



Älykaupunkiratkaisut liikenteenhallinnan tukena

Joona Sorjonen

Haaga-Helia ammattikorkeakoulu
Tietojenkäsittelyn tutkinto-ohjelma
Opinnäytetyö
Kevät 2023

Tiivistelmä

Tekijä(t) Joonas Sorjonen
Tutkinto Tradenomi
Raportin/Opinnäytetyön nimi Älykaupunkiratkaisut liikenteenhallinnan tukena
Sivu- ja liitesivumäärä 34 + y
<p>Tässä opinnäytetyössä tutustutaan älykaupunkiin ja sen teknologioihin kuten esineiden internetiin (engl. Internet of Things), 5G-teknologiaan ja tekoälyyn ja kuinka nämä teknologiat vaikuttavat älykaupungeissa. Tämän lisäksi opinnäytetyössä syvennyttään käsittelemään liikenteenhallintaa ja sen nykyisiä ongelmia ja kuinka älykaupunkiratkaisut voivat auttaa meitä nykyisten liikenteenhallinnan ongelmien kanssa.</p> <p>Opinnäytetyön ensimmäisessä luvussa käydään läpi johdanto, jossa nähdään työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset. Toinen luku käsittelee yleisellä tasolla älykaupungin määritelmää ja sitä, millaisia teknologioita nykyisiin älykaupunkiratkaisuihin kuuluu. Näitä ovat esineiden internet, 5G sekä tekoäly. Tietoperustassa nähdään syvemmin esimerkkien kautta, kuinka näitä teknologioita sovelletaan älykaupungeissa. Toisessa luvussa käydään myös älykaupunkien nykyistä tilannetta meillä Suomessa. Maailman mittakaavassa Suomi on jo pitkällä kaupunkiemme älyllistämässä.</p> <p>Kolmannessa luvussa eli varsinaisessa tietoperustassa käsitellään liikenteenhallintaa ja sen nykyisiä ongelmia, kuten liikenneuhkia, päästöjä, terveydellisiä ongelmia ja niin edelleen. Ensin esitellään ongelmat, ja sitten käydään kohta kohdalta läpi nämä kohdat ja selitetään kuinka älykaupunkiratkaisut auttavat kyseisiin ongelmiin. Tietoperustassa nähdään, että etenkin esineiden internet kantaa suurta roolia. Lopuksi on vuorossa neljäs luku, jossa käydään läpi omaa pohdintaa opinnäytetyön aiheeseen liittyen. Esimerkiksi se, mistä idea aiheeseen on tullut ja omia ajatuksia nykyiseen liikenteenhallinnan tilanteeseen.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena on kirjallisuuskatsaus ihmeellisiin ja tulevaisuuden kaupunkeihin, jonka syventymisaiheena on liikenteenhallinta.</p>
Asiasanat Älykaupunki, IoT, liikenteenhallinta

Sisällys

1. Johdanto	1
2. Älykaupunki (smart city)	4
2.1 Mikä on Älykaupunki?	4
2.2 Älykaupungin teknologiat.....	6
2.2.1 IoT	6
2.2.2 Lohkoketjut	8
2.2.3 Tekoäly	8
2.3 IoT:n rooli Älykaupungissa	9
2.4 Älykaupunkiratkaisut Suomessa.....	10
3. Älykaupunki ja liikenteenhallinta	14
3.1 Nykyiset ongelmat.....	14
3.2 Älykaupungista apua ongelmiin?	17
3.2.1 Hälytysajoneuvot.....	17
3.2.2 Liikenneuhkat	19
3.2.3 Parkkeeraus.....	24
3.2.4 Älykäs julkinen liikenne	27
4. Pohdinta.....	30
Lähteet.....	32
Liitteet.....	36

1. Johdanto

Tässä opinnäytetyössä perehdytään ensin siihen mitä ovat älykaupunkiratkaisut yleisellä tasolla. Perehdytään siihen, minkälaisia teknologioita älykaupungeissa käytetään, sekä minkälaisia kaupungistumisen ongelmia sillä voidaan ratkaista nykymaailmassa. Maailma muuttuu vauhdilla, ja maapallon nopea kansoittuminen ja kaupungistuminen lisää monia haasteita elämässämme, mukaan lukien liikenteen ongelmat. Kaupunkeja on hankala lähteä rakentamaan uudestaan ja autojen sekä ihmisten määrän kasvaessa paine kasvaa entisestään. Tuntikausien ruuhkat, ja siitä johtuvat viivästykset ihmisten arkipäiväisissä elämässä tuottavat myös suurta rahallista menetystä ihmisille ja yrityksille. Liikenneonnetusten ollessa pahoja myös pelastusajoneuvojen pääsy onnettomuuspaikalle tai sairaalaan on vaarassa. Liikenteestä johtuvat saasteongelmat pahenevat, ja se vaikuttaa niin ympäristöön kuin ihmisten terveyteenkin. Jos asioita ei saa muutettua, ongelmat tulevat pahenemaan entisestään ja elämä kaupungeissa käy yhä vaikeammaksi. Onneksi maailmamme teknologia kehittyy myös kovalla vauhdilla, ja uusien teknologioiden avulla saamme toivoa tulevaan. Älykaupunkiratkaisut ovat yksi tulevaisuuden vaihtoehto ratkomaan kaupungistumisen ongelmia.

Tässä opinnäytetyössä syvennyttään etenkin kaupunkien liikenteenhallintaan, ja siihen kuinka älykaupunkiratkaisut voivat auttaa nykyisiin liikenteenhallinnan ongelmiin. Liikenne on kaupungeissa niin tärkeä, että liikenneonnetusten pahentuessa ne voivat lamauttaa koko kaupungin toiminnan. Tässä tapauksessa mikään ei pääse kunnolla liikkumaan paikasta toiseen. Älykaupungit ovat vielä kehityksen asteella mutta viime vuosina monissa maailman kaupungeissa on tehty suuria harppausaskelleita älykkäämpiin kaupunkeihin. Uskon, että älykaupunkiratkaisut tulevat mullistamaan meidän kaikkien elämän tulevaisuudessa tavoilla, joita emme ehkä vielä pysty ymmärtämäänkään. Siitä olen kuitenkin varma, että älykaupungeissa elämänlaatu tulee paranemaan nykyisestä.

Työ rajattiin koskemaan ainoastaan liikenteenhallintaa, koska älykaupungin konsepti on laaja ja sen pohjalta rajaus oli välttämätön. Muussa tapauksessa työstä olisi tullut liian laaja. Liikenteenhallinnan valitsin aiheeksi siitä syystä, että se on yksi tärkeimmistä asioista kaupungin toiminnalle. Tutkittavat asiat tässä työssä ovat ne, kuinka älykaupunkiteknologiat vaikuttavat liikenteenhallintaan yleisellä tasolla ja kuinka ne ratkovat sen nykyisiä ongelmia.

Käsitteet

Blockchain (lohkoketju) = Verkkoon hajautettu tietokanta. Lohkoketjua sanotaan tilikirjaksi, joka sisältää ketjussa olevia lohkoja. Ketjussa olevissa lohkoissa on lista transaktioista, joita ketjussa on suoritettu.

GPRS-modeemi = laite, joka moduloi langattoman verkon signaaleja eli muokkaa niitä toisella signaalilla sekä demoduloi joka on modulaation käänteisoperaatio. Se mahdollistaa myös internetyhteyden.

IoT = Internet of Things eli esineiden internet on esineiden välillä toimiva langaton verkko, jonka avulla esineet kommunikoivat keskenään.

LED-valotaulu = Näyttö, joka on kokonaan LED-valoilla toteutettu. Niitä käytetään niin mainoksien näyttämiseen kuin opasteisiin.

MATLAB = The MathWorks -yhtiön valmistama tietokoneohjelmisto sekä ohjelmistokieli, jota käytetään numeeriseen laskentaan.

SFpark = San Franciscon kaupungin ylläpitämä järjestelmä, jolla voidaan hallinnoida kaupunkien pysäköintimahdollisuuksia.

Sensori = Laite, jota käytetään esimerkiksi fysikaalisen tai kemiallisen suureen mittaamiseen.

VANET = Eräänlainen verkkopalvelu, johon voidaan yhdistää joukon liikkuvia tai paikallaan olevia ajoneuvoja.

Älykaupunki = Kaupunki, joka käyttää digitaalista älykkyyttä esimerkiksi sensoreita tai robotteja urbaanissa ympäristössä ja ratkoo sen kautta yleisiä kaupungistumisen ongelmia saavuttaakseen laadukkaamman elämän asukkailleen.

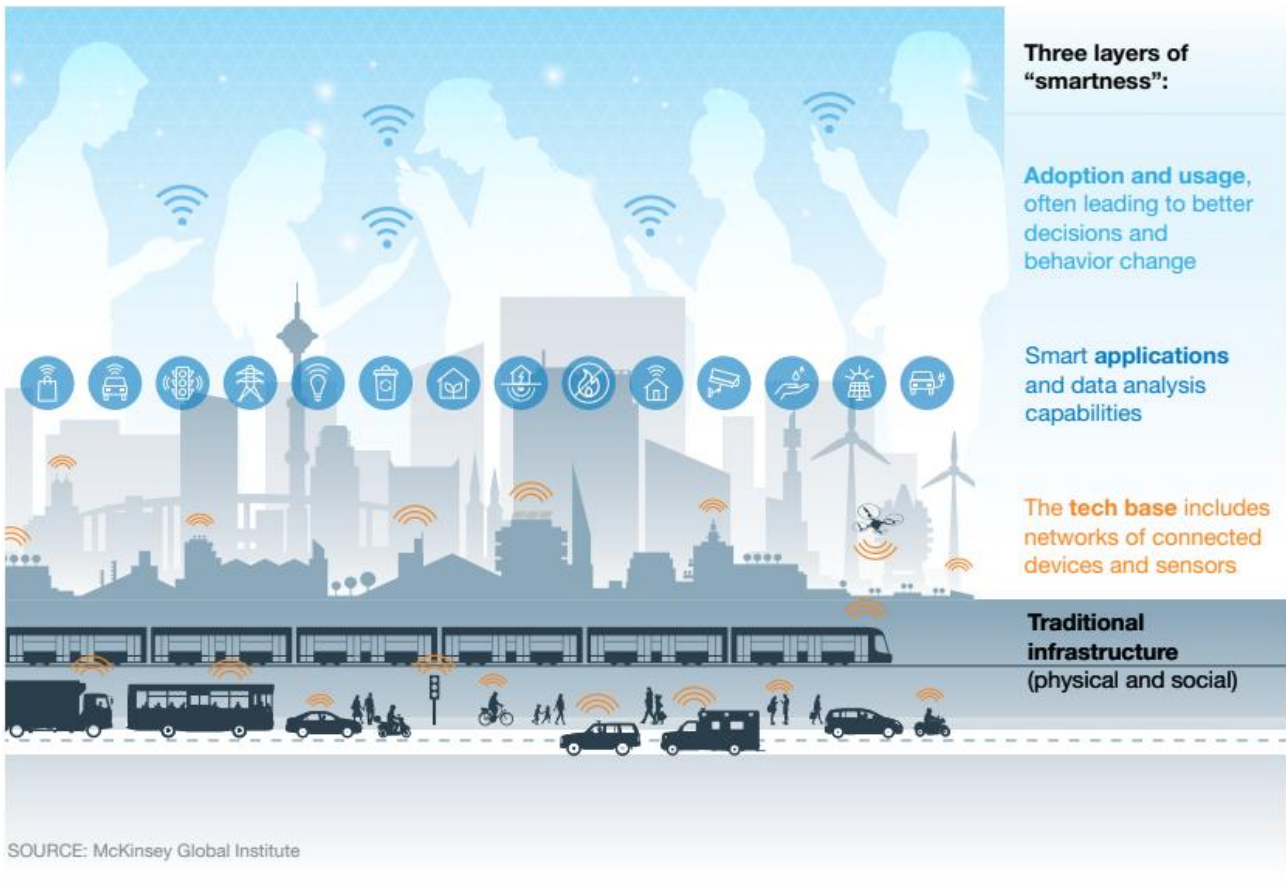
5G = Viidennen sukupolven datayhteys, jota käytetään mobiililaitteissa. 5G:n tiedonsiirtonopeus on kymmenkertainen sen edeltäjään 4G:hen verrattuna.

2. Älykaupunki (smart city)

2.1 Mikä on Älykaupunki?

Älykaupunki (engl. Smart City) on kaupunki, joka käyttää digitaalista älykkyyttä esimerkiksi sensoreita tai robotteja urbaanissa ympäristössä ja ratkoo sen kautta yleisiä kaupungistumisen ongelmia. Sen tavoitteena on laadukkaamman elämän saavuttaminen asukkailleen. Elämänlaatua pyritään parantamaan monilla eri osa-alueilla. Esimerkiksi kaupungin turvallisuutta vähentämällä rikollisuutta, ympäristön puhtautta vähentämällä kasvihuonepäästöjä ja jätettä, terveyttä ja elämiä esimerkiksi pelastamalla saamalla ambulanssit kulkemaan nopeammin liikenteen seassa, ihmisten ajankäyttöä parantamalla liikenneruuhkissa seisomisten vähentämistä ja niin edelleen. Kun kaupungeista tulee tehokkaampia, tulevat ne myös automaattisesti paremmiksi liiketalouden harjoittamiselle, joka kasvattaa sitäkin kautta elintasoja. (Woetzel, Remes, Boland, Lv, Sinha, Strube, Means, Law, Cadena & von der Tann, 2018).

Älykaupunki koostuu kolmesta tasosta, sanotaan kolmesta tasosta "älykkyyttä". Ensimmäinen taso tarkoittaa fyysistä teknologiaa, eli laitteita ja sensoreita jotka ovat fyysisesti kaupungin alueella keräten tarvittavaa dataa. Toiseen tasoon kuuluu esimerkiksi sovellukset, jotka pystyvät käyttämään hyväksi ensimmäisestä tasosta tullutta dataa kuten vaikka liikenteestä tai turvallisuushälytyksistä. Toisessa tasossa data muutetaan ihmisten ymmärrettävään muotoon. Kolmanteen tasoon kuuluvat ihmiset, eli he jotka tästä datasta hyötyvät ja jotka sitä käyttävät jokapäiväisessä elämässään. Kuvassa 1 on havainnollistettu Älykaupungin kolmen tason "älykkyyttä". (McKinsey&Company, 2018).



KUVA 1: Älykaupungin kolme "älykkyyden" tasoa. (McKinsey & Company, 2018).

Seuraavana on esimerkkejä, jotka kertovat miten älykaupunkiratkaisuja on jo käytössä nykypäivänä. Seuraavat esimerkit kertovat turvallisuuden parantamisen onnistumisesta älykaupunkiratkaisujen avulla. Kaupungin turvallisuutta voidaan parantaa muun muassa reaaliaikaisella rikosten kartoituksella ja kodinturvallisuusjärjestelmillä. McKinsey Global Institute (MGI) raportin mukaan älykaupunkitekniologia voi laskea rikollisuutta roimasti, jopa 30%-40% nykyisestä. (Ravi, 2021). Kaupungin turvallisuuden parantamistavoista reaaliaikaisella rikosten kartoituksella löytyy kokemusta Yhdysvalloista, Kalifornian Oaklandin kaupungista. Oaklandissa on käytössä täysin uudenlainen ammuskelun tunnistusjärjestelmä, joka käytännössä koostuu ympäri kaupunkia sijoitetuista mikrofoneista ja aseiden laukauksen kuullessa järjestelmä tunnistaa kohteen, lähettää tiedot lähimmälle poliisipartiolle ja poliisipartio pääsee pikimmiten lähtemään paikalle. Ammuskelusta saadaan tietää, vaikka ketään ei olisi fyysisesti kuulemassa laukauksia. Järjestelmän virallinen nimi on ShotSpotter, ja sen avulla on jo saatu ammuskelusta johtuvia tapauksia vähennettyä, pelastettua ihmishenkiä ja kaupungin turvallisuustasoa on onnistuneesti saatu parannettua. (Martinez, 2020).

Kiinassa Beijing Aerospace Automatic Control Instituutti (BAACI) on kehittänyt Maibao-poliisirobotin vartioimaan Pekingin kaduilla. Poliisirobotin silminä toimivat kamerat, joilla robotti pystyy havainnoimaan ympäristöään ja havaitsemaan rikollista toimintaa. Jos robotti havaitsee rikollista toimintaa,

lähtee siitä hälytys eteenpäin poliisipartioille. Robotti on kykeneväinen myös ottamaan kuvamateriaalia rikoksen tekijästä tai rikoksen tapahtumista, joka auttaa poliisia rikollisen/rikollisten kiinni saamisessa. (Martinez, 2020).

Monia muitakin eri älykaupunkiteknologioita on jo käytössä ympäri maailmaa ja sen odotetaan yleistyvän tulevaisuudessa. Yksi älykaupunkien osa-alue ovat älykkäät rakennukset. Älykkäissä rakennuksissa on digitaalisesti automatisoituja menetelmiä rakennuksen järjestelmien luomiseen ja niiden teknologia voi helposti parantaa rakennuksen energiatehokkuutta ja laskea käyttökustannuksia. Alankomaiden pääkaupungissa Amsterdamissa on yksi esimerkki älykkästä rakennuksesta. Rakennuksen nimi on ”The Edge”, ja se on valmistunut vuonna 2015 ja sen sisällä on 28 000 sensoria mittaamassa erilaista dataa. (Er Dong, 2022). The Edgessä työskentelevillä ihmisillä on talon sisäinen mobiiliapplikaatio, joka auttaa heitä päivittäisissä askareissa talon sisällä. Mobiiliapplikaation avulla voi esimerkiksi säädellä sen tilan valaistusta ja lämpötilaa mieleisekseen, missä juuri sillä hetkellä oleskelee. Sillä voi ohjailta myös kahvikoneita, tulostimia ja ilmastointia. Kun työntekijä saapuu autonsa kanssa talossa olevaan parkkitaloon, sen teknologia tunnistaa saapuvan työntekijän ja ohjaa hänet lähimmälle vapaalle parkkipaikalle. Monet normaalisti enemmän manuaalisesti tapahtuvat asiat ovat älykkäässä rakennuksessa täysin automatisoituja. (Baumann, 2020).

Kuten edellisessä kappaleissa on käyty läpi, älykaupunkiratkaisut ovat jo osittain käytössä maailmalla, kuitenkin suurimmaksi osaksi vielä suunnitteluvaiheessa. Maailmassa on monia kaupunkeja, jotka lasketaan jo nykypäivänä älykaupungeiksi, tai ainakin älykaupunkiratkaisujen edelläkävijöiksi. Tulevaisuudessa kaupungit ympäri maailman tulevat muuttumaan vuosi vuodelta älykkäimmiksi, ja älykaupungit tulevat olemaan meidän arkeamme. Vuonna 2023 maailman älykkäimmän kaupungin tittelin on saanut Singapore, joka sijaitsee Kaakkois-Aasiassa rajanaapurinaan Malesia ja Indonesia. Singaporen julkisessa liikenteessä lähimaksu on laajassa käytössä, terveydenhuoltoa on digitalisoitu esimerkiksi normalisoimalla lääkärin konsultaatiot videopuhelun välityksellä samaan aikaan kun IoT-laitteet tutkivat potilasta. Singapore käynnisti 2021 suunnitelmansa rakentaakseen uuden suuren ekologisen kaupunginosan, joka on täysin vapaa ajoneuvoista. Vain jalankulkijat ja pyöräilijät ovat sallittuja. (Lai 2023).

2.2 Älykaupungin teknologiat

2.2.1 IoT

IoT eli Internet of Things eli suomeksi esineiden internet on esineiden välillä toimiva langaton verkko, jonka avulla esineet kommunikoivat keskenään. Kansainvälinen viestintäliitto ITU on määrittellyt IoT:n peruseriaatteen siten, että IoT tarkoittaa lyhyen kantaman mobiililähetin ja

vastaanottimien käyttämistä laajan laitteiston ja päivittäisten tavaroiden yhteydessä mahdollistaen uudenlaisia kommunikaatiomuotoja ihmisten ja asioiden, sekä asioiden itsensä välillä. IoT:n avulla arkipäiväiset esineet saadaan yhdistettyä internetiin. Internetyhteyden avulla se pystyy lähettämällä dataa toiminnostaan käyttäjälle. Käyttäjä voi lähettää käskyjä myös toiseen suuntaan, esimerkiksi käskeä jääkaapin laskemaan lämpötilaa etänä. IoT:iin liittyykin vahvasti erilaiset sensorit, joilla se kerää dataa ympäristöstään ja lähettää datan eteenpäin käsiteltäväksi. Esineiden internetin katsotaan olevan avainasemassa älykaupunkikonseptissa. Sen on katsottu olevan avainasemassa juuri siitä syystä, että IoT:n avulla kaupunki pystyy keräämään suuria määriä dataa ympäri kaupunkia reaaliajassa. IoT:n avulla internetin käyttöä on saatu kattavammaksi, koska normaalien tietokoneiden ja mobiililaitteiden lisäksi nyt myös esimerkiksi kodinkoneita, kameroita, sensoreita ja kulkuvälineitä saadaan yhdistettyä internetiin. (Hussain Mir, Ravindran 2017, 1).

IoT:n rakenne sisältää viisi eri tasoa, jotka yhdessä muodostavat esineiden internetin toiminnallisuuden.

- Ensimmäinen taso on nimeltään havaintokerros, joka tarkoittaa fyysisiä laitteita kuten sensoreita ja muita laitteita, jotka ovat liitettynä IoT-verkkoon. Niillä kerätään dataa, joka siirretään ylempään tasoon.
- Toinen taso on nimeltään verkkokerros, joka toimii vain välitasona siirtämään havainnointitason keräämä data sen käsittelyjärjestelmään. Se käyttää siirtämiseen internetyhteyttä kuten Wi-Fiä tai 4G:tä. Verkkokerros on vastuussa kommunikoinnista sitä alemman ja ylemmän tason välillä.
- Kolmas taso on nimeltään väliohjelmistotaso, jossa verkkokerroksesta siirretty data saavuttaa kolmannen tason. Sen päätehtävä on käsitellä saatu data ja laskea sen perusteella johdopäätöksiä ubiikin laskennan perusteella. Tämä termi tarkoittaa niin sanottua näkymätöntä laskentaa, eli sellaista laskentaa, joka sulautuu ympäristöönsä eikä vaikuta tai häiritse käyttäjäänsä tai hänen toimintaansa.
- Neljättä tasoa kutsutaan sovellustasoksi, jossa kerättyä dataa käytetään erilaisissa ihmisten käyttämissä sovelluksissa. Esimerkiksi jos käyttäjällä on älykäs herätyskello, joka saa dataa julkisen liikenteen toiminnasta, sen pitäisi tässä tilanteessa herättää käyttäjänsä aikaisemmin saadun datan perusteella, jotta hän ehtii aikaisempaan junaan. –
- Viidentenä tasona toimii liiketalouden taso, joka visualisoi datan ja kerää statistiikkaa, jonka avulla tehdään päätöksiä siitä kuinka alimmalla tasolla olevia fyysisiä laitteita voidaan parantaa ja millaisia tuloksia niistä on saatu. (Kumar, Tiwari, ja Zymbler 2019, s. 9)

2.2.2 Lohkoketjut

Lohkoketju (engl. blockchain) on verkkoon hajautettu tietokanta. Lohkoketju on ikään kuin tilikirja, joka sisältää ketjussa olevia lohkoja. Näissä lohkoissa on lista transaktioista, joita ketjussa on suoritettu. Lohkoissa olevat kirjattavat transaktiot voivat olla mitä tahansa digitaalisessa muodossa olevaa tietoa, kuten vaikkapa sopimuksia tai rahaa. Lohkoketju onkin hyvin oleellinen osa kryptovaluuttojen toimintaa. (Osakesijoittaja 2023).

Lohkoketjuteknologia auttaa myös älykaupungeissa. Älykaupungeissa on tärkeää, että informaatiota pääsee vaihtamaan monen osallisen kanssa luotettavilla menetelmillä ilman tarvetta keskitettyyn tietokantaan ja tiedon hallintoon. Älykaupungissa sopivia kohteita joihin lohkoketjuteknologiaa voidaan käyttää, ovat esimerkiksi logistiikka, julkinen hallinto, julkinen liikenne & liikenne yleensä, energia ja jätehuolto. Otetaan esimerkiksi liikenne ja energia-alat. Liikenteen suhteen älykaupunki haluaa saada tehokkaan ja ympäristöystävällisen liikennejärjestelmän, mutta liikennejärjestelmien tehokas hallinta tuottaa vaikeuksia. Lohkoketjuteknologiaa voidaan käyttää IoT-laitteiden ja -järjestelmien kanssa liikenteen reaaliaikaiseen seurantaan. Lohkoketjuteknologian erilaiset sovellukset antavat mahdollisuuden optimoida reittejä ja aikatauluja, sekä parantaa mahdollisuuksia saavuttaa ympäristö- ja kestävyystavoitteet. Myös maksaminen erilaisista kuljetuspalveluista tulee erittäin turvalliseksi asiakkaalle lohkoketjuteknologiaa käytettäessä. Kun mietitään energia-alan tavoitteita älykaupungeissa, niiden päätavoite on tehokas energiantuottaminen pieneen hintaan ja mahdollisimman ympäristöystävällisesti. Lohkoketjujen avulla helpotetaan vertaisenergian (engl. *peer-to-peer energy*) tuotantoa ja kulutusta. Energiatehokkuutta saadaan maksimoitua ja energiaan käytettävien transaktioihin lisätään avoimuutta, mikä turvaa vertaisenergian myyntiä (Deloitte).

2.2.3 Tekoäly

Tekoälyllä tarkoitetaan konetta tai järjestelmää, jolla on kykyä käyttää ihmiselle ominaisia taitoja kuten oppimista, suunnittelemista tai luomista. Sen tarkoitus on ikään kuin matkia ihmiselle ominaista älykkyyttä, mutta vielä paljon tehokkaammalla tavalla mitä ihmisen aivot kykenevät. Tekoälyn avulla tekniset järjestelmät kykenevät ratkaisemaan ongelmia, eli tekoälyllä on myös ongelmanratkaisukykyä. Älykaupungissa tekoäly pystyy tarkkailemaan kaupunkilaisia ja heidän tapojaan ja mahdollisesti oppimaan jotakin mitä ei ole ennen huomattu. Joka tapauksessa, tekoäly kykenee tunnistamaan asukkaiden tarpeita. Tämän lisäksi tekoäly pystyy prosessoimaan todella isoja määriä dataa, ja älykaupungeissa dataa tulee todella suuria määriä kaikkialta. Tekoälyä pystyy käyttämään esimerkiksi niin liikenteenhallinnassa, energiantuotannossa, turvallisuusasioissa kuin ympäristöön liittyvissä asioissakin. Otetaan esimerkkinä älykaupungin turvallisuus. Jokainen kaupunki kamppailee rikollisuuden kanssa, ja jokainen kaupunki haluaisi vähentää rikollisuutta niin paljon kuin mahdollista. Tekoäly kykenee tunnistamaan varastettujen autojen rekisterikilpiä, ja

poliisiautoon kiinnitetty tekoälylaite voi skannata jopa 1800 rekisterikilpeä minuutissa nelikaistaisella tiellä. Kun tekoäly skannaa rekisterikilpiä ja jos jonkun rekisterikilven kohdalla löytyy jotain outoa rikostietokannasta, ilmoitetaan tieto kulkeville poliiseille heti. Tämä on hyvin tehokasta, ja esimerkiksi varastettujen autojen kohdalla pystytään ennakoivasti vaikuttamaan jopa vakavampiin rikoksiin. Seksuaalirikolliset tai vaikka kidnappaajat voivat liikkua varastetulla autolla, ja sellaisen havaitseminen nopeasti on hyvin tärkeää, jotta saadaan pysäytettyä tapahtunut rikos mahdollisimman nopeasti (Yilmaz).

2.3 IoT:n rooli Älykaupungissa

Maailman kaupungit kasvavat ja kehittyvät. Ihmisiä muuttaa kaupunkialueille nopealla vauhdilla ja tällä hetkellä yli puolet maailman ihmisistä asuu kaupunkialueilla. Kaupungin kasvamiseen liittyy kuitenkin ongelmia myös hyvien puolien ohella. Ongelmat liittyvät liikenteen hallinnan huonoon sujuvuuteen, rikollisuuden kasvuun, jäteongelmiin ja niin edelleen. Meidän vanhat tutut keinomme eivät enää riitä pitämään yllä mainittuja ongelmia tarpeeksi kurissa, jonka takia on tärkeää maailmamme kaupungeille soveltaa uusia ratkaisuja, ja älykaupunkikonsepti on yksi ratkaisu ongelmaan. Älykaupungin yksi tärkein osa-alue on esineiden internet eli IoT ja teknologian kehityksen ansiosta meillä on olemassa internet ja paljon elektronisia laitteita, joita voidaan hallinnoida etänä internetin kautta. Tätä mahdollisuutta voidaan käyttää hyväksi myös älykaupungeissa.

IoT perustuu ympäristöään mittaaviin sensoreihin ja sensoreilla päästään mittaamaan monipuolisesti kaupungeissa niitä asioita, joita on tärkeä mitata. Tässä otetaan esille neljä erilaista sensortyyppiä, jotka ovat käytössä älykaupungeissa. Sensortyyppit ovat elektroninen sensori, kemikaalisen sensori, biosensori ja älykkään sähköverkon sensori. Elektronisen sensorin tehtävänä on mitata erilaisia energiamuotoja käyttämällä sähköskooppia, jännitteenilmaisijaa ja magneettisia poikkeamia. Elektronisia sensoreita käytetään lähinnä ympäristönvalvontaan, nopeusmittauksiin ja pysäköintiantureina. Ne voivat kuitenkin oppia tulkitsemaan videomateriaalia esimerkiksi turvallisuuskameroista tai matkapuhelimista. Neuroverkkujen kanssa niitä käytetään myös puheentunnistuksen kehittämisessä ja analysoimisessa, ja videoiden tai kuvien käsittelyssä. Kemikaalisensorit nimensä mukaisesti mittaavat kemikaalisia aineita kuten hiilidioksidi- tai happipitoisuuksia. Ne ovat tehokkaita mittaamaan ja tunnistamaan kemikaaleja, joten niistä on hyötyä ympäristömittauksissa ja päästömittauksissa. (Alharbi, Soh 2019).

Biosensorit ovat pääasiassa käytössä biolääketieteen alalla, jossa niiden päätehtävänä on anolyyttien havaitseminen. Biosensoreita on kuitenkin alettu käyttämään myös älykkäissä kaupungeissa, sillä niillä pystyy havaitsemaan sairauksia, tehdä elintarvikkeiden seurantaa, analysoida maaperän ja veden laatua esimerkiksi bakteerien tai raskasmetallien osalta ja kosteutta, lämpötilaa tai ilman myrkyllisyysasteita. Biosensoreita voidaan käyttää myös yllättävämpiin tarkoituksiin. Lämpökamera on yksi biosensorin tyyppi, ja sen avulla pystyy havaitsemaan liikenneonnettomuuden tapahtumisen liikenteessä ja lähettämään tiedon siitä eteenpäin välittömästi, joka nopeuttaa avun saantia kriittisellä hetkellä. Liikenneonnettomuuksien lisäksi biosensorin lämpökamera kykenee havaitsemaan vääriin suuntaan ajavat autot ja jalankulkijat liikenteestä. Ne kykenevät havaitsemaan ihmisiä ja liikennevälineitä jopa sateisella, sumuisella tai pimeällä kelillä. (Imtech, 2021). Älykkään sähköverkon sensori liittyy nimensä mukaisesti älykkääseen sähköverkkoon. Nykypäivän sähkönjakelujärjestelmässä on parantamisen varaa, sillä jo yksi kaatunut puu tai raju rankkasade sähkölinjojen päälle voi katkaista sähkön moneksi tunniksi suurella alueella. Älykkään kaupungin älykäs sähköverkko havaitsee energiapiikkejä ja pyrkii välttämään sähkökatkokset, ja sähköverkkoon soveltuvat sensorit ovat yksi väline saavuttamaan nämä tavoitteet. Sähkökaapeliverkostossa sähkövirtoja mittaavat sensorit pystyvät havaitsemaan vikoja, joita ei muuten muulla tavoin voida nähdä. (Stracuzzi, M 2021).

2.4 Älykaupunkiratkaisut Suomessa

Älykaupunkeja on jo kehitelty ympäri maailmaa, mutta myös Suomen tilanne älykaupunkiratkaisussa on hyvällä mallilla. Vuonna 2020 Helsinki pääsi toiselle sijalle julkaistussa Smart City Index 2020 – raportissa. Raportin pohja-aineistona käytettiin teknologista dataa kaupungeista ja lisäksi haastateltiin satoja kaupungeissa asuvia ihmisiä. Helsingin kärkisijaa selittää esimerkiksi se, että Suomessa on erittäin hyvät mobiiliverkot ja erilaiset digitaaliset palvelut ovat laajalle levinneitä, ja ne paranivat merkittävästi pandemian aikana. (Horelli 2021). Vuoden 2020 jälkeen Helsinki ei ole menettänyt sijoitustaan, vaan vielä vuoden 2023 alussa Helsinki oli saanut pitää toisen sijansa. (Lai 2023).

Vuonna 2013 Helsingin Kalasatamassa aloitettiin Forum Virium Helsingin toimesta Fiksu Kalasatama -hanke. Sen tavoitteena oli luoda Kalasatamasta älykkään kaupungin mallialue ja pilotoida ratkaisuja, joita voitaisiin myöhemmin käyttää laajemmalla alueella. Helsingin kaupungilla on tavoite saavuttaa hiilineutraaliuus vuoteen 2035 mennessä, ja Fiksu Kalasatama -hankkeella oli myös tarkoitus viedä tätä tavoitetta eteenpäin. Hankkeen aikana mukana on ollut mm. teknologia-, energia-, ja ympäristöön liittyviä yrityksiä, joita oli yhteensä noin 200 kappaletta. Hankkeen aikana Kalasatamaan on noussut putki-imujärjestelmä jätteille, jossa maan alla menee kilometreittäin jätteputkia. Asukkaiden lajitellessa jätteensä roskapönttöihin, ne imetään 70km/h nopeudella jätteiden

keskuskonttiin. Se on vähentänyt alueen kuorma-autoliikennettä, joka on taas vähentänyt ilman saasteiden määrää ja meluhaittaa. Asukkailla, jotka käyttävät imuputkijärjestelmää on käytössään henkilökohtainen tagi, jota vilautetaan aina jätteitä tuodessaan. Tagi kerää dataa jokaisesta eri jätelajin määrästä mitä asukkaat tuovat. Sen avulla pystytään katsomaan omia kierrätystottumuksiin ja se toimii kannustimena asukkaille. (Digi-Kallio 2020).

Muita Fiksun Kalasataman hankkeita ovat olleet esimerkiksi robottibussi. Se kulki liikennöi yhden kesäkauden ajan ja se oli bussi täysin ilman kuljettajaa, joka liikennöi muutaman korttelivälin. Fiksu Kalasatama -hankkeen luoja Forum Virium Helsinki aloitti robottibussikokeilun myös Helsingin Pasilassa, jossa aloitettiin kokonainen bussilinja pelkästään robottibussilla. Robottibussit kulkivat muun liikenteen seassa reitillä, joka sisältää valo-ohjattuja risteysiä, kaistanylityksiä ja liikenneympyrän. Robottibussin pystyi pyytämään pysähtymään sen käytössä olleille bussipysäkeille mobiilisovelluksen avulla. Itseajavia busseja valvotaan kauko-ohjauksena, jotta poikkeustilanteissa kuten ambulanssin ohittamistilanteissa voidaan vaikuttaa robottibussin ajoon. (Sandell 2020).

Älykäs Uusimaa (engl. Helsinki Smart Region) on strategia, jolla tuodaan Suomen pääkaupunki-seutu ja sen maaseutumaiset kehyskunnat yhteen ja luodaan kokonainen älykäs maakunta. Älykäs Uusimaa keskittyy kolmeen osa-alueeseen:

- Asukaslähtöiseen kaupunkiin
- Hiilineutraaliuteen ja
- Teollisuuden modernisointiin

Helsinki Smart Region pitää kaiken kaupunkidatansa julkisena asukkailleen ja kaikille, jotka ovat kiinnostuneita käyttämään dataa parantamaan kaupungin palveluja. Helsinkiläinen ohjelmistokehittäjien ryhmä oli käyttänyt kaupungin jakamaa dataa, muun muassa karttoja, julkisen liikenteen linjoja ja reittiehtospalvelua, joka ehdottaa reittiehtouksia. Näitä dataa käyttäen he rakensivat GPS-sovelluksen, joka auttaa sokeita ja näkövammaisia navigoimaan kaduilla. Tämä on hyvä esimerkki asukaslähtöisyydestä. (Helsinki Smart Region).

Toinen hyvä esimerkki asukaslähtöisyydestä on kolmen kaupungin asukkaan projekti nimeltä ”Someturva”, joka käyttää tekoälyä auttamaan sosiaalisessa mediassa tapahtuvan häirinnän uhreja. Käytännössä Someturva – sovellus toimii niin, että ihmiset voivat raportoida häirinnän kohteeksi joutumisensa sovelluksessa. Tekoäly haastattelee käyttäjää saadakseen enemmän informaatiota häirintätapauksesta. Sen jälkeen tapaus siirtyy ihmisen käsiteltäväksi, joka saadun informaation kautta päättää kuinka jatkaa tapauksessa eteenpäin. Ideana on, että tekoäly pystyisi tekemään tapauksen käsittelyn pääpiirteisesti, jotta ihmisresurssien käyttöä säästyisi. Someturvan käyttö on täysin anonyymiä, jonka on toivottu pienentävän kynnystä hakea apua häirintätilanteissa. Kaupungissa käytetään tekoälyinnovaatiota ja kykyjä myös muilla tavoilla. Esimerkkinä tekoälyn käytöstä

on kolmen suomalaisen yrityksen yhteistyönä tehty AI Head Analysis- projekti, jossa luotiin tekoäly, joka kykenee havaitsemaan aivon häiriöitä. Sen avulla pystyy jo identifioimaan viisi erityyppistä aivoverenvuotoa. Tällainen tekoäly on jo käytössä Helsingin yliopistollisessa sairaalassa ja se auttaa lääkäreitä aivosairauksien diagnosoinnissa. Älykäs Uusimaa -nettisivuilla pääsee tutustumaan moneen älykaupunkiprojektiin, jotka ovat tekeillä tai jo käytössä. (Helsinki Smart Region 2019).

Suomessa tehtiin yhteistyötä kuuden suomalaisen kaupungin toimesta ja tavoitteena oli yhteinen kestävä kaupunkikehittämisen strategia nimeltään ”6 Aika”. Tässä strategiassa oli mukana Helsingin, Espoon, Vantaan, Tampereen, Turun ja Oulun kaupungit. 6 Ajan tavoite oli kehittää älykkämpiä kaupunkeja ja sitä kautta parantaa kaupunkilaisten tarpeita. Toiminta-aikanaan 6 Aika onnistui viemään suomalaisten kaupunkien älykaupunkikehitystä eteenpäin suurin harppauksin. Kehityskohteita oli laidasta laitaan, esimerkiksi liikenne, terveys ja hyvinvointi, älykaupunkiratkaisut ja niin edelleen. Yhdestä 6 Aikan kaupungeista Oulussa kehitettiin CityIoT-hanke, jonka tarkoituksena oli kehittää avoimen IoT-alustan datan helpompaan keräämiseen ja hyödyntämiseen. Hanke keskittyi rakennusten kunnossapidon hallinnan parantamiseen, ja kun kiinteistöjen huoltotarpeita käydään läpi, kaikki mahdollinen data on hyödyksi. Dataa on kuitenkin hankala käyttää hyödyksi parhaalla mahdollisella tavalla, koska Oulun sadoilla eri kiinteistöillä on oma automaatiojärjestelmänsä, se tekee datan tehokkaasta hyödyntämisestä vaikeaa. CityIoT:n avoimen IoT-alustan myötä Oulun kaupunki saa kaiken kiinteistöistään saadun datan itselleen ja sen jälkeen sellaiseen muotoon, missä data pystyy keskustelemaan keskenään. Kun hankkeen takia saatiin rakennuksien data avoimeksi, siitä juontui sivuilmio, jonka ansiosta energiankulutus rakennuksissa väheni, sillä energiatietojen tullessa näkyviin käyttäjät alkoivat seurata energiankulutustaan tarkemmin ja pyrkivät automaattisesti vähentämään sitä. (6 Aika Oulussa).

6 Aikalla oli myös hankkeita liikenteenhallinnan puolelta. ”Perille asti” -hanke oli pääkaupunkiseudulla toteutettu parantamaan ihmisten liikkuvuutta älykkäiden ja kestävien liikkumisen ratkaisujen avulla. Hankkeella toteutettiin muun muassa seuraavia palveluja Parkkihaukkapalvelu, jossa Nuuksion kansallispuiston Haukkalammelle ja Kattilan pysäköintialueelle asennettiin kameroita keräämään reaaliaikaista tietoa pysäköintitilanteesta. Metsähallituksen mukaan Parkkihaukka oli helpottanut ruuhkia Nuuksion kansallispuistossa, sillä ihmiset olivat pystyneet käymään katsomassa parkkipaikan reaaliaikaisen tilanteen. Maailman mittakaavassa varmasti oudolta kuulostava mutta suomalaisille täysin normaali ja hyvin mukava palvelu Skipperin kaupunkivenepalvelua kokeiltiin ensin Espoossa. Skipperin tarkoitus on vuokrata soutuveneitä sekä moottoriveneitä kuukausihintaan samaan tapaan kuin kaupunkipyöriä kaupungeissa kesäisin. Skipperin kokeilu Espoossa oli suosittu (soutuveneillä oli retkeilty kokeilujen aikana noin tuhat kertaa). Kokeilun onnistumisen ansiosta yrityksen toiminta laajeni Helsinkiin, ja tulee myöhemmin laajenemaan muihin pienempiin kaupunkeihin Suomessa kuten esimerkiksi Tampereelle, Lappeenrantaan, Joensuuhun ja moneen

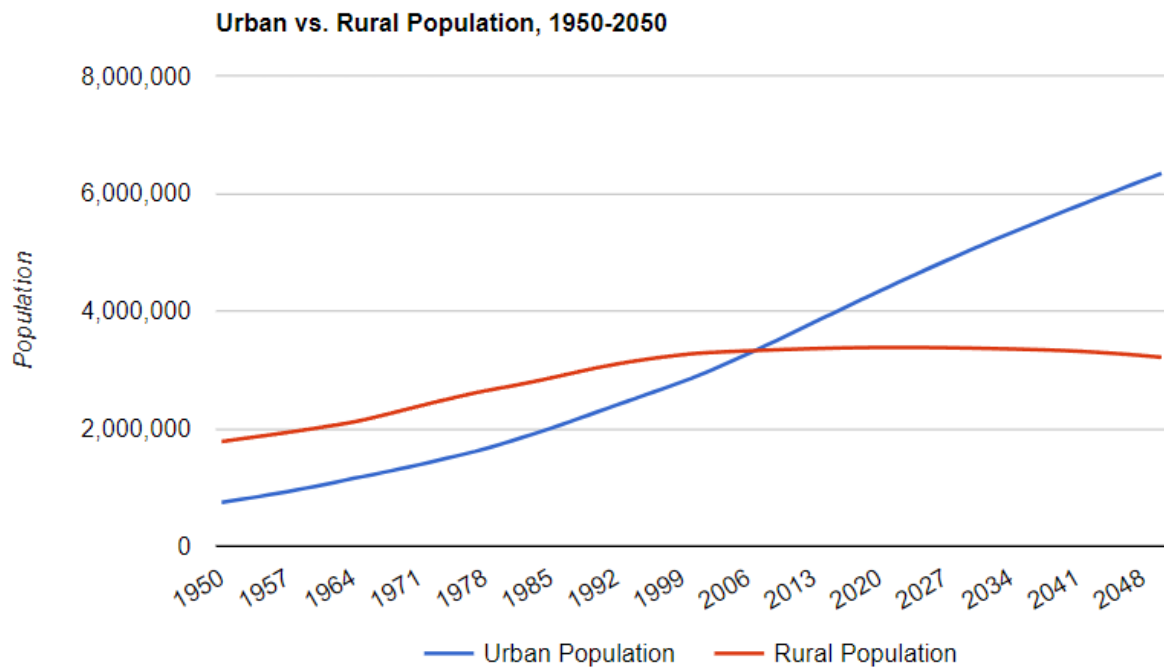
muuhun. Myös kimpakyytipalveluja kokeiltiin. Helsingin Jätkäsaarella testattiin lasten harrastus- ja pelikyytien järjestämistä kimpakyyteinä. Hankkeessa lähinnä alakoululaisia kuljetettiin koulun jälkeisiin harjoituksiin koulupäivien jälkeen. Kokeilu oli tykätty ja onnistunut, jonka ansioista kehitettiin hankkeen pohjalta samaa asiaa ajava sovellus ”Treenikyyti”, jonka kautta muutkin koulut ja harrasteryhmät voivat toteuttaa kyytejä oppilailleen. Perille asti -hanke toi hyvää täydennystä pääkaupunkiseudulle muuhun liikenteeseen, ja toi mukanaan erilaisia liikennemuotoja perinteisten rinnalle. (6 Aika).

3. Älykaupunki ja liikenteenhallinta

Liikenteenhallinta on kaiken kaduilla ja teillä tapahtuvan liikenteen organisointia, järjestämistä ja ohjaamista. Ilman liikenteenhallintaa ja liikennesääntöjä syntyisi kaaos, joten liikenteenhallinta on hyvin tärkeä asia kaupungeissa ja taajamissa. Liikenteenhallinta koskee niin jalankulkijoita, pyöräilijöitä, skeittilautailijoita, autoilijoita kuin kaikkea julkista liikennettäkin. Liikenteenhallinnalla varmistetaan, että ihmiset ja tavarat pääsevät turvallisesti lähtöpaikasta sinne, minne ovatkaan menossa. Turvallisuuden lisäksi tavoitteena on saada liikkumisesta mahdollisimman tehokasta ja nopeaa, niin kansalaisten mukavuuden kuin rahallistenkin syiden takia.

3.1 Nykyiset ongelmat

Maapallolla asuu nykyisellään yli 8 miljardia ihmistä, ja nämä yli puolet näistä kahdeksasta miljardista asuu kaupunkialueilla, eli pakkautuneena pienille alueille. Tämä luo kaupunkia ja taajama-alueita, joissa luonnollisesti tapahtuu paljon liikennettä. Nykyinen liikenteenhallinta ei enää pysty vastaamaan kaupungistumisen haasteisiin. Tällä hetkellä maailmassa on siis käynnissä ihmisten massamuutto kaupunki- ja taajama-alueille. The United Nations ja International Organization for Migration ovat arvioineet noin kolmen miljoonan ihmisen muuttavat kaupunkialueille joka viikko. Jo yli puolet maailman ihmisistä asuu kaupunkialueilla, kun luku 1950-luvulla oli noin 30%. Kaupunkien tapahtuvan muuttoaallon seurauksena yli kymmenen miljoonan asukkaan megakaupunkien määrä on noussut kahteenkymmenehdeksään verrattuna 1950-lukuun, jolloin niitä oli olemassa vain kaksi kappaletta. Yli yhden miljoonan asukkaan kaupunkia 1950-luvulla oli 83, kuin taas tänä päivänä jopa 468. Yalen tutkijaryhmän mukaan kaupunkialueet tulevat kasvamaan melkein 1200 000 neliökilometrillä vuoteen 2030 mennessä, joka vastaa silloin kokonaisuudessaan melkein noin 10% koko maapallon pinta-alasta. (Boyd Bret)

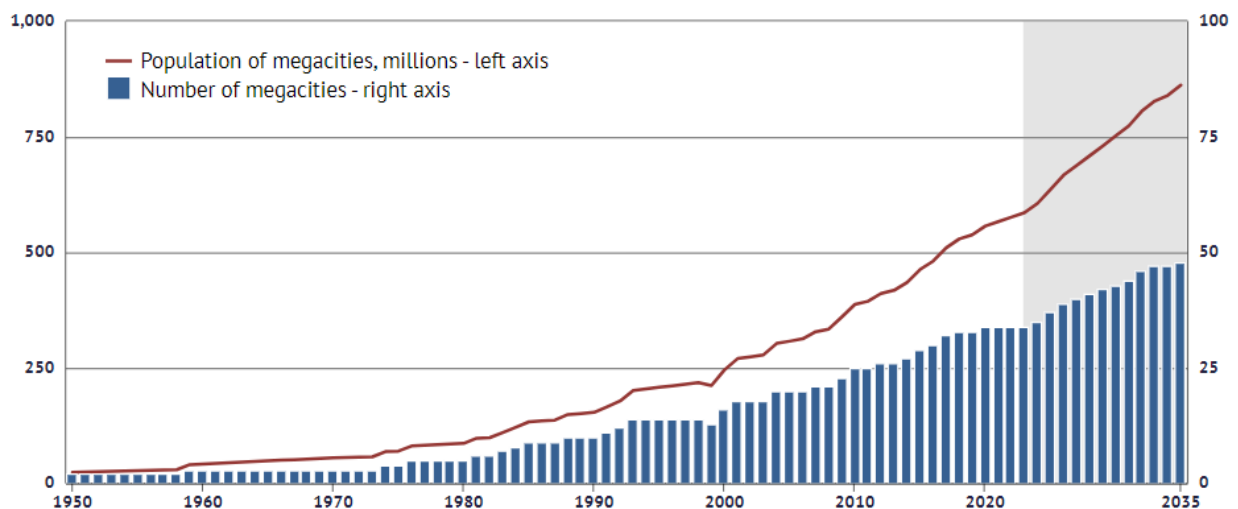


KUVA 2: United Nations Department of Economic and Social Affairs, World Urbanization Prospects: The 2018 Revision-Population.

Kuvassa 2 näkyy vuosiluvut ja sivulla asukkaiden määrä. Sinisellä käyrällä on merkitty kaupunkialueen asukkaat ja punaisella on merkitty maaseutualueiden asukkaat. Kuvasta näkyy, että 2006 ja 2013 vuoden välissä kaupunkialueiden asukkaat ovat ylittäneet maaseutualueen asukkaiden määrän, ja kaupunkialueiden asukkaiden määrä jatkaa nousuaan tulevaisuuden ennusteissa.

Increasing Number of Megacities

Megacities are cities with population over 10 million residents



KUVA 3: Megakaupunkien määrä ja niiden asukasmäärä. (Graylinegroup)

Kuvassa 3 näkyy alla vuosiluku, vasemmalla puolella asukasluku miljoonina, ja oikealla puolella megakaupunkien määrä. Megakaupunki tarkoittaa kaupunkia, jonka asukasluku ylittää kymmenen miljoonaa. Kuvassa näkyy, että megakaupunkien määrä on ollut nousussa jo kauan.

Syitä kaupunkialueille massamuutolle on monia. Yksi syy on maatalouden automatisointi, joka on johtanut siihen, että työvoimaa maataloudessa tarvitaan yksinkertaisesti vähemmän kuin menneisytydessä. Jos työt maaseudulla vähenevät, on niitä lähdettävä etsimään kaupungeista. Myös esimerkiksi yrityksen perustaminen on kannattavampaa kaupunkialueille muiden ihmisten läheisyyteen, joten suuri osa työpaikoista syntyy kaupunkiin. On myös helpompaa asua kaikkien palveluiden saavutettavissa. Nopea kaupungistuminen kuitenkin pahentaa jo nykyään pahoja liikenne-ruuhkia ja tuo painetta liikenteeseen. Hidas liikenne ja ruuhkissa istuminen kuluttaa aikaa ja aiheuttaa myös rahallista haittaa. UNECE:n (Yhtistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio) vuosittaisessa raportissa kerrotaan, että taloudellinen haitta, joka johtuu matkustuksen hitaudesta ja viivästyksistä matkustaja- ja kuljetusliikenteessä on arvioitu olevan noin 100 miljardia euroa. Se on enemmän kuin prosentti Euroopan unionin bruttokansantuotteesta. Mitä enemmän liikenne-ruuhkat pahenevat, sitä enemmän taloudellista haittaa tulee syntymään. Myös esimerkiksi pelastusajoneuvojen kuten ambulanssin ja paloauton pääseminen avunantopaikalleen on hankalaa, jos edessä on liikenne-ruuhkia, eikä autoilla ole kunnolla tilaa väistää. (Graylinegroup).

Maissa, joissa kaupunki-infrastruktuuri on suunniteltu moottorineuvopainotteiseksi (kuten Yhdysvallat tai Meksiko), tulee vastaan erikoisia tilanteita liikenne-ruuhkien takia. Matka, jonka pääsisi jalan esimerkiksi kahdessakymmenessä minuutissa, voi kestää autolla reippaasti enemmän. Jalkakäytäviä ei kuitenkaan ole käytössä tai on niin heikosti, että matka on pakko taittaa autolla.

Toinen kaupungistumisen ja liikenne-ruuhkien ongelma on suurentuneet päästöt ja ilmansaasteet. Ilmansaasteet voivat aiheuttaa kuudesta yhdeksään miljoonaa ennenaikaista kuolemaa vuoteen 2060 vuoteen mennessä, joka maksaisi myös noin prosentin vuosittaisesta bruttokansantuotteesta. Liikenne-ruuhkien katsotaan olevan yksi suurin ilmansaasteiden tuottaja, joissa saasteet tulevat kulkuneuvojen päästöistä. Liikenne-ruuhkat ovat lisääntyneet useimmissa kehittyvissä maissa viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. Kulkuneuvojen määrän odotetaan tuplaantuvan seuraavan kolmenkymmenen vuoden aikana, jolloin liikenne-ruuhkat lisääntyisivät entisestään ja samalla ilmanlaatukin pahenisi vielä nykyisestä. Liikenne-ruuhkissa seisominen kasvattaa ympäröivän ilman hiilimonoksidi, hiilidioksidi ja hiilivetyjen määrää. (Maan k Alobaidi et al 2020). Yhdysvaltojen Health Effect Insituten 700 eri tutkimuksesta ympäri maailmaa tekemän kokoelman perusteella on todettu, että ihmisen oleskellessa paljon liikenne-ruuhkissa tai asuu kiireisen tien, esimerkiksi moottoritien läheisyydessä (300 – 500 metrin etäisyydellä), on hänellä suurentunut riski saada erilaisia

sairauksia. Näitä ovat astmakohtaus, heikentynyt keuhkojen toiminta, sydän- ja verisuonisairauksia tai jopa kuolema. (American Lung Association, 2022). Jos liikennerruuhkia saataisiin helpotettua, myös näiden ilmansaasteiden määrää ympäröivästä ilmasta saataisiin vähennettyä. Mikäli kaupunkien infrastruktuuria ja liikenteenhallintaa ei saada parannettua ja väkiluku kasvaa kasvamistaan, liikennerruuhkat ja vaaralliset olosuhteet ihmisten terveydelle, elämälle ja koko yhteiskunnalle pahe-nevat.

Myös parkkeeraukseen liittyy ongelmia. Kaupungeissa on usein pulaa parkkipaikoista, ja parkki-paikkoja etsivät autoilijat hidastavat omalta osaltaan liikennettä ja luovat liikennerruuhkaa ympäril-leen. Parkkipaikan etsintään saattaa kulua aikaa ja se lisää polttoaineen kulutusta ja päästöjä. Ih-miset saattavat myös parkkeerata tahallisesti tai tahattomasti väärin, joka entisestään vähentää saatavilla olevien parkkipaikkojen määrää. (Airtel Business 2022).

3.2 Älykaupungista apua ongelmiin?

3.2.1 Hälytysajoneuvot

Liikenteen ongelmat ulottuvat kaikkiin kulkuvälineisiin liikenteessä, mukaan lukien hälytysajoneu-voihin. Hälytysajoneuvot ovat erittäin kriittisessä asemassa, sillä niiden tehtävänä on kuljettaa apua tarvitsevan henkilön luo poliisi-, paloauto tai vaikka potilas sairaalaan. Hälytysajoneuvon onkin tär-keää päästä perille mahdollisimman nopeasti, sillä muutamakin lisäminuutti voi maksaa ihmishen-kiä. Nykyinen liikenteenhallinta ei juuri tue hälytysajoneuvoja. Hälytysajoneuvon saapuessa muut liikenteessä olijat kyllä usein väistävät, mutta liikennevalot eivät tunnista esimerkiksi ambulanssia ja ambulanssin on odotettava liikennevalojen vaihtumista vihreiksi. Hälytysajoneuvojen vastaus-ajan hätäpuhelun soittamisesta paikalle pääsyyn nopeuttamisen mahdollisuudesta älykaupunkirat-kaisujen avulla on tehty tieteiskirjallisuudessa tutkimuksia, ja tässä kappaleessa viitataan tutkimuk-seen, jossa on käytetty menetelmää, jossa on yhdistetty hyödyntämään Vehicular ad hoc network (VANET) ja IoT eli esineiden internetiä, joiden avulla pystytään priorisoimaan hälytysajoneuvoja teillä. VANET kuuluu Mobile Ad hoc (MANET)in alaluokkaan, ja VANETien pääominaisuus on, että ajoneuvot kommunikoivat keskenään ajoneuvojen välisen viestinnän kautta. Ajoneuvot pystyvät viestimään toistensa kanssa esimerkiksi kiertotie- tai liikenneonnettomuustiedoista lähistöllä ole-ville ajoneuvoille, jotta suuremmilta liikennerruuhkilta välttyttäisiin. (Vegni, Biagi, Cusani 2013).

Menetelmän päätarkoitus on, että hälytysajoneuvot voisivat ohittaa raskaan liikenteen ketterästi ja päästä päämääräänsä ajoissa hädässä olevien ihmisten selviämisen mahdollisuuden paranta-miseksi. Menetelmässä tärkeää informaatiota on se, että paljonko välimatkaa läheisimmän risteyk-sen ja hälytysajoneuvon välillä on, millainen hälytysajoneuvo ja hätätapaus on kyseessä.

Kuvitellaan taajama-alue, ja kohta taajama-alueesta, jossa on kaksi risteystä. Risteys A ja risteys B. Ennen risteyskohtia teiden vierelle on asennettu sensoreita, jotka kykenevät tunnistamaan hälytysajoneuvojen tyyppiä, kun ne ajavat sensoreiden ohi. Jokaisella erityyppisellä hälytysajoneuvolla on erillinen tunnistus, jonka avulla sensori pystyy sen erottamaan muista ajoneuvoista teillä. Kun hälytysajoneuvo ajaa sensorin ohi, sensori siis ensin tunnistaa ajoneuvon tyyppiä ja laskee etäisyyden hälytysajoneuvon ja risteyskohtien välillä sekä tarjoaa pääsyn hälytysajoneuvolle, sillä tieosuudella vaihtamalla kaikki liikennevalot vihreiksi. Esimerkiksi jos hälytysajoneuvo on saapumassa ensin risteyskohtaan A, liikennevalot vaihtuvat vihreiksi risteyskohtassa A, mutta sensorit lähettävät tiedon hälytysajoneuvon saapumisesta myös seuraavaan risteyskohtaan B, ja sensorit laskevat etäisyyden seuraavaan risteyskohtaan, jolloin myös risteyskohtaan B tulee palaamaan vihreät valot sensoreiden laskeutumisen ajan kuluttua, joka arvioi hälytysajoneuvon saapuvan risteyskohtaan B. Tällainen sekvenssi tulee tapahtumaan aina sinne saakka, kun hälytysajoneuvo on päässyt perille, oli risteyskohtia kuinka monta tahansa matkan varrella. Näin ollen, hälytysajoneuvo pääsee mutkattomasti risteysten yli yksi kerrallaan pelastaen ihmishenkiä. Heti kun hälytysajoneuvot ovat tyhjentäneet tiet, liikennejärjestelmä palaa normaaliksi. Ideana on siis priorisoida hälytysajoneuvoja liikenteessä antamalla niille nopeammin pääsy pois risteyskohtista. (Sumia, Ranga 2017).

Ehdotettua menetelmää on testattu CupCarbon U-One nimisessä simulaattorissa, joka on avoin ja ilmainen nettisimulaattori älykaupunki ja IoT-applikaatioille. Simulaatiossa verrattiin ehdotettua menetelmää Green Wave -menetelmään, joka tarkoittaa sellaista tapahtumaa, jossa liikennevalot muuttuvat vihreiksi ikään kuin aaltona sitä mukaa mitä ajoneuvo ajaa eteenpäin kohti uusia liikennevaloja. Tämä voi olla jo tuttu monelle autoilijalle. Se mahdollistaa ajoneuvojen päästä pitkänkin matkan pysähtymättä peräkkäin monien risteysten yli.

Simulaatiossa käytettiin kyseisiä parametreja:

- Kaksikymmentä ajoneuvoa
- Kahdeksan risteystä
- Ajoneuvojen keskinopeus 15km/h
- Jokaisen peräkkäisen ajoneuvon etäisyys yksi metri

Simulaation tulokseksi osoittautui, että hälytysajoneuvon matka-aika lähtöpisteestä päätepisteeseen Green Wave- menetelmällä kesti 17,5 minuuttia, kun taas ehdotetulla se menetelmällä kesti 11,8 minuuttia. Tämä osoittaa, että ehdotetulla menetelmällä hälytysajoneuvo pääsi useita minuutteja aikaisemmin perille määränpäähänsä, joka voi parantaa paljon mahdollisuuksia pelastaa ihmishenkiä (Sumia, Ranga 2017).

Viime vuonna tällaisia älykkäitä liikennevaloja on myös alettu testaamaan oikeassa ympäristössä. Ford testasi vuonna 2022 älykkäitä liikennevaloja Aachenissa, Saksassa kahdeksassa eri

liikennevalosetissä. Niiden tarkoitus oli, että ambulanssin, poliisiauton tai minkä tahansa hälytysajoneuvon lähestyessä liikennevaloja ne muuttuvat vihreiksi. Tämän on toivottu vähentävän hälytysajoneuvon vastausaikaa ja vähentää riskiä onnettomuuksiin niissä tapauksissa, jos hälytysajoneuvon on pakko ajaa punaisia päin. Heti jos hälytysajoneuvo oli ohittanut liikennevalot, ne palautuivat normaaliin toimintaansa (Hope, 2022).

3.2.2 Liikennerruuhkat

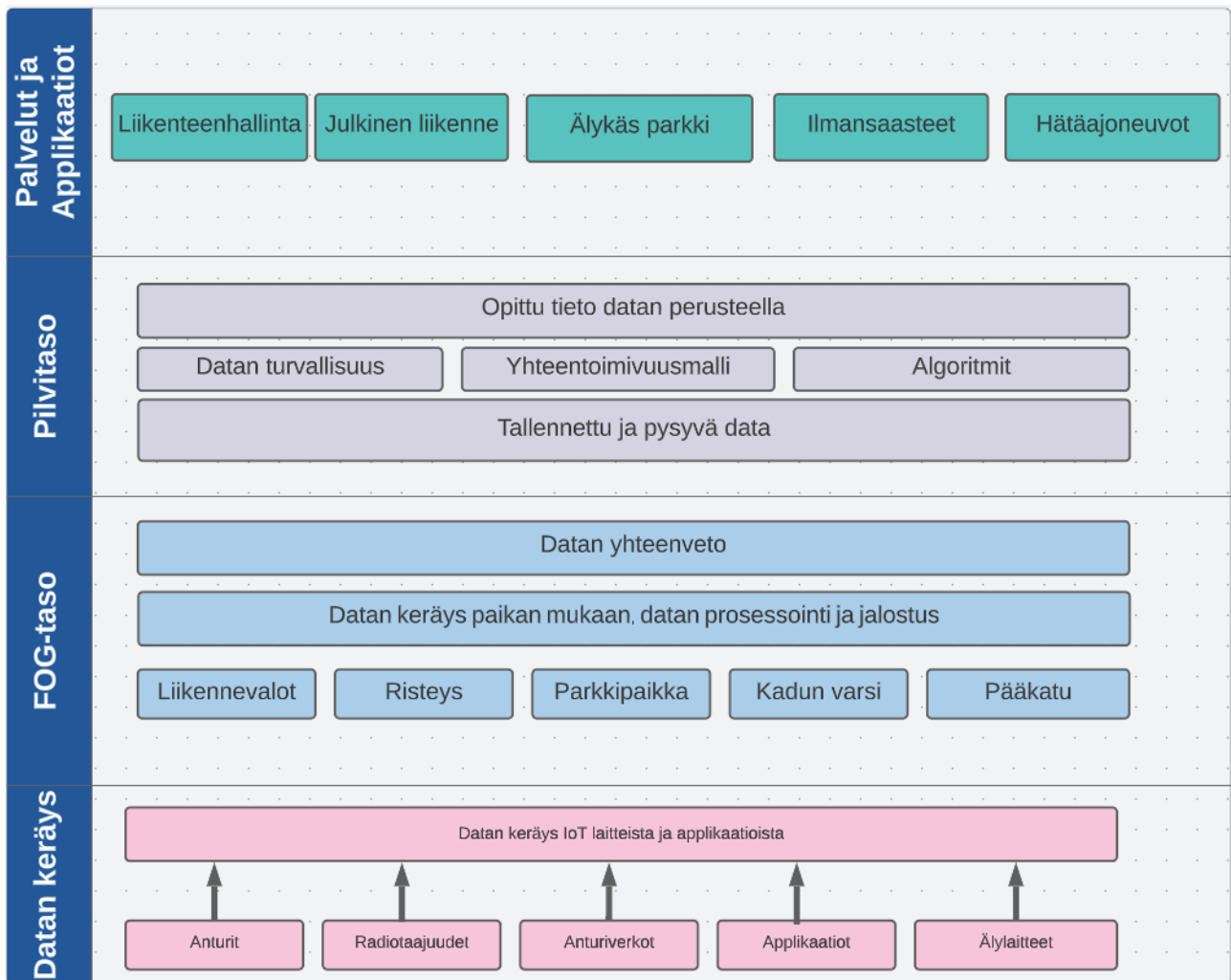
Kuten aikaisemmin todettu, liikennerruuhkat ovat suuri ongelma suurimmassa osassa maailman maita. Liikennerruuhkiin on kuitenkin odotettavissa helpotusta nykYTEknologioilla. Vuonna 2022 julkaistussa tutkimuksessa esiteltiin kattava ja tehokas menetelmä liikennerruuhkaongelmiin yhdistämällä IoT- ja data-analytiikkaa. IoT:n avulla pystytään keräämään tietoa ympäröivästä ympäristöstä ja jakamaan sitä käyttämällä radiotaajuudentunnistusta sekä langattomia anturiverkkoja. Radiotaajuudentunnistus tarkoittaa teknologiaa, jolla pystytään tunnistamaan ihmisiä tai esineitä radiotaajuuksien perusteella, ilman että ihmisiin tai esineisiin ollaan fyysisesti kosketuksissa. Langaton anturiverkko taas tarkoittaa IoT-antureiden langatonta verkkoa, jonka avulla anturit kommunikoivat ja vaihtavat tietoja keskenään. (Obaidat, Misra 2016).

Menetelmässä radiotaajuudentunnistusta käytetäänkin ajoneuvojen tunnistamiseen, lisäksi anturit kykenevät tunnistamaan ääniä, lämpötiloja, saastepitoisuuksia ja niin edelleen. IoT-laitteilla, kuten antureilla on kuitenkin heikko muistikapasiteetti, ja datan määrä tällaisessa tehtävässä tulee olemaan suuri. IoT-laitteita käytetään usein yhdessä pilvipalveluiden kanssa datan tallentamiseen ja prosessointiin. Itse menetelmä jaetaan laajuutensa takia neljään eri osaan, jotta ymmärretään paremmin sen toimintaperiaate.

1. Kerätään dataa IoT-antureilla, jotka käyttävät radiotaajuudentunnistusta ja langatonta anturiverkkoa. Laitteisto voi olla asennettuna kaduilla tai risteyksissä, kuitenkin strategisissa paikoissa. Kaduilla oleva laitteisto voi olla yhdistettyinä myös ihmisten matkapuhelimiin, antaen tietoa vaikkapa päivittäisistä saastetasoista ilmassa.
2. Jaetaan IoT-laitteisto osiin, "solmuihin". Solmu tarkoittaa IoT-laitteiston ryhmää, joka on tietyssä paikassa esimerkiksi anturit liikennevaloissa, anturit risteyksissä jne. Jokainen solmu on vastuussa tietyistä pienestä alueesta, mistä ne keräävät dataa, käsittelee, lajittelee ja lähettää datan pilvipalveluun. Tällä tavalla saadaan dataa lajiteltua helpommin, ja saadaan turha data seulottua helpommin pois.
3. Kerätään kaikki IoT-laitteistoista saatu data yhteen suureen tietokantaan ja tallennetaan se. Tämän avulla voidaan kerätä dataa pitkältä ajalta, ja tehdä sen avulla seurantaa

esimerkiksi tietyn solmun datasta. Tämä kerros on myös vastuussa datan yksityisyyden ja turvallisuuden ylläpitämisestä.

4. Data on saatu käyttäjille luettavaan muotoon esimerkiksi puhelinsovelluksiin. Jos anturit esimerkiksi keräävät reaaliaikaisia ruuhkatietoja, neljännessä osassa data on siinä muodossa, jossa reaaliaikaisia ruuhkatietoja tarkkaileva omasta puhelinsovelluksestaan voi ne nähdä. (Alsaawy, Alkhodre, Abi Sen, Alsharqiti, Bhat & Bahboud 2022).



KUVA 4: Liikennemuukia vähentävän menetelmän rakenne (mukaellen General Structure of the proposed framework (Alsaawy, Alkhodre, Abi Sen, Alsharqiti, Bhat & Bahboud 2022)).

Kuvassa 4 näkyy paremmin menetelmän rakenne, ja järjestys tasosta toiselle menee kuvan alhaalta ylöspäin. Alimmissa kohdassa eli datan keräyksessä näkyy, että dataa kerätään antureilla, radiotaajuuksien ja anturiverkkojen avustuksella, sekä älylaitteilla ja niissä olevilla applikaatioilla. Toinen taso on nimetty FOG-tasoksi, jossa kerätty data jaotellaan eri alueiden mukaan, esimerkiksi

liikennevalot, parkkipaikka jne, ja prosessoidaan ja jalostetaan sitä eteenpäin. Pilvitasolle mentäessä pystytään tallentamaan prosessoitu data ja säilyttämään pitkiäkin aikoja keräten suurempia datamassoja. Näin datasta saadaan opittua tietoa esimerkiksi tietyn kadun tai parkkipaikan ominaisuuksista. Viimeisellä tasolla eli palvelut ja applikaatiot opittua tietoa aiemmissa vaiheissa kerätyistä datasta voidaan käyttää informaationa erilaisissa palveluissa ja sovelluksissa. (Alsaawy, Alkhodre, Abi Sen, Alshantqi, Bhat & Bahboud 2022).

Jos jollain tietyllä kadulla on liikeneruuhka, ensimmäisessä vaiheessa esimerkiksi liikennevaloissa oleva anturi tunnistaa liikeneruuhkan syntyneen, ja antaa ensiavuksi lisää aikaa vihreille valoille tällä tieosuudella, jotta ruuhka helpottaisi. Anturi lähettää tiedon toiseen vaiheeseen, ja lähellä oleville ajoneuvoille lähetetään ilmoitus siitä, että tästä tieosuudesta olisi parempi pysyä poissa sillä hetkellä, ja yrittää uudelleenohjata heidän reittinsä jotakin muuta kautta. Jos kolmannessa vaiheessa pidemmältä ajalta tallennetussa datassa nähdään, että jollain tietyllä tieosuudella on ollut paljon liikeneruuhkaongelmia, se määritetään krooniseksi ongelmaksi, josta tehdään päätös, kuinka se voidaan ratkaista. Ratkaistavia tapoja on esimerkiksi liikenteen uudelleenohjausta ruuhka-aikoina tai kaupunki-infrastruktuurin parantamista tunnelin tai sillan rakentamisen muodossa. Viimeisessä eli neljännessä vaiheessa erilaista dataa on käytettävissä erilaisissa applikaatioissa, jotka auttavat hillitsemään liikeneruuhkia, esimerkiksi vapaiden parkkipaikkojen löytäminen nopeammin applikaation avulla. Parkkipaikkaa etsivät autoilijat usein hidastavat liikennettä. (Alsaawy, Alkhodre, Abi Sen, Alshantqi, Bhat & Bahboud 2022).

Liikeneruuhkien eliminointi

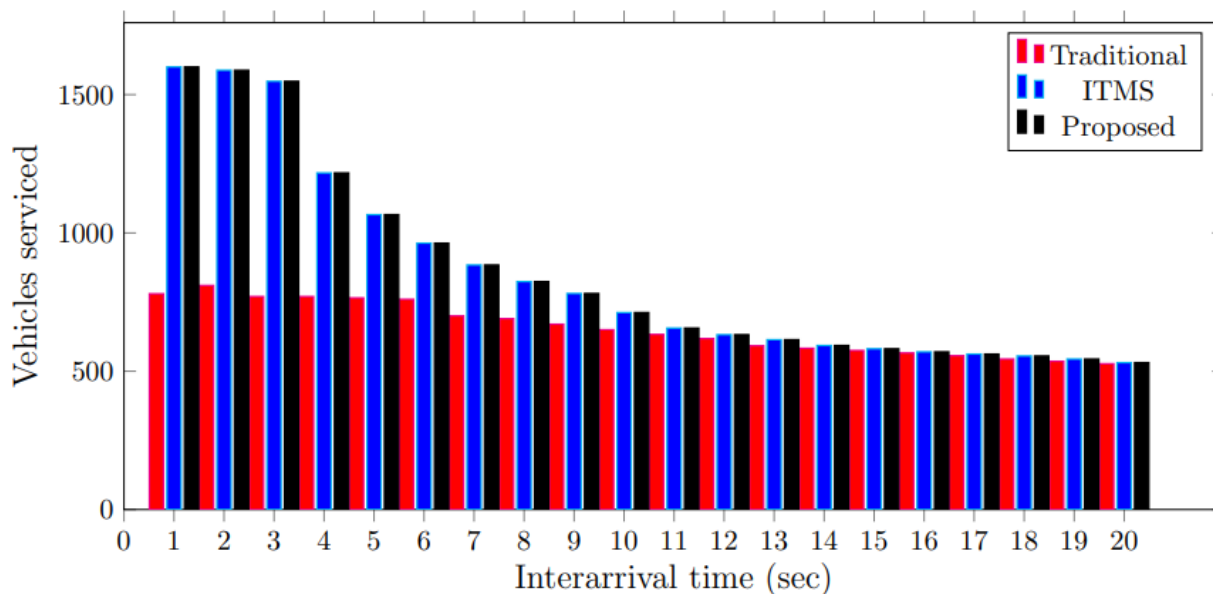
Liikeneruuhkien eliminointi risteysalueilla. Menetelmään liittyy liikennevalot, jotka pystyvät määrittämään kuinka monta ajoneuvoa sen edessä olevalla tieosuudella on. Tällaisia liikennevaloja kutsutaan älykkäiksi liikennevaloiksi. Tapoja, joilla älykkäät liikennevalot pystyvät määrittämään edessä olevan tieosuuden ajoneuvojen määrän on turvautumalla IoT-antureihin, jotka on asennettu tien viereen ja/tai keskelle ja laskee ohi ajavien ajoneuvojen määrän. Tähän voi yhdistää kamerat asentamalla ne liikennevaloihin, joiden avulla pystytään myös laskemaan ja tunnistamaan tieosuuden ruuhkatason. Älyliikennevalot ovat yksi perusasia liikeneruuhkien eliminoimisessa risteysalueilla, sillä ne mahdollistavat liikenteen sujuvamman kulun risteyksissä. Normaaleissa liikennevaloissa on määritetty aika, kuinka kauan vihreä tai punainen valo palaa mihinkin suuntaan. Älyliikennevalot taas katsovat liikenteen määrän mukaan, kenet laskee etenemään ja kenet jätetään vielä odottamaan risteyksissä. Älyliikennevaloihin asennetussa algoritmista on kuitenkin enimmäisaika sekunteina, kuinka kauan se voi enimmillään pitää vihreää tai punaista valoa yhteen suuntaan. (Alsaawy, Alkhodre, Abi Sen, Alshantqi, Bhat & Bahboud 2022).

Isoimmilla pääkaduilla ja muuten risteysalueiden ulkopuolella, esimerkiksi moottoriteillä, liikenne-ruuhkien eliminointi tapahtuu erilaisin keinoin. Liikenne-ruuhkat tällaisilla alueilla esiintyvät usein esimerkiksi tietyön, liikenneonnettomuuden tai huonojen sääolosuhteiden vuoksi. Sen sijaan että vain tunnustetaan ruuhkan olemassaolon, olisi hyvä tunnistaa mistä syystä ruuhka on muodostunut. Ensiapu ruuhkan eliminoimiseen on ruuhkasta ilmoittaminen lähellä oleville autoilijoille, joten he voivat suunnitella uuden reitin. Älyliikennevaloja voidaan myös käyttää hidastamaan liikennettä ruuhkautuneella tieosuudella.

Älyliikennevaloihin liittyvää menetelmää risteysalueilla on testattu MATLAB:lla simuloiden. Siinä simuloitiin kuinka paljon on keskimääräinen odotusaika risteyksissä ja montako ajoneuvoa risteysveti tietyssä ajassa. Samaa testattiin perinteisille liikennevaloille, joilla on määrätty odotusaika ja aika sille, kuinka kauan vihreä ja punainen valo palaa mihinkin suuntaan. Näitä kahta verrattiin simuloinnin aikana, jotta nähtiin onko älyliikennevaloista todella apua risteysalueilla.

Simuloinnin parametrit olivat:

- Arviointiaika oli yksi tunti, eli 3600 sekuntia.
- Risteyksessä oli neljä eri suuntaa
- Ajoneuvojen saapumisväli ensimmäisellä tieosuudella oli yhden tai kahdenkymmenen sekunnin välillä
- Ajoneuvojen saapumisväli toisella, kolmannella ja neljännellä tieosuudella oli määritelty vakioiksi 30 sekuntia, eli niissä ei ruuhkaa
- Maksimi odotusaika virheällä tai punaisella valolla oli 200 sekuntia
- Maksimiaika, jonka vihreä valo oli päällä kerrallaan 60 sekuntia ja lyhimmillään se oli 5 sekuntia
- Jos kadulla ei ollut yhtään ajoneuvoa, vihreä valo ei syttynyt ollenkaan



KUVA 5: Liikennevaloista läpi menneiden ajoneuvojen määrä niiden saapumisvälin mukaan (Alsaawy, Alkhodre, Abi Sen, Alshantqi, Bhat & Bahboud 2022).

Kuvassa 5 näkyy simulaation tulokset. Punaiset pylväät kuvaavat niin sanottuja perinteisiä liikennevaloja. Niitä verrataan vieressä oleviin tummansinisiin palkkeihin, jotka tarkoittavat tutkimuksen älyliikennevaloja.

- Teiden ollessa täynnä autoilijoita eli kun ajoneuvojen saapumisväli oli pieni (1-3 sekuntia), risteyksestä älyliikennevalojen kanssa pääsi läpi autoja yli 1500 kappaletta simulaation aikana, joka oli puolet enemmän (noin 700 kappaletta) perinteisillä liikennevaloilla.
- Kun saapumisväli kasvoi yli 10 sekunnin eli autoja oli vähemmän liikenteessä, perinteiset liikennevalot suoriutuivat yhtä hyvin älyliikennevalojen kanssa. Älyliikennevalojen kulkeminen siis paremmin sellaisessa tilanteessa, jossa ajoneuvoja oli paljon liikenteessä.
- Yhden sekunnin saapumisvälin kohdalla perinteisten liikennevalojen keskiarvoaika liikennevaloissa seisomiseen oli melkein 1000 sekuntia, eikä neljään sekuntiin mentäessä laskenut kuin noin 600 sekuntiin. Se on kymmenkertainen verrattuna älyliikennevaloristeyksen keskiarvoiseen aikaan verrattuna.
- Perinteisten liikennevalojen risteyksen keskiarvoinen odotusaika ei itseasiassa missään vaiheessa laskenut samalle tasolle älyliikennevaloristeyksen kanssa. Simulaation tuloksista voidaan päätellä, että älyliikennevaloinen risteys on paljon normaalia risteystä sujuvampi, ja ajoneuvot pääsevät liikkumaan risteyksen yli paljon nopeammin. (Alsaawy, Alkhodre, Abi Sen, Alshantqi, Bhat & Bahboud 2022).

3.2.3 Parkkeeraus

Ajoneuvojen parkkeerauksen tulisi olla helppo ja nopea tehtävä, mutta nykyisen parkkeeraussysteemin takia se voi olla vaikea ja aikaa vievä prosessi. Parkkitaloon mentäessä saatetaan etsiä vapaata parkkipaikkaa kerros kerrokselta, ja takana sekä edessä on muita parkkipaikkaa etsiviä autoja jonossa. Parkkitalo on ruuhkautunut. Kadunvarsilla olevia parkkipaikkoja etsivät autot hidastavat myös normaalia liikennettä kaduilla ja kiireessä olevat ihmiset parkkeeraavat huonosti epäsopiville paikoille aiheuttaen ongelmia. Parkkipaikkoja tarvitaan myös entistä enemmän, sillä kaupungit jatkavat kasvamistaan ja ajoneuvojen määrä lisääntyy. Älykaupunkiratkaisuilla, IoT ja sen antureiden avulla parkkeeraukseen liittyviä ongelmia pystytään ratkaisemaan. Käytännöllisin tapa käyttää antureita on asentaa ne maahan parkkipaikan eteen, jotta anturi voi tunnistaa onko paikalla ajoneuvoa vai ei. Tällaista menetelmää kutsutaan älyparkkeeraukseksi. (Chang, B 2022).

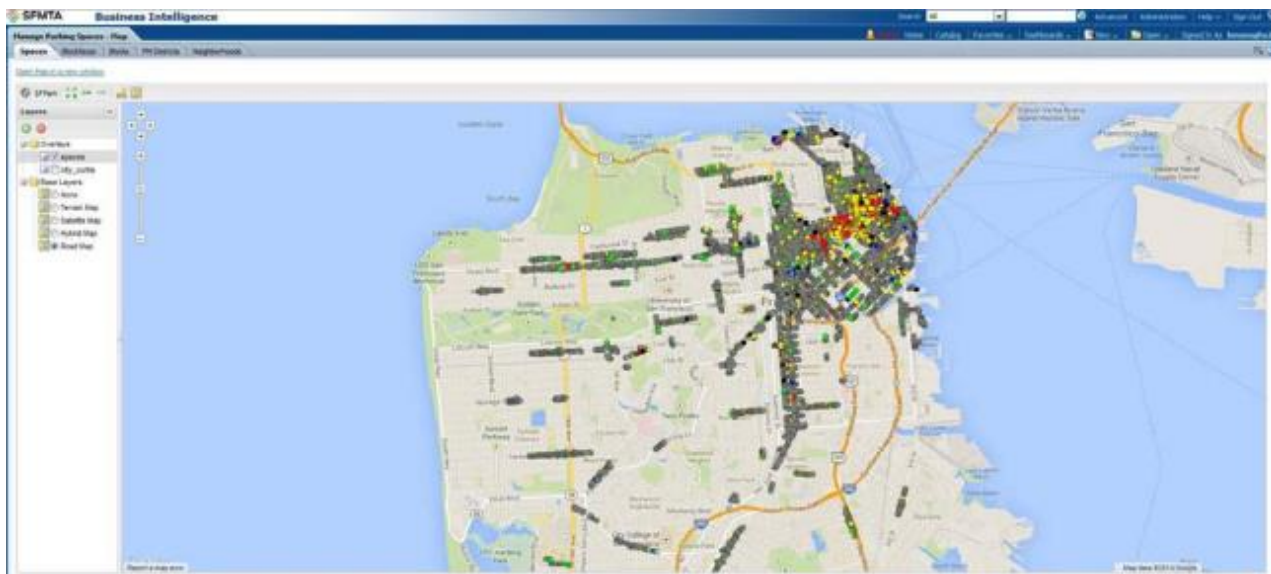
Käytännössä esimerkki älykkään parkkeerauksen toiminnasta toimii niin, että jokainen parkkipaikka on varustettu anturilla, joka selvittää onko parkkipaikka vapaa, varattu, onko siihen juuri tulossa ajoneuvo tai onko siitä juuri lähdössä ajoneuvo. Kun anturi huomaa muutoksen parkkipaikan tilassa, anturin toimintaan kytketty vastaanotin lähettää viestin tilanmuutoksesta johonkin lähellä olevista langattoman verkon porteista. Langattoman verkon portti on fyysinen laite, joka toimii kommunikation siltana IoT-laitteiden, esimerkiksi anturin ja pilvipalvelun kanssa. Raakadatan täytyy siis päästä ensin yhdyskäytävään ennen kuin se voidaan siirtää pilvipalveluun. Portti prosessoi, puhdistaa ja filttöi dataa sekä muuntaa sen ymmärrettävämpään muotoon. Portti lähettää datan eteenpäin pilvessä toimivaan pysäköintisovellukseen, joka sijaitsee esimerkiksi pilvipohjaisella palvelimella. Vastaanotettua dataa käytetään parkkipaikan statuksen seuraamiseen ja dataa voidaan lähettää kolmannelle osapuolelle esimerkiksi sovelluksiin tai verkkopalveluihin. Tämän avulla parkkipaikkatietoja voisi seurata vaikkapa omalta älypuhelimeltaan tai navigaattoriltaan. Pysäköintipilvipalvelu jakaa reaaliaikaiset tiedot myös kaupunkien ja kuntien ylläpitämiin älykaupunkipalveluihin. Älyparkkeerauksen avulla saadaan vähennettyä se aika, joka käytetään parkkipaikan etsintään. Jos parkkipaikkaa etsitään noin kymmenen minuuttia joka päivä muutaman kerran, se tarkoittaa 240 tunnin ajanhukkaa vuosittain, ja keskimäärin 700 päivää ihmisen elämästä koko elämän aikana. Suuri hyöty siis näkyy ajansäästöissä, mutta hyötyjä on muitakin. Älyparkkeerauksen avulla pystytään vähentämään päästöjä 40%, ja liikenteen määrää saadaan vähennettyä 8% (Chang, B 2022).

Yritys nimeltä Cleveriti teki yhteistyötä alueellisen energiantuottajan RheinEnergien kanssa tavoitteenaan parantaa Saksassa sijaitsevan Kölnin kaupungin parkkeeraustilannetta älykaupunkiteknioiden avulla. Kölnin Nippesin asuinalueella on noin 800 ulkoparkkipaikkaa, mutta kaupunkilaiset olivat tehneet havainnon parkkipaikkojen epäkäytännöllisyydestä. Autoilijat ajoivat ympyrää

etsien vapaana olevia parkkipaikkoja hidastaen muuta liikennettä. Projektillaan Cleveriti ja RheinEnergie pyrki myös vähentämään hiilidioksidipäästöjä kaupungissa, sillä noin 30% liikenteen päästöistä syntyy parkkipaikkaa etsiessä. Nippesin alue oli mielenkiintoinen projektiin siinäkin mielessä, että se on yksi ruuhkaisimpia ja tiheimmin asutettuja kaupunginosia koko Kölnissä. Projektissa asennettiin kahdeksankymmentyhdeksän anturia parkkipaikkojen yläpuolelle, joiden avulla sensori pystyi näkemään, onko parkkipaikka kunakin hetkenä vapaa vai varattu. Yksi sensori katkaa enintään kaksikymmentä parkkipaikkaa. Lisäksi strategisesti tärkeillä paikoilla oleviin risteyskohtiin asennettiin kaksikymmentäseitsemän pientä LED-varustettua valotaulua, jotka kertoivat montako parkkipaikkaa kyseisellä tienpätkällä oli vapaana. Projekti oli menestys, ja testiajot toivat tuloksia. Ne kertoivat, että parkkipaikan etsintään käytettävää aikaa voidaan vähentää 45% vapaiden parkkipaikkojen kertovien LED-valotaulujen avulla. Kun autoilija ajaa risteykseen, voi hän nähdä valotaulusta suoraan, minne kannattaa kääntyä, jotta löytää vapaan parkkipaikan sen sijaan, että etsisi tietämättömänä. Ennen projektia parkkipaikkojen käyttöaste oli noin 88% kello kymmenen aamu-päivän ja kello kuuden iltapäivän välillä. Projektin käynnistämisen jälkeen käyttöastetta saatiin nostettua kahdeksalla prosentilla (96) %. Tämä johtui siitä syystä, että LED-valotaulujen avulla autoilijat löysivät tehokkaammin sellaiset parkkipaikat, jotka ennen jäivät löytämättä. Käyttämällä jo olemassa olevaa kaupunki-infrastruktuuria ei projektille tullut lisäkustannuksia esimerkiksi rakennuskustannuksista, eikä kaupungin liikenne häiriintynyt antureita tai valotauluja asennettaessa. Pienin ponnistuksin liikennettä saatiin vähennettyä. Parkkipaikan etsintään käytetyn ajan vähennettyä saatiin myös hiilidioksidipäästöjä vähennettyä (Cleverciti 2020).

Jo joitakin vuosia sitten Yhdysvalloissa sijaitseva San Franciscon kaupunki käynnisti SFpark-pilotti-projektin. Sen oli määrä helpottaa parkkimaksun maksamista ja parkkipaikan löytämistä, sekä parantaa parkkipaikkojen käytettävyyttä. Ensisijaisena päämääränä oli tehdä parkkipaikkojen löytäminen helpommaksi ja yrittää lisätä mahdollisuuksia vapaiden parkkipaikkojen löytymiseen jokaisella tieosuudella. Näillä ajateltiin olevan myös muita hyötyjä, kuten turhaan ajamisen vähentäminen, tuplaparkkeeraus ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen. SFparkin toteuttamisessa käytettiin tyypillisiä älykaupungin teknologioita, kuten älymittareita, antureita ja edistynyttä datan hallintaa. Parkkipaikan käyttöasteen määrittelyyn SFparkissa käytetään langattomia pattereilla toimivia antureita. Ne pystyvät havaitsemaan saapuvan tai lähtevän ajoneuvon parkkipaikalta. Jokaiselle parkkipaikalle on asennettu yksi tai kaksi anturia. Anturit lähettivät datan eteenpäin StreetSmart antureiden hallintajärjestelmään, josta data jatkoi matkaansa GPRS-modeemin kautta StreetSmart serverille, josta data jatkoi vielä matkaansa SFparkin datavarastoon. Datavarastosta dataa saatiin jalostettuna eteenpäin loppukäyttäjille mobiiliapplikaation muodossa. SFparkin datasta saatiin tehtyä esimerkiksi karttapalvelu loppukäyttäjille, jossa on San Franciscon kaupungin kartta, ja sitä pystyy suurentamaan sekä pienentämään. Kartassa näkyy kaikki parkkipaikat, joita seurataan

antureiden avulla reaaliaikaisena. Parkkipaikat on merkitty karttaan pistein, ja pisteen väri kertoo parkkipaikan statuksen (eli onko vapaa vai varattu) (SFpark, 2014).



KUVA 6: Karttaan merkityt pisteet parkkipaikoista. (SFpark 2014).

SFparkia pilotoitiin ympäri San Franciscon kaupunkia, ja tuloksia verrattiin kontrolliotoksiin, eli normaaleihin parkkipaikkoihin ilman SFparkia. Tuloksista saatiin selville, että SFparkin pilottialueilla parkkipaikkojen saatavuustaso parani huomattavasti. Pilottikokeissa tavoiteltiin noin 60% - 80% käyttöastetta parkkipaikoille, eli parkkipaikkoja olisi hyvä olla jonkin verran vapaana, mutta hyvässä käytössä kuitenkin. Tuloksina saatiin seuraavat luvut:

- Tavoitekäyttöaste saavutettiin 31% useammin pilottikokeissa verrattuna kontrolliotoksiin (eli sellaisiin parkkipaikkoihin, joissa SFparkia ei ollut käytössä).
- Ajat, jolloin parkkipaikat olivat niin täynnä ettei parkkipaikkaa löytynyt (käyttöaste lähempänä 100%), väheni pilottialueilla 16%.
- Parkkipaikan etsimiseen kuluva keskiarvoinen aika väheni myös 43% aikaisemmasta.
- Hiilidioksidipäästöt vähenivät 30%.
- SFpark auttoi myös vähentämään ruuhka-aikoina tapahtuvia liikenneneruuhkia. Liikenneneruuhkat vähenivät 22% aikaisemmasta.
- Kun parkkipaikka oli helpompaa löytää eikä tarvinnut ajaa ympyrää etsimässä parkkipaikkaa, pilottialueilla nähtiin 30% pudotus ajetuissa kilometreissä.
- Liikenteen nopeus parani 3% pilottialueilla
- Tuplaparkkeeraus, joka tarkoittaa ajoneuvon laitonta pysäköintiä toisen pysäköidyn auton viereen väheni 22%.

Ihmiset siis säästivät aikaa, säästivät omia autojaan ja vähensivät polttoaineen kulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. SFparkilla oli suuri vaikutus kaupungin parkkeeraukseen ja liikenteeseen ja positiiviset tulokset kannustavat muitakin maailman kaupunkeja käyttämään älykaupunkiteknologiaa parantaakseen liikennettään (SFpark 2014).

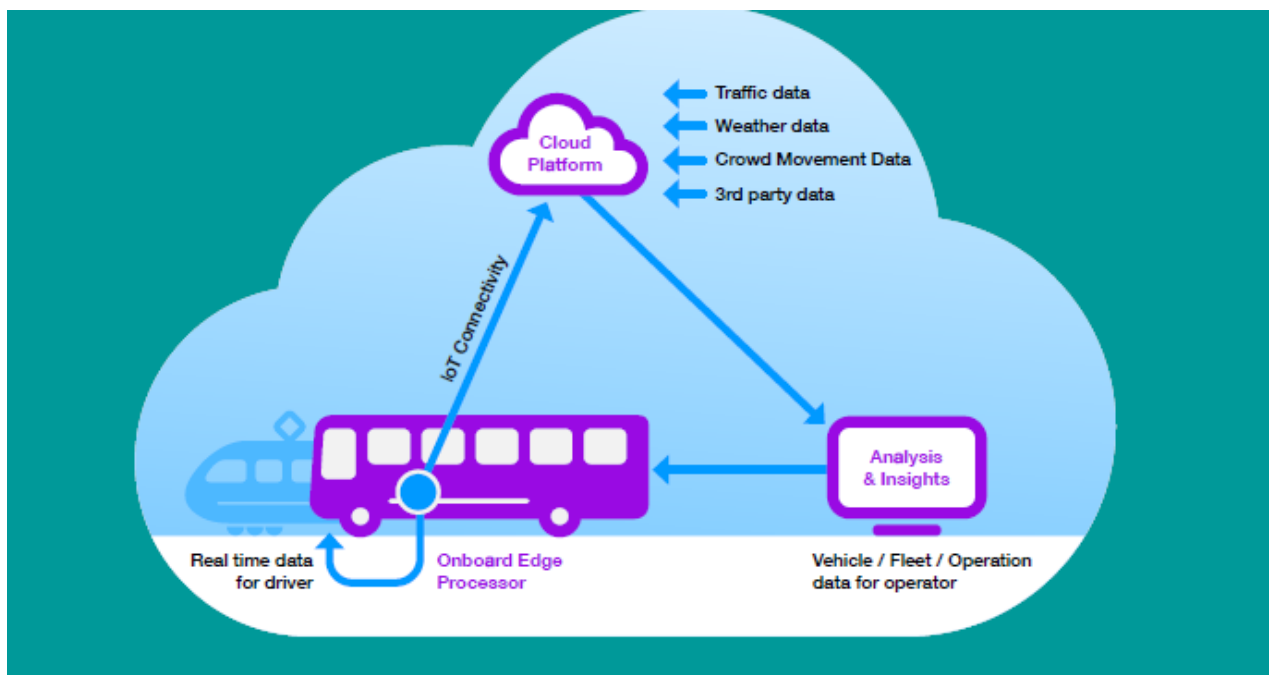
3.2.4 Älykäs julkinen liikenne

Normaaliin julkiseen liikenteeseen kuuluu bussit, junat, raitiovaunut ja lautat. Julkinen liikenne on jo nykyisellään ympäristöystävällistä ja se poistaa ruuhkia kaupungeista. Sen sijaan että kaikki bussissa tai junassa istuvat ajaisivat määränpäähänsä omilla henkilöautoillaan, saadaan kaikki nämä ihmiset pois ajoteiltä julkisen liikenteen pariin. Kaikkialla julkinen liikenne ei silti ole kovin toimiva, ja joissakin kaupungeissa sitä ei oikeastaan edes ole saatavilla. Suomessa, etenkin pääkaupunkiseudulla, julkinen liikenne on todella hyvin järjestettyä ja toimivaa. Aikataulut voivat olla huonosti saatavilla ja ylipäättänsä tietoa julkisen liikenteen linjoista voi olla hankala löytää, jolloin ihmiset voivat valita oman henkilöauton kulkemiseensa sen helppouden takia. Yksi isoimmista ongelmista julkisen liikenteen kanssa onkin se, että matkustajat eivät saa tarpeeksi kattavaa ja tarkkaa reaaliaikaista informaatiota bussin saapumisajoista. Älykaupunkiratkaisut voivat jälleen auttaa nykyisiin ongelmiin. IoT:n avulla on helppo jäljittää julkisten ajoneuvojen (ja ajoneuvojen yleensä) sijainti. Kaupungit pystyvät helposti asentamaan GPS-systeemin jokaiseen ajoneuvoon, joka on yhdistetty internetiin. GPS:stä saatua dataa pystytään käyttämään matkustajan mobiilisovelluksissa tai bussipysäkeillä oleviin elektronisiin aikatauluihin kertomaan missä jokin tietty bussi on tulossa, ja kauanko arvioitu saapumisaika heidän bussipysäkillen on.

Joskus odottamattomat olosuhteet häiritsevät julkisen liikenteen toimintaa. Voi olla vaikeita sääoloja, ehkä tiesulkuja, kolareita. IoT-tekniikan avulla pystytään kommunikoimaan ongelmista reaaliaikaisesti matkustajille, jotta he ovat tietoisia ongelmista eivätkä joudu odottelemaan turhaan julkisen liikenteen pysäkillä. Liikenneyhtiöt pystyvät myös paremmin suunnittelemaan korvaavia vaihtoehtoja jonkun odottamattoman olosuhteen sattuessa. Jos esimerkiksi juna menee rikki kesken matkan, junaan laitettujen sensorien avulla pystytään olemaan tietoisia tarkalleen siitä, kuinka monta ihmistä junassa on sillä hetkellä. Silloin on helppo tilata nopeasti juuri oikea määrä linja-autopaikkoja korvaavaa matkaa varten. (McGlynn).

Pohjoismaissa ja Baltiassa on yhden maailman toimivimmista julkisen liikenteen järjestelmistä. Tästä huolimatta, julkisen liikenteen yritykset eivät ole saaneet kasvatettua matkustajien määrää halutulla tavalla, vaikka ovat investoineet enenevässä määrin niihin rahaa. Tässä tietysti osaltaan vaikuttaa covid-19 pandemia. Julkisen liikenteen älyllistäminen ja digitalisointi ovat yksi ratkaisu

sille, miten matkustajamääriä saataisiin lisättyä julkisessa liikenteessä ja sitä kautta vähennettyä yksityisautoilua, liikenneuhkia sekä niistä johtuvia päästöjä. Näiden asioiden kannalta onkin tärkeää, jotta älyllistäminen ulotetaan myös julkiseen liikenteeseen. Kuten monissa IoT- ja älykaupunkilähtöisissä ratkaisuissa, myös julkisen liikenteen älyllistämisessä on samanlainen idea. Antureita käytetään keräämään dataa ajoneuvoista, kaduista ja julkisen liikenteen asemista. Data kerätään ja lähetetään antureilta pilvipalveluille analysointia varten. Dataa käydään jatkuvasti läpi, sitä tallennetaan ja jalostetaan siten, että sitä voidaan käyttää päätöksen tekoon. (Telia).



KUVA 7: Datan kiertokulku aina datan keräyksestä loppukäyttäjälle saakka. (Telia)

Kuvassa 7 näkyy datan kiertokulkua. Vasemmalle menevät nuolet kuvaavat kerättyä dataa, esimerkiksi liikenteestä tullutta dataa, jota anturit ovat keränneet. Data menee pilvipalveluun, josta eteenpäin analysoitavaksi. Tässä kuvassa loppukäyttäjäksi on merkitty julkisen liikenteen bussikuski. Bussikuski tuleva data voi esimerkiksi olla tieto siitä, että hänen reitillään edessäpäin on juuri sattunut liikenneonnettomuus, ja reittiä on hetkellisesti muutettava. Kun uudesta reitistä on tehty päätös onnistuneesti, lähtee siitä eteenpäin tieto matkustajille, jotka voivat tiedostaa ja varautua reittimuutokseen. Tällä tavoin anturit, julkisen liikenteen kuskit ja matkustajat pystyvät saamaan tietoa muutoksista. (Telia).

5G-mobiiliteknologian laajentunut käyttöönotto antaa myös mahdollisuuksia julkiselle liikenteelle. 5G kykenee ylläpitämään paljon suurempia määriä yhteyksiä yhdellä alueella kuin verrattuna esimerkiksi 4G-verkkoon. Yhteensä jopa miljoona laitetta neliökilometrin alueella, verrattuna nykyiseen muutamaankin tuhanteen laitteeseen neliökilometrillä. Tämä tarkoittaa sitä, että

kaupunkialueella kaikki, joista pystytään saamaan jotain dataa, voidaan yhdistää 5G-verkkoon: anturit tiealueilla, risteyksissä, parkkipaikoilla, liikennevaloissa ja niin edelleen. Kun monet pienet datanlähteet keräävät dataa samanaikaisesti, syntyy niistä suuri virta. 5G onkin todella tehokas käyttämään suuria määriä dataa samanaikaisesti, joka sopii hyvin kaupungeista tuleviin suuriin datavirtoihin. Dataa tulee hyvin erilaisia lähteistä, esimerkiksi parkkipaikoilta tuleva data on yksinkertaisempaa sillä siinä ei tarvitse tietää muuta kuin parkkipaikan sen hetkinen status. Toisaalta voi tulla esimerkiksi videokamerakuvaa, jonka data on monimutkaisempaa. Tekoäly pystyy yhdistelemään erilaista dataa keskenään, jonka avulla saadaan reaaliaikainen liikenteenhallintajärjestelmä. (Telia).

Uusien matkustajien houkuttelu käyttämään julkista liikenneverkkoa on tärkeää, sillä matkustajat ovat niitä, jotka rahoittavat julkista liikennettä ja toisaalta mitä enemmän ihmisiä käyttää julkisen liikenteen palveluja, sitä tehokkaampia ne ovat. Julkisen liikenteen täytyy olla tarpeeksi houkutteleva vaihtoehto yksityisautoilun rinnalla. Ei-digitaalisia ratkaisuja uusien matkustajien houkutteluun ovat esimerkiksi vuorovälien lisääminen, julkisen liikenteen reittien lisäys ja lippujen oston helpottaminen. Nämä ovat perinteisiä tapoja, mutta nykypäivänä on tarjolla myös älykaupunkiratkaisuja, joiden avulla julkisen liikenteen houkuttelevuutta lisätään. Yksi tapa on tarjota matkustajille reaaliaikaiset tarkat aikataulut. Data lähetetään ajossa olevasta ajoneuvosta, joka arvioi tarkalleen saapumisajan esimerkiksi pysäkeillä oleville elektronisille aikatauluille tai matkustajille puhelinapplikaatioon. Toinen tapa on kerätä ihmisten liikkuvuusdataa matkapuhelinten avulla, ja katsoa onko joitain sellaisia alku- ja loppupisteitä, jonne menee enemmän ihmisiä. Tällaisten reittien välille voitaisiin kehittää vaikka suora bussilinja, joka helpottaisi ja nopeuttaisi ihmisten liikkumista. (Huf, Woods, Blom, Lasku, Lind & Josefsson 2020).

Kesällä vuonna 2021 Suomessakin aloitettiin monia hankkeita julkisessa liikenteessä. Yksi näistä projekteista oli automaattinen matkustajien laskenta (engl. Automatic Passenger Count). (Westerberg 2022). Sen pääideana on laskea se, kuinka paljon ihmisiä julkisissa kulkuvälineissä on kunkin hetkinä, mitkä pysäkit ovat suosittuja ja minä kellonaikoina. Tämän ansiosta saadaan reaaliaikaista tietoa ihmisten liikkeistä. Se auttaa esimerkiksi sellaisissa tilanteissa, joissa bussi on ylitäysi, jolloin voidaan tarvittaessa lisätä vuorovälejä täydellä olevalle bussilinjalle väliaikaisesti välttäen suuremmat viivästymiset. Tämä teknologia toimii busseissa olevilla antureilla, jotka ovat bussin sisällä laskien ihmisten liikkeitä. Kuinka moni astuu bussiin? Kuinka moni lähtee bussista? Anturit lähettävät dataa IoT-alustalle, jonka kautta data siirtyy pilvipalveluun (Telia).

4. Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä älykaupunkien jännittävään maailmaan, käydä läpi millaisia älykaupunkiteknologioita on kehitteillä tai on jo kehitetty ja miten älykaupungit tulevat muovaamaan maailmaa tulevaisuudessa. Koska älykaupungit ovat yksistään todella laaja aihe, päätin perehtyä yhteen kaupungin osa-alueeseen ja valitsin perehtymiskohteekseni liikenteenhallinnan. Olen nuoresta asti ollut innokas simulaatiopelien pelaaja, etenkin suomalaisvalmisteinen peli nimeltään ”Cities Skylines” oli kovassa käytössä. Pelin idea perustuu siihen, että olet kaupungin pormestari ja sinun täytyy rakentaa kaikilta osin toimiva kaupunki uusille asukkaille. Peli on moniin simulaatio- ja kaupunginrakennuspeleihin verrattuna hyvin yksityiskohtainen, sillä sinun todella täytyy suunnitella kaikki kaupungin osa-alueet. Yhtenä näistä on toimiva liikennejärjestelmä, sekä siihen päälle julkinen liikenne (jos haluat rakentaa yhtään asukasystävällistä kaupunkia). Monikaan ei tule ajatelleeksi, kuinka ja miten liikennettä voidaan älyllistää ja millaista teknologiaa siihen liittyy. Moni ei myöskään tule ajatelleeksi miten tärkeää liikenteenhallinnan parantaminen on kaupungeille. Peliä pelatessani yleensä kaikki muut osa-alueet menivät hyvin, paitsi kaupungin kasvaessa liian suureksi liikennemuuhkat alkoivat pahentua ja tiet tukkeutua. Tämän takia palvelut eivät päässeet asukkaiden luo tarpeeksi nopeasti. Siitä seurasi lumipalloefekti siihen tilanteeseen, jolloin kaikki menikin pieleen. Katsoin lukemattomia YouTube-videoita siitä, kuinka liikennejärjestelmää kannattaa suunnitella. Hyvällä suunnittelulla kaupunki tuhoudu lopulta omaan mahdottomuuteensa.

Tämä skenaario ei ole vain Cities Skylinesissä tapahtuva huono-onninen lumipalloefekti, vaan enenevässä määrin myös aivan oikeassa elämässä tapahtuva skenaario. Kun maailman maat kaupungistuvat hurjalla vauhdilla, myös kaupunkien on kasvettava ja mukauduttava tähän. Ja kuten totesin, ennen kuin kaupunki kaatuu omaan mahdottomuutensa on myös liikenteen haasteisiin vastattava. Silmiä avaavana kokemuksena toimi myös sellaisissa maissa matkustelu, missä kaupungit ovat suurempia ja liikenteenhallinta ei ole aivan eurooppalaisella tasolla. Liikenteenhallinnan huonon tilanteen huomasi jo selvästi. Näistä kahdesta asiasta inspiroituneena halusin lähteä selvittämään kuinka liikenteenhallintaa saisi parannettua uusien älykaupunkiratkaisujen avulla.

Onneksemme, maailma on herännyt ongelmaan jo kauan sitten ja näiden kahden kombinaatiosta löytyi jo paljon tutkimustietoa. Koska älykaupunkiratkaisut ovat vielä suhteellisen uusi juttu, joistakin aihealueista löytyi lähinnä prototyypihankkeita ja simulaatiotuloksia. Toisaalta jotkut kaupungit ovat jo ottaneet käyttöön myös liikenteenhallintaa parantavia älykaupunkiteknologioita käyttöön. Uskon, että tulevaisuudessa tämä tulee lisääntymään ja meillä on toivoa hurjasti kaupungistuvalla planeetallamme. Ehkä meidän ei tarvitsekaan katsoa pahenevia liikennemuuhkia, ja niistä johtuvia viivästys- ja hiilidioksidipäästöongelmia. Voimmekin tulevaisuudessa nauttia älykkäiden kaupunkien eduista eli hyvin toimivasta liikenteestä, puhtaammasta ilmasta, helposta jätejärjestelmästä ja

kaupunkien rauhallisuudesta. Ja tämä on alkanut näkymään positiivisina tuloksina eripuolilla maailmaa, joissa on käytetty älykaupunkitekologioita. Toisaalta tämä tarkoittaa myös sitä, että meitä tullaan seuraamaan entistä enemmän, ja liikkeistämme tullaan tietämään suurin piirtein kaikki. Ilman meidän liikkeistämme tulevaa dataa emme kuitenkaan pysty älyllistää kaupunkejamme niin hyvin. Tulevaisuudessa meidän on totuttava siihen, että katumme ovat täynnä kameroita ja sensoreita, jotka mittaavat erilaisia asioita. Tulevaisuudessa voimme ehkä herätä aamulla puhelinsovelluksen ilmoitukseen siitä, että junamme on 15 minuuttia myöhässä mutta jos haluamme ehtiä työpaikalle ajoissa, korvaavaa reittiä ehdotetaan. Elämämme muuttuu helpommaksi mutta sitä kautta myös vielä enemmän täsmälliseksi. Tulevaisuudessa töistä myöhästymiseen ei ehkä voi vedota enää julkisen liikenteen vuoksi. On jännittävää nähdä, miten maailmamme kehittyy älykaupunkitekologioiden ansiosta. Jos jokin asia on varmaa niin se, että elämämme tulee mullistumaan monilla sellaisilla tavoilla, joita meidän on tällä hetkellä vielä vaikea kuvitella.

Toivon, että tämä opinnäytetyö toimii hyvänä infopakettina älykaupunkiratkaisuista ja liikenteenhalinnasta kiinnostuneille.

Lähteet

Alharbi, N., Soh B. Roles and Challenges of Network Sensors in Smart Cities. Luettavissa: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/322/1/012002/pdf> Luettu: 6.12.2022

Alobaidi, M et al 2020. Evaluating the negative impact of traffic congestion on air pollution at signalized intersection. Luettavissa: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/737/1/012146/pdf> Luettu: 17.1.2023.

Alsaawy, Alkhodre, Abi Sen, Alshantiti, Bhat & Bahboud 2022. Luettavissa: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/4/2043> Luettu: 23.3.2023

American Lung Association 2022. Living Near Highways and Air Pollution. Luettavissa: <https://www.lung.org/clean-air/outdoors/who-is-at-risk/highways> Luettu: 9.2.2023

Baumann 2020. The Edge of Amsterdam. Luettavissa: <https://g-pulse.com/the-edge-amsterdam/> Luettu: 14.11.2020

Boyd, B. Urbanization and the mass movement of people to cities. Luettavissa: <https://grayline-group.com/urbanization-catalyst-overview/> Luettu: 9.1.2023

Cleverciti 2023. A comprehensive on-street parking guidance system. Luettavissa: <https://f.hubspotusercontent20.net/hubfs/8948776/Case%20Studies/EN%20-%20Case%20Studies/EN%20-%20Case%20Study%20-%20Cologne.pdf> Luettu: 15.3.2023

Deloitte. Blockchain for smart cities series: Blockchain and smart cities. Luettavissa: <https://www2.deloitte.com/za/en/pages/financial-services/articles/blockchain-for-smart-cities-article-3-of-3.html> Luettu: 10.3.2023.

Er Dong, L 2022. 4 commonly used smart city technologies. Luettavissa: <https://earth.org/smart-city-technologies/> Luettu: 14.11.2022

Helsinki Smart Region 2019. Luettavissa: <https://helsinkismart.fi/> Luettu: 7.1.2023

Helsinki Smart Region 2019. Someturva uses artificial intelligence to help victims of social media harassment. Luettavissa: <https://helsinkismart.fi/case/someturva-uses-artificial-intelligence-to-help-victims-of-social-media-harassment/> Luettu: 7.1.2023

Hope, G. 2022. Ford Testing Smart Traffic Lights for Emergency Vehicles. Luettavissa: <https://www.iotworldtoday.com/transportation-logistics/ford-testing-smart-traffic-lights-for-emergency-vehicles> Luettu: 15.3.2023

Horelli, M, 2021. Kehittyvät älykaupungit pitävät asukkaistaan yhä parempaa huolta – Suomessa ollaan kisan kärkisijoilla. Luettavissa: <https://www.erillisverkot.fi/kehittyvat-alykaupungit-pitavat-asukkaistaan-yha-parempaa-huolta-suomessa-ollaan-kisan-karkisijoilla-2/> Luettu: 7.12.2022

Hussain Mir, M., Ravindran, D. 2017. Role of IoT in Smart City Applications: A Review. Luettavissa: https://www.researchgate.net/profile/Mahmood-Mir/publication/330729268_Role_of_IoT_in_Smart_City_Applications_A_Review/links/5c518c61458515a4c749d811/Role-of-IoT-in-Smart-City-Applications-A-Review.pdf Luettu: 26.11.2022

Intech 2021. What Are Biosensors and How Are They Being Used in Smart Cities? Luettavissa: <https://intech.media/en/smartcities/what-are-biosensors-and-how-are-they-being-used-in-smart-cities/> Luettu: 6.12.2022

Kumar, S. Tiwari, P., Zymbler, M. Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review. 2019. Luettavissa: <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-019-0268-2> Luettu: 29.11.2022

Lai, O. 2023. Top 7 Smart Cities in the World in 2023. Luettavissa: <https://earth.org/top-7-smart-cities-in-the-world/> Luettu: 10.3.2023

Lindman, O. 2020. Fiksu Kalasatama on suomalainen älykaupunki, kaikki uusi ei aina näy päälle, mutta kokeilla voi pienellä kynnyksellä. Luettavissa: <https://www.digikallio.fi/2020/02/27/fiksu-kalasatama/> Luettu: 3.1.2023

Martinez, M. 2020. This is how emergency systems work in a smart city. Luettavissa: <https://tomorrow.city/a/this-is-how-emergency-systems-work-in-a-smart-city> Luettu: 12.11.2022

McGlynn, B. How IoT Improves Public Transport For Passengers. Luettavissa: <https://davra.com/how-the-internet-of-things-improves-public-transportation-for-passengers/> Luettu: 22.3.2023

McKinsey&Company 2018. Smart cities: digital solutions for a more livable future. Luettavissa: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/smart%20cities%20digital%20solutions%20for%20a%20more%20livable%20future/mgi-smart-cities-full-report.pdf> Luettu: 12.11.2022

Chang, B. 2022. Smart IoT Gateway Products. Luettavissa: <https://www.mokosmart.com/iot-gateway/> Luettu: 8.3.2023

Obaidat, M. Misra, S. 2014. Introduction to wireless sensor networks. Luettavissa: <https://www.cambridge.org/core/books/principles-of-wireless-sensor-networks/introduction-to-wireless-sensor-networks/69F34586D498393039237C51344CF25E> Luettu: 21.2.2023.

Osakesijoittaja.fi 2023. Lohkoketjuteknologia 2023 – Miten lohkoketju toimii? Luettavissa: <https://osakesijoittaja.fi/lohkoketjuteknologia/> Luettu: 10.3.2023

Ravi, R. 2021. How smart cities can pave the way to a safer society. Luettavissa: <https://www.jumpstartmag.com/how-smart-cities-can-pave-the-way-to-a-safer-society/> Luettu: 12.11.2022

SFpark. Guide to the information technology behind SFpark. Luettavissa: https://www.sfmata.com/sites/default/files/reports-and-documents/2018/05/sfpark_tech_manual_web.pdf Luettu: 17.3.2023

SFpark 2014. Pilot Project Evaluation Summary. Luettavissa: https://www.sfmata.com/sites/default/files/reports-and-documents/2018/04/sfpark_eval_summary_2014.pdf Luettu: 17.3.2023

Stracuzzi, M 2021. Building the Smart Grid: IoT Energy Management Systems. Luettavissa: <https://www.telit.com/blog/iot-smart-grid-benefits/> Luettu: 13.2.2023

Sumia, I. Ranga, V. 2018. Intelligent Traffic Management System for Prioritizing Emergency Vehicles in a Smart City. Luettavissa: https://www.ije.ir/article_73118_56f9e3f8e7c5524184836f0b6cab2d25.pdf Luettu: 15.3.2023

SWARCO. 4 Traffic and Transport Challenges That Every Major European City Has to Deal With – And How to Do It. Luettavissa: <https://www.swarco.com/stories/4-traffic-and-transport-challenges-every-major-european-city-has-deal-and-how-do-it> Luettu: 9.1.2023.

Telia, n.d. Automatic Passenger Count. Luettavissa: <https://business.teliacompany.com/internet-of-things/smart-public-transport/automatic-passenger-count> Luettu: 26.3.2023

Telia, n.d. Digitalization of Public Transportation. Luettavissa: <https://business.teliacompany.com/internet-of-things/smart-public-transport/digitalization-of-public-transport-in-nordics---baltics> Luettu: 26.3.2023

Telia, 2022. Many Smart Public Transport Projects entered traffic this summer. Luettavissa: <https://business.teliacompany.com/blog/Many-Smart-Public-Transport-projects-entered-traffic-this-summer> Luettu: 26.3.2023

Vegni, A., Biagi, M., Cusani, R. 2013. Smart vehicles, technologies and main applications in vehicular ad hoc networks. Luettavissa: <https://www.intechopen.com/chapters/42787> Luettu: 14.2.2023

Woetzel, J., Remes, J., Boland, B., Lv, K., Sinha, S., Strube, G., Means, J., Law, J., Cadena A., von der Tann, V. Smart cities: Digital solutions for a more livable future. Luettavissa: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/smart-cities-digital-solutions-for-a-more-livable-future> Luettu: 12.11.2022

6Aika Oulussa. Kohti älykkäämpää ja avoimempaa kaupunkia. Luettavissa: <https://drive.google.com/file/d/1wZtqPGA6N9BxSsLInjY8r-G1JzFBFIba/view> Luettu: 20.3.2023

Liitteet