälisen kommunikaation lopukäyttäjien ja sähkön tuottajien välillä, kertovat Kaleem ja muut (2017). He toteavat älykkäiden sähköverkkojen mahdollistavan kuluttajien kysynnän muokkaamisen kysyntään vastaamisen kautta, sekä sen avulla tuottajat ja jakelijat pystyvät pienentämään voimansiirron ja jakelun hukkaa (Kaleem ja muut, 2017). Älykkäät sähköverkot voivat hyödyntää koneoppimista tekemään kriittisiä päätöksiä kuormasta huipputunteina,

muutoksista kuluttajien kulutuksessa, ja verkon luotettavuudesta kriittisinä huipputunteina (Tiwari ja muut, 2022).

## **2.2 Teknologia**

Teknologia on suuressa osassa älykaupungeissa, sillä teknologia juuri luo kaupunkien älykkyyden. Tässä kappaleessa käydään läpi kolme älykaupunkeihin liittyvä pääteknologia-alueita, esineiden internet, big data ja pilvilaskenta. Nämä esiteltävät kolme teknologiaa ovat älykkäiden ratkaisujen kolme pääpilaria, sillä niiden avulla kaupungit pystyvät käsittelemään suuria määriä dataa ja palveluja (Kirimtat ja muut, 2020).

### **2.2.1 Esineiden internet**

Esineiden internet (IoT) tekniikat ovat enenevässä määrin tulleet esiin ratkaisuna älykkään kaupungin luomiseen, kertovat Krimitat ja muut (2020). He toteavat, että näitä teknologioita on mainittu paljon viimeaikaisessa kirjallisuudessa juuri älykaupungin kehittämiseen liittyen.

Kirimtat ja muut (2020) toteavat älykaupunkien näkökulmasta IoT:n olevan infrastruktuuria, joka tarjoaa kehittyneitä palveluita yhdistämällä fyysisiä ja virtuaalisia asioita ICT:n avulla. He kertovat sen sisältävän internet-pohjaisia teknologioita, samalla yhdistäen myös käyttäjän tarpeet tai sovellukset. IoT:n avulla monista perinteisistä välineistä saadaan älykkäitä, lisäävät Krimitat ja muut (2020). Tyypillisiä IoT järjestelmiä älykaupungeissa ovat erilaiset sensorit, kommunikointirajapinnat, kehittyneet algoritmit ja pilvirajapinnat (Kumar ja muut, 2020).

### 2.2.2 Big Data

Big Data tarkoittaa suuria volyymeja dataa, jolla on myös korkea nopeus ja/tai korkea vaihtelevuus (Berntzen ja muut, 2018). Data on myös usein hyvin epäjärjestelmällistä ja -muodollista (Al Nuaimi ja muut, 2015). Berntzen ja muut (2018) kertovat suurien volyymien viittaavan suuriin datamääriin, jotka vaativat sekä erityistä säilytystä että käsittelyä. Datan korkean nopeuden he kertovat taasen viittaavan reaaliaikaisen datan virtaan. Big data muodostuu monista eri lähteistä kerätystä datasta (Al Nuaimi ja muut, 2015), jonka lisäksi data voi olla myös eri formaattia (Berntzen ja muut, 2018).

Big datalle on myös muita määritelmiä. SAS (n.d.) sanoo big datan olevan suosittu termi informaation eksponentiaalisen kasvun, saatavuuden ja käytön kuvailemiseen. SAS sanoo big datan olevan dataa, joka on niin suurta, että sitä on vaikea prosessoida perinteisin menetelmin. IBM (n.d.) kertoo myös big datan koosta ja vaikeudesta prosessoida perinteisesti. Se kertoo sen myös olevan dataa, jota voi tulla mistä vain; sensoreista, jotka keräävät tietoa ilmastosta, sosiaalisen median julkaisuista, digitaalisista videoista ja kuvista, ostotapahtumien arkistoista, ja puhelimien GPS signaaleista, muutaman mainitakseen.

Eli eri lähteitä big datalle voivat olla esimerkiksi sensorit sekä internet (Berntzen ja muut, 2018). Myös esimerkiksi älypuhelimet, tietokoneet, ympäristösensorit ja kamerat tarjoavat lähteitä datalle, joten datan lähteitä on lähes joka puolella (Al Nuaimi ja muut, 2015). Verkkolouhintaa voidaan käyttää noutamaan netistä dataa, joka voi liittyä esimerkiksi jokapäiväisiin tapahtumiin kaupungissa. Big datan todellinen arvo ei ole sen suuressa määrässä, vaan mahdollisuudessa analysoida laajoja ja monipuolisia datasettejä. (Berntzen ja muut, 2018)

Kirimtat ja muut (2020) mainitsevat big data teknologian siis mahdollistavan valtavien datamäärien keräämisen, ja kerätty data voidaan prosessoida tehokkaasti ja loogisesti. He lisäävät dataa olevan tämän jälkeen mahdollista hyödyntää esimerkiksi erilaisten päätösten tekemiseen. Big datalla onkin paljon mahdollisia käyttötarkoituksia, joilla voidaan

ratkaista ongelmia, mutta jotta big datasta olisi hyötyä, vaatii se sopivat työkalut ja tavat datan tehokkaaseen analysointiin (Al Nuaimi ja muut, 2015). Älykaupungeissa olisi kuitenkin hyvät mahdollisuudet hyödyntää big dataa, sillä saatavilla olisi usein suuria säilytystiloja datalle sen käsittelyä varten (Kirimtat ja muut, 2020).

Al Nuaimi ja muut (2015) kertovat älykaupungin tuottavan valtavia määriä dataa ja big data järjestelmät hyödyntävät tätä dataa informaation tuottamiseen älykaupungin parantamiseksi. He kertovat big data järjestelmien säilöväen ja prosessoivan älykaupunkisovelluksista saatavaa dataa tehokkaasti älykaupungin eri palveluiden parantamiseksi. Lisäksi big data myös helpottaa päättäjiä suunnittelemaan älykaupungin palveluiden, alueiden tai varojen laajentamista, he toteavat.

### **2.2.3 Pilvilaskenta**

Pilvilaskenta on mainio työkalu big datan käsittelyyn ja prosessointiin, Kirimtat ja muut (2020) toteavat. Heidän mukaansa se tarjoaa pääsyn yhteiselle laskennallisten resurssien alustalle, joita pilvikäyttäjät voivat hyödyntää. Myös esimerkiksi yritykset ja yksittäiset henkilöt voivat pilvilaskennan kautta saada erilaisia säästöhyötyjä. Pilvilaskenta on tavaltaan perusta, joka tukee kunnollista pääsyä internettiin, yhteisiä säilytystiloja, ohjelmistoja ja servereitä, jotka voidaan nopeasti saada käyttöön.

Pilvilaskenta tarjoaa esimerkiksi internetin kautta työkaluja suurien IoT datamäärien hallintaan, säilytykseen ja jakamiseen (Kumar ja muut, 2020). Älykaupungin sovelluksien ja palvelujen helpottamiseksi tällaista suuria tietokone- ja säilytysvälineitä tarvitaan, ja yksi mahdollisuus, joka niitä tarjoaa, on juuri pilvilaskenta (Al Nuaimi ja muut, 2015). Pilvilaskentapalvelujen käyttäminen tarjoaa monia hyötyjä, jotka tukevat älykaupungin big datan hallintaa ja hyödyntämistä (Al Nuaimi ja muut, 2015).

### 2.3 Kestävyys ja kestävä kehitys

Kestävyys ja kestävä kehitys ovat laajasti määriteltyjä konsepteja. Aluksi kestävyys keskittyy pääasiassa kasvihuonepäästöihin ja otsonikatoon, mutta nykyään huomio on kiinnittynyt ilmastonmuutokseen, kertovat Song ja muut (2017). He lisäävät, että ilmastonmuutoksen tuomista ongelmista ei välttämättä ole vielä täyttä ymmärrystä, mutta toimia niitä vastaan täytyy alkaa jo priorisoimaan.

Song ja muut (2017) kertovat kestäväälle kehitykselle artikkelissaan myös yhden määritelmän, joka on nykypäivän tarpeiden täyttäminen, ottaen kuitenkin huomioon tulevien sukupolvien mahdollisuuden täyttää omat tarpeensa. Eli artikkelin mukaan myös seuraavien sukupolvien tulevaisuus tulisi turvata. He sanovat, että kestävä kehitys tulee sisältää niin ympäristöllinen, sosiaalinen kuin taloudellinenkin osa-alue. Näistä ympäristöllinen kestävä kehitys tarkoittaa artikkelin mukaan päätösten tekemistä niin, että tavoitteena on samalla myös suojella luontoa.

Society of Chemical Industry (2019) artikkeli esittää myös toisen määritelmän, jonka mukaan kestävästi toimiva kaupunki on kaupunki, jonka kaikki kulutukseen menevä, erityisesti energia, tuotetaan kaupungin sisällä. Sen mukaan kaikki jäte myös kierrätetään kaupungin sisällä, ja vihreisiin alueisiin kiinnitetään kaupungissa paljon huomiota. Artikkelitoteaa erityisesti älykkään kestävä kaupunkin taasen minimoivan ympäristövaikutuksensa teknologian avulla, varsinkin tekoälyn avulla.

*World Commission on Environment and Development* totesi vuonna 1987 kestävyden olevan talouden kehittämistä, jossa pyritään täyttämään nykyhetken tarpeet riskeeraamatta tulevaisuuden sukupolvien mahdollisuutta täyttää omat tarpeensa. Se on konsepti, joka keskittyy maapallon biofysikaaliseen ympäristöön, erityisesti luonnon resurssien käyttöön ja kulutukseen. Porterin (2015) mukaan kestävyys ei ole kuitenkaan sama asia kuin esimerkiksi luonnonsuojelu. Hän kertoo kestävä kehityksen yrittävän enemmänkin etsiä kultaista keskietä, jolloin maapallo kestäisi ihmiskunnan ja talouden kehityksen kuitenkin vaarantamatta ihmisten, eläinten tai kasvillisuuden terveyttä.

Lähtökohtaisesti maapallon luonnonvaroja ei voida Porterin (2015) mukaan hyödyntää loputtomiin, sillä ne loppuvat jossain vaiheessa. Hän toteaa luonnonvarojen hyväksikäytön myös heikentää mahdollisuutta elämään maapallolla. Sen takia tähän tulisi kiinnittää huomiota ja pyrkiä toimimaan kestävämmiin.

*World Commission of Environment and Development*in vuoden 1987 raportin mukaan kestävyydellä on kolme samanarvoista osa-aluetta, jotka ovat ympäristö, talous ja kohtuus. Raportin argumentti on, että kestävyys voidaan saavuttaa vain keskittyen samanaikaisesti ympäristön suojeluun, taloudellisen kasvun ja kehityksen ylläpitämiseen, sekä edistämään kohtuullisuutta elämisessä. Raportin mukaan tuloksia pyritään saavuttamaan kaikkien alueiden osalta, yhden osa-alueen toteuttamista ei tulisi tehdä toisen kustannuksella.

Porterin (2015) mukaan kestävyiden ideaan kuuluu myös ajatus siitä, että väestön kasvua pyritään hillitsemään, ja luonnonvarojen käytölle pyritään löytämään vaihtoehtoisia tapoja. Hän sanoo kestävyteen pyrkimiseen kuuluvan myös väistämättä ilmastonmuutoksen lieventäminen, keskittyen toimiin, joilla voidaan pienentää lämpötilojen nousun laajuutta ympäri maapalloa. Myös lämpötilan nousun seurauksia, erityisesti merenpinnan nousua ja äärimmäisiä sääoloja, pyritään näin välttämään, Porter kertoo. Tämä kaikki vaatii sitä, että hiilidioksidipäästöjen vapautuminen ilmakehään vähenee huomattavasti.

Kehittyvät maat nostavat edelleen hiilidioksidipäästöjään nopealla tahdilla, Porter (2015) mainitsee. Hänen mukaansa nämä maat usein oikeuttavat päästöjensä nousun sillä, että se on välttämätöntä talouden kasvulle ja elintason nousulle, kuten jo kehittyneet maat tekivät 1900-luvun alussa. Hän toteaa myös, että monet kehittyneet maat eivät suostu hyväksymään sitä, että vastuu hiilidioksidipäästöjen vähenemisestä jäisi heidän harteilleen. Tämä saattaa johtaa siihen, että toimet hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi voivat olla tuhoon tuomitut, jos kukaan ei halua ottaa niistä vastuuta.

Vuoden 2022 *Environmental Performance Indexin* mukaan maailman kestävimmat maat olivat Tanska, Yhdistyneet kuningaskunnat sekä Suomi. Sen mukaan vähiten kestävästi toimivat maat olivat Intia, Myanmar ja Vietnam. Indexissä on mukana 180 maata ja ne on arvosteltu ja pisteytetty viimeisimmän vuoden datan perusteella. Lisäksi on laskettu kuinka paljon pisteet ovat muuttuneet viimeisen vuosikymmenen aikana.

Yhdistyneillä Kansakunnilla (YK) on kestävä kehityksen ohjelma, jonka tavoitteet pyritään toteuttamaan vuoteen 2030 mennessä (Kuvio 3). Tavoitteina on muun muassa lisätä huomattavasti uusiutuvan energian määrää maailmanlaajuisesti, sekä päivittää infrastruktuuria niin, että se toimisi kestävämmiin, käyttäen resursseja tehokkaammin ja käyttäen myös puhtaita ja ympäristön kannalta sopivia teknologioita.



**Kuvio 3.** Esimerkkejä YK:n kestävä kehityksen tavoitteista (mukailtu lähteestä United Nations).

### **3 Tutkimusmenetelmä**

Tämä tutkielma on toteutettu systemaattisena kirjallisuuskatsauksena. Tässä kappaleessa kerrotaan enemmän tutkimusmenetelmästä, sekä tutkimuksen kulusta ja toteutuksesta.

Tutkimus aloitettiin keräämällä aiempaa tutkimustietoa tutkimuksen kannalta tärkeimpien käsitteiden avaamista varten. Aiemmista aiheeseen liittyvistä tutkimuksista ja kokemuksista saadun tiedon perusteella toteutettiin kappale 2, joka käsittelee aiheeseen liittyvät tärkeimmät teemat. Tässä tapauksessa ne olivat älykaupunki ja kestävyys, sekä muutama tärkeimmistä älykaupungeissa hyödynnettävistä teknologioista.

#### **3.1 Systemaattinen kirjallisuuskatsaus**

Okoli (2015) kertoo systemaattisen kirjallisuuskatsauksen seuraavan systemaattisesti metodologista lähestymistapaa, selittävän avoimesti ja selkeästi menettelytavat, joilla tutkimus on toteutettu. Hänen mukaansa systemaattinen kirjallisuuskatsaus on myös kokonaisvaltainen, sisältäen kaiken relevantin materiaalin, ja sen on oltava myös muiden toistettavissa, jotka seuraavat samaa aiheen artikkelien tarkastelutapaa.

Okoli (2015) esittelee kahdeksan päävaihetta systemaattisen kirjallisuuskatsauksen toteuttamiseen, joita tässäkin tutkimuksessa on hyödynnetty. Vaiheet sisältävät suunnittelua, artikkeleiden etsimistä ja valitsemista, datan louhintaa, synteesin ja raportoinnin.

#### **3.2 Katsauksen suunnittelu**

Ensimmäiset tärkeät vaiheet artikkeleiden valintaa valmistellessa oli tutkimuskysymyksen muotoilu, hakulausekkeen muotoilu sekä hakusuunnitelman tekeminen. Tässä

systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa yritetään vastata seuraavaan tutkimuskysymykseen:

*Millä älykaupungin keinoin voidaan luoda kestävä kehitys kaupungeissa?*

Artikkelien etsimiseen käytettävä hakulauseke muodostettiin tutkimuskysymyksen perusteella, käyttäen siihen liittyviä termejä. Tutkimus liittyy vahvasti älykaupunkeihin, joten se valikoitu heti toiseksi hakusanaksi. Lisäksi tärkeä näkökulma tutkimuksessa on kestävyys, joten näin ollen se valikoitui toiseksi hakusanaksi. Molempien näiden sanojen tuli siis esiintyä haettavissa artikkeleissa, joten hakulausekkeeksi muodostui seuraava:

`"smart city" AND sustainability`

Tällä hakulausekkeella aloitettiin artikkeleiden etsiminen Web of Science tietokannasta. Hakustrategia alkoi siis hakulausekkeella etsimisellä. Tämän jälkeen tuloksia rajattiin ottamalla mukaan vain julkaisut, jotka ovat nimenomaan artikkeleja. Lisäksi otettiin huomioon vain artikkelit, jotka ovat julkaistu vuosien 2021 ja 2023 välillä. Sen jälkeen tuloksia rajattiin jättämällä pois useampia Web of Science- tietokannan kategorioita. Tässä vaiheessa haluttiin myös nähdä vain vapaassa pääsyssä olevat artikkelit. Kun rajaukset oli tehty Web of Sciencissa, käytiin jäljelle jääneistä artikkeleista läpi otsikot sekä abstraktit, joiden perusteella rajattiin pois artikkelit, jotka eivät vastanneet tutkimuksen tarvetta. Tämän jälkeen luettiin vielä läpi jäljelle jääneet artikkelit, ja valittiin lopullisiksi artikkeleiksi ne, jotka mainitsivat hyviä käytänteitä kaupunkien päästöjen vähentämiseksi ja ympäristöystävällisyyden lisäämiseksi.

### **3.3 Katsauksen toteuttaminen**

Haku toteutettiin tietokannassa etsien vain artikkeleita, joiden otsikossa, abstraktissa tai asiasanoissa esiintyi hakulausekkeen termit. Lisäksi niiden tuli olla julkaistu aikavälillä

2021–2023, jotta saatiin rajattua aineisto mahdollisimman tuoreisiin tutkimuksiin, samalla myös pienentäen tuloksien määrää. Tällä tavalla saatiin 598 tulosta.

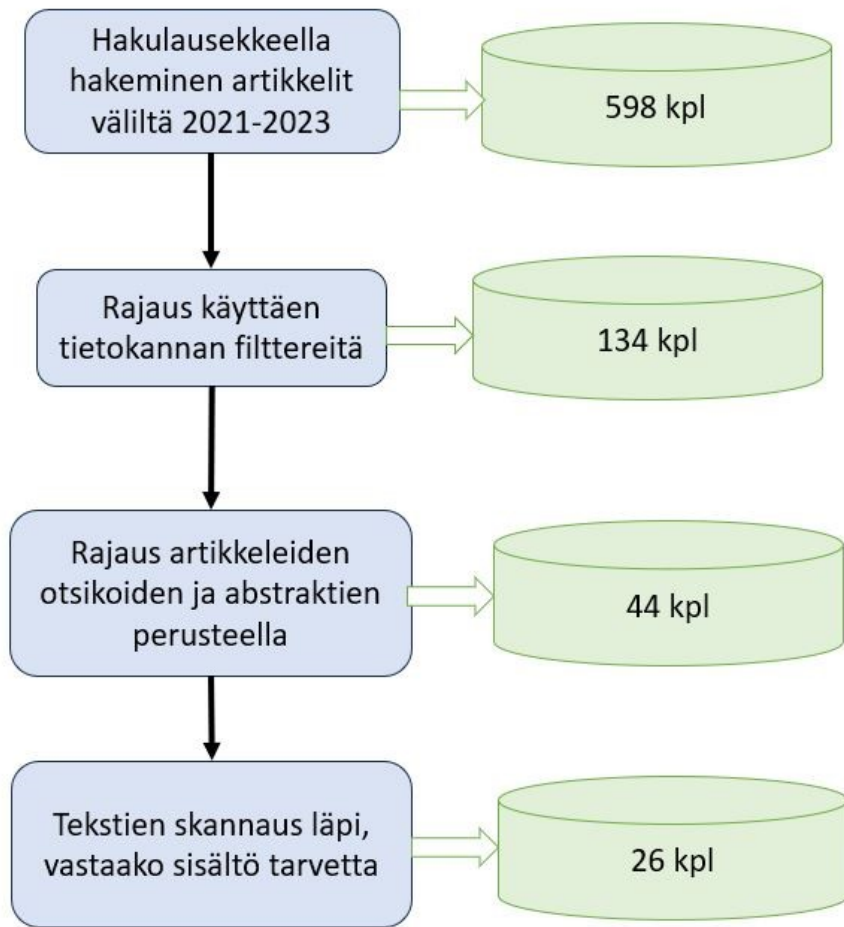
Sen jälkeen käytettiin tietokannan eri rajausmahdollisuuksia, rajaten tulokset vain kolmeen Web of Sciencin kategoriaan. Nämä kategoriat olivat *Environmental Studies*, *Environmental Sciences* sekä *Green Sustainable Science Technology*. Nämä kategoriat valittiin, sillä niihin sisältyviä tuloksia oli eniten. Lisäksi kategorioiden koettiin olevan aiheeseen liittyviä, ja muut Web of Sciencin kategoriat olivat tutkimuksen aiheen kannalta turhan yksityiskohtaisia. Valittujen kategorioiden koettiin siis olevan tarpeeksi laajoja, sillä artikkeleista haluttiin löytää mahdollisimman laajasti erilaisia ratkaisuja. Mutta kuitenkin ei koettu, että kovin niche-ratkaisuja tarvittaisiin tässä tutkimuksessa. Näin ollen valituilla kategorioilla saatiinkin suljettua pois esimerkiksi monia hyvin rajattuja ja yksityiskohtaisia aiheita ja muita aihealueita, joiden ei nähty olevan tutkimuksen kannalta oleellisia, kuten historia ja optiikka. Tämän rajauksen jälkeen jäljelle jäi 134 artikkelia.

Tämän jälkeen artikkelien otsikot ja abstraktit silmäiltiin läpi. Otsikoissa ja abstrakteissa tuli olla jonkinlaista viittausta tutkimuksen aiheeseen, eli erityisesti älykaupungissa hyödynnettäviin käytäntöihin ja kestäväan kehitykseen. Jos mitään viitettä aiheeseen ei löytynyt, jätettiin artikkeli pois. Tämä jätti 44 artikkelia, jotka käytiin vielä tarkemmin läpi.

Artikkelit luettiin läpi, ja niistä etsittiin tutkielman kannalta tärkeitä parhaita älykaupungin ratkaisuja ja käytäntöjä kestäväan kehityksen lisäämiseksi kaupungeissa. Käytäntöjen tuli parantaa kestäväa kehitystä erityisesti ympäristön kannalta, sillä muuten ratkaisu oli tämän tutkielman kannalta turha. Jos artikkelien ratkaisut eivät siis mahdollistaneet kestäväan kehityksen lisäämistä tai jos tällaisia hyväksi todettuja ratkaisuja ei löytynyt tekstistä, jätettiin artikkeli pois. Artikkeleita käytiin läpi myös kuviossa 2 mainittujen älykaupungin osa-alueiden pohjalta, etsien niihin liittyviä ratkaisuja. Tulokset onkin pitkältä rakennettu osa-alueiden pohjalta. Lopullinen artikkelimäärä oli 26 artikkelia. Vaiheet on kuvattu myös taulukossa 1 ja kuviossa 4.

**Taulukko 1.** Katsauksen vaiheet.

Vaihe	Kriteerit
1. Vaihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hakulausekkeen termit otsikossa, abstraktissa tai asiasanoissa</li> <li>- Journal artikkelit aikaväliltä 2021–2023</li> </ul>
2. Vaihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Web of Science- kategoriat <i>Environmental Studies</i>, <i>Environmental Sciences</i> sekä <i>Green Sustainable Science Technology</i></li> </ul>
3. Vaihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abstraktissa tai otsikossa puhutaan älykaupungeista ja kestävästä kehityksestä, erityisesti ympäristön kannalta</li> <li>- Mainitaan ehkä joitakin ratkaisujakin</li> </ul>
4. Vaihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tekstistä löytyy älykaupungin ratkaisuja kestäväen kehityksen lisäämiseksi</li> </ul>



**Kuvio 4.** Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen artikkelien valinnan vaiheet.

## 4 Tulokset

Tässä kappaleessa esitellään systemaattisessa katsauksessa valituista artikkeleista löytyneet tärkeimmät asiat. Tulokset on koottu taulukkoon 2, jonka jälkeen ne on vielä avattu.

**Taulukko 2.** Systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa löydettyt artikkelit ja niistä selvinneet löydökset.

Artikkeli	Tärkeimmät löydökset
Smarter greener cities through a social-ecological-technological systems approach (Branny ja muut, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investointi julkiseen liikenteeseen, johon on liitetty myös vihreitä käytäviä</li> <li>- Ympäristön monitorointi, sensoreilla</li> </ul>
The Sustainability Dimensions in Intelligent Urban Transportation: A Paradigm for Smart Cities (Reyes-Rubiano ja muut, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vaihtoehtoiset polttoaineet</li> </ul>
Smart Cities Landscape and Urban Planning for Sustainability in Brno City (Fialová ja muut, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integroitu ja älykäs liikennejärjestelmä</li> <li>- Vihreät järjestelmät ja urbaani luonto</li> </ul>
Research of the Smart City Concept in Romanian Cities (Bălăşescu ja muut, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energian, veden ja sähkön kulutuksen optimointi</li> <li>- Ilman laadun monitorointi, jätehallinta</li> <li>- Automatisoidut järjestelmät vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä</li> </ul>
Smart and Sustainable Development from a Spatial Planning Perspective: The Case	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integroitu infrastruktuuri</li> </ul>

of Shenzhen and Greater Manchester (Ng ja muut, 2022)	
Beyond Smart: How ICT Is Enabling Sustainable Cities of the Future (Shah, 2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vaihtoehtoiset energianlähteet ja ICT tukemaan älykästä sähköverkkoa, sekä lämmitys- ja rakennusjärjestelmiä</li> <li>- ICT:n avulla reaaliaikaista informaatiota mm. matkustamisen ja energiankäytön parantamiseksi</li> </ul>
Smart City Thailand: Visioning and Design to Enhance Sustainability, Resiliency, and Community Wellbeing (Irvine ja muut, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vihreät alueet</li> <li>- Tehokas liikenneverkosto, sisältäen monivälineyhteyksien suunnittelua</li> <li>- IoT:n hyödyntäminen älykkääseen monitorointiin, AI tukemaan päätöksentekoa</li> </ul>
Thinking green: The role of smart technologies in transforming cities' waste and supply Chain's flow (Franchina ja muut, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jätehuolto hyödyntäen mm. IoT, pilviservereitä ja muita teknologioita</li> <li>- Älykkäät jäteastiat sensoreilla</li> </ul>
Framework for Sustainable Wireless Sensor Network Based Environmental Monitoring (Ouni & Saleem, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- WSM Wireless Sensor Network</li> </ul>
ICT Supported Urban Sustainability by Example of Silesian Metropolis (Pańkowska & Sołtysik-Piorunkiewicz, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Älykäs integroitu julkisen liikenteen hallintajärjestelmä (Intelligent Integrated Public Transport)</li> <li>- Kestävä julkinen liikenne, nollapäästöiset bussit yms.</li> </ul>
Green Artificial Intelligence: Towards an Efficient, Sustainable and Equitable	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Big datan hyödyntäminen esim. Elämän laadun, kaupungin</li> </ul>

Technology for Smart Cities and Futures (Yigitcanlar ja muut, 2021)	järjestelmien ja ympäristön parantamiseen
Analyzing the Challenges for Future Smart and Sustainable Cities (Paes ja muut, 2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Älykäs liikkuminen, älykäs liikenne, älykkäät liikennejärjestelmät, sensorit</li> <li>- Älykäs sähköjärjestelmä, älykäs sähköverkko, sensorit keräämässä dataa</li> </ul>
Internet of things enabled smart solid waste management system (Vijayalakshmi ja muut, 2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Älykäs jätteenhallinta, sensoreita roska-autoissa ja muualla kaupungissa, IoT</li> <li>- Reittien suunnittelu ja optimointi</li> <li>- Ympäristön monitorointi</li> </ul>
Imagining the smart city through smart grids? Urban energy futures between technological experimentation and the imagined low-carbon city (Quitrow & Rohde, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Älykäs sähköverkko hiilipäästöjen vähentämiseen</li> <li>- Uudistuvat energianlähteet</li> <li>- Sähköiset kulkuneuvot</li> </ul>
Net Zero Energy Districts: Connected Intelligence for Carbon-Neutral Cities (Komninos, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Net Zero Energy District (NZED) minimoimaan CO2 päästöjä</li> <li>- Älykäs valaistus, - liikkuminen, - sähköverkko ja - mittaus, reaaliaikainen jätteen tarkkailu ja keräys</li> </ul>
Exploring the Smart Street Management and Control Platform from the Perspective of Sustainability: A Study of Five Typical Chinese Cities (Xiang ja muut, 2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ympäristön monitorointidatan kerääminen erilaisten sensoreiden avulla ja sen analysoiminen päästösten tekoa varten</li> </ul>
Smart Urban Mobility System Evaluation Model Adaptation to Vilnius, Montreal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Liikenteen seuraamisjärjestelmä</li> <li>- Liikennevalojen hallintajärjestelmä</li> </ul>

and Weimar Cities (Zapolskytė ja muut, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Älykäs katujen valaisu</li> <li>- Sähköautojen lataus</li> </ul>
MaaS Implications in the Smart City: A Multi-Stakeholder Approach (Lopez-Carreiro ja muut, 2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MaaS (Mobility as a Service)</li> <li>- Kaupungin liikennepalvelut yhdistetty</li> <li>- Edistää siirtymistä kestävämpiin matkustusvalintoihin</li> </ul>
Evaluation of Results of City Sustainable Transformation Projects in the Fields of Mobility and Energy Efficiency with Real Application in a District in Valladolid (Spain) (García-Fuentes ja muut, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rakennusten energiatehokkuus, kestävä liikenne ICT:n avulla</li> <li>- Uudistuvat energianlähteet</li> <li>- Aurinkosähköjärjestelmä</li> </ul>
Smart Sustainable City Roadmap as a Tool for Addressing Sustainability Challenges and Building Governance Capacity (Peireira & De Azambuja, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automatisoitu ja ympäristöystävällinen julkinen liikenne</li> <li>- Integroitu kaupungista kerätyn datan välitys</li> </ul>
Analyzing the Adoption Challenges of the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) for Smart Cities in China (Wang ja muut, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AI ja IoT:n hyödyntäminen älykkäessä liikenteessä, energiassa, rakennuksissa yms.</li> <li>- Seurantajärjestelmät</li> </ul>
Migrating from traditional grid to smart grid in smart cities promoted in developing country (Saidani Neffati ja muut, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Älykäs sähköverkko</li> </ul>
Implementing Design and Operational Measures for Sustainable Mobility: Lessons from Zurich (Menendez & Ambühl, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Liikenteen nopeuden rajoittaminen</li> <li>- Automatisoitu liikenteen hallinta</li> <li>- Liikenteen sensorit</li> <li>- Julkiselle liikenteelle varatut kaislat</li> </ul>

Connections between Big Data and Smart Cities from the Supply Chain Perspective: Understanding the Impact of Big Data (Abdalla ja muut, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Big Data, datan kerääminen esim. liikenteestä</li> <li>- Datan avulla urbaaneista palveluista tehokkaampia</li> </ul>
A Hybrid Fuzzy AHP-TOPSIS Approach for Implementation of Smart Sustainable Waste Management Strategies (Demircan & Yetilmezsoy, 2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dynaaminen reittien optimointi</li> <li>- Älykkäät jäteastiat</li> </ul>
The importance of urban green spaces in the development of smart cities (Addas, 2023)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Viheralueet parantamaan elämäläätua ja ilmastoaa</li> </ul>

Tuloksia on pyritty jaottelemaan teoriaosuudessa mainittujen älykaupungin osa-alueiden mukaan. Suurimmat mahdollisuudet liittyvät liikenteen, ympäristön ja hallinnon osa-alueisiin. Liikenteestä muodostuu suuri osa kaupungin päästöistä, joten sieltä löytyy myös paljon mahdollisuuksia pienentää niitä. Erilaisen datan kerääminen on älykaupungeissa tärkeää, ja hallinto on isossa roolissa datan analysoinnissa ja sen hyödyntämisessä päätöksentekoon.

Yleisesti voidaan sanoa, että on tärkeää, että kaupungin infrastruktuuri olisi integroitua, muun muassa liikenteen ja energian osalta (Ng ja muut, 2022). Ouni ja Saleem (2022) mainitsevat mahdollisuuden hyödyntää kaupungeissa langattomien sensorien verkostoa (WSN, Wireless Sensor Network). Artikkelissa kerrotaan tällä olevan suuri potentiaali esimerkiksi ympäristön ja liikenteen seuraamisessa. Ouni ja Saleem kuvailevat tällaisen verkoston muodostuvan noodeista, jotka ovat liitettynä yhteen tai useampaan sensoriin. Noodit ovat langattomasti liitetty toisiinsa langattoman verkon kautta ja välittävät dataa ympäristöstään esimerkiksi päätösten tekemistä varten. Sensoreita käytetäänkin monessa tutkimuksessa esille tulleessa ratkaisussa.

Tekoäly ja IoT ovat isossa osassa monessa ratkaisussa. Wangin ja muiden (2021) artikkelissa kerrotaan, että niitä voidaan hyödyntää älykkäässä liikenteessä, turvallisuudessa, energiassa, rakennuksissa, koulutuksessa, terveydessä, sekä monessa muussa. He myös mainitsevat seurantajärjestelmien olevan tärkeitä älykaupungeissa. Artikkelissa kerrotaan esimerkiksi New Yorkissa, jossa hallitus muutti valaistusjärjestelmän mahdollistamaan sen älykkään hallinnon valojen himmennyksessä ja niiden päälle laittamisessa. LED valoja käyttämällä on myös vähennetty järjestelmän tarvitsemää sähköä.

#### 4.1 Älykäs liikenne

Älykkääseen liikenteeseen liittyy paljon mahdollisuuksia päästöjen vähentämisen kannalta. Ympäristöystävällinen ja älykkäästi automatisoitu julkinen liikenne on tärkeimpiä tekijöitä kestävässä älykaupungissa (Pereira & De Azambuja, 2022). Investointeja älykkääseen julkiseen liikenteeseen voidaan tehdä yhdistäen siihen vihreitä käytäviä (Branny ja muut, 2022).

Tärkeä osa liikennettä ovat vaihtoehtoiset polttoaineet, sillä liikenteellä on suuret vaikutukset ympäristöön (Reyes-Rubiano ja muut, 2021). Autoissa olisi hyvä siirtyä sähköön, sillä sähkön tuotannon ympäristövaikutukset ovat pienemmät kuin bensiinin (Reyes-Rubiano ja muut, 2021; Wang ja muut, 2021). Bussien osalta kaupunkien tulisi hyödyntää nollapäästöisiä busseja (Pańkowska & Sołtysik-Piorunkiewicz, 2022).

Kun tavoitteena on siirtyä mahdollisimman paljon sähkökäyttöisiin kulkuneuvoihin, tulisi myös huomioida latausasemien rakentaminen kyseisille kulkuneuvoille (Bălăşescu ja muut, 2022). Uusia asemia ei kuitenkaan välttämättä tarvitsisi rakentaa, vaan sähköautojen sähköntarpeeseen voitaisiin vastata muuttamalla jo olemassa olevia bensa-asemia hybrideiksi, niin että niistä saa sekä sähköä että bensa (Wang ja muut, 2021).

Kaupunkien olisi hyvä kehittää integroitua ja älykästä liikennejärjestelmää (Fialová ja muut, 2021). Esimerkiksi Brnossa Sveitsissä järjestelmä on yhteydessä liikennevälineiden

lisäksi myös teknologiaan, energiaan, sekä kaupungin veden ja jätteen hallintaan (Fialová ja muut, 2021). Tämä mahdollistaa tiedon kulun mahdollisimman laajasti. Liikennettä voidaan seurata sensoreiden avulla. Automatisoidun liikenteen ohjausjärjestelmän avulla voidaan vastata verkoston laajuisiin ongelmiin (Menendez & Ambühl, 2022). Liikennejärjestelmään voidaan liittää myös älykäs katuvalaistus, joka toimii esimerkiksi liikennemäärien perusteella (Zapolskyté ja muut, 2022).

Älykkäässä liikennejärjestelmässä voidaan hyödyntää ICT:tä turvallisuuden ja verkoston tehokuuden parantamiseksi, sekä myös ruuhkien pienentämiseksi (Bălăşescu ja muut, 2022). Erityisesti ruuhkaisissa risteyksissä voisi hyödyntää älykästä liikennevalo järjestelmää (Bălăşescu ja muut, 2022), jolloin liikenne sujuisi mahdollisimman jouhevasti. Liikenteen hallinta voitaisiinkin tietokoneistaa (Bălăşescu ja muut, 2022). Lisäksi julkista liikennettä voi tehostaa hyödyntämällä bussikaistoja (Xiang ja muut, 2023).

Pańkowska ja Sotysik-Piorunkiewicz (2022) ovat sitä mieltä, että kaupungeissa voisi toteuttaa erityisesti älykkään integroidun julkisen liikenteen hallinta -järjestelmän. Sen avulla voitaisiin tehostaa julkisen liikenteen järjestelmää. He mainitsevat ICT ratkaisujen mahdollistavan datan integroimisen monelta eri alustalta ja datan vaihdon näiden välillä. Tämä mahdollistaa heidän mukaansa paremmin integroidun liikennepalvelun.

Paes ja muut (2023) kertovat, että älykkäässä liikkumisessa ja – liikenteessä, sekä älykkäässä liikennejärjestelmässä parannuksilla sensoreihin ja integroituihin prosesseihin voidaan parantaa kävelijöiden turvallisuutta. Heidän mukaansa kulkuneuvot voisi tällöin liittää verkkoon ja toisiinsa, jolloin pystytään tekemään reaaliaikaista analyysia liikenteestä ja päätöksiä analyysin perusteella.

Älykkäässä liikenteessä voidaan ottaa käyttöön tekoäly ja data analytiikka liikenteen reitien optimisoimiseksi, ruuhkien vähentämiseksi ja ajantasaisen informaation tarjoamiseksi asukkaille (Paes ja muut, 2023). Esimerkiksi älykkään pilvilaskenta-alustan avulla voidaan seurata dataa ihmis- ja ajoneuvovirroista, jonka perusteella voidaan päättää

bussien ja taksien lähettämisestä, raideliikenteestä sekä parkkeerauksesta (Xiang ja muut, 2023). Älykäs liikenneteknologia keskittyy usean eri kulkuneuvon aikatauluttamiseen liikennevirrasta saadun datan perusteella, jolloin datan perusteella älykkäät teknologiat rakentavat tasapainoisen liikenteenohjausjärjestelmän (Xiang ja muut, 2023). Myös Zapolskyté ja muut (2022) mainitsevat liikenteen seurantajärjestelmiin liittyvien sensorien voivan tarkkailla ympäristöä autoista, asemilta, parkkipaikoilta ja muusta liikenneinfrastruktuurista.

Liikenteen seuranta varten voidaan asentaa sensoreita lähelle risteysiä, jotta voidaan kokonaisvaltaisesti seurata ja hallita liikennevirtoja (Xiang ja muut, 2023). Risteyksissä voidaan näin tunnistaa myös julkinen liikenne ja aina kun mahdollista vaihtaa vihreään valoon, jotta julkinen liikenne olisi mahdollisimman sujuvaa (Menendez & Ambühl, 2022). Liikennevalojen hallintajärjestelmään kuuluvat liikennevalot, jotka mukautuvat automaattisesti liikenneolojen mukaan tai jalankulkijoiden pyyntöjen perusteella (Zapolskyté ja muut, 2022). Tekoälyyn liittyvät tärkeät koneoppimistekniikat pystyisivät analysoimaan mennyttä dataa julkisista ja yksityisistä liikenneaktiviteeteista, saadakseen tietoa siitä missä toistuvat ruuhkat tapahtuvat tai missä tapahtuu eniten onnettomuuksia, jotta ennalta ehkäiseviä toimia näiden asioiden ratkaisemiseksi voidaan tehdä (Wang ja muut, 2021).

Tehokkaan liikennöintiverkoston pitäisi sisältää myös monivälineyhteyksien suunnittelua (Irvine ja muut, 2022). Julkisen liikenteen paremmat yhteydet voivat pienentää kasvihuonepäästöjä ja fossiilisten polttoaineiden kulutusta (Irvine ja muut, 2022), sillä julkinen liikenne olisi tällöin houkuttelevampi vaihtoehto ja sen käyttö voisi lisääntyä. Samalla myös meluhaitat vähenisivät ja ilman laatu paranisi vähentyneet autoliikenteen myötä (Irvine ja muut, 2022).

Mobility as a Servicen avulla julkisesta liikenteestä voitaisiin tehdä käyttäjille helpomman käytettävän. Mobility as a Service (MaaS) on järjestelmä, jolla liikkumispalveluita tarjoavat operaattorit tarjoavat kattavan määrän palveluitaan asiakkaille yhdessä

järjestelmässä (Heikkilä, 2014). Lopez-Carreiro ja muut (2023) kertovat artikkelissaan MaaS:in olevan yhdistelmä kaikista kaupungissa saatavilla olevista liikennepalveluista. Heidän mukaansa liikenneverkostoa hallitaan älykkäästi reaaliaikaisen datan avulla. MaaS:in avulla pyritään edistämään siirtymistä kestävämpiin matkustusvaihtoehtoihin, tukien laskua yksityisautoilussa, kertovat Lopez-Carreiro ja muut. He mainitsevat vielä kaikkien liikennepalveluiden saumattoman yhdistelmän tarjoavan ihmisille houkuttelevan tarjonnan vaihtoehtoista yksityisautottomaan liikkumiseen.

Autoliikenteeseen keskittymisen ohella olisi hyvä olla myös integroitua infrastruktuuria pyöräilyliikenteelle ja kävelijöille (Bălăşescu ja muut, 2022). Kaupungeissa olisi hyvä kiinnittää huomiota esimerkiksi parannettuihin pyöräilyverkostoihin pyöräilyn lisäämiseksi (Fialová ja muut, 2021). Pyöräilylle varatuilla kaistoilla voidaan lisätä pyöräilyn turvallisuutta ja sitä kautta myös pyöräilyn suosiota, joka voisi pienentää autojen käyttöä. Julkiseen liikenteeseen voidaan liittää myös esimerkiksi julkinen pyöräliikennejärjestelmä tai sovellus, jota voisi käyttää rekisteröitymällä (Pereira & De Azambuja, 2022; Irvine ja muut, 2022).

## 4.2 Älykäs ympäristö

Älykkääseen ympäristöön liittyen (Bălăşescu ja muut (2022) kertovat, että kaupungeissa tulisi kiinnittää huomiota energian, veden ja sähkön kulutuksen optimoimiseen, sekä ilman laadun seuraamiseen ja jätehuoltoon. Nämä ovatkin tärkeimmät älykkään ympäristön teemoista.

Esimerkiksi älykkäässä vedenhallintajärjestelmässä yhdistetään sensoreita, kontrolleita ja analyttisiä elementtejä varmistamaan, että vesi kiertää vain, kun se on tarpeellista, samalla suorittaen ajantasaista veden laadun seurantaa (Paes ja muut, 2023). Myös älykäs saasteiden vähentäminen voidaan toteuttaa sensoriteknologialla, jolloin kaupungit voivat seurata saastetasoja (Paes ja muut, 2023). Lisäksi automaattisella mittauksien

lukemisella saadaan tietoa veden käytöstä, sekä pystytään myös seuraamaan mahdollisia vuotoja reaaliajassa. (Wang ja muut, 2021).

Ympäristöstä voidaan kerätä dataa monella tapaa erilaisilla sensoreilla. Esimerkiksi Xiang ja muut (2023) mainitsevat sensorit katulampuissa, jotka pystyisivät seuraamaan reaaliajassa mikroilmastoa keräämällä erilaista dataa, esimerkiksi ilman saasteista, valon voimakkuudesta, melusta ja lämmöstä. Sensorit voivat heidän mukaansa myös seurata ihmisvirtoja.

#### **4.2.1 Älykäs sähköverkko ja -energia**

Älykkäät sähköverkot hyödyntävät verkossa olevia sensoreita ja mittauslaitteita reaaliaikaisen datan keräämiseen energian tuotannosta, välityksestä ja jakelujärjestelmistä (Paes ja muut, 2023). Älykkään sähköverkon keräämän datan avulla voidaankin optimoida energiankulutusta tekemällä siitä joustavampaa ja vähentämällä CO<sub>2</sub>- päästöjä (Quitow & Rohde, 2022).

Älykkäät sähköverkot tukevat monia paikallisen energijärjestelmän toimintoja, kuten rakennuksiin sijoitettujen energianlähteiden integroimista, energian varastointia häiriötömän energiansaannin takaamiseksi, sekä ajantasaista energiavirtojen tarkkailua, mikä mahdollistaa optimoinnin sekä tuottajien, että kuluttajien kannalta (Komninos, 2022). Älykäs sähköverkko onkin houkutteleva vaihtoehto vähähiilisen talouden parantamiseen (Quitow & Rohde, 2022). Quitow ja Rohteen (2022) mukaan sen avulla voidaan rakentaa uudistuvilla energianlähteillä toimivaa lämmitys ja viilennys järjestelmää, johon yhdistyy myös tuotanto, säilytys ja energian käyttö.

Wang ja muut (2021) kertovat mahdollisuudesta hyödyntää pilvialusta-arkkitehtuuria big dataan perustuvassa energianhallinnan rakentamisessa. Lisäksi he kertovat tekoälystä ja IoT:sta olevan apua energian jakelun optimoimisessa. Optimoimiseen he mainitsevat

esimerkeiksi myös automaattiset katuvalot, sähkön yksikköhintojen nostamisen kovimman kysynnän aikoina, sekä vanhan välineistön päivittämisen uuteen.

Energian suhteen kannattaisi investoida erityisesti uusiutuviin energialähteisiin, sähköverkkoinfrastruktuuriin ja energian tarpeen vähentämiseen samalla parantaen rakennusten energiatehokkuutta (Bălăşescu ja muut, 2022). Vaihtoehtoisten energialähteiden hyödyntämiseen tarvitaan ICT:n tukea älykkään sähköverkon luomiseksi (Shah, 2023). Älykäs sähköverkko tukeekin vahvasti erilaisten laajamittaisten uusiutuvien energialähteiden integroimista energiajärjestelmään (Saidani Neffati ja muut, 2021). Uusiutuvista energialähteistä erityisesti aurinko- ja tuulienergia ovat tärkeitä ja tehokkaita (Bălăşescu ja muut, 2022). Integroimalla uusiutuvia energialähteitä sähköjärjestelmään voidaan luoda ratkaisu saasteisiin, ilmastonmuutokseen ja riippuvuuteen fossiilista polttoaineista (Bălăşescu ja muut, 2022).

Tärkeää on myös pystyä seuraamaan energiankäyttöä ja tuotantoa. Kehittynyt mittaamiseen tarkoitettu infrastruktuuri ja muu teknologia mahdollistaa käyttäjille energiantarpeen mittaamisen reaaliaikaisesti ja näin energian käyttönsä tehostamisen (Saidani Neffati ja muut, 2021). Siinä voitaisiin hyödyntää erilaisia ICT-ratkaisuja, kuten GPS:ää, 3G:tä ja Wi-Fi:ä, keräämään automaattisesti reaaliaikaista informaatiota energiankäytön parantamiseksi (Shah, 2023).

Myös energiankulutuksen optimoinnissa tärkeää on hyödyntää älykkäitä järjestelmiä, kuten IoT:ta ja sensoreita, digitaalisia alustoja, sekä sovelluksia, joiden avulla voidaan koordinoida energiankulutuksesta tuottajien ja käyttäjien välillä (Komninos, 2022). Rakentamalla erilaisia automaatiojärjestelmiä energian kulutukseen ja tuotantoon liittyen, voidaan myös vähentää kasvihuonekaasupäästöjä (Bălăşescu ja muut, 2022).

#### 4.2.2 Älykäs jätehuolto

Franchinan ja muiden (2021) mukaan jätteen hallinnassa voidaan hyödyntää monia eri teknologioita, kuten IoT:ta, pilviservereitä, aurinkoenergiapaneeleita, sensoreita, mikrokontrollereita sekä GPS:ää. He kertovat näiden teknologioiden tarjoavan älykkäitä ratkaisuja jätteen kertymisen havaitsemiseen, sekä sopivien viranomaisten ja kerääjien hälyttämiseen ja informoimiseen. Kyseisillä teknologioilla voidaan myös kerätä dataa ja minimoida kuluja (Franchina ja muut, 2021). Myös jäteveden käsittelyyn olisi hyvä kiinnittää huomiota kaupungeissa (Fialová ja muut, 2021).

Älykkäissä jäteastioissa käytetään sensoreita ilmoittamaan, onko astia täysi vai tyhjä, sekä minkä tyyppistä jätettä se sisältää (Franchina ja muut, 2021), sekä kertomaan astioiden sijainnista (Wang ja muut, 2021). Tieto välitetään jätteistä vastuussa olevalle taholle (Wang ja muut, 2021). Tätä dataa voivat hyödyntää niin kaupungin asukkaat kuin jätekeskitkin erilaisten päätösten tekemiseen (Vijayalakshmi ja muut, 2023). Tähän liitetyen voidaan hyödyntää myös pilvipohjaista jätteen hallintajärjestelmää (Franchina ja muut, 2021). Tällöin jäte kerättäisiin oikeaan aikaan ilmoituksen perusteella.

Älykkään jätteen käsittelyjärjestelmän keräämää analytiikkaa ja tietoa voi myös olla jäteautoista ja kaupungin rakenteesta (Vijayalakshmi ja muut, 2023). Järjestelmän kautta voitaisiin kaiken tämän tiedon perusteella suunnitella optimaalisin reitti polttoainetehokkuuden kannalta ja välttämällä turhia käyntejä (Wang ja muut, 2021; Franchina ja muut, 2021). Järjestelmä mahdollistaisi myös paremman kierrätyksen, sillä sen kautta voitaisiin tarkistaa, minkälaista jätettä on tulossa ja tehdä sen perusteella parempia järjestelyjä (Franchina ja muut, 2021). Järjestelmän avulla myös ympäristön tilannetta voidaan tarkkailla (Vijayalakshmi ja muut, 2023).

Demircan ja Yetilmezsoy (2023) mainitsevat dynaamisten reittien optimointi -sovelluksien auttavan parantamaan kotitalouksien jätteenkeräystä. He kertovat niiden olevan yksiä yleisimmistä tavoista jätteenhallinnassa älykaupungeissa. Demircan ja Yetilmezsoy kertovat niiden perustuvan yhtäaikaiseen datan välitykseen monista erilaisista astioihin

asetetuista sensoreista, ja tämä data välitetään tietokantaan. Välitettyä dataa käsitellään päätöksentekoa tukevien työkalujen ja matemaattisten mallien avulla.

Älykäs jätteen käsittely perustuu siis usein asioiden internet- teknologioihin, pohtivat Vijayalakshmi ja muut (2023), eli jätteen käsittelyn tapauksessa suureen määrään älylaitteita, jotka voivat prosessoida, mitata, laskea, välittää ja varastoida dataa. Vijayalakshmi ja muut kertovat älykkään jätteiden käsittelyjärjestelmän parantavan energiatehokkuutta ja ympäristön suojelua, vähentävän resurssien kulutusta ja parantavan elämän laatua.

#### **4.2.3 Luonto ja kasvillisuus**

On olemassa yleinen mielipide, että viheralueet parantavat elämänlaatua ja kaupunkien houkuttelevuutta (Addas, 2023). Kaupungeissa tulisikin suojella ja palauttaa luonnollisia ekosysteemejä ja elinympäristöjä, lisäksi myös luonnon monimuotoisuuden ja metsittymisen lisääntyminen on suositeltavaa (Komninos, 2022). Myös älykkäät ympäristöt ovat tärkeitä kaupungeissa ja ne voivat myös sisältää pienimuotoista ilmaston seuranta sensorien avulla (Paes ja muut, 2023).

Kaikki kasvillisuus palvelee monia ilmastoon liittyviä tehtäviä (Addas, 2023). Urbaaneille alueille istutetut puut ja puistojen lisääminen kuuluvat parhaimpiin luontoon perustuvista tavoista vähentää CO<sub>2</sub> päästöjä ilmasta (Komninos, 2022). Myös Fialován ja muiden (2021) mielestä vihreät alueet ja urbaanit luonnon ekosysteemit auttavat vähentämään kaupungin saasteita pienentämällä hiilidioksidin määrää ilmakehässä.

Addasin (2023) ja Irvinen ja muiden (2022) mukaan viheralueet voivat parantaa ilman laatua ja kosteustasoa, sekä kasvien fotosynteesin kautta ne imevät ilmasta CO<sub>2</sub> ja poistavat pienhiukkasia, pakokaasuja ja typpidioksidia. He kertovat niiden myös parantavat veden laatua poistamalla saasteita ja suodattamalla metalleja. Viheralueet voivat olla

hyviä myös tulvien hallintatoimissa, sekä ne voivat pienentää myös kaupungista tulevaa meluhaittaa (Irvine ja muut, 2022).

Addas (2023) kertoo viherseinien pienentävän rakennusten energiankulutusta. Hänen mukaansa lämpöero viherseinien ja normaaleiden seinien välillä voi olla jopa kaksinumeroinen, riippuen kasvillisuuden tiheydestä. Näin ollen kasvillisuuden peittämät pinnat voivat pienentää rakennusten lämmitystarpeita jopa 10–30 prosenttia. Hän lisää rakennusten ”viheriöinnin” näin ollen olevan yksi kestävimmistä tavoista vastata kaupunkien lämpöstressiin. Komninos (2022) mainitsee myös viherkatot luontoon pohjautuvina ratkaisuinä lisätä ympäristöystävällisyyttä.

### 4.3 Älykäs eläminen

Älykkään elämisen osa-alueella on paljon keinoja erityisesti energiankulutukseen liittyen. García-Fuentes ja muut (2021) kertovat rakennusten energiatehokkuuden, kestävästä liikenteestä ja näiden yhdistäminen ICT:n avulla olevan kolme tärkeintä tekijää toteutettaessa kestävyyttä ja älykkäitä projekteja kaupungeissa. He mainitsevat energian tarpeen pienentämisen olevan tärkeää ja siihen voidaan vaikuttaa esimerkiksi parantamalla rakennusten eristyksiä. He lisäävät myös uusiutuvien energianlähteiden olevan tärkeitä ja esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmä on parhaita vaihtoehtoja siihen. Aurinkoenergiälähteitä voitaisiin integroida suoraan esimerkiksi rakennuksiin ja koteihin (Paes ja muut, 2023).

Komninoksen (2022) artikkelissa sanotaan, että asukkaiden on tärkeää myös olla tietoisia energiankulutuksestaan. Sen mukaan yhdistämällä älykästä mittaamista, langatonta teknologiaa ja sensoreita kuluttajat tulevat tietoisiksi energiankulutustavoistaan ja voivat ruveta toimimaan säästävämmin. Komninos kertoo kotien älykkäiden järjestelmien voivan hyödyntää joko automaatiota tai vaihtoehtoisesti ne juuri lisäävät käyttäjien tietoisuutta energiankulutustavoistaan luodakseen käyttäjille parempia toimintatapoja energiansäästämiseen.

Yksityisten kotien lisäksi älykkäitä järjestelmiä voidaan asentaa niin julkisiin urbaaneihin tiloihin, julkisiin rakennuksiin kuin katuvalaistukseenkin, seuraamaan kulutusta ja muokkaamaan valaistusta käytön perusteella (Komninos, 2022). Älykaupunkien infrastruktuuri sulautuu IoT-laitteisiin integroimalla, keräämällä ja jakamalla tietoa sensorien ja muiden laitteiden kautta (Paes ja muut, 2023).

Komninos (2022) kertoo niin sanotuista *Net Zero Energy District (NZED)*- alueista, joissa pyritään pienentämään energiankulutusta ja lisäämään paikallisten uusiutuvien energianlähteiden osuutta energiantuotannosta. Hänen mukaansa uusiutuvat energianlähteet voivat kattaa ison osan kaupungin energiantarpeesta, ja niitä yhdistettäessä jopa koko kaupungin energiantarpeen. Lisäksi Komninos kertoo NZED-alueista, että minimoidakseen CO<sub>2</sub>-päästönsä tällaiset alueet hyödyntävät uusiutuvan energian lisäksi myös muita erilaisia tapoja, kuten älykästä katuvalaistusta, älykästä liikkumista, älykästä sähköverkkoa ja mittaamista, ajantasaista jätteen tarkkailua ja keräystä. Pyrkimällä perustamaan NZED- alueita kaupunkiin saataisiin siitä siis energiatehokkaampi.

Kaupungeissa voidaan parantaa myös asumismukavuutta. Katujen asuttavuutta voidaan lisätä laskemalla liikenteen nopeuksia, esimerkiksi nopeuskameroiden avulla (Menendez & Ambühl, 2022). Tämä voisi myös pienentää liikenteestä tulevia päästöjä.

#### **4.4 Älykäs hallinto**

Hallinto on tärkeä osa älykaupungin toimintaa. Pereira ja De Azambuja (2022) mainitsevat artikkelissaan, että hallinnon kannalta on tärkeää taata sopiva datan hallinta, perustaa datahallinnon strategia, sekä määritellä turvallisuuteen ja datan yksityisyyteen liittyvät toimintatavat. He lisäävät, että datan hallinta tulisi taata keskittyen datan laatuun. Heidän mukaansa tämä mahdollistaa dataan perustuvan päätöksien teon ja reaaliaikaisen datan saatavuuden.

Kaupungeissa kannattaa hyödyntää kehittyneitä ICT:tä ja etäkartoitusta, mikä mahdollistaa satelliittidatan käytön kaupungin seuraamiseen lähes reaaliajassa. (Pereira & De Azambuja, 2022). Tärkeä älykkään kehityksen osa on juuri ympäristön seuranta ja monitorointi (Branny ja muut, 2022).

Big data teknologioilla on suuri potentiaali parantaa älykaupunkien palveluita. Datan kerääminen on tuottanut valtavia määriä dataa, jota voidaan hyödyntää monilla tavoilla liikenteessä, uutisissa, terveyspalveluissa ja esimerkiksi turvallisuusilmoituksissa. Datan avulla urbaaneista palveluista saadaan tehokkaampia, laadukkaampia ja interaktiivisempia, samalla käyttäen vähemmän resursseja. (Abdalla ja muut, 2022).

Tekoälyä voidaan käyttää big datan hyödyntämisessä. Big dataa kerätään muun muassa kaupunkiin asetetuista sensoreista ja tekoälyn avulla tätä dataa voidaan hyödyntää elämänlaadun, kaupungin operaatioiden ja luonnon parantamiseen (Yigitcanlar ja muut, 2021). Irvine ja muut (2022) hyödyntäisivät kaupungin hallinnan osalta IoT:tä älykkäiseen seurantaan ja tekoälyä hyvin ajoitettujen ja älykkäiden päätösten tekemisessä. He mainitsevat esimerkiksi, että IoT:n ja tekoälyn arvioinnin perusteella liikennevaloja ja julkisia liikennevälineitä voidaan synkronoida toimimaan tehokkaammin.

Myös veden laadun seurannassa voidaan käyttää tekoälyn ja IoT:n arviointia hyödyksi (Irvine ja muut, 2022). Tekoälyä voidaan hyödyntää myös esimerkiksi ilman saasteiden seuraamisessa, jäteveden käsittelyssä, ilmastonmuutoksen tunnistamisessa ja luonnonkatastrofien ennakoimisessa (Yigitcanlar ja muut, 2021).

Myös Wang ja muut (2021) hyödyntäisivät tekoälyä ja asioiden internetiä mittaamaan ja seuraamaan erilaisia aktiviteettejä, kuten saasteiden määrää, sään seurantaan, energian jakeluun ja hallintaan, liikenteen ja liikkumisen hallintaan, veden jakeluun ja moneen muuhun. Sensoreihin perustuvat havainnot antavat paljon tietoa ympäristöstä ja sen tilasta (Branny ja muut, 2022). Erilaisten sensoreiden ja esimerkiksi kameroiden keräämää

dataa voitaisiinkin lähettää jollekin keskitetylle alustalle, jossa suoritettaisiin analysointia ongelman tunnistamiseksi ja siihen ratkaisujen löytämiseksi (Wang ja muut, 2021).

Datan avulla voidaan siis parantaa, kehittää, ylläpitää ja tukea älykkäitä kyseisen datan pohjalta tehtyjä päätöksiä (Paes ja muut, 2023). Kaupungin digitaalisen ekosysteemin tulisi mahdollistaa datan liikkuminen eri kaupungin osa-alueiden välillä, esimerkiksi liikenteen ja energian käytön seuraamisen välillä (Pańkowska & Sołtysik-Piorunkiewicz, 2022). Näin datan hyödyntämisestä saisi mahdollisimman paljon irti. Kaiken kaikkiaan hallinnon kannalta kestävyuden lisääminen riippuu siis paljolti mahdollisuudesta monitoroida ja analysoida urbaaneja päästöjä (Komninos, 2022).

## 5 Älykaupungin keinot luoda kestävää kehitystä

Älykaupungeissa hyödynnettäviä keinoja on monenlaisia. Tässä tutkielmassa keskityttiin etsimään keinoja, jotka nimenomaan parantaisivat kestävää kehitystä ja sitä kautta kaupungin ympäristöystävällisyyttä. Keinoja liittyi niin energian tuotantoon ja -kulutukseen, kuin liikenteeseen ja kasvillisuuteenkin. Tuloksia pyrittiin jaottelemaan älykaupungin kuuden osa-alueen mukaan. Kaikkiin osa-alueisiin liittyviä tutkimuksen kannalta olennaisia keinoja ei löytynyt, mutta hallinnon, elämisen, ympäristön ja liikenteen osalta löytyi.

Älykkäässä liikenteessä voidaan rakentaa kestävyttä panostamalla älykkääseen automatisoituun julkiseen liikenteeseen ja integroituun älykkääseen liikennejärjestelmään. Automatisoidulla liikenteen ohjauksijärjestelmällä voidaan vastata liikenneverkostossa ilmenneisiin ongelmiin ja vaikkapa ruuhkiin. Siihen voidaan liittää myös älykäs liikennevalojärjestelmä, jolla valoja voidaan hallita ja esimerkiksi priorisoida julkista liikennettä. Liikennekokonaisuuteen olisi hyvä integroida infraa myös kevyelle liikenteelle, jolloin sen käyttöä voidaan myös lisätä.

Älykkään ympäristön kannalta tärkeää on energian tuotanto ja -kulutus, sekä älykäs sähköverkko. Älykkääseen sähköverkkoon pystytään esimerkiksi helposti integroimaan uusiutuvia energianlähteitä, mikä helpottaa siirtymistä kauemmas uusiutumattomista energianlähteistä. Sähköverkossa voidaan hyödyntää myös erilaisia sensoreita, jotka keräävät dataa esimerkiksi energian kulutuksesta ja tuotannosta. Tämän datan perusteella kumpaakin voidaan optimoida tarpeen mukaan, jolloin esimerkiksi turhaa energiantuotantoa ei tulisi yhtä helposti.

Älykkäässä jätehuollossa voidaan myös hyödyntää sensoreita keräämään dataa muun muassa siitä kuinka täysiä astiat ovat. Tämän avulla keräysreitit voidaan optimoida, eikä hukkakäyntejä tule. Sensoreita on mahdollista hyödyntää myös lajittelun helpottamiseen. Jätehuollon lisäksi älykkääseen ympäristöön liittyy kasvillisuus. Kasvillisuuden lisääminen kaupungeissa parantaa asumismukavuutta, lisäämällä puistoja ja muuta kasvillisuutta kaupunkiin. Lisäksi kasvit myös parantavat esimerkiksi ilman laatua sitomalla

CO2 päästöjä ja saasteita ilmasta. Kasvillisuutta voidaan hyödyntää myös esimerkiksi viherseininä ja -kattoina, jotka eristävät rakennuksia ja näin ollen pienentävät rakennusten energiankulutusta.

Älykkääseen elämiseen liittyy vahvasti esimerkiksi energiankulutuksen seuraaminen. Asunnoissa voidaan hyödyntää älykkäitä järjestelmiä, joilla asukkaat pystyvät itse seuraamaan kulutustaan. Näissä järjestelmissä voidaan hyödyntää erilaisten mittauslaitteiden tietoa. Asuntoihin voidaan asentaa tällaisia järjestelmiä, jolloin ne olisivat kaikkien saatavilla. Näin tehdään ihmisistä tietoisia kulutuksestaan ja he pystyvät tarvittaessa pienentämään sitä, jos mittaustiedoista tulee ilmi, että turhaa kulutusta syntyy.

Älykkään hallinnon suurin mahdollisuus on hyödyntää kaikkea kaupungista sensoreilla kerättyä dataa päätöksien tekoon, eri osa-alueilla. Hyvä datan hallinta onkin tärkeää. Kaupunkia voidaan myös seurata reaaliajassa datan perusteella ja monitoroida eri toimintoja. Tämä mahdollistaa päätöksenteon kaiken sen tiedon perusteella, ja päätöksiä voidaan tehdä juuri kestävyys edellä. Myös tekoälyä voidaan hyödyntää päätöksen tekoon ja datan hallintaan. Taulukossa 3 on vedetty yhteen kaikkia näitä älykaupungin keinoja.

**Taulukko 3.** Keinoja, joita kaupungeissa voidaan hyödyntää kestävyuden lisäämiseksi, listattuna osa-alueiden mukaan. Sensorit ja data liittyvät kaikkiin osa-alueisiin jollakin tapaa.

Kestävä älykaupunki			
Sensorit ja data			
Älykäs hallinto	Älykäs eläminen	Älykäs ympäristö	Älykäs liikenne
- Datan hallinta	- Kulutuksen seuranta ja optimointi	- Älykäs sähköverkko	- Älykäs liikennejärjestelmä
- Päätöksenteko	- Mittausjärjestelmät	- Uusiutuvat energianlähteet	- Julkinen liikenne
- Big data		- Älykäs jätehuolto	- Uusiutuvat polttoaineet/sähkö
- Kaupungin seuraaminen		- Viheralueet, muu kasvillisuuden hyödyntäminen	

## 6 Diskussio

Tuloksien perusteella kirjallisuudesta löytyy paljon mahdollisia älykaupunkien tapoja ja teknologioita, joiden avulla pystyttäisiin pienentämään kaupunkien ympäristövaikutusta. Kuten teoriassakin mainittiin, on kestävyys monen määritelmän mukaan vahvasti yksi älykaupungin tavoitteista, joten monet siihen liittyvät ratkaisut myös edesauttavat sitä. Suurimmat mahdollisuudet tutkimuksen perusteella liittyvät liikenteeseen, energian kulutukseen ja -tuotantoon, sekä hallintoon.

### 6.1 Tieteelliset löydökset ja jatkotutkimusaiheet

Kuten teoriassa mainittiin, yksi tärkeimmistä teknologioista älykaupungissa on big data. Monet tässä tutkimuksessa esiin tulleet keinot liittyvätkin vahvasti datan hyödyntämiseen. Lähes jokaisella osa-alueella hyödynnetään eri tavoilla kerättyä dataa. Esimerkiksi liikenteessä pystytään erilaisten sensoreiden kautta keräämään dataa liikenteestä, jonka kautta pystytään tekemään erilaisia liikenteeseen liittyviä päätöksiä. Näiden päätöksiä avulla pystytään optimoimaan liikennettä, ja esimerkiksi vähentämään ruuhkia pyrkimällä sujuvoittamaan liikennevirtoja tunnistamalla ongelmakohtia datan avulla. Ruuhkien vähentyminen pienentäisi autoista aiheutuvia päästöjä.

Sensoreiden avulla voidaan liikenteen ja energian lisäksi myös mitata esimerkiksi kaupungin saasteiden määrää. Kun korkeat saastepitoisuudet havaitaan jossakin päin kaupunkia, voitaisiin sen perusteella ryhtyä toimiin niiden pienentämiseksi. Esimerkiksi vähentämään liikennettä siinä osassa kaupunkia tai tutkia mistä muusta suuri saasteiden määrä voisi johtua.

Datan hyödyntäminen ja hallinta tuntuukin tulosten perusteella olevan yksi tärkeimmistä asioista kestävässä älykaupungissa. Ilman sitä monet muut toiminnot ovat lähes turhia, sillä ne vaativat datan perusteella tehtäviä päätöksiä toimiakseen kestävästi. Esimerkiksi liikenteen optimoinnissa tehdään päätöksiä datan perusteella siitä, kuinka liikennettä

hallitaan. Lisäksi energian tuotantoa ja -kulutusta optimoidaan saadun datan perusteella. Sen perusteella voidaan päätellä, tuotetaanko energiaa esimerkiksi liikaa kulutukseen nähden, jolloin tuotantoa pystytään mukauttamaan kulutukseen Näin ei synny turhaa tuotantoa ja energiaa säästyy. Datan avulla myös kuluttajat saavat tietoa energian käytöstään ja pystyvät mahdollisesti optimoimaan kulutustaan.

Lähes kaikissa mainituissa ratkaisuisa hyödynnettiin jotenkin sensoreita ja niiden tuotamaa dataa ja tietoa. Lisäämällä kehittyneitä seuranta- ja valvontatyökaluja ja sovelluksia voidaan lisätä tehokkuutta ja laadukkuutta (AI Nuaimi ja muut, 2015). Hyvällä sensoreiden verkostolla ja muilla seurantavälineillä saadaan paljon tietoa kaupungin eri osa-alueiden käyttöön. Tätä dataa tarvitaan, jotta eri osa-alueet saadaan toimimaan mahdollisimman tehokkaasti ja tavalla, joka hyödyntää ympäristöä.

Kuitenkin jotta tätä dataa voidaan hyödyntää, tarvitaan siihen sopivat työkalut ja tavat datan analysointia varten. Tämä voi olla vaikea toteuttaa kaupungeissa, mutta varsinkin isommilla kaupungeilla voi jo valmiiksi olla mahdolliset säilytystilat datan käsittelyä varten. Tässä älykkäällä hallinnolla on tärkeä rooli, sillä se olisi lähtökohtaisesti vastuussa datan hallinnoinnista ja analysoinnista, ja loppujen lopuksi erilaisten päätösten tekeminen. Hallinnossa tulisi pyrkiä datan perusteella päätöksiin, jotka edesauttavat kaupungin kestävyys tavoitetta. Esimerkiksi juuri julkisen liikenteen reittien ja liikennöinnin osalta. Riippuu siis paljon hallinnosta, mitä kaupungissa tapahtuu. Älykäs hallinto on myös varmasti monella tapaa välttämätöntä monien muiden osa-alueiden ratkaisujen kannalta.

Yksiksi tärkeimmistä älykaupungin teknologioiksi mainituista pilvilaskennasta ja asioiden internetistä ei kovin paljon suoria ratkaisuja tullut esille. Tosin näistäkin ainakin asioiden internettiä pystyisi hyödyntämään kaupungin seurannassa. Tekoäly taas mainittiin tärkeänä välineenä datan analysoinnissa ja sen perusteella päätöksiä tekemisessä. Voisi siis ajatella, että ehkäpä pilvilaskenta ei loppujen lopuksi ole kovin tärkeä teknologia älykaupungeissa, ainakaan tutkimuksessa käytetyn aineiston perusteella. Tai ainakin

tekoäly on saattanut mennä pilvilaskennasta ohi. Tekoäly tosin onkin yleistynyt viime vuosina ja tutkielmassa hyödynnetty materiaali oli varsin tuoretta. Mutta tutkimuksen perusteella voi ajatella tekoälyn olevan myös hyvin tärkeä ja tehokas työväline älykaupungeissa. Lisäksi se kehittyy jatkuvasti, joten siihen liittyvät mahdollisuudet tulevat myös varmasti lisääntymään.

Tutkimuksen löydökset tukevat varsin hyvin alun teoriaa, sillä suurin osa niistä liittyy aiheisiin ja teknologioihin, joita teoriakappaleessa käsiteltiin. Jotkin älykaupungin osa-alueista tosin olivat turhia tämän tutkielman kannalta, sillä niihin ei liity sellaista merkittävää teknologiaa tai kestävyyttä edistäviä tapoja, joita tässä tutkielmassa haettiin. Esimerkiksi älykäs talous ei tämän tutkimuksen kannalta ollut relevantein älykaupungin osa-alue, eikä siihen liittyviä ratkaisuja myöskään tullut esiin. Kuitenkin suurimpaan osaan osa-alueista keskittymällä pystytään eri keinoilla parantamaan kaupungin ympäristöllistä kestävyyttä.

Mitä teoriassa ei oikeastaan tullut esille, on kasvillisuuden tärkeys älykaupungissa. Se on kuitenkin varsin selkeä ja tehokas keino parantaa esimerkiksi kaupungin ilman laatua, sillä kasvillisuus sitoo hiilidioksidia ilmasta, ja asumismukavuutta vaikkapa puistoilla. Kasvillisuuden hyödyntäminen esimerkiksi rakennuksissa auttaa myös niiden energiatehokkuuden parantamiseen, mikä taas vähentää energiankulutuksen päästöjä. Useat älykaupunki-indeksit ovat maininneet viheralueiden paljouden olevan positiivinen mittari älykkyydestä (Shen ja muut, 2018). Viheralueet voivatkin vastata useampaankin kaupungin ongelmaan ja ne ovat tehokas, vaikkakin eivät tekninen tapa, parantaa älykaupungin kestävyyttä.

Energiatehokkuus on yksi isoimmista ja houkuttelevimmista vaihtoehdoista päästöjen vähentämiseen (Landström ja muut, 2019). Energian kanssa älykkäät sähköverkot luovat paljon mahdollisuuksia. Ne mahdollistavat niin kulutuksen ja tuotannon seuraamisen, kuin myös esimerkiksi uusiutuvien energianlähteiden integroimisen sähköverkkoon. Sähköverkkojen sensorit luovat mahdollisuuden kerätä reaaliaikaista dataa esimerkiksi

energian kulutuksesta, jolloin energian tuotantoa voidaan optimoida. Tutkielman löydökset tukevat teoriaa siinä, että älykäs sähköverkko on tärkeä osa älykaupunkia ja sen avulla pystytään parantamaan energian käsittelyä ja pienentämään kaupungin hiilijalanjälkeä.

Nämä kaikki toimet tukisivat vahvasti myös aiemmin mainittuja Yhdistyneiden Kansakuntien tavoitteita kestävyteen liittyen, sillä sen tavoitteilla pyritään esimerkiksi lisäämään uusiutuvaa energiaa. Tätä helpottaa älykkään sähköverkon hyödyntäminen, sillä siihen näitä energianlähteitä on helpompi yhdistää. Myös oikeastaan kaikki tutkimuksen keinot parantavat resurssien tehokasta käyttämistä ja ne ovat lähtökohtaisesti puhtaita teknologioita, mitkä tukevat myös YK:n tavoitetta.

Tulevaisuudessa aiheen tutkimusta voitaisiin viedä pidemmälle laajentamalla kestävyden näkökulmaa vain ympäristöllisestä kestävydestä. Älykaupunkiaihe myös kehittyi vauhdilla, joten uusia teknologioita ja uusia tapoja hyödyntää niitä tulee varmasti lisää lähivuosina. Tutkimusmahdollisuudet eivät varmastikaan lopu herkästi ja älykaupunkikonseptia voi varmasti laajentaa hyvinkin pitkälle. Teoriassakin mainittiin älykaupungin voivan vastata myös sosiaalisiin ongelmiin, kuten köyhyyteen. Näihin aiheisiin ei tässä tutkielmassa keskitytty, mutta lisätutkimusta voisi tehdä myös keräämällä älykaupungin keinoja, joilla vastata sosiaalisiin, tai muihin, ongelmiin.

## **6.2 Käytännön kontribuutio**

Tutkimuksen tekniikoiden ja tapojen hyödyntäminen toisi kaupunkeihin varmasti huomattavia päästövähennyksiä, tehden niistä kestäviä ja ympäristöystävällisempiä. Erityisesti energian kulutusta optimoimalla ja vähentämällä, sekä liikenteen ratkaisuihin panostaen olisi mahdollista saada aikaan isoja muutoksia, sillä ne ovat yksiä kaupunkien isoimpia osa-alueita. Data on myös tärkeässä osassa älykaupungeissa, joten sen hallintoihin ja analysointiin tulisi panostaa. Sitä hyödyntämällä pystytään tekemään tärkeitä

päätöksiä eri osa-alueiden toiminnasta. Ilman datan hyödyntämistä ei moni muu älykaupungin toiminnoista ole hyödyllisiä.

Energian suhteen tulisi investoida uusiutuviin energianlähteisiin mahdollisimman paljon, esimerkiksi aurinkopaneelijärjestelmiin, ja integroida niitä sähköverkkoon. Esimerkiksi asuinrakennuksiin voisi asentaa aurinkopaneeleita, jolloin rakennus voisi parhaassa tapauksessa tuottaa paneeleilla kaiken tarvitsemansa energian. Myös rakennusten energiatehokkuuteen tulisi kiinnittää huomiota.

Asunnoissa pystytään hyödyntämään järjestelmiä, jotka näyttävät sähköverkon keräämää tietoa talouden kulutuksesta, jolloin talous pystyy pohtimaan energiankulutustaan ja tekemään saamansa tiedon perusteella päätöksiä energiankäytöstään. Asukkaiden on tärkeitä olla tietoisia energian käytöstään, sillä se auttaa optimoimaan myös energiankäyttöä talouksissa ja ohjaamaan ympäristöystävällisimpiin tapoihin.

Myös esimerkiksi liikennevalojärjestelmiä voidaan kehittää, esimerkiksi automatisoimalla valoja ja liittämällä niihin sensoreita, jolloin liikennevaloja voidaan hyödyntää liikenteen hallinnassa. Tällöin voidaan myös vaikuttaa ruuhkaisiin alueisiin. Liikennevalojen sensoreita voidaan hyödyntää myös tunnistamaan risteykseen saapuvan julkisen liikenteen, ja mahdollisuuksien mukaan vaihtaa valon vihreäksi, jolloin julkinen liikenne pääsisi kulkemaan mahdollisimman sujuvasti. Julkisen liikenteen sujuvuus myös lisäisi varmasti sen houkuttelevuutta, mikä taasen saisi ihmiset hyödyntämään sitä enemmän.

Kulkuneuvoissa, niin julkisissa kuin yksityisissäkin, olisi tärkeä siirtyä käyttämään uusiutuvia polttoaineita tai esimerkiksi sähkökäyttöisiä kulkuneuvoja. Sähköllä toimivien kulkuneuvojen lisääntyminen vaatisi myös sitä, että latauspisteitä täytyy joko rakentaa kokonaan uusia, tai muuttaa jo olemassa olevia bensa-asemia hybrideiksi, jolloin niistä saisi sekä polttoainetta, että olisi latausmahdollisuus sähköautoille. Sähkökäyttöisiin pienentäisi liikenteen päästöjä huomattavasti, sillä fossiiliset polttoaineet saastuttavat huomattavasti enemmän.

Tärkeää olisi myös panostaa pyöräilyyn. Pyöräily on kaikista liikkumismuodoista kävelyn lisäksi ympäristöystävällisin. Pyöräilyn helppoutta ja houkuttelevuutta voidaan lisätä panostamalla pyöräilyyn liittyvään infrastruktuuriin, esimerkiksi kattavaan pyörätieverkostoon. Lisäksi kaupungeissa voitaisiin hyödyntää kaikkien saatavilla olevaa rekisteröitymiseen pohjautuvaa pyöräsovellusta, jolloin oikeastaan kenellä vain olisi pääsy pyörään. Kun ihmiset siirtyvät moottoriajoneuvoista pyöräilyyn mahdollisuuksien mukaan, pienentyvät siinä myös liikenteen päästöt sillä pyöräily on lähtökohtaisesti päästötöntä.

Liikenteeseen liittyvien ratkaisujen lisääminen voisi leikata esimerkiksi pohjoismaissa liikenteen päästöjä 5.6 megatonnia tai 10 prosenttia (Landström ja muut, 2019). Joten tutkimuksessa mainittujen keinojen hyödyntäminen olisi järkevää, sillä mahdollisuudet päästöjen vähentämiseen olisivat varsin hyvät. Nimenomaan julkiseen liikenteeseen panostaminen on yksi tärkeimmistä asioista, sillä yksityisautoilu aiheuttaa huomattavan määrän päästöjä. Jos yksityisautoilua saadaan vähennettyä, pienentyisivät myös liikenteen aiheuttamat päästöt. Ihmisiä voidaan kannustaa käyttämään julkista liikennettä tekemällä siitä helposti saavutettavaa ja optimoimalla sen reittejä, jotta sen käyttö olisi mahdollisimman tehokasta käyttäjälle. Myös esimerkiksi Mobility as a Service järjestelmällä voidaan helpottaa ihmisten julkisten käyttöä, sillä järjestelmällä voidaan kerätä yhteen eri liikennevälineistä tietoa, jolloin kaikki tieto on samassa paikassa saatavilla. Kaupungeissa olisi hyvä myös panostaa bussikaistoihin.

Lisäksi hyviä keinoja kestävyden lisäämiseksi löytyy esimerkiksi jätehuollossa, jossa älykällä jäteastioilla voidaan tehostaa jätteiden keräämistä ja lajittelua. Astioissa olevat sensorit tunnistaisivat, kun astiat vaativat tyhjennystä, ja niistä lähtee ilmoitus asiasta vastaaville tahoille (Society of Chemical Industry, 2019). Kun jätteiden käsittelyä saadaan tehostettua, tulee jäteautojen liikkumisesta tehokkaampaa eikä hukareissuja tule. Jätteet saadaan näin käsiteltyä nopeammin.

Monet tutkimukset ovat tulleet samaan lopputulokseen siitä, että meillä on jo olemassa tarvittavat ratkaisut perusteelliseen ja nopeaan päästöjen vähentämiseen (Landström ja muut, 2019). Joten niitä täytyisi vain ottaa käyttöön. Jos joitakin tässä tutkimuksessa mainittuja ratkaisuja otettaisiin käyttöön, olisivat parhaimmat siihen energian kulutuksen ja tuotannon optimointi, sekä liikenteen optimointi tutkielmassa mainittujen keinojen avulla. Tämän jälkeen, jos mahdollista, voitaisiin kaupunkiin lisätä myös muita mainittuja ratkaisuja.

## 7 Yhteenveto

Kaupungeissa asuvien ihmisten määrän ennustetaan nousevan 64,1 prosenttiin eteläisellä pallonpuoliskolla ja 85,9 prosenttiin pohjoisella pallonpuoliskolla vuoteen 2050 mennessä (McLaren ja muut, 2015). Kaupunkien ympäristövaikutuksiin tulisi siis kiinnittää huomiota, sillä ne lisääntyvät sitä mukaan, kun kaupungit kasvavat. Euroopan Unionikin tukee kaupunkiensä siirtymistä älykkyyteen ja kestävyys, ja sillä onkin useampi aloite kaupunkien saamiseksi kestävämmiksi ja resurssitehokkaammiksi (Akande ja muut, 2018).

Tässä tutkimuksessa tutkittiin parhaita älykaupunkikonseptiin liittyviä ratkaisuja ja teknologioita, joiden avulla pystytään vaikuttamaan positiivisesti kaupungin kestävyys ja pienentämään kaupunkien tuottamia päästöjä. Valitusta kirjallisuudesta löytyi paljon keinoja kestävyys lisäämiseksi, joita tähän tutkimukseen koottiin. Tutkimuskysymys tutkielmassa oli seuraava:

*Millä älykaupungin keinoin voidaan luoda kestävä kehitys kaupungissa?*

Kaupungeissa kulutettu energia talojen lämmittämistä ja julkista liikennettä varten vie ilmastonmuutosta eteenpäin (McLaren ja muut, 2015). Erityisesti näihin asioihin, siis liikenteeseen ja energian kulutukseen, tulisi kaupungeissa kiinnittää huomiota. Näihin asioihin myös löytyi kirjallisuudesta paljon älykaupunkien käytäntöjä, joilla niiden vaikutusta ilmastonmuutokseen voidaan pienentää.

Keinoja, joilla voidaan luoda kestävyys ovat muun muassa älykkäät liikennejärjestelmät ja älykäs sähköverkko. Älykkäillä liikennejärjestelmillä voidaan kerätä dataa liikenteestä ja vaikuttaa sen sujuvuuteen tunnistamalla esimerkiksi ruuhkapisteitä ja tekemällä ratkaisuja niistä eroon pääsemiseksi. Julkista liikennettä voidaan myös sujuvoittaa ja helpottaa tunnistamalla ihmisten liikennekäyttäytymistä, ja tämän kautta myös tehdä julkisesta liikenteestä houkuttelevampaa. Myös erilaiset julkisen liikenteen sovellukset tekevät siitä helpommin saavutettavan.

Kaupunkien olisi muutenkin hyvä panostaa julkiseen liikenteeseen, sillä sen avulla saadaan vähennettyä yksityisautoilua. Kuitenkin olemassa olevan yksityisautoilun osalta sähköautoihin siirtymisestä olisi hyvä tehdä mahdollisimman helppoa, jolloin vaikka yksityisautoilua onkin, olisi se mahdollisimman vähäpäästöistä.

Älykkään sähköverkon avulla taas pystytään optimoimaan kaupungin energian kulutusta ja tuotantoa. Tämä tapahtuu myös erilaista tietoa keräämällä sähkön kulutuksesta, jolloin pystytään tarkemmin vastaamaan tarpeeseen, eikä turhaa tuotantoa tule. Myös kuluttajien käyttäytymiseen voidaan vaikuttaa erilaisten mittareiden avulla, jotka näyttävät sähkön kulutusta, jolloin he voivat itse pyrkiä parempaan energian käyttöön.

Älykäs sähköverkko mahdollistaa myös erilaisten uusiutuvien energianlähteiden, kuten aurinkopaneelien, integroimisen verkkoon. Tämä tekee uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämisestä helpompaa, ja mahdollistaa siirtymisen pois päin fossiilisista polttoaineista.

Kaiken kaikkiaan tärkeimpiä keinoja joka osa-alueella älykaupungeissa on erilaiset sensorit erilaisen datan keräämiseen. Datan avulla voidaan sitten tehdä ympäristöystävällisiä ratkaisuja, esimerkiksi energian suhteen, jätteen keräämisestä ja liikenteen kulusta. Niiden avulla voidaan myös vaikkapa tarkastella ilmaston tilaa ympäri kaupunkia. Big datan rooli on tärkeä niin erilaisten prosessien tehostamisessa, mutta myös kaupungin ymmärtämisessä, seuraamisessa, analysoinnissa ja suunnittelussa niin, että voidaan pyrkiä ympäristöllisen kestävyden tavoitteisiin (Bibri, S.E., 2017).

Kaupunkien olisi siis hyvä mahdollisuuksien mukaan ottaa käyttöön tutkielmassa mainittuja keinoja pienentääkseen ympäristövaikutuksiaan. Kaikkia ei varmastikaan jokaisen kaupungin ole mahdollista toteuttaa, mahdollisuudet riippunevat kyseisen kaupungin koosta, sekä budjetista. Kaikki ratkaisut eivät varmastikaan ole kaikkien budjettien saatavissa. Toisaalta Camero ja Alba (2019) mainitsevat, että ei ole todisteita BKT:n ja

älykaupunkien välisestä riippuvuussuhteesta, josta voidaan päätellä, että raha ei välttämättä ole avainasia älykkääksi kaupungiksi siirtymiseen.

Älykaupungit tuovat paljon erilaisia keinoja vastata ilmastonmuutokseen ja tarpeeseen pienentää kaupungin ympäristövaikutusta. Näistä keinoista kaupungit voivat valita itselleen sopivia ja kyseisessä kaupungissa toteutettavissa olevia. Tutkielman tarkoituksena oli kuitenkin luoda yhteenveto parhaista aikaisemmasta kirjallisuudesta löytyneistä ratkaisuista, ympäristön näkökulmasta tarkasteltuna. Ratkaisuja voidaan hyödyntää kuitenkin myös esimerkiksi asumismukavuuden lisäämiseen, muun muassa viheralueiden avulla.

## **7.1 Tutkimuksen rajoitteet ja tulevaisuuden tutkimus mahdollisuudet**

Tutkimuksessa on tietenkin myös rajoitteita. Tutkimuksessa käytettiin hyvin rajattua kirjallisuutta, joten monia tehtyjä tutkimuksia ja sitä kautta tietoa jäi varmasti tutkielman ulkopuolelle. Joten tutkielma ei ole kaiken kattava, vaan se on toteutettu katsauksessa tehdyn rajauksen puitteissa. Aihetta pystytään varmasti tutkimaan lisää ja tekemään erilaisia yhteenvetoja erilaisilla aineistojen rajauksilla. Tästä työstä jäi varmasti pois joitakin ratkaisuja, mutta tutkielma sisältää kuitenkin tärkeimpiin ongelmiin vastaavia ratkaisuja.

Tulevaisuudessa aihetta voidaan kuitenkin tutkia eri näkökulmista, laajentaen kestäväyyden näkökulmaa. Esimerkiksi sosiaaliset tekijät tulevat varmasti olemaan isossa osassa tulevaisuudessa. Aihe ei varmasti tule vanhenemaan, sillä ihmiskunnan kasvaessa myös ongelmat kasvavat, ja näihin tarvitaan ratkaisuja, joihin älykaupunkiratkaisut voivat olla yksi mahdollisista vastauksista.

## 8 Lähteet

- Abdalla, A. A., Abdalla, Y. A., Haddad, A. M., Bhavani, G., & Zabalawi, E. (2022). Connections between Big Data and Smart Cities from the Supply Chain Perspective: Understanding the Impact of Big Data. *Sustainability (Switzerland)*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/su142316161>
- Addas, A. (2023). The importance of urban green spaces in the development of smart cities. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1206372>
- Akande, A., Cabral, P., Casteleyn, S. & Gomes, P. (2018). The Lisbon ranking for smart sustainable cities in Europe. *Sustainable Cities and Society*, 44, 475-487. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.009>.
- 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. <https://doi.org/10.1186/s13174-015-0041-5>
- Badidi, E., Mahrez, Z., & Sabir, E. (2020). Fog computing for smart cities' big data management and analytics: A review. *In Future Internet (Vol. 12, Issue 11, pp. 1–29)*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/fi12110190>
- Bălăşescu, S., Neacşu, N. A., Madar, A., Zamfirache, A., & Bălăşescu, M. (2022). Research of the Smart City Concept in Romanian Cities. *Sustainability (Switzerland)*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/su141610004>
- Berntzen, L., Johannessen, M. R., & El-Gazzar, R. (2018). Smart Cities, Big Data and Smart Decision-making Understanding “Big Data” in Smart City Applications. *ICDS 2018 : The Twelfth International Conference on Digital Society and eGovernments*.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.034>.
- Branny, A., Møller, M. S., Korpilo, S., McPhearson, T., Gulsrud, N., Olafsson, A. S., Raymond, C. M., & Andersson, E. (2022). Smarter greener cities through a social-ecological-technological systems approach. *Teoksessa Current Opinion in*

- Environmental Sustainability (Vsk. 55). Elsevier B.V.  
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101168>
- Camero, A., & Alba, E. (2019). Smart City and information technology: A review. *Cities*, 93, 84–94. <https://doi.org/10.1016/J.CITIES.2019.04.014>
- Demircan, B. G., & Yetilmezsoy, K. (2023). A Hybrid Fuzzy AHP-TOPSIS Approach for Implementation of Smart Sustainable Waste Management Strategies. *Sustainability (Switzerland)*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/su15086526>
- Environmental Performance Index (2022). Welcome | Environmental Performance Index.  
<https://epi.yale.edu/>
- Eremia, M., Toma, L., & Sanduleac, M. (2017). The Smart City Concept in the 21st Century. *Procedia Engineering*, 181, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.357>
- Fialová, J., Bamwesigye, D., Łukaszkiwicz, J., & Fortuna-Antoszkiewicz, B. (2021). Smart cities landscape and urban planning for sustainability in brno city. *Land*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/land10080870>
- Franchina, L., Calabrese, A., Inzerilli, G., Scatto, E., Brutti, G., & de los Ángeles Bonanni, M. V. (2021). Thinking green: The role of smart technologies in transforming cities' waste and supply Chain's flow. *Cleaner Engineering and Technology*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100077>
- García-Fuentes, M., Antolín, J., de Torre, C., Pérez, A., Tomé, I., Mirantes, M. L., López, F., Martín, J., & Gómez, J. (2021). Evaluation of results of city sustainable transformation projects in the fields of mobility and energy efficiency with real application in a district in valladolid (Spain). *Sustainability (Switzerland)*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/su13179683>
- Heikkilä, S. (2014). Mobility as a service-A Proposal for Action for the Public Administration. Case Helsinki, 28.
- IBM (n.d.). Big Data Analytics | IBM. <https://www.ibm.com/analytics/big-data-analytics>
- Irvine, K. N., Suwanarit, A., Likitswat, F., Srilertchaipanij, H., Ingegno, M., Kaewlai, P., Boonkam, P., Tontisirin, N., Sahavacharin, A., Wongwatcharapaiboon, J., & Janpathompong, S. (2022). Smart City Thailand: Visioning and Design to Enhance

- Sustainability, Resiliency, and Community Wellbeing. *Urban Science*, 6(1), 7. <https://doi.org/10.3390/urbansci6010007>
- Kaleem, M. K., Jain, R., & Husain, M. A. (2017). Role of Cloud Computing in Creating a Sustainable Green ICT Infrastructure. *In International Journal of Computer Applications* (Vol. 160, Issue 1).
- Kirimtat, A., Krejcar, O., Kertesz, A., & Tasgetiren, M. F. (2020). Future Trends and Current State of Smart City Concepts: A Survey. *In IEEE Access* (Vol. 8, pp. 86448–86467). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2992441>
- Komninos, N. (2022). Net Zero Energy Districts: Connected Intelligence for Carbon-Neutral Cities. *Land*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/land11020210>
- Kumar, H., Singh, M. K., Gupta, M. P., & Madaan, J. (2020). Moving towards smart cities: Solutions that lead to the Smart City Transformation Framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.04.024>
- Landström, M., Leinonen, T., Peljo, J. & Tynkkynen, O. (2019). Nordic Green to Scale for Cities and Communities: How far could we go simply by scaling up already proven climate solutions? *Pohjoismaiden ministerineuvosto*. <http://doi.org/10.6027/NO2019-059>.
- Lopez-Carreiro, I., Monzon, A., & Lopez, E. (2023). MaaS Implications in the Smart City: A Multi-Stakeholder Approach. *Sustainability (Switzerland)*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/su151410832>
- McLaren, D., Agyeman, J. & Gottlieb, R. (2015). *Sharing cities: A Case for Truly Smart and Sustainable Cities*. MIT Press.
- Menendez, M., & Ambühl, L. (2022). Implementing Design and Operational Measures for Sustainable Mobility: Lessons from Zurich. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020625>
- Monzon, A. (2015). Smart Cities Concept and Challenges Bases for the Assessment of Smart City Projects. *2015 International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems*, pp. 1-11.

- Ng, M. K., Koksai, C., Wong, C., & Tang, Y. (2022). Smart and Sustainable Development from a Spatial Planning Perspective: The Case of Shenzhen and Greater Manchester. *Sustainability (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/su14063509>
- Ouni, R., & Saleem, K. (2022). Framework for Sustainable Wireless Sensor Network Based Environmental Monitoring. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/su14148356>
- Paes, V. de C., Pessoa, C. H. M., Pagliusi, R. P., Barbosa, C. E., Argôlo, M., de Lima, Y. O., Salazar, H., Lyra, A., & de Souza, J. M. (2023). Analyzing the Challenges for Future Smart and Sustainable Cities. *Sustainability (Switzerland)*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/su15107996>
- Pańkowska, M., & Sołtysik-Piorunkiewicz, A. (2022). ICT Supported Urban Sustainability by Example of Silesian Metropolis. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031586>
- Pereira, G. V., & De Azambuja, L. S. (2022). Smart Sustainable City Roadmap as a Tool for Addressing Sustainability Challenges and Building Governance Capacity. *Sustainability (Switzerland)*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/su14010239>
- Porter, K.E. (2015). *Sustainability*. MIT Press.
- Quitow, L., & Rohde, F. (2022). Imagining the smart city through smart grids? Urban energy futures between technological experimentation and the imagined low-carbon city. *Urban Studies*, 59(2), 341–359. <https://doi.org/10.1177/00420980211005946>
- Reyes-Rubiano, L., Serrano-Hernandez, A., Montoya-Torres, J. R., & Faulin, J. (2021). The sustainability dimensions in intelligent urban transportation: A paradigm for smart cities. *Sustainability (Switzerland)*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/su131910653>
- Saidani Neffati, O., Sengan, S., Thangavelu, K. D., Dilip Kumar, S., Setiawan, R., Elangovan, M., Mani, D., & Velayutham, P. (2021). Migrating from traditional grid to smart grid in smart cities promoted in developing country. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101125>

- SAS (n.d.). Big Data: What it is and why it matters | SAS. [https://www.sas.com/en\\_us/insights/big-data/what-is-big-data.html](https://www.sas.com/en_us/insights/big-data/what-is-big-data.html)
- Shah, H. (2023). Beyond Smart: How ICT Is Enabling Sustainable Cities of the Future. *Sustainability (Switzerland)*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/su151612381>
- Shen, L., Huang, Z., Wong, S. W., Liao, S., & Lou, Y. (2018). A holistic evaluation of smart city performance in the context of China. *Journal of Cleaner Production*, 200, 667–679. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.281>
- Society of Chemical Industry. (2019). Smart cities. *Chemistry & Industry*, 83(7), 18-21. [https://doi.org/10.1002/cind.837\\_4.x](https://doi.org/10.1002/cind.837_4.x).
- Society of Chemical Industry. (2019). Smart cities. *Chemistry & Industry*, 83(7), 18-21. [https://doi.org/10.1002/cind.837\\_4.x](https://doi.org/10.1002/cind.837_4.x).
- Song, H., Srinivasan, R., Sookoor, T. & Jeschke, S. (2017). *Smart cities: Foundations, Principles, and Applications*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Tiwari, S., Jain, A., Ahmed, N. M. O. S., Charu, Alkwai, L. M., Dafhalla, A. K. Y., & Hamad, S. A. S. (2022). Machine learning-based model for prediction of power consumption in smart grid- smart way towards smart city. *Expert Systems*, 39(5). <https://doi.org/10.1111/exsy.12832>
- Toli, A. M., & Murtagh, N. (2020). The Concept of Sustainability in Smart City Definitions. In *Frontiers in Built Environment* (Vol. 6). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00077>
- United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>.
- Vijayalakshmi, J., Mohanarathinam, A., Nandini, V., & Priya, G. (2023). Internet of things enabled smart solid waste management system. *Global Nest Journal*, 25(5), 98–105. <https://doi.org/10.30955/gnj.004744>
- Wang, K., Zhao, Y., Gangadhari, R. K., & Li, Z. (2021). Analyzing the adoption challenges of the internet of things (IOT) and artificial intelligence (AI) for smart cities in China. *Sustainability (Switzerland)*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/su131910983>
- World Commission on Environment and Development (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Towards

Sustainable Development 2. Part II. Common Challenges Population and Human Resources 4.

- Xiang, F., Cheng, H., & Wang, Y. (2023). Exploring the Smart Street Management and Control Platform from the Perspective of Sustainability: A Study of Five Typical Chinese Cities. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/su15043438>
- Yigitcanlar, T., & Kamruzzaman, M. (2018). Does smart city policy lead to sustainability of cities? *Land Use Policy*, 73, 49–58. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2018.01.034>
- Yigitcanlar, T., Mehmood, R., & Corchado, J. M. (2021). Green artificial intelligence: towards an efficient, sustainable and equitable technology for smart cities and futures. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13168952>
- Zapolskytė, S., Trépanier, M., Burinskienė, M., & Survilė, O. (2022). Smart Urban Mobility System Evaluation Model Adaptation to Vilnius, Montreal and Weimar Cities. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020715>