



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JARKKO SETÄLÄ  
KIINTEISTÖNHOIDON SOVELLUKSIA ÄLYKKÄÄSSÄ KAUPUN-  
GISSA

Diplomityö

Tarkastaja:  
Professori Tarmo Lipping  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
28. toukokuuta 2018

## TIIVISTELMÄ

**JARKKO SETÄLÄ:** Kiinteistönhoidon sovelluksia älykkäässä kaupungissa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 55 sivua, 4 liitesivua

Elokuu 2018

Johtamisen ja tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Ohjelmistotuotanto ja tiedonhallinta

Tarkastaja: Professori Tarmo Lipping

Avainsanat: avoin data, älykäs kaupunki, esineiden internet, paikkatietojärjestelmät

Älykäs kaupunki on terminä laajakäsitteinen. Termiä on käytetty kuvaamaan useita erilaisia sekä olemassa olevia että tulevaisuuden teknologioita ja palveluita. Näiden avulla voidaan paremmin palvella kaupungin asukkaita ja hyödyntää tehokkaammin julkisia resursseja. Älykkäiden kaupunkien on myös ajateltu lisäävän asukkaiden tietoisuutta julkisten palveluiden toimivuudesta kaupungin jakaessa enemmän tieota toiminnastaan.

Avoimena tarjottavan datan määrä on lisääntynyt viime aikoina huomattavasti. Datan jakamisen kustannusten pienentyminen on poistanut esteitä avoimuuden tieltä. Lainsäädäntöön tehdyt muutokset ovat lisänneet etenkin julkisen sektorin tuottamaa avointa dataa. Erityisesti ympäristöpolitiikkaan liittyvien paikkatietojen avoimuutta on lisännyt asiasta säädetty EU-direktiivi. Avoimen datan avulla organisaatiot voivat helposti rikastaa omaa dataansa.

Organisaation käyttämä data on usein sidottu paikkaan. Tämä on yksi syy paikkatietojärjestelmien yleistymiseen datan tilastointityökaluna. Verkkopohjaisten paikkatietojärjestelmien avulla toteutettujen tilastojen jakaminen suurelle käyttäjäkunnalle on helppoa.

Tässä työssä oli tarkoituksena toteuttaa sovelluksia kaupungin päätöksenteon tueksi. Sovelluksissa esitetään kaupungin tuottamaa dataa, johon on lisätty julkisen sektorin jakamaa avointa dataa. Sovellukset oli tarkoitus toteuttaa kaupungin paikkatietojärjestelmässä, mutta työn edistyessä käytetyn järjestelmän puutteet tulivat kuitenkin esiin. Puutteiden takia valmiiden sovellusten rinnalle kehitettiin kokonaan erillinen sovellus. Sovelluksessa käytetään hyväksi luonnollisen kielen analysointimenetelmiä ja sen avulla voidaan tilastoida sanallisessa muodossa olevia kiinteistöhuollon palvelupyyntöjä.

## ABSTRACT

**JARKKO SETÄLÄ:** Property maintenance applications in a smart city

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 55 pages, 4 Appendix pages

August 2018

Master's Degree Programme in Management and Information Technology

Major: Software Engineering and Data Management

Examiner: Professor Tarmo Lipping

Keywords: open data, intelligent city, internet of things, geospatial information systems

Smart city is a term that can be used broadly. The term can be used to describe a variety of existing and future technologies and services. These technologies and services enable to serve the city's inhabitants better and to make better use of public resources. It is also thought that smart cities raise their residents' awareness of the public services when the city shares more data on their activities.

In recent years, the amount of open data available has increased considerably. Reducing the cost of sharing data has removed most of the obstacles. The changes made to legislation have increased the amount of open data produced by the public sector. The transparency of spatial data relating to environmental policy has been enhanced by the EU directive on the matter. With open data, organisations can easily enrich their own data.

The data used by organisations is often tied to location. For this reason, the use of geospatial information systems for visualisation of information has increased. Web-based geospatial information systems make it easier to share those visualisations.

The purpose of this thesis was to develop applications to support the city's decision-making. Applications present, and process data generated by the city. The data has been supplemented by open data shared by the public sector. The applications were supposed to be implemented in the city's spatial information system, but as the work progressed, problems emerged with the used system. Due to problems in the system, a separate application was developed. The application uses natural language processing methods and it allows the analysis of service requests that are in form of a natural language.

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Porin kaupungin työntekijöitä Osmo Leppäniemeä sekä Mikko Viitalaa, jotka mahdollistivat tämän työn tekemisen. Erityiskiitos Mikolle jonka vinkit ja kärsivällisyys auttoivat suuresti tämän työn loppuun saattamisessa. Suuret kiitokset myös työn ohjaajalle, professori Tarmo Lippingille.

Kiitokset myös ystäväilleni jotka kannustivat työn tekemisessä ja tarjosivat tarpeellisia taukoja työn kanssa puurtamiseen.

Kiitokset myös työnantajalleni joka mahdollisti irtautumisen työstäni tämän diplomityön tekemisen ajaksi.

Qapla'

Porissa, 23.7.2018



Jarkko Setälä

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	ESINEIDEN INTERNET JA ÄLYKÄS KAUPUNKI.....	3
2.1	Esineiden internet.....	3
2.2	Älykkäät rakennukset.....	6
2.3	Älykkäät kaupungit .....	9
2.3.1	Energiankulutuksen seuranta .....	10
2.3.2	Ilmanlaadun ja ympäristömelun seuranta .....	11
2.3.3	Liikenteen hallinta.....	12
2.3.4	Rakennusten kunnan seuranta.....	14
2.3.5	Älykäs pysäköinti.....	14
2.3.6	Älykäs valaistus .....	15
2.4	Rakennuksen energiankulutuksen seuranta.....	17
3.	TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT AINEISTOT JA TIETOJÄRJESTELMÄT .....	20
3.1	Paikkatietojärjestelmät .....	20
3.1.1	Paikkatietojärjestelmät älykkäässä kaupungissa.....	21
3.1.2	Porin kaupungin paikkatietojärjestelmät.....	21
3.2	Avoin data .....	23
3.2.1	Maanmittauslaitoksen avoin data.....	24
3.2.2	Väestötietojärjestelmän avoin data .....	27
3.2.3	Ilmatieteen laitoksen avoin data.....	29
3.3	Rakennusten perustiedot .....	30
3.4	Palvelupyynnöt.....	31
3.5	Energiadata.....	32
4.	KIINTEISTÖNHOIDON SOVELLUKSIA PAIKKATIETOJÄRJESTELMÄSSÄ	
	34	
4.1	Taustatietojen yhdistäminen ja tarkastus.....	34
4.2	Tiedot pilvipohjaisessa paikkatietojärjestelmässä.....	35
4.2.1	Insights for ArcGIS.....	36
4.2.2	Palvelupyynnöt Insights for ArcGIS -sovelluksessa.....	37
4.2.3	Operations Dashboard.....	39
4.3	Palvelupyyntöjen tilastointi erillisellä sovelluksella.....	40
4.3.1	Tekninen toteutus.....	41
4.3.2	Kuvausten sanojen perusmuotoistaminen.....	41
4.3.3	Paikkatieto sovelluksessa.....	43
4.3.4	Tilastot sovelluksessa.....	44
4.4	Energiankulutuksen tilastointi.....	46
5.	YHTEENVETO .....	48
	LÄHTEET.....	50

## KUVALUETTELO

<i>Kuva 1. Esineiden internetin kolme näkökulmaa</i> .....	5
<i>Kuva 2. Kommunikoinnin kolme ulottuvuutta, jotka IoT mahdollistaa</i> .....	6
<i>Kuva 3. Älykkään rakennuksen mukautumiskyky eri aikaväleillä</i> .....	7
<i>Kuva 4. Kuvaruutukaappaus Porin kaupungin Energianseuranta-sovelluksesta</i> .....	10
<i>Kuva 5. Näkymä Helsinki-Vantaan lentoaseman ympäristön melumittaussovelluksesta</i> .....	12
<i>Kuva 6. Esimerkki älykkäästä katuvalaistuksesta</i> .....	16
<i>Kuva 7. Näkymä Honeywell Attune Advisory Service EIS -järjestelmästä</i> .....	18
<i>Kuva 8. Työn kannalta oleelliset Porin kaupungin tietojärjestelmät kuvattuna</i> .....	22
<i>Kuva 9. Maanmittauslaitoksen aineistojen tiedostopalvelu</i> .....	26
<i>Kuva 10. Maanmittauslaitoksen maastotietokannan ja kiinteistörekisterikannan tietoja visualisoituna</i> .....	27
<i>Kuva 11. Rakennus- ja huoneistorekisterin sisältämän rakennustunnuksen visualisointi kartalla</i> .....	29
<i>Kuva 12. Palvelupyynnöiden syöttö tapahtuu verkkopohjaisella Workforce for ArcGIS -sovelluksella</i> .....	31
<i>Kuva 13. Insights for ArcGIS -sovelluksen käyttöliittymä</i> .....	37
<i>Kuva 14. Insights for ArcGIS -sovellus mahdollistaa tilastoinnin usealla eri tavalla</i> .....	38
<i>Kuva 15. Operations Dashboard -sovellus mahdollistaa alueellisen tilastoinnin</i> .....	40
<i>Kuva 16. Palvelupyynnöiden sijoittelu kartalle paljastaa, että osaa palvelupyynnöistä ei ole sijoitettu rakennusten ääri viivojen sisään</i> .....	45
<i>Kuva 17. Kuvaruutukaappaus palvelupyynnöille toteutetusta erillisestä analysointisovelluksesta</i> .....	45
<i>Kuva 18. Sähkönkulutusdatan visualisointia Insights for ArcGIS -sovelluksessa</i> .....	47

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

API	<i>Application Programming Interface</i> , ohjelmointirajapinta, joka määrittelee miten ohjelmat voivat tehdä pyyntöjä ja vaihtaa tietoja keskenään
BAS	<i>Building Automation System</i> , rakennusautomaatiojärjestelmä
BMS	<i>Building Management System</i> , rakennusten hallintajärjestelmä
CoAP	<i>Constrained Application Protocol</i> , sovellustason protokolla, joka on tarkoitettu erityisesti resursseiltaan rajoitettujen laitteiden tiedonsiirtoon
EIS	<i>Energy Information System</i> , rakennusten energiatietojärjestelmä
GIS	<i>Geospatial Information System</i> , paikkatietojärjestelmä
GML	<i>Geography Markup Language</i> , Open Geospatial Consortiumin määrittelemä tekstimuotoinen formaatti paikkatiedolle
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> , hypertekstin siirtoprotokolla
IoT	<i>Internet of Things</i> , esineiden internet
IP	<i>Internet Protocol</i> , internetliikenteen pohjana oleva yhteydetön protokolla
ITU	<i>The International Telecommunication Union</i> , Kansainvälinen televiestintäliitto
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i> , avoimeen standardiin perustuva tietoformaatti
MML	<i>Maanmittauslaitos</i>
NFC	<i>Near-field communication</i> , standardi lyhyen etäisyyden langattomaan kommunikointiin
OGC	<i>Open Geospatial Consortium</i> , järjestö, joka tuottaa paikkatietoa koskevia standardeja
REST	<i>Representational State Transfer</i> , arkkitehtuurimalli verkkopohjaisille sovelluksille
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i> , radiotaajuudella toimiva etätunnistin
SAAS	<i>Software as a Service</i> , ohjelmisto palveluna
SPA	<i>Single-page application</i> , verkkosovellusten toteutustyyli, jossa verkkosivun sisältö kirjoitetaan dynaamisesti uudelleen palvelimelta lataamisen sijaan
THL	<i>Terveysten ja hyvinvoinnin laitos</i>
UID	<i>Unique Identifier</i> , yksilöllinen tunniste
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i> , ransk. <i>Temps Universel Coordonné</i> , maailmanlaajuinen koordinoitu yleisaika
VGI	<i>Volunteered Geographic Information</i> , joukkoistettu paikkatieto
VRK	<i>Väestörekisterikeskus</i>
WISP	<i>Wireless Internet Service Provider</i> , langattomien teknologioiden avulla internet-yhteyden tarjoava palveluntarjoaja
XML	<i>Extensible Markup Language</i> , tekstimuotoinen rakenteellinen kuvauskieli

# 1. JOHDANTO

Porin kaupunkikonserniin kuuluvat teknisen toimialan tilayksikkö ja palveluliikelaitos yhdessä vastaavat yli kahdeksansadan rakennuksen kiinteistönhoidosta. Rakennuksiin kohdistuvien kustannusten seuranta on vaikeaa ja rakennuskohtainen erottelu hankalaa. Rakennuksiin liittyvä yksityiskohtainen data on hajallaan erilaisissa järjestelmissä ja datan tilastointia on toteutettu lähinnä taulukkolaskentaohjelmilla.

Tilayksikön tavoitteena on osittain siirtyä rakennusten ennakoivaan korjaamiseen. Rakennuksen kuluttamasta energiasta (sähkö ja kaukolämpö) saadulla ajantasaisella tiedolla voidaan joissakin tapauksissa ennakoida rakennusten korjaustarvetta. Sähköenergian kulutusta voidaan pienentää myös opastamalla rakennusten käyttäjiä energiaa säästäviin toimiin. Korjaavien toimien vaikutus energiankulutukseen on nähtävissä hyvin nopeasti, jos käytettävissä on ajantasaista kulutusdataa. Rakennusten kunnosta saadaan tietoa myös suoraan rakennusten käyttäjiltä. Käyttäjien tekemien palvelupyyntöjen avulla voidaan saada etenkin sellaista tietoa rakennusten tilasta, jota ei automatiikalla pystytä mittaamaan. Palvelupyyntöjä tilastoimalla ja analysoimalla voidaan helposti tuoda esiin rakennuksissa toistuvasti esiintyvät viat ja tätä kautta kohdistaa osaperuskorjaukset oikeisiin kohteisiin. Palvelupyyntöjen suoritusajoista saadaan dataa, jonka avulla voidaan seurata esimerkiksi palvelulupausten toteutumista.

Avoimen datan avulla voidaan rikastaa organisaation omaa dataa. Esimerkiksi eri ajanjaksoina lämmitykseen käytetyn energiamäärän toisiinsa vertaaminen vaatii käytetyn energiamäärän normeeraamisen. Normeerausta varten tarvitsee tietää ulkolämpötila. Nämä arvot voidaan hakea esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen latauspalvelusta. Maanmittauslaitoksen tarjoaman avoimen datan kautta saatavien kiinteistörajojen avulla voidaan esimerkiksi tilastoida koko kiinteistöön kohdistuvat palvelupyynnöt.

Tämä työ lähestyy edellä mainittuja asioita älykkäiden kaupunkien näkökulmasta. Älykäs kaupunki on terminä laaja ja sen ajatellaan koostuvan useista erillisistä konsepteista. Yksi näistä konsepteista on älykäs rakennus. Älykkään rakennuksen määritelmiin kuuluu rakennusten kunnosta saatava tieto. Kunnosta voidaan saada tietoa esimerkiksi edellä mainituilla menetelmillä. Tämän työn tarkoituksena on tutustua näihin älykkäisiin kaupunkeihin ja älykkäisiin rakennuksiin. Tässä työssä on myös tarkoitus toteuttaa tilastointisovelluksia, joiden avulla voidaan esittää aikaisemmin mainittuja energiankulutusdataa sekä palvelupyntödataa. Tilastoinnit on tarkoitus toteuttaa kaupungin käyttämässä paikkatietojärjestelmässä.



Tämä työ jakaantuu viiteen lukuun. Työn toisessa luvussa käsitellään työhön liittyvää taustatietoa. Kolmannessa luvussa käsitellään työssä käytettävät aineistot ja tietojärjestelmät. Neljäs luku käsittelee työn varsinaista toteutusta. Viidennessä luvussa on esitelty johtopäätökset ja jatkokehitysmahdollisuudet.

## 2. ESINEIDEN INTERNET JA ÄLYKÄS KAUPUNKI

Esineiden internetillä on useita määritelmiä, eikä vakiintunutta yksikäsitteistä selitystä termille voida antaa. Lähestymisnäkökulmia termiin on monia ja lähteistä riippuen termi voidaan määritellä hyvin suppeasti tai laajasti. Esineiden internetin ajatellaan mahdollistavan useita sovelluksia, joista tässä työssä käsitellään kiinteistönhoidon kannalta mielenkiintoiset älykkäät rakennukset ja kaupungit.

Tässä luvussa käsitellään myös rakennusten energiankulutuksen seuranta. Energiankulutusta seuraamalla ja tämän avulla korjaavien toimenpiteiden tekeminen seurannan perusteella on yksinkertainen tapa toteuttaa kustannussäästöjä. Rakennusten energianseuranta on myös kiinteä osa älykkäitä rakennuksia ja kaupunkeja.

### 2.1 Esineiden internet

Esineiden internetiä (engl. *Internet of Things*, IoT) on vaikea määritellä yksikäsitteisesti ja tiiviisti. Esineiden internetiä voidaan tarkastella usealta eri näkökannalta, sillä termin alle on tuotu paljon eri teknologioita ja näkökantoja. Teollisuuden esineiden internetiin liittyviä toimijoita yhteen tuova IoT One<sup>1</sup> on luonut tietokannan esineiden internetiin liittyvistä termeistä. Tämä tietokanta sisältää kirjoitushetkellä 711 termiä [1].

Kirjallisuudessa on esitetty useita eri määritelmiä esineiden internetille, joista olen poiminut tähän muutaman. Miorandi *et al.* [2] lähestyvät termin ”esineiden internet” määrittelyä kolmelta eri suunnalta. Heidän mukaansa sillä voidaan kuvata: (i) internetin välityksellä yhteen liitettyjen älykkäiden esineiden verkkoa, (ii) teknologioita, jotka mahdollistavat tämän yhteenliittämisen sekä (iii) ohjelmistoja ja palveluita, jotka hyväksikäyttävät näitä teknologioita. Miorandi *et al.* esittävät kolme peruspilaria esineiden internetille, jotka liittyvät siihen liitettävien älykkäiden esineiden ominaisuuksiin: (i) esineet ovat identifioitavissa, (ii) esineet pystyvät kommunikoimaan ja (iii) esineet ovat kykeneviä vuorovaikutukseen joko toistensa kanssa, muiden verkon laitteiden kanssa tai loppukäyttäjien kanssa.

Atzori *et al.* [3] lähestyvät esineiden internetin määrittelyä tarkastelemalla itse termiä ”Internet of Things”. Termin semanttisessa määrittelyssä he viittaavat ”Beyond RFID – The Internet of Things” -työryhmän [4] määritelmään, joka voidaan vapaasti suomentaa ”yksikäsitteisesti osoitettavien esineiden maailmanlaajuinen verkko, joka perustuu olemassa

---

<sup>1</sup> Yksityinen kaupallinen yritys

oleviin tiedonsiirtomenetelmiin”. Tästä määrittelystä Atzori *et al.* tuovat esiin kaksi näkökulmaa, joista esineiden internetiä voidaan tarkastella. Nämä tarkastelusuunnat ovat internetin näkökulma ja esineiden näkökulma. Määrittelystä tuotujen kahden tarkastelusuunnan lisäksi Atzori *et al.* tuovat esiin myös kolmannen tarkastelusuunnan esineiden internetiin, semanttisuuden. Semanttisuudella tarkoitetaan tässä sitä, että internetiin kytettyjen esineiden lähettämän ra’an datan lisäksi esineet välittävät myös tietoa datan merkityksestä.

Esineiden tarkastelusuunnassa keskitytään lähinnä itse esineiden näkyvyyden lisäämiseen, parantamalla esimerkiksi niiden jäljitettävyyttä. Esineisiin perustuva tarkastelusuunta esineiden internetiin on vanhin, sillä ensimmäisen kerran termiä esineiden internet käytettiin linkitettäessä internet ja radiotaajuudella toimivat etätunnistimet eli RFID (*Radio-Frequency Identification*) -tagit. [3, 5]

Internetin näkökulmassa Atzori *et al.* tarkastelevat niitä verkkoteknologioita, jotka mahdollistavat näiden älykkäiden esineiden verkottumisen. He mainitsevat vaihtoehtoisiksi tekniikoiksi muun muassa internetin perustana olevaan IP-protokollaan pohjautuvan Internet 0:n (nollan) [6] tai täysiverisen IP-protokollan. Sovelluskerroksen tason protokollia Atzori *et al.* eivät mainitse, mutta muualla kirjallisuudessa [7–11] on esitetty perinteisiä internetin sovellusprotokollia kevyempiä ratkaisuja, kuten CoAP (*Constrained Application Protocol*).

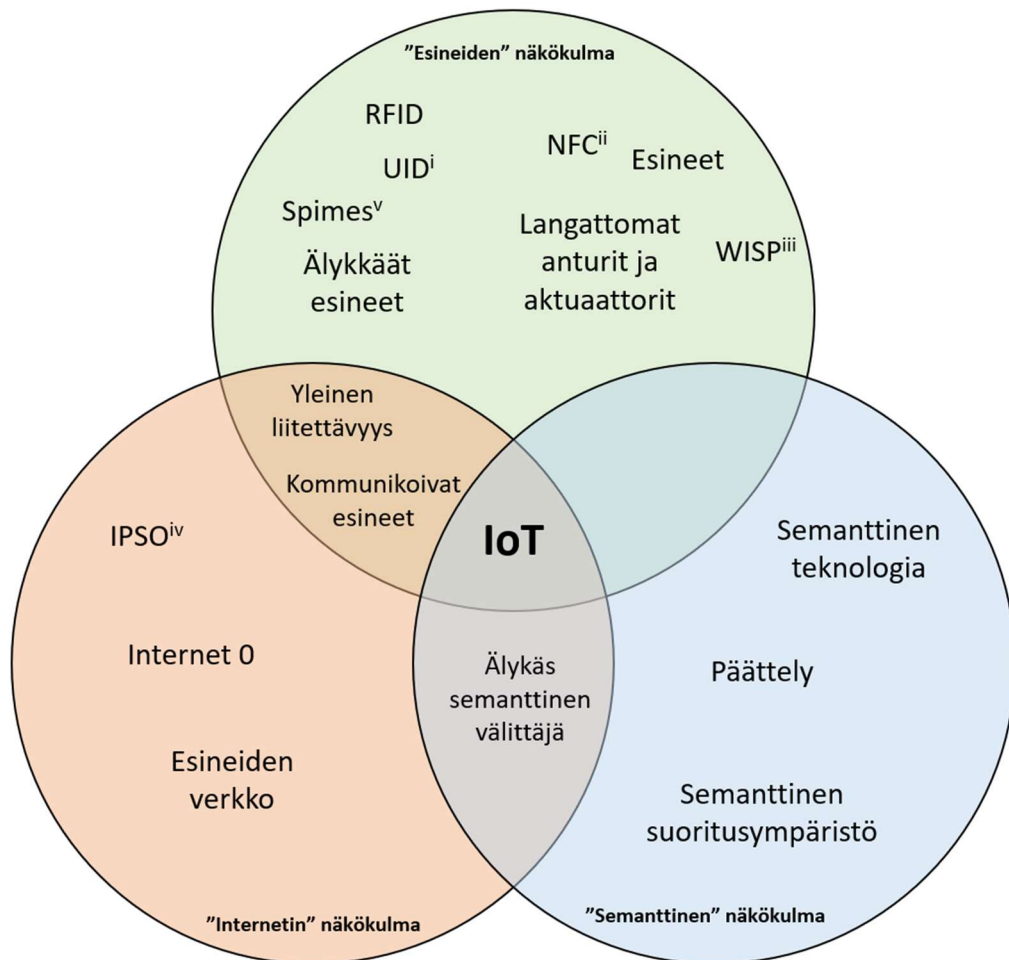
Atzori *et al.* mainitsema semanttinen näkökulma esineiden internetiin on mainittu myös muussa kirjallisuudessa [9, 10]. Su *et al.* [9] käsittelevät semanttisuutta tarkemmin. He tarkastelevat muun muassa esineiden internetin erityispiirteiden vaikutusta semanttisuuteen. Yhteenvedossaan Su *et al.* mainitsevat useita semanttisuuden etuja – muun muassa datan helpomman löydettävyyden sekä esineiden välisen automaattisen viestinnän ja älykkään päätöksenteon mahdollistamisen. Nämä kolme edellä mainittua näkökulmaa esineiden internetiin sekä niihin liittyviä termejä on kuvattu kuvassa 1.

Kansainvälinen televiestintäliitto (engl. *International Telecommunication Union*, ITU) on määritellyt esineiden internetin suosituksessaan ITU-T Y.2060. Määrittely voidaan vapaasti kääntää seuraavasti:

”Maailmanlaajuinen informaatioyhteiskunnan infrastruktuuri, joka mahdollistaa kehittyneet palvelut yhdistämällä (fyysiset ja virtuaaliset) esineet perustuen olemassa oleviin ja kehittyviin toistensa kanssa yhteensopiviin ICT- ja viestintäteknologioihin.” [12]

Esineiden internetiin liittyen ITU tarkoittaa esineillä kohteita jotka ovat identifioitavissa ja integroitavissa viestintäjärjestelmiin. Esineillä on niihin liittyvää tietoa, joka voi olla staattista tai dynaamista. Esimerkkinä fyysisistä esineistä ITU mainitsee teollisuusrobotit ja sähkölaitteet. Esineet keräävät erilaista dataa itsestään ja ympäristöstään ja välittävät

nämä tiedot eteenpäin prosessointia varten. Virtuaalisiksi esineiksi ITU määrittelee kohteita, joita voidaan tallentaa, prosessoida ja tarkastella, mutta jotka eivät sijaitse fyysisessä maailmassa. Esimerkkeinä virtuaalisista esineistä mainitaan multimedia ja ohjelmistot.

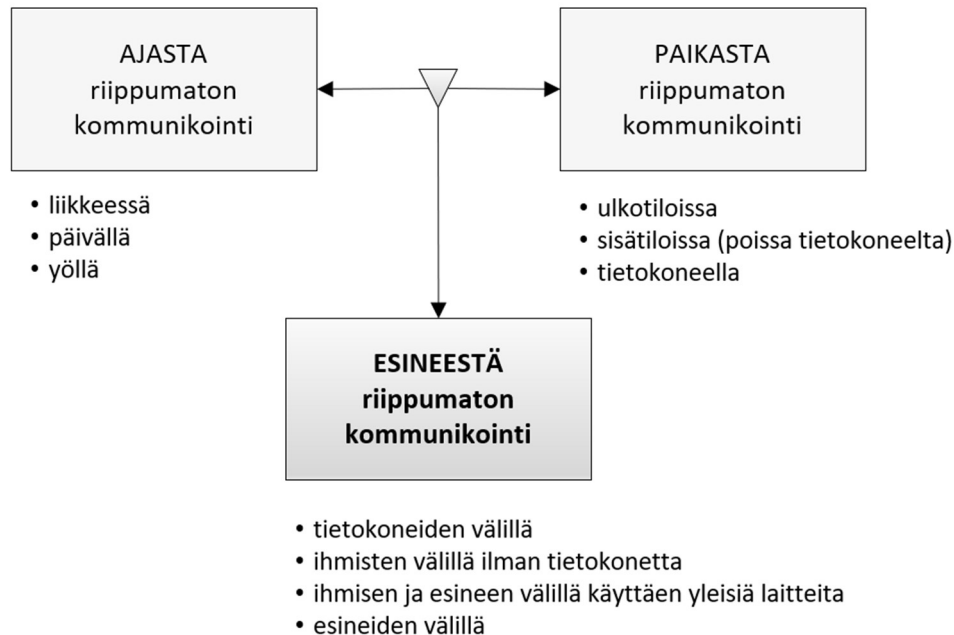


**Kuva 1.** Esineiden internetin kolme näkökulmaa. (i) UID (Unique IDentifier) on laitteen, tietueen tai esineen yksilöivä tunniste, (ii) NFC (Near-field communication) on standardi lyhyellä (alle 20 cm) etäisyydellä tapahtuvaan langattomaan kommunikointiin, (iii) WISP (Wireless Internet Service Provider) on erilaisten langattomien teknologioiden avulla internet-yhteyden tarjoava palveluntarjoaja, (iv) IPSO (Internet Protocol for Smart Objects) Alliance<sup>2</sup> on organisaatio, joka edistää internet-protokollan käyttöä älykkäiden esineiden välisessä kommunikoinnissa, (v) Spime on esine, jonka koko elinkaari on jäljitettävissä niin ajassa kuin paikassa [13]. (perustuu lähteeseen [3])

ITU:n mukaan nykyinen teknologia tarjoaa kaksi ulottuvuutta kommunikaatioon: (i) ajasta riippumaton ja (ii) paikasta riippumaton. Esineiden internet lisää kolmannen ulottuvuuden tähän kommunikaatioon, esineestä riippumattoman kommunikaation. Esineestä riippumattomalla kommunikoinnilla tarkoitetaan minkä tahansa fyysisen tai virtuaalisen

<sup>2</sup> Maaliskuusta 2018 alkaen OMA SpecWorks

esineen välistä kommunikointia. Nämä kolme kommunikoinnin ulottuvuutta on kuvattu kuvassa 2.



**Kuva 2.** Kommunikoinnin kolme ulottuvuutta, jotka IoT mahdollistaa (perustuu lähteeseen [12])

Esineiden internetillä on useita käyttökohteita. Miorandi *et al.* mukaan kuusi tärkeintä markkinasegmenttiä ovat:

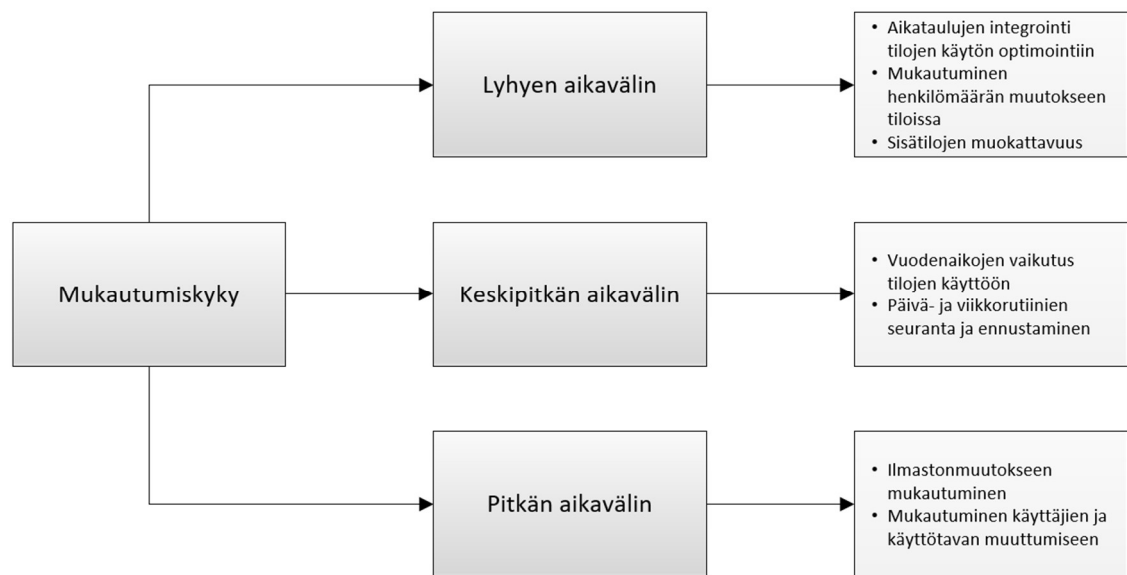
- terveystalot
- turvallisuus ja valvonta
- varastojen ja tuotteiden hallinta
- ympäristön valvonta
- älykkäät kaupungit
- älykodit ja älykkäät rakennukset.

## 2.2 Älykkäät rakennukset

Buckman *et al.* [13] määrittelevät älykkään rakennuksen (engl. *Smart Building*) tärkeimmäksi tekijäksi mukautumiskyvyn (adaptiivisuuden). Tällä he haluavat tehdä eron vanhempaan termiin ”Intelligent Buildings<sup>3</sup>”, jolla Buckman *et al.* tarkoittavat reaktiivisesti hallittavia rakennuksia. Reaktiivisissa rakennuksissa muutoksiin reagoidaan tapahtuman jälkeen, adaptiivisissa ennakoidaan näitä muutoksia. Älykkään rakennuksen mukautu-

<sup>3</sup> Termille ei ole vakiintunutta käännöstä

miskykyä he tarkastelevat sen mukaan, millaisella aikavälillä muutos tapahtuu. Mukautumiskyky lyhyen aikavälin muutoksiin liittyy rakennuksen päivittäiseen käyttöön; muun muassa rakennuksissa olevien henkilöiden lukumäärään sopeutumiseen. Keskipitkän aikavälin muutoksiin mukautumisessa otetaan huomioon muun muassa sekä vuodenaikojen vaikutus että päivä- ja viikkorutiinien seurannan avulla tapahtuva tilojen käytön ennustaminen. Pitkän aikavälin mukautumiskyvyllä otetaan huomioon muun muassa ilmastonmuutoksen vaikutus rakennukseen ja sen käyttöön. Rakennuksen mukautumiskyky eri aikaväleillä on kuvattu kuvassa 3.



**Kuva 3.** Älykkään rakennuksen mukautumiskyky eri aikaväleillä (perustuu lähteeseen [13])

Buckman *et al.* [13] määrittelevät myös älykkään rakennuksen seuraajan: ajattelevan rakennuksen<sup>4</sup> (engl. *Thinking Building*). Näissä rakennuksissa tekoäly tekisi ennakoivia päätöksiä useiden, osittain epäselvien tietolähteiden avulla.

Kirjallisuudessa [8, 14–16] älykkäiden rakennusten ominaisuuksiin luetellaan muun muassa:

- energiankulutuksen säätely
- huoltojen ja korjauskohteiden ennakointi
- tilojen käyttöä ja ihmisten liikkumista analysoivat menetelmät
- turvallisuuden liittyvät ratkaisut.

<sup>4</sup> Kirjoittajan oma käänös

Rakennuksen energiankulutusta voidaan säädellä esimerkiksi valaisemalla vain ne tilat, joissa oleskellaan, tai säätämällä valaistusvoimakkuutta automaattisesti ympäröivän valoisuuden mukaan. Kulutusta voidaan hallita myös säätelemällä rakennusten lämmitystä käytön ja kellonaikojen mukaan. Myös auringonpaisteen lämmittävää vaikutusta voidaan estää esimerkiksi peittämällä ikkunoita automaattisesti.

Rakennuksen rakenteisiin, ilmastointilaitteisiin, hisseihin ja liukuportaisiin asennetut anturit välittävät reaaliaikaista tietoa rakennuksen ja laitteiden kunnosta. Reaaliaikaisen tiedon avulla voidaan mahdollistaa tulevien vikaantumiskohteiden ennalta havainnointi. Tämä mahdollistaa ennakoivat huoltotoimenpiteet, joilla voidaan välttää pidempiaikaiset huoltoseisokit.

Erilaisten lähipaikannusmenetelmien avulla voidaan analysoida ihmisten liikkumista ja oleskelua tiloissa [8, 14]. Näiden menetelmien avulla voidaan esimerkiksi havaita vapaana olevat kokoustilat, selvittää asiakasvirtojen kulkua ja optimoida jonojen hallintaa. Zafari *et al.* [8] kuvaavat aluerajausta (engl. *Geofencing*) ja lähipaikannusmenetelmää hyödyntävää sovellusta seuraavasti:

”Kun työntekijä saapuu työpaikkansa aluerajauksen sisälle, hänen toimistonsa tietokone käynnistyy, ilmastointilaitte käynnistyy ja toimiston lämpötila säädetään kyseisen työntekijän suosimaan lämpötilaan.”

Kulunvalvonta rakennuksissa perustuu yleensä joko RFID-, Bluetooth- tai biometrisiin menetelmiin. Älykkäissä rakennuksissa turvallisuuteen liittyvät ratkaisut voivat sisältää edellä mainittujen lisäksi esimerkiksi kasvontunnistukseen, videoanalysointiin, äänianalysointiin ja lähipaikannukseen liittyvät menetelmät. Kulunvalvontaan liittyvien ratkaisujen lisäksi henkilöiden sijaintia rakennuksessa tarkkailevat järjestelmät voivat auttaa mahdollisissa onnettomuustilanteissa pelastushenkilökuntaa paikantamaan rakennukseen jääneet ihmiset.

Älykkäiden rakennusten lisäksi termiä ”rakennusten internet” (engl. *Internet of Buildings*, IoB) on käytetty joissakin yhteyksissä [17–19] kuvaamaan internetiin kytkettyjen älykkäiden rakennusten joukkoa. Rakennusten internet voi olla osa älykkäitä kaupunkeja joissa sekä älykkäät rakennukset että esineiden internet on valjastettu parantamaan asukkaiden hyvinvointia. Zanella *et al.* [20] käyttävät termiä ”urbaani esineiden internet” (engl. *Urban Internet of Things*) kuvaamaan tällaisten älykkäiden kaupunkien vaatimaa kommunikaatioverkkoa. Termillä tarkoitetaan erityisesti julkisen sektorin toteuttamaa verkkoa joka mahdollistaa julkisten palveluiden hallintaan ja optimointiin liittyviä palveluita.

## 2.3 Älykkäät kaupungit

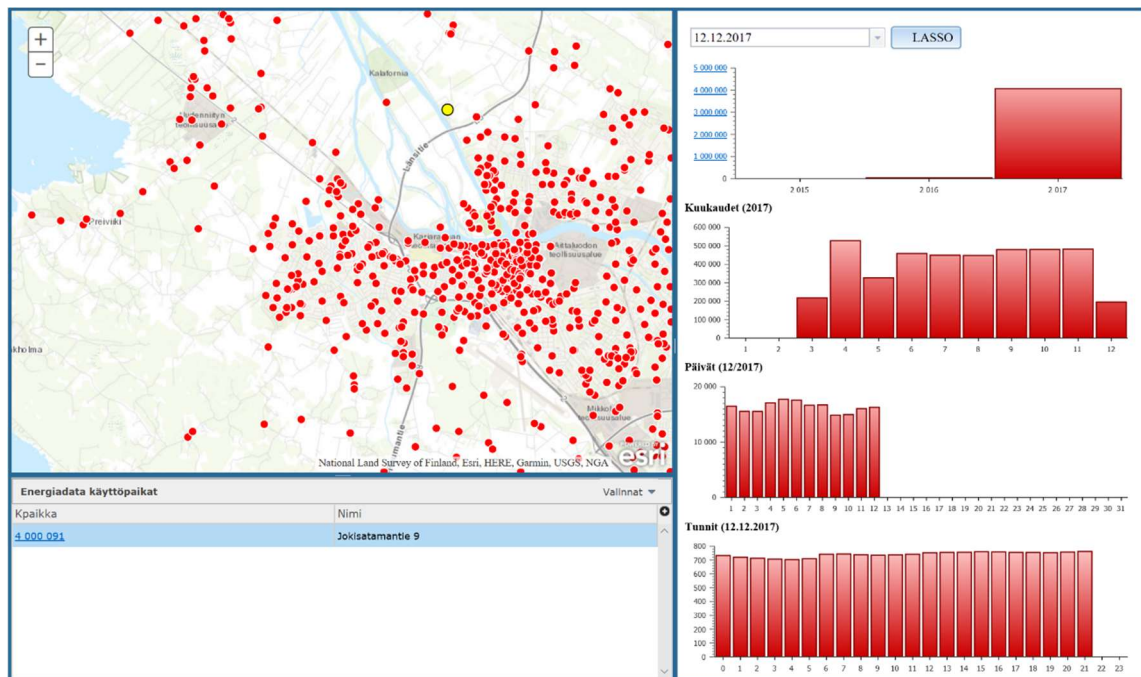
Älykkäät rakennukset ovat osa älykkäitä kaupungeja. Kirjallisuudessa [15, 16, 20–24] älykkäiden kaupunkien tavoitteiksi asetetaan olemassa olevien julkisten resurssien parempi hyödyntäminen ja tätä kautta kustannusten alentaminen sekä parempien palveluiden tarjoaminen asukkaille. Älykkäiden kaupunkien ajatellaan tuovan useita etuja perinteisten julkisten palveluiden hallinnointiin. Lisäksi julkisista palveluista kerättyä tietoa voidaan käyttää läpinäkyvyyden lisäämiseen lisäämällä kaupungin asukkaiden tietoisuutta kaupungin tilanteesta. Esimerkkinä voidaan mainita kuvassa 4 oleva Porin kaupungin julkaisema verkkopohjainen sovellus<sup>5</sup> energiankulutuksen seurantaan. Sovelluksella kuka tahansa voi tarkastella kaupungin käyttämien kohteiden energiankulutusta vuosi-, kuukausi-, päivä- ja tuntitasolla. Toisena esimerkkinä älykkään kaupungin sovelluksista voidaan mainita useat julkisen liikenteen sijaintitietoja kartalla näyttävät sovellukset. Tampereen seudun joukkoliikenteen karttasovellus<sup>6</sup>, joka näyttää linja-autojen sijainnin kartalla reaaliaikaisesti, on yksi esimerkki tällaisesta sovelluksesta.

Suurimmat haasteet älykkäiden kaupunkien tiellä jaetaan kirjallisuudessa kolmeen kategoriaan: (i) poliittisiin, (ii) teknisiin ja (iii) taloudellisiin. Poliittiset ongelmat johtuvat yleensä päätöksenteon hajauttamisesta. Kaupungin eri toimet ovat hajautettu useisiin yksiköihin ja mahdollisesti erillisiin liikelaitoksiin. Näissä yksiköissä älykaupungin kehittäminen nähdään huomattavan eri tavalla. Ratkaisuksi tähän Zanella *et al.* [20] ehdottavat älykkääseen kaupunkiin liittyvien toimintojen keskittämistä yhteen erilliseen organisaatioon. Tekniset ongelmat johtuvat yleensä erilaisten teknisten ratkaisujen yhteensopimattomuudesta. Esimerkiksi rakennuksien kiinteistöhoitojärjestelmät ja muut kaupungin käytössä olevat järjestelmät ovat usein toistensa kanssa yhteensopimattomia [19, 20]. Älykkään kaupungin kehittämistä ei nähdä helposti taloudellisesti kannattavana. Tämän takia kirjallisuudessa ehdotetaan aloittamaan älykkään kaupungin kehittäminen ratkaisuista, joista on suoraa taloudellista hyötyä. Tällaiseksi palveluksi on mainittu muun muassa älykäs pysäköinti. [20, 22]

<sup>5</sup> <http://arcgis.pori.fi/energiadata/tilastot.html>

<sup>6</sup> <https://lissu.tampere.fi/>





*Kuva 4. Kuvaruutukaappaus Porin kaupungin Energianseuranta-sovelluksesta*

Kirjallisuudessa [20, 22, 23] mainittuja älykkään kaupungin konsepteja ja palveluita ovat muun muassa:

- energiankulutuksen seuranta
- ilmanlaadun ja ympäristömelun seuranta
- liikenteen hallinta
- rakennusten rakenteellisen kunnon seuranta
- älykäs pysäköinti
- älykäs valaistus.

### 2.3.1 Energiankulutuksen seuranta

Taloudellisessa mielessä koko kaupungin energiankulutuksen seuraaminen on tärkeää. Energiankulutuksen seurannan avulla voidaan kohdentaa eniten energiaa kuluttavat rakennukset ja priorisoida korjaus- ja parannuskohteita. Energiaa säästävät toimet ovat myös nähtävissä historiatietoja tarkasteltaessa. Esimerkiksi katuvalaistuksessa voidaan havaita energiankulutuksen muutos vaihdettaessa valaisimet energiaa säästäviin malleihin. Yksittäisen rakennuksen energiankulutuksen seurantaan palataan tarkemmin luvussa 2.4.

Älykkäissä kaupungeissa energiankulutustiedot tuodaan myös asukkaiden saataville, jotta heidän tietoisuutensa kaupungin palveluiden sähkönkulutuksesta kasvaa. Esimerkki tällaisesta sovelluksesta on aikaisemmin esitetty Porin kaupungin Energianseuranta-sovellus.

### 2.3.2 Ilmanlaadun ja ympäristömelun seuranta

Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) mukaan [25] ympäristömelun haittoja ovat kiusallisuus ja häiritsevyys. Melu voi myös aiheuttaa stressireaktion, häiritä unta, heikentää henkistä hyvinvointia ja jopa lisätä sydän- ja verisuonisairauksien riskiä. THL:n mukaan suurin osa ympäristömelusta on peräisin liikenteestä, erityisesti tieliikenteestä. Jatkuvalle melun mittaukselle ja tulosten julkaisemiselle verkossa olisi siis suoraan asukkaiden hyvinvointiin ja terveyteen vaikuttava vaikutus.

Reaaliaikaista melun seuranta ei kaupunkitasolla kuitenkaan paljoa tehdä. Suomessa on tehty lähinnä Euroopan unionin direktiivin<sup>7</sup> velvoittamia, viiden vuoden välein tehtäviä meluselvityksiä [26–28]. Nämä meluselvitykset rajoittuvat yli 100 000 asukkaan kaupunkiin tai liikennemääriltään suurien teiden varsille. Lentoasemia operoiva Finavia Oyj tarjoaa verkkopalveluna<sup>8</sup> tietoa Helsinki-Vantaan lentoaseman lähiympäristön melutilanteesta. Tällä kuitenkin havainnoidaan lähinnä lentoliikenteen aiheuttamaa melua ja melumittauspisteet sijaitsevatkin lentoliikenteen reittien varrella. Kuvakaappaus verkkopalvelusta on kuvassa 5, jossa on nähtävissä muutamien melumittareiden reaaliaikaiset mitaustulokset. Myös maailmanlaajuisesti tarkasteltuna laajempi reaaliaikainen melunseuranta on harvinaista. Poikkeuksen tekee Dublinin kaupunki, joka on asentanut pysyvästi melumittareita kaupungin alueelle. Mittaustulokset ovat tarkasteltavissa verkossa<sup>9</sup>.

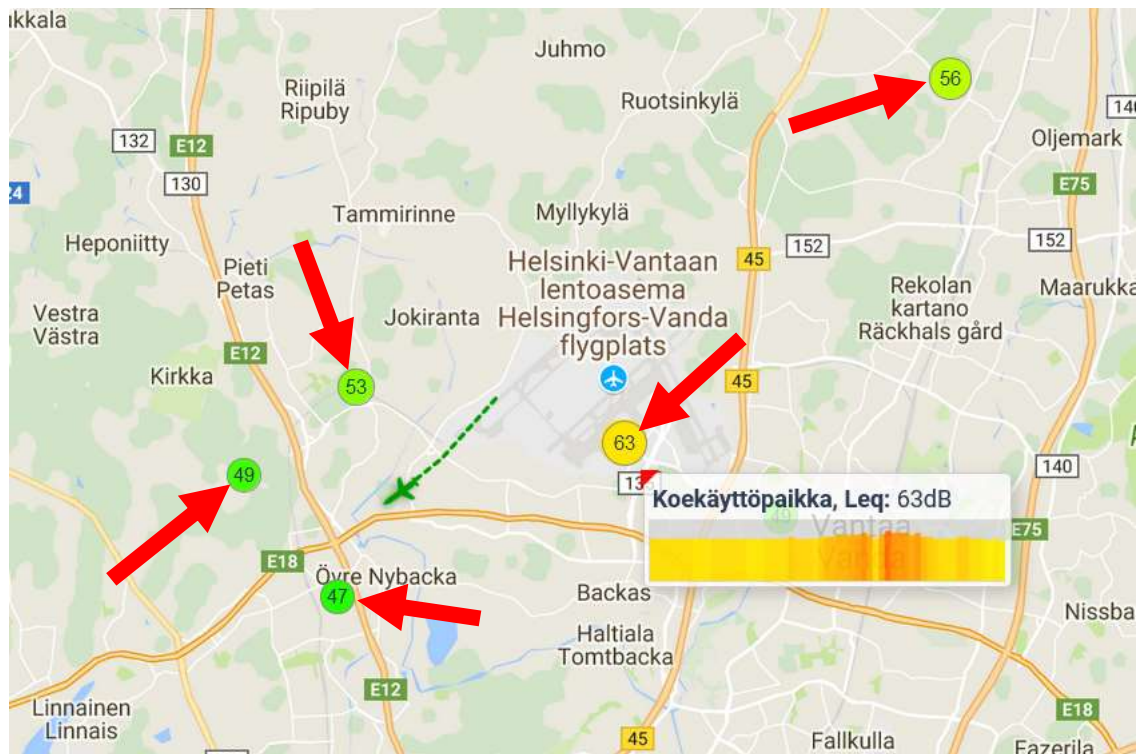
Melun mittauksesta poiketen kaupunkien ilmanlaadun seurantaan on panostettu ja useat kaupungit tarjoavat reaaliaikaista tai lähes reaaliaikaista tietoa kaupungin ilmanlaadusta. Tämä johtunee ilmanlaadun seurantaan liittyvien lakien ja direktiivien tiukkuudesta, joissa määritellään tuntikohtaisia raja-arvoja erilaisille epäpuhtauksille [29]. Suomessa Ilmatieteen laitos tarjoaa verkkopalvelussaan<sup>10</sup> keskitetysti ilmanlaadun tilanteen useilla paikkakunnilla. Ilmanlaatu tiedot ovat myös kenen tahansa ladattavissa Ilmatieteen laitoksen avoimen datan palvelun kautta.

<sup>7</sup> Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/49/EY ympäristömelun arvioinnista ja hallinnasta

<sup>8</sup> <http://webtrak5.bksv.com/hel?navref=paragraph>

<sup>9</sup> <http://www.dublincitynoise.ie/charts.php>

<sup>10</sup> <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>



**Kuva 5.** Näkymä Helsinki-Vantaan lentoaseman ympäristön melumittaussovelluksesta. Melun mittauspisteet ovat osoitettu nuolilla. Mittauspisteissä on nähtävissä hetkelliset mittausarvot. Koekäyttöpaikasta on nähtävissä myös historiatietoja.

### 2.3.3 Liikenteen hallinta

Liikenteen analysointipalveluja tarjoavan INRIX<sup>11</sup>:n julkaiseman, 38 maata kattavan, kansainvälisen ruuhkatutkimuksen mukaan autoilijat viettivät vuonna 2017 keskimäärin yhdeksän prosenttia matkustusaikastaan ruuhkissa [30]. Tämä aiheuttaa suuria tappioita kansantaloudelle. Esimerkiksi Saksassa INRIX arvioi ruuhkien aiheuttamien tappioiden<sup>12</sup> suuruudeksi keskimäärin 1 770 euroa<sup>13</sup> vuodessa autoilijaa kohden. Kansantaloudellisesti on siis tärkeää ratkaista kasvavien kaupunkien liikenteelliset ongelmat. Liikennevirtojen hallintaan esitetään kirjallisuudessa [31–33] useita vaihtoehtoisia ratkaisuja, kuten:

- julkisen liikenteen parantaminen
- muuttuvat nopeusrajoitukset
- ruuhkamaksut
- uusien teiden rakentaminen
- älykkäät liikennevalot

<sup>11</sup> INRIX, Inc. on yksityinen kaupallinen yritys

<sup>12</sup> Sisältää sekä suorat, että epäsuorat kustannukset

<sup>13</sup> Ostovoimakorjattu arvo

- älykäs pysäköinti.

Ruuhkamaksut ja uusien teiden rakentaminen voidaan nähdä passiivisina ratkaisuin liikenneongelmiin, eikä näiden kohdalla voida puhua älykkäästä liikennevirtojen hallinnasta. Julkista liikennettä voidaan yksinkertaisesti parantaa lisäämällä sitä. Älykkään kaupungin yhteydessä puhutaan kuitenkin julkisesta liikenteestä tiedottamisen parantamisesta. Tiedotusta parantamalla saadaan julkisen liikenteen käyttöastetta kasvatettua. Erittäin reaalitajuisesti joukkoliikenteen kulkuneuvojen sijainnit näyttävät sovellukset mainitaan lisäävän luottamusta julkisten kulkuneuvojen käyttöön ja tätä kautta vähentävän yksityisautoilua. [32, 34]

Floridan yliopiston liikenneinstituutti<sup>14</sup> on tutkinut muuttuvien nopeusrajoitusten vaikutusta liikenteeseen [35]. Heidän mukaansa muuttuvien nopeusrajoitusten on havaittu parantavan teiden turvallisuutta laskemalla nopeusrajoituksia huonoissa sääolosuhteissa, ruuhkissa, onnettomuustilanteissa sekä tietöiden aiheuttamien ongelmien takia. Varsinaisten ruuhkien muodostumista muuttuvat nopeusrajoitukset eivät kuitenkaan yksin pysty tutkimuksen mukaan estämään. Myös tien kapasiteettia ei pystytä näillä menetelmillä kasvattamaan. Muuttuvien nopeusrajoitusten tehokkuutta voidaan tutkimuksen mukaan parantaa automaattisella nopeudenvälvonnalla ja tiedottamalla autoilijoita syistä, miksi nopeusrajoituksia muutetaan.

Älykkäät liikennevalot, niin kutsutut kolmannen sukupolven adaptiiviset liikennevalot, ovat tärkeä osa kaupungin liikenteenhallintaa. Aikaisempien sukupolvien liikennevalojen toiminta on perustunut joko valmiiksi suunniteltuihin valo-ohjelmiin, joiden välillä vaihdellaan joko aikaperusteisesti tai liikennevirtojen mukaan, tai hitaasti liikennetilanteen mukaan tapahtuvaan valo-ohjelman automaattiseen muokkaukseen. Kolmannen sukupolven liikennevalot mukautuvat jatkuvasti liikennevirtoihin kommunikoiden sekä läheisten risteysten liikennevalojen että ajoneuvojen kanssa optimoidakseen toimintaansa. [36]

Edellä luetellut menetelmät liikenteen hallintaan ovat Gora *et al.* [33] mukaan tehokkaita ratkaisuja tapauksissa, joissa liikennettä on tutkittu pidemmän aikaa tai tehdään ennalta suunniteltuja muutoksia. Heidän mukaansa nämä ratkaisut eivät kuitenkaan ole riittäviä reagoimaan äkillisiin muutoksiin, joita saattaa seurata esimerkiksi liikenneonnettomuuden tai sään vaihteluiden takia. Liikennevalot ovat myös Gora *et al.* esittämässä ratkaisussa tärkeässä osassa, mutta kolmannen sukupolven liikennevaloista poiketen niiden ohjaus perustuisi laskentakeskuksissa jatkuvasti tapahtuvien simulointien pohjalta tehtyihin ratkaisuihin. Laskentakeskuksiin välitettäisiin reaaliaikaisen liikennetiedon lisäksi muun muassa sää tietoja. Laskentakeskukset olisivat yhteydessä lähialueen muihin keskuksiin koordinoitakseen liikennettä laajemmalla alueella.

<sup>14</sup> <http://www.transportation.institute.ufl.edu/>

Älykkään pysäköinnin vaikutusta liikenteeseen käsitellään tarkemmin luvussa 2.3.5.

### 2.3.4 Rakennusten kunnan seuranta

Zanella *et al.* [20] mukaan älykkäässä kaupungissa voitaisiin rakennusten kunnan seuranta laajentaa uudisrakennusten lisäksi koskemaan myös historiallisesti merkittäviä rakennuksia. Rakennusten kuntoa seurattaisiin Zanella *et al.* mukaan sekä itse rakennukseen että sen ympäristöön asennetuilla sensoreilla. Rakennuksen rakenteissa olevat sensorit mittaisivat muun muassa värinöitä ja muodonmuutoksia. Rakennuksen sisälle ja sen ympäristöön asennettavat anturit mittaisivat taasen esimerkiksi ilmansaasteiden määrää, ulko- ja sisälämpötilaa sekä kosteutta.

Rakennusten kunnosta saadun tiedon perusteella voitaisiin Zanella *et al.* mukaan suorittaa ennakoivaa korjausta. Yhdistämällä kunnan seurannasta saadut tiedot ja seismiset mitaukset voitaisiin saada lisäksi tietoa maanjäristysten vaikutuksesta rakennusten kuntoon. Zanella *et al.* mainitsevat lisäksi mittaustietojen julkaisemisen avoimena datana. Tällä tavalla voitaisiin lisätä kaupungin asukkaiden tietoisuutta historiallisten rakennusten ylläpidon eteen tehdystä työstä.

### 2.3.5 Älykäs pysäköinti

Manville *et al.* [37] mukaan autojen pysäköintipaikat vievät merkittävän osan kaupunkien ydinkeskustan pinta-alasta. 1960-luvulla esimerkiksi Los Angelesin ydinkeskustan pinta-alasta 21 % oli maanpäällisiä pysäköintipaikkoja. Tuoreemman tilaston mukaan – jos pysäköintipaikat olisivat maan tasalla erillisinä paikkoina eivätkä pysäköintitaloissa tai maan alla – pysäköintipaikat veisivät Manville *et al.* mukaan jopa 81 % Los Angelesin ydinkeskustan pinta-alasta. Pysäköintipaikkojen suuri lukumäärä lisää yksityisautoilua ja vähentää julkisen liikenteen käyttöä [38]. Lisäksi liikenteen aiheuttamat päästöt ovat yksi suurimmista kaupunkien ilmanlaatua heikentävistä tekijöistä [39]. Arviot pysäköintipaikkojen etsimisen aiheuttamasta liikenteestä kaupunkien ydinkeskustassa vaihtelevat 30 % ja yli 50 % välillä [40]. Pysäköintiongelmien parantaminen vaikuttaisi siis usealla eri tavalla kaupunkiin.

Lin *et al.* [38] mukaan älykkäällä pysäköinnillä on useita tavoitteita. Heidän mukaansa älykkään pysäköinnin tavoitteena on parantaa olemassa olevien pysäköintialueiden käyttöastetta, sekä vähentää liikennettä, joka johtuu vapaiden pysäköintipaikkojen etsimisestä. Liikennettä vähentämällä vähenevät myös liikenteen aiheuttamat ilmansaasteet. Pysäköintipaikkansa helpommin löytävät autoilijat myös poistuvat liikennevirrasta nopeammin ja tätä kautta pienentävät ruuhkia. Lin *et al.* mukaan tällä on myös taloudellisia vai-

kutuksia niin autoilijoille kuin kaupungille. Autoilijat säästävät polttoainekuluissa joutuessaan käyttämään vähemmän aikaa etsiessään vapaata pysäköintitilaa. Kaupungille älykäs pysäköinti tuo Lin *et al.* mukaan lisää tuloja useilla tavoilla:

- Koska autoilijat löytävät vapaat pysäköintipaikat helpommin saadaan niiden täyttöaste paremmaksi ja täten pysäköintimaksuja kertyy enemmän.
- Sujuva liikenne tuo kerrannaisvaikutuksena lisää asukkaita, aktiviteetteja ja yrityksiä alueelle.
- Älykkäillä pysäköintiratkaisuilla voidaan helposti havaita laittomat pysäköinnit ja laskuttaa pysäköitsijöitä näistä.

Älykkään pysäköinnin käyttöönotossa on kuitenkin useita avoimia asioita, jotka pitää ratkaista ennen sen laajemmalle leviämistä. Kirjallisuudessa [38, 41, 42] mainitaan etenkin autojen tunnistamiseen käytettävän teknologian luotettavuus yhdeksi tärkeimmäksi ratkaistavaksi ongelmaksi.

### 2.3.6 Älykäs valaistus

Kaupunkien katuvalaistuksessa on jo saavutettu taloudellisia säästöjä vaihtamalla perinteiset hehkulamppu- ja loisteputkivalaisimet vähemmän energiaa kuluttaviin led-valoihin [43]. Säästöjä voidaan myös saavuttaa sytyttämällä ja sammuttamalla valaistus kello- tai hämäräkytkimillä. Nämä tekniikat mahdollistavat kuitenkin valaistuksen palamisen vain täydellä teholla tai ei lainkaan [44]. Led-valaistustekniikkaan siirtymisen myötä myös valojen kirkkauden säätö on helpompaa ja tarjolla onkin kaupallisia ratkaisuja<sup>15</sup> joiden avulla katuvalaistusta voidaan himmentää kellonaikoina, jolloin liikenteen oletetaan olevan vähäistä. Katuvalaistuksen kirkkautta voidaan myös säädellä ympäristön valoisuuden mukaan. Lau *et al.* [44] kuitenkin toteavat, että tällä tavalla toteutettuna valaistuksen alkuperäinen tarkoitus hämärtyy. Heidän mukaansa valaistuksen sammuttaminen voi aiheuttaa rikollisuutta tai ongelmia liikkumisessa.

Älykkäessä valaistuksessa katuvalaistukseen liitetään sensoreita, joiden avulla voidaan aktiivisesti seurata ympäristöä ja tämän perusteella säädellä valaistusta. Suurimmat säästöt energiankulutuksessa saavutetaan vähentämällä valaistusvoimakkuutta tai sammuttamalla valaistus kokonaan, jos valaistukselle ei ole tarvetta. Tällaiset ratkaisut vaativat joko liikenteen ennustamista, liikenteen tunnistamista tai näiden yhdistelmiä.

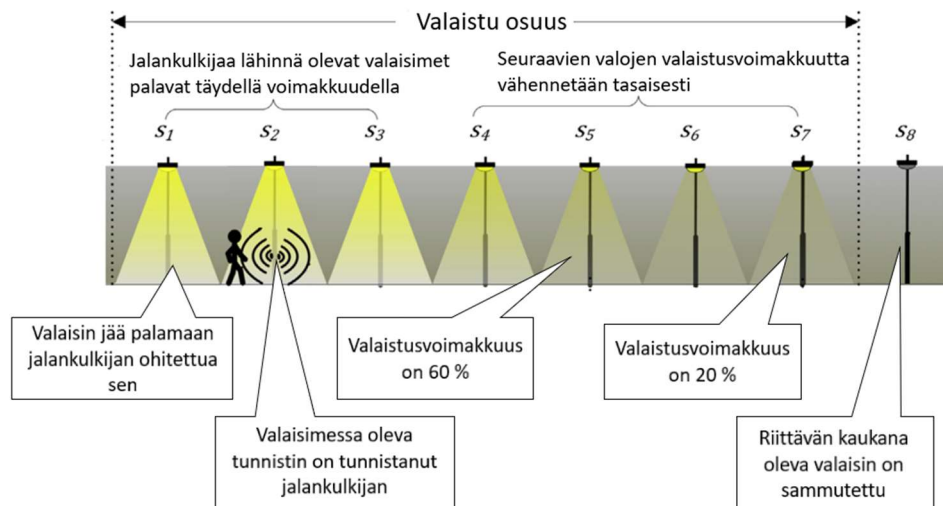
Kirjallisuudessa mainitaan useita vaihtoehtoisia tekniikoita, joilla liikenteen tunnistaminen voidaan toteuttaa. Liikenne voidaan tunnistaa esimerkiksi kuvantunnistusmenetelmillä, infrapuna-kameroilla, meluntunnistimilla, värinäntunnistimilla tai ultraäänellä [44–

<sup>15</sup> Esimerkiksi Philips Chronosense ja Northcliffe ADIM

46]. Myös liikkujien matkapuhelimeen asennettavaa sovellusta ja laitteessa itsessään olevia paikannusmenetelmiä on ehdotettu liikenteen tunnistamiseen [47]. Lau *et al.* [44] kuitenkin kritisoivat tätä lähestymistapaa tuoden esiin kolme ongelmaa: (i) toiminta vaatii, että jokainen liikkuja omistaa internet-yhteydellä ja paikannusmenetelmillä varustetun matkapuhelimen, (ii) edellä mainittujen ominaisuuksien käyttö matkapuhelimessa tyhjentää akun nopeasti, (iii) käyttäjän sijaintitietojen käyttö vaatii vahvaa anonymiteettiä yksityisyyden suojan takia.

Koska liikenteen tunnistusmenetelmien kantama on rajattu, ei pelkästään tunnistamiseen perustuva valaistus riitä esimerkiksi ajoneuvoliikenteelle [46]. Valaisimissa täytyy siis olla mahdollisuus kommunikointiin muiden valaisimien kanssa. Tällä tavalla valaisimet voivat koordinoida valojen sytyttämistä, sammuttamista ja valaistusvoimakkuuden säätämistä keskenään. Koordinoinnissa voidaan ottaa myös huomioon eri liikennemuotojen aiheuttamat vaatimukset valaistukselle.

Esimerkki tällaisesta älykkäästä valaistuksesta on kuvassa 6. Esimerkissä valaisimessa  $S_2$  oleva tunnistin on havainnut jalankulkijan ja kyseisen valaisimen valaistusvoimakkuus säädetään täysille. Myös havainnon tehnyttä valaisinta edeltävä valaisin  $S_1$  ja seuraava valaisin  $S_3$  palavat täydellä voimakkuudella. Kulkusuunnassa seuraavien valaisimien  $S_4 - S_7$  valaistusvoimakkuutta säädetään etäisyyden mukaan; valaistusvoimakkuutta vähennetään tasaisesti siten, että haluttu osuus tiestä saadaan valaistua. Riittävän kaukana oleva valaisin  $S_8$  ei ole vielä syttynyt. [44]



**Kuva 6.** Esimerkki älykkäästä katuvalaistuksesta, jossa valaisimen valaistusvoimakkuus säätyy jalankulkijan sijainnin perusteella. (perustuu lähteeseen [44])

Jin et al. [45] mukaan verkotetussa älykkäässä valaistuksessa on otettava huomioon myös kyberturvallisuus. He mainitsevat neljä tavoitetta mahdolliselle verkkoon tunkeutumiselle, (i) kommunikointiverkkoon tunkeutuminen, (ii) palvelimeen tunkeutuminen, (iii) palvelun keskeyttäminen ja (iv) tiedon kerääminen tai vuotaminen.

## 2.4 Rakennuksen energiankulutuksen seuranta

Rakennuksen energiankulutuksen tarkempi seuranta ja tätä kautta säästökohteiden löytäminen mainitaan kirjallisuudessa [13, 19, 24, 48, 49] usein tärkeäksi, ellei tärkeimmäksi syyksi päästä käsiksi rakennusautomaatiojärjestelmän tietoihin. Rakennusautomaatiojärjestelmät (engl. *Building Automation Systems*, BAS) käsittävät rakennuksissa olevat hallinta- ja kommunikaatioverkot, joilla hallitaan taloteknisiä lämpö-, vesi-, ilmastointi- ja sähköjärjestelmiä (LVIS). Järjestelmä koostuu sensoreista, aktuaattoreista, sekä kommunikaatio- ja prosessointiyksiköistä. [48]

Perinteiset rakennusautomaatiojärjestelmät ja niiden osa-alueet toimivat erillisinä yksiköinä. Järjestelmätoimittajia on useita ja järjestelmät ovat suljettuja sekä toisistaan eristettyjä. Tämä rajoittaa automaatiojärjestelmän integroimista muihin tietojärjestelmiin [19]. Edellä mainittujen rajoitusten takia rakennusten omistajat eivät saa helposti selville, kuinka paljon rakennukset käyttävät energiaa, ja miten yksittäisen rakennuksen energiankulutus vertautuu muihin vastaavantyyppisiin ja -kokoisiin rakennuksiin. Ratkaisuksi integraatio-ongelmiin McGibney *et al.* [19] määrittelevät IoT-pohjaisen avoimen rakennusten hallintajärjestelmän (engl. *Open Building Management System*, OpenBMS). Ratkaisulla ei kuitenkaan ole tarkoitus korvata olemassa olevia rakennusautomaatiojärjestelmiä, vaan erilaisten yhdyskäytävien avulla olemassa olevat järjestelmät kytkettäisiin internetiin.

Dietrich *et al.* [48] mainitsevat yhdeksi ratkaisuksi rakennusten energiankulutuksen seurantaan niin kutsutut energiatietojärjestelmät (engl. *Energy Information Systems*, EIS). Järjestelmät tarjoavat työkaluja rakennuksen energiankulutuksen tallennukseen, seurantaan ja analysointiin. Järjestelmien käyttöliittymät ovat yleensä verkkopohjaisia ja niihin voidaan liittää mukaan muita rakennuksessa olevia antureita, esimerkiksi hiilidioksidiantureita. Osassa energiatietojärjestelmiä on myös mahdollisuus hallita rakennusautomaatiota [50]. Kuvassa 7 on esitetty esimerkkiratkaisu EIS-järjestelmän käyttöliittymästä, jossa on näkyvissä esimerkiksi kohteen tuntikohtainen sähkönkulutus. Energiatietojärjestelmät ovat nimensä mukaisesti tarkoitettu rakennuksen energiankulutuksen seurantaan ja hallintaan. Kun automaatioon otetaan mukaan turvallisuuteen, tilojen käyttöön ja rakennusten kunnossapitoon liittyvät asiat, voidaan puhua älykkäistä rakennuksista.





**Kuva 7.** Energiatietojärjestelmissä rakennuksen energiankulutusta voidaan havainnollistaa useilla menetelmillä. Kuvassa näkymä Honeywell Attune Advisory Service EIS -järjestelmästä.

Jotta rakennuksen lämmitykseen käytetty energiankulutus olisi vertailukelpoinen eri ajanjaksojen kanssa, täytyy vertailussa ottaa huomioon lämmityshetkellä ulkona vallinnut lämpötila. Vertailun mahdollistamiseksi käytetään niin kutsuttua lämmitystarvelukua (engl. *degree-days*) joka kertoo tietyn peruslämpötilan ja ulkolämpötilan erotuksen summan tiettyinä ajanjaksona. Peruslämpötilana, eli laskennallisena rakennuksen sisälämpötilana Suomessa käytetään  $+17\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Rakennuksen sisäisten lämmönlähteiden, kuten valaistuksen ja koneiden, ajatellaan kattavan laskennallisen ja todellisen sisälämpötilan erotuksen. [51]

Kirjallisuudessa lämmitystarveluvun laskentaan on esitetty useita tapoja. Tavat riippuvat käytettävissä olevista lämpötilamittauksista. Lämmitystarveluvun tarkkuus riippuu käytettyjen lämpötilojen mittaustiheydestä. Tarkkuuden mukaan järjestettynä – tarkimmasta epätarkimpaan – lämmitystarveluvun laskennassa voidaan käyttää [52]:

- tunneittain mitattua ulkolämpötilaa
- vuorokauden keskilämpötilaa
- vuorokauden matalinta ja korkeinta lämpötilaa
- kuukauden keskilämpötilaa.

Suomessa käytetään yleisesti vuorokauden keskilämpötilaa lämmitystarveluvun laskennassa. Laskemalla kuukauden vuorokausien lämmitystarveluvut yhteen, saadaan kuukausikohtainen lämmitystarveluku, jonka muun muassa Ilmatieteen laitos julkaisee sivuillaan. Kuukauden lämmitystarveluku  $S_{Tm}$  lasketaan kaavalla

$$S_{Tm} = \sum_{j=1}^p (T_b - \bar{T}_{d,j})^+, \quad (1)$$

jossa  $p$  on kuukauden vuorokausien lukumäärä. Notaatiolla  $()^+$  tarkoitetaan, että peruslämpötilan  $T_b$  ja kuukauden  $j$ :nen vuorokauden keskilämpötilan  $\bar{T}_{d,j}$  erotuksista huomioidaan vain positiiviset arvot. Kuukausittaisia lämmitystarvelukuja laskettaessa huomiioon ei oteta vuorokausia, joiden keskilämpötila  $\bar{T}_{d,j}$  on ajanjaksolla tammikuusta kesäkuuhun vähintään  $+10$  °C tai heinäkuusta joulukuuhun vähintään  $+12$  °C. [53]

Jotta saman rakennuksen lämmitykseen käytettyä energiankulutusta voidaan verrata eri ajankohtina, joudutaan tekemään normitus. Normituksessa toteutunutta lämmitystarvelukua verrataan normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarvelukuun vertailupaikkakunnalla. Vertailukautena käytetään tällä hetkellä vuosien 1981–2010 lämmitystarvelukujen keskiarvoa. Koska lämmitystarveluku lasketaan vain tietyille vertailupaikkakunnille, käytetään tarvittaessa kuntakohtaisia korjauskertoimia normeeraaman tulos joko lähimpään vertailupaikkakuntaan tai Jyväskylään. [53]

Tilojen lämmittämiseen kulutetusta energiasta  $Q_T$  saadaan normitettu kulutus  $Q_{norm}$  kaavalla

$$Q_{norm} = \frac{S_N}{S_T} \cdot Q_T, \quad (2)$$

jossa  $S_N$  on vertailukauden lämmitystarveluku ja  $S_T$  toteutunut lämmitystarveluku. Tätä kaavaa voidaan käyttää vertailtaessa saman rakennuksen lämmitysenergian kulutusta eri ajankohtina. [54]

### 3. TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT AINEISTOT JA TIE-TOJÄRJESTELMÄT

Tässä työssä käytetään sekä kaupungin omaa dataa että julkisen sektorin tuottamaa avointa dataa. Datan avoimuus on lisääntynyt viime aikoina huomattavasti, joten organisaation oman datan rikastaminen muilla tietolähteillä on helpottunut. Kaikkia avoimen datan jakamisen perusteita ei julkinen sektori kuitenkaan noudata. Esimerkiksi useat toimijat vaativat avoimen datan periaatteiden vastaisesti rekisteröitymistä palveluun ennen datan lataamista.

Paikkatietojärjestelmät ovat tässä työssä oleellisessa osassa. Työn tilaajan toiveena oli, että työ toteutetaan organisaation omissa paikkatietojärjestelmissä. Koska suurin osa käytetystä datasta sisältää paikkatietoa, on tämä myös luonnollinen ympäristö käsitellä dataa.

#### 3.1 Paikkatietojärjestelmät

Geoinformatiikan sanaston 4. laitos määrittelee paikkatietojärjestelmän (engl. *Geographic Information System*, GIS) seuraavalla tavalla [55]:

”järjestelmä, jonka avulla voidaan tallentaa, hallita, analysoida tai esittää paikkatietoa”

Huomautuksena sanastossa mainitaan lisäksi:

”Paikkatietojärjestelmä koostuu laitteistoista, ohjelmistoista, paikkatietoaineistoista, käyttäjistä ja käytänteistä. Paikkatietojärjestelmät voidaan jakaa käyttötarkoituksen perusteella tapahtuma- ja tiedonhallintapainotteisiin tietojärjestelmiin sekä analyysipainotteisiin päätöksenteon tukijärjestelmiin.”

Paikkatietojärjestelmät<sup>16</sup> mahdollistavat siis paikkaan liittyvän tiedon hallinnan, tilastoinnin ja analysoinnin. Järjestelmät mahdollistavat yleensä myös ei-paikkatietodatan liittämisen erilaisilla tavoilla paikkatietoon. Paikkatietojärjestelmien markkinoita on jo jonkin aikaa hallinnut Environmental Systems Research Institute, Inc. (Esri tai ESRI). Tuoreita tilastoja markkinaosuudesta ei ole saatavilla, mutta Esrin oman uutisen mukaan heidän

---

<sup>16</sup> Käytän tässä termiä paikkatietojärjestelmä tarkoittamaan sekä itse paikkatieto-ohjelmistoa että sen ympärille rakennettuja järjestelmiä

tuotteidensa markkinaosuus oli vuonna 2015 yli 40 % [56]. Vaihtoehtoisia järjestelmiä on kuitenkin useita. Paikkatietoon keskittynyt GISGeography.com -sivusto luettelee artikkelissaan<sup>17</sup> kolmekymmentä eri työpöytäjärjestelmää.

Paikkatietojärjestelmät ovat siirtymässä verkkopohjaisiksi. Verkkopohjaisten paikkatietojärjestelmien termi kattaa lähteestä riippuen sovellukset yksinkertaisista kartan katseluohjelmista [57] täysimittaisiin, työpöytäsovellukset korvaaviin järjestelmiin [58]. Myös erilaiset pilvipalveluissa tarjottavat paikkatietoratkaisut luetaan kuuluvaksi verkkopohjaisiin paikkatietojärjestelmiin [59].

### 3.1.1 Paikkatietojärjestelmät älykkäässä kaupungissa

Paikkatietojärjestelmät ovat tärkeässä osassa älykkäissä kaupungeissa [60]. Agrawal & Gupta [57] mukaan 80 % tiedosta sisältää paikkatietoa. Kuten aikaisemmin esitetyistä älykkään kaupungin sovelluksista havaittiin, on monessa paikkatieto tärkeässä osassa.

Kirjallisuudessa on käsitelty älykkään kaupungin ja paikkatietojärjestelmän välistä yhteyttä. Tao [61] lähestyy paikkatietojärjestelmien käyttöä älykkäässä kaupungissa kolmen esimerkin kautta. Hänen mainitsemansa esimerkit ovat paikkatietojärjestelmäpohjainen liikenne ja liikkuvuus, paikkatietopohjainen riskienhallinta ja paikkatietopohjainen urbaani suunnittelu. Paikkatietopohjaisen liikenteen ja liikkuvuuden Tao jaottelee tarkemmin kolmeen kategoriaan: (i) navigointi ja reitinhaku, (ii) teiden kunnossapito ja onnettomuuksien tutkinta ja (iii) liikenteen suunnittelu. Tao tuo esiin myös joukkoistetun paikkatiedon (engl. *Volunteered Geographic Information*, VGI), jolla tarkoitetaan yhteisön osallistamista paikkatiedon tuottamiseen. Taon mukaan joukkoistamista voitaisiin käyttää esimerkiksi liikennetietojen keräämiseen. Tähän tekniikkaan perustuvat esimerkiksi monet reaaliaikaisia liikennetietoja verkossa esittävät palvelut [62].

Afaneh & Shahrour [63] esittävät paikkatietojärjestelmän käyttämistä kokonaisen älykaupungin tiedon hallintaan ja visualisointiin. Esimerkkinä he käyttävät Lillen yliopiston kampusta, joka kokoluokaltaan vastaa pientä kaupunkia. Kampuksella voidaan tarkastella esimerkiksi juoma- ja jäteveden sekä sähkönkulutuksen tilastoja. Tilastoja voidaan tarkastella joko erillisellä verkkopohjaisella sovelluksella tai paikkatietoon yhdistettynä paikkatietojärjestelmässä.

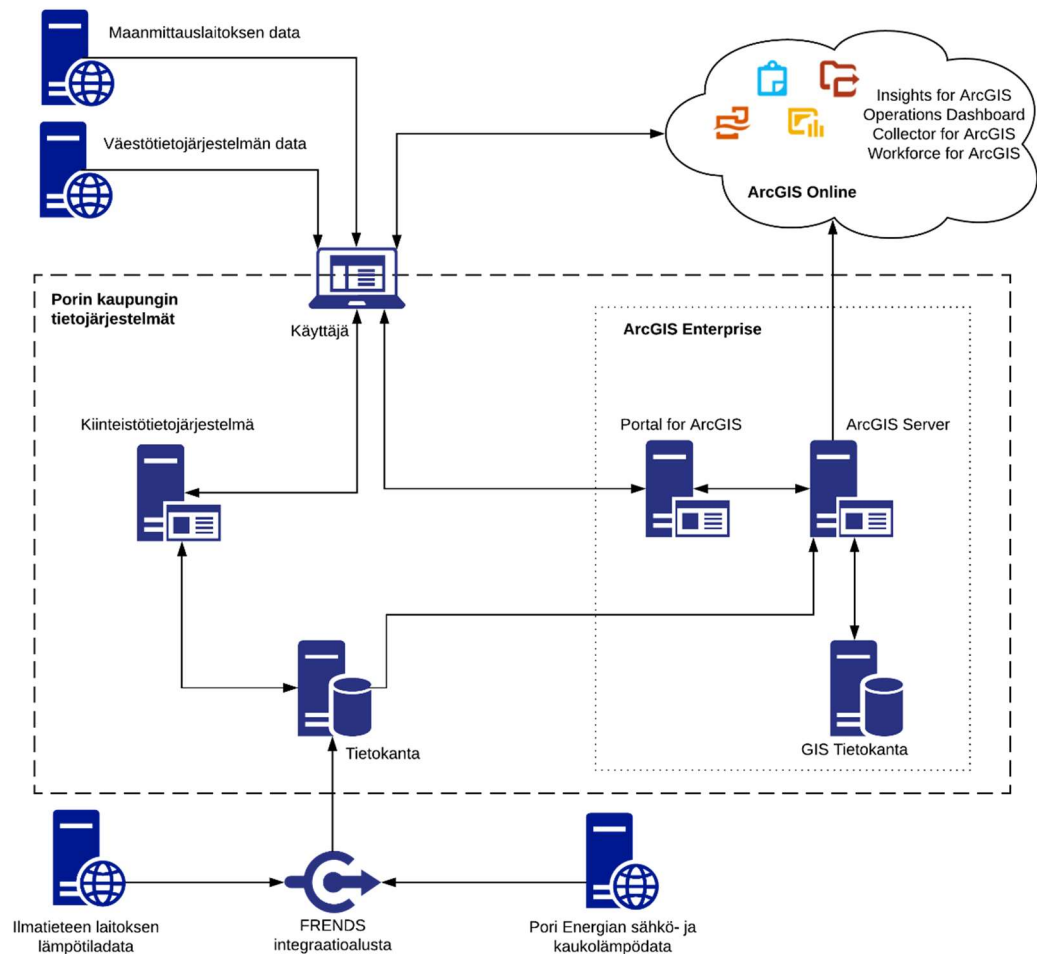
### 3.1.2 Porin kaupungin paikkatietojärjestelmät

Porin kaupungilla on käytössään useita paikkatietojärjestelmiä. Tämän työn kannalta oleelliset paikkatietojärjestelmät ovat Esrin toimittamia. Esrin tuotteista kaupungilla on

---

<sup>17</sup> <https://gisgeography.com/mapping-out-gis-software-landscape/>

käytössä muun muassa työpöytäsovellukset ArcGIS Pro ja ArcMap. Paikkatietopalvelimenä kaupungilla on käytössä Esrin ArcGIS Enterprise -tuoteperhe, joka sisältää muun muassa kaupungin sisäverkkoon asennetut ArcGIS Server- ja Portal for ArcGIS -palvelimet. Työhön liittyvien paikkatietojärjestelmien rakenne on esitetty kuvassa 8. Kuvassa on esitetty myös työssä käytetyt tietolähteet sekä sovelluksia joita työn tekemisessä käytettiin.



**Kuva 8.** Työn kannalta oleelliset Porin kaupungin tietojärjestelmät, tietolähteet sekä työn toteutukseen käytettävät sovellukset.

Portal for ArcGIS -palvelimen käyttöönotto oli tämän työn aikana vielä kesken, joten työ toteutettiin ArcGIS Online -pilvipalvelussa. ArcGIS Online -pilvipalvelu on Esrin tarjoama pilvipohjainen paikkatietojärjestelmä, jota tarjotaan ohjelmisto palveluna (engl. *Software as a Service*, SaaS) -konseptilla. ArcGIS Online -pilvipalvelu mahdollistaa paikkatiedon käsittelyn selaimen avulla. Pilvipalvelussa voidaan luoda paikkatietoa, hallita sitä ja suorittaa sen perusteella tilastointia, analyysyjä ja visualisointeja. Selainpohjaisuuden vuoksi ArcGIS Online -pilvipalvelu ei kuitenkaan korvaa täysin työpöytäsovelluksia. Työpöytäsovelluksiin verrattuna pilvipalvelussa on esimerkiksi tarjolla vain rajallinen

määrä analysointityökaluja. ArcGIS Online -pilvipalvelu soveltuukin parhaiten muilla työkaluilla luotujen karttojen julkaisemiseen. Pilvipalvelussa on tarjolla myös useita erilisiä sovelluksia datan raportointiin ja jakamiseen.

## 3.2 Avoin data

Tim Berners-Lee määritteli TED2009 puheessaan [64] avoimen datan – erityisesti linkitetyn sellaisen – seuraavaksi suureksi askeleeksi internetin kehityksessä. Hänen mielestään etenkin veronmaksajien rahoilla tuotettu data pitäisi olla kaikkien käytettävissä muokkaamattomana. Voittoa tavoittelematon Open Knowledge Internationalin määrittelyssä [65] aineisto on avointa, jos se täyttää tietyt ehdot. Näistä ehdoista oleelliset on poimittu seuraavaan listaukseen:

- Datan pitää olla kokonaisuudessaan helposti saatavilla enintään kohtuullista luovutuskorvausta vastaan.
- Data pitää saada jakaa uudelleen ilman maksuja.
- Dataa pitää voida muokata ja muokattuja aineistoja jakaa alkuperäisen aineiston ehdolla.
- Datalle ei pidä asettaa teknisiä rajoitteita, jotka rajoittaisivat uudelleen jakamista tai muokkausta.
- Jos datan käytön ehtona on, että aineiston tekijät mainitaan, on viittaaminen tehtävä helpoksi.
- Datan käytön ehdot eivät saa syrjiä henkilöitä, ryhmiä, tai käyttökohteita.

Avoimen datan tarjonta on yleistynyt internetin leviämisen myötä, sillä datan jakamisen kustannus on tullut hyvin pieneksi [66]. Suomessa avoimen datan keskitettynä jakelualustana toimii avoindata.fi-palvelu, joka julkaistiin vuonna 2014. Julkisen sektorin lisäksi myös yritykset voivat käyttää palvelua avoimen datan tai metatietojen julkaisuun. Palvelu on osa valtiovarainministeriön avoimen tiedon ohjelmaa ja sitä kehittää ja ylläpitää Väestörekisterikeskus [67]. Avoindata.fi -palvelu toimii myös rajapintana Euroopan unionin avoimen datan portaaliin.

Paikkatietoon liittyvän datan avoimuutta Euroopassa on lisännyt Euroopan unionin INSPIRE (*Infrastructure for spatial information in Europe*) -direktiivi. Direktiivissä määrätään, että ympäristöpolitiikkaan liittyvien paikkatietojen on oltava haettavissa, katseltavissa ja ladattavissa verkkopalvelujen kautta. Paikkatiedot on jaettu kolmeen paikkatietoryhmään, joista osa oli saatettava tarjolle 23.11.2017 mennessä. Kaikkien kolmen paikkatietoryhmän tietojen pitää olla saatavilla viimeistään 21.10.2020. Direktiiviin liittyvät

asetukset<sup>18</sup> määrittelevät yhteiset tietomallit, joiden mukaan tieto on esitettävä. Vaikka direktiivi on ensisijaisesti annettu viranomaisten välisen tiedonvaihdon helpottamiseen, on kuitenkin direktiivin taustatiedoissa mainittu myös tietojen avoimuus [68]:

” (19) Jäsenvaltioiden kokemusten perusteella paikkatietoinfrastruktuurin onnistunut toteuttaminen edellyttää, että ainakin jotkut palvelut ovat kansalaisille maksuttomia. Jäsenvaltioiden olisi näin ollen annettava kansalaisten käyttöön maksutta vähintään paikkatietoaineistojen hakupalvelut ja tiettyjen erityisehtojen mukaisesti katselupalvelut. ”

Suomessa INSPIRE-direktiivi on saatettu voimaan lailla paikkatietoinfrastruktuurista<sup>19</sup>. INSPIRE:n mukaisesta kansallisesta hakupalvelusta Suomessa huolehtii Maanmittauslaitoksessa toimiva INSPIRE-sihteeristö. Suomessa vuonna 2016 noin 36 % paikkatietoaineistoista oli saatavilla katselu- tai latauspalveluista. Näiden palveluiden INSPIRE yhteensopivuus oli noin 23 %. [69]

Avoimen paikkatietodatan tarjonnan lisääntyminen vaatii myös alustasta riippumattomia menetelmiä tiedon jakamiseen. Kansainvälinen OGC (*Open Geospatial Consortium*) -konsortio tuottaa standardeja, joiden avulla verkkopohjainen paikkatieto voidaan jakaa sen tuottamiseen käytetystä alustasta riippumatta. OGC:n määrittelemiä standardeja ovat muun muassa GML (*Geography Markup Language*), WFS (*Web Feature Service*) ja WMS (*Web Map Service*). GML määrittelee XML (*eXtensible Markup Language*) -pohjaisen paikkatietokohteiden mallinnustavan. WMS-palvelu mahdollistaa paikkatiedon noutamisen kuvamuodossa. WFS-palvelu taas mahdollistaa vektoripohjaisen paikkatiedon noutamisen verkkopalvelusta. [57]

Tässä työssä käytetään hyväksi julkisen sektorin tuottamaa avointa dataa. Työssä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Väestörekisterikeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen tuottamaa dataa.

### 3.2.1 Maanmittauslaitoksen avoin data

Maanmittauslaitos (MML) tarjoaa avoimien aineistojen tiedostopalvelussa<sup>20</sup> maksutta avoimia kartta- ja ilmakuva-aineistoja. MML:n avoimet tietoaineistot on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 -lisenssillä (CC BY 4.0), joka mahdollistaa tietojen käytämisen vapaasti. Tietoja käytettäessä on mainittava lisenssinantajan nimi, aineiston nimi, ja ajankohta, jolloin lisensoija on tiedot antanut käyttöön. [70]

<sup>18</sup> Komission asetus (EU) N:o 1089/2010, annettu 23 päivänä marraskuuta 2010, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2007/2/EY täytäntöönpanosta paikkatietoaineistojen ja -palvelujen yhteentoimivuuden osalta

<sup>19</sup> Laki paikkatietoinfrastruktuurista 421/2009. Annettu Helsingissä 12.6.2009.

<sup>20</sup> <https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>

Avoimien aineistojen tiedostopalvelun lisäksi Maanmittauslaitoksen avoimet tietoaineistot ovat käytettävissä INSPIRE-direktiivissä määriteltyjen rajapintojen kautta. Tässä työssä päädyttiin kuitenkin käyttämään tiedostopalvelun kautta ladattavia tuotteita rajapinnan kautta käytettävien ratkaisujen sijasta. Päätökseen vaikuttivat kolme asiaa: (i) INSPIREn mukaisen WFS-rajapinnan käyttö työn tekemiseen käytetyssä paikkatietojärjestelmässä ei onnistu ilman erillistä maksullista lisäosaa, (ii) WMS-rajapintaa voidaan käyttää ilman erillistä lisäosaa, mutta kuvamuotoisen paikkatiedon käsittely vaikeuttaa tässä tapauksessa tilastojen tekoa ja (iii) kehitettävien sovellusten osalta tietojen ajantasaisuus ei ole kriittinen vaatimus.

Avoimien aineistojen tiedostopalvelussa on karttapohjainen käyttöliittymä, jonka avulla valitaan halutut karttalehdet ja tuotteet, joilta tiedot halutaan. Vektorimuotoisista tiedoista voidaan valita myös tiedostomuoto, jossa tiedot halutaan. Vaihtoehtoina tiedostomuodolle ovat Esri shapefile, MapInfo MIF/MID tai Geography Markup Language (GML). MML:n avoimien aineistojen tiedostopalvelun käyttöliittymä on kuvattu kuvassa 9.

Avoimen datan periaatteiden vastaisesti tiedostoja ei voi suoraan ladata palvelusta, vaan haluttujen tuotteiden valinnan jälkeen on tehtävä lataustilaus. Lataustilauksen yhteydessä on annettava sähköpostiosoite. Latauslinkki tilattuihin tuotteisiin saapuu sähköpostiin, kun tilaus on valmis. Lataustilauksen tekemisen ja linkin saapumisen välillä kului tähän työhön liittyvissä latauksissa muutamia minuutteja.

Maanmittauslaitoksen tarjoamista avoimista tiedoista työn kannalta oleellisia ovat maastotietokanta ja kiinteistörekisterikartta. Maastotietokanta sisältää useita erillisiä paikkatietoaineistoja, kuten tiestö, rautatiestö, johtoverkosto ja rakennukset. Aineistot ovat vektorimuotoisia paikkatietoja. Kohteen muotona voi olla piste, viiva tai alue. Pisteinä voidaan kuvata esimerkiksi vesikuopat. Alueen kuvaaman kohteen tunnistetieto, esimerkiksi vesistön nimi, esitetään alueen sisään sijoitetulla pistemäisellä aluetunnuksella. [71]

Kiinteistörekisterikartta sisältää itsenäiset maanomistuksen yksiköt, kuten kiinteistöt ja muut rekisteriyksiköt. Kiinteistörekisteri on vektorimuotoista paikkatietoaineistoa ja se sisältää palsta-alueet, kiinteistöjen rajat ja niitä kuvaavat rajamerkit sekä palstatunnukset. Palsta-alueet kuvataan sulkeutuvina alueina ja kiinteistöjen rajat viivoina. Palstatunnus sekä rajamerkki esitetään pisteinä.



**MML**  
MAAN-  
MITTAUS-  
LAITOS

Avoimien aineistojen tiedostopalvelu

SUOMEKSI PÅ SVENSKA IN ENGLISH

**Valitse tuote**

Hae tuotteita

- Maastokarttarasteri 1:500 000 (1)
- Maastokarttarasteri 1:500 000 (1)
- Maastotietokanta (2)
- kaikki kohteet
- Tiestö osoitella
- Nimistö (11)
- Ortoilmakuva (2)
- Peruskarttarasteri (3)
- Taustakarttasarja (11)

**taustakartta**

100%

**kaikki kohteet**

Valinnat

**Valitse tiedostomuoto**

ESRI shapefile

**Valitse koordinaatisto**

etrs-tm35fin

**1**

**2**

**3**

Haku

Valitut tuotteet

**Kiinteistörekisterikartta**

vektori, kaikki kohteet (4/100)

- M3412F
- M3412D
- M3412C
- M3412E

**Maastotietokanta**

kaikki kohteet (2/100)

- M3412L
- M3412R

Tyhjiennä

Tee lataustilaus

N: 6818456 E: 214312

**Kuva 9.** Maanmittauslaitoksen aineistojen tiedostopalvelun käyttöliittymä. Vasemman reunan (1) valintojen avulla voidaan valita ladattava tuote. Keskellä (2) olevasta kartasta valitaan haluttu alue, jolta kartat ladataan. Oikeassa reunassa (3) näkyvät jo ladattavaksi valitut aineistot.

Kuvassa 10 on visualisoitu maastotietokannasta ja kiinteistörekisterikannasta tämän työn kannalta oleellisia tietoja. Porin kaupunginsairaala on kartassa keskellä. Paikkatietojärjestelmän harmaan taustakartan päälle on lisätty maastotietokannasta rakennuksien rajoja kuvaavat ääriviivat. Koska MML:n maastotietokanta on uudempaa aineistoa kuin taustakartta-aineisto, on sairaalan alueella havaittavissa uusia rakennuksia. Kiinteistörekisterikartasta karttaan on piirretty kiinteistöjen rajamerkit ja niiden kautta kulkeva kiinteistön raja. Osaan kiinteistöistä on lisätty esimerkin vuoksi kiinteistötunnuksen sisältävä piste.



**Kuva 10.** Maanmittauslaitoksen maastotietokannan ja kiinteistörekisterikannan tietoja visualisoituna. Nuolet osoittavat taustakartasta puuttuvat rakennukset.

### 3.2.2 Väestötietojärjestelmän avoin data

Maanmittauslaitoksen avoimesti saatavilla olevan maastotietokannan rakennustiedot eivät sisällä rakennuksen yksilöivää rakennustunnusta, rakennuksen kokoa tai rakennuksen käyttötarkoitusta. Nämä tiedot ovat tallennettu väestötietojärjestelmän osoitetietojärjestelmään [72]. Väestötietojärjestelmä sisältää siis henkilötietojen lisäksi rakennus- ja huoneistorekisterin. Rakennus- ja huoneistorekisterin sisältämät tiedot on kuvattu valtioneuvoston asetuksessa väestötietojärjestelmästä. Rekisteri sisältää muun muassa seuraavat tiedot rakennuksista [73]:

- omistaja
- kiinteistötunnukseen perustuva rakennustunnus
- pysyvä rakennustunnus
- rakennuksen koordinaatit ja osoite
- rakennuksen käyttötarkoitus
- rakennuksen tilavuus, kerrosluku ja kerrosala.

Vuonna 2014 otettiin väestötietojärjestelmässä käyttöön pysyvä rakennustunnus. Pysyvä rakennustunnus ei enää perustu sen kiinteistön kiinteistötunnukseen, jossa rakennus si-

jaitsee. Pysyvä rakennustunnus yksilöi rakennuksen ja se luodaan ainakin kaikille rakennusluvan tarvitseville rakennuksille. Pysyvä rakennustunnus ei muutu rakennuksen olemassaoloaikana, eikä se myöskään muutu, vaikka sijaintikiinteistön kiinteistötunnus muuttuisi. [74]

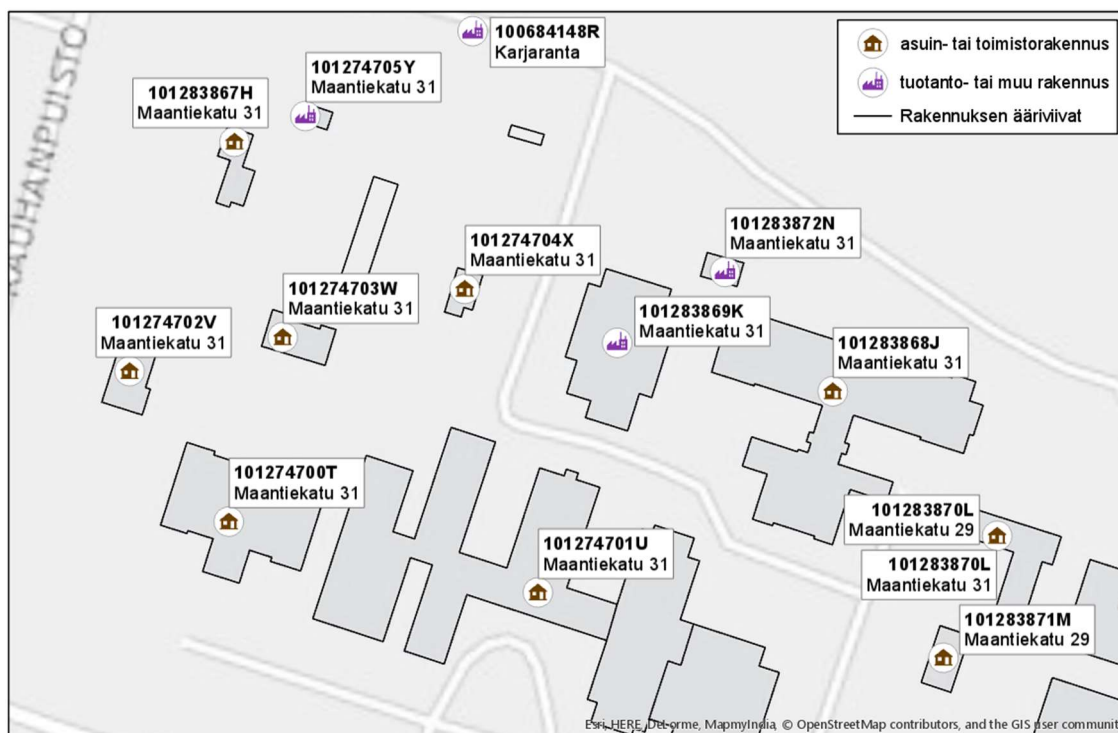
Väestötietojärjestelmän tiedot eivät ole julkisia. Tietojen käyttö vaati Väestörekisterikeskuksen myöntämän tietoluvan ja tietojen käyttö on yleensä maksullista. Avoimena datana on kuitenkin julkaistu osa rakennus- ja huoneistorekisterin tiedoista. MML:n tietoaisteiden tapaan väestötietojärjestelmästä avoimena datana julkaistu tietoaisteisto on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 -lisenssillä (CC BY 4.0). Tietoaisteisto päivitetään neljä kertaa vuodessa ja siihen on koottu seuraavat tiedot valmiista ja keskeneräisistä rakennuksista [75]:

- katuosoite, talonnumero ja postinumero
- koordinaatit WGS84-muodossa
- pysyvä rakennustunnus
- rakennuksen käyttötarkoitus
- sijaintimaakunta ja sijaintikunta.

Rakennuksen käyttötarkoitus on väestötietojärjestelmän sisältämistä tiedoista poiketen supistettu kahteen vaihtoehtoon; rakennus voidaan kategoroida seuraavilla tavoilla:

1. asuin- tai toimitilarakennus
2. tuotanto- tai muu rakennus.

Kuvassa 11 on visualisoitu rakennus- ja huoneistorekisterissä olevia tietoja kartalle. Karttaan on visualisoitu rakennuksen yksilöivä rakennustunnus, rakennukselle annettu katuosoite sekä rakennuksen kategoria. Visualisoinnista voidaan havaita, että sama rakennustunnus (101283870L) voi esiintyä kartalla useita kertoja. Tämä johtuu siitä, että yhdelle rakennukselle voidaan tallentaa enintään neljä osoitetta rakennus- ja huoneistorekisteriin [72]. Nämä eri osoitteet samalle rakennukselle ovat omina riveinään avoimen datan siirtotiedostossa.



**Kuva 11.** Rakennus- ja huoneistorekisterin sisältämän rakennustunnuksen visualisointi kartalla. Sama rakennustunnus voi esiintyä kartalla useita kertoja, jos rakennuksella on useita osoitteita.

### 3.2.3 Ilmatieteen laitoksen avoin data

Ilmatieteen laitoksen avoimen datan palvelut avattiin helmikuussa 2013 [76]. Ilmatieteen laitoksen avoimen datan alusta täyttää INSPIRE-direktiivin vaatimukset, mutta sisältää myös muita tietoja. Kuten Maanmittauslaitoksen avoin data, myös Ilmatieteen laitoksen data on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 -lisenssillä.

Avoimen datan periaatteiden vastaisesti myös Ilmatieteen laitoksen tietojen käyttö vaatii tunnistautumista. Ilmatieteen laitoksen avoimen datan käyttäminen vaatii niin sanotun API (*Application Programming Interface*) -avaimen. API-avaimen saaminen vaatii rekisteröitymistä palveluun, mutta rekisteröityminen on ilmaista. Ilmatieteen laitos käyttää käyttäjät yksilöivää API-avainta palveluidensa parantamiseen. Honkola *et al.* [76] kuvaavat rekisteröimispakkoa halulla kerätä tietoa siitä, millä tavalla palvelua käytetään. Keräämänsä datan perusteella Ilmatieteen laitos voi määritellä palvelinkapasiteettinsa paremmin pitääkseen yllä palvelun tasoa. Pakottamalla käyttämään API-avainta Ilmatieteen laitos voi myös rajoittaa käyttäjän tekemien kyselyiden lukumääriä. Ilmatieteen laitos rajaa vuorokauden aikana tehtävien kyselyiden kokonaismäärän 20 000 kyselyyn. Lisäksi perättäisten kyselyiden lukumäärä on rajoitettu siten, että kyselyitä saa tehdä enintään 600 kappaletta viidessä minuutissa.

Ilmatieteen laitoksen avoimen datan tietoaineostot jaetaan kolmeen luokkaan [77]:

1. Reaaliaikaiset havainnot, esimerkiksi asemakohtaiset havainnot ja säätutkakuvat.
2. Havaintojen aikasarjat, esimerkiksi asemakohtaiset päivä- ja kuukausiarvot vuodesta 1959.
3. Ennustemallit, esimerkiksi kansallisen säämallin tuorein ennuste.

Reaaliaikaiset havainnot ovat saatavissa havaintopisteistä kymmenen minuutin välein. Tässä työssä riittää kuitenkin tunnin välein mitatut lämpötila-arvot. Lämpötila-arvot voidaan hakea palvelusta käyttäen API-kyselyä `fmi::observations::weather::timevaluepair` ja asettamalla kyselyn parametrit halutuiksi. Taulukossa 1 on kuvattu parametrit, joilla voidaan hakea tunnin välein Porissa mitatut lämpötilat yhden vuorokauden ajalta.

**Taulukko 1.** Ilmatieteen laitoksen säähavaintojen kyselyn parametrit

Parametri	Esimerkkiarvo	Selitys
place	Pori	Paikkakunta, jonka mittaukset haetaan
starttime	2016-01-01T00:00:00Z	Säähavaintojen aloitusaika UTC-aikana
endtime	2016-01-01T23:59:59Z	Säähavaintojen lopetusaika UTC-aikana
timestep	60	Säähavaintojen aika-askel minuutteina
parameters	T	Lista haettavista mittausparametreista, T = lämpötila

Varsinaiset mittaustiedot sisältävät säähavaintoaseman nimen, tunnuksen ja koordinaatit, sekä mittaustulokset avain-arvo pareina. Esimerkki saadusta vastauksesta on liitteessä A. Vastauksesta on poimittu liitteeseen vain oleelliset osat.

### 3.3 Rakennusten perustiedot

Tilayksikön hallinnoimien rakennusten perustiedot saatiin kaupungin käyttämästä kiinteistötietojärjestelmästä koostetusta tekstimuotoisesta siirtotiedostosta. Perustiedot sisältävät muun muassa seuraavia tietoja:

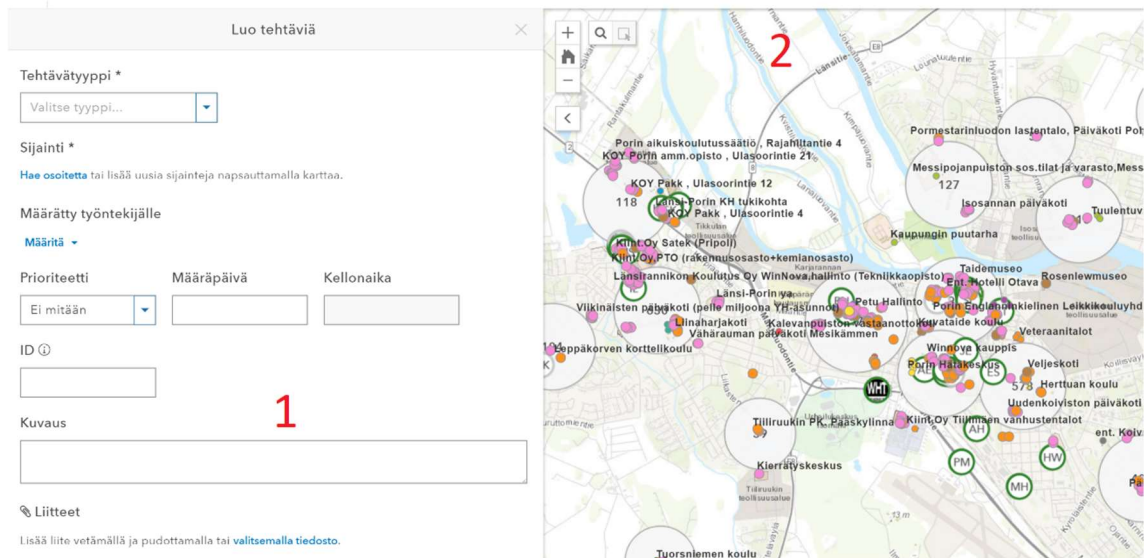
- kaupungin määrittelemä tunnus rakennukselle
- kiinteistön tunnus jossa rakennus sijaitsee
- rakennuksen pysyvä rakennustunnus
- rakennuksen nimi ja osoite
- rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen ryhmä
- rakennuksen koordinaatit
- rakennuksen pinta-aloja ja tilavuus.

Siirtotiedoston tarkka rakenne ja esimerkkietue on kuvattu liitteessä B.

### 3.4 Palvelupyynnöt

Tilayksikön vastuulla olevien kiinteistöjen käyttäjät ilmoittavat vikailmoitukset ja muut palvelupyynnöt joko sähköistä lomaketta käyttämällä tai soittamalla päivystyskeskukseen. Palvelupyynnön saapumistavasta riippumatta palvelupyynnön vastaanottava henkilö kirjaa palvelupyynnön tiedot tietokantaan selainpohjaisella Workforce for ArcGIS-sovelluksella. Palvelupyyntöjen tallentamiseen käytetyn taulun tarkka rakenne, sekä esimerkkietue on kuvattu liitteessä C. Kuvaruutukaappaus sovelluksen käyttöliittymästä on kuvassa 12. Palvelupyyntöön voidaan kirjata seuraavat tiedot:

- kuvaus
- liitteet
- määräpäivä ja -kellonaika
- prioriteetti
- sijainti
- tehtävätyypin kategoria
- tieto, jolla pyyntö voidaan yhdistää toisiin tietoihin
- työntekijä, kenelle pyyntö on määrätty.



**Kuva 12.** Palvelupyyntöjen syöttö tapahtuu verkkopohjaisella Workforce for ArcGIS-sovelluksella. Vasemman puolen kentillä (1) asetetaan pyynnön tiedot. Kohteen sijainti voidaan valita joko kartalta osoittamalla (2) tai syöttämällä osoite.

Palvelupyynnön prioriteetti määritellään viisiportaisella asteikolla (none, low, medium, high tai critical). Tehtävätyyppi valitaan etukäteen määritellyistä vaihtoehdoista, joiden

perusteella palvelupyynnöitä voidaan kategorioida. Tehtävätyypiksi voidaan valita esimerkiksi ”Ovet ja portit” tai ”Sähköenergian jakelu- ja käyttöjärjestelmät”.

Palvelupyynnöitä suorittavilla työntekijöillä on käytössään mobiilisovellus, jolla he kirjauttavat tietoja palvelupyynnön suorituksesta. Palvelupyynnöihin kirjataan muun muassa työn aloitusajankohta ja valmistumisajankohta. Tämä mahdollistaa töiden suorittamiseen käytetyn ajan tilastoinnin. Pyynnön ilmoittamisajankohdan, työn valmistumisajankohdan ja työlle mahdollisesti asetetun määräpäivän avulla voidaan seurata muun muassa palvelulupausten toteutumista. Työntekijä voi myös liittää kuvia palvelupyyntöön.

### 3.5 Energiadata

Kaupungin hallinnoimien kohteiden energiankulutustiedoista suurimman osan toimittaa Pori Energia. Pori Energia toimittaa tiedot kaupungille siirtotiedostona kerran päivässä. Siirtotiedosto sisältää kahden vuorokauden kulutustiedot tunnin tarkkuudella. Tiedostossa on sekä siirtopäivää edeltäneen vuorokauden kulutustiedot että seitsemän vuorokautta sitten olleen vuorokauden tiedot. Seitsemän vuorokautta vanhojen tietojen avulla voidaan korjata kyseisen vuorokauden arvoja, jotka ensimmäistä kertaa siirrettäessä ovat voineet olla puutteellisia tai virheellisiä. Siirtotiedostosta muodostetaan tietokantaan tuntikohtainen käyttöpaikan energiankulutustieto, jota päivitetään tarvittaessa uuden siirtotiedoston tullessa. Siirtotiedostosta tallennetaan tietokantaan taulukon 2 mukaiset tiedot.

*Taulukko 2. Energiadatan siirtotiedoston perusteella tallennetut kulutustiedot*

Parametri	Esimerkkiarvo	Selitys
id	3077448	Rivin tunniste, juokseva numero
timestamp	2017-01-03T00:00:00	Aikaleima
place	4520374	Käyttöpaikan tunniste
tyyppi	0	0 = sähköenergia, 1 = kaukolämpö
asiakas	Pori Energia	Datan toimittaja
value	0.41000	Aikaleimaa edeltävän tunnin kulutus

Kulutustiedot on yksilöity käyttöpaikan tunnisteella. Käyttöpaikoista on saatu erikseen tiedot Pori Energialta. Tiedot sisältävät käyttöpaikan nimen, kuluttajaryhmän sekä käyttöpaikan sijainnin koordinaatit. Käyttöpaikat on kategorioitu 49:ään eri kategoriaan. Kategorioita voidaan käyttää tilastojen tekemisessä ja erottelemaan samassa osoitteessa olevat käyttöpaikat toisistaan. Käyttöpaikoista on tallennettu taulukon 3 mukaiset tiedot.

*Taulukko 3. Energiadatan käyttöpaikkojen tiedot*

<b>Parametri</b>	<b>Esimerkkiarvo</b>	<b>Selitys</b>
kpaikka	4000005	Käyttöpaikan tunniste
Y	6819680,4453125	Käyttöpaikan sijainnin longituudi
X	22487649,921875	Käyttöpaikan sijainnin latituudi
nimi	Maantiekatu 31	Käyttöpaikan osoite
kuluttajaryhma	sairaalat ja päivystyskeskukset	Käyttöpaikan kategoria



## 4. KIINTEISTÖNHOIDON SOVELLUKSIA PAIKKATIETOJÄRJESTELMÄSSÄ

Työn käytännön osuudessa tavoitteena oli toteuttaa sovelluksia, joiden avulla voidaan seurata rakennuksiin kohdistuvien palvelupyyntöjen ja rakennuksien energiankulutuksen tilastoja. Tavoitteen saavuttamiseksi kokeiltiin valmiita, pilvipalvelupohjaisen paikkatietojärjestelmän tarjoamia sovelluskehittäjiä. Työn edetessä näiden sovellusten rajoitukset tulivat kuitenkin esiin ja paikkatietojärjestelmässä toteutettujen ratkaisujen rinnalle kehitettiin erillinen sovellus.

Työn toteutus aloitettiin käsittelemällä työssä käytettäviä dataja ensin paikallisesti työpöytäsovelluksilla (ArcGIS Pro, Microsoft Excel), jonka jälkeen tiedot julkaistiin pilvipohjaisessa paikkatietojärjestelmässä (ArcGIS Online). Pilvipohjaiseen paikkatietojärjestelmään siirron jälkeen yhdistettiin tietoihin siellä jo olevia tietoja sekä suoritettiin varsinainen tietojen visualisointi. Käytettävissä olevasta datasta toteutettiin useita erilaisia tilastointiratkaisuja käyttäen hyväksi pilvipalvelussa olevia valmiita sovelluksia.

Koska energiankulutuksen seurantaan tarkoitettujen sovellusten toteuttamisessa tuli vastaan useita ongelmia, on tässä luvussa käsitelty lähinnä palvelupyyntöjen tilastointiin liittyviä ratkaisuja. Energiankulutuksen tilastointia ja analysointia ja siihen liittyneitä ongelmia käsitellään lyhyesti tämän luvun lopussa.

### 4.1 Taustatietojen yhdistäminen ja tarkastus

Tilastojen taustatiedoiksi määritellään tässä tapauksessa tiedot, joiden ei oleteta muuttuvan usein. Taustatiedoiksi lasketaan rakennusten perustiedot, MML:n kiinteistörekisteristä ja maastotietokannasta saatavat tiedot, sekä väestötietojärjestelmästä saatavat tiedot. Taustatietojen yhdistäminen ja tarkastus toteutettiin työpöytäsovelluksilla sekä silmämääräisesti että paikkatietojärjestelmän työkaluja hyväksi käyttäen.

Rakennusten perustiedot ovat pohja kaikelle tilastoinnille, sillä työn tarkoituksena oli tuottaa pääasiassa rakennuskohtaisia tilastoja. Rakennusten perustiedot, jotka on kuvattu tarkemmin luvussa 3.3, saatiin Excel-muotoisena siirtotiedostona. Siirtotiedoston silmämääräisessä tarkastelussa havaittiin puutteita ja ongelmia, jotka korjattiin ennen tilastointien aloittamista. Puutteita oli etenkin rakennustunnuksissa ja rakennusten ilmoitetuissa pinta-aloissa sekä tilavuuksissa. Muutamista rakennuksista puuttuivat osoite- tai koordinaattitiedot. Muutamilla riveillä oli myös määritelty useampia rakennustunnuksia samalle

rakennukselle. Paikkatietojärjestelmään siirtämistä varten tiedostoon jouduttiin tekemään muutoksia ja korjauksia. Osa muutoksista voitiin toteuttaa automaattisesti, mutta esimerkiksi useamman rakennustunnuksen omaavat rakennukset jouduttiin jakamaan käsin omiksi riveikseen. Siirtotiedostossa olleet rakennusten koordinaatit jaettiin kahteen eri sarakkeeseen ja koordinaattien edessä olleet X- ja Y-kirjaimet poistettiin.

Paikkatietojärjestelmään siirrettäessä paljastui rakennusten sijaintitiedoissa lisää ongelmia. Muutaman rakennuksen koordinaattitiedot olivat virheellisiä ja nämä rakennukset sijoittuivat kartalle ympäri maapalloa. Nämä virheet jouduttiin korjaamaan käsin siirtämällä rakennusten sijaintipisteet oikeaan paikkaan.

Rakennusten perustietojen tarkistamista ja korjausta varten niihin yhdistettiin MML:n kiinteistörekisterin ja maastotietokannan tietoja (kts. 3.2.1) sekä väestötietojärjestelmän rakennustietoja (kts. 3.2.3). Yhdistäminen toteutettiin paikkatietojärjestelmän Spatial Join -analyysillä, jolla voidaan yhdistää piirteisiin tietoja niiden sijainnin perusteella. Perustietoihin pystyttiin tällä menetelmällä korjaamaan oikea kiinteistö- ja rakennustunnus. MML:n tietoaineistojen jatkokäytön helpottamiseksi myös niitä käsiteltiin etukäteen paikkatietojärjestelmässä. Koska avoimen datan maastotietokannassa rakennusten ääri-viivat on kuvattu vain sulkeutuvina tai sulkeutumattomina viivoina, luotiin näistä viivoista ensin monikulmioita (engl. *polygon*). Tämän jälkeen näihin monikulmioihin yhdistettiin väestötietojärjestelmästä saatu rakennuksen yksilöivä rakennustunnus. Muokkauksen jälkeen kaikki tiedot julkaistiin pilvipohjaisessa paikkatietojärjestelmässä, ArcGIS Onlinessä.

## 4.2 Tiedot pilvipohjaisessa paikkatietojärjestelmässä

ArcGIS Online -pilvipalvelussa tehtiin ensin sen tarjoamiin tilastointisovelluksiin sopivia karttoja työpöytäsovelluksella julkaistuista karttatasoista. Pilvipalvelussa myös säädettiin karttatasojen visualisointia, jotta ne toimisivat oikein verkkoselaimissa. Myös liitos palvelupyynnöt sisältävään karttatasoon tehtiin pilvipalvelussa.

Työn edetessä kokeiltiin ArcGIS Online -pilvipalvelussa olevien sovellusten sopivuutta paikkatietopohjaisen datan tilastointiin, analysointiin ja visualisointiin. Sovelluksista kokeiltiin seuraavia: (i) Web AppBuilder for ArcGIS, (ii) Insights for ArcGIS ja (iii) Operations Dashboard for ArcGIS. Web AppBuilder for ArcGIS hylättiin lyhyen kokeilun jälkeen sen tarjoamien rajallisten tilastointimenetelmien takia. Tarkemmin tilastointia kokeiltiin Insights for ArcGIS ja Operations Dashboard -sovelluksilla.

## 4.2.1 Insights for ArcGIS

Esri Finland mainostaa kotisivuillaan<sup>21</sup> Insights for ArcGIS -sovellusta seuraavasti:

”Insights for ArcGIS -sovellus avaa ArcGIS Enterprise<sup>22</sup> -ratkaisun käyttäjille mahdollisuuden helppoon visuaaliseen analytiikkaan. Tietoa voi havainnollistaa yhdistelemällä karttoja, taulukoita ja kaavioita uuden intuitiivisen käyttökokemuksen avulla.”

Insights for ArcGIS -sovellus mahdollistaa paikkatiedon ja ei-paikkatiedon yhdistämisen ja tilastoinnin sekä analysoinnin yksinkertaisella selainpohjaisella sovelluksella. Sovelluksen käyttöliittymä perustuu vedä ja pudota -tekniikkaan, jossa tietolähteiden kenttiä käyttäen luodaan alustalle kortteja (engl. *card*). Nämä kortit voivat sisältää karttoja, taulukoita, kaavioita tai paikkatietoanalyysin tuloksia. Sovellus ehdottaa valittujen kenttien lukumäärän ja kenttien tietotyyppien mukaan erityyppisiä kuvaajia, joiden avulla dataa voidaan visualisoida. Mahdollisia kuvaajatyyppejä on useita perinteisten pylväs-, palkki- ja ympyrädiagrammien lisäksi. Tietojen välisiä suhteita voidaan visualisoida esimerkiksi puukartalla (engl. *treemap*) tai laatikko ja viikset -kuvaajalla (engl. *boxplot*). Sovelluksessa työkirja voi sisältää useita sivuja. Sivut voivat sisältää useita erillisiä tietolähteitä ja näistä luotuja kortteja.

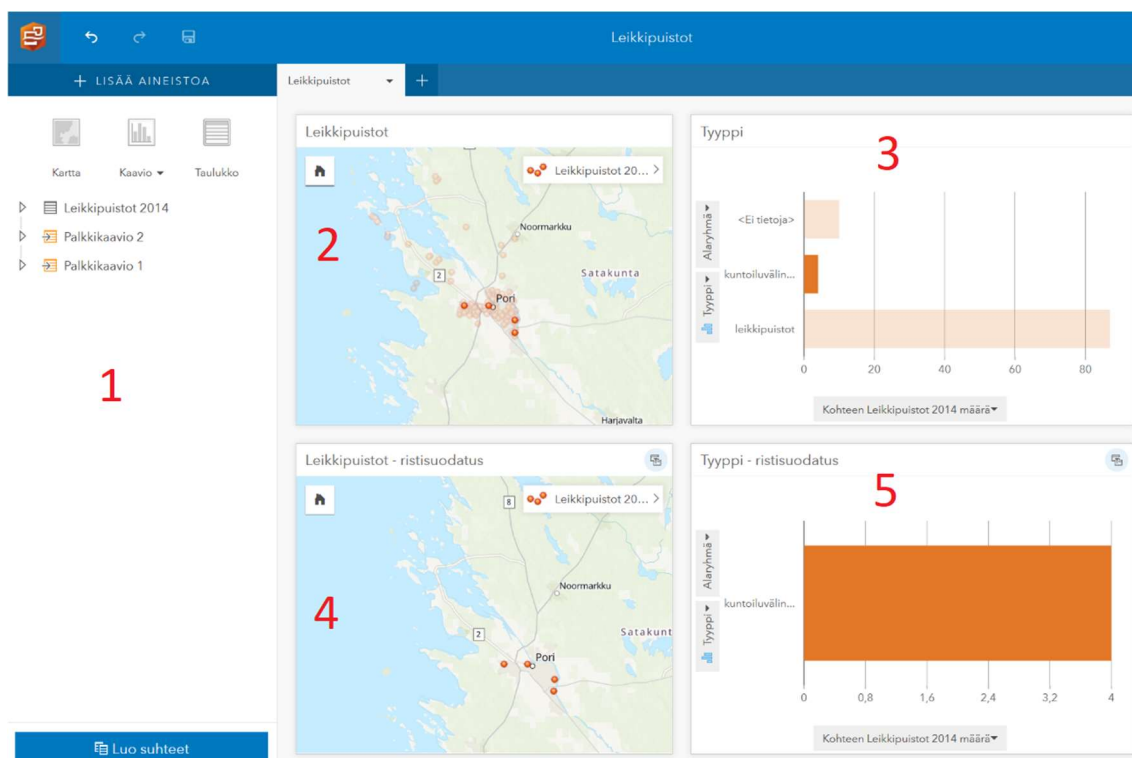
Insights for ArcGIS -sovelluksessa samasta tietolähteestä peräisin olevien korttien välille luodaan automaattisesti kytkentä siten, että kortissa valittu arvo tai kohde havainnollistetaan myös muissa korteissa himmentämällä muita arvoja tai kohteita. Korttien välille voidaan myös kytkeä ristisuodatus, jonka ollessa päällä suodatetaan muiden korttien tietoja valinnan mukaisesti. Normaalin kytkennän ja ristisuodatuksen eroa on havainnollistettu kuvassa 13. Ylärivin korttien välillä ei ole ristisuodatusta. Oikeassa yläkulmassa olevasta tyyppikaaviosta on valittu leikkipuiston tyyppi. Tämä valinta himmentää vasemman yläkulman kartassa näkyvistä kohteista muun tyyppiset kohteet. Alarivin korteissa on kytketty ristisuodatus päälle, joka aiheuttaa sen, että korteissa näkyy vain valittu leikkipuiston tyyppi ja sen mukaiset kohteet.

Insights for ArcGIS -sovellus ei kuitenkaan sovellu sellaisten tilastojen tekoon, jossa haluttaisiin tilastoida ja analysoida reaaliaikaista dataa ja jakaa nämä tilastot useiden käyttäjien kesken. Sovelluksella toteutettuja työkirjoja ei voida jakaa siten, että muilla käyttäjillä olisi mahdollisuus muokata työkirjan sisältöä. Työkirjasta on aina tehtävä kopio, jos joku muu kuin työkirjan tekijä haluaa muokata sitä. Työkirjassa oleva data jäädytetään siihen tilaan missä se oli, kun se tuotiin työkirjaan. Datan päivittäminen vaatii aina työkirjan alkuperäisen tekijän toimenpiteitä. Työkirja täytyy avata, tiedot täytyy päivittää

<sup>21</sup> <http://www.esri.fi/tuotteet/arcgis/insights-for-arcgis>

<sup>22</sup> Mainoksesta poiketen Insights on saatavilla myös ArcGIS Online -pilvipalvelussa

erillisellä toiminnolla ja työkirja tallentaa uudelleen. Ongelman on myös se, että suurin osa sovelluksella tehdyistä työkirjojen jaoista ei ole avattavissa muilla ohjelmilla. Koska Insights for ArcGIS on erikseen lisensoitava tuote, ei ohjelmalla toteutettujen tilastojen jakaminen suurelle käyttäjämäärälle ole kustannustehokasta. [78]

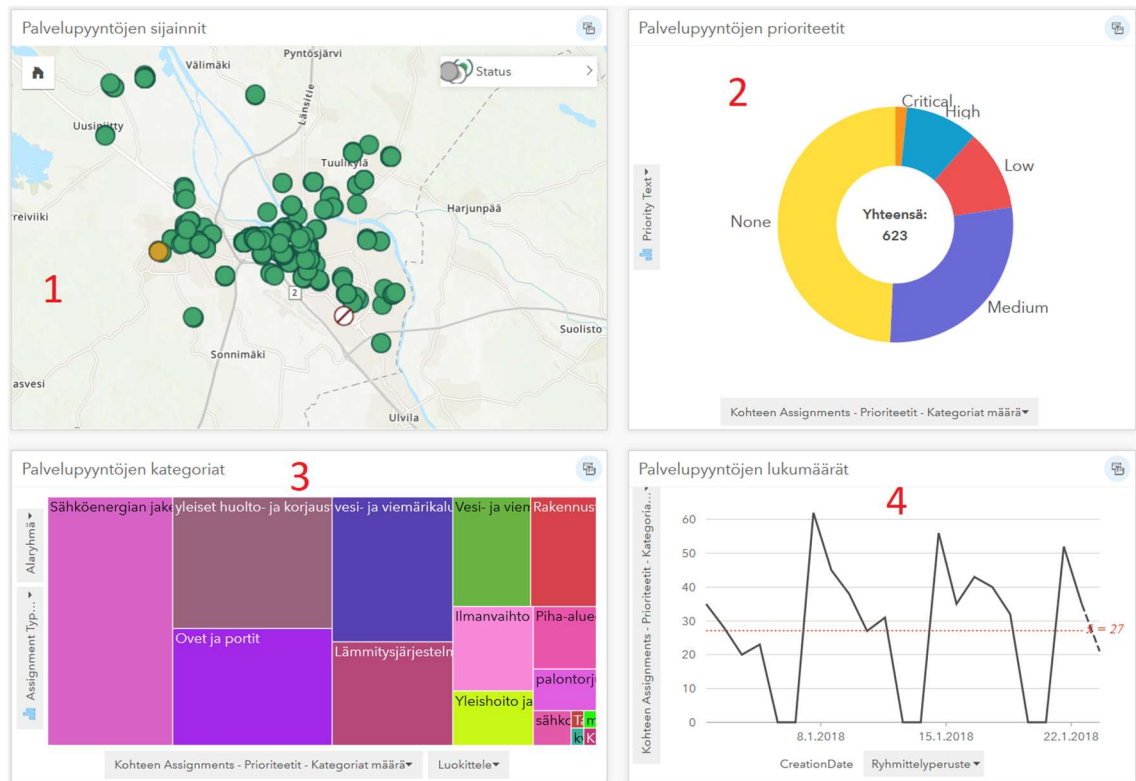


**Kuva 13.** Insights for ArcGIS -sovelluksen käyttöliittymä. Vasemmassa reunassa (1) on kuvattu tilastoitavat aineistot. Työpöydälle on lisätty neljä korttia. Ylärivillä olevissa korteissa (2, 3) ei ole kytketty ristisuodatusta päälle, alarivin korteissa (4, 5) ristisuodatus on päällä. Vasemman reunan kortit (2, 4) kuvaavat kohteiden sijaintia ja oikealla reunalla (3, 5) on kuvattu kohteiden tyyppien jakauma.

#### 4.2.2 Palvelupyynnöt Insights for ArcGIS -sovelluksessa

Kuten edeltävässä kappaleessa mainitut rajoitukset osoittivat, ei Insights for ArcGIS -sovellus sovi laajemmin jaettavien, reaaliaikaisten tilastojen tekoon. Tästä huolimatta kyseisen sovelluksen tarjoamia työkaluja kokeiltiin palvelupyynnöiden tilastointiin ja analysointiin, jotta ohjelman ominaisuudet tulisivat tarkemmin tutuksi.

Palvelupyynnöt tuotiin sovellukseen karttatasona. Palvelupyynnöiden luomiseen käytetyn Workforcen (kts. 3.4) tietokantaskeeman takia prioriteettien ja kategorioiden sanalliset kuvaukset jouduttiin tuomaan erillisenä tietona. Tietojen välille luodun relaation avulla sanalliset kuvaukset saatiin näkymään kuvaajissa. Palvelupyynnöiden visualisointimahdollisuuksia sovelluksen tarjoamilla työkaluilla on esitetty kuvassa 14.



**Kuva 14.** Insights for ArcGIS -sovellus mahdollistaa tilastoinnin usealla eri tavalla. Palvelupyynnöistä on nähtävissä palvelupyynnöiden sijainti ja tila kartalla (1), prioriteettien jakauma (2), palvelupyynnöiden lukumäärien jakauma kategorioittain (3) ja päivittäinen palvelupyynnöiden lukumäärä (4).

Insights for ArcGIS -sovelluksen puutteiden takia tilastoinnit todettiin kuitenkin riittämättömäksi. Aikaisemmin mainittujen puutteiden lisäksi ongelmat karttatasojen tuonnissa sekä tietojen suodattamisessa estävät sovelluksen käytön. Karttatasojen tuonnissa puutteena sovelluksessa on se, että siihen ei voida tuoda karttatasoja, jotka sisältävät monimutkaisempia geometrisia muotoja kuten monikulmioita. Ainoastaan Esrin julkaisemat rajatasot (engl. *boundary layers*) ovat käytettävissä. Tämän rajoituksen takia ohjelmalla ei pystytä helposti analysoimaan tarkemmin esimerkiksi pelkästään tietyn kiinteistön tai rakennuksen sisälle sijoittuvia palvelupyynnöitä. Analysointi voitaisiin suorittaa karttakortista (kuva 14, 1) yksittäiset palvelupyynnöt valitsemalla. Tämä on kuitenkin työlästä, eikä analysointi välttämättä onnistuisi täydellisesti, sillä taustakartasta puuttuu rakennuksia (kts. 3.2.1). Taustakartta ei sisällä kiinteistörajokkaan, joten lähekkäin olevissa kiinteistöissä olevien palvelupyynnöiden erottelu olisi haastavaa.

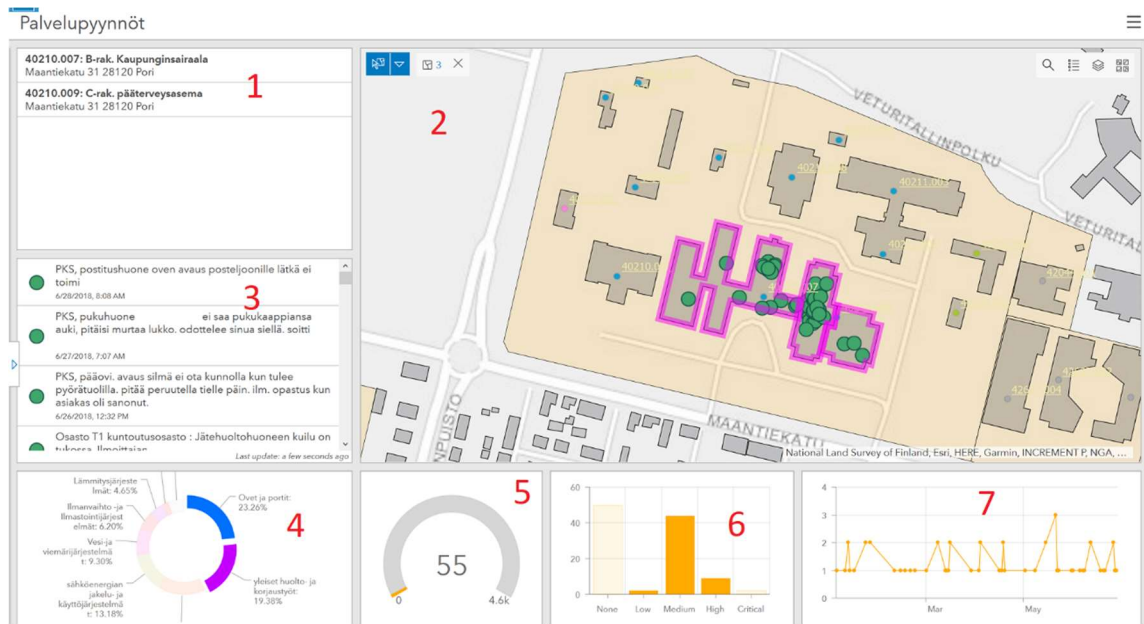
Ongelmana sovelluksessa on myös se, että korttien välillä toimivan ristisuodatuksen avulla ei pystytä toteuttamaan eri kategorioiden suodattimien yhdistelmiä. Suodatettavan arvon valinta missä tahansa kortissa poistaa muissa korteissa tehdyt valinnat. Tämän takia esimerkiksi ”Ovet ja portit” -kategoriassa olevia kriittisiä palvelupyynnöitä ei pystytä hel-

posti tuomaan esiin. Jokaisessa kortissa olevalla korttisuodattimella voidaan tietoja suodattaa useamman kentän arvon perusteella. Korttisuodattimen avulla toteutettu suodatus ei kuitenkaan päivitä muiden korttien tietoja vastaamaan valittuja arvoja. Lähtötietojen suodatus suodattaa kaikkia siihen liitettyjä kortteja, mutta tämän avulla tehtävä suodatus on käyttäjän hankala tehdä. Tämä suodatustapa ei ole myöskään käytettävissä kuin työkirjan alkuperäisellä tekijällä.

### 4.2.3 Operations Dashboard

Operations Dashboard -sovellus on suunniteltu erityisesti reaaliaikaisen, paikkatietoon pohjautuvan datan seurantaan. Ohjelmalla on tarkoitus tehdä yhdelle näytölle sopivia, päätöksenteon apuvälineeksi tarkoitettuja tilastointisovelluksia. Operations Dashboard -sovelluksella suunnitellut sovellukset ovat tarkoitettu käytettäväksi joko interaktiivisesti tai ei-interaktiivisesti. Ei-interaktiivisia tilastoja voidaan näyttää esimerkiksi tilannehuoneissa tai aulatiloissa. [79]

Insights for ArcGIS -sovelluksesta poiketen Operations Dashboard -sovellus mahdollistaa sellaisen kartan tuonnin ArcGIS Online -pilvipalvelusta, jossa on useampia karttata- soja. Operations Dashboard tukee myös pisteitä ja viivoja monimutkaisempien geometristen muotojen näyttämistä. Näiden muotojen avulla voidaan luoda spatiaalisia suodattimia, joilla muiden tasojen tietoja suodatetaan. Suodatus tapahtuu sen perusteella, sijaitsevatko piirteet näiden muotojen sisällä vai eivät. Insightista poiketen myös useamman suodattimen yhdistelmä on Operations Dashboardissa käyttäjän helppo toteuttaa. Kuvassa 15 on kuvaruutukaappaus palvelupyynnöjen tilastointiin tehdystä sovelluksesta. Kuvassa palvelupyynnöjä on suodatettu samanaikaisesti sekä sijainnin perusteella (2), palvelupyynnön prioriteetin perusteella (6), palvelupyynnön kategorian perusteella (4) että palvelupyynnön luontiajan perusteella (ei näkyvissä).



**Kuva 15.** Operations Dashboard mahdollistaa myös alueellisen tilastoinnin. Kuvassa valittuna kolme rakennusta (1, 2) ja näkyvissä on näiden sisällä sijaitsevat palvelupyynnöt (3) ja niiden tilastot (4–7). Palvelupyynnöiden suodatusta on tarkennettu aikavälin valinnalla (ei näkyvissä) sekä valitsemalla vain osa tehtäväkategorioista (3) ja prioriteeteista (6).

### 4.3 Palvelupyynnöiden tilastointi erillisellä sovelluksella

Edellisissä kappaleissa esitetyjen, ArcGIS Online -pilvipalvelussa olevien valmiiden sovellusten puutteiden takia palvelupyynnöiden tarkempaa tilastointia ja analysointia varten toteutettiin erillinen sovellus. Tämä sovellus eroaa pilvipalvelussa olevista sovelluksista mahdollistamalla palvelupyynnöiden tilastojen analysoinnin myös palvelupyynnön kuvauksen perusteella. Kuvauksen perusteella tapahtuvaa analysointia varten ohjelmassa suoritetaan kuvausten sanojen perusmuotoistaminen eli lemmitus (engl. *lemmatisation*).

Sovelluksen käyttämät palvelupyynnöiden tiedot tuodaan ArcGIS Online -pilvipalvelusta tekstimuotoisena CSV (engl. *comma-separated values*) -siirtotiedostona. Siirtotiedostossa olevat kentät on kuvattu liitteessä C. Tiedoston lataus ohjelmaan tehdään tällä hetkellä käsin, mutta tiedot voidaan tulevaisuudessa hakea suoraan tiedot tuottavan ohjelman (Workforce for ArcGIS, kts. 3.4) tietokannasta. Siirtotiedostossa olevista palvelupyynnöistä tallennetaan tietokantaan vain pyynnöt jotka ovat valmistuneet. Muissa tiloissa olevista töistä ei voitaisi laskea kaikkia haluttuja tilastoja tai ne vääristäisivät niitä. Sovelluksen käyttämät kiinteistö- ja rakennustiedot tuodaan tekstimuotoisella siirtotiedostoilla. Nämä siirtotiedostot luodaan ArcGIS Online -pilvipalvelussa sinne aikaisemmin siirrettyjen maastotietokannan ja väestötietojärjestelmän tietojen pohjalta.

### 4.3.1 Tekninen toteutus

Perusmuotoistamisen toteuttavaa osiota lukuun ottamatta sovelluksen kehitys aloitettiin puhtaalta pöydältä. Sovelluksen tekemiseen käytettiin hyväksi useita avoimen lähdekoodin ohjelmistoja ja moduuleita. Ylläpidettävyyden parantamiseksi ja kehitystyön helpottamiseksi sovellus on jaettu viiteen erilliseen osaan. Useampaan erilliseen osaan jakaminen mahdollistaa myös sovelluksen eri osien sijoittamisen erillisille palvelimille tarvittaessa. Sovelluksen viisi osaa ovat:

- perusmuotoistamisen toteuttava osio (parseri)
- parserin käynnistin
- REST API- ja www-palvelin (backend)
- tietokanta
- www-käyttöliittymä (frontend).

Backendillä on useita tehtäviä ohjelmassa. Se toimii sekä REST (engl. *Representational State Transfer*) API- että www-palvelimena. Backend vastaa myös tietojen vaihdosta tietokannan kanssa. Se tarvittaessa myös käynnistää parserin käynnistimen. Backend on toteutettu JavaScript -ohjelmointikielellä, jota suoritetaan Node.js -palvelimessa.

Tietokannaksi valittiin oliorelaatietietokanta PostgreSQL. PostgreSQL:n valintaa puolsi sekä sen maksuttomuus että siihen saatavilla oleva paikkatietojärjestelmäajennus PostGIS<sup>23</sup>. Tämä mahdollistaa spatiaalisten analyysien tekemisen suoraan tietokannassa. Esimerkki tällaisesta analyysistä on kuvattu luvussa 4.3.3. Tietokannan rakenne on hyvin yksinkertainen ja se mukailee pitkälti siirtotiedostojen rakennetta. Tietokannan rakenne on kuvattu liitteessä D.

Frontend on toteutettu niin kutsuttuna yhden sivun sovelluksena (engl. *single-page application*, SPA). Tällaisessa sovelluksessa verkkosivu ladataan vain kerran palvelimelta, ensimmäisen pyynnön yhteydessä. Tämän jälkeen sivun sisältö kirjoitetaan dynaamisesti uusiksi sen sijaan, että jokainen sivu ladattaisiin erikseen palvelimelta. Tiedot mitkä frontendissa näytetään, haetaan tarvittaessa backendiltä sen tarjoamien REST API -palveluiden kautta. Frontendin toteuttamiseen on käytetty Angular 5 -ohjelmistokehystä ja se on ohjelmoitu TypeScript-ohjelmointikielellä.

### 4.3.2 Kuvausten sanojen perusmuotoistaminen

Palvelupyyntöjen kuvauksen perusteella tehtäviä tilastointeja varten kuvauksen sanat perusmuotoistetaan. Perusmuotoistamisella palautetaan yksittäiset taivutetut sanat niiden

---

<sup>23</sup> <https://postgis.net/>



perusmuotoon ja samalla selvitetään sanojen sanaluokat. Perusmuotoistaminen tehdään Turun Yliopiston NLP-ryhmän kehittämällä Finnish-dep-parserilla<sup>24</sup>. Parseri on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, jossa käytetään hyväksi muun muassa Apache Software Foundationin ja Googlen kehittämiä luonnollisen kielen käsittelyyn tarkoitettuja kirjastoja. Parseri koostuu Bash-komentotulkin komentosarjoista (engl. *scripts*), Python-ohjelmakoodista sekä Java-ohjelmointikielillä kirjoitetuista kirjastoista.

Alun perin parseri ja osa sen käyttämisestä kirjastoista on tehty toimimaan vain Unixin kaltaisissa käyttöjärjestelmissä sekä Python-ohjelmointikielen versiolla 2.7. Koska parseri haluttiin saada toimimaan myös Microsoft Windows -käyttöjärjestelmissä sekä uudemmalla Python-ohjelmointikielen versiolla, jouduttiin parseriin sekä sen käyttämiin kirjastoihin tekemään muutoksia. Koska komentosarjoja ei kuitenkaan haluttu kirjoittaa uudelleen, joudutaan Windows-käyttöjärjestelmää käytettäessä asentamaan erillinen suoritussympäristö näiden komentosarjojen ajamiseen.

Varsinaisen parserin käynnistäminen tehdään erillisellä Python-ohjelmalla, jota palvelin kutsuu käyttäjän syötteestä. Erillinen ohjelma suorittaa palvelupyyntöjen kuvausten esikäsittelyn ennen parsintaa sekä valitsee parsinnan jälkeen haluttujen sanaluokkien sanat tuloksesta ja tallentaa nämä tietokantaan.

Esimerkki perusmuotoistamisen tuottamasta datasta on listauksessa 1. Perusmuotoistus on suoritettu palvelupyynnön tyyliselle kuvaukselle ”Cygnaeuksen koulun luokka 1b3. Takaseinällä olevien kaapiston ovien saranoiden korjausta.”

```

1 Cygnaeuksen Cygnaeuksen PROP_N _ Case=Gen|Number=Sing 2 nmod:poss _ _
2 koulun koulu NOUN _ Case=Gen|Number=Sing 3 nmod:poss _ _
3 luokka luokka NOUN _ Case=Nom|Number=Sing 0 root _ _
4 1b3. 1b3. SYM _ _ 3 appos _ _

1 Takaseinällä taka#seinä NOUN _ Case=Ade|Number=Sing 2 nmod _ _
2 olevien olla VERB _ Case=Gen|Degree=Pos|Number=Plur|PartForm=Pres|VerbForm=Part|Voice=Act
5 acl _ _
3 kaapiston kaapisto NOUN _ Case=Gen|Number=Sing 4 nmod:poss _ _
4 ovien ovi NOUN _ Case=Gen|Number=Plur 5 nmod:poss _ _
5 saranoiden sarana NOUN _ Case=Gen|Number=Plur 6 nmod:poss _ _
6 korjausta korjaus NOUN _ Case=Par|Number=Sing 0 root _ _
7 . . PUNCT _ _ 6 punct _ _

```

**Ohjelma 1.** Perusmuotoistaminen muuttaa sanat perusmuotoon ja selvittää niiden sanaluokan. Sanaluokat esimerkissä: *erisnimi* (proper noun, PROP\_N), *substantiivi* (NOUN), *symboli* (symbol, SYM), *verbi* (VERB), *välimerkki* (punctuation, PUNCT).

Perusmuotoistetut sanoista tallennetaan tietokantaan vain tilastoinnin kannalta oleelliset sanat; tässä tapauksessa substantiivit, verbit ja adverbit. Sanat tallennetaan palvelupyyntöjen yhteyteen JavaScript Object Notation (JSON) -muotoisena. Sanat tallennetaan

<sup>24</sup> <http://turkunlp.github.io/Finnish-dep-parser/>

taulukkomuotoisena nimen *words* arvoksi. Edellä esitetystä palvelupyynnöstä tuotettu JSON on kuvattu listauksessa 2.

```
{
  "words":
    [
      "ovi", "kaapisto",
      "koulu", "korjaus",
      "takaseinä", "sarana",
      "luokka"
    ]
}
```

**Ohjelma 2.** *Palvelupyynnöstä perusmuotoistetut sanat JSON-muotoisena*

Sanojen avulla voidaan hakea kaikki palvelupyynnöt, jotka sisältävät tietyn sanan tai tietyt sanat. Yksittäisellä sanalla tehtävä tietokantakysely on kuvattu listauksessa 3, jossa haetaan kaikki ”sarana”-sanan sisältävät palvelupyynnöt. Ehtolause (rivillä 3) etsii kentässä sijaitsevasta JSON-muotoisen objektin tietystä avaimesta annettua arvoa.

```
1 SELECT *
2 FROM assignments
3 WHERE (description_words->'words') ? 'sarana'
```

**Ohjelma 3.** *Yksittäisen sanan sisältävien palvelupyyntöjen noutamiseen käytetty koodi*

Perusmuotoistamisen etu havaitaan helposti esimerkin palvelupyynnön avulla. Naiivi merkkijonohaku, jolla haettaisiin merkkijonoa ”sarana” palvelupyyntöjen kuvauksista (listaus 4, rivi 3), ei löytäisi esimerkin mukaista palvelupyyntöä jossa sana esiintyy taivutetussa muodossa ”saranoiden”. Myös palvelupyynnöissä esiintyvien yleisimpien sanojen listaaminen olisi hankalaa johtuen sanojen useista taivutusmahdollisuuksista.

```
1 SELECT *
2 FROM assignments
3 WHERE description LIKE '%sarana%'
```

**Ohjelma 4.** *Tietyn merkkijonon kuvauksessaan sisältävien palvelupyyntöjen noutamiseen käytettävä koodi*

### 4.3.3 Paikkatieto sovelluksessa

PostGIS-laajennuksella PostgreSQL-tietokantaan voidaan tallentaa paikkatietoa ja suorittaa näiden avulla kyselyitä. Palvelupyynnöissä olevan paikkatiedon sekä MML:n kiinteistörekisterissä olevien kiinteistön rajojen avulla voidaan tuottaa kiinteistökohtaisia tiilastoja palvelupyynnöistä. Listauksessa 5 on kuvattu tietokantakysely, jolla voidaan ha-

kea kaikki tietyn kiinteistön rajojen sisälle sijoittuvat palvelupyynnöt. PostGIS-laajennuksen ehto *ST\_Within* (rivi 5) palauttaa arvon tosi, jos ensimmäisen parametrin muoto on kokonaan toisen parametrin muodon sisällä.

```

1 SELECT a.*
2 FROM assignments a, cadastral_parcels p
3 -- Sijaitseeko muoto a.geom
4 -- kokonaan muodon b.geom sisällä
5 WHERE ST_Within(a.geom, p.geom)
6 -- Haettu kiinteistö
7 AND p.reference = '609-6-79-6'
```

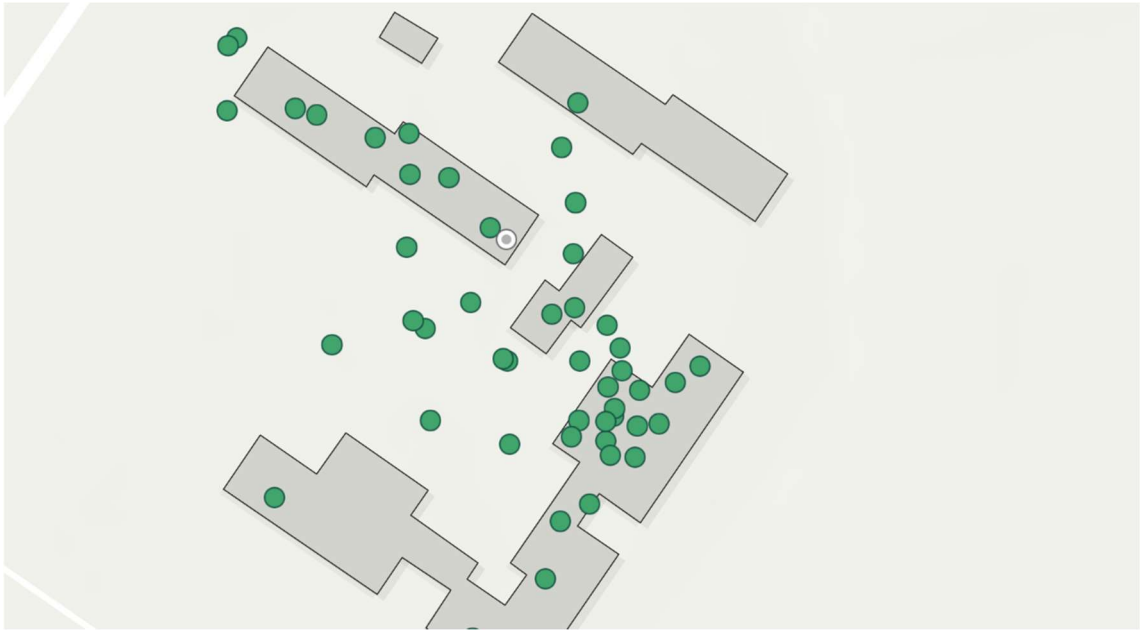
*Ohjelma 5. Tietyn kiinteistön rajojen sisällä olevien palvelupyyntöjen hakemiseen käytetty koodi*

Samalla tekniikalla voitaisiin tuottaa myös rakennuskohtaisia tilastoja käyttäen hyväksi MML:n maastotietokannassa olevia rakennusten ääri viivoja. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, että palvelupyynnön kohdetta osoittava piste ei ole välttämättä sijoitettu rakennuksen ääri viivojen sisälle, vaikka palvelupyynnön sisällön perusteella kuuluisi rakennukseen. Tästä ongelmasta on esimerkki kuvassa 16, jossa on näkyvissä rakennusten ääri viiva sekä näihin rakennuksiin kohdistuneet palvelupyynnöt. Kirjoitushetkellä noin 20 % kaikista palvelupyynnöistä ei sijaitse palvelupyynnön kohderakennuksen ääri viivojen sisällä.

#### 4.3.4 Tilastot sovelluksessa

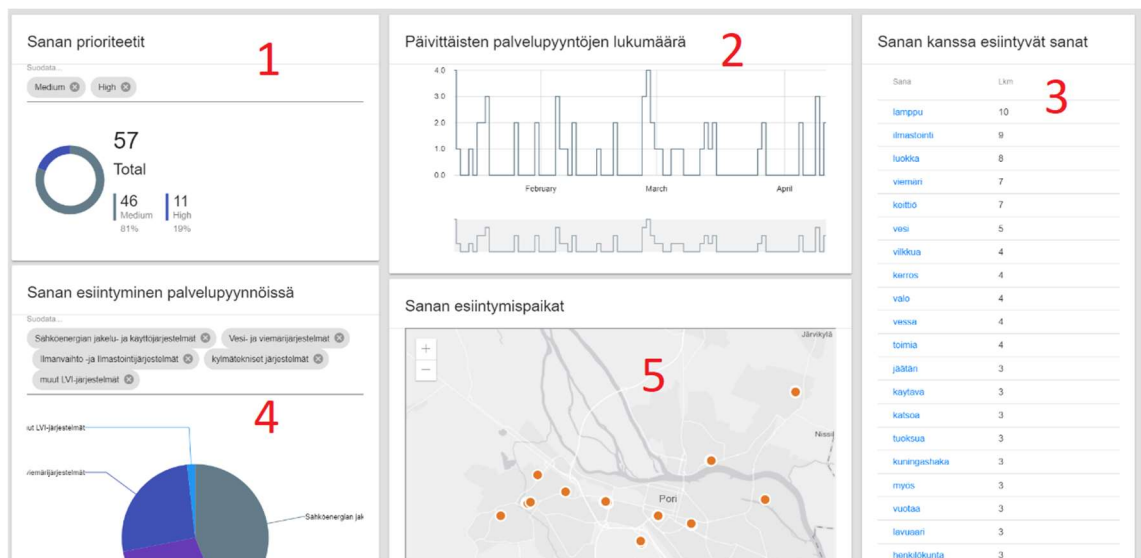
Itse sovelluksessa palvelupyynnöiden tilastoja voidaan tarkastella useasta näkökulmasta. Palvelupyynnöjä voidaan tarkastella joko palvelupyynnön tehtävätyypin, prioriteetin tai palvelupyynnön kuvauksesta perusmuotoistettujen sanojen mukaan. Tietoja voidaan lisäksi suodattaa palvelupyynnön luontiajan perusteella määrittelemällä haluttu aikaväli. Palvelupyynnöistä voidaan tulevaisuudessa suodattaa myös vain valittujen kiinteistöjen tai rakennusten rajojen sisälle osuvat palvelupyynnöt.

Ohjelmassa on käytetty hyväksi palvelupyynnön etenemiseen liittyviä aikaleimoja, jotka kertovat esimerkiksi milloin pyynnön suorittaminen on aloitettu ja milloin se on valmistunut. Näiden avulla voidaan esimerkiksi seurata työn suorittamiseen käytettyä aikaa ja täten palvelulupausten toteutumista.



**Kuva 16.** Palvelupyynnöiden sijoittelu kartalle paljastaa, että osaa palvelupyynnöistä ei ole sijoitettu rakennusten ääriviivojen sisään.

Kuvassa 17 on esimerkki ohjelmasta saatavista tilastoista. Esimerkissä suodattimina toimivat sana ”koulu” ja aikaväli (ei näkyvässä) sekä palvelupyynnön prioriteetti ja palvelupyynnön tyyppi. Nähtävissä on muun muassa päivittäisten palvelupyynnöiden lukumäärä (2), jossa sana esiintyy sekä sanan sisältävien palvelupyynnöiden sijainti kartalla (5).



**Kuva 17.** Kuvaruutukaappaus palvelupyynnöille toteutetusta erillisestä tilastointisovelluksesta, joka mahdollistaa palvelupyynnöiden tilastoinnin muun muassa kuvauksen sisältämien sanojen perusteella. Tarkempaa analyysia varten voidaan valita useampi prioriteetti (1) ja palvelupyynnöiden kategoria (4). Oikeassa reunassa (3) on luetteloitu haetun sanan kanssa esiintyvät sanat ja niiden esiintymiskertojen lukumäärä.

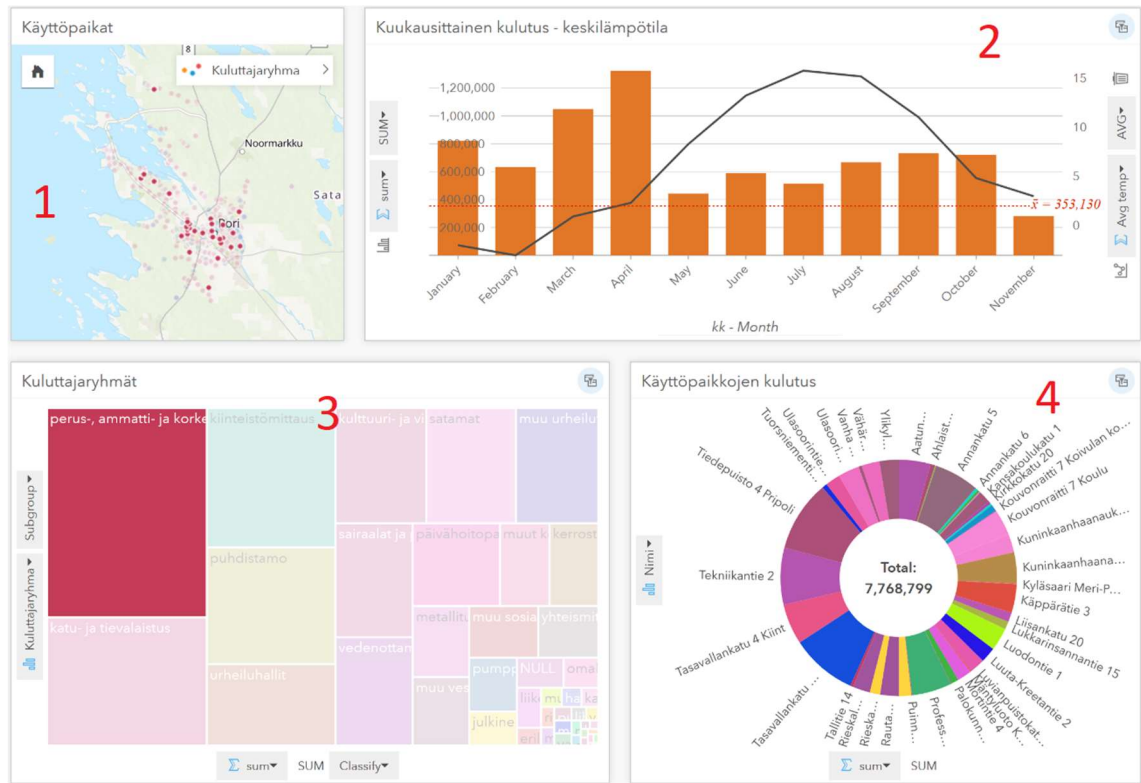
Ohjelman suurimpana puutteena voidaan kirjoitushetkellä pitää sitä, että palvelupyynnöt joudutaan siirtämään käsin siirtotiedoston avulla alkuperäisestä lähteestä. Tulevaisuuden suunnitelmissa on kuitenkin rakentaa rajapinta, jota kautta lähtötietojen haku voitaisiin suorittaa automaattisesti esimerkiksi kerran vuorokaudessa.

#### **4.4 Energiankulutuksen tilastointi**

Yksi työn tavoitteesta oli toteuttaa reaaliaikainen tilastointi- ja analysointisovellus energiankulutuksen seurantaan. Työn aikataulun puitteissa ei tarvittavia liittymiä kaukolämpödatan siirtämistä varten kuitenkaan saatu aikaiseksi, joten työssä jouduttiin tyytymään pelkästään sähködatan tilastointiin. Sähködatan tilastoinnissa jouduttiin myös tekemään kompromisseja, sillä sähködatan siirto ArcGIS Online -pilvipalvelun ja sähködatan sisältävän palvelimen välillä ei toiminut ongelmitta. Tilastoinnissa käytetty sähkönkulutusdata tuotiinkin tämän takia tekstimuotoisella siirtotiedostolla, johon tunnin tarkkuudella olevista sähkönkulutuskäytöksistä oli laskettu kuukausittaiset summat.

Energiadatan tilastointisovellusta hahmotettaessa keskityttiin lähinnä kokeilemaan Insights for ArcGIS -sovelluksen sopivuutta sähkönkulutusedustiedon analysointiin. Sähkönkulutusedustiedon tilastoinnin toteuttamisessa sovelluksella ilmeni samoja ongelmia, mitä palvelupyynnöitä tilastoidessa tuli vastaan. Insights for ArcGIS -sovellus sopisikin siis parhaiten esimerkiksi kuukausittaisen tai vuosittaisen koosteiden tekemiseen. Lisäksi kokeiltaessa tilastointia päivä- ja tuntikohtaisilla tilastoilla, vastaan tulivat myös suorituskykyongelmat. Riippuen käytetystä datan määrästä kuvaajien päivitys kesti useita kymmeniä sekunteja; joissakin tapauksissa päivittäminen keskeytyi jopa aikakatkaisuun.

Sähkönkulutusedustiedon visualisointi Insights for ArcGIS -sovelluksessa on esitetty kuvassa 18. Visualisoinnissa on käytetty kulusedustiedon lisäksi hyväksi myös Ilmatieteen laitokselta siirrettyä lämpötiladataa. Kuukausittaisen kulutuksen kanssa samassa kuvaajassa (2) on esitetty kuukauden keskilämpötila.



**Kuva 18.** Sähkönkulutusdatan visualisointia Insights for ArcGIS -sovelluksessa. Puukartassa (3) on valittu kuluttajaryhmä ja siihen kuuluvat käyttöpaikat on korostettu kartalla (1). Yhdistelmäkaaviossa (2) on kuvattu valitun kuluttajaryhmän kuukausittaisten kulutuslukemien summa pylväinä sekä kuukauden keskilämpötila viivana. Piirakkakuviassa (4) on kuvattu valitun kuluttajaryhmän käyttöpaikkojen kulutuksen jakauma.

## 5. YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli toteuttaa paikkatietopohjaisia tilastointisovelluksia kaupungin päätöksenteon apuvälineeksi. Työn tarkoituksena oli myös tutustua älykkään kaupungin konsepteihin ja mahdollisuuksiin ajatellen tulevaisuuden sovellutuksia. Älykkään kaupungin ymmärtämiseksi työssä käytiin lävitse esineiden internetin, älykkäiden rakennusten ja älykkään kaupungin teoriaa. Työssä käytettiin hyväksi eri lähteistä saatavaa julkisen sektorin tuottamaa avointa dataa analysoinnin tukena. Tietojen tilastoinnit ja analysoinnit toteutettiin pääasiassa paikkatietojärjestelmässä, mutta myös erillinen sovellus toteutettiin tilastoinnin tueksi.

Esineiden internet määritellään lähteestä riippuen usealla tavalla, mutta tiivistettynä voidaan todeta tällä tarkoitettavan laajempaan tietoverkkoon kytkettyjä esineitä. Esineiden internetillä on useita käyttökohteita, mutta etenkin älykkäät rakennukset ovat kaupungin rakennuksia hallinnoivan tahon kannalta kiinnostavia käyttökohteita. Älykkäiden rakennusten ominaisuudet, kuten energiankulutuksen säätelyn ja huoltojen ja korjausten ennakoinnin ajatellaan tuovan suoria rahallisia säästöjä.

Älykkäät rakennukset ovat myös osa älykkäitä kaupunkia. Älykäs kaupunki mahdollistaa useita konsepteja ja palveluita, joiden avulla voidaan lisätä asukkaiden viihtyvyyttä. Älykkään kaupungin ratkaisuilla on myös mahdollista saada suoraa taloudellista hyötyä kaupungille ja täten niiden kehittäminen voidaan nähdä houkuttelevana. Liikenteen hallinnan, energiankulutuksen seurannan, rakennusten kunnon seurannan, älykkään pysäköinnin ja älykkään valaistuksen avulla kaupunki voi saada suoraa tai välillistä rahallista hyötyä.

Älykkään kaupungin sovellutuksista hyvin monessa on mukana paikkatietoa. Täten luonnollinen paikka tallentaa, hallita ja analysoida älykkään kaupungin tuottamaa dataa ovat paikkatietojärjestelmät. Viime aikoina yleistyneet verkkopohjaiset paikkatietojärjestelmät mahdollistavat paikkatiedon helpon jakamisen. Joukkoistamista on myös alettu käyttää hyväksi paikkatiedoissa joko tuottamaan uutta tietoa tai analysoinnin tukena.

Avoimen datan jakamisen kustannukset ovat pienentyneet huomattavasti internetin leviämisen myötä. Myös lainsäädännön muutokset ovat mahdollistaneet tai jopa pakottaneet tietyt julkisen sektorin toimijat julkaisemaan tietoaineistonsa avoimena ainakin tietyllä tasolla. Paikkatietoon liittyvän datan analysoinnin tueksi on saatavilla useita julkisen sektorin tuottamia avoimen datan aineistoja, kuten kiinteistö- ja rakennustietoja. Avoimen datan käytölle ei voi asettaa rajoitteita, joten näiden tietojen käyttö analysoinnin tukena

ei teoriassa tuota ylimääräisiä kustannuksia. Käytännössä näiden aineistojen lataaminen ei ole täysin mutkatonta, vaan avoimen datan periaatteiden vastaisesti useat toimijat kuitenkin vaativat esimerkiksi rekisteröitymään palveluunsa ennen tietojen latausta.

Kaupungin rakennusten ylläpidosta vastaava taho saa useita satoja palvelupyynnöitä kuu-kaudessa johtokeskukseensa. Näiden palvelupyynnöiden kategorioista, prioriteeteista ja kuvauksista voidaan saada tärkeää tietoa rakennusten kunnosta ja mahdollisesti ennakoita tulevia korjauskohteita. Palvelupyynnöiden suoritusaikojen perusteella voidaan myös seurata palvelupyynnötlupausten toteutumista sekä töiden priorisointien ja kategoriointien onnistumista. Näiden tietojen avulla voidaan mahdollisesti saavuttaa merkittäviä säästöjä rakennusten ylläpitokustannuksissa. Vaikka palvelupyynnöiden tiedot saadaankin vielä ”manuaalisesti” voidaan nämä myös nähdä yhtenä älykkään kaupungin sovellutuksista, etenkin kun näihin tietoihin saadaan tulevaisuudessa lisättyä rakennuksen energiankulutukseen liittyvää dataa.

Palvelupyynnöiden tilastointi toteutettiin paikkatietojärjestelmässä. Paikkatietojärjestelmä tarjosi useita erillisiä sovelluksia tilastointien suorittamiseen, mutta jokaisessa sovelluksessa havaittiin erinäisiä puutteita ja täten yksikään sovellus ei sovellu tilastointiin sellaisenaan. Palvelupyynnöiden tilastointia laajennettiin rakentamalla ohjelma, joka mahdollistaa palvelupyynnöiden sanallisen kuvauksen perusmuotoistamisen. Perusmuotoisten sanojen avulla pystytään suorittamaan yksityiskohtaisempia analyysejä sekä tilastoimaan palvelupyynnöitä tavoilla, joihin paikkatietojärjestelmä ei pysty.

Tietojärjestelmäongelmista johtuen sähkö- ja kaukolämpödatan analysointia ei pystytty toteuttamaan reaaliaikaisella datalla. Työn kuluessa kokeiltiin kuitenkin erilaisia vaihtoehtoja tilastoinnin ja analysoinnin toteuttamiseksi tietokannasta tehdyllä otoksella. Näiden kokeilujen perusteella paikkatietojärjestelmässä käytettävissä olevista valmiista sovelluksista yksikään ei sovellu sellaisenaan näin laajojen tietomassojen analysointiin, vaan kehityskohteeksi jääkin erillisen sovelluksen toteuttaminen tätä tarkoitusta varten.



## LÄHTEET

- [1] IoT One, “IoT Terms Database,” 2017. [Online]. Available: <https://www.iotone.com/terms?page=1>. [Accessed: 07-Dec-2017].
- [2] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini, and I. Chlamtac, “Internet of things: Vision, applications and research challenges,” *Ad Hoc Networks*, vol. 10, no. 7. Elsevier, pp. 1497–1516, 01-Sep-2012.
- [3] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey,” *Computer Networks*, vol. 54, no. 15. Elsevier B.V, AMSTERDAM, pp. 2787–2805, 2010.
- [4] Infso D.4 Networked Enterprise & RFID Infso G.2 Micro & Nanosystems in cooperation with RFID Working Group of the European Technology Platform on Smart Systemes Integration (EPoSS), “Internet of Things in 2020 A Roadmap for the Future,” in *Beyond RFID – The Internet of Things*, 2008, p. 31.
- [5] K. Ashton, “That ‘Internet of Things’ Thing,” *RFiD J.*, p. 4986, 2009.
- [6] N. Gershenfeld, R. Krikorian, and D. Cohen, “Internet 0: Interdevice Internetworking,” *BT Technol. J.*, vol. 22, no. 4, pp. 278–284, 2004.
- [7] C. Bormann, A. P. Castellani, and Z. Shelby, “CoAP: An application protocol for billions of tiny internet nodes,” *IEEE Internet Comput.*, vol. 16, no. 2, pp. 62–67, 2012.
- [8] F. Zafari, I. Papapanagiotou, and K. Christidis, “Microlocation for Internet-of-Things-Equipped Smart Buildings,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 1. IEEE, PISCATAWAY, pp. 96–112, 2016.
- [9] X. Su, J. Riekkki, J. K. Nurminen, J. Nieminen, and M. Koskimies, “Adding semantics to internet of things,” *Concurr. Comput. Pract. Exp.*, vol. 27, no. 8, pp. 1844–1860, Jun. 2015.
- [10] A. I. Maarala, X. Su, and J. Riekkki, “Semantic Reasoning for Context-Aware Internet of Things Applications,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 4, no. 2, pp. 461–473, 2017.
- [11] S. N. Han, I. Khan, G. M. Lee, N. Crespi, and R. H. Glitho, “Service composition for IP smart object using realtime Web protocols: Concept and research challenges,” *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 43, pp. 79–90, 2016.
- [12] International Telecommunication Union, “Overview of the Internet of things,” *Ser. Y Glob. Inf. infrastructure, internet Protoc. Asp. next-generation networks - Fram. Funct. Archit. Model.*, p. 22, 2012.
- [13] A. H. Buckman, M. Mayfield, and S. B.M. Beck, “What is a Smart Building?,” *Smart Sustain. Built Environ.*, vol. 3, no. 2, pp. 92–109, 2014.

- [14] L. Jacqi, “4 BIG ways IoT impacts building management,” 2016. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/iot-impacting-building-management/>. [Accessed: 08-Dec-2017].
- [15] A. Crooks, K. Schechtner, A. K. Dey, and A. Hudson-Smith, “Creating Smart Buildings and Cities,” *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 16, no. 2, pp. 23–25, Apr. 2017.
- [16] T. Mulhall, “Smart cities, intelligent buildings,” *RICS L. J.*, vol. July/Augus, pp. 6–8, 2016.
- [17] J. Romeo, “The Internet Of Buildings: Connectivity, Data Collection and Monitoring,” 2017. [Online]. Available: <http://www.ecmag.com/section/systems/internet-buildings-connectivity-data-collection-and-monitoring>.
- [18] S. Sinha, S. Taparia, and R. Mansukhani, “A roadmap to the ‘Internet of Buildings,’” 2014. [Online]. Available: <https://www.greenbiz.com/blog/2014/06/23/roadmap-internet-buildings>. [Accessed: 12-Dec-2017].
- [19] A. McGibney, S. Rea, and J. Ploennigs, “Open BMS - IoT driven architecture for the internet of buildings,” in *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2016, pp. 7071–7076.
- [20] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, “Internet of Things for Smart Cities,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, no. 1. IEEE, PISCATAWAY, pp. 22–32, 2014.
- [21] M. Batty *et al.*, “Smart cities of the future,” *Eur. Phys. J. Spec. Top.*, vol. 214, no. 1, pp. 481–518, 2012.
- [22] N. Walravens and P. Ballon, “Platform business models for smart cities: From control and value to governance and public value,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 6, pp. 72–79, 2013.
- [23] R. L. Baggam, “Smart City (Internet Of Things),” *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci.*, vol. 8, no. 5, pp. 1242–1246, 2017.
- [24] O. Bates and A. Friday, “Beyond Data in the Smart City: Repurposing Existing Campus IoT,” *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 16, no. 2, pp. 54–60, 2017.
- [25] Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, “Melu,” 2017. [Online]. Available: <https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/melu>. [Accessed: 13-Dec-2017].
- [26] Liikennevirasto, “Melu ja tärinä,” 2017. [Online]. Available: <https://www.liikennevirasto.fi/ymparisto/melu-tarina#.WjFLVjdLfic>. [Accessed: 13-Dec-2017].
- [27] “Turun meluntorjunnan toimintasuunnitelma 2013-2018,” Turku, 2013.

- [28] Helsingin kaupunki, “Meluselvitys,” 2017. [Online]. Available: <https://www.hel.fi/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/ymparistonsuojelu/ilmanlaatu-ja-melu/selvitys/melu>. [Accessed: 13-Dec-2017].
- [29] Ympäristöministeriö, “Ilmanlaatua koskeva sääntely,” 2016. [Online]. Available: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmansuojelu/Ilmansuojelun\\_raja\\_ja\\_ohjeavot](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Ilmansuojelu/Ilmansuojelun_raja_ja_ohjeavot). [Accessed: 13-Dec-2017].
- [30] G. Cookson, “INRIX Global Traffic Scorecard,” *Inrix Glob. Traffic Scorec.*, no. February, p. 44, 2018.
- [31] A. Ksiksi, S. Al Shehhi, and R. Ramzan, “Intelligent traffic alert system for smart cities,” *Proc. - 2015 IEEE Int. Conf. Smart City, SmartCity 2015, Held Jointly with 8th IEEE Int. Conf. Soc. Comput. Networking, Soc. 2015, 5th IEEE Int. Conf. Sustain. Comput. Communic.*, pp. 165–169, 2015.
- [32] S. A. Mulay, C. S. Dhekne, R. M. Bapat, T. U. Budukh, and S. D. Gadgil, “Intelligent City Traffic Management and Public Transportation System,” *Int. J. Comput. Sci. Issues*, vol. 10, no. 3, pp. 46–50, 2013.
- [33] P. Gora and P. Wasilewski, “Adaptive System for Intelligent Traffic Management in Smart Cities,” in *International Conference on Active Media Technology (AMT)*, 2014, vol. 8610, pp. 525–536.
- [34] K. Farkas, A. Z. Nagy, T. Tomas, and R. Szabo, “Participatory sensing based real-time public transport information service,” in *2014 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PERCOM WORKSHOPS)*, 2014, pp. 141–144.
- [35] L. Elefteriadou, S. S. Washburn, Y. Yin, V. Modi, and C. Letter, “Variable Speed Limit (VSL) – Best Management Practice,” Tallahassee, 2012.
- [36] V. Vaarala, “Adaptiivisen liikennevalo-ohjauksen toiminta ja vaikutukset,” Tampere University of Technology, 2015.
- [37] M. Manville, D. Shoup, and F. Bacon, “Parking , People, and Cities,” *J. Urban Plan. Dev.*, vol. 131, no. December, pp. 233–245, 2005.
- [38] T. Lin, H. Rivano, and F. Le Mouel, “A Survey of Smart Parking Solutions,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 18, no. 12, pp. 3229–3253, 2017.
- [39] K. Zhang and S. Batterman, “Air pollution and health risks due to vehicle traffic,” *Sci. Total Environ.*, vol. 450–451, pp. 307–316, 2013.
- [40] S. P. Anderson and A. de Palma, “The economics of pricing parking,” *J. Urban Econ.*, vol. 55, no. 1, pp. 1–20, 2004.
- [41] A. Araujo, R. Kalebe, G. Girao, I. Filho, K. Goncalves, and B. Neto, “Reliability

- analysis of an IoT-based smart parking application for smart cities,” in *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2017, pp. 4086–4091.
- [42] S. Lee, D. Yoon, and A. Ghosh, “Intelligent parking lot application using wireless sensor networks,” *2008 Int. Symp. Collab. Technol. Syst.*, pp. 48–57, 2008.
- [43] A. K. Jägerbrand, “LED (Light-Emitting Diode) road lighting in practice: An evaluation of compliance with regulations and improvements for further energy savings,” *Energies*, vol. 9, no. 5, 2016.
- [44] S. P. Lau, G. V. Merrett, A. S. Weddell, and N. M. White, “A traffic-aware street lighting scheme for Smart Cities using autonomous networked sensors,” *Comput. Electr. Eng.*, vol. 45, pp. 192–207, 2015.
- [45] D. Jin *et al.*, “Smart street lighting system: A platform for innovative smart city applications and a new frontier for cyber-security,” *Electr. J.*, vol. 29, no. 10, pp. 28–35, 2016.
- [46] W. Yue, S. Changhong, and Y. Wei, “Study of acquisition streetlights background signal by multi-sensor array,” in *International Conference on Control, Automation and Systems 2010*, 2010, pp. 1000–1003.
- [47] R. Müllner and A. Riener, “An energy efficient pedestrian aware Smart Street Lighting system,” *Int. J. Pervasive Comput. Commun.*, vol. 7, no. 2, pp. 147–161, 2011.
- [48] D. Dietrich, D. Bruckner, G. Zucker, and P. Palensky, “Communication and computation in buildings: A short introduction and overview,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 11, pp. 3577–3584, 2010.
- [49] M. Himanen, “The Intelligence of Intelligent Buildings. The Feasibility of the Intelligent Building Concept in Office Buildings,” Helsinki University of Technology, 2003.
- [50] J. Granderson, M. A. Piette, and G. Ghatikar, “Building Energy Information Systems : State of the Technology and User Case Studies,” no. November, 2009.
- [51] Etelä-Suomen Prosessisysteemi Oy, “Astepäiväluku ja lämmitystarveluku,” 2016. [Online]. Available: <http://www.prssystem.fi/astepaivaluku-ja-lammitystarveluku/>. [Accessed: 01-Nov-2017].
- [52] CIBSE, *Degree-days: theory and application*. 2006.
- [53] Ilmatieteen laitos, “Lämmitystarveluku eli astepäiväluku,” 2018. [Online]. Available: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. [Accessed: 29-Jan-2018].
- [54] Motiva Oy, “Kulutuksen normitus - Laskentakaavat ja ohjeet,” 2016.
- [55] Sanastokeskus TSK, *Geoinformatiikan sanasto*, 4. laitos. Helsinki:

Maanmittauslaitos, 2018.

- [56] S. Alban, “Independent Report Highlights Esri as Leader in Global GIS Market,” 2015. [Online]. Available: <http://www.esri.com/esri-news/releases/15-1qtr/independent-report-highlights-esri-as-leader-in-global-gis-market>. [Accessed: 17-Jun-2018].
- [57] S. Agrawal and R. D. Gupta, “Web GIS and its architecture : a review,” *Arab. J. Geosci.*, vol. 10, no. 23, pp. 1–13, 2017.
- [58] G. Farkas, “Applicability of open-source web mapping libraries for building massive Web GIS clients,” *J. Geogr. Syst.*, vol. 19, no. 3, pp. 273–295, 2017.
- [59] A. I. Aysan, H. Yigit, and G. Yilmaz, “GIS applications in cloud computing platform and recent advances,” in *Proceedings of 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies - RAST2011*, 2011, vol. 105, no. 5, pp. 193–196.
- [60] X. Chen and K. He, “The function of GIS in the smart city construction,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2017.
- [61] W. Tao, “Interdisciplinary urban GIS for smart cities: Advancements and opportunities,” *Geo-Spatial Inf. Sci.*, vol. 16, no. 1, pp. 25–34, 2013.
- [62] M. Attard, M. Haklay, and C. Capineri, “The Potential of Volunteered Geographic Information (VGI) in Future Transport Systems,” *Urban Plan.*, vol. 1, no. 4, p. 6, 2016.
- [63] A. Afaneh and I. Shahrour, “Use of GIS for SunRise Smart City project, large scale demonstrator of the Smart City,” *2017 Sensors Networks Smart Emerg. Technol. SENSET 2017*, vol. 2017–Janua, pp. 1–4, 2017.
- [64] T. Berners-Lee, “The next web.” TED Conferences, LLC, 2009.
- [65] Open Knowledge Finland, “Avoimen tiedon määritelmä,” 2017. [Online]. Available: <http://opendefinition.org/od/1.1/fi/>.
- [66] A. Poikola, P. Kola, and K. a Hintikka, *Julkinen data - johdatus tietoverkkojen avaamiseen*. 2010.
- [67] Avoindata.fi, “Tietoa verkkopalvelusta,” 2017. [Online]. Available: <https://www.avoindata.fi/fi/about>. [Accessed: 07-Nov-2017].
- [68] *EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2007/2/EY, annettu 14 päivänä maaliskuuta 2007, Euroopan yhteisön paikkatietoinfrastruktuurin (INSPIRE) perustamisesta*, vol. 108. EUVL L, 2007, pp. 1–14.
- [69] “INSPIRE Infrastructure for Spatial Information in Europe. Member State Action Plan | Finland, 2016–2020,” 2016.

- [70] Maanmittauslaitos, “Maanmittauslaitoksen avoimen tietoaaineiston CC 4.0 -lisenssi,” 2017. [Online]. Available: <http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindatalisenssi-cc40>. [Accessed: 02-Nov-2017].
- [71] Maanmittauslaitos, “Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet,” vol. 1. pp. 1–108, 2016.
- [72] Väestörekisterikeskus, “Rakennusten osoite- ja koordinaattitiedot väestötietojärjestelmässä,” 2017. [Online]. Available: <http://vrk.fi/rakennusten-osoite-ja-koordinaattitiedot>. [Accessed: 02-Nov-2017].
- [73] *Valtioneuvoston asetus väestötietojärjestelmästä*. 2010.
- [74] Väestörekisterikeskus, “Väestötietojärjestelmän pysyvä rakennustunnus,” 2016. [Online]. Available: <http://vrk.fi/vaestotietojarjestelman-pysyva-rakennustunnus>. [Accessed: 06-Nov-2017].
- [75] Väestörekisterikeskus, “Suomalaisten rakennusten osoitteet, postinumerot ja WGS84-koordinaatit,” 2017. [Online]. Available: <https://www.avoindata.fi/data/fi/dataset/postcodes>. [Accessed: 06-Nov-2017].
- [76] M. Honkola *et al.*, “The Finnish Meteorological Institute – Final report for the Open Data project,” Helsinki, 2013.
- [77] Ilmatieteen laitos, “Avatut ja avattavat tietoaaineistot,” 2017. [Online]. Available: <http://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data-avattavat-aineistot>. [Accessed: 07-Nov-2017].
- [78] Esri, “Insights for ArcGIS - Frequently asked questions,” 2017. [Online]. Available: <https://doc.arcgis.com/en/insights/online/reference/faq.htm>. [Accessed: 25-Apr-2018].
- [79] Esri, “What is a dashboard,” 2018. [Online]. Available: <https://doc.arcgis.com/en/operations-dashboard/help/what-is-a-dashboard.htm>. [Accessed: 27-Apr-2018].

## LIITE A: ESIMERKKI ILMATIETEEN LAITOKSEN AVOIMESTA DATASTA

Ilmatieteen laitokselta saatavassa datassa työn kannalta oleelliset tiedot ovat mittauspaikan nimi (rivi 9), mittausajankohta (rivi 35) sekä mittaustulos (rivi 36).

```
<om:featureOfInterest>
<sams:SF_SpatialSamplingFeature gml:id="fi-1-1-T"> 2
<sam:sampledFeature>
<target:LocationCollection gml:id="sampled-target-1-1-T"> 4
<target:member>
<target:Location gml:id="obsloc-fmisid-101064-pos-T"> 6
<gml:identifier codeSpace="http://xml.fmi.fi/namespace/sta-
tioncode/fmisid">101064</gml:identifier> 8
<gml:name codeSpace="http://xml.fmi.fi/namespace/loca-
tioncode/name">Pori rautatieasema</gml:name> 10
<gml:name codeSpace="http://xml.fmi.fi/namespace/locationcode/geoid">-
16011678</gml:name> 12
<gml:name codeSpace="http://xml.fmi.fi/namespace/loca-
tioncode/wmo">2926</gml:name> 14
<target:representativePoint xlink:href="#point-fmisid-101064-1-1-T"/>
<target:region codeSpace="http://xml.fmi.fi/namespace/location/re- 16
gion">Pori</target:region>
</target:Location> 18
</target:member>
</target:LocationCollection> 20
</sam:sampledFeature>
<sams:shape> 22
<gml:Point gml:id="point-fmisid-101064-1-1-T" srsName="http://www.open-
gis.net/def/crs/EPSSG/0/4258" srsDimension="2"> 24
<gml:name>Pori rautatieasema</gml:name>
<gml:pos>61.47893 21.78320 </gml:pos> 26
</gml:Point>
</sams:shape> 28
</sams:SF_SpatialSamplingFeature>
</om:featureOfInterest> 30
<om:result>
<wml2:MeasurementTimeseries gml:id="obs-obs-1-1-T"> 32
<wml2:point>
<wml2:MeasurementTVP> 34
<wml2:time>2016-01-01T00:00:00Z</wml2:time>
<wml2:value>-4.4</wml2:value> 36
</wml2:MeasurementTVP>
</wml2:point> 38
</wml2:MeasurementTimeseries>
</om:result> 40
```

## LIITE B: KIINTEISTÖTIETOJÄRJESTELMÄN SIIRTOTIEDOSTON RAKENNE

Kenttä	Esimerkkiarvo	Selitys
Tunnus	40028.001	Kaupungin oma tunnus rakennukselle
Kiinteistötunnus	609-1-10-19	Sen kiinteistön tunnus, jossa rakennus sijaitsee
Virallinen rakennustunnus	1011889965	Väestötietojärjestelmässä rakennukselle määritelty pysyvä rakennustunnus
Nimi	Kaupungintalo	Rakennuksen nimi
Osoite	Hallituskatu 12 28100 Pori	Rakennuksen osoite
TA-ryhmä	0100 Toimisto- ja hallintorakennukset	Kaupungin määrittelemä talousarvioryhmä rakennukselle
Koordinaatit ETRS-GK22	X6820008.819, Y22489070.401	Rakennuksen koordinaatit ETRS-GK22 -muodossa
Paloluokka	P3	Rakennuksen paloluokka (Ei luokittelua, P1, P2 tai P3)
Huoneala (hum <sup>2</sup> )	2 609	Huoneala on rakennuksen tilan ala, jonka rajoina ovat tilaa ympäröivät seinien pinnat tai niiden ajateltu jatke. <sup>25</sup>
Huoneistoala (htm <sup>2</sup> )		Huoneistoala on ala, jota rajaavat toisaalta huoneistoja ympäröivien seinien, toisaalta huoneiston sisällä olevien kantavien ja muiden koko rakennukselle välttämättömien rakennusosien huoneiston puoleiset pinnat. <sup>25</sup>
Bruttoala (brm <sup>2</sup> )	3 248	Bruttoala kuvaa koko rakennuksen laajuutta. Bruttoala lasketaan rakennuksen kaikkien kerrostasojen kerrostasoalojen summana. <sup>25</sup>
Tilavuus (rm <sup>3</sup> )	14 900	Rakennuksen tilavuudella tarkoitetaan tilaa, jota rajoittavat ulkoseinien ulkopinnat, alapohjan alapinta ja yläpohjan yläpinta. <sup>26</sup>
Rakennusvuosi	1895	Rakennuksen rakentamisvuosi
Peruskorjausvuosi		Rakennuksen peruskorjausvuosi

<sup>25</sup> SFS 5139 mukainen määrittely

<sup>26</sup> SFS 2460 mukainen määrittely



## LIITE C: PALVELUPYYNTÖJEN RAKENNE

Kenttä	Esimerkkiarvo	Selitys
objectid	234	Juokseva numerointi
description	Postilaatikko rikki.	Kuvaus
status	3	Tila, (3 = pyyntö valmistunut)
notes	Postilaatikko vaihdettu	Palvelupyynnön suorittajan kommentti työstä
priority	1	Prioriteetti (1 = low)
assignment_type	7	Kategoria (7 = Rakennustekniikka)
workorderid	14140236	Viiteavain
duedate	6/5/2017 8:59:59 PM <sup>27</sup>	Määräpäivä ja -kellonaika
workerid	4	Työntekijän id kenelle työ on määrätty
globalid	cb561c9d-21ca-4cd7-952b-8ce247ec6bd1	Pyynnön yksilöivä tunniste
locationaddress	Luvianpuistokatu 1, 28100, Pori	Osoite
declinedcomment	Riittämätön kalusto.	Työntekijän antama syy palvelupyynnön hylkäämiseen
assignedondate	6/5/2017 4:37:55 AM <sup>27</sup>	Milloin työ on määritelty työntekijälle
assignmentread	1	Työntekijä on lukenut palvelupyynnön
inprogressdate	6/5/2017 7:34:59 AM <sup>27</sup>	Milloin työn suorittaminen on aloitettu
completedondate	6/5/2017 7:41:20 AM <sup>27</sup>	Milloin työ on valmistunut
declinedondate	6/6/2017 10:59:47 AM <sup>27</sup>	Milloin työntekijä on hylännyt pyynnön
pausedondate	6/7/2017 4:34:06 AM <sup>27</sup>	Milloin työn suorittaminen on pysäytetty
dispatcherid	3	Palvelupyynnön vastaanottajan id
creationdate	6/5/2017 4:40:45 AM <sup>27</sup>	Palvelupyynnön luontiaika
creator	Mi_****	Palvelupyynnön luoja
editdate	6/20/2017 5:19:03 AM <sup>27</sup>	Viimeisin muokkaus aika
editor	Mi_****	Viimeisin muokkaaja
xcoord	21.7872	Palvelupyynnön sijainnin longituudi
ycoord	61.4817	Palvelupyynnön sijainnin latituudi

<sup>27</sup> UTC-aika, päivämäärä muodossa kuukausi/päivä/vuosi

# LIITE D: PALVELUPYYNTÖJEN TILASTOINTISOVELLUKSEN TIETOKANTARAKENNE

