

Kiinteistöjen energiatehokkuus palveluna internet of thingsin avulla

Kimmo Hovi

Sähkötekniikan korkeakoulu

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 23.5.2016.

Työn valvoja:

Prof. Liisa Halonen

Työn ohjaaja:

TkT Eino Tetri

Tekijä: Kimmo Hovi		
Työn nimi: Kiinteistöjen energiatehokkuus palveluna internet of thingsin avulla		
Päivämäärä: 23.5.2016	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 7+45
Sähkötekniikan ja automaation laitos, Valaistusyksikkö		
Professori: Valaistustekniikka ja sähköinen talotekniikka		
Työn valvoja: Prof. Liisa Halonen		
Työn ohjaaja: TkT Eino Tetri		
<p>Tiivistelmäteksti:</p> <p>Tämän työn tarkoituksena on kartoittaa asioiden internetin mahdollisuuksia kiinteistöjen energiatehokkuuspalvelun luomisessa. Tässä diplomityössä tutkin sitä, minkä edellytysten on täytyttävä, jotta tällaisen palvelun kehittäminen ja yleistyminen on mahdollista.</p> <p>Internet of things, eli asioiden internet, on konsepti laitteista, jotka itsenäisesti keskenään kommunikoimalla muodostavat osiaan suuremman kokonaisuuden. Kiinteistöistä kerättyä dataa analysoimalla voidaan havaita energiatehokkuudelle epäedullisia tapoja, joita emme tienneet meillä olevan.</p> <p>Älyenergia on palvelu, jossa palveluntarjoaja tarjoaa asiakkaalleen energiaa sekä data-analyysiä energiatehokkuuden parantamiseksi. Jotta tämän palvelun yleistyminen on mahdollista, on Internet of things –infrastruktuurin kiinteistöissä kasvettava merkittävästi. Tämä kasvu ei todennäköisesti tapahdu itsestään, vaan palveluntarjoajan täytyy vaikuttaa siihen joko rakentamalla sitä itse tai rohkaisemalla sen kasvua palvelun puitteissa.</p> <p>Diplomityön perusteella Aalto-yliopiston sähkö- ja tietoliikennetekniikan talo sopisi hyvin tilaksi älyenergiapalvelun pilottihankkeelle sen energiankulutuksen, talotekniikan sekä sen pohjaratkaisun vuoksi.</p>		
Avainsanat: Internet of things, Energiatehokkuus, Älyenergia, Palvelu, Big Data		

Author: Kimmo Hovi

Title: Energy efficiency as a service in houses with the help of the Internet of things

Date: 23.5.2016

Language: Finnish

Number of pages: 7+45

Department of Electrical engineering and automation, Lighting unit

Professorship: Illumination engineering and electrical building services

Supervisor: Prof. Liisa Halonen

Advisor: D.Sc. (Tech.) Eino Tetri

Abstract:

The purpose of this master's thesis is to map the possibilities of the Internet of things when developing an "energy efficiency as a service" –product. We study what prerequisites need to be fulfilled in order for this kind of service to thrive.

The Internet of things is a concept of interconnected devices, that make a bigger whole than the sum of it's parts by independently communicating with one another. Through the means of data analysis we can detect patterns and behaviours we were not aware we have, and use this information to our advantage.

The infrastructure on collecting data from houses and facilities need to grow significantly in order for our smart energy –service to be able to take off. This growth will not happen by itself, so the service provider need to expand it, or encourage the potential customers to do it themselves.

The results of this master's thesis show, that the facility for electronics and telecommunications at Aalto university would suit well for a pilot project on smart energy due to it's energy consumption, HVAC –systems and it's basic layout.

Keywords: Internet of things, Energy efficiency, Smart energy, Service, Big Data

Författare: Kimmo Hovi

Titel: Fastigheternas energieffektivitet som en service med hjälp av Internet of things

Datum: 23.5.2016

Språk: Finska

Sidantal: 7+45

Avdelningen för elektroteknik och automation, Belysningsenheten

Professur: Belysningsteknik och elektrisk hushållsteknik

Övervakare: Prof. Liisa Halonen

Handledare: TkD Eino Tetri

Sammandrag:

Syftet med detta diplomarbete är att kartlägga möjligheterna för internet of things vid utvecklandet av en energieffektivitets service. I arbetet forskar vi vilka förutsättningar måste uppfyllas, för att en sådan service kan bli verklighet.

Internet of things är en koncept av apparater, som bildar en helhet som är större än summan av sina delar, genom att självständigt kommunicera med varandra. Med hjälp av data analys kan vi upptäcka saker och vanor som vi inte visste vi hade, och använda denna information för att öka på energieffektiviteten.

För att vår smart energy –service kan få luft under vingarna, måste infrastrukturen bakom internet of things i fastigheter utvecklas rejält. Denna utveckling kommer högst antagligen inte ske av sig själv, och därför måste tjänsteleverantören själv bygga upp det, eller åtminstone katalysera utvecklingen av det.

Vi inser, att Aalto universitetets byggnad för elektro- och telekommunikationsteknik passar bra för en pilotprojekt på grund av sin energiförbrukning, sin hushållsteknik och sin layout.

Nyckelord: Internet of things, Energieffektivitet, Smart energi, Service, Big Data

Esipuhe

Diplomityön kirjoittaminen oli minulle iso mörkö. Sen mörön selättämisessä on auttanut moni ihminen lähipiiristäni.

Tahdon kiittää työni ohjaajaa Eino Tetriä, sekä työni valvojaa Liisa Halosta tsemppaamisestani tämän projektin loppuunviemiseksi. Ilman ohjaustanne en olisi saanut työtä valmiiksi tällä aikataululla. Tahdon kiittää myös Juha Turusta, joka toimi ohjaajanani työn alkumetreillä, sekä auttoi yhdessä Liisan kanssa minua löytämään aiheeni. Tahdon myös kiittää Ville Seppästä, sekä Markku Laukkaa diplomityöprosessini tukemisesta. Ilman teidän pelisilmäanne en olisi töiltäni ennättänyt kirjoittaa tätä työtä loppuun.

Suuri kiitos vanhemmilleni parhaasta kasvatuksesta, jota kukaan voisi toivoa. Teiltä olen saanut itsepäisyyteni viedä koulutukseni loppuun kaikista kohtaamistani haasteista huolimatta, sekä oppinut kohtaamaan kaikki ihmiset kunnioituksella.

Kiitos myös Pupelle, parhaalle koiralle, jota maa on päällään kantanut. Puppe on vanhempieni ohella ainoa, joka on ollut tukenani käytännössä koko opiskeluaikani ja jaksanut kulkea häntä pystyssä silloinkin, kun itselläni on ollut vaikeaa.

Myös Sari Nuikki ansaitsee aivan erityisen kiitoksen. Ilman Sarin esittämiä oikeita kysymyksiä, en olisi löytänyt itsestäni motivaatiota päästä näin pitkälle.

Suurin kiitos kaikista kuuluu kuitenkin tulevalle vaimolleni Katjalle, joka on viimeisen vuoden ajan jaksanut kuunnella valitustani, sekä oudon innostunutta selostusta työni tiimoilta. Tukeksi on ollut korvaamatonta! Kiitos jo kuljetusta matkasta, ja tulevista seikkailuista. *L'aventure commence!*

Helsinki, 23.5.2016

Kimmo J. Hovi

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	ii
Tiivistelmä (englanniksi)	iii
Tiivistelmä (ruotsiksi)	iv
Esipuhe	v
Sisällysluettelo	vi
Lyhenteet ja termit	vii
1 Johdanto	2
2 Internet of things	3
2.1 Mikä on IoT?	3
2.2 Historia	5
2.3 IoT osana digitalisaatiota	6
3 IoT kiinteistöissä	10
3.1 Lähtökohdat	10
3.2 Kiinteistöjen sensoridata	11
3.3 Datan käytön nykytilanne	12
3.4 Datan laajempi hyödyntäminen	13
3.5 Reuna- vai pilvianalytiikka?	14
4 Kiinteistöjen energiatehokkuus palveluna	18
4.1 Tavoitteena energiatehokas älytalo	19
4.2 IoT infrastruktuurin luonti	20
4.3 Palvelun rakentaminen	21
4.4 Palvelun neljä vaihetta	25
4.4.1 Vaihe 1: Sopimuksen solmiminen	25
4.4.2 Vaihe 2: Analyysi	25
4.4.3 Vaihe 3: Katselmus	26
4.4.4 Vaihe 4: Säästö	26
4.4.5 Vaihe 4+: Takaisinkytkentä	26
4.5 Laskutustavat	26
4.6 Hyödyt palveluntarjoajalle ja –ostajalle	28
4.7 Mahdollisia ongelmia liikemallissa	29
5 Case Study: Aalto-yliopiston Otaniemen kampus	31
5.1 Kampuksen esittely	32
5.2 Kiinteistöjen nykytila	33
5.3 Pilottihankkeen implementointi	35

6 Johtopäätökset	38
7 Yhteenveto	40
Viitteet	41

Lyhenteet ja termit

Lyhenteet

IoT	Internet of Things
WoT	Web of Things
PaaS	Platform as a Service
SaaS	Software as a Service
M2M	Machine to Machine
M2H	Machine to Human
DALI	Digital Adressable Lighting Interface
API	Application Programming Interface
ROIC	Return On Invested Capital
SOC	System On a Chip
LED	Light emitting diode, loistediodi
Acre	Aalto university campus & real estate

Termit

Big Data	Massadata, eli konsepti suuresta määrästä dataa
Siirtofunktio	Systemiteknikassa käytetty esitys kuvaamaan lineaarista fyysistä prosessia
Tilaesitys	Systemiteknikassa käytetty esitys kuvaamaan mielivaltaisen monimutkaista prosessia
Säätövoimala	Sähkövoimala, joka kytketään päälle silloin, kun sähkön kulutus on tarjontaa korkeampi verkkotaajuuden romahduksen estämiseksi.
Eksatavu	Miljardi Gigatavua
Zigbee	Langaton verkkoprotokolla jolla on matala tehonkulutus

1 Johdanto

Internet ja sosiaalinen media on muodostunut oleelliseksi osaksi jokapäiväistä elämää, jopa niinkin oleelliseksi, että jo lyhyt aika ilman internetiä, saa ihmisen tuntemaan olonsa avuttomaksi ja haavoittuvaiseksi. Emme enää osaa olla tapaamisissa ajoissa, koska sen siirtäminen on niin yksinkertaista matkapuhelimien ja pikaviestimien avulla. Internet on kehittynyt valtiollisesta viestintäverkosta, yliopistojen väliseksi viestintäverkoksi, yhä edelleen ihmisten väliseksi kommunikaatiokanavaksi, ja yhä enenevässä määrin laitteiden väliseksi kommunikointikanavaksi. Laitteet ovat toki aina olleet välttämättömiä internetin yli tapahtuvassa kommunikoinnissa, mutta itsenäisesti verkon kanssa keskustelevat laitteet ovat tekemässä läpimurtoa. Tämä näkyy muun muassa asenna ja unohda –tyyppisten laitteiden yleistymisenä kuluttajille. Seuraava askel internetin kehityksessä on ihmisistä riippumattomien laitteiden yleistyminen, jolloin lähes mikä tahansa esine, tai asia pystyy keskustelemaan muiden laitteiden kanssa paikallisverkon sekä internetin yli. Tätä konseptia kutsutaan Internet of things:ksi, tai asioiden internetiksi. Ideana on, että laitteet raportoivat toiminnastaan itsenäisesti, jotta muut laitteet voivat toimia tämän tiedon perusteella paremmin. Kun kaikki laitteet raportoivat toimintansa keskitetysti pilvipalveluun, voidaan kerätystä datasta tehdä päätelmiä toiminnasta, ja miten sitä voidaan parantaa. Tällaisia mahdollisesti seurattavia laitteita taloteknisissä järjestelmissä on muun muassa valaisimet, ilmastointi- sekä ilmanvaihtokojeet, lämpöpumput, patterit, pistorasiat ynnä muut.

Näiden laitteiden tuottama valtava datamäärä ei tietenkään muutu automaattisesti hyödyksi, tai voitoksi kenellekään, vaan tuon datan analysointia varten täytyy kehittää aivan omanlaiset algoritminsa eri käyttökohteiden tarpeiden mukaan. Algoritmien kehitys avaa aivan uudenlaisen markkina-alueen yrityksille; IoT –data-analyysin. Kun asiakkaiden omistamat laitteet tuottavat valtavan määrän dataa, voivat yritykset tarjota data-analyysipalveluita mitä erilaisimpien ongelmien ratkaisemiseksi. Eräs tällainen ongelma on energiatehokkuuden parantaminen kiinteistöissä.

Tässä diplomityössä tutkitaan voiko, kiinteistöjen energiatehokkuutta parantaa data-analyysipalvelun avulla, ja mitä se vaatii kiinteistöjen talotekniikalta. Työ pyrkii vastaamaan kysymykseen, mitä tuollaiselta palvelulta edellytetään, jotta se toisi hyötyä niin asiakkaalle kuin palveluntarjoajalle. Internet of thingsin yleistymisen edellytys on, että siitä on saatavissa taloudellista hyötyä, ja tästä syystä tutkimus selvittää myös mitä taloudellisen voiton saaminen vaatii palvelulta. Jos palvelulla on mahdollista tuottaa voittoa, siirtyy sen tutkimuksen rahoituksen painopiste yksityiselle puolelle, ja näin ollen IoT:n yleistyminen saa vauhtia, sekä sen mahdollistamat hyödyt realisoituvat nopeammin.

Tämä tutkimus rajautuu energiatehokkuuspalvelun puitteiden tarkasteluun, eikä paneudu sopimusjuridiseen, tai taloudelliseen analyysiin sen kummemmin.

2 Internet of things

Sanaparilta Internet of things ei ole voinut välttää viime aikoina. Verkkoartikkelit ja uutiset kertovat, kuinka IoT tulee mullistamaan teollisuuden lisäämällä muun muassa prosessien tehokkuutta. Tuota termiä käytetään valtavasti, mutta sen merkitys ja sisältö ei ole itsestään selvää edes asiantuntijoiden kesken. Aikaisemmin internetiin oli yhteydessä ainoastaan osa tietokoneista, mutta nykyään lähes jokainen tietokone on yhteydessä internetiin. Internet of things vie tämän vielä askelta pidemmälle, ja yhdistää kaikki esineet internetiin. Elektriikan valmistustekniikan kehittyessä nykyään myös hyvin pienet, sekä verrattain halvat laitteet pystyvät itsenäiseen kommunikointiin internetin välityksellä. Se, että kaikki esineet yhdistyvät internetiin, ei tule toteutumaan hetkessä, vaan pikkuhiljaa. Tästä saatava hyöty voidaan kyseenalaistaa: Mitä hyötyä on käyttäjälle siitä, että kaikki hänen kodinkoneensa mittaavat esimerkiksi lämpötilaa? Ei välttämättä mitään, jos kaikki menee niinkuin pitää. Entä jos yksi kodinkoneista havaitsee äkillisen lämpötilan nousun, ja käy ilmi, että keittiössä on alkava tulipalo? Lisäämällä asioita, jotka voivat havaita tapahtumia ympäristöstä, saamme enemmän empiiristä dataa, josta voimme tehdä oikeita johtopäätöksiä. Vastaavalla tavalla, jos 20 vuotta sitten joku olisi sanonut, että vuonna 2016 ihmiset käyttävät internetiä eräänlaisena päiväkirjana ystävilleen, olisi tällaisen palvelun kaupalliset hyödyt varmasti kyseenalaistettu. Tuo kehitys oli vielä horisontin takana. David Bowie ennusti vuonna 1999 BBC Newsnightin haastattelussa, kuinka Internet tulee mullistamaan maailman tavalla, jota kukaan meistä ei pystynyt silloin käsittämään. Haastattelija Jeremy Paxman oli Bowien kanssa eri mieltä, mutta nykyään tiedämme Bowien osuneen oikeaan.[1] Internet of thingsiä pidetään seuraavana tuollaisena mullistuksena.

2.1 Mikä on IoT?

Internet of things, eli IoT, tai asioiden internet, on konsepti verkolla yhdistyneistä laitteista, jotka yhdessä muodostavat osiaan suuremman ja tehokkaamman kokonaisuuden. Internet of things voidaan ajatella tietokoneiden keskushermostona, valtavan suurena verkkona, jonka kautta erilaiset keskusyksiköt, yleensä pilvipalvelimet, voivat aistia maailmaa. Sinänsä ei sähköinen esitys maailmastamme ole mikään itseisarvo, vaan pikemminkin työkalu sen tulkitsemiseen. Haluamme saada enemmän näkyvyyttä siihen, mitä asioita voisimme parantaa, jotta elämämme olisi helpompaa, vähemmän ympäristöä kuormittavaa, turvallisempaa ym. Ideana on siis, että laitteet, jotka esimerkiksi mittaavat valaistuksen määrää tai lämpötilaa omaa toimintaansa varten, voisivat jakaa mittausdatansa, jotta esimerkiksi kiinteistöstä ja sen lähiympäristön toiminnasta saadaan kokonaisvaltaisempi kuva.

Termin Internet of things:in otti käyttöön britannialainen yrittäjä Kevin Ashton vuonna 1999. Tuolloin IoT oli ajatus asioista, jotka olivat tunnistettavissa RFID tunnistimilla.[2] Ajatus on sittemmin kehittynyt teknologian kanssa, ja nykyään melko pienetkin laitteet ovat kykeneviä yhdistymään internetiin. Internet of things

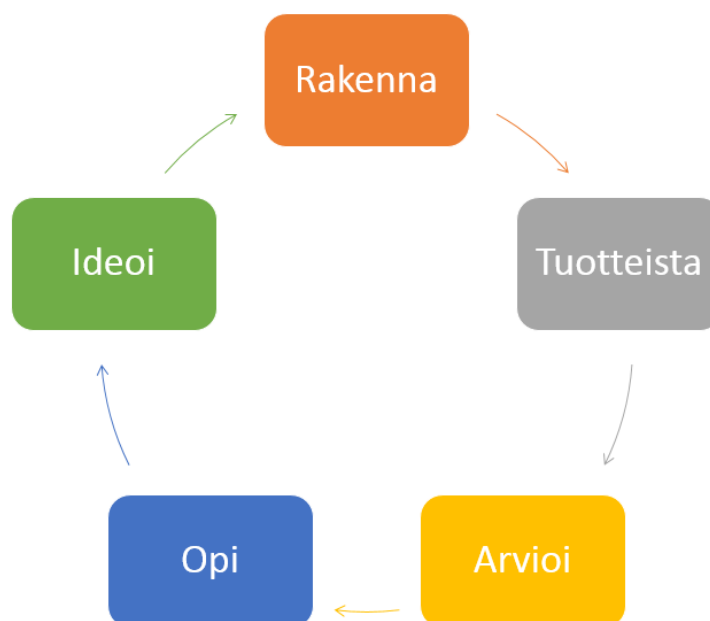
onkin nykyään konseptina paljon laajempi, kuin mitä se tuolloin oli; nuo "asiat" eivät ole enää pelkästään tunnistettavissa, vaan ne kykenevät itsenäiseen toimintaan ja kommunikointiin.

Termin tarkemmassa tarkastelussa käy kuitenkin ilmi, että sen varsinaisesta määritelmästä ei ole vielä täysin vallitsevaa konsensusta. Moni yritys tekeekin termistä oman tulkintansa, mikä nopeuttaa yritysten kehittämien ratkaisujen implementointia, mutta luo hämmennystä niin asiantuntijoiden, kuin asiaan perehtymättömien kuluttajien kesken. Joidenkin yritysten määritelmät ovat parempia ja tarkempia kuin toiset. IoT:n muodostuttua trendisanaksi ovat markkinointiasiantuntijat tietenkin ottaneet termistä täyden hyödyn, ja käyttävät termiä aggressiivisesti markkinoinnissa, vaikka markkinoitu tuote tai palvelu ei varsinaisesti implementoisikaan "Internet of thingsiä" sanan täydessä epämääräisessä merkityksessään. Lienee sanomattakin selvää, että tämä hämmentää kuluttajia entisestään. IoT ei kuitenkaan ole mikään itseisarvo, vaan myydyn järjestelmän hyöty kuluttajille määrittyy yksinomaan sen realisoimasta lisäarvosta ostajalle, ei siitä käyttäkö järjestelmä IoT:tä vai ei.

Internet of thingsin synonyymeihin kuuluu muun muossa "Industrial Internet"(GE), "Internet of Everything"(Cisco), "Web of things"(Ericsson), "Smarter planet"(IBM) ym. Näillä nimillä yritykset haluavat mahdollisesti erottua joukosta sekä profiloitua, ainakin ajatuksen tasolla, tietylle IoT:n osa-alueelle, tai korostaa sen implikoitua merkitystä maailmalle. Tässä diplomityössä käytämme kuitenkin pääsääntöisesti termiä "Internet of things" tai akronyymiä "IoT" puhuttaessa näistä järjestelmistä.

Internet of things on muodostunut trendi-ilmaisuksi, ja sen tiimoilta esiintyykin paljon ylimainostusta. IoT on erittäin läsnä tulevaisuuden näkymiä käsittelevissä artikkeleissa, mutta tällä hetkellä on vaikeaa antaa esimerkiksi yhtään toteutunutta IoT projektia tai implementaatiota. Tulevaisuutta käsittelevät asiantuntijalausunnat puhuvat siitä, miten IoT on lyömässä itseään läpi "näillä hetkillä", mutta varsinaisia suuria IoT implementointeja tai palveluita, jotka olisivat kuluttajien ja edes keskikoisten yritysten ulottuvilla, ei ole. IoT:tä tutkitaan paljon, ja siitä tehdään paljon konseptitoteutuksia, mutta jotta tuotekehitys olisi taloudellisesti kestävä, täytyy tuotteita myös saada suurille markkinoille, jotta tuotteista voidaan saada voittoa ja käyttäjäkokemuksia, jotka voidaan syöttää takaisin tuotekehitysprosessiin (ks. Kuva 1). Internet of things voi ottaa tuulta alleen vasta, kun sen hyödyt voivat tuottaa rahaa niin tuotekehittäjälle kuin tuotteen ostajalle. Näin IoT -palvelut voivat itse rahoittaa omaa tuotekehitystään.

Internet of thingsin tiimoilta ei ole juurikaan palveluita, joita kuluttajat voivat ostaa, mutta se ei tarkoita sitä, etteikö IoT:tä jo käytettäisi esimerkiksi tuotekehityksessä. Autovalmistaja Tesla Motors käyttää asiakkaidensa luvalla uudempien autojensa keräämää sensoridataa hyväkseen kehittäessään ajoneuvoihinsa autopilot-tijärjestelmää. Joka päivä yritys kerää dataa noin 2,4 miljoonalta ajokilometriltä, jota käytetään hyväksi jo osittain käyttöön otetussa autopilot-tijärjestelmässä.[3] Tesla



Kuva 1: Yksinkertaistettu esimerkki ketterästä tuotekehitysprosessista

Motorsin autot siis oppivat paremmiksi kuskeiksi sillä, että muut ihmiset jossain päin maailmaa ajavat Teslan valmistamia autoja. Myös älypuhelimet ovat eräänlainen implementaatio internet of thingsistä. Laitevalmistajat käyttävät käyttäjien tottumuksia hyväkseen suunnitellessa uusia, parempia puhelimia ja palveluita kuluttajille.

Teslan esimerkki kuvaa sen, mistä IoT palveluissa on kyse. Datan laaja kerääminen ja sen hyödyntäminen on IoT liikemallien ydin. Sillä, mistä data saadaan ei ole niin suurta merkitystä, kuin sillä miten sitä tulkitaan, ja miten sillä luodaan asiakkaalle lisäarvoa. Datan kerääminen on mahdollisesti helpoin osa IoT implementaatiota. Vaikein osa on järkevien johtopäätösten tekeminen tuosta datasta. Käytännössä IoT palvelut ovat siis eräänlaisia konsulttipalveluita, jotka antavat asiakkaalle tulkintoja tämän tarjoamasta IoT datasta.

2.2 Historia

Internet of things on käsitteenä niin uusi, että sillä ei juurikaan ole historiaa nimenomaan tuolla nimellä. IoT:n historia koostuu enemmän sen eri komponenttien ja vaatimusten historiasta.

Nikola Tesla sanoi 30. tammikuuta 1926 Colliers Magazinen haastattelussa "When wireless is perfectly applied the whole earth will be converted into a huge brain, which

in fact it is, all things being particles of a real and rhythmic whole. We shall be able to communicate with one another instantly, irrespective of distance. Not only this, but through television and telephony we shall see and hear one another as perfectly as though we were face to face, despite intervening distances of thousands of miles; and the instruments through which we shall be able to do his will be amazingly simple compared with our present telephone. A man will be able to carry one in his vest pocket." [4]

Sanalla wireless hän ei tarkoittanut langatonta tiedonsiirtoverkkoa, kuten me sen nykyään tunnemme, vaan langatonta energiansiirtoa jonka tutkimisen parissa hän vietti suuren osan elämästään. Käytännössä Tesla kuitenkin ennusti älypuhelimet, ja maailman jossa elämme jo tänä päivänä, sekä maailman johon olemme matkalla. Langaton, nopea kommunikointi on IoT:n perusvaatimuksia, ja ilman sitä ei tiedonjakoa tapahdu. On kiehtovaa, että Tesla ei tuolloin ainoastaan nähnyt langattoman kommunikaation olevan mahdollista, vaan myös sen tuomat mahdollisuudet. Guglielmo Marconia pidetään radion, ja modernin langattoman kommunikoinnin keksijänä, vuonna 1900 moni Marconin patenttihakemuksista hylättiin, sillä ne muistuttivat liialti Teslan patenteja. [5] Onkin perusteltua pitää Nikola Teslaa langattoman kommunikoinnin keksijänä.

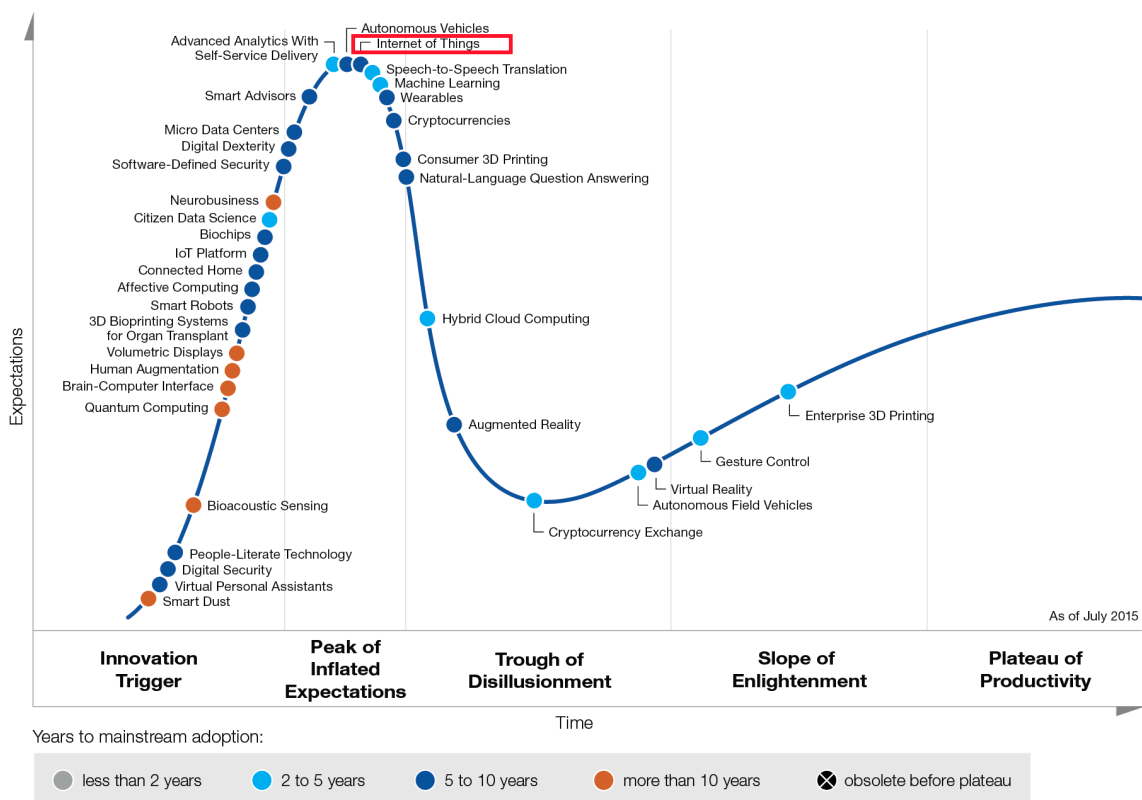
Internet of thingsin kehitykseen ovat vaikuttaneet historian aikana monet yksittäiset harppaukset tekniikassa noin sadan vuoden ajalta. Nämä harppaukset liittyvät paljon internetin kehitykseen sekä internetiin yhdistyvien laitteiden kehitykseen. Myös laitteiden asteittainen pieneneminen on ollut edellytys IoT:n kehitykselle. Internet of thingsin kehitykseen ovat vaikuttaneet useat eri tekijät eivätkä niinkään yksittäiset suuret innovaatiot. Kehitykseen on kuitenkin vaikuttanut ratkaisevasti verkkoyhteyden kykenevien laitteiden miniatyrisointi.

IoT ilmeni vuonna 2011 ensimmäistä kertaa Gartnerin hype-cyclessa, joka on Gartnerin käyttämä visualisaatio eri teknologioiden kypsydestä, ja käyttöönottoarviosta. [6] Tuolloin Internet of thingsin arveltiin olevan laajalti käytössä 5-10 vuoden päästä. Vuonna 2015 IoT on edennyt hype cyclen vaiheissa, mutta laajan käyttöönoton arvio oli yhä edelleen 5-10 vuotta (ks. Kuva 2).

Xeroxin päätutkijana toiminut Mark Weiser oli sitä mieltä, että kaikkialla läsnä oleva, ubiikki tietotekniikka voidaan nähdä virtuaalitodellisuuden vastakohtana; Virtuaalitodellisuudessa ihminen laitetaan tietokoneen maailmaan, kun ubiikki tietotekniikka puolestaan sijoittaa tietokoneet kaikkialle todelliseen maailmaan. [8] Tämä ei ole enää utopistista ajattelua, vaan todellisuutta, ja kehityksen suunta on selvä; yhä yksinkertaisemmat laitteet saavat älyominaisuuksia, ja voivat tulevaisuudessa kommunikoida autonomisesti keskenään, ja hyödyntää joukkoälyä.

2.3 IoT osana digitalisaatiota

Suomessa digitaalisten palveluiden käyttö arkisissa askareissa on ollut arkipäivää jo toistakymmentä vuotta. Esimerkiksi pankkiasiat on ollut helppoa hoitaa internetin



Kuva 2: Gartnerin Emerging Technology Hype Cycle 2015[7]

välityksellä jo pitkään. Käyttäjälle tämä on tuonut etuina muun muassa sen, että pankin palvelut ovat käytettävissä koska vain, mistä vain, halvemmalla sekä ilman jonotusta. Koska pankkiasioiden hoitaminen internetin välityksellä vaatii erittäin varman käyttäjätunnistuksen, ja lähes jokaisella suomalaisella on nykyään tällaiset tunnukset, on pankkitunnuksista tullut luotettava tapa tunnistautua myös muihin varman käyttäjätunnistuksen vaativiin palveluihin. Tätä palveluiden muuttumista sähköisiksi kutsutaan digitalisaatioksi, ja tuota muutisanaa käytetäänkin erittäin paljon esimerkiksi nykyisessä Suomen hallitusohjelmassa.[9]

Digitalisaatio itseasiassa on Juha Sipilän hallituksen läpileikkaava teema, ja hallitusohjelmaan on kirjattu tavoitteeksi muun muassa kaikkien julkisten palveluiden digitalisaatio, joka on hallitusohjelman digitalisaatio –kappaleen kärkihanke numero yksi [10]. Hallitusohjelmassa tosin digitalisaatio nähdään osittain itseisarvona, ja oletuksena on, että julkinen talous saadaan kuntoon digitalisaation avulla ("Toimintatavat uudistaen rakennetaan julkiset palvelut käyttäjälähtöisiksi ja ensisijaisesti digitaalisiksi, jotta julkisen talouden kannalta välttämätön tuottavuusloikka onnistuu."[9]). Julkisten palveluiden digitalisaatio todennäköisesti tehostaakin prosesseja, ja vähentää näin julkisten palveluiden osuutta valtion budjetissa, mutta sen toteaminen implisiittisesti hallitusohjelmassa tuskin riittää tuotantoloikan tekemiseen.

Internet of things voidaan nähdä osana digitalisaatiota, ja hallitus on nostanut IoT:n edistämisen digitalisaatiokappaleen toisen kärkihankkeen ensimmäiseksi toimenpiteeksi. [10] Hallitusohjelmassa puhutaan esineiden internetistä, joka on terminä jokseenkin väärä, ja rajoittava. Asioiden internet –termi ei sulje pois abstraktioita, eikä asioita, jotka ovat liian suuria esineiksi, kuten esimerkiksi kiinteistöjä. Vaikka semantiikka ei ole tässä tapauksessa asian ydin, on siihen hyvä kiinnittää huomiota väärinkäsitysten ehkäisemiseksi. Käytännön toimenpiteiksi IoT:n edistämiseksi hallitus on listannut panostamisen viidennen sukupolven langattomiin viestintäjärjestelmiin, turhan sääntelyn poistamisen, tietoturvan lisäämisen sekä massadataan (Big Dataan) perustuvan suomalaisen liiketoiminnan lisäämisen.[10] Valtiojohtoinen liiketoiminnan lisääminen ei ole kovinkaan kestävä ratkaisu, sillä liiketoiminnan kannattava lisääntyminen tapahtuu markkinaehtoisesti. Valtio tosin pystyy auttamaan tässä esimerkiksi juuri poistamalla turhaa sääntelyä ja sujuvoittamalla lainsäädäntöä tämän liiketoiminnan ympäriltä.

Joitain julkisia palveluita on jo osittain digitalisoitu Internet of thingsin avulla. Posti on esimerkiksi lanseerannut Suomessa SmartPost –pakettiautomaatin vuonna 2011, jonka avulla pakettinoudot sekä –lähettykset ovat asiakkaille paremmin saatavilla postikonttorin pudotessa pois yhtälöstä.[11] Yhden pakettiautomaatin hankinta- ja huoltokustannukset ovat todennäköisesti valtavan paljon pienemmät, kuin postikonttorin ylläpitokustannukset tilavuokrineen sekä henkilöstökuluineen. Vastaanottaja saa tekstiviestin noudettavissa olevasta paketista sen saavuttua, sekä koodin, jolla pakettiluukun saa auki. Mikäli paketti on toimitettu postiennakolla, voi vastaanottaja maksaa ennakon automaattissa sijaitsevalla maksupäätteellä. Prosessi toimii myös toisinpäin; lähettäjä voi käyttää pakettiautomaattia lähettääkseen paketin. Koska Posti on julkinen palvelu, on sen oltava saatavilla jokaiselle Suomen kansalaiselle. Postipalveluita ei siis voida vähentää tuotannollis-taloudellisista syistä, sillä markkinaehdot eivät päde julkisiin palveluihin. Tapa säästää kustannuksissa on lisätä haja-asutusalueelle pakettiautomaatteja, jotka toimivat lähes itsenäisesti. Näin voidaan säästää suuriakin rahasummia palvelun huonontumatta, ehkä jopa palvelun parantuessa.

Digitalisoinnin merittävimmat mahdollisuudet eivät kuitenkaan välttämättä synny julkisten palveluiden sujuvuuden parantamisesta, vaan uusien markkinaehtoisten palveluiden ilmenemänä. Julkiset palvelut ovat jokaiselle kansalaiselle välttämättömyys, ja joudumme käyttämään niitä, olivat ne digitalisoituja ja tehokkaita tai ei. Nämä palvelut toimivat usein luonnollisen monopolin kautta, eikä niiden olemassaoloon, tai hintaan pysty vaikuttamaan siirtämällä kysyntää muualle. Sähkönjakeluverkko, koulut ja verovirasto ovat tällaisia palveluita. Yksityiset markkinaehtoiset palvelut taas ovat täysin riippuvaisia asiakkaiden kiinnostuksesta palveluansa kohtaan. Markkinaehtoiset palvelut siis ovat niitä palveluita, joihin asiakkaat, niin kotimaiset kuin ulkomaiset, haluavat käyttää rahansa, ja ovat näinollen erilaisessa asemassa valtion kilpailukyvyyn parantamisessa. Jos jokin yritys haluaa pärjätä markkinoiden ehdoilla, on sen pystyttävä tuottamaan asiakkailleen arvoa nopeammin, mukavammin, parem-

min, halvemmin tai muulla kilpailuedulla.

Jotta palveluiden digitalisointi voi tuoda mukanaan hyötyjä, täytyy lainsäädännön mahdollistaa niiden synty luomalla sopivat puitteet liiketoiminnalle. Taksipalvelu Uberin kaltaiset digitalisoituneet palvelut ovat alituisen vastakkain lain, sekä nykyisestä lainsäädännöstä hyötyvien kanssa. Vanhojen rakenteiden ylläpito perinteiden vuoksi ei ole kannattavaa, ja siitä kärsivätkin kaikki, paitsi nykyiset toimijat, sillä hinnat voidaan pitää korkealla, eikä palvelua tarvitse kehittää, koska asiakkailla ei ole valinnanvaraa. Uber taas painostaa kuljettajia olemaan asiakasystävällisiä antamalla jokaiselle kuljettajan kyydissä olleelle matkustajalle mahdollisuuden arvostella kuljettajaa. Huonot kuskit eivät enää saa asiakkaita kuljetettaviksi, ja hyvät saavat. Näin palvelu paranee. Palvelua käytetään alusta loppuun älypuhelimella, joka ei enää ole asiakkaita rajoittava tekijä, kuten ehkä viisi vuotta sitten. On huolestuttavaa, että samaan aikaan, kun hallitusohjelmaan on kirjoitettu digitalisaation, sekä IoT:n edistäminen, kysytään toisaalla voitaisiinko Uber kieltää Suomessa kokonaan.[12] Mikael Jugnerin sanoin: "Se mitä Suomi nyt tekee, on kuin kieltäisimme internetin 90-luvulla suojellaksemme printtimediaa"[13].

3 IoT kiinteistöissä

Internet of things on vielä uudehko ilmiö niin kiinteistöissä, kuin muuallakin. On siis vaikeaa löytää IoT implementointeja, jotka on toteutettu suuremmalla mittakaavalla. Monet toteutukset ovat pienehköjä proof of concept –toteutuksia, tai uudisrakennuksia. Suurimmat markkinat löytyvät kuitenkin jo olemassaolevista kohteista, joiden energiatehokkuutta halutaan parantaa rahan säästön sekä yhä kiristyvien ympäristövaatimusten myötä. IoT:n tuottaman big datan analysoinnin kaikki hyödyt ovat vasta selviämässä, ja yritykset kehittävätkin paraikaa liikemalleja, joilla big dataa voidaan hyödyntää tehokkaasti ja geneerisesti.

3.1 Lähtökohdat

Koska IoT on vasta muutaman vuoden vanha ilmiö, mutta suurin osa kaikista maailman taloista on rakennettu ennen IoT –hyphen alkua, ei yksikään talo liene rakennettu IoT mielessä. Näinollen ei keskiverto taloon ole asennettu juuri mitään sensoreita, joita voitaisiin hyödyntää IoT implementaatioissa. Uudempiin asuintaloihin sekä toimistotaloihin on joissain tapauksissa asennettu jonkinnäköinen valaistusohjausjärjestelmä käyttäen esimerkiksi DALI-rajapintaa, jonka kautta ne ovat yhdistettävissä verkkoon DALI –reititintä käyttäen.[14] Myös jotkut modernit ilmastointikojeet, sekä lämpöpumput ovat ohjattavissa erinäisten sarjaväylien kautta, mutta nämä ovat melko harvinaisia. Yleisimpänä ohjausväylänä toimii analoginen 0-10V järjestelmä[15][16][17]. Lähtökohdat IoT:lle kiinteistöissä eivät siis välttämättä ole parhaimmat kiinteistön perusinfrastruktuurin näkökulmasta.

Kun suora arvojen lukeminen tai laitteiden ohjaaminen ei onnistu, täytyy käyttää luovuutta saman lopputuloksen saamiseksi. Langattomia sensoreita on melko helppoa asentaa, tai jopa suunnitella ja rakentaa itse esimerkiksi Arduinon pohjalle [18]. Lähes jokainen ilmalämpöpumppu on kauko-ohjattavissa infrapunakaukosäätimellä, ja on laitteita jotka voivat säätää ilmalämpöpumpun asetuksia infrapunasignaalilla ollessaan samalla yhteydessä älypuhelimien matkapuhelinverkon kautta [19]. Sähkölaitteiden, kuten sähköpattereiden päälle/pois ohjausta pystyy taasen suorittamaan yksinkertaisilla releohjaimilla, jotka ovat myös melko helposti asennettavissa. Mikäli valaisimet ovat ohjattavissa DALI-rajapintaa käyttäen, voidaan kaikki väylään liittyneet laitteet paljastaa verkolle käyttämällä valmiita DALI-reitittimiä. Vaikka dataa saadaan kerättyä, ja laitteita ohjattua kiertoteitse, täytyy jo aikaisessa vaiheessa hyväksyä, että kaikkea dataa ei saada ulos vanhemmista laitteista. IoT käsittää tietenkin myös muuta kuin pelkästään kiinteistön LVI-laitteiston. Ihanteellista olisi, että kaikki kiinteistön älylaitteet pystyisivät keskustelemaan keskenään avoimesti. Näihin laitteisiin kuuluvat mm. älytelevisiot, stereot, älykellot, talon älyvaaka, palohälyttimet, pesukoneet ym. Vaikka nämä laitteet eivät yksinään välttämättä pysty tarjoamaan dataa, josta on hyötyä, pytyvät ne siihen yhdessä.

Tässä luo suuren haasteen ad hoc –laitteet ja -protokollat, jotka eivät pidä dataansa avoimena tai jotka eivät jäsentele dataansa järkevällä tavalla. Jotta *hyödyllisiä*

IoT sovelluksia voidaan rakentaa, tulee laitteiden rajapinnan olla avoin, ja laitteiden toimia saumattomasti keskenään. Ainoastaan näin voidaan sensoridatasta saada holistinen kuva, jonka avulla laitteiden ohjaus voi tapahtua keskitetyn älyn kautta. Näin laitteet, joissa on sensoreita ja/tai ovat etäohjattavissa, voisivat saada uusia käyttösovelluksia ajan myötä. Eräs esimerkki voisi olla liiketunnistimin varustettu kodin varashälytinjärjestelmä, jonka liiketunnistindataa voisi käyttää ilmastoinnin tai valaistuksen huonekohtaiseen säätöön.

3.2 Kiinteistöjen sensoridata

Vaikkei kiinteistön olosuhteiden mittaaminen ja tuon tiedon hyödyntäminen taloteknisissä laitteissa olekaan mikään uusi asia, niin sitä on kuitenkin laitteiden yhteistyö. Monella valmistajalla on jo pitkään ollut laitteita jotka keskustelivat keskenään, mutta nämä laitteet ovat olleet käytännössä aina saman valmistajan laitteita, jotka olivat suunniteltu toimimaan yhteen alusta alkaen. Nyt tapahtuva IoT mullistus on erilainen siinä mielessä, että kaikkien eri valmistajien laitteet halutaan keskustelemaan keskenään, ja näin nostamaan tehokkuuttaan. Vaikka aiemmin mainittu "yhden valmistajan loukku" saa paperilla rakennuttajat ostamaan juuri tämän valmistajan laitteita, ei yritysmalli todellisuudessa toimi niin hyvin kuin voisi. On toiveajattelua ajatella, että kiinteistöön ostettaisiin myös peruskorjausten yhteydessä vain yhden ja saman toimittajan laitteita. Rakennuttajalle huomattavasti toimivampi konsepti on saada kaikki laitteet merkistä riippumatta puhaltamaan yhteen hiileen.

Jotta IoT ei jäisi vain uusien rakennusten luksustuotteeksi, tulee myös vanhempia laitteita voida käyttää datan keräämiseen ja ne pitää saada keskusohjauksen piiriin. Tietenkään kaikki vanhat laitteet eivät pysty jakamaan dataansa, jos ne eivät kykene kommunikoimaan mihinkään väylään. Erilaisia taloverkkoja kuten LON, KNX ja DALI on kuitenkin ollut jo jonkin aikaa, ja näille väylille löytyykin erilaisia IoT reitittimiä. Näiden reitittimien avulla vanhemmat laitteet saadaan uudempien laitteiden kanssa samaan verkkoon, jolloin myös vanhojen laitteiden uusimistarve vähentyy. Jotta IoT voidaan ottaa käyttöön kiinteistössä, vaatii se kuitenkin jonkinlaisen alkuinvestoinnin. Mikäli kiinteistö on uudisrakennus, joka on alun perin suunniteltu IoT -taloksi, on alkuinvestointi sisällytettynä rakennuskustannuksiin. Nämä talot ovat kuitenkin auttamatta vähemmistössä, ja suuret markkinat löytyvät vanhojen rakennusten IoT sovelluksista. Kun sensoridataa aletaan kerätä täytyy varmistaa, että kaikki data on samassa muodossa, jotta kaikki järjestelmät voivat tulkita tuota dataa. Kaikki lämpötila-antureista luettu data tulisi olla keskenään samassa muodossa jne. Osittaisen ratkaisun tähän tarjoaa valmiit Platform as a Service (PaaS) –pilvipalvelut, jotka pystyvät ottamaan kaikenmuotoista dataa vastaan, ja tulkitsemaan sitä tarpeen mukaan. Toki sensoridata tulee ensin saada siirrettyä tuonne pilveen, joka saattaa muodostua ongelmaksi aikaisemmin mainituissa ad hoc toteutuksissa.

Kiinteistöjen muodostamat M2M verkot, joissa yksittäiset toimijat tarvitsevat monentyyppistä dataa, ovat perustavalla tavalla erilaisia verrattuna esimerkiksi open

e-science –dataan, jossa toimijat tarvitsevat yleensä vain yhdentyyppistä dataa.[20] E-science on tutkimusta, joka perustuu suurien datamäärien analysointiin, ja siksi se tapahtuu tietokoneiden avulla. Esimerkiksi DNA-, ja syöpätutkimusta tehdään paljon e-Sciencen avulla. Kiinteistöihin asennettujen sensorien ja ohjauslaitteiden väliset suhteet ovat kuitenkin paljon tätä moniulotteisempia. Esimerkiksi yhden huoneen lämmityksen säätö voi vaikuttaa myös toisten huoneiden lämmitykseen. Hiljattain markkinoille on tullut pilvipalveluita, kuten Google App Engine, Microsoft Azure ja Amazon DynamoDB, jotka pystyvät tallentamaan taloverkon suoltaman datamäärän. Nämä palvelut eivät kuitenkaan pysty hallitsemaan laitteiden välisiä suhteita.[20] Suurimmaksi haasteeksi IoT:n laajassa käyttöönotossa kiinteistöissä muodostuukin laitteiden, sensorien ja datan monimutkaisten suhteiden mallintaminen.

Mielenkiintoisimpia aspekteja datan keräämisessä on se, että kerättyä dataa voi käyttää sovelluksiin, joita ei osattu edes kuvitella asennushetkellä. Koska datan analysointi tapahtuu yleensä pilvessä kuuluvat kiinteistöjen IoT sovellukset tuotteisiin, jotka paranevat ostohetkestä lähtien. Laitteiden sensoridataa voidaan myös lähettää laitevalmistajalle, joka voi tarkkailla laitteen toimintaa, ja lähettää korjaajan paikalle, jo ennen kuin laite rikkoutuu. Just-in-time korjaus on kaikille osapuolille hyödyksi. Käyttäjälle tulee mahdollisimman lyhyt käyttökatko, huoltomiehen työmäärä pienee, kun kuluneet osat vaihdetaan ennen lopullista hajoamista ja laitevalmistajan laitteet saavat luotettavan maineen. Lisäksi laitteita ei myöskään korjata liian ajoissa, vaan osat vaihdetaan vasta täysin palvelleina.

Dataa kerätessä, ja siirrettäessä internetin yli, nousee ennen pitkää kysymys tietoturvasta. Väärissä käsissä dataa voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi vuorokausirytmien selvittämiseksi murtoa suunniteltaessa. Siksi tietoturva täytyy ottaa vakavasti alusta alkaen. Internet of thingsin tulevaisuus on täysin riippuvainen siitä, miten avoimin mielin kuluttajat sen ottavat vastaan. Jos tietoturvasta on huoli, ei IoT saa hyväksyntää suurelta yleisöltä, ja sen tuomat edut jäävät hyödyntämättä.

3.3 Datan käytön nykytilanne

Tällä hetkellä, jos dataa tarvitaan jonkin järjestelmän toiminnan optimointiin, kerätään data vain ja ainoastaan tätä järjestelmää varten. Jos järjestelmälle tehdään jonkinnäköistä optimointia, on se yleensä kertaluontoista, asentajien suorittamaa säätöä. Otetaan esimerkiksi ilmalämpöpumppu, joka mittaa sisä- ja ulkolämpötilaa, ja säätää omaa toimintaansa tämän tiedon pohjalta. Yleensä tuo lämpötilatieto pysyy ainoastaan tuon ilmalämpöpumpun tietona, eikä sitä jaeta muiden järjestelmien kanssa, jotka saattaisivat hyötyä tuosta tiedosta. Jos tuon yksittäisen ilmalämpöpumpun sensoridataa voitaisiin käyttää osana koko talotekniikan tiedonkeruuta, voisivat yksittäiset järjestelmät muodostaa osiaan suuremman kokonaisuuden. Jos Järjestelmä x, jossa myös on lämpömittari, lähettäisi datan samaan paikkaan kuin ilmalämpöpumppu, voisimme seurata toisella puolella kiinteistöä mikä, ilmalämpöpumpun vaikutus on tuossa toisessa osassa kiinteistöä.

Monissa uusissa ja peruskorjatuissa kiinteistöissä on jo käytössä älykästä talotekniikkaa, etenkin valaistuskäytössä. Päivänvalo- sekä läsnäolosensorit antavat arvokasta tietoa siitä, kannattaako valoja pitää päällä yleisen viihtyvyyden kannalta. Järjestelmät ovat usein toteutettuja DALI- tai KNX-verkkojen avulla. Nämä järjestelmät toimivat usein hyvin paikallisesti, kuten esimerkiksi huonekohtaisesti, tai valaisten muutaman metrin käytävää kerralla, kun tavoitteena olisi enemminkin järjestelmä, joka "toimii kuin ajatus". Nykyistä datan käyttöä, ei ehkä voisi kutsua datan käytöksi varsinaisesti, koska järjestelmät ovat luonteeltaan tapahtumalähtöisiä, eikä aiempia mittaustuloksia käytetä, sillä sitä ei tallenneta minnekään.

Mahdollisesti suurimpia loikkauksia mitä Suomessa on IoT:n saralla tehty on vuonna 2009 voimaan astunut valtioneuvoston asetus sähköntoimituksen selvityksestä ja mittauksesta[21], joka asetti sähkönjakelijoille suuren paineen sähkömittariston vaihtoon etäluettavaksi. Mittareiden vaihto etäluettaviin malleihin ei ole mahdollistanut ainoastaan sähkön helppoa kilpailutusta kuluttajille, vaan se myös velvoittaa siirtoyhtiöitä tarjoamaan mittaustiedot asiakkaille verkkopalvelun kautta, josta asiakas näkee toteutuneen sähkönkulutuksen noin tunnin tarkkuudella. Tämä lienee ensimmäinen IoT -laite, joka on maanlaajuisesti asennettu, ja jonka hyödyt ovat käytännössä jokaisen tavoiteltavissa. Lähes reaaliaikainen sähkönkulutuksen seuranta on loistava lähtökohta energiantehokkuuden parantamiselle. Käytännössä valtioneuvosto on antanut jokaiselle suomalaiselle sähkönostajalle tärkeimmän työkalun energiansäästöä; tavan todentaa toteutuneet säästöt.

3.4 Datan laajempi hyödyntäminen

Datan hyödyntäminen vanhemmissa rakennuksissa voi osoittautua haasteelliseksi olemassa olevien laitteiden ollessa suunniteltuja verrattain itsenäiseen toimintaan. Ongelmana on siis, että laitteita on (termostaatit, valosensoreita, valon ohjausta ym.), mutta laitteet eivät osaa keskustella keskenään, eikä IoT yhdyskäytävän kanssa. Ongelma voidaan ratkaista ainakin osittain erilaisten reitittimien avulla. Jos laite on kykenevä kommunikointiin kolmannen osapuolen kanssa jonkinnäköistä väylää pitkin (DMX, KNX, DALI, RS232 tms.), voidaan se liittää paikallisverkkoon jo markkinoilla olevan reitittimen avulla, ja yhdyskäytävän kautta internetiin. Reitittimien hankinta ei ole kuitenkaan ilmaista, ja se voi nostaa kynnystä IoT:n hyötyjen tavoitteluun lähtemisessä.

Moni kiinteistöissä mitattu suure ei käyttäydy lineaarisesti tai välittömästi, mikä aiheuttaa haasteita toimilaitteiden järkevässä ohjauksessa. Otetaan esimerkiksi lämmön siirtyminen tilasta toiseen, joka riippuu monesta tekijästä; huoneen ilmanvaihdosta, seinien materiaalista, huoneessa olevien esineiden lämpökapasiteetista ym. Näitä parametreja on käytännössä mahdotonta määritellä etukäteen, sillä käytännössä on mahdotonta saada selville kaikkien tilassa olevien esineiden tarkkaa lämpökapasiteettia. Yksinkertaistetaan esimerkkiä vielä niin, että tarkastelemamme kohde on talo, jossa on yksi ainoa huone, johon kokoontuu vaihtelevan kokoinen jouk-

ko ihmisiä. Talon lämmönsiirtoparametrien selvittäminen voi olla erityisen hankalaa, sillä talon rakennushetkellä nämä eivät välttämättä ole olleet tiedossa. Toimivampi tapa huoneen lämpövasteen selvittämiseksi on empiirinen järjestelmämallinnus, jossa lämmönsiirtoprosessille yritetään selvittää kohtalaisen tarkka tilaesitys mm. korrelaatioanalyysin avulla. Menetelmässä käytetään raakaa dataa selvittämään, kuinka tila reagoi eri herätteisiin ja näin pyritään saamaan arvio siitä, miten tila reagoi lähitulevaisuudessa. Kun huoneen siirtofunktiolle, tai tilaesitykselle saadaan approksimaatio, voidaan arvoida esimerkiksi ulkona vallitsevan lämpötilan vaikutus lämmitykseen, ja näin hyödyntää jopa sääennusteita älykkäässä lämmityksessä. Järjestelmä voisi myös tehdä oletuksia ihmisten lukumäärästä tilassa hiilidioksidianturien avulla, ja hyödyntää ihmisten tuottamaa lämpöä, joka voidaan approksimoida olevan noin 100W/hlö. Tämän ennustamisessa järjestelmä voisi esimerkiksi seurata tilanvarauskalenteria, johon varaaja arvioi osallistujamäärän. Esimerkissä saamme kolmen anturin (sisälämpötila, ulkolämpötila, hiilidioksidi) ja data-analyysin avulla mallin, jonka avulla voimme hyödyntää ihmisten lämmitystehoa, sekä ulkona vallitsevaa lämpötilaa energiansäästöissä. Todellisessa tapauksessa täytyisi ottaa huomioon myös ilmanvaihto, sillä hiilidioksiditason noustessa, ennen pitkää joku avaa ikkunan tai oven. Ottamalla huomioon mahdollisimman monta muuttujaa, voimme saada energiatehokkaamman tilan lisäämällä myös sen mukavuutta. Tässä esimerkissä mainittu ihmisten lämmityspotentiaali voi olla valtava. Finlandia-saliin esimerkiksi mahtuu noin 1700 ihmistä kerralla, ja kun jokainen ihminen tuottaa noin 100 W lämpöä, tulee näiden ihmisten tuottamaksi lämmitystehoksi huikeat 170 kilowattia.

Kun pilvianalyysiä suoritetaan, ei analyysin tarvitse välttämättä aina liittyä suoraan mitattuihin parametreihin sekä niiden tulkintaan, vaan pilvianalytiikkaa voisi myös käyttää oman toimintansa ja sen puitteiden tulkitsemiseen. Jos analyysissä havaitaan epävarmuutta, voidaan aloittaa erillinen analyysi siitä, miten analyysiä voitaisiin parantaa. Tuloksena haettaisiin konkreettisia toimia, ja järjestelmä voisi esimerkiksi ehdottaa eri sensorien lisäämistä järjestelmään analyysin tarkkuuden parantamiseksi.

3.5 Reuna- vai pilvianalytiikka?

Vuonna 2015 ennustettiin noin 4,9 miljardia "Asiaa"(things), olevan käytössä ja yhteydessä internetiin. Tuon saman arvion mukaan olisi vuonna 2020 käytössä 25 miljardia laitetta.[22] Laitteiden määrän räjähdysmäinen kasvu tuottaa ongelmia internetin infrastruktuurin kannalta; kuinka verkko-osoitteet riittävät, ja kuinka tietoliikenneyhteydet kestävät eksponentiaalisesti kasvavaa datavirtaa?

Yhä useamman laitteen ollessa kykenevä itsenäiseen kommunikointiin internetiin, nousee esiin uudenlainen ongelma; Kuinka olemassaoleva infrastruktuuri kestää yhdistettyjen laitteiden eksponentiaalisen kasvun? Ensimmäinen askel tällä saralla on ollut vanhan Ipv4 -protokollan asteittainen korvaaminen Ipv6:lla. 32-bittinen Ipv4 mahdollisti noin 4,3 miljardia uniikkia osoitetta, mikä riitti hyvin 80-luvun internetutopiaan. Internetin suosio kasvoi kuitenkin räjähdysmäisesti, ja jo 80-luvun

lopulla ymmärrettiin, että 32-bittinen osoiteavaruus ei riitä tulevaisuutta varten.[23] Ratkaisuksi kehitettiin Ipv6 -protokolla, jonka osoiteavaruus on 128 bittinen, ja riittää noin $340 * 10^{36}$ solmuun. Siirtyminen ipv4:stä ipv6:n on ainakin toistaiseksi ratkaissut ongelman verkko-osoitteiden loppumisesta.

Verkko-osoitteiden riittävyyden takaaminen on ensimmäinen osa suuren infrastruktuuripulman ratkaisua. Jos kuvittelemme hetkeksi, että vuonna 2020 todella on 25 miljardia laitetta yhdistettynä verkkoon, ja että jokainen näistä laitteista tuottaa keskimäärin kaksi datavirtaa. Kumpikin näistä datavirroista koostuu 20 s välein otetusta kahdeksan bitin, eli yhden tavun mittapisteestä. Pieni laskutoimitus osoittaa, että nämä laitteet tuottavat joka minuutti 150 Gigatavua dataa.

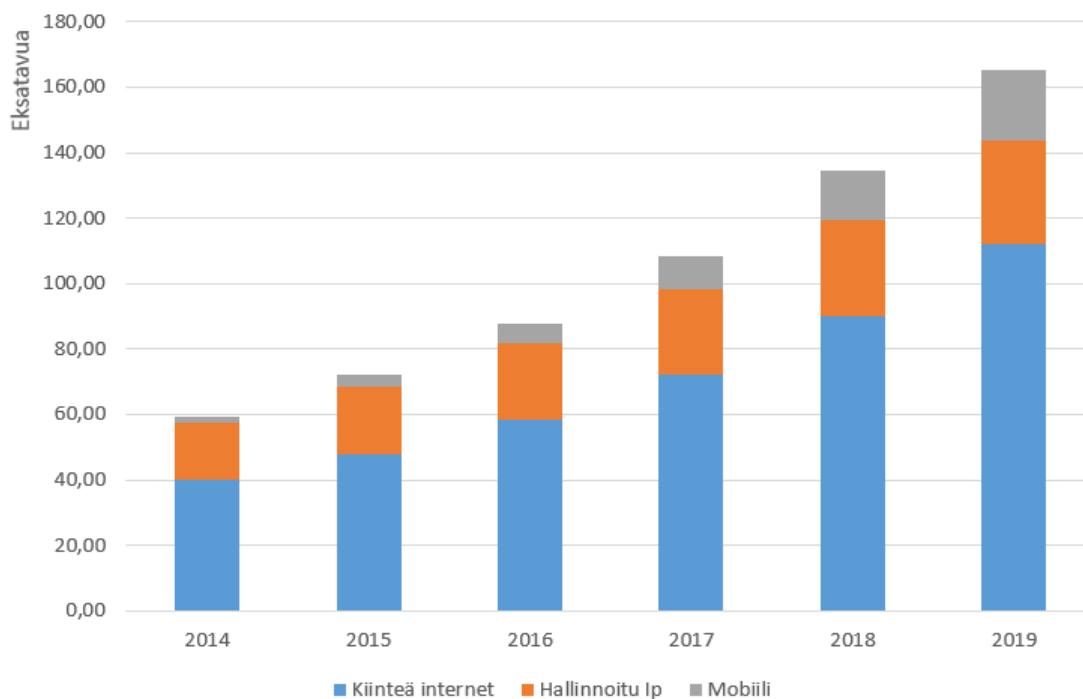
$$25 * 10^9 \text{laitetta} * 2 \frac{\text{tavua}}{\text{mittaus} * \text{laite}} * 3 \frac{\text{mittausta}}{\text{min}} = 150 \frac{\text{Gigatavua}}{\text{min}}$$

Jotta tämä data olisi pilvelle hyödyllistä, tulee laitteen lähettää myös mittauksen ajankohta. Jos yksi laite lähtää kahta eri mittavirtaa, voidaan verkkoliikennettä vähentää lähettämällä molemmat mittapistet samanaikaisesti, ja näiden kanssa yksi ja sama mittausajankohta. Aikaleiman koko on yleensä kahdeksan tavua, joten dataa tulisi lähettää yhteensä kymmenen tavua mittaukselta kohden. Huomataan siis, että dataa lähetetäänkin

$$25 * 10^9 \text{laitetta} * 3 \frac{\text{mittausta}}{\text{min}} * 10 \frac{\text{tavua}}{\text{mittaus} * \text{laite}} = 750 \frac{\text{Gigatavua}}{\text{min}}$$

750 gigatavua minuutissa pelkkää raakaa mittausdataa. Tässä esimerkissä ei ole otettu huomioon vielä edes kaikkea tietoa, mihin tämä data täytyy paketoita, jotta se löytää perille internetin yli. Nämä laitteet eivät tietenkään välttämättä käytä täsmälleen samaa osaa verkon infrastruktuurista, mutta tämä ilmaisee jo ongelman juuren, 75 miljardia kutsua minuutissa; 108 triljoonaa kutsua päivässä, ja valtavasti dataa niiden mukana. Kahdeksan bitin mittapiste tarjoaa riittävän tarkkuuden yksinkertaisiin mittauksiin, kuten lämpötilaan, valaistusvoimakkuuden, ilmankosteuden ym. Kuitenkin esimerkiksi kuva-analyysi yleistyy koko ajan, ja siinä vaiheessa, kun IoT -laitteet lähettävät kuvia, videoita, tai äänitiedostoja pilveen, ei kahdeksan bittiä "mittapistettä"kohden riitä enää mihinkään. Silloin nykyinen verkkoinfrastruktuuri joutuu todella koviin. Ennustukset datamäärän kasvulle ovat rajut: Ciscon ennustusten mukaan vuoden 2019 internet-liikenne on noin kolminkertainen verrattuna vuoden 2014 liikenteeseen, ja noin tuplatan siihen mitä se tulee olemaan vuoden 2016 aikana. Havainnollistuksen tästä näkee kuvasta 3.

IoT -järjestelmän tuottama data on luonteeltaan korkeakohinaista ja sitä kerääntyy valtavasti, mikä on osittain myös ideanakin big datan analysoinnissa. Datan valtava määrä koituu kuitenkin ennen pitkää ongelmaksi niin tietoliikenneyhteyksien, kuin datan säilömisen puolesta. Datan kompressointi, esim. yksiulotteisten mittaus-ten hahmottelu matemaattisten funktioiden avulla, auttaa asiassa, mutta ei täysin poista ongelmaa. Täydellinen tilanne olisi se, että kaikille järjestelmän sensoreille olisi saatavilla kaikkien sensorien data aina, ja välittömästi. Tämä ei ole kuitenkaan



Kuva 3: Cison ennustus internetin dataliikenteestä.[24]

realistista, sillä pienten laitteiden tallennuskapasiteetti ja prosessoriteho ei riitä siihen. Historiallisen datan voi tallentaa pilvipalveluun, mutta tuolloin ongelmaksi muuttuu latenssi; mikäli laitteiden reagointi tietoon täytyy tapahtua verrattain nopeasti, ei laitteella ole välttämättä aikaa kysyä pilvipalvelulta neuvoa tietynlaiseen tilanteeseen. Ratkaisuna näihin ongelmiin on eräänlainen hybridijärjestelmä, joka suorittaa analyysiä paikallisesti, reunalla sekä pilvessä.

Reuna-analytiikka voi tapahtua usealla tasolla, jossa jokainen taso lähempänä pilveä tuo tarkempaa, mutta hitaampaa analytiikkaa. Tasot voisivat jakautua esimerkiksi laite-yhdyskäytävä-talokeskus-pilvi. Laitteen oma päätöksenteko on luonteeltaan reaktiivista, ja voi toimia nopeastikin. Laite voisi perustaa toimintansa pilvessä lasketuille parametreille. Edellisessä kappaleessa esitetyssä esimerkissä jossa yksinkertaisen talon lämmitystä halutaan tehostaa, meillä on PID ohjattu termostaatti, yksi ulostulo (huoneen lämpötila), yksi ohjaussuure (lämpöpatteri), sekä kaksi kohinan lähdettä (ulkolämpötila sekä hiilidioksidi). Seuraamalla kaikkia näitä parametrejä pidemmän ajanjakson ajalta, voimme arvioida prosessin siirtofunktion ennustavilla algoritmeilla. Matlabissa tämä saadaan aikaiseksi esimerkiksi funktiolla "tfest"(tai "ssest" jos selvitämme tilaesityksen). Kun olemme estimoineet siirtofunktion, voimme virittää termostaatin PID-säätimen P- I- ja D-kertoimet analyttisin, tai iteratiivisin menetelmin riippuen siitä, miten tarkasti säädin täytyy virittää. Näin pilvessä tapahtuva analyysi voi tuottaa ohjeet laitteille siitä, miten niiden tulisi toimia lyhyellä aikavälillä, ja kaikkea päätöksentekoa ei tarvitse siirtää pilveen.

Edellä kuvattu esimerkki vaatii toistaiseksi kuitenkin myös manuaalista työtä kertomaan järjestelmälle esimerkiksi mitkä mitta-arvot ovat vasteita, ja mitkä ovat kohinaa. Järjestelmä voi tarvita apua myös epäolennaisten sensoritulojen määrittelyssä, sillä voidaan suoraan sanoa, että suuren talon toisessa päässä oleva lämpötila ei todennäköisesti vaikuta olennaisesti toisen huoneen lämpötilaan. Sinänsä analyysi on vastaavanlainen, oli muuttujia kolme vai tuhat. Järjestelmän tilaesityksen selvittämiseen tarvittava laskenta-aika kasvaa kuitenkin eksponentiaalisesti muuttujien lukumäärän kasvaessa, ja järjestelmä kaipaakin hieman apua tässä. Tämä voidaan kuitenkin osittain nähdä kertaluonteisena työnä, joka suoritetaan laitettaessa järjestelmää pystyyn. Työtä voi kuitenkin olla suurikin määrä, mikäli järjestelmään kuuluu paljon sensoreita ja ohjattavia suureita. Tekniikan ja tietämyksen kehittyessä, tällekin työlle voidaan kehittää algoritmeja, jotka helpottavat järjestelmän käyttöönotossa.

4 Kiinteistöjen energiatehokkuus palveluna

Tekniikan kehittyessä on palvelujen myynnistä ja tarpeesta tullut helpompaa, kun palvelu ei enää välttämättä vaadi henkilökuntaa tuottamaan palvelua, vaan palvelut ovat yhä useammin sähköisessä muodossa. Musiikki-, televisio- ja internetpalvelut ovat muutamia esimerkkejä näistä. Palvelu määritellään taloudelliseksi toiminnaksi, jossa tapahtuu aineetonta arvon vaihdantaa.[25] Mikäli palvelu on maksullinen, on sen hyödyt implikoituja sillä, että asiakas on valmis maksamaan siitä. Palveluntarjoajat voivat omalla taidollaan, kokemuksellaan ym. tuottaa asiakkaalle arvoa, jota hän ei itse pysty tuottamaan. Myös yhä useampi valmistaja on siirtynyt tarjoamaan tuotteitaan myös palveluna. Esimerkiksi Michelin, joka on vuonna 1889 perustettu autonrenkaiden valmistaja, tarjoaa nykyään renkaitaan palveluna, josta asiakas maksaa ennalta sovitun hinnan kilometriltä.[26] Michelin pystyy tarkkailemaan IoT -sovellustensa kautta renkaiden kulumista, sekä ajotyylejä, ja pystyy näin ilmoittamaan asiakkaalle, koska renkaat tulee vaihtaa uusiin, ja miten tämä voisi ajaa taloudellisemmin.[27] Uuden teknologian avulla Michelin pystyy myös pinnoittamaan renkaat uudelleen, kunhan ne vaihdetaan tarpeeksi ajoissa. Näin asiakkaalla on aina toimivat, lailliset renkaat ilman kertainvestointeja, hän voi ajaa autoaan taloudellisemmin, ja palveluntarjoaja voi nostaa tuottavuuttaan kierrättämällä renkaita. Näin asiakkaan rasite siirretään palveluntarjoajan huoleksi, jotta asiakas voi keskittyä siihen, mihin hän oikeasti haluaa keskittyä. Tässä esimerkissä ajamiseen paikasta A paikkaan B.

Tässä osiossa tarkastelemme sitä, kuinka vastaavanlainen palvelu voisi toimia kiinteistöjen energiatehokkuuden kanssa. Myytävänä hyödykkeenä toimisi kilometrin sijasta kilowattitunti, säästetty kilowattitunti tai vastaava. Palvelun avulla kiinteistön hallitsija voi jättää energiakulujen säästön palveluntarjoajalle, jolta se todennäköisesti sujuu helpommin ja tehokkaammin Palvelun päähoukuttimena toimii kustannustehokkuus, jota voidaan nostaa palveluntarjoajan asiantuntemuksen ja kokemuksen turvin. Jos energiaa kuluu vähemmän, vähenee sen ostamiseen tarvittava rahamäärä. Palvelun toinen etu on ympäristöystävällisyys, joka nykyään luo lisäarvoa vastuullisen imagon ylläpidolla. Hiilijalanjäljen pienentäminen voi tuoda uusia asiakkaita niin asiakkaalle kuin palveluntarjoajalle. Viimeisempänä houkuttimena toimii palvelun implikoima helppous. Energiakustannusten pienentäminen voidaan ulkoistaa palveluntarjoajalle, ja kuten Michelinin esimerkissä, asiakas vapauttaa henkisiä resursseja oman toimintansa kehittämiseen.

Lähtökohdat energiatehokkuuden lisäämiseen vaihtelevat valtavasti talojen välillä, ja sopiakseen kaikille markkinoille, täytyy energiatehokkuuspalvelun pystyä tarjoamaan jotain kaikille, ja mukautumaan kohteen tarpeisiin. Jos kohteen talotekniikka on verrattain uutta, ja kiinteistö on rakennettu tai peruskorjattu lähiaikoina energiatehokkaaksi, voi energiakuluista säästäminen olla kovinkin haastavaa. Tällaisen talon kanssa IoT:n vahvuuksiin kuuluisi talotekniikan käytön optimointi, jotta rakennusta olisi mukava käyttää. Jos kohteena toimii vanhempi talo, voi energiakuluihin vaikuttaa enemmänkin. Toisaalta vanhoissa taloissa energiakulut nousevat usein ra-

kenteiden, kuten seinäeristeiden, energiatehottomuuden vuoksi, joihin emme IoT:llä välttämättä voi suoraan vaikuttaa. Voimme kuitenkin käyttää IoT:ta havaitsemaan mitä asioita talossa kannattaisi tehdä tehokkuuden parantamiseksi. Seuraamalla lämpötilaa ja kosteutta eri puolilla taloa, voidaan havaita, mikäli jostain vuotaa ulkoilmaa suoraan sisälle, tai mikäli jossain on alkava kosteusvaurio, tai riski sille.

4.1 Tavoitteena energiatehokas älytalo

Kuten kaikessa Internet of thingsiin liittyvässä, on avain palvelun menestykseen datan laaja kerääminen. Palvelua myydessä ei asiakkaan hyödyt tule ainoastaan tämän oman kiinteistön datan analysoinnista, vaan koko palvelun asiakaskunnan data-analyysistä. Mitä enemmän dataa saadaan kerättyä eri kohteista, sitä geneerisempiä ja tehokkaampia algoritmeja palveluntarjoaja voi kehittää. On siis tärkeätä saada paljon asiakkaita verrattain nopeasti tarpeeksi suuren otannan varmistamiseksi. Herää tosin kysymys siitä kuka omistaa datan, ja missä määrin sitä voi käyttää laajempaan data-analyysiin. Jos asiakas omistaa datan, voi tämä myöhemmin vaihtaa palveluntarjoajaa pienemmällä vaivalla. Tällöin asiakkaalla on myös oikeus tietää mihin kaikkeen hänen dataansa käytetään. Suuri määrä asiakkaita kiinteistön energiatehokkuuspalvelulle voi tosin olla melko suuri pala purtavaksi, sillä asiakkaat eivät välttämättä ole tottuneet käyttämään vastaavanlaisia palveluita, sekä aniharva talo on tekniikaltaan valmis tällaiseen palveluun. Ratkaisuna tähän voisi palveluun tarjota "starttipaketteja"; teknisen ratkaisun palveluineen, joka tarjoaa yksinkertaisen alustan lähteä rakentamaan kiinteistön IoT –järjestelmää. Tällaisella starttipaketilla saataisiin varmasti etenkin pienempien, yksityisten kiinteistöjen omistajien kynnys palveluun liittymiseen tarpeeksi matalaksi, jotta IoT:n hyödyt tulevat suuremman yleisön saataville.

Vaikka palvelun pääajatuksena on, että palveluntarjoaja hoitaa ainoastaan datan analysointia ja saa voittoa asiakkaan maksaessa analyysin tuomasta lisäarvosta, ei tällainen palvelu todennäköisesti toimi vielä talojen sensoriverkon yleisen puutteen vuoksi. Palveluntarjoaja voi keskittyä niihin taloihin, joissa on valmiita sensoreita, mutta parempi lähestymistapa lienee olla hyökkäävämpi. Palveluntarjoaja voisi tarjota sensorien asennusta asiakkaalle palvelusopimuksen alkaessa. Koska riittävän sensoriverkon olemassaolo on myös edellytys palvelun hyödyllisyydelle, voisi sen asentaminen myös olla edellytys palvelun aloittamiselle, mikäli riittävää verkostoa ei löydy valmiiksi kiinteistöstä. Palveluntarjoaja voi valita alustaksi yhden monista, jo markkinoilla olevista järjestelmistä, tai kehittää oman yksinkertaisen järjestelmän. Tärkeintä on kuitenkin, että sensorien käyttörajapinnat ovat avoimia niin, että järjestelmään saadaan helposti lisättyä erilaisia, eri valmistajien sensoreita, sekä muita laitteita tarpeen niin vaatiessa.

4.2 IoT infrastruktuurin luonti

Oman yksinkertaisen IoT -järjestelmän kehittäminen sensoreineen ja keskusyksikköineen saattaa jopa olla kustannustehokkain tapa saada asiakkaat aloittamaan IoT -järjestelmän rakentaminen. Jo markkinoilla olevat ratkaisut tavoittelevat voittoa myymällä laitteita, kun taas tässä tapauksessa palveluntarjoajan voitot tulisivat nimenomaan palvelun myynnistä, ja sen vaatiman infrastruktuurin asentaminen on vain keino saada asiakkaita palveluun. Sensorijärjestelmän kustannukset voidaan näin sisällyttää palvelun hintaan, ja näin "myydä" ilman voittoa. Näin asiakkaan alkuinvestointi pysyy pienenä, ja palveluntarjoajan alkuinvestointi kohtalaisena.

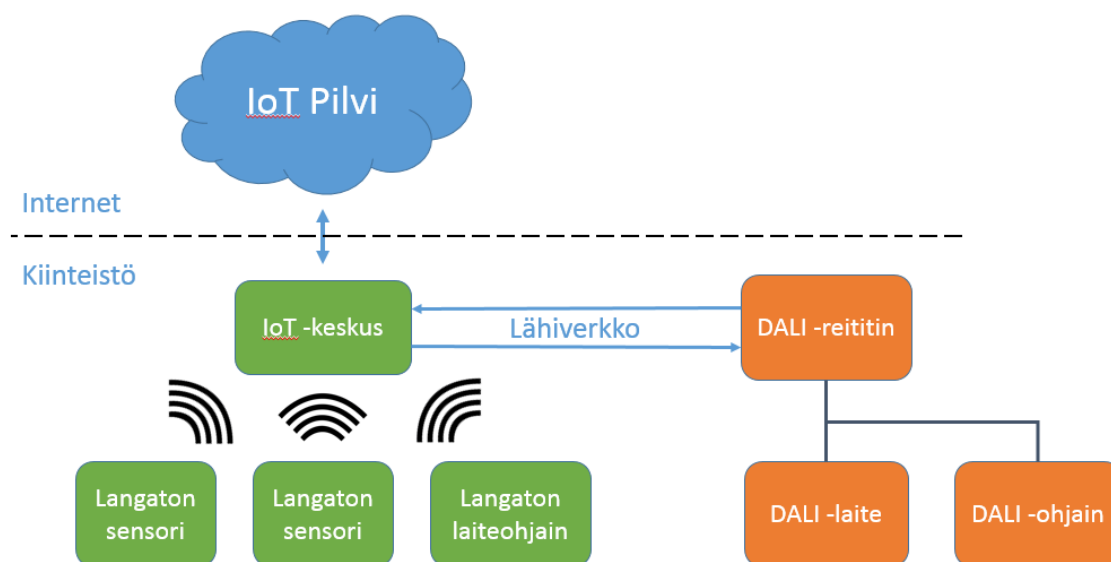
Palveluntarjoajan tarjoaman sensoripaketin pääsensorityyppi voisi olla langaton li-po akulla toimiva sensori, joka mittaa lämpötilaa, ilman suhteellista kosteutta, ilmanpainetta, hiilidioksiditasoa sekä valovoimaa. Kommunikointi keskusyksikön kanssa tapahtuu zigbee -protokollaan pohjautuvan langattoman verkon kautta, ja keskusyksikkönä toimisi esimerkiksi Atmel SAM D piiri, joka on SOC (System on a Chip) -piirinä suunniteltu nimenomaan IoT -käyttöön. Sensorin osaluettelo hintoi-
neen voisi olla seuraavanlainen:

- Atmel SAMD21 Cortex-M0+ 4 €
- APDS-9301-020 Valosensori 2 €
- SENSIRION SHT21S Kosteusanturi 3 €
- MS563702 Painesensori 3 €
- MQ-135 Ilmanlaatumittari(CO2) 7 €
- Xbee moduli 26 €
- Piirilevy 1 €
- Muut komponentit (n.) 10 €

[29][30][28]

Laitteen osien kokonaiskustannuksiksi tulisi siis noin 56e. Mikäli laitteita sarjatuotetaan, laskevat hinnat vielä tuosta. Kuvitellaan, että asiakkaalla on keskiverto suomalainen koti, jonka pinta-ala on noin $70m^2$, ja jossa on kaikenkaikkiaan kuusi tilaa, jota onärkevää seurata; kaksi makuuhuonetta, olohuone, eteinen, keittiö sekä wc. Sanotaan, että sensorin kokonaisvalmistuskustannus jää noin 60 euron tietämiin, ja keskusyksikön hinnaksi tulee noin 100 €. Näin laitteisto tämän kodin IoT -järjestelmän perustamista varten maksaisi noin 460 €, mikä ei ole valtavan suuri investointi, kun tarkoituksena on saada pitkäaikaisia asiakkaita. Tietenkin, mikäli talosta löytyy jo IoT -kykeneviä laitteita voidaan nekin liittää järjestelmään, ja näin saada yhä enemmän dataa talon toiminnasta pienentäen samalla palveluntarjoajan alkuinvestointia. Markkinoilla jo olevia tuotteita ei kuitenkaan kannata jättää täysin

hyödyntämättä. Esimerkiksi Googlen hiljattain ostama NEST –termostaatti on helppo tapa lisätä älykkyyttä taloon, jossa on jo valmiiksi pienjännitteinen termostaattijärjestelmä. Kolmannen osapuolen järjestelmien integrointi NEST –termostaattiin onnistuu NEST API:n (Application Programming Interface) kautta, joten se saadaan sopimaan käytännössä minkälaiseen IoT –järjestelmään tahansa. Hinnaltaan se on noin 220 €, joten sen hankkiminen voisi olla enemmänkin suositus kuin pakko. Yhtiön mukaan laite maksaa itsensä kuitenkin takaisin noin kahdessa vuodessa. Koska NEST on nykyään Googlen omistama tuote, voitaneen olettaa, että lähitulevaisuudessa NEST –termostaatti on yhä helpompi integroida Google Cloud Platformiin, jossa sen hyödyt voidaan yhdistää muihin IoT –laitteisiin. Myös DALI- ja KNX –reitittimien lisääminen järjestelmään on perusteltua, mikäli talossa on jo näitä hyödyntäviä älylaitteita. IoT –järjestelmän arkkitehtuuri voisi olla kuten kuvassa 4.



Kuva 4: Mahdollinen arkkitehtuuri palvelun tarvitsemalle laitteistolle.

4.3 Palvelun rakentaminen

Keskeisimpiä asioita IoT –palvelussa on laitteet yhdistävä äly. Moni tietotekniikkayritys tarjoaakin jo IoT –alustoja palveluna. Nämä palvelut pystyvät ottamaan raakadataa vastaan ja osaavat jäsenellä niitä. Datavirtojen välisiä yhteyksiä nämä palvelut eivät kuitenkaan osaa suoraan tulkita, vaan siihen järjestelmä tarvitsee apua.[2] Käytännössä tosin palveluntarjoaja todennäköisesti hankkisi omat palvelimet palvelua varten sen sijaan, että tämä luottaisi kolmannen osapuolen palveluihin. Valmiit pilvipalvelut saattavat olla käteviä, mutta ovat loppupeleissä todennäköisesti kalliimpia, kuin palveluntarjoajan omat serverit. Näin siis mikäli palveluntarjoaja

saa tarpeeksi asiakkaita.

Kun asiakkaalle on luotu IoT –järjestelmän perusta, on palveluntarjoajalla edellytykset ryhtyä arvon luontiin. Mikäli asiakkaalla ei ole älykkäästi ohjattavia laitteita, kuten termostaatteja, lämmittimiä, valaisimia ym. ei palveluntarjoaja käytännössä voi suoraan säästää energiaa, vaan korkeintaan antaa neuvoja asiakkaalle analysoidun datan perusteella. Tämä, koska Data-analyysiin perustuvassa energiansäästöissä suuri osa säästöistä tulee nimenomaan dynaamisen säädön kautta; säästöistä, joita käyttäjä ei itse viitsi tehdä säädön tapahtuessa jatkuvasti. Tällaisen palvelun hyödyllisyys saattaa olla kyseenalainen, mutta mikäli siitä ei koidu asiakkaalle lisäkustannuksia, se on todennäköisesti kuitenkin tervetullut lisäys talon hallintointiin. Jotta tehokkaaseen, dataan perustuvaan energiansäästöön voidaan ryhtyä, tarvitsee järjestelmä mahdollisuuksia ohjata talotekniikkaa ilman ihmistä, ettei laiskuus, inhimillinen virhe tai vastaava koidu esteeksi energiansäästöille. Talotekniikan ohjaus vaatii kuitenkin enemmän IoT –laitteita, ja niiden asennus on yksi kustannus lisää. Ohjauselektroniikkaa kannattaakin asentaa vasta sitten, kun on tiedossa, mitä kannattaa ohjata. Esimerkiksi kaikki lämpöpatterit eivät tarvitse aktiivista säätämistä, ja oikeiden pattereiden tunnistaminen säästää palveluntarjoajaa turhilta investoinneilta. Ohjauselektroniikkaa kannattaa asentaa siis vasta, kun sensoridataa on luettu ja analysoitu jo jonkin aikaa ja tiedämme, millä ohjauksella saamme aikaan suurimman säästön, ja täten myös suurimman tuottoasteen lisäinvestoinnille.

Viimeistään siinä vaiheessa, kun asiakkaalle on asennettu ohjauslaitteita esimerkiksi lämmityksen ohjaukseen, kannattaa asiakkaan siirtyä pörssisähkön kuluttajaksi. Pörssisähkö on sähkö Sopimusmuoto, jossa asiakas ostaa sähköä senhetkisen Nord Poolin pörssihinnan mukaan. Sähköpörssi toimii, kuten muutkin raaka-ainepörssit, jolloin sähkön hinta määräytyy sen kysynnän ja tarjonnan mukaisesti.[31] Sähkö on siis halvempaa silloin, kun harvempi sitä käyttää, ja kalliimpaa, kun kulutus on suuri. Älykäs talojärjestelmä voi pörssitiedon avulla ohjata kulutusta niille hetkille, kun sähkö on halpaa. Koska järjestelmä ei voi realistisesti ohjata kaikkia energiasyöppöjä prosesseja, kuten saunan lämmitystä, pyykin- ja tiskien pesua, imurointia ym. voisi järjestelmä ilmoittaa asiakkaalle esimerkiksi älypuhelinsovelluksen avulla, että nyt on hyvä hetki pestä pyykkiä. Näin, vaikka energiaa ei säästyisi, säästyy rahaa. Kulutuksen ohjauksella on myös positiivisia lieveilmiöitä; mikäli hahmottelemamme energiatehokkuuspalvelu yleistyy, tasaisi se valtakunnallista sähkönkulutusta, ja sähköverkon rasitus pienenee. Lähitulevaisuudessa sähköautojen ja akkuteknologian kehittyessä, voidaan energiaa myös varastoida halvoilta tunneilta, ja kuluttaa sitä silloin, kuin sähkön hinta on korkealla. Tesla Motors onkin jo lanseerannut Powerwall –tuotteensa, joka on 3000 dollarin hintainen 6,4 kWh:n akku, jota voi ladata aurinkopaneeleilla tai suoraan sähköverkosta.[32][33] Hajautetut sähkönvarausrjestelmät tulevat yleistyessään tasoittamaan sähkönkulutusta valtavasti vähentäen näin säätövoimailoien tarvetta.

Asiakkaan ryhtyessä käyttämään palvelua, saattaa hänestä tuntua siltä, että hän maksaa ylimääräisestä, sillä hänellä on IoT –palvelumaksu sekä energialaskunsa

maksettavana. Näin varsinkin silloin, kun palvelu on vasta alkanut, eikä tuloksia vielä välttämättä näy. Palvelun tarkoitus on kuitenkin keventää asiakkaan taakkaa, ja asiakkaan huolta, ja epävarmaa tunnetta voidaan helpottaa laajentamalla palvelun kattavuutta. Yksi vaihtoehto on, että palveluntarjoaja ottaa vastuun asiakkaan energiasopimuksista, sekä hoitaa näiden kilpailutuksen sekä maksun, ja sisällyttää näistä sopimuksista koituvat reaalikustannukset palvelun hintaan. Palveluntarjoajalla voi olla palkattuna "energiameklareita", jotka osaavat kilpailuttaa sähkön todennäköisesti paljon asiakasta paremmin, sillä he tekisivät sitä päivittäin. Nykyiset sähkömarkkinat mahdollistavat tietyn tyyppisen sähkön ostamisen, ja tämä voidaan ottaa huomioon meklarien kilpailuttaessa asiakkaan sähkösopimuksia. Näin asiakkaalle saadaan tämän toiveiden mukaisesti esimerkiksi uusiutuvaa energiaa halvemmalla. Kun palveluntarjoaja ottaa hoitaakseen sähkölaskut, kaukolämpölaskut sekä sähkön siirtolaskut, jää asiakkaalle ainoastaan yksi lasku maksettavaksi; energiatehokkuspalvelun lasku. Palvelun ollessa käytännössä energiasopimus, johon on lisätty älyä, voi myytävää tuotetta kutsua esimerkiksi älyenergiaksi.

Jos energiatehokkuutta ajatellaan laajemmin, voidaan pelkän kulutuksen minimoinnin sijaan myös lisätä paikallista energiantuotantoa esimerkiksi aurinkopaneelien avulla. Vertaamalla antureista kerättyä valaistusdataa auringon nousu- ja laskuaikoihin, voi järjestelmä päätellä, mikäli aurinkoenergian käyttöä kannattaa tarkastella. Jos järjestelmä havaitsee jonkun huoneen olevan muita huoneita valoisampi auringon vaiheiden mukaisesti, saattaa sille puolelle taloa olla kannattavaa laittaa aurinkopaneeleita ilmaisen energian toivossa. Toki aurinkopaneelien tuottama energia ei ole ilmaista, sillä aurinkopaneelien hankinta sekä asennus ei ole ilmaista. Kuitenkin, mikäli olosuhteet antavat myöten, voisi palveluntarjoaja myös subventoida aurinkopaneelien hankintaa ja asennusta. Amerikkalainen startup-yhtiö SolarCity on jo useamman vuoden toiminut vastaavanlaisella liikemallilla; asiakas luovuttaa talonsa katon palveluntarjoajalle käyttöön monivuotisella sopimuksella, jotta tämä voi asentuttaa aurinkopaneelit sinne. Palveluntarjoaja saa omistukseensa paneelien tuottaman sähkön, ja asiakas saa kohtuullista kuukausimaksua vastaan tarvitsemansa sähkön. Mainittakoon, että kohtuullinen maksu on sähkölaskua noin 5-25% halvempi, sopimuksen taatessa suojan hintojen nousulta koko 20 vuoden sopimuskaudelta.[34] Näin asiakkaan energiakulut laskevat ilman suurta alkuinvestointia, palveluntarjoaja tekee voittoa myymällä ylijäävää aurinkoenergiaa, ja lähialue nauttii vihreästä energiasta.

Laitteistojen hankinnan subvetoinnin ei tarvitse rajoittua pelkästään aurinkopaneelisiin, vaan palveluntarjoaja voisi subventoida myös muita energiatehokkaita laitteita, joiden asentaminen kohdekiinteistöön on perusteltua. Mikäli asiakas maksaa palvelun ansiosta vähemmän energiayksiköltä, vähenee myös tämän kiinnostus sijoittaa rahaansa tällaisiin laitteisiin ROIC:n (Return On Invested Capital) mukana. Palvelun sivuvaikutuksena on siis, että asiakkaan kiinnostus hankkia energiatehokkaita laitteita pienenee. Se onko tämä kiinnostuksen lasku tarpeeksi suuri uhkaamaan energiatehokkuuden kehitystä selvinnee palvelun kehittyessä, mutta sen riski on hyvä tiedostaa varhaisessa vaiheessa. Mikäli sopimuksen sitoutumisaika on tarpeeksi pitkä,

voi kaikille olla edullista vaihtaa merkittäviä taloteknisiä laitteita energiatehokkaampiin. Jos talon infrastruktuuri sen sallii, voi jopa lämmitystavan vaihtaminen olla perusteltua esimerkiksi kaukolämmöstä tai öljylämmityksestä maalämpöön. Mikäli vaihdettavat laitteet ovat elinkaarensa päässä, voidaan vaihtokustannukset perustella huoltokuluina, ja palveluntarjoaja voi opastaa uuden laitteen hankinnassa.

Kiinteistön IoT –data on omiaan kiinteistön käytön prosessien tehostamiseen, johon energiansäästö IoT:n avulla perustuu. Kiinteistöjen dynaaminen valaistus on hyvä esimerkki siitä, miten pienillä teoilla voidaan säästää energiaa. Dynaamisesti sopeutuva valaistus tehdään useimmiten läsnäolosäädön sekä päivänvalokompensoinnin avulla. Riippuen käytöstä, voi läsnäoloanturien hyödyntäminen antaa 20-28% säästöt valaistuskustannuksista, ja päivänvalokompensointi 20-60%. [37] Yhdessä, ne voivat antaa vielä isommat säästöt. Läsnäoloantureita käytetään myös jonkin verran käytävävalaistuksen säätöön. Valaiseminen on kuitenkin melko kankeaa nykyisten järjestelmien avulla, ja automaattiset valot menevätkin usein päälle isoissa rykelmissä. Entä jos automaattinen valonsäätö viedään vielä pidemmälle, ja valaistus toimisi ennakoivasti? Kuvitellaan tilanne jossa käyttäjä poistuu työhuoneestaan käytävälle iltapäivällä, kun on jo hämärää, järjestelmä näkee huoneen tyhjentyneen ja liikettä käytävällä. Käytävällä voi lähteä kahteen suuntaan; toisesta päästä pääsee ulos, toisessa suunnassa on kahvihuone ja kokoushuone. Järjestelmä voi datasta jalostetun päivärytmin perusteella arvata, että juuri tämä henkilö lähtee tähän aikaan kotiin, koska kokoushuonetta ei ole varattu ja kello on 16:00, sekä valaisee tien ulos. Jos käyttäjä kuitenkin lähtee toiseen suuntaan, voidaan tämä havaita, ja korjata arvaus pikimmiten. Käytännössä tämä on eräänlainen šakkipeli, jossa tietokone laskelee käyttäjän mahdolliset liikkeet, valitsee niistä todennäköisimmän ja säätää valaistusta sen mukaisesti. Kun henkilöitä on useampia liikkeellä samaan aikaan, on tilanne, kuin järjestelmä pelaisi useaa šakkipeliä samanaikaisesti. Tällä tavalla voidaan saada valaistusjärjestelmä, joka toimii kuin ajatus. Tällainen valaistusjärjestelmä ei ainoastaan säästä energiaa, vaan on myös miellyttävämpi loppukäyttäjälle.

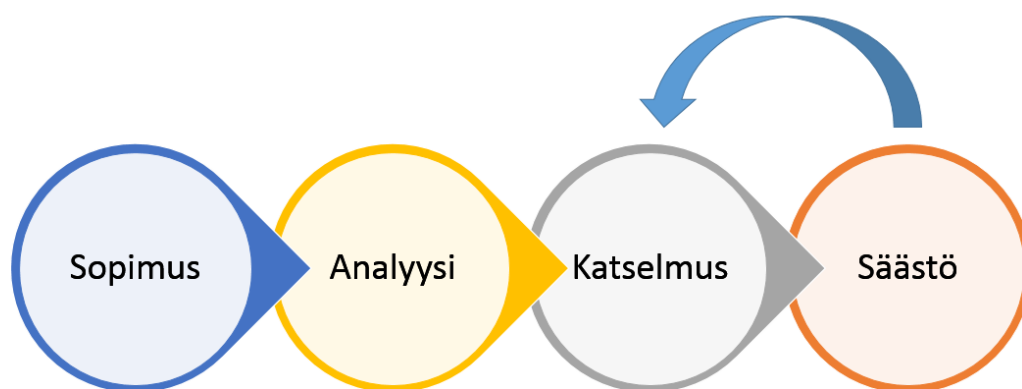
Toinen tehostettava, lähes jokaisesta kiinteistöstä löytyvä talotekninen prosessi on ilmanvaihto. Ilmanvaihdon rooli talon käytettävyyden kannalta on merkittävä; ilman riittävää ilmanvaihtoa loppuu tilasta happi, ja huoneessa oleville tulee huono ja väsynyt olo. Liian tehokas ilmanvaihto koetaan kuitenkin vetoisana ja epämiellyttävänä. Tästä syystä kiinteistöissä säädetään ilmanvaihto johonkin näiden kahden ääripään väliin. Näin ilmanvaihto on liian kova silloin, kun huonetta ei käytetä, ja liian heikko silloin, kun tila toimii täydellä kapasiteetilla. Seuraamalla tilan hiilidioksidipitoisuuksia, ja säätämällä ilmanvaihdon tehokkuutta sen mukaan voidaan saada sekä merkittäviä parannuksia tilan käytettävyyteen ja yleiseen viihtyvyyteen, että vähennettyä ilmanvaihdon energiankulutusta. Energiansäästö voi olla jopa yli 25% [38], mikä on verrattain paljon, kun ajatellaan jo pelkästään yleisen viihtyvyyden hyötyvän säädöstä.

Yleisellä tasolla perustuu IoT –avusteisen talotekniikkajärjestelmän toiminta käyttäjän tapojen havaitsemiseen, sekä niiden ennakointiin ja reagointiin. Ihanne-

tapauksessa ei asiakkaan koskaan tarvitse vaivautua säätämään valaistuksen tasoa, lämpötilaa, ilmanvaihtoa ym. Järjestelmä tekee sen hänen puolestaan. Samalla hän säästää energiaa, sekä toivon mukaan myös rahaa. Täysin automatisoituun järjestelmään pääseminen on kuitenkin vielä pitkän matkan päässä, ja sitä voidaan jopa pitää utopiana.

4.4 Palvelun neljä vaihetta

Älyenergiapalvelun käynnistäminen voidaan tiivistää neljään vaiheeseen (katso kuva 5). Tässä osiossa käymme ne läpi lyhyesti.



Kuva 5: Älyenergian neljä vaihetta

4.4.1 Vaihe 1: Sopimuksen solmiminen

Kun osapuolet ovat esimerkiksi palveluntarjoajan konsultoinnin perusteella tulleet lopputulokseen, että palvelusopimuksen solmiminen hyödyttää molempia osapuolia, solmivat he sopimuksen tästä. Koska pilottivaiheen ideana on selvittää millaisia säästöjä voidaan saada aikaiseksi, ei palvelua kannata samantien implementoida koko kiinteistöön, ellei talo ole verrattain pieni. Osapuolet sopivatkin tässä vaiheessa myös sen, kuinka laaja tämä pilottivaihe on. Kun laajuudesta on sovittu, asennuttaa palveluntarjoaja asiakkaalle sensoreita tuossa laajuudessa, ja yhdistää ne internetiin keskusyksikön kautta. Palveluntarjoaja ottaa myös tässä vaiheessa asiakkaan energiasopimukset nimiinsä, ja ryhtyy kilpailuttamaan niitä.

4.4.2 Vaihe 2: Analyysi

Kun perusinfrastruktuuri on valmis, alkaa datan keruu. Kaikki sensorien tuottama data syötetään pilvipalvelimeen, jossa data-analyysi tapahtuu. Pilvipalvelu ryhtyy tulkitsemaan kiinteistön käyttäjien tapoja, ja tekee näiden perusteella arvioita siitä,

miten energiaa voisi säästää. Tässä vaiheessa asiakkaalla on jo pääsy palveluntarjoajan verkkopalveluun, jossa tämä voi seurata kerättyä dataa, sekä siitä tehtyä analyysia. Tämän tiedon perusteella asiakas voi jo nyt vaikuttaa omaan energiankäyttöön, ja näin parantaa energiatehokkuuttaan.

4.4.3 Vaihe 3: Katselmus

Kolmannen vaiheen alkaessa asiakas ja palveluntarjoaja istuvat jälleen saman pöydän ääreen keskustelemaan seuraavista askelista. Kun dataa on kerätty tarpeeksi järkevän data-analyysin mahdollistamiseksi, voi palveluntarjoaja tehdä analyysistä johtopäätöksiä. Nämä johtopäätökset kertovat mitä kannattaa siirtää automaattisen ohjauksen piiriin energiansäästöä tavoitellessa, ja ehdottaa toimia asiakkaalle. Lämmityslaitteet ovat todennäköisesti korkealla mahdollisten ohjattavien laitteiden listalla. Palveluntarjoaja voi myös ehdottaa lisäensensoreita asennettavaksi analyysin parantamiseksi, tai palvelun laajentamiseksi. Tämä myös voi ehdottaa suoritettavia toimenpiteitä kiinteistöön energiatehokkuuden parantamiseksi, esimerkiksi ikkunoiden vaihto, ilmalämpöpumpun hankinta jne. Tässä vaiheessa myös viimeistään siirrytään pörssi-sähkön käyttöön.

4.4.4 Vaihe 4: Säästö

Kun ohjainlaitteistoa on asennettu oikeisiin paikkoihin, voi varsinainen automaattinen energiansäästö alkaa. Tässä palvelun toimivuus nähdään vasta kunnolla.

4.4.5 Vaihe 4+: Takaisinkytkentä

Neljännän vaiheen jälkeen palvelu ei tietenkään ole valmis, vaan enemmänkin vasta kunnolla käynnistetty. Oltuamme neljännessä vaiheessa jonkin aikaa siirrymme takaisin kolmanteen vaiheeseen, jossa tarkastelemme, miten järjestelmää voisi laajentaa, ja energiansäästöä lisätä. Näin saamme kiinteistöön laajenevan IoT infrastruktuurin, joka voi palvella paljon muitakin tarpeita tulevaisuudessa, kuin ainoastaan energiatehokkuuspalvelua. Myös kiinteistön käyttäjien käyttötottumukset muuttuvat alati, ja järjestelmän tulee sopeutua näihin tottumuksiin. Ajan juostessa myös palvelun algoritmit kehittyvät, ja pystyvät yhä monimutkaisempaan analyysiin. Näin palvelu paranee ajan myötä.

4.5 Laskutustavat

Jossain vaiheessa palvelun käynnistyttyä tulee asiakkaalle lasku palvelun käytöstä. Laskutusmalli voi yksinään parhaimmillaan tuoda lisää asiakkaita, ja pahimmillaan häätää niitä. Eri laskutustapojen riskien tunnistaminen on siis erittäin tärkeää palvelun onnistumisen kannalta. Älyenergian laskutukseen on muutama eri lähestymistapa,

joissa kaikissa on omat haasteensa. Alla listaan kolme lähestymistapaa, mutta niitä on varmasti enemmänkin. Nämä kolme tapaa ovat:

- Säästöprovisiolaskutus
- Kiinteä hinta
- Palvelumaksu + kulutus

Säästöprovisiolaskutuksessa asiakas ei maksa palvelusta suoraan mitään. Sen sijaan palveluntarjoaja ottaa esimerkiksi 60% provisiota jokaisesta säästetystä kilowattitunnista. Näin palveluntarjoaja saa rahaa ainoastaan, jos tämä onnistuu oikeasti säästämään energiankulutuksesta. Samalla asiakas säästää rahaa saamalla itselleen tuon 40%. Suuria ongelmia voi kuitenkin muodostaa se, että tietääksemme kuinka paljon säästämme, meidän pitää tietää varmasti, kuinka paljon kulutus olisi ilman palvelua. Aluksi tämä olisi helppoa tietää, sillä voimme verrata suoraan vanhaan kulutukseen ajalta ennen palvelua, mutta myöhemmin käyttötarpeiden muuttuessa, täytyy tämä mahdollinen kulutus ilman palvelua arvioida kerätystä datasta, ja tämä tapahtuisi palveluntarjoajan toimesta. Tässä avainkysymykseksi nousee luottamus: luottamus siitä, että palveluntarjoajan arviot ovat tarkkoja ja rehellisiä. Jos tämä luottamus uupuu, on palvelu hataralla pohjalla. Tällä laskutustavalla myös pörssisähkön hyödyntäminen menettää houkuttelevuutensa. Jos asiakas maksaa 60% provision jokaisesta säästetystä kilowattitunnista, ja tuo 60% otetaan sähkön senhetkisestä hinnasta, on palveluntarjoajan edun mukaista, että tuo hinta on mahdollisimman korkea. Mikäli kulutus ohjataan halvoille tunneille, on palveluntarjoajan proviisio pienempi.

Kiinteällä hinnalla myyty palvelu on kätevä siinä mielessä, että asiakas tietää täsmälleen kuinka suuri lasku hänelle tulee joka kuukausi. Tämä kuukausihinta voitaisiin pankin lainakorkojen tavoin sopia aina esimerkiksi vuodeksi kerrallaan. Kuukausierää sovittaessa otetaan huomioon energian hinnat, sekä palvelusta aiheutuvat reaalikustannukset. Tässä tapauksessa molemmat osapuolet ottavat riskin energiamarkkinoiden vakauden suhteen. Jos energian hinta romahtaa, jää palveluntarjoaja voitolle, ja jos hinnat nousevat, jää asiakas voitolle. Kun hinta sovitaan tietyksi ajanjaksoksi kerrallaan, voidaan muuttuviin kustannuksiin puuttua. Tämä estäisi asiakkaan halvasta kuukausihinnasta johtuvan holtittoman energiankäytön, koska tällöin seuraavan vuoden kuukausierä tulee olemaan kalliimpi. Asiakkaalle voi kuitenkin olla epämiellyttävää neuvotella joka vuosi energian hinnasta, eikä se välttämättä ole miellyttävää palveluntarjoajallekaan. Mikäli kulutusta ohjataan halvemmille tunneille saa tällä laskutusmallilla palveluntarjoaja siitä isomman hyödyn.

Viimeisenä laskutusmallina, jota tarkastelemme tässä, on palvelumaksu + kulutus-malli. Tässä mallissa palveluntarjoajan saama osuus on tämän kuluihin suhteutettu palvelumaksu tälle sopivalla marginaalilla. Laskuun sisällytetty kulutushinta on täsmälleen sama, kuin millaisena palveluntarjoaja sen saa energiayhtiöltä. Tämä laskutusmalli on yksinkertaisin toteuttaa, mutta haittapuolena on se, että tässä mallissa asiakas ottaa riskin palvelun toimivuudesta. Pahimmassa tapauksessa asiakkaan

kulut jopa nousevat, jos hänen sähkönkulutuksestaan ei pystytä nipistämään palvelumaksun suuruista summaa. Tämä riski voi karkoittaa asiakkaita. Palveluntarjoaja voi tietenkin tarjota hintatakuulupauksia, jossa asiakas saa purkaa sopimuksen ilman kustannuksia, mikäli älyenergia tulee kalliimmaksi kuin tavanomainen energia.

4.6 Hyödyt palveluntarjoajalle ja –ostajalle

Palvelun tärkein ominaisuus on, että se on kannattavaa. Palvelusuhteen tulee olla hyödyllinen niin asiakkaalle kuin palveluntarjoajalle. Parhaat kaupat, sekä sopimukset ovat sellaisia, joissa molemmat osapuolet tuntevat vetävänsä pidemmän korren. Tällöin palveluntarjoaja on onnistunut luomaan asiakkaalle enemmän arvoa, kuin se arvo jonka palvelun maksu asiakkaalta vie. Tämä ei ole vain toive palvelun toimivuudelle, vaan edellytys. Jotta palveluntarjoaja pystyy pitämään asiakkaansa, täytyy tämän todella pystyä säästämään energiaa niin paljon, että siitä on asiakkaalle hyötyä. Tämän toteutuessa voidaan todeta, että palvelusta on hyötyä niin asiakkaalle, kuin palveluntarjoajalle.

Palveluntarjoaja sekä asiakas eivät ole ainoat hyötyjät palvelusta. Mikäli palvelu toimii, säästyy maailmassa valtava määrä energiaa, ja täten myös kasvihuonepäästöt vähenevät. Myös sähköntuottajat hyötyvät palvelusta tasaantuneemman kulutuksen muodossa. Palvelun ohjatussa käyttöä ajanjaksoille, jolloin sähkölle ei muutoin olisi kovin paljon kysyntää, vähentää kulutushuippuja sekä sähköverkon rasitusta. Näin myös pienien, usein fossiilisilla polttoaineilla toimivien säätövoimaloiden käyttöä voidaan vähentää ja ympäristöystävälliset säätövoimat, kuten vesivoimat riittävät yhä paremmin säätövoimaksi. Säätövoimasta säästäminen on tulevaisuuden kannalta erittäin tärkeätä säästä riippuvan energian, kuten aurinkoenergian ja tuulienergian yleistyessä. Tyynenä pilvettömänä päivänä sähköverkko joutuu kovalle koetukselle sähköntuotannon pienentyessä. Parhaimmillaan tällainen tilanne voidaan estää palvelun suorittamalla kulutuksen ohjauksella. Näin varsinkin mikäli paikalliset powerwall-tyyppiset energianvarastointiratkaisut yleistyvät.

Palveluntarjoajan hyödyt eivät välttämättä rajoitu suoraan palvelusta saatuun voittoon. Palveluntarjoaja saattaa löytää data-analyysin yhteydessä myös ongelmia asiakkaan prosesseissa, joiden ratkaisemisessa tämä voi auttaa. Energiatehokkuuspalvelu voikin toimia palveluntarjoajalle sisäänheittotuotteena, jonka avulla tämä saa luotua asiakassuhteen, ja voi kerätyn datan avulla tarjota esimerkiksi energiategokkaan laitteiston myyntiä ja asennusta tai prosessikonsultaatiota asiakkaan liiketoiminnan parantamiseksi. Palveluntarjoaja voi myös löytää datasta asiakkaalle aivan uusia liikeideoita. Palveluntarjoaja on riippuvainen erilaisten asiakkaiden datasta, jotta tämä voi kehittää algoritmejaan paremmiksi, yleisemmiksi ja tehokkaammiksi. Usean asiakkaan monimuotoinen data pitää huolen siitä, että palveluntarjoaja ei tuuditu liian yksinkertaisiin algoritmeihin. Näin palveluntarjoaja voi kehittää tuotteitaan asiakkaidensa avulla, pystyen tarjoamaan samoille asiakkaille parempaa palvelua.

4.7 Mahdollisia ongelmia liikemallissa

Palvelumallit eivät tule ilman mahdollisia ongelmia, jotka yleensä kaatuvat sopimuksen jomman kumman osapuolen harteille. Suurimmat mahdolliset ongelmat älyenergiapalvelussa liittyvät infrastruktuurin luomiseen, sekä siihen liittyvään alkuinvestointiin. Pienessä $70m^2$ asunnossa alkuinvestointi oli laskelmiemme mukaan noin 460 €, mikä ei ole kohtuuton, mutta kun ruvetaan puhumaan isommista kiinteistöistä, esimerkiksi toimistotaloista, joissa kerroksia voi olla reilusti toistakymmentä ja huoneita useita kymmeniä jokaista kerrosta kohti, ryhtyy investointikustannukset olemaan valtavia. Esimerkiksi kymmenen kerroksen toimistorakennus, jossa huoneita on 30 kerrosta kohden. Tällöin meillä on 300 huonetta, joihin tulisi asentaa tuo 60 € sensori. Alkuinvestoinnin suuruusluokka on tällöin 18000 €. Kun ohjainlaitteita halutaan asentaa, nousee summa yli 30000 €. Asiakkaan ja palveluntarjoajan tulee todella uskoa palvelun toimivuuteen, ja sen luomiin säästöihin, kun puhutaan tällaisista kertainvestoinneista. Mikäli palvelun starttipaketit sensoreineen osoittautuvat suosituiksi, tippuu sensorien hinta todennäköisesti valmistuskustannusten kanssa, mutta kustannukset jäävät todennäköisesti silti melko suuriksi.

Solmiessaan sopimuksen asiakas myös odottanee energiakustannusten laskua. Entä jos asiakkaan energiakulut olivat jo ennestään matalalla, eikä niihin saada merkittäviä parannuksia? Näin asiakkaan energiakustannukset saattavat jopa nousta, kun älyenergialaskuun sisällytetään palvelun kiinteä kuukausimaksu. Jos asiakas ei näe palvelusta olevan muuta hyötyä, kuin energiansäästö, on palvelusta hänelle jopa haittaa. Käytännössä tämä voitaneen osittain ratkaista palvelukonsultaatiolla, jossa asiantuntija tekee arvion siitä, mikäli asiakkaan kiinteistö sopii palvelulle. Voi myös olla, että palveluntarjoaja näkee tällaisen asiakkaan mahdollisuutena johonkin muuhun, ja sijoittaa tuleviin mahdollisuuksiin laskemalla palvelun hintaa.

Palvelun toimiessa pienenee asiakkaan energiakulut. Koska asiakkaan energiakulut pienenevät, pienenee myös hänen motivaatio sijoittaa energiatehokkaampiin laitteistoihin. Ajatellaan esimerkiksi valaistusta; asiakkaalla on sadan watin edestä loisteputkilamppuja. Saman määrän valoa tuottaisi esimerkiksi 50 W LED-lamppuja. Energiansäästö vaihtamisessa on siis 50%. Näiden energiankulutus tunnissa on siis 100 Wh vastaan 50 Wh. Jos valaistusta säädetään palvelumme avulla, ja saamme (tässä tapauksessa liiotellun) 50% säästön, pienenee loisteputkien kulutus tunnilta 50 Wh:n ja ledeiltä 25 Wh:n. Ledien ja loisteputkien absoluuttinen erotus pienenee samassa suhteessa kuin mitä älyenergia säästää. Näin lisääntyy myös energiatehokkaiden laitteiden takaisimaksuaika, ja niistä tulee suhteellisesti huonompia sijoituksia. Toisaalta, jos asiaa katsoo toiselta kantilta, saa asiakas tuon "menetetyn säästön" pienempänä sähkölaskuna. Eli asiakkaalle jää käytännössä enemmän rahaa käteen pienempien energiakulujen vuoksi. Jos asiakas ei maksaisi sopimuksessa perusmaksua kumoaisivat nämä vaikutukset toisensa. Perusmaksun kanssa sijoitus huononee hieman. Vaikka pienempi energiakulu kumoaisi täysin menetetyn säästön, tuntuisi sijoitus asiakkaasta silti todennäköisesti vähemmän kannattavalta, kuin muuten. Tätä tilannetta voidaan ehkäistä valistamalla asiakkaita aiheesta, sekä esimerkiksi niin, että palveluntarjoaja

maksaa sijoituksesta osan, ja sitä maksetaan pikkuhiljaa pois palvelumaksun yhteydessä. Lopputulos on sama, mutta asiakkaasta saattaa tuntua paremmalta.

5 Case Study: Aalto-yliopiston Otaniemen kampus

Olemme tarkastelleet Internet of thingsiä kiinteistöissä, sekä kuinka siitä syntyvää dataa voidaan jalostaa, jotta autonomiset talotekniset järjestelmät tai kiinteistön käytöstä kiinnostuneet käyttäjät saavat tietoa parempaan päätöksentekoon. Tämä big datasta jalostettu tieto(insights), voi olla tietoa, joka on ihmisille selvää intuition kautta, mutta se voi olla myös luonteeltaan sellaista, jota kukaan ihminen ei pysty järkevällä aikataululla luomaan. Onkin vaikea sanoa kaikkia IoT:stä saatavia hyötyjä, sillä emme vielä täysin tiedä millaisiin johtopäätöksiin tämä data meidät johdattaa. Hyödyt joita emme vielä täysin tiedä, voi olla vaikea tuote myydä, sillä asiakas haluaa vastinetta rahalleen, ja varmoja hyötyjä. Tuntemattomia hyötyjä voidaan löytää pilottihankkeiden avulla, mutta Internet of thingsin luonteen takia olisi hyvä, jos pilottikohde sisältäisi jo jonkin verran IoT -dataa kerääviä laitteita. Yksittäisen tietotekniikkayrityksen on myös hankala tehdä pilottihankkeita ilman sopivia kohteita, ja nykytoimiston siirtyessä yhä enemmän kohti "toimistotonta" toimistoa, ei yrityksen omat tilatkaan välttämättä sovellu tähän. Pilottihankkeen olisi myös hyvä olla skaalautuvalla pohjalla, eli mikäli hankkeesta saadaan hyötyä, voidaan kokeilua laajentaa asteittain. Vaatimukset ideaalille pilottihankkeelle ovat siis tiivistettynä:

- Kiinteistö, jossa on valmiiksi mittalaitteita
- Kiinteistö, jonka toimintaan voidaan vaikuttaa holistisesti
- Kiinteistö, joka on osa isompaa rakennuskokonaisuutta
- Kiinteistön hallinnoija, joka on avoin kokeiluille
- Hallinnoija, jolla on kärsivällisyyttä hyötyjen realisoinnissa

Esimerkiksi yliopistokampus toimisi loistavasti pilottialustana. Kokeilun voisi aloittaa sopivan rakennuksen peruskorjattuna siivestä, laajentaa toimintaa koko rakennukseen, ja hankkeen edetessä, hiljalleen lisätä useampia rakennuksia yhtälöön. Näin projektia voidaan vetää ketterän kehityksen menetelmillä, ja hankkeesta ei välttämättä tulisi missään vaiheessa valtavaa ikuisuusprojektia, johon projektiitiimillä ei riitä resurssit.

Aalto-yliopiston Otaniemen kampus sopii loistavasti tarkasteltavaksi mahdollista pilottihanketta varten. Kaikki vaatimukset ideaalille pilottihankkeelle täyttyvät:

- Monessa rakennuksessa on vähintään DALI -ohjatut valaisimet
- Moni rakennuksista on kokonaan yliopiston käytössä
- Kiinteistöjä hallinnoi Aalto yliopistokiinteistöt(Acre)
- Yliopiston perusta on tutkimustyö
- Kunhan kulut eivät nouse, lienee Acre avoin kokeiluille.

Tässä kappaleessa tarkastelemmekin sitä, kuinka Otaniemen kampusta voitaisiin hyödyntää kannattavan energiatehokkuuspalvelun luomisessa.

5.1 Kampuksen esittely

Aalto-yliopiston hallitus valitsi Otaniemen kampuksen yliopiston pääkampukseksi kesällä 2011. Otaniemen kampuksella toimii yliopiston neljä teknillistä korkeakoulua, ja syksyllä 2015 siirrettiin sinne myös kauppatieteiden korkeakoulun kandidaatintutkinnon opetus. Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulun kandidaatin tutkinnon opetus siirtyy myös vaiheittain Otaniemeen vuoden 2017 lopulla, jolloin uuden Väre –talon on määrä valmistua. Väre –talo rakennetaan taiteiden ja suunnittelun korkeakoulun päärakennukseksi, ja uuden metroaseman ollessa osa Väre –taloa, sen ympärille kehitetään aktiivista Otaniemeä.[39] Otaniemen suuriin urakoihin liittyy tällä hetkellä Väre –talon rakennus, pääkirjaston peruskorjaus sekä Dipolin peruskorjaus. Otaniemeä uudistetaan tällä hetkellä todenteolla, jotta sillä olisi hyvät edellytykset toimia Aalto-yliopiston pääkampuksena.

Otaniemen käyttäjiin kuuluu noin 15000 korkeakouluopiskelijaa, sekä 16000 tutkimusorganisaatiossa, sekä yrityksissä toimivia työntekijöitä. Nykyisellään käyttäjiä on siis jo yli 30000 käyttäjäkunnan yhä kasvaessa peruskorjausten, ja lisärakentamisen myötä.[39] Otaniemestä kaavaillaankin uutta innovaatiokeskusta, joka näkyy Espoon kaupungin asemakaavasta. Innovaatiokeskuksen rakentamisen ensimmäiseen vaiheeseen kuuluu alueen kehittäminen Otaniemen metroaseman välittömässä läheisyydessä, johon Väre –talon rakentaminen liittyy voimakkaasti.[40]

Otaniemessä sijaitsevat rakennukset ovat sekoitusta uutta ja vanhaa. Vanhimmat kampuksen rakennukset ovat 1950 –luvulta, ja uusimmat 2010 –luvulta.[41] Yksikään vanhemmista rakennuksista ei liene alkuperäisessä kunnossaan, vaan jokainen on kokenut jonkinasteista peruskorjausta vuosien varrella. Näinollen kampuksella sijaitsevien talojen talotekniikka voi olla aivan miltä aikakaudelta hyvänsä, ja näinollen sen pienimuotoinen päivittäminen voi olla vaikeata.

Otaniemen kampuksen ihmisliikenne on jo nyt valtava, ja se tulee kasvamaan entisestään. Kun 30000 ihmistä jakautuu luennoille, työhuoneisiin, lounaalle, ryhmätyötiloihin ym. asettaa se talotekniikalle aivan erityisiä haasteita. Haluamme pitää kaikki kampuksen talot koko ajan käyttövalmiina, hyvin valaistuna sekä sopivan lämpöisinä, mutta toisaalta haluamme myös säästää energiaa, ja koko kampuksen käyttövalmiina pito ilman automaattista älyä voi olla erittäin kallista. Kampuksenlaajuinen internet of things voisi ratkaista näitä ongelmia. Jo pelkästään ihmisvirtojen havaitseminen uudelta metroasemalta voisi auttaa talojen hallinnassa. Jos havaitseminen tasaisen ihmisvirran metroasemalla, voi järjestelmä tehdä arvauksen siitä, mihin nämä ihmiset ovat menossa, ja lisätä ilmanvaihtoa tämän arvauksen perusteella.

5.2 Kiinteistöjen nykytila

Aalto yliopiston rakennuksien peruskorjaustyötä on tehty ainakin viimeiset viisi vuotta. Tämä siksi, että Aalto yliopistokiinteistöjen(Acre) omistamat rakennukset ovat pääosin 60 –luvulta, ja siten peruskorjausiässä. Kiinteistöjen korjaustöissä pyritään energiatehokkaisuun ratkaisuihin, jotta kampuksen hiilijalanjälkeä voidaan pienentää.

Acren hallinnoimien talojen yhteenlaskettu sähkönkulutus vuodelta 2015 oli noin 30 GWh ja lämmönkulutus noin 39 GWh.[42]. Jos laskemme sähkön hinnaksi siirtokustannuksineen n. 40 e/MWh[31][43], tulee pelkästään sähkökuluiksi yli miljoona euroa. Kaukolämmön energiakustannukset ovat puolestaan noin 50 e/MWh[44], eli vuoden 2015 kulutuksella laskettuna lähes kaksi miljoonaa euroa. Kaikenkaikkiaan pelkästään energian ostamiseen kuluu vuodessa noin kolme miljoonaa euroa. Tähän laskelmaan ei ole huomioitu sopimuksiin liittyviä perusmaksuja, sillä ne eivät ole suoraan kytköksissä toteutuneeseen kulutukseen, ja niistä ei ole yhtä yksinkertaista säästää. Näiden lukujen perusteella, jo yhden prosentin parannus sähkönkulutuksessa säästäisi rahaa noin 10 000 euroa vuodessa. Jokainen säästetty euro vapauttaa rahaa muuhun toimintaan, kuten tutkimukseen ja opetukseen.

Yliopistokiinteistöjen käyttöinsinööri Lassi Soinisen mukaan, ei yliopiston kiinteistöissä hänen tietonsa mukaan kerätä, tai käytetä IoT –dataa ollenkaan. Joissain rakennuksissa on DALI –ohjattu valaistus, ja joissain rakennuksissa on LVI –järjestelmä, jonka kautta voidaan lukea lämpötilatietoja ainakin jossain mittakaavassa. Kiinteistöjen IoT –valmius on siis keskiluokkaa; ei täysin olematonta, muttei myöskään miltään osin valmista big data –analyysiä varten. IoT –infrastruktuuria pitää siis laajentaa itse, jotta dataa saadaan kerättyä tarpeeksi järkevän analyysin varmistamiseksi. DALI –valaistuksen olemassaolo on hyvä lähtökohta, sillä se on käytännössä valmis paikallinen verkko, jonka dataa voidaan lukea ja ohjata. Yhteen DALI –väylään voidaan asentaa 64 laitetta, joille voidaan lähettää, ja joilta voidaan pyytää dataa 1200 bittiä sekunnissa. Sopivasti jaoteltu DALI –väylä on siis asia, jota kannattaa etsiä määritellessä energiatehokkuuspalvelun pilottiprojektin sijaintia sekä laajuutta. DALI ei ole kuitenkaan valmis ratkaisu muun muassa sen alhaisen datansiirtonopeuden vuoksi. Jo normaalikäytössä voi kapean tiedonsiirtokaistan huomata kytkiessä valot päälle suureen huoneeseen. Tällöin valot eivät syty yhtäaikaaisesti, vaan hieman eri aikaan. Jos väylää käydään rasittamaan enemmän lukemalla IoT –dataa, voi se ruuhkautua liiaksi. DALI toimii silti erinomaisesti valaistuksen ohjaukseen, sekä pienimääräiseen datan lukuun.[45]

Aalto yliopistokiinteistöt hallinnoivat noin 30 kiinteistöä Otaniemessä, ja näistä kiinteistöissä noin puolet sähköstä kuluu kuudessa eniten kuluttavassa kiinteistössä. Neljä suurinta sähkönkuluttajaa ovat Sähkö- ja tietoliikennetekniikan talo, entinen TKK:n päärakennus, Kemianteleknikan talo sekä Nano-talo. Lämmönkulutuksessa taas puolet kulutetusta lämmöstä kuluu viidessä eniten kuluttavassa talossa. Nämä talot ovat sähkö- ja tietoliikennetekniikan talo, Dipoli, Kemianteleknikan talo, entinen TKK:n päärakennus sekä materiaalitekniikan talo[46]. Nämä ovat siis taloja, joiden

energiatehokkuuden parantamisessa kannattaa lähteä liikkeelle. Listalta nousevat esiin etenkin sähkö- ja tietoliikennetekniikan talo, TKK:n entinen päärakennus, sekä kemiantekniikan talo, jotka ovat suurimpia kuluttajia niin sähkön, kuin lämmön saralla. Näistä taloista on hyvä lähteä liikkeelle älyenergia –pilottihanketta kehittäessä. TKK:n entisen päärakennuksen, eli nykyisen kandikeskuksen peruskorjaus on vasta hiljattain valmistunut, ja sen odotetaan säästävän pelkästään lämmityskuluissa noin 37% uuden modernin LVI-tekniikan avulla.[46] Käytännössä rakennuksen kaikki tekniset järjestelmät uusittiin kauttaaltaan, ja rakennus voisikin sopia hienosti pilottihanketilaksi. Toisaalta, koska rakennus on juuri täysin uusittu, on sinne uuden tehokkaamman tekniikan lisääminen epätodennäköistä, vaikka IoT –analyysi näin ehdottaisi. Paremmaksi pilottihankkeeksi voisikin osoittautua sähkö- ja tietoliikennetekniikan talo useammastakin syystä: Talon sähkön-, sekä lämmönkulutus on yliopistokiinteistöjen korkeimpia, joten sitä on hyvät edellytykset laskea. Talon joissain siivissä on implementoituna DALI –verkko, joten sen hyödyntäminen on mahdollista. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan talon pohjaratkaisu on myös loistava asteittain laajennettavan järjestelmän luontiin. Rakennus on rakennettu "kalanruoto" pohjalle (katso kuva 6), joten sopivan siiven löydyttyä, voidaan järjestelmä implementoida siihen yhden kerroksen laajuudessa ja siirtyä kerros kerrokselta, siipi siiveltä koko talon kattavaan järjestelmään.



Kuva 6: Sähkö- ja tietoliikennetekniikan talon muoto[47]

5.3 Pilottihankkeen implementointi

Koska yliopistokiinteistöillä ei käytännössä ole ollenkaan IoT –datan keräystä, on palvelun implementointi suuri haaste, mutta samalla valtava mahdollisuus. Käsissämme on hiomaton timantti, jonka energiatehokkuutta on hyvä lähteä parantamaan, sillä jo pienillä muutoksilla voimme nähdä tuloksia. Tässä osiossa tarkasteltu pilottihanke lähtee siitä oletuksesta, että konkreettisin asia, mitä palvelusta on valmiina, on tämä diplomityö. Käytännössä siis sensorit, data-analyysiin tarvittavat algoritmit, muu tarvittava infrastruktuuri ym. on käytännössä olematonta. Pilottihanke voisikin sopia tutkimuskohteeksi, tai kuten aikaisemmin mainittiin, opiskelijaprojektiksi.

Älyenergiapalvelun pilottihankkeen implementointi kohteeksi ottamassamme sähkö- ja tietoliikennetekniikan talossa voidaan aloittaa tarkastelemalla talon pohjapiirrustusta, ja etsimällä sen avulla kriteereihin mahdollisimman hyvin sopivan siiven. Siivessä olisi hyvä olla monenmuotoista toimintaa, kuten toimistoja, käytäviä, taukutiloja sekä luennointiin käytettäviä saleja. Olisi myös eduksi, että valitsemaamme tilaan on asennettu jo ennestään DALI-, tai KNXpohjaisia taloteknisiä ratkaisuja, joita voimme hyödyntää datan keräyksessä, sekä myöhemmin laitteiston ohjauksessa. Sopivan siiven löytäminen pelkästään tutkimalla raportteja sekä piirrustuksia voi osoittautua hankalaksi, ja parempi lähestymistapa tähän lienee kenttätutkimus; tarkastellaan taloa siipi kerrallaan, kunnes löydetään sopivin lähtöpaikka pilottihankkeelle.

Ennen kuin hankkeen varsinaiseen implementointiin ryhdytään, on jonkinlainen sensorilaitteisto valittava. Sensorilaitteisto voi olla itse kehitetty, tai valmis kolmannen osapuolen suunnittelema ja valmistama laitteisto. Tärkeintä on, että se sopii pilottihankkeeseen datan avoimuuden, datan luonteen sekä laitteiston hinnan puolesta. On erityisen tärkeätä varmistaa, että laitteistosta saatu data on avointa, jotta sitä voidaan käyttää yhdessä muiden laitteiden tuottaman datan kanssa monimuotoisemman analyysin suorittamiseksi. Kun sensorit on valittu, tulee ne asentaa pilottitiloihin, jotta datan keräys ja sen analysointi voidaan aloittaa.

Kun sensorit ovat asetettuna paikalleen mittaamaan ja tallentamaan eri tilojen läsnäoloa, lämpötilaa, ilmankosteutta, hiilidioksidipitoisuutta, valovoimaa ym. jatkuu tilojen käyttö normaalisti. Samalla alkaa algoritmien kehitys, joiden avulla on tarkoitus löydä valtavan datamäärän seasta mielenkiintoisia yhteyksiä. Ohjelmistonkehittäjät ryhtyvät kehittämään laskennallisia menetelmiä, jotta datasta voidaan saada selkokieliä tulkintoja. Tulkinnot voivat aluksi olla hyvin yksinkertaisia havaintoja; voidaan tarkastella, mikä huoneen käyttöaste on, tai kuinka kauan huonetta käytetään keskimäärin. Näistä tulkinnoista voidaan siirtyä asteittain monimutkaisempiin tulkintoihin; esimerkiksi korreloiko huoneen lämpötila tai hiilidioksiditaso läsnäolon kanssa. Palvelun dataa voidaan verrata säätietoihin, josta voidaan huomata, onko säällä vaikutusta esimerkiksi läsnäoloon, lämpötilaan jne. Tässä vaiheessa ei ole vielä tärkeätä se, miten näitä havaintoja täsmälleen käytetään energiansäästöissä, vaan merkittävää on se, että datasta saadaan järkeviä johtopäätöksiä. Algoritmien

kehittämisen avuksi voidaan aika-ajoin tehdä päivän tai kahden mittaisia käyttö-tutkimuksia. Ideana on, että esimerkiksi kehitystiimin johtaja pyytää huoneiden käyttäjiä pitämään kahden päivän ajan lokia tilan käytöstä: mitä huoneessa on tehty, kuinka monta ihmistä siellä on ollut, mihin aikaan jne. Tämän jälkeen käytetään algoritmia silloisessa tilassaan arvaamaan, mitä tilassa on tapahtunut, sekä tämän jälkeen verrataan tuloksia. Kun tulokset eivät täsmää, mikä on hyvin todennäköistä hankkeen alkuvaiheessa, voidaan tutkimusta käyttää ikäänkuin mallivastauksena, jonka avulla voidaan tehdä algoritmista entistä parempi.

Kun havaintoja osataan poimia datasta riittävällä tarkkuudella, tulee miettiä mitä kaikkea näiden havaintojen avulla voidaan tehdä. Yksinkertaisimmat sovellukset ovat valaistuksen säätö läsnäolon mukaan, sekä päivänvalon kompensointi. Monimutkaisempia säätötoimenpiteitä voisi olla esimerkiksi ilmanvaihdon laskeminen säätilan mukaan, jos havaitaan esimerkiksi, että luennoille tulee keskimäärin vähemmän ihmisiä, mikäli on aurinkoinen ilma. Erikoisten säätötoimenpiteiden keksiminen voi olla aluksi hankalaa, sillä niiden toteuttaminen ei aikaisemmin ole ollut järkevästi mahdollista. Data-analyysin ja talotekniikan ohjauksen siirtyessä pilveen, voidaan säätötoimenpiteisiin yhdistää käytännössä mitä dataa hyvänsä, joka on saatavilla internetin kautta.

Jotta dynaamista ohjausta on mahdollista tehdä, on tiloihin asennettava jonkinlaiset ohjauslaitteet. Parhaassa tapauksessa tiloissa on jo valmiiksi esimerkiksi DALI -verkko, jonka kautta voidaan ohjata valaistusta. Jos pilottitila on valittu hyvin, on tuo väylä jo olemassa. Lämpötilan sekä ilmanvaihdon säätäminen voi olla ongelmallisempaa tämän kokoisessa talossa. Mikäli tiloihin ei ole asennettu huonekohtaisia puhaltimia, ei ilmanvaihtoa pysty säätämään paikallisesti. Ilmanvaihdon säätö onnistuu käytännössä ainoastaan puhallinkohtaisesti, joten jos koko rakennuksen ilmanvaihto on toteutettu yhden puhaltimen avulla, voi ilmanvaihtoa säätää ainoastaan rakennustasolla. Sensoreista kerätyn datan avulla voidaan huoneiston ilmanlaatua tarkkailla holistisesti, ja tämän tiedon perusteella säätää ilmanvaihtoa tarpeen mukaan. Lämpötilan säätö voi myös muodostua ongelmalliseksi. Koska rakennukset ovat lämmitettyjä kaukolämmöllä, toimii lämmitys vesipatteriverkon kautta. Näiden pattereiden lämmityksen säätö edellyttää todennäköisesti putkitöitä, joissa perinteinen ruuvattava termostaatti vaihdetaan sähköiseen, motorisoituun malliin. Mikäli patteriverkoston ollaan tekemässä tasapainoitusta, voi termostaatinvaihdon suorittaa samalla. Muuten voi termostaatinvaihto käydä kalliiksi, ja termostaattien vaihto voidaan nähdä liian isona urakkana toteutettavaksi kokeilumielessä. Palvelun toimivuus kuitenkin edellyttää säädettäviä laitteita, joten jotta palvelun kehitys ei pysähdy tähän, täytyy palvelulle antaa jonkin verran toimivaltaa säästöjen toteutuksessa. Se, että talo on kaukolämmiteinen on vaikeuksistaan huolimatta hyvä asia palvelun kehitykselle. Suuri osa suuremmista yritystaloista ovat kaukolämmitteisiä, ja on parempi kohdata nämä haasteet jo pilottivaiheessa, kuin implementoidessa palvelua oikeille asiakkaille. Kaukolämmöstä säästäminen on Aalto yliopistolle tärkeätä vihreiden arvojen vaalimisessa, sillä lähes 100% yliopiston käyttämästä kaukolämmöstä syntyy polttamalla fossiilisia polttoaineita.[46]

Kun ohjauslaitteita on asennettu, voidaan vihdoinkin ryhtyä ohjaamaan kulutusta algoritmien avulla. Aikaisemmin algoritmien kehitys on keskittynyt lähinnä asioiden havaitsemiseen, ja tilan analysointiin, eikä algoritmit ole pystyneet vaikuttamaan tilan toimintaan millään tavalla. Nyt mukaan yhtälöön otetaan ohjaus, jolloin järjestelmän kompleksisuus kasvaa. Kun tilan lämmitystä voidaan ohjata, syntyy järjestelmäämme takaisinkytkentä. Kun säädämme lämmitystä, tulee sensorimme havaitsemaan lämpötilan nousun, joka vaikuttaa data-analyysiin. Hyvin konfiguroidussa algoritmessa tämä ei ole ongelma, mutta mikäli algoritmien parametrit eivät ole kohdallaan, voi huoneen lämpötila ryhtyä värähtelemään, jolloin lämpötilan ohjaus tekee kaikkea muuta, kuin säästää energiaa. Voikin olla järkevää lähteä liikkeelle yhden tai kahden huoneen lämmityksen ohjauksesta, ja laajentaa järjestelmää hiljalleen algoritmien kehittyessä. Näin vältetään epämukavuutta lisääviltä virheitä, jotka ovat harmiksi kaikille pilottihankealueella oleskeleville. Jälleen voisi tiiminvetäjä suorittaa huonekohtaista empiiristä tutkimusta siitä, millaiseksi huoneen olosuhteet koetaan. Näin saadaan selville onko järjestelmä liian hidas, tai osaako se ottaa huomioon käyttäjien tarpeet. Tämän analyysin pohjalta kehitetään algoritmeja edelleen.

Kun älyenergiapalvelun algoritmit ovat sillä tasolla, että niillä voidaan tuottaa säästöjä, on hyvä ajatus hiljalleen laajentaa pilottihankkeen suuruutta, ja tarkkailla miten algoritmit suoriutuvat uusissa puitteissa. Kun jatkokehitykselle on tarvetta, kehitetään algoritmeja niin, että ne toimivat myös uusissa olosuhteissa. Tämän jälkeen voidaan hanketta taas laajentaa, kunnes lopulta pilottihanke ei ole enää pilottihanke, vaan suurempi kokonaisuus, tai jopa valmis tuote.

Otaniemen on suunniteltu olevan energiaomavarainen vuoteen 2030 mennessä[46], ja käynnissä on paljon tutkimusta, millaisin keinoin tuohon tavoitteeseen voidaan päästä. Yksi mahdollisuus on eräänlainen paikallinen, Otaniemenlaajuinen kaukolämpöverkko, jota lämmitettäisiin kampusrakennuksissa sijaitsevin maalämpöpumpuin.[48] Ajatuksena on, että kun yksi talo ei tarvitse lämmitystä, jokin toinen talo voi käyttää sen tuottamaa maalämpöä. Ainoastaan kulutushuippujen aikaan ostettaisiin lämpöä kaukolämpöverkosta. Tämä on hyvä esimerkki hankkeesta, jossa älyenergiapalvelu voi auttaa. Analysoimalla kiinteistöistä saatavaa dataa voimme pystyä ennustamaan tulevia kulutushuippuja, ja mahdollisesti jopa tasata pois niitä niin, että kaukolämpöä ei enää tarvittaisiin. Kun isoja toimijoita saadaan pois lähes täysin fossiilisen kaukolämmön piiristä, voimme myös vaiheittain siirtyä pois fossiilisista energiamuodoista. Internet of thingsin vahvuuksia huomataan tällaisten hankkeiden yhteydessä; koska IoT:n suurimpiin hyötyihin kuuluu big datan analysointi, voidaan IoT –järjestelmästä saada aivan uusia hyötyjä pelkästään analyysiä muuttamalla. Kun mieleemme tulee tarve jollekin uudelle analyysille, voimme käyttää jo olemassaolevaa dataa sekä infrastruktuuria analyysin tekemiselle. Tutkittavia asioita voisi olla esimerkiksi opiskelijoiden läsnäolon automaattinen havaitseminen, ja sen vertaaminen tenttituloksiin tai muuta vastaavaa. Ainoastaan taivas on rajana.

6 Johtopäätökset

Energiatehokkuuspalvelun luominen on ehdottomasti mahdollista, ja sillä voi hyvin todennäköisesti saada aikaiseksi voittoakin. Haasteita luo kuitenkin valmiin datankeräys infrastruktuurin puute, ja tämä puute luo palvelun suurimmat taloudelliset riskit. Koska valmista infrastruktuuria ei käytännöllisesti katsoen ole olemassa, täytyy sellainen rakentaa itse. Tässä ongelmaksi muodostuu sensori- ja ohjauslaitteiden hinta, joka täytyy saada tarpeeksi matalaksi, jotta palvelun aloittaminen ei vaadi suuria investointeja keneltäkään. Tällaiseen hintaan pääseminen on mahdollista, mikäli näitä laitteita saadaan sarjatuotettua. Sarjatuotanto tosin vaatii suuren kysynnän, joten tämä on klassinen noidankehä: Jotta palvelu voi yleistyä, tarvitaan halpoja sensoreita, sekä ohjainlaitteita, jotka halpenevat siinä vaiheessa, kun palvelu yleistyy. Ratkaisuna tähän dilemmaan voisivat toimia subventoidut pilottihankkeet, joista voidaan saada kokemuksia, niin positiivisia, kuin negatiivisiakin, ja joita voidaan käyttää palvelun markkinoinnissa ja kehittämisessä uusien asiakkaiden haalimiseksi.

Riskin luo myös tiedon puute mahdollisen energiasäästön suuruudesta. Jotta palvelun kannattavuus asiakkaalle ja palveluntarjoajalle voidaan varmistaa ennen palvelusopimuksen solmimista, tulisi molempien osapuolien saada jonkinlainen käsitys siitä, millaisiin säästöihin tällä palvelulla voidaan päästä. Palveluntarjoajan kannattaakin kehittää myyntityökalu, jonka avulla kohteen energiasäästöpotentiaalia voidaan arvioida laskennallisoin menetelmin. Tämä vaatii lisätutkimusta ja kokemusta pilottihankkeista, mutta työkalun kehittäminen valaisi lisää uskoa asiakkaisiin, sekä laskisi näiden kynnystä liittyä palveluun.

Älyenergiapalvelu on vasta idean tasolla, eikä yksikään sen vaatimista osa-alueista ole vielä valmis palvelun implementointiin. Vaikka kaikki datan keräämiseen tarvittava laitteisto olisi asennettuna, ja dataa olisi jo vuolaasti tarjolla, ei varsinaisia data-analyysiin tarvittavia algoritmeja ole vielä kehitetty. Algoritmien kehitys on työlästä, ja aikaavievää, eivätkä ne tässä tapauksessa tule ikinä olemaan lopullista, vaan niitä voidaan aina kehittää paremmiksi. Algoritmien kehittäminen vaatii oikeata sensoridataa, jotta näistä voidaan tunnistaa tapahtumia. Jotta oikeata dataa saadaan, täytyy meillä olla sensoreita, jotka keräävät tuota dataa. Palvelun kehittäminen vaatii siis vielä paljon tuotekehitystä, ennen kuin se voidaan kunnolla kaupallistaa. Sensorien, ohjainlaitteiden ja algoritmien kehittäminen sopisikin erittäin hyvin esimerkiksi Aalto yliopiston Product Development Project -kurssille, jossa opiskelijat ratkaisevat yritysten rahoittamina ongelmia, joita kyseiset yritykset kokevat. Kurssi on luvun vuoden mittainen, ja opiskelijoilla on lähes vapaat kädet ongelman ratkaisemiseksi. Opiskelijat voisivat kehittää yksinkertaisen prototyypin sensoreista, asentaa tällaiset jossain laajuudessa, esimerkiksi yliopistolle, tai muuhun tilaan, ja kehittää algoritmeja tapahtumien tunnistamiseen. Projekti olisi hyvin proof-of-concept -tyyppinen, ja siitä olisikin varmasti hyötyä sen havaitsemisessa, mitä kannattaa kehittää, ja mikä kannattaa jättää kehittämättä, ainakin toistaiseksi.

Ennen laitteiston kehittämistä olisi hyvä kuitenkin selvittää palvelun taloudellisia

näkökulmia, ja selvittää miten suuria taloudelliset hyödyt voivat olla palveluntarjoajalle, sekä asiakkaalle. Tämän taloudellisen analyysin pohjalta voidaan myös sanoa kuinka paljon yksittäinen langaton sensori saa maksaa, jotta palvelun aloitushinnat pysyvät kurissa. Näin äsken mainittu opiskelijatiimi saa selvän tavoitteen laitesuunnittelun perustaksi. Taloudellinen analyysi antaa myös arvioita siitä, millaisia säästöjä palvelulta voidaan odottaa, sekä missä menee raja, jolloin palvelu muuttuu rasitteeksi, eikä siitä enää ole hyötyä jommalle kummalle, tai molemmille osapuolille.

Tässä diplomityössä hahmotellut palvelun toimintamallit, prosessit, ehdot, edellytykset ym. ovat opinnäytteen laajuudesta johtuen hyvin rajatut, ja niiden kehittämiseen tulee palvelun onnistumiseksi laittaa huomattavasti enemmän aikaa sekä ammattitaitoa. Kun perusajatusta on rajattu sopivasti, on sitä helpompi lähteä kehittämään isommalla tiimillä. Tiimin kokoonpanoon olisi hyvä kuulua niin kokeneita prosessikonsultteja, kuin nuorempia, vielä ajatuksenjuoksultaan vapaampia konsultteja. Tämän liikemallin kehittäminen ei tosin välttämättä ole järkevää, ennen kuin saadaan varmaa, tai lähes varmaa tietoa siitä, mikäli palvelun kehittäminen on teknisesti mahdollista ja kannattavaa. Tämä tieto saadaan muun muassa teknisen prototyyppivaiheen kehittäjiltä, jotka voivat olla aiemmin mainittu opiskelijatiimi, tai tekninen tuotekehitystiimi.

Kun palvelun tekniset, taloudelliset sekä prosesseihin liittyvät ongelmat ovat ratkaistuja, täytyy vielä luoda juridisesti pätevä palvelusopimus. Mikäli prosessin reunaehdot osataan miettiä sopiviksi, ei sopimukseen tarvitse kirjata yhtä paljon ehtoja, vaan ne sanelevat itse itsensä palvelun rajauksesta johtuen. Toisaalta, vaikka palvelu olisi täydellisesti rajattu, täytyy palvelusopimuksen olla melko tarkka, sillä ennen pitkää tulee vastaan asiakas, joka ei ole tyytyväinen. Tällöin on hyvä olla tarkka sopimus siitä, mitä palveluun kuuluu ja mitä ei.

7 Yhteenveto

Nykypäivän kiristyvien energiatehokkuusvaatimusten ja lisääntyvien kasvihuonekaasujen vuoksi on energiatehokkuudesta tullut ajankohtainen aihe jokaiselle. Ilman vaatimuksiakin ihmisiä yleensä kiinnostaa rahansäästö, ja energiakulut ovat oiva kuluerä, jota voi pienentää. Samaan aikaan älylaitteet yleistyvät ja pienenevät mahdollistaen uudentyyppisten laitteiden kehityksen, ja yhdistämisen internetiin. Vielä viisi vuotta sitten olisi ollut naurettava ajatus kehittää sensori, jonka ainoa toiminto on kerätä dataa, koska tuosta datasta saattaa olla hyötyä. Nykyään ei sama ajatus ole niinkään tyhmältä kuulostava.

Internet of things muodostaa aivan uudenlaisia liiketoimintamahdollisuuksia tietotekniikkayrityksille, jossa nämä voivat maksua vastaan analysoida dataa, etsien vastauksia asiakkaan ongelmiin. Tämän markkinan aukeaminen on erityisen mielenkiintoista, sillä perinteisesti on palkattu konsultteja analysoimaan yrityksen prosesseja, ja toimintatapoja. Nämä konsultit antavat arvion yrityksen toiminnasta, sekä listan parannettavista asioista. Lähitulevaisuudessa saman työn voivat tehdä algoritmit, jotka analysoivat big dataa. Tämä ei niinkään välttämättä ole uhka konsulttien työpaikoille, kuin mahdollisuus uusille työpaikoille algoritmien kehittäjille. Konsultit voivat tämän datan pohjalta antaa parempia neuvoja toiminnan parantamiseksi, tai keskittyä haastavampiin ongelmiin, joita algoritmit eivät vielä ole ratkaisseet.

Energiatehokkuuspalvelun saamiseksi markkinoille on tehtävä vielä paljon kehitys- sekä tutkimustyötä. Tämä työ ei valmistu yhdessä yössä, mutta ensimmäinen askel palvelun toteutuksessa on kuitenkin jo otettu; se on hahmoteltu ja sen haasteet sekä mahdollisuudet on tunnistettu.

Viitteet

- [1] BowieNet: how David Bowie's ISP foresaw the future of the internet, The Guardian. Verkkodokumentti. Julkaistu 11.1.2016. Viitattu 22.4.2016. Saatavissa: <https://www.theguardian.com/technology/2016/jan/11/david-bowie-bowienet-isp-internet>
- [2] Mukhopadhyay, S. C. Internet of Things, Challenges and Opportunities Massey University, Palmerston North, New Zealand, Springer, 2014.
- [3] Tesla autopilot: the 10 most important things you need to know. Verkkodokumentti. Julkaistu 16.10.2015. Viitattu 23.4.2016. Saatavissa: http://www.greencarreports.com/news/1100482_tesla-autopilot-the-10-most-important-things-you-need-to-know
- [4] Kennedy, J. B. When Woman is Boss: An interview with Nikola Tesla Colliers magazine, 30.1.1926.
- [5] Richter, W. A. *Radio: a complete guide to the industry* Peter Lang Publishing Inc; 2006.
- [6] Internet of things added to the 2011 hype cycle. Verkkodokumentti. Viitattu 20.4.2016. Saatavissa: <http://postscapes.com/internet-of-things-added-to-the-2011-hype-cycle>
- [7] What's New in Gartner's Hype Cycle for Emerging Technologies, 2015? Verkkodokumentti. Julkaistu 20.10.2015 Viitattu 20.4.2016. Saatavissa: <http://www.gartner.com/smarterwithgartner/whats-new-in-gartners-hype-cycle-for-emerging-technologies-2015/>
- [8] Weisner, M. Ubiquitous Computing Verkojulkaisu, 17.3.1996. <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiHome.html>
- [9] Ratkaisujen Suomi - Pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma. Julkaistu 29.5.2015. Viitattu 23.4.2016.
- [10] Toimintasuunnitelma strategisen hallitusohjelman kärkihankkeiden ja reformien toimeenpanemiseksi 2015–2019. Valtioneuvosto. Julkaistu 14.4.2016. Viitattu 23.4.2016.
- [11] Posti. Verkkosivut. Viitattu 24.4.2016. Saatavissa: <http://www.posti.fi>
- [12] Tivi. Suomessa Uber-kyytejä saa välittää, muttei ajaa ilman taksilupaa. Julkaistu 5.3.2015. Viitattu 24.4.2016. Saatavissa: [http://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/2015-03-05/Suomessa-Uber-kyyteja%C3%A4-saa-v%C3%A4litt%C3%A4%C3%A4-muttei-ajaa-ilman-taksilupaa-3216827.html/](http://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/2015-03-05/Suomessa-Uber-kyyteja-saa-valittaa-muttei-ajaa-ilman-taksilupaa-3216827.html/)
- [13] Jugner, M. Taksi vastaan Uber. Julkaistu 12.3.2016. Viitattu 24.4.2016. Saatavissa: <http://www.verkkouutiset.me/taksi-vastaan-uber/>

- [14] Helvar lighting control, verkkosivut. Viitattu 5.5.2016. <http://www.helvar.com/products>
- [15] Vallox, verkkosivut. Viitattu 8.5.2016. <http://www.vallox.com>
- [16] Enervent, verkkosivut. Viitattu 8.5.2016. <http://www.enervent.com>
- [17] Swegon, verkkosivut. Viitattu 8.5.2016. <http://www.swegon.com>
- [18] Arduino verkkosivut. Viitattu 5.5.2016. <https://www.arduino.cc/>
- [19] Airpatrol verkkosivut. Viitattu 5.5.2016. <http://airpatrol.eu/>
- [20] Truong, H-L., Dustdar, S. Sustainability Data and Analytics in Cloud-Based M2M Systems, Springer, 2014.
- [21] Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta. Verkkodokumentti. Julkaistu 5.9.2009. Viitattu 8.4.2016. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/vn_sahkontoimitusten_selvitykset_ja_mittaukset.pdf
- [22] Gartner Says 4.9 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2015. Verkkodokumentti. Julkaistu 11.11.2014 Viitattu 10.4.2016. Saatavissa: <http://www.gartner.com/newsroom/id/2905717>
- [23] Classless Inter-domain Routing (CIDR): The Internet Address Assignment and Aggregation Plan. Verkkodokumentti. Julkaistu 8/2006. Viitattu 9.4.2016. Saatavissa: <https://tools.ietf.org/html/rfc4632>
- [24] Cisco Visual Networking Index Widget. Verkkosovellus. Grafiikka luotu 26.4.2016 <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/visual-networking-index-vni/index.html#~completeforecast>
- [25] Investorwords, verkkosivut. Viitattu 27.4.2016. Saatavissa: <http://www.investorwords.com/6664/service.html>
- [26] Michelin fleet solutions, verkkosivut. Viitattu 27.4.2016. Saatavissa: <http://www.michelintruck.com/services-and-programs/michelin-fleet-solutions/>
- [27] Accenture Technology, Driving unconventional growth through the industrial internet of things. Verkkodokumentti. Viitattu 27.4.2016. Saatavissa: https://www.accenture.com/us-en/_acnmedia/Accenture/next-gen/reassembling-industry/pdf/Accenture-Driving-Unconventional-Growth-through-IIoT.pdf
- [28] Futurlec Verkkosivut. Viitattu 30.4.2016 <http://www.futurlec.com>
- [29] Adafruit industries Verkkosivut. Viitattu 30.4.2016 <http://www.adafruit.com>

- [30] Farnell International Verkkosivut. Viitattu 30.4.2016. <http://www.farnell.com>
- [31] Nordpoolin verkkosivut. Viitattu 2.5.2016. <http://www.nordpoolspot.com>
- [32] Tesla Powerwall. Verkkosivut. Viitattu 5.5.2016. Saatavissa: <https://www.teslamotors.com/powerwall>
- [33] Tesla announces renewable energy batteries for the home. Verkkodokumentti. Julkaistu 1.5.2015. Viitattu 5.5.2016. Saatavissa: <http://www.telegraph.co.uk/technology/news/11576684/Tesla-announces-renewable-energy-batteries-for-the-home.html>
- [34] The Miracle of SolarCity. Verkkodokumentti. Julkaistu 31.7.2015. Viitattu 8.4.2016. Saatavissa: http://www.slate.com/articles/business/the_juice/2015/07/solarcity_the_company_didn_t_invent_the_solar_panel_but_it_invented_something.html
- [35] The Internet of Things business index. Verkkodokumentti. The Economist, Intelligence unit. Julkaistu 2013. Viitattu 22.4.2016. Saatavissa: http://www.arm.com/files/pdf/EIU_Internet_Business_Index_WEB.PDF
- [36] The Behind the numbers: Growth in the internet of things. Verkkodokumentti. Julkaistu 23.10.2015. Viitattu 23.4.2016. Saatavissa: <http://www.seediscover.com/behind-the-numbers-growth-in-the-internet-of-things/>
- [37] Brambley, M. R., Advanced Sensors and Controls for Building Applications: Market Assessment and Potential R&D Pathways. Verkkodokumentti. Julkaistu Huhtikuu 2005.
- [38] Gyalistras, D., Gwerder, M., Oldewurtel, F, Jones, C. N., Morari, M., Lehmann, B., Wirth, K., Stauch, V. *Analysis of Energy Savings Potentials for Integrated Room Automation* ETH, Zürich, Sveitsi.
- [39] Aalto yliopisto - kampukset. Verkkodokumentti. Viitattu 22.4.2016. Saatavissa: <http://www.aalto.fi/fi/about/campuses/>
- [40] A. Stadius, Otaniemen kokokuva. Julkaistu 23.4.2014. Espoon Kaupunki
- [41] Aalto yliopisto - arkkitehtuuri. Verkkodokumentti. Viitattu 8.5.2016. Saatavissa: http://www.aalto.fi/fi/about/campuses/architecture_otaniemi/
- [42] Aalto-yliopiston kestävä kehityksen raportti 2015 ISCN-GULF. Viitattu 5.5.2016.
- [43] Caruna siirtomaksuhinnasto. Verkkosivut. Viitattu 6.5.2016. Saatavissa: <https://www.caruna.fi/asiakaspalvelu/hinnastot-ja-sopimusehdot/sahkonsiirron-hinta>

- [44] Fortum kaukolämpöhinnasto. Verkkosivut. Viitattu 6.5.2016. Saatavissa: <http://www.fortum.com/countries/fi/lampo/tuotteet-ja-palvelut/hinnat-taloyhtiaille-ja-yrityksille>
- [45] DALI Verkkosivut. Viitattu 6.5.2016. <http://www.dali-ag.org>
- [46] Acre OpenEnergy Verkkosivut. Viitattu 6.5.2016. <http://openenergy.fi/>
- [47] Google Maps verkkopalvelu. Viitattu 6.5.2016. <http://maps.google.com>
- [48] Koikkalainen, A., Lämpöverkko hajautettuun lämmöntuotantoon perustuvassa järjestelmässä. Julkaistu 11.5.2015.