

**Energiatehokkuutta asumiseen avoimen lähdekoodin taloauto-
maatiolla.**

Case: Osuuskunta Luonnonkoneisto.

Miika Virpiö

Opinnäytetyö

Tietotekniikan koulutusohjelma

2013



15.12.2013

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

<p>Tekijä tai tekijät Miika Virpiö</p>	<p>Ryhmätunnus tai aloitusvuosi 2011</p>
<p>Raportin nimi Energiatehokkuutta asumiseen avoimen lähdekoodin taloautomaatiolla.</p>	<p>Sivu- ja liitesivumäärä 50 + 2</p>
<p>Opettajat tai ohjaajat Pekka Kamaja</p>	
<p>Energian vastuullinen käyttö on välttämätöntä kamppaillessamme ilmastonmuutosta vastaan. Asuminen kuluttaa lähes puolet kaikesta energiasta, josta suurin osa kuluu rakennuksien lämmittämiseen. Voimme siis todeta energiatehokkaamman asumisen vähentävän ratkaisevasti vaikutustamme ympäristöön.</p> <p>Taloautomaatio on järjestelmä, jolla voidaan automatisoida rakennuksen lämmitystä, valaistusta ja kodintekniikkaa. Se vähentää kotitalouden energiankulutusta samalla parantaen mukavuutta. Järjestelmiä ei kuitenkaan ole jokaisessa suomalaisessa kodissa, vaikka teknologian kehitys sen mahdollistaisikin.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin taloautomaatiojärjestelmien mahdollisuuksia asumisen energiatehokkuuden parantamisessa etenkin avoimen lähdekoodin ja -laitteiston näkökulmasta. Lisäksi avoimen taloautomaatiojärjestelmän liiketoiminnallisia mahdollisuuksia selvitettiin markkinakatsauksella.</p> <p>Tuloksien perusteella saatiin kattava kuva niistä energian kulutuksen prosesseista, joita taloautomaatiolla voidaan optimoida. Samalla todettiin avoimuuden olevan eduksi taloautomaatiojärjestelmien toteuttamisessa ja markkinoilla olevan kysyntää kyseisille järjestelmille.</p> <p>Lopuksi tehtiin taloautomaatiotuotteesta ja -palvelusta konseptikuvaus toimeksiantajalle tuotekehityksen tueksi. Konseptikuvauksessa esiteltiin avoimeen taloautomaatioratkaisuun soveltuva teknologia sekä sen liiketoiminnalliset ominaisuudet.</p> <p>Toimeksiantajana toimi Osuuskunta Luonnonkoneisto, joka suunnittelee ekologisesti kestäviä rakennuksia, jätevesijärjestelmiä sekä maa- ja metsätalousjärjestelmiä.</p>	
<p>Asiasanat Taloautomaatio, avoin lähdekoodi, energiatehokkuus, rakennusautomaatio, avoin</p>	

Information Technology

<p>Authors Miika Virpiö</p>	<p>Group or year of entry 2011</p>
<p>The title of thesis Energy efficiency with open source home automation</p>	<p>Number of report pages and attachment pages 50 + 2</p>
<p>Advisor(s) Pekka Kamaja</p>	
<p>Responsible use of energy is one of key aspects while fighting against global warming. Residential use is responsible of almost half of total energy consumption of which almost all goes to heating. Thus it is evident that energy efficient living reduces considerably our environmental impact.</p> <p>Home automation is a system that automates heating, lighting and household electronics. It can increase convenience and comfort while decreasing energy usage. Still most of Finnish homes are without these systems even though technology would allow them as a standard.</p> <p>This Bachelor's thesis examines possibilities of home automation system at improving energy efficiency of households. In addition, open hardware and -source code in development of these systems were evaluated in terms of technology and business.</p> <p>The results pointed out the energy flow processes that can be optimized with home automation. Openness of system and operation was seen as an advantage and demand for open home automation systems were evident on Finnish market.</p> <p>Finally, based to results, a description of open home automation service concept was made for the sponsor. Concept description included suitable hardware, software and model for automation product.</p> <p>The project was ordered by Luonnonkoneisto Co. that designs sustainable buildings, sewage systems, agriculture and forestry.</p>	
<p>Key words Smart home, open source, home automation, open hardware, building automation</p>	

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Ekologisuutta taloautomaatiolla	4
2.1 Taloautomaatio	4
2.1.1 Järjestelmän rakenne	6
2.1.2 Ohjelmisto	12
2.2 Ekologinen asuminen	14
2.2.1 Energian kulutus	15
2.2.2 Energian tuottaminen	19
2.2.3 Energian säästäminen taloautomaatiolla	20
3 Markkinakatsaus	25
3.1 Taloautomaatiotarjonta	26
3.2 Avoimet sovellukset	28
3.2.1 Arduino	30
3.2.2 Raspberry Pi	30
3.3 Analyysi	31
4 Konseptikuvaus	33
4.1 Laitteisto	33
4.2 Ohjelmisto	35
4.3 palvelurakenne	37
4.4 Tuotteistaminen	38
5 Yhteenveto	42
Lähteet	44
Liitteet	1
Liite 1. Markkinakatsauksen tulokset - taulukot	1
Liite 2. Ohjelmistorakenne ja selainkäyttöliittymä	1

Käsitteitä

Ekosysteemi

Elollisen ja elottoman ympäristön kokonaisuus. Esimerkiksi rakennuksen ympäröivä havumetsä tai koko maapallon elokehä eli biosfääri (Lahti ym. 2005, 118).

Energiatase

Kuvaa primäärienergian muuttumista loppukulutukseksi (Tilastokeskus). Pientalossa energian hankinnan, -kulutuksen, -käytön, -tuotannon ja -hukan tasapaino.

Energiatodistus

Dokumentti, joka kertoo rakennuksen energiatehokkuudesta (Ympäristöministeriö 2013b).

Faasimuutos

Aineen olomuodon muutos. Esimerkiksi sulaminen, höyrystyminen ja sublimoituminen. (VTT Prosessit 2004, 301.)

GPIO

General Purpose Input Output. Analogisia ja digitaalisia signaaleja vastaanottava ja lähettävä portti piirilevyssä. Tarkoitettu esimerkiksi prototyyppenä rakentaessa yleiskäyttöiseksi yhteydeksi ohjelmiston ja piirien välillä. Kilvet yhdistetään mikrokontrollereiden GPIO -portteihin. (Raspberry Pi.)

IEC

Teollisuudessa käytettyjen kontrollereiden ohjelmointistandardi (ISA 2012).

Ilmalämpöpumppu

Siirtää kylmäaineen olomuodon muutokseen perustuvalla tekniikalla lämpöä ulkoilma-
sta sisäilmaan.

Kaukolämpö

Sähkövoimalan lauhdelämpö, joka jäähdytysveden mukana siirretään asuintaloihin (VTI Prosessit 2004, 74).

KNX

Taloautomaatiojärjestelmien kommunikaation sertifioitu standardi. Toimii parikaapeli-kytkennällä, jossa laitteiden signaalit lähetetään yhteen väylään. Keskusta ei tarvita, mutta sitä voi käyttää. (KNX 2013.)

Konvektio

Lämmön siirtymistä kaasun tai nesteen virtauksen mukana (Suomen Arkkitehtiliitto 1983, 70).

Kylmäkatodilamppu

Valaisin, joka perustuu tyhjiöputkessa olevien kaasumolekyylien säteilyyn, jotka saadaan syttymään korkealla sähköjännitteellä (Isosaari 2012, 133).

Maalämpöpumppu

Sähkökäyttöisellä kompressorilla kerätään maaperään, kallioon tai veteen varastoitunutta lämpöä, joka siirretään rakennuksen sisäilmaan tai veteen (Motiva 2013).

Mikrokontrolleri

Pieni prosessorilla ja muistilla varustettu tietokone, jota usein käytetään mm. prototyyppien rakentamiseen (Karvinen & Karvinen 2011, 17).

NFC

Near Field Communication. Usein lähietäisyydeltä radiotaajuuksilla toimiva tiedonsiirto-standardi (NFC Forum 2013).

OPC

OLE for Process Control. Microsoftin kehittämä tiedonsiirron avoin standardi (OPC Foundation).

Permakulttuuri

Filosofia ja tapa suunnitella. Työskentelyä luonnon mukaisesti eikä luontoa vastaan. Tarkkaavainen luonnon omien mekanismien havainnointi turhan työn minimoimiseksi. (Mollison 1979, 1.)

Poistoilmalämpöpumppu

Lämmöntalteenottolaite, joka lämpöpumpulla siirtää lämpöä poistoilmasta sisääntuloilmaan tai veteen (Laitinen 2010, 49).

Raspberry Pi

Luottokortin kokoinen tietokone. Toimii myös prototyypin rakentamiseksi soveltuvana mikrokontrollerina. (Raspberry Pi.)

Responsiivisuus

Käyttöliittymäsuunnittelun tapa. Ohjelmoidaan esimerkiksi internetsivut toimimaan eri kokoisilla näytöillä eri laitteissa. Perustuu usein ruudukkomaiseen rakenteeseen, jossa ruudut järjestyvät näytön koon mukaan. (Marcotte 2010.)

1 Johdanto

Energian vastuullinen käyttö on välttämätöntä kamppaillessamme ilmastonmuutosta vastaan. Päivittäisillä valinnoilla voimme vaikuttaa merkittävästi energiankäyttöömme. Monet näistä valinnoista liittyvät asumiseen, joka onkin keskeisessä asemassa energiaa säästäessämme.

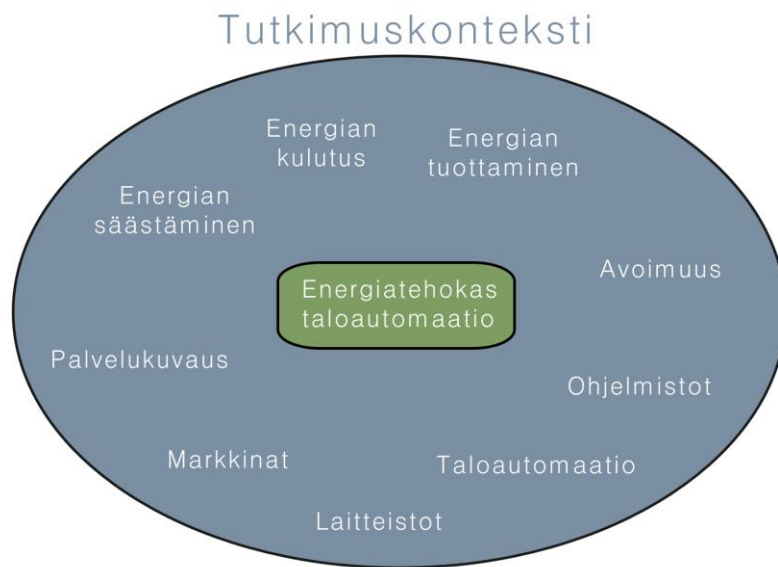
Asumiseen kuluu lähes puolet kaikesta energiasta (Suomen Arkkitehtiiliitto 1983, 20; ABB 2011b, 6). Talotekniikan sovelluksilla voimme vaikuttaa rakennuksen energiataseeseen, vähentäen siten asumisen ympäristökuormitusta. Yksi tällainen sovellus on taloautomaatiojärjestelmä.

Järjestelmällä voidaan optimoida rakennuksen energiatehokkuus ja muiden energiainvestointien tuottavuus äärimmilleen (Sähkötieto ry 2012, 51). Myös mukavuutta ja turvallisuutta voi huomattavasti parantaa taloautomaatiolla. Se ei kuitenkaan ole levinnyt markkinoille odotetusti, vaikka sen toteuttamiseksi vaadittavaa teknologiaa on ollut jo vuosikymmeniä (Dennis 2013, 17).

Automaatiojärjestelmillä varustettuja pientaloja rakennetaan Suomessa alle tuhat vuodessa. Syy varovaisuuteen on tiedon puute tarjonnasta ja ennakko-odotukset. Taloautomaatiojärjestelmiä pidetään kalliina, epäluotettavina ja vaikeina toteuttaa. (Isosaari.) Niiden kehitys on kuitenkin ollut viime vuosikymmenen erittäin nopeaa, koska kiinteistöjen arvon on koettu nousevan käyttö- ja ylläpitokulujen pienentyessä (Alikoski ym. 2000). TEKES onkin arvioinut taloautomaatiosovelluksien sisältävän ”merkittävää potentiaalia PK-yrityksille” (Ylén ym. 2013, 47).

Taloautomaation kehityssuunta on kääntynyt kohti avoimempia ja integroitavissa olevia järjestelmiä (Luotonen 2009, 14; Sähkötieto ry 2012, 148). Tietoliikenneyhteyksien nopeutuessa ja prosessointitehon kasvaessa taloautomaatiojärjestelmien ohjelmistokehitykseen on kohdistunut entistä enemmän paineita ja se on koettu olevan solmukohta järjestelmien kehityksessä (Sähkötieto Ry 2012, 26, 38). Onkin siis ajankohtaista tutkia ohjelmistokehityksen mahdollisuuksia ekologista asumista tehostavan taloautomaatiojärjestelmän toteuttamisessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa toimeksiantajalle konseptikuvaus ekologisista asumista tehostavasta taloautomaatiotuotteesta. Kuvauksen teknistä puolta analysoidaan taloautomaatiojärjestelmien teknologiaa ja asumisen energiatasetta tutkimalla, ja liiketoiminnallisia ominaisuuksia selvitetään markkinakatsauksella (kuvio 1). Erityisesti kiinnitetään huomiota avoimen lähdekoodin ja -laitteiston sovelluksiin, jotka ovat lähi-vuosina kasvattaneet kysyntäänsä ennen kaikkea avoimien mikrokontrollereiden osalta (Raspberry Pi).



Kuvio 1. Tutkimuskonteksti.

Toimeksiantaja on luonnonmukainen suunnittelutoimisto Osuuskunta Luonnonkoneisto, joka yhdistää maataloustekniikan, rakennustekniikan ja tietotekniikan ammattiosaamista. Luonnonkoneisto suunnittelee ekologisesti kestäviä rakennuksia, jätevesijärjestelmiä sekä maa- ja metsätalousjärjestelmiä. Toimintaan kuuluu myös neuvonta ja koulutus sekä koneiden ja laitteiden myynti ja vuokraus. Työn tuloksena syntyvää konseptikuvausta tullaan käyttämään osuuskunnan taloautomaatiopalvelun tuotekehitysprosessissa.

Taloautomaatio ja ekologinen asuminen liittyvät pitkälti rakennustekniikkaan, talotekniikkaan ja elektroniikkaan. Tietotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyön aiheeksi aihealue on siis hyvin monitieteellinen, mikä tekee siitä sekä haastavan, että mielenkiin-

toisen. Kirjoittaja on sertifioitu permakulttuurisuunnittelija ja harrastuneisuutta on myös rakennustekniikan ja maataloustekniikan osalta. Työn näkökulma rajataan kuitenkin heijastamaan tietotekniikan koulutusohjelmassa opittua.

Ammatillisen kehittymisen lisäksi projekti kehittää toimeksiantajan lopullisena tuotteena taloautomaatiojärjestelmien saatavuutta ja energiatehokkuutta. Ekologista asumista tehostava taloautomaatiotuote voi siten kuluttajien kautta vaikuttaa lopulta myös myönteisesti ympäristöön.

Kappaleessa 2 tutkitaan taloautomaation ja ekologisen asumisen keskeinen teoria. Kappaleessa 3 esitellään tutkimusmenetelmät ja -tulokset, eli taloautomaatiojärjestelmien tarjonta sekä konseptiin sopivat avoimen ohjelmiston ja -laitteiston sovellukset. Tuloksia analysoidaan ja muodostetaan konsepti energiaa säästävästä taloautomaatiotuotteesta, joka käsitellään teknologisilta ja liiketaloudellisilta ominaisuuksiltaan kappaleessa 4. Lopuksi projektista tehdään yhteenveto kappaleessa 5. (kuvio 2.)



Kuvio 2. Tutkimusprosessikaavio.

2 Ekologisuutta taloautomaatiolla

Tässä luvussa selvitetään taloautomaatio ja asumisen energiankulutus. Taloautomaatiosta esitellään järjestelmän rakenne ja ohjelmisto, jotta myöhemmin voidaan analysoida avoimuuden mahdollisuuksia niiden kehittämisessä. Ekologista asumista esitellään energian kulutuksen ja tuottamisen, eli ns. ilmaisenergioiden osalta, sekä energiankulutukseen liittyvien prosessien optimointimahdollisuuksista taloautomaatiolla. Näin pyritään kuvaamaan ne energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät taloautomaatiojärjestelmissä, joita taloautomaatiotuotetta konseptoidessa on otettava huomioon.

2.1 Taloautomaatio

Käsite taloautomaatio on käytännössä sama kuin rakennusautomaatio (eng. building automation). Rakennusautomaation käsitteistöön kuuluu myös kotiautomaatio (eng. home automation), älytalo, älykoti (eng. smart home), älysähkö ja kodinohjausjärjestelmä. Suomessa käsitteistä käytetyin on rakennusautomaatio ja kansainvälisesti smart home. Hakutulokset termille rakennusautomaatio koskevat useimmiten suurempien ja julkisten kiinteistöjen automaatiojärjestelmiä, kun puolestaan taloautomaatio-käsite liittyy pientalojen automaatioon. Tässä työssä käytetään järjestelmistä termiä taloautomaatio, koska se heijastaa parhaiten konseptikuvauksessa kuvattavan järjestelmän kohteita – pientaloja. Markkinakatsausta tehdessä käytetään kuitenkin koko termistöä, koska vakiintunutta käytäntöä termin käytöstä ei ole.

Taloautomaatiolle on useita määritelmiä. TEKESin mukaan taloautomaatio on järjestelmä, jolla voidaan mitata ja säädellä rakennuksen sisäilmastoa, valaistusta, sähkönkulutusta, vedenkulutusta ja laajemmin tulkiten myös viihde-elektronikkaa ja turvallisuutta (Ylén ym. 2010, 47). Rakentajalehti määrittelee sen järjestelmäksi, jolla taloa voi hallita helposti etukäteen ohjelmoiduilla tilanneohjauksilla esimerkiksi kotoa poistuttaessa aktivoidaan murtohälytysjärjestelmä, sammutetaan ohjatut kulutuslaitteet ja haluttujen huoneiden lämpötilaa pudotetaan. (Rakentaja 2013). Andrew Dennisin mukaan taloautomaatio on mekanismi, joka automatisoi niin suuren osan kotitalouden tekniikasta kuin teknologisesti on mahdollista siirtäen hallinnan ihmiseltä ohjelmoituihin elektroniisiin systeemeihin (Dennis 2013, 17). Ville Luotonen mainitsee diplomityössänsä taloau-

tomaation olevan ryhmä laitteita ja järjestelmiä, jotka lisäävät turvallisuutta ja mukavuutta, helpottavat päivittäisistä askareista suoriutumista, parantavat energiatehokkuutta ja luovat tiedonsiirtoyhteyksiä kodin sisä- ja ulkopuolella (Luotonen 2010, 3).

Taloautomaatio ei kuitenkaan ole uusi ilmiö, vaan määrittelyn hankaluus perustuu teknologian kehitykseen. Nykyteknologia mahdollistaa yhä kokonaisvaltaisempaa kotitalouden laitteiden hallintaa, mikä tekee taloautomaation roolin määrittelystä monimutkaisempaa. Vuosikymmeniä vanhan tekniikan pyrkimykset mukavuuden ja energiatehokkuuden lisäämiseksi ovat kuitenkin edelleen samat.

Ensimmäisen tietoteknisen taloautomaatiojärjestelmän ECHO IV:n kehitti George Westinghouse vuonna 1966 (Dennis 2013, 17). Myöhemmin 1970-luvun puolivälissä öljykriisiksi kutsutun ajanjakson aikana kehitettiin monia tekniikoita, jotka vaikuttivat taloautomaation kehitykseen. Esimerkiksi patteriverkoston lämmönsäädön toimintaa ei voitu hallita automaattisesti, jonka seurauksena kehitettiin kokonaan erillinen järjestelmä lämmityksen säädölle (Sähkötieto ry 2012, 24). Vuonna 1975 kehitettiin X10 -standardi, jolla kyettiin lähettämään signaaleja tavallisen sähköverkon välityksellä laitteelta laitteelle (Dennis 2013, 18). Standardisoituja laitteita tuli kuluttajan saataville kuitenkin vasta vuosikymmenen lopussa ja silloinkin suunnattuna lähinnä pienelle asiantuntijayhteisölle.

1980-luvulla digitaalinen tiedonsiirto mahdollisti digitaalisten säätöjen integroimisen järjestelmiin, joka vähensi vikatilanteita kaapeloinnin vähentyessä ja mahdollisti jopa kokonaisten kiinteistöjen liittämisen yhteen valvontajärjestelmään (Sähkötieto ry 2012, 25). Kuluttajalle taloautomaatio tuli kuitenkin houkuttelevammaksi vasta 1990-luvulla, kun järjestelmiä yhdistettiin kotitietokoneisiin. Tuki Windows ja Mac -tietokoneille antoi taloautomaatiosta kiinnostuneelle kuluttajalle mahdollisuuden hallita valojaan, termostaattejaan ja autotallinoviaan kotikoneella (Dennis 2013, 18). Myös Suomeen kuluttajille suunnattu taloautomaatio rantautui 1990-luvun aikana, mutta ongelmaksi muodostui ratkaisujen teknisyytys ja asiantuntijakeskeisyys (Anteroinen 2012a, 51).

2000-luvulle siirryttäessä internet on avannut uusia mahdollisuuksia taloautomaatiojärjestelmien kehitykselle. Internetin välityksellä pystytään selaimella käyttämään kaikkia

markkinoilla olevia järjestelmiä ja teknisesti monikäyttöisemmällä järjestelmillä voidaan tehokkaammin edesauttaa rakennuksen ylläpitoa ja energiatehokkuutta (Sähkötieto ry, 26). FTP, HTTP ja IP -protokollat mahdollistavat kaksisuuntaisen vikasietoisemman tiedon siirron ja niiden yleistyminen eri laitteissa mahdollistaa saumattomampaa yhteyttä eri valmistajien laitteiden välillä parantaen taloautomaation kehitysmahdollisuuksia entisestään (Dennis 2013, 19).

Samalla logiikalla viimevuosien suunta kohti avointa lähdekoodia ohjelmistokehityksessä on avannut mahdollisuuksia kehitykseen kohti riippumattomuutta laitteistosta ja valmistajasta. Hyvä esimerkki tästä on useissa eri laitteissa toimiva Android -käyttöjärjestelmä, joka on kyennyt kilpailemaan suurien kaupallisten valmistajien käyttöjärjestelmiä vastaan. Onkin siis mielekästä tutkia avoimen lähdekoodin mahdollisuuksia myös taloautomaatiojärjestelmän toteuttamisessa.

Toteutusta konseptoidessa on kuitenkin ymmärrettävä taloautomaatiojärjestelmän teoreettinen toiminta. Seuraavaksi esitellään järjestelmän fyysinen rakenne ja automaation logiikasta vastuussa oleva ohjelmisto.

2.1.1 Järjestelmän rakenne

Taloautomaation rakenne vaihtelee sen mukaan, minkä kokoisesta ja mihin käyttöön tarkoitettuun järjestelmästä on kyse. Tässä tarkastellaan rakennetta yleisellä tasolla laitoksiin tarkoitettujen järjestelmien, kaupallisten pientaloihin tarkoitettujen järjestelmien sekä harrastelijatason tee-se-itse -tyyppisten järjestelmien näkökulmasta. Tämä takaa riippumattoman näkökulman järjestelmän rakenteeseen konseptikuvausta muodostaessa.

Taloautomaatiojärjestelmän osat sijoitetaan hierarkkisesti kolmeen tasoon: hallintotaso, automaatiotaso ja kenttätaso (kuvio 3).

Automaatiojärjestelmän tasot



Kuvio 3. Automaatiojärjestelmän tasot (Sähkötieto ry 2012, 93-95).

Hallintotason laitteet voivat olla PC-valvomoita, jotka ovat internetiin tai lähiverkkoon kytkettynä saavat ja esittävät tietoa järjestelmästä sekä lähettävät säätösignaaleja laitteille. Laite voi olla sama, jossa hallintaohjelmisto sijaitsee tai se voi hallita keskusta etäyh-teydellä internetin ja selaimen välityksellä. Päätelaitte, esimerkiksi tablettitietokone voi olla käyttäjän rajapinta järjestelmään ja siten kuulua hallintotasolle.

Automaatiotasolla ovat keskuksat ja I/O- eli Input-Output -pisteet. Laajemmissa järjestelmissä keskuksat ovat itsenäisiä automaatio-ohjelmistolla varustettuja hallintalaitteita, jotka toimivat usein LAN-verkossa TCP-IP-protollaan perustuen (Sähkötieto ry 2012, 94). Pienemmissä järjestelmissä keskuksina toimivat palvelimet jotka ovat usein kytkettyjä releihin sähkökaapissa (Dennis 2013, 74).

Kenttätasolle kuuluvat säätimet, anturit, mittarit ja muut toimilaitteet. Anturit välittävät reaaliaikaista tietoa kentältä keskuksille ja säätimet säätävät toimilaitteita automaatio-ohjelmiston määrittelemällä tavalla. Yksinkertaisimmillaan säätimiä ja antureita voi tarkoittaa valonkatkaisija tai lampun kanta. Kasvavassa määrin kenttätasolla on myös pakettiratkaisuihin integroitua säätimiä, kuten ilmanvaihtokoneiden väyläportit (Sähkötieto ry 2012, 95).

Input-Output -pisteet ovat automaatiojärjestelmän rajapinta fyysisiin laitteisiin. I/O-pisteet voidaan jakaa DI-, DO-, AI-, IMP- ja AO-pisteisiin. DI-pisteet antavat digitaali-

sen viestin laitteen tilatiedosta. Laitteen tila on päällä tai poissa, jonka perusteella voidaan ohjelmallisesti laskea aikoja tai antaa hälytyksiä. DO-pisteissä toteutetaan päälle/pois toiminnot. Käytännössä nämä tarkoittavat releitä, jotka kytkevät laitteen päälle tai pois. AI-pisteillä mitataan analogisen jännitteen arvoja, jotka muutetaan mittaustiedoksi keskuksissa. Tällä tavalla voidaan mitata mm. paineita ja pitoisuuksia. IMP-pisteet eli pulssilaskentapisteen mittavat mm. veden-, energian- ja sähkönkulutusta. Mittari antaa pulssin joiden mukaan lasketaan kulutus, esim. 1 pulssi = 10 litraa jne. AO-pisteissä säädetään esimerkiksi peltien ja venttiilien kulmaa portaattomalla jänniteviestillä. Keskuksen ohjausarvot muunnetaan AO-pisteen tulkitsemaksi jänniteviestiksi. (Sähkötieto ry 2012, 107.)

Pienemmissä järjestelmissä I/O-pisteitä vastaavat usein releet, kauko-ohjattavat pistorasiat ja laitteisiin integroidut säätimet.

Mittarien ja anturien välittämä tieto ja sen tehokas käyttö on välttämätön osa energiatehokkuuteen tähtäävässä taloautomaatiojärjestelmässä. Lämpötilan mittaaminen on usein olennaisin tieto lämmitysjärjestelmien säädössä. Lämpömittarilla mittaus perustuu mittauselementin resistanssiin, eli sähkövastukseen. Mittareita valitessa on otettava huomioon mittausalue esim. 0...60°, jotta mittaustulokset ovat luotettavia. (Sähkötieto ry 2012, 117.)

Paine- ja paine-eromittareilla voidaan mitata LVI-laitteiden virtausmääriä ja erilaisilla pinnankorkeusmittareilla ja virtausantureilla voidaan mitata veden kulutusta ja -tasoa (Sähkötieto ry 2012, 117-119). Kosteusmittarit ja hiilidioksidimittarit puolestaan ovat tärkeä lisä rakennuksen ilmanvaihdon mittaamisessa. Mahdollinen liika ilmankosteus ja hiilidioksidi voivat ohjata ilmastointilaitetta voimakkaammalle, jotta sisäilma saadaan halutuksi uudelleen. Lämpimän veden kulutusta mittaamalla voidaan optimoida lämminvesivaraajan käyttöä.

Valoisuusantureita käytetään valaistuksen ohjaamiseen sisä- ja ulkotiloissa. Yksinkertaisin sovellus valoisuusanturista on laajalti käytössä olevat hämäräkytkimet. Läsnaolantureilla voidaan havaita liikettä ja läsnäoloa huoneissa tai ulkotiloissa. Näin voidaan ohjata esimerkiksi tilakohtaista ilmanvaihtoa, jäähdystystä ja valaistusta (Sähkötieto ry 2012,

119). Läsnaoloantureita voi käyttää myös turvallisuuteen tähtäävissä automaatiojärjestelmän sovelluksissa.

Sähkömittausta voidaan tehdä pulssimittarilla tai väylätietona. Kulutustiedon lisäksi sillä voidaan mitata muita verkon laatuun liittyviä tietoja (Sähkötieto ry 2012, 120).

Automaatiojärjestelmän eri tasoille on luotava myös yhteys, joka järjestelmän tyypistä riippuen toteutetaan erilaisilla kaapaleilla tai langattomasti. Taloautomaatioratkaisuihin on suunniteltu erikoiskaapeleita, joissa kulkee rinnan virtaa ja datasiignaali. Niitä käytetään usein väyläpohjaisten ratkaisujen tietoliikenteen toteuttamiseen sekä laajemmissa laitosten kenttälaitteiden kaapelointiin (Sähkötieto ry 2012, 134).

Pientalojen järjestelmissä käytetään väyläratkaisuja lukuunottamatta useimmiten CAT-sarjan tietoliikennekaapelia tavallisen verkkovirran ohella (Elsenpeter & Velte 2003, 23). Myös ääntä ja kuvaa siirretään kaapeloinneilla viihde-elektronikan ohjaukseen tarkotetuissa järjestelmissä.

Langaton tiedonsiirto yleistyy taloautomaatiojärjestelmissä langattomien komponenttien muuttuessa edullisemmiksi. Osasyynä on langattomuuden käyttömahdollisuudet saneerauskohteissa. (Tammilehto 2013, 8.)

Useimmin käytettyjä langattomia tiedonsiirtotapoja ovat WLAN, Bluetooth, Wibree, ZigBee ja EnOcean. Jälkimmäiset ovat Bluetoothin kaltaisia vähän virtaa kuluttavia langattomia yhteyksiä, joista EnOcean voi saada energiansa jopa valonkatkaisijan liike-energiasta. (Sähkötieto ry 2012, 122; Tammilehto 2013, 12)

Z-Wave on edellisten kaltainen langattoman tiedonsiirron protokolla, joka on käytössä monessa taloautomaatiojärjestelmässä. Se toimii kuten väyläteknikka mahdollistaen laitteiden lisäämisen järjestelmään helpommin. (Z-Wave Alliance, 2012.)

Myös NFC teknologiaa, jota löytyy nykypäivänä useasta mobiililaitteesta, voi käyttää automaatiojärjestelmän sovelluksissa. Asetustietojen ja salausavainten vaihto on mahdollista ja riittävän turvallista, jonka jälkeen voi esimerkiksi aloittaa automaattisen tie-

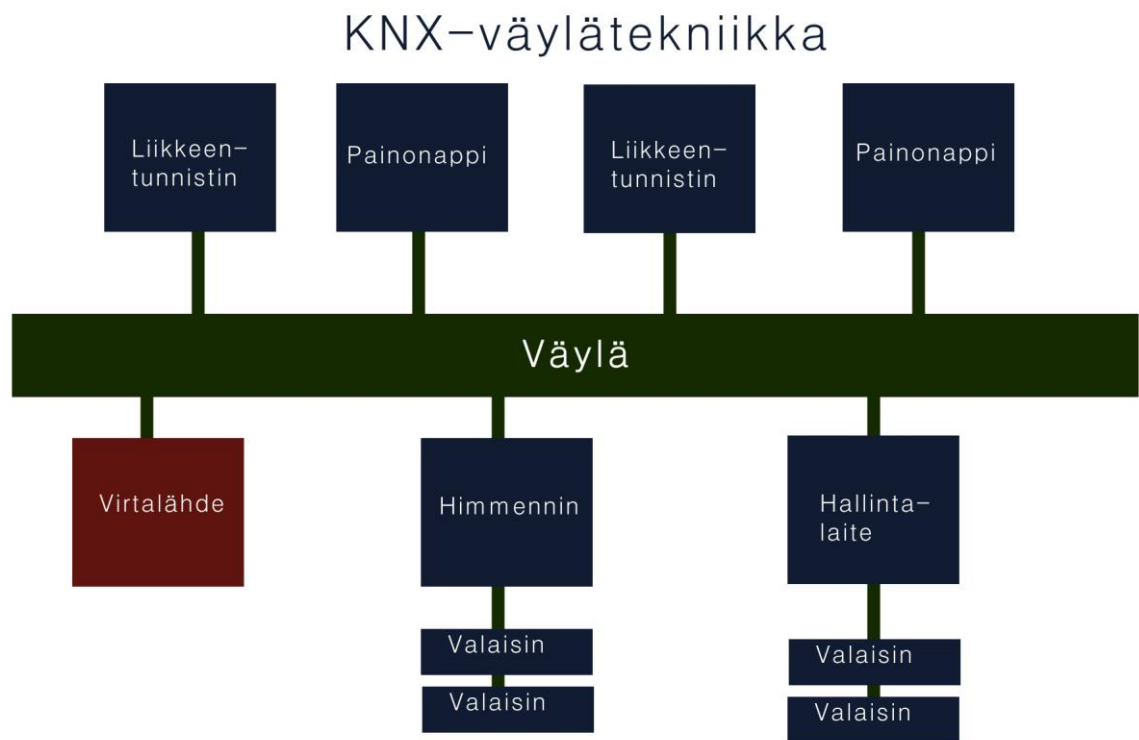
don siirron laitteiden välillä käyttäen pidemmän kantaman langatonta yhteyttä. (Sähkö-tieto ry 2012, 123.)

Tietoliikenneyhteyksistä puhuttasessa on väistämättä huomioitava tietoturva. Sen toteuttaminen käytännössä hankaloituu useiden tietoliikennetarkaisujen yhteiskäytön takia. Automaatiojärjestelmän, kuten tietoteknisen sovelluksenkin tietoturvalla on kolme tavoitetta: luottamuksellisuus, eheys ja saatavuus. (Sähkö-tieto Ry 2012, 145.)

Forbes lehden toimittaja Kashmir Hill kertoo artikkelissaan löytäneensä erään kotitalouden automaatiojärjestelmän hakukoneesta, ja täysin suojaamattoman yhteyden ansiosta kykeni hallitsemaan kyseisessä talossa asuvan perheen valaistusta (Hill 2013). Artikkelin mainitseman tapauksen olisi voinut estää yksinkertaisimmillakin palomureilla, joiden tarpeellisuutta internetiin kytketyissä keskuksissa ei voi aliarvioida.

Järjestelmän tietokantaan keräämä tieto saattaa liittyä luottamuksellisia laskutus- tai henkilötietoja, joiden joutuminen ulkopuolisten käsiin on estettävä (Sähkö-tieto ry 2012, 145). Hallintaohjelmistoihin on usein myös mielekästä ohjelmoida autentikointi mahdollisia väärinkäyttötapauksia vastaan. Jos automaatiojärjestelmään kuuluu etähallinnan mahdollistama web-palvelin, on huolehdittava asianmukaisesta palomuurikonfiguroinnista ja autorisoinnista.

Väylätekniikka on nimitys tiedonsiirroolle jossa ei välttämättä tarvita erillistä ohjauskeskusta vaan laitteet voivat kommunikoida itsenäisesti. Ne on kytketty toisiinsa parikaapelilla, joista toisessa kulkee virta ja toisessa signaali. Viestit lähetetään koko väylään ja jokaisella laitteella on oma osoitteensa, johon lähetettyyn signaaliin se reagoi halutulla tavalla säätäen niihin kytkettyjä laitteita. Anturit ja ilmaisimet lähettävät tietonsa suoraan toimilaitteille ja virtalähde antaa väylään ja siihen kytketyille laitteille virtaa. (ABB 2011b, s. 4,12-13; kuvio 4)



Kuvio 4. KNX-väläteknikka

Taloautomaatiossa käytettyjä väyläteknikan protokollia ovat mm. Lon, Modbus, KNX EIB ja Bacnet. Euroopassa on tehty standardointityötä, jotta avoimista väyläprotokollista voisi yhdistellä parhaimpia ja luoda yleisen suosituksen. (Sähkötieto ry 2012, 142)

Standardisoinnin etuna voi nähdä keskitetyn toimintatavan ja koulutuksen, sekä tekniikan skaalautuvuuden. Esimerkiksi Suomessa yleistynyt KNX-standardi mahdollistaa satojen toimittajien tuotteiden yhdistämisen samaan väylään, mikä tekee järjestelmästä mukautuvan ja joustavan. Tarpeiden muuttuessa järjestelmää voidaan laajentaa käytännössä rajoituksetta laitteiston koko käyttöiän ajan. (ABB 2011a, 9.) Jotkin sähköura-koitsijat arvelevat väyläteknikkastandardien yleistyessä asentamisen olevan halvempaa ja nopeampaa, kuin perinteisen sähkön (Arvinen 2011).

Harrastelijatason automaatiojärjestelmän fyysinen rakenne saattaa usein olla hyvin vaihteleva laitteiston nopean kehityksen ansiosta. Monet edellä kuvatut ratkaisut on toteutettu ohjelmallisesti laitteiston sijaan. Toisaalta suurissakin järjestelmissä ohjelmisto on yhä useammin vastuussa automaatiologiikasta prosessien ohjauksessa.

2.1.2 Ohjelmisto

Taloautomaation toteutus on viimevuosiin asti painottunut vahvasti elektroniikan ja talotekniikan puolelle. Nyt ohjelmistojen merkitys järjestelmien ytimessä on kasvanut parantuneiden tietoliikenneyhteyksien ja suoritustehon myötä. Dataa voidaan varastoida pienimuotoisestikin ennätysellinen määrä ja ennen kaikkea suoritustehoa riittää sen laajamittaiseen prosessoimiseen ja sen avulla mallintamiseen. Sen lisäksi dataa voi siirtää entistä suuremmilla nopeuksilla mobiilidataverkoissa ja järjestelmiä voidaan integroida toisiinsa internetin välityksellä.

Käyttöjärjestelminä automaatiojärjestelmissä on usein käytetty Windowsia tai Linuxia. Windows on nostanut käyttöastettaan tarjoamalla tuen avoimelle OPC -rajapinnalle, jolla eri valmistajien sovellusohjelmistoja voi integroida suuremmaksi kokonaisuvelukseksi (Sähkötieto ry 2012, 145). Linux on puolestaan kasvattanut suosiotaan avoimen laitteiston sovelluksissa sekä mobiililaitteilla ohjailtavissa järjestelmissä (Dennis 2013, 19).

Prosessinhallintaohjelmisto on taloautomaation sydän. Siihen on ohjelmoitu toiminnan logiikka eri tilanteissa. Laajemmissa järjestelmissä, joissa käytetään alakeskuksia, se sijaitsee jaoteltuna alakeskuksille (Sähkötieto ry 2012, 107). Tämä on tärkeää järjestelmän vikasietoisuuden kannalta. Yhteen keskuksen sijoitettuna on riski että järjestelmä lakkaa toimimasta keskuksen vikaantuessa. Pienemmissä järjestelmissä koko prosessinhallintaohjelmisto voi sen sijaan sijaita yhdessä pääkeskuksessa esimerkiksi Linux-palvelimessa, johon kenttälaitteet ovat yhteydessä (Goodwin 2010, 31).

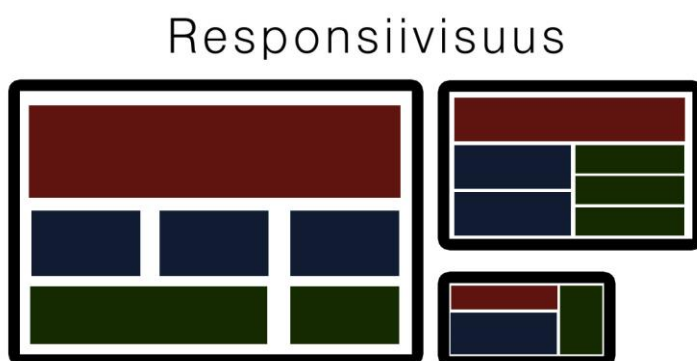
Taloautomaatiojärjestelmien ohjelmoinnissa voi teoriassa käyttää mitä tahansa ohjelmointikieltä. Osa vanhoista järjestelmistä hyödyntää standardeihin pohjautuvaa IEC sovellusohjelmointia (Sähkötieto ry 2012, 108). Usein ohjelmoinnissa on käytetty C-kieleen pohjautuvia ohjelmointikieliä, mutta graafisten käyttöliittymien ohjelmointiin käytössä on useimmin HTML, Java ja Javascript. Avoimen laitteiston mikrokontrolleri Arduinolla, jota voidaan käyttää myös taloautomaation rakentamisessa, on oma C++:aan pohjautuva ohjelmointikielensä. Tietokantojen käyttöön tiedon tallentamises-

sa on tunnettava SQL syntaksia ja myös Pythonilla on toteutettu kattavia tee-se-itse järjestelmiä (Dennis 2013, 16).

Hallintaohjelmistojen käyttöliittymät ovat teollisen tason järjestelmissä kehittyneet komentorivi -tyylisistä valikkopohjaisiin graafisiin, jopa selaimella käytettävissä oleviksi kehittyneiksi valvontaohjelmistoiksi (Sähkötieto ry 2012, 113). Etenkin pientaloihin suunnattujen automaatiojärjestelmien käyttöliittymät ovat kehittyneet räjähdysmäisesti mobiililaitteiden yleistyessä ja tulleet helpommin omaksuttavaksi jo mobiiliteknologiaan tottuneelle käyttäjälle (Dennis 2013, 19).

Tutkimusten mukaan automaatiojärjestelmän tehokkuus on yhä enemmän kiinni käyttäjän osaamisesta. Tämä korostaa käyttöliittymäsuunnittelun merkitystä. Helpokäyttöinen ohjelmisto on intuitiivinen ja nopea käyttää, mutta huonosti suunniteltu voi karakoittaa käyttäjän ja muuttua ennemmin rasitteeksi kuin hyödylliseksi työkaluksi. (Sähkötieto ry 2012, 157, 26)

Käytettävyyden optimoiminen ja mobiililaitteiden kasvava käyttö korostavat responsiivisen käyttöliittymän suunnittelua. Uusien web-sovelluslustojen ja -rajapintojen käyttö, kuten Twitter Bootstrap tai Zurb Foundation, mahdollistaa saumattoman yhteensopiisuuden eri taloautomaatiojärjestelmän hallinta- tai päätelaitteiden välillä. Kuten em. rajapinnoissa, responsiivisuus toteutetaan usein ruunukkomaisella rakenteella, jossa ruudut järjestyvät näytön koon mukaan. (Marcotte 2010; kuvio 5.)



Kuvio 5. Responsiivisuus.

Ohjelmistokehityksen mahdollistama energiansäästöpotentiaali on käyttöliittymäsuunnittelun lisäksi ennen kaikkea taloautomaatiojärjestelmän prosessinohjaussovelluksissa. Kattava tietokanta ja prosessointitehon mahdollistama mallinnus ja simulaatio yhdistettynä automatisoituun säätöön mahdollistavat taloautomaation käytön ekologisempaan asumiseen, jota käsitellään seuraavassa kappaleessa.

2.2 Ekologinen asuminen

Jotta taloautomaatiota voisi tehokkaasti käyttää asumisen ekologisuutta parantaessa on ymmärrettävä mitkä tekijät siihen vaikuttavat. Aluksi selvitetään energian kulutukseen liittyviä prosesseja, jonka jälkeen tutkitaan niihin vaikuttavia tekniikan sovelluksia. Lopuksi analysoidaan taloautomaation mahdollisuuksia edellä mainittujen prosessien säädössä.

Asumisen ekologisuuteen liittyy monet ympäristötekijät. Eläminen ja rakentaminen saattavat vaikuttaa paikalliseen ekosysteemiin esimerkiksi saasteilla, melu- tai äänihaitoilla. Elintarvikkeiden kulutuksella ja tuotannolla voi olla kauaskantoiset vaikutukset luonnonvaroihin ja päästöihin. Tässä työssä ekologisuuden tarkkailu rajataan teknologisesti määriteltävään energian kulutukseen ja tuotantoon.

Energiaa kuluu kotitalouksissa lämmitykseen ja kotitalouslaitteisiin. Myös kotitalouden tuottamien jätteiden käsittely kuluttaa energiaa. Kyseinen energia saadaan usein energiantuotantolaitoksilta, joiden ympäristövaikutukset puolestaan ovat merkittäviä.

Fossiilisten polttoaineiden käyttö tuotantolaitoksissa aiheuttaa ympäristön happamoitumista ja ilman hiilidioksidipitoisuuden kasvua. Uusiutuvien luonnonvarojen liiallisella käytöllä voi yhtäläillä olla negatiivisia ympäristövaikutuksia. Tuulivoiman ympäristövaikutukset ovat lähinnä maisemallisia, mutta esimerkiksi vesivoiman käyttö voi tuottaa metaanipäästöjä ja heikentää kalakantoja. Ydinvoima hiilidioksidipäästöjen kannalta tehokkaimpana ratkaisuna ei ole saavuttanut vielä riittävää yleistä hyväksyntää. (VTT Prosessit 2004, 91, 131.)

Tuotannon ympäristövaikutuksia voidaan vähentää kehittämällä teknologiaa ja tehostamalla energian käyttöä (VTT Prosessit 2004, 131). Siispä onkin perusteltua selvittää asumisen energian kulutukseen vaikuttavat prosessit, joiden tehostamista voidaan analysoida taloautomaation näkökulmasta.

2.2.1 Energian kulutus

Rakennusten kokonaisenergiakulutus on Suomessa 40 prosenttia koko kulutuksesta ja vastaa 30 prosentista maan kasvihuonepäästöistä (ABB 2011b, 6; Ympäristöministeriö 2013a). Asumisen kulutuksesta 84 prosenttia kohdistuu asunnon lämmitykseen ja loput 16 prosenttia kotitalouslaitteisiin (Tilastokeskus 2012).

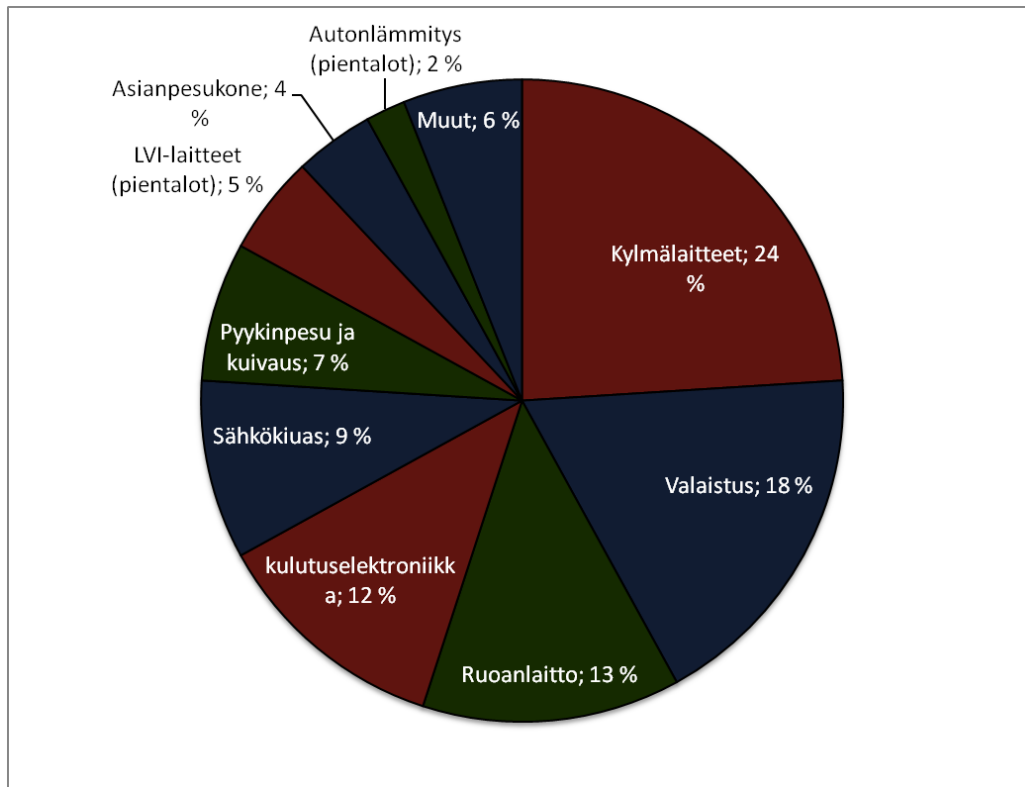
Lämmityksen ympäristövaikutuksiin vaikuttaa merkittävästi käytetty lämmitysmuoto. Öljy on pitkään ollut rakennusten päälämmitysmuoto, mutta lähivuosina kaukolämpö on syrjäyttänyt sen etenkin asuinrakennuksissa ja palvelurakennuksissa (VTT Prosessit 2004, 223). Usein erilliset pientalot eivät sijaitse kaukolämmön alueella, joten suosituimmat vaihtoehdot öljylle ovat maalämpö ja puulämmitys (Laitinen 2010, 68).

Puulämmitys on usein ns. toissijainen lämmitysmuoto ja tyypillisesti se täydentää sähkölämmitystä. Usein sen osuus lämmitysenergiasta voi kuitenkin olla jopa 40% ja sen ympäristövaikutukset voivat oikein poltettuna olla minimaaliset. (Laitinen 2010, 105.) VTT prosessit arvioi varaavien tulisijojen käytön lisääntyvän ja polttotekniikan kehittyvän ympäristöystävällisemmäksi. Tulevaisuuden tulisijoissa hyödynnetään kehittyntä teknologiaa palamisprosessin optimoinnissa ja lämmön jaossa. Pelletin käyttö puukla-pin sijaan mahdollistaa myös automaation puulämmitysratkaisuissa. (VTT Prosessit 2004, 222.)

Sähkölämmityksen suosio on laskenut viime vuosina pääasiassa kohonneiden sähkön hintojen ansiosta (VTT Prosessit 2004, 222). Toisaalta sähkölämmitys uusissa pientaloissa on edelleen suosituin lämmitysmuoto (Energieollisuus). Sähkölämmitys on edullinen asentaa, mutta energia on kallista ja sillä on suurin ilmastokuormitus em. lämmitysmuodoista. Sen päästökerroin 280g CO₂/kWh on jopa suurempi kuin öljylämmityksen 267g CO₂/kWh. (Laitinen 2010, 69, 84.)

Sähköllä lämmittämisen tehokkuutta voi kuitenkin parantaa siirtymällä erilaisilla lämpöpumpuilla varustettuihin sähkölämmitystapoihin (Energiateollisuus). Ilma-, maa- ja poistoilmalämpöpumput voivat nostaa sähkölämmityksen hyötysuhdetta moninkertaisesti. Ilma- ja maalämpöpumpun kuluttama kilowatti sähköä voi muuttua kolmeksi kilowatiksi lämpöä. (Isosaari 2012, 85, 103.) Poistoilmalämpöpumppu ottaa talteen ilmanvaihdon mukana poistuvasta lämmöstä jopa 80 prosenttia, mitä voidaan käyttää uudelleen tuloilman tai veden lämmitykseen (Laitinen 2010, 49). Lämpöpumppujen lämmittämää vettä voidaan erinomaisesti käyttää lattialämmityksessä, joka toimii matalammalla 20° lämpötilalla verrattuna lämpöpattereihin (Guerra 2013, 90).

Vaikka kotitalouslaitteiden energiankulutus onkin vain pieni osa kokonaisenergiakulutuksesta ei sitä tule aliarvioida tähdätessä kohti ekologisempaa asumista. Tilastokeskuksen mukaan kotitalouslaitteet kattavat 16 prosenttia kokonaiskuluksesta (Tilastokeskus 2012), kun taas VTT Prosessit arvoi kulutuksen yltyvän 30 prosenttiin (VTT Prosessit 2004, 62).



Kuvio 6. Kotitaloussähkön käytön jakautuminen (VTT Prosessit 2004, 62).

Kylmälaitteet, valaistus ja ruoanlaitto ovat kotitalouden suurimmat tekijät kotitalouslaitteiden energiankulutuksessa (kuvio 6). Valaistus on 2000-luvun lopulla syrjäyttänyt kylmälaitteet kotitalouslaitteiden kulutuksessa vaikka energiansäästölamput ja ledit ovatkin pääosin korvanneet hehkulamput (Laitinen 2010, 127).

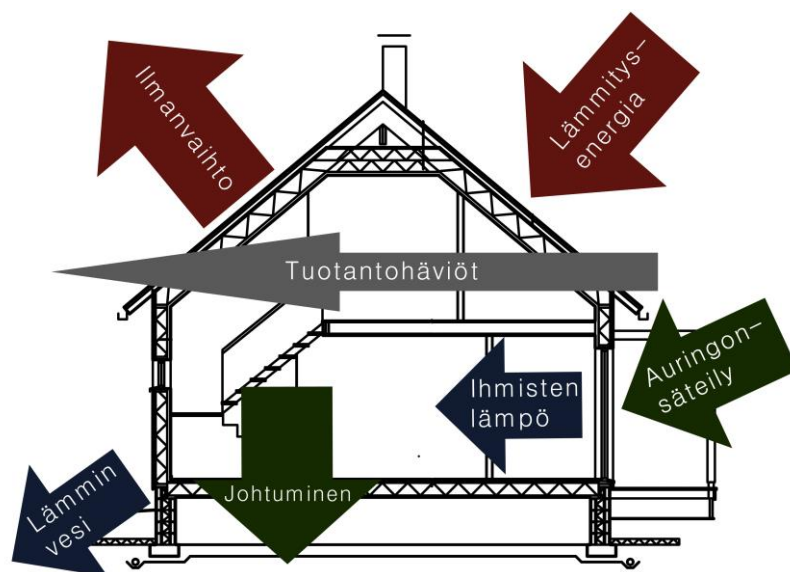
Energiankulutustottumuksia muuttamalla voidaan päästä kolmanneksen säästöihin (Suomen arkkitehtiliitto 1983, 132) ja laitteita vähentämättäkin sähkölaskua voi kaventaa jopa 40 prosenttia (Laitinen 2010, 127). Automatisoimalla energiankulutusta ja ohjaamalla älykkäästi energian käyttöä kotitaloudessa, voidaan siis päästä tuntuviin säästöihin. Jo valojen ohjaaminen ajastimella, hämäräkytkimellä, läsnäolo- tai liiketunnistimella voi energiansäästön lisäksi parantaa huomattavasti myös asumisen mukavuutta (Laitinen 2010, 131).

Rakennuksen jatkuvan kulutuksen lisäksi rakentaminen kuluttaa suuren määrän energiaa ja rakennusmateriaaleihin on sitoutunut energiaa valmistuksessa. Enemmän kuin puolet kaikista maapallon materiaaliressursseista kuluu rakennusmateriaaleihin ja EU-maiden tuottamista jätteistä 30 prosenttia on rakennusjätettä. Luonnollisempien rakennusmateriaalien valmistus kuluttaa vähemmän energiaa ja helpottaa materiaalien kierrätystä rakennuksen elinkaaren loppupäässä. Esimerkiksi olkipaalit ovat lämmöneristävyydeltään erinomaisia ja yleistyvät rakennusmateriaaleina kierrätetyn muovin ohella. (EACI 2013, 13,15-16.)

Ekotalo -termillä tarkoitetaan taloa, jonka suunnittelussa ja rakentamisessa on pyritty korkeaan energiatehokkuuteen. Rakennuksesta poistuvan energian määrä pyritään minimoimaan ja samalla esimerkiksi auringosta saatavaa lämpöenergiaa pyritään käyttämään tehokkaasti hyödyksi. Myös rakennusmateriaalien kestävyys ja luonnonmukaisuus ovat tärkeässä roolissa.

Kiinnittämällä huomiota materiaaleihin rakentaessa, voidaan huomattavasti vaikuttaa myös lämmityksen energiankulutukseen. Lämmöneristeellä voidaan ehkäistä lämpöenergian johtumista, konvektiota ja säteilyä rakenteiden läpi. Sen lämmönvastus voidaan mitata lämmönjohtavuuden ja paksuuden avulla. Muita energian poistumisteitä

ovat talosta poistuva lämmin vesi ja ilmanvaihdon lämpöhukka. (Suomen Arkkitehtiilito 1983. 50, 70; kuvio 7)



Kuvio 7. Rakennuksen energiatase (Suomen arkkitehtiilito 1983, 49).

Rakennustekniikassa puhutaan matala-, passiivi-, nollaenergia-, energianeutraali- ja plusenergiataloista (Ympäristöministeriö 2013a). Termit kuvaavat talon energiankulutusta, joista esimerkiksi passiivitalon lämmöneristävyys on paras mahdollinen ja pysyy lämpimänä 8-9kk vuodesta ilmaisenergioilla. Nollaenergiatalo puolestaan tarkoittaa, että talo tuottaa energiaa yhtä paljon kuin kuluttaa, mutta on kytketty paikalliseen sähköjakaeluverkkoon siltä varalta, että hetkellinen kulutus ylittää paikallisen tuotannon (Seppänen 2013, 1).

Ekologisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteina tulisi olla mukavuus, terveys, kestävyys, vähäinen ympäristövaikutus ja elinkaarikustannus sekä helppo kierrätettävyys. Lämmöneristys on oltava irrotettavissa ja kierrätettävissä. Luonnollisten materiaalien, kuten oljen ja saven käyttö on kestävä lisäksi myös taloudellista. (Bainbridge & Haggard 2011, 208).

Permakulttuurisuunnittelussa puhutaan low-tech ja high-tech -teknologioista. Low-tech -ratkaisuihin rakennusmateriaaleilla on pieni energiakustannus alussa, elinkaari voi olla lyhyempi ja ylläpitoon kuluu usein enemmän energiaa. High-tech -ratkaisu sitoo enemmän energiaa materiaaleihin, mutta pidentää elinkaarta ja vähentää ylläpitoon ku-

luvaa energiaa. Taloautomaatiojärjestelmän voi tulkita high-tech -ratkaisuksi, joka sitoo energiaa laitteistoon alussa, mutta säästää energiaa rakennuksen elinkaaren aikana huomattavia määriä.

2.2.2 Energian tuottaminen

Kotitalous ei vain kuluta vaan usein myös tuottaa energiaa. Monet kotitalouslaitteet tuottavat lämpöä tarkoituksenmukaisen toiminnan lisäksi. Esimerkiksi tietokoneen kuluttamasta 100 wattitunnin kulutuksesta osa muuttuu lämmöksi. Ihminenkin tuottaa lämpöä ympäristöönsä noin 100 watin teholla. Näitä lämmöntuottoja voidaan automaatiojärjestelmässä ottaa myös huomioon, mutta todelliset säästömahdollisuudet ovat ilmaisenergioiden keräämisen, käyttämisen ja varastoimisen optimoinnissa. Ilmaisenergioita ovat asuinpaikalta saatavat uusiutuvat energiamuodot, kuten aurinko-, tuuli- ja vesivoima.

Auringosta voi rakennukseen saada lämpöä, valoa ja sähköä. Lämpöä rakennus kerää luonnollisesti auringosta, mutta tätä voidaan tehostaa sijoittamalla rakennus päiväntasaajan suuntaisesti ja päästämällä lämpösäteily sisätiloihin lasituksen läpi (Bainbridge & Haggard 2011, 52). Lämpöä voidaan hyödyntää em. tavalla passiivisesti sekä aktiivisesti keräämällä ja varastoimalla lämpöä vuorokausi- ja kausivarastoihin (VTT Prosessit 2004, 268).

Laitteita, jotka keräävät lämpöä auringosta usein ilmaan tai veteen johdettuna, kutsutaan aurinkokeräimiksi. Tyhjiöputkikeräin on tavanomaista tasokeräintä tehokkaampi ja on kasvattanut siksi suosiotansa. Keräimistä lämmön voi siirtää lämminvesivaraajaan, lattialämmitykseen tai vaikka suoraan huoneilmaan. (Isosaari 2012, 109; Laitinen 2011, 94.)

Sähköä voi tuottaa aurinkopaneeleilla valosähköisen ilmiön perusteella toimivissa aurinkokennoissa (VTT Prosessit 2004, 268). Paneelien tehokkuus määriytyy tulevan valon kulmasta, mahdollisista varjoista ja vuodenajasta. Sähköntuotanto on talvikaudella Suomessa huomattavasti pienempää kuin kesäkaudella, jolloin valonmäärä on, toisin kuin usein luullaan, vähintäänkin riittävä. Aurinkosähköä käytetään pääasiassa siellä,

missä verkkosähköä ei ole saatavilla, mutta tekniikan kehittyessä siitä voi tulla energiainvestointina kannattavampaa. (Isosaari 2012, 104-105; Laitinen 2010, 88-93)

Ilmaisenergioita kerätessä aktiivisesti tai passiivisesti, tärkeäksi muodostuu energian varastointi. Lämpöä varastoituu luonnollisesti rakennuksen rakenteisiin, mutta sitä voidaan kerätä tarkoituksella energiaa sitoviin seiniin, kattoihin tai lattiaan. Useissa passiivisissa aurinkolämpöratkaisuissa lasien läpi varastoidaan auringon lämpöä veteen, joka yöksi eristetään uudelleen rakennuksen vaipan sisälle lämpövarastoksi. Vesi on lämmön johtavuudeltaan ja varastointikapasiteetiltaan parhaimpia lämpöakkuja. (Bainbridge & Haggard 2011, 64)

Uutta lämpöenergian varastoimisessa on faasimuutokseen perustuva tekniikka, jossa energia varastoituu aineen olomuodon muutokseen (VTT Prosessit 2004, 301). Faasimuutokseen perustuvaa lämpömassaa voidaan tulevaisuudessa lisätä rakennuksen rakenteisiin parantaen siten ns. jaettuun massaan sitoutunutta lämpöenergiaa (Bainbridge & Haggard 2011, 59, 62).

Ilmaisenergioilla tuotettua sähköäkin voi varastoida esimerkiksi akkuihin (Laitinen 2011, 92). 12 voltin kylmäkatodilamput tai ledit voidaan yhdistää suoraan akkuihin, jolloin valaistukseen kuluva energia voidaan kaventaa entisestään (Isosaari 2012, 132-133). Myös taloautomaatiojärjestelmän hallintalaitteet voivat toimia matalaenergialla, jolloin sähkön varastoiminen voi olla perusteltua ilmaisenergioiden käyttöä automatisoidessa.

2.2.3 Energian säästäminen taloautomaatiolla

Taloautomaatiojärjestelmän energiategokkuuteen vaikuttavat keinot voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: optimointi, valvonta ja informaation tuotto. Rakennuksen prosesseja, joissa kuluu energiaa, voidaan optimoida ja automatisoida. Energiankulutusta voidaan valvoa ja vikatilanteissa tehdä hälytys, jotta virhe voidaan korjata nopeammin minimoiden energiahukka. Energiankulutuksesta voidaan kerätä informaatiota, jonka avulla energiategokkuutta voidaan paremmin ymmärtää ja kehittää. (Sähkötieto ry 2012, 51.)

Prosesseja optimoidessa käytetään systeemiajattelun mukaista säätötekniikkaa. Taloautomaation osalta systeemi voi olla pientalo jonka säätö on sopivuuden ja mukavuuden ylläpitämistä. Pientalon säätötekniikoissa voidaan soveltaa takaisinkytkettyä ja myötäkkytkettyä säätöä. (Heinokoski, Asp & Hyppönen. 2008, 70.)

Takaisinkytketyssä säädössä säätömuuttujaa mitataan ja mittauservoa verrataan asetusarvoon. Laskettua erotusta käytetään sopivan ohjaussignaalin lähettämiseksi toimilaitteelle, jolla on vaikutus säätömuuttujaan. Takaisinkytketyn säädön ongelma on säädön tapahtuminen vasta poikkeaman sattuessa. Ennakointi ei siis ole mahdollista. (Aittomäki ym. 2002, 306.)

Myötäkkytketyssä säädössä ei odoteta häiriöiden vaikutusta prosessiin. Aluksi systeemiin kohdistuvien häiriöiden vaikutukset mitataan, joiden mukaan tehdään matemaattinen malli, jolla hallitaan säädintä. Takaisinkytkettyä säätöä käytetään usein myötäkkytketyn säädön ohessa korjaamaan ne virheet, joita mallissa ei ole kyetty huomioimaan. (Aittomäki ym. 2002, 310.)

Pientaloasujan säätömuuttuja voi esimerkiksi olla sisäilman lämpötila. Asetusarvo, eli haluttu lämpötila on säädetty 22 asteeseen. Kun lämpötila putoaa 21 asteeseen, lämmitin kytkeytyvät päälle. Näin toimivat lämpötermostaatit, jotka ovatkin yksinkertaisimpia taloautomaatiikan sovelluksia. Myötäkkytkentä kyseisen systeemin säätöön olisi ulkolämpötilan huomioiminen ja tuulisuuden vaikutus talon lämpöhukkaan.

Energiätehokkuudeltaan optimoidun talon kulutus saattaa kuitenkin kasvaa huomattavasti, jos prosessit eivät toimi odotetusti. Siksi järjestelmään on lisättävä valvontaa ja hälytyksiä, jotka ilmoittavat poikkeustapauksen sattuessa. Esimerkiksi pakkaskaudella tuulikaapin lämpötilamittaus voi lämpötilan pitkäaikaisesta alenemisestä todeta oven olevan auki ja ilmoittaa siitä järjestelmän käyttäjälle. Näin vikatilasta palaudutaan nopeammin säästäen energiaa. (Sähkötieto ry 2012, 52.)

Taloautomaatiojärjestelmän yksi käyttökelpoisimmista ominaisuuksista on informaation tuottaminen ja varastoiminen. Sen perusteella voidaan optimoida prosesseja entises-

tään, arvioida rakennuksen toimivuutta ja käyttöastetta sekä mitata rakennuksen absoluuttinen vuosikulutus. (Sähkötieto ry 2012, 52.)

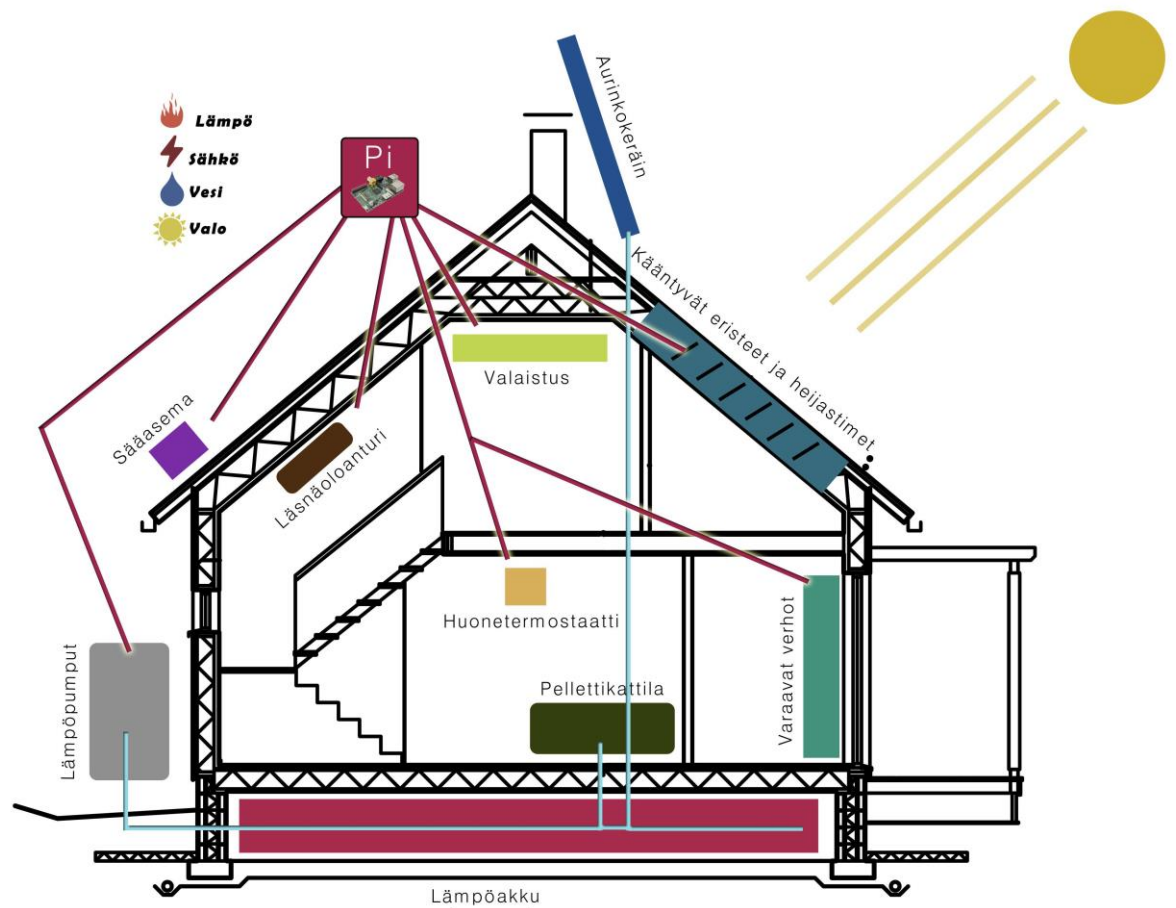
Energiatehokkuusvaatimusten kiristyessä kulutustietojen ja tehokkuuslukemien esittäminen viranomaisille on usein jopa välttämätöntä. Esimerkiksi energiatodistuksen automaattinen luominen voisi onnistua järjestelmän keräämän kulutustiedon perusteella.

Avoimen ajattelun soveltaminen tiedon keräämiseen ja käyttämiseen avaisi mahdollisuuksia käyttää kulutustietoja laajemmassa ympäristövaikutuksien mallintamisessa. Energiamuotojen käyttöasteesta tai vaikkapa älykkään jääkaapin sisällöstä voisi yksityisyyden rajoissa tuottaa kuluttajalle tietoa henkilökohtaisesta ympäristövaikutuksista reaaliajassa. Mallintamiseen voisi käyttää panos-tuotos analyysiä ja elinkaariarvointia. Kuluttajalle ympäristövaikutusten esittäminen olisi tehokkainta tehdä positiivisin mittarein, kuten "ekologinen kädenjälki". (Mattila 2013, 47.)

Energiansäästöpotentiaali ja sopiva automaation sovellus ovat pitkälti tapauskohtaisia ja järjestelmien kehitysmahdollisuudet ovat teknologian kehityksen ja innovaatioiden puitteissa rajattomat. Tässä esitellään kuitenkin muutama teorettinen malli taloautomaatio-sovelluksesta pientalon energiataseen optimoinnissa, jotta käytännön sovelluksista saadaan selkeämpi kuva. Malleja voidaan käyttää myös taloautomaatiotuotteen konseptoinnissa toimintamalleja selvittäessä.

Otetaan esimerkiksi kaksikerroksinen omakotitalo. Päälämmitysmuoto on pellettikattila, mutta lämpöä saadaan myös ilmalämpöpumpusta ja aurinkokeräimistä. Lämmönsiirrin on vesikiertoinen järjestelmä, joka varaa lämpöä talon alla sijaitsevaan lämpöakkuun sekä lämminvesivaraajaan. Lisäksi etelänpuoleisissa ikkunoissa on aurinkoenergiaa varavat verhot ja mekaaniset heijastimet ja eristeet. (Kuvio 8.)

Automaatiojärjestelmä on kytketty edellä mainittujen lämmityslaitteiden lisäksi kytkimiin, termostaatteihin, valaistukseen ja erilaisiin mittareihin ja antureihin. Sääsema kerää vallitsevasta säätilasta tietoa ohjelmiston internetistä lataaman ennustetiedon lisäksi ja läsnäoloanturi kertoo liikkeistä portaikossa. (Kuvio 8.)



Kuvio 8. Taloautomaation esimerkkiratkaisu.

Kyseisessä järjestelmässä voidaan säästää energiaa jo yksinkertaisin tilanneohjauksin. Kun talossa ei olla, sulkeutuu automatisoidut verhot lisäeristeiksi keräten niihin ulkopuolelta osuvan lämpöenergian sisäilmaan. Huoneiden lämpötila putoaa muutamalla asteella ja koneellinen ilmanvaihto on pienimmällä asetuksella. Sen mukaan, mikä on lämpötilaero aurinkokeräimen ja lämmönvesivaraajan välillä, säädellään veden virtausta.

Kotiin tullessa talon lämmitys voidaan käynnistää ajastimella tai mobiililaitteella tehtävällä komennolla. Huoneet palautuvat valmiiksi säädettyyn lämpötilaan ja ilmanvaihdon automatiikka on kotona-asennossa. Ilmanvaihto säätelee ilmavirtaa sen mukaan, mikä on vallitseva ilmankosteus ja hiilidioksiditaso. Näin minimoidaan ilmanvaihdon mukana poistuva energia.

Käytössä on myös ilmalämpöpumppu, joka aktivoituu ensisijaiseksi lämmityslaitteeksi, kun automaatio-ohjelmiston algoritmeilla on laskettu sen olevan sen hetken energiatehokkain lämmitysmuoto. Kyseinen automaatiojärjestelmän kyky ottaa energia auto-

maattisesti sieltä, mistä sitä on saatavilla tehokkaimmin ja vain silloin kun sitä todella tarvitaan, on järjestelmän pääasiallinen energiansäästötekniikka.

Kotitalouslaitteiden kulutusta ohjailaan myös automaatiojärjestelmällä. Portaikkoon syttyy valo itsestään kun läsnäolotunnistin havaitsee liikettä ja ilmanvaihto tehostuu yläkerran läsnäolotunnistimien mukaan. Jos huoneessa ei havaita ihmistä tietyn ajan sisällä, eikä valoja ole sammutettu katkaisijasta, sammutetaan valot ja pienennetään ilmanvaihto minimiin.

Automaattisen toiminnan lisäksi järjestelmä tuottaa kattavan määrän informaatiota talon energiataseesta, jota ihminen voi käyttää elintapojensa ekologisuuden arvioimiseen. Näin automaatiojärjestelmä muuttuu asiantuntijajärjestelmäksi, joka voi kuvailla energiankulutusta kattavina diagrammeina verraten tulosta edelliseen mittauskauteen tai jopa muiden pientalojen kulutuksen keskiarvoon. Automaatiojärjestelmän käyttäjä saa välitöntä tietoa energiataseestaan ja voi siten optimoida prosesseja entisestään myös omalla toiminnallaan.

Kuten sanottu, edellä kuvatut menetelmät olivat vain kuvitteellisia. Todelliset automaatioteknologian sovellukset ovat tapauskohtaisia ja mielikuvituksen rajoissa mahdollisuudet ovat lähes rajattomat. Seuraavassa kappaleessa siirrytään teoreettisesta katselmoinnista markkinoiden tarkasteluun.

3 Markkinakatsaus

Edellisessä kappaleessa selvitettiin taloautomaation teorettinen soveltuvuus energian säästön työkaluksi ja todettiin avoimuuden tarjoavan siihen lisää mahdollisuuksia. Opinnäytetyön tuloksena muodostuvan konseptikuvauksen kannalta teoreettisen tekniikan analysoimisen lisäksi on oleellista tutkia myös tuotteen liiketaloudelliset mahdollisuudet (Sipilä 1996, 51). Taloautomaatiotarjontaa selvitetään markkinakatsauksella, jonka perusteella analysoidaan tuotteen sopivuutta markkinoille ja potentiaalisia kilpailijoita tai yhteistyökumppaneita. Samalla selvitetään avoimien ohjelmistojen ja -laitteistojen soveltuvuutta taloautomaatiojärjestelmän toteutuksessa ja saatavuutta markkinoilla.

Taloautomaatiotarkaisujen tarjontaa tutkiessa käytetään samoja kanavia, joita pientalorakentaja voisi palvelua etsiessään käyttää. Hakukoneen lisäksi etsitään palveluratkaisuja myös rakentajille suunnatuista lehdistä ja kirjoista. Palveluratkaisujen löytyessä otetaan huomioon, onko kyseessä juuri pientaloihin suunnattu järjestelmä vai suurempien laitteiden järjestelmä, joka skaalautuu pientalorakentajan tarpeisiin tarvittaessa. Markkinaselvitys tehdään Suomen taloautomaatiomarkkinoista, mutta myös kansainvälisiä markkinoita tutkitaam mahdollisten erojen ja trendien löytämiseksi.

Avoimella lähdekoodilla ja -laitteistolla toteutettuja järjestelmiä etsitään kansainvälisiltä ja Suomen markkinoilta sekä harrastajayhteisöistä ja -julkaisuista. Tämä tehdään mahdollisten kilpailijoiden tai yhteistyökumppaneiden kartoittamiseksi ja soveltuvan teknologian löytämiseksi konseptointia varten. Liiketoiminnallisista syistä myös laitteiston saatavuutta analysoidaan.

Lopuksi teorian ja markkinakatsauksen pohjalta analysoidaan mahdollisuuksia Suomen taloautomaatiomarkkinoilla sekä pohditaan avoimien ratkaisujen etuja järjestelmää konseptoidessa.

3.1 Taloautomaatiotarjonta

Pientalorakentajalle Suomen markkinoilta löytyvät toimijat voi jakaa karkeasti vastavasti: suuret laitevalmistajat jotka tarjoavat palvelua, suuret palvelupaketteja myyvät yritykset, pienet design -tuotteisiin painottuvat laitevalmistajat, pienet pakettiratkaisuja tarjoavat yritykset sekä sähköurakoitsijat. (Liite 1.)

Suuret laitevalmistajat, jotka tarjoavat palveluita, eivät usein ilmoita palveluidensa hintaa ja asiakassegmentointi on näkyvästi tehty B2B-kauppaan. Useimmiten rakennusautomaatio tai kiinteistöautomaatio-nimellä kulkeva tuote on suunnattu juuri laitoksille, toimistotiloihin ja teollisuushalleihin. Tuotekatalogit ovat yleensä saatavissa ja ovat huomattavan kattavia sekä ammattiasentajille suunnattuja kieliasultaan. Todennäköistä on, että pienemmät palveluita tarjoavat toimijat tilaavat järjestelmän laitteet kyseisiltä valmistajilta. Suuria palveluita tarjoavia laitevalmistajia ovat muunmuassa: ABB, Siemens, Lonix, Fidelix, Carlo Gavazzi ja Shneider Electric. (Liite 1.)

Suuret palvelupaketteja tarjoavat yritykset käyttävät usein suurten laitevalmistajien komponentteja ja myyvät vain asennus- ja suunnittelupalveluita. Joskus yritykset myyvät omia käyttöliittymiään tai valvomopalveluita asennuksen ja suunnittelun lisäksi. Asiakassegmentti on selkeästi yritykset ja laitokset, mutta myös kuluttajalle tarjotaan joitain tuotteita ja palveluita. Suuria palvelupaketteja myyviä yrityksiä ovat muunmuassa: ISS, Caverion, Ouman, Djs Automation, EKE, Elko ja Merilux. (Liite 1.)

Pienemmät taloautomaatiotekniikan valmistajat suuntautuvat yleensä kytkimiin, hallintapaneeleihin ja muuhun automatiikan näkyviin osiin. Tuotekatalogi on vaihteleva ja usein laitteita käytetään jollain väylätekniikalla, jotta ne on liitettävissä muihin järjestelmiin ja laajempiin kokonaisuuksiin. Tuotteet vaikuttavat usein olevan suunnattu sähköurakoitsijoille tai isommille palvelupaketteja myyville yrityksille. Pieniä desing -tyyppisiä laitteita valmistavia Suomen markkinoilta löytyviä yrityksiä ovat muunmuassa: Zennio, Berker, Gira ja Basalte. (Liite 1.)

Pienet pakettiratkaisujen myyjät suuntaavat tuotteensa ja palvelunsa suoraan kuluttajalle. Näitä löytyy Suomen markkinoilta huomattavan vähän. Talomat myy eri kokoisia

tuotepaketteja asennettuna verrattaen edullisesti. Sen erikoisuus on 12V ja 24V käyttöjännitteillä voimivat laitteet. Enermixin Talotohtori -tuote on erittäin uusi lisä markkinoilla, eikä siitä saa kattavaa tuotetietoa. Gardin on eräänlainen automaatiojärjestelmä, mutta erikoistuu verhotekniikkaan. Control4 on itse asiassa melko suuri yhdysvaltalainen kotiautomaatiotekniikan tuoteperhe, mutta sitä saa Suomessa urakoitsijoiden asentamana. Ruotsalainen Verisure on Suomessakin suosittu turvallisuuteen painottuva tuotepakettia tarjoava yritys. (Liite 1.)

Suomessa sähköurakoitsijalla teettäminen on yleisin tapa pientalorakentajalle saada taloautomaatio kotiinsa. Sähkösuunnittelun voi tehdä kodin rakennusvaiheessa, jolloin voidaan valita sopiva sähköurakoitsija esimerkiksi halutun taloautomaatiojärjestelmän mukaan. Eri urakoitsijoilla on eri pätevyudet. Esimerkiksi KNX-väylään perustuvien järjestelmien asentajat voi löytää KNX Finland Ry:n sivuilta listattuna (KNX Finland ry).

Edellämainittuihin jaotteluun sopimattomia yrityksiäkin löytyi muutama. Core Factory, joka tarjoaa vain verkkokaapelilla liitettävän pääkeskuksen ja kerää tietoa pääasiassa esityslaitteista ja tukee useita väylästandardeja. There Corporation, joka Nokian aloittamasta taloautomaatioprojektista spin-offina kehittää avoimuuteen perustuvia laitekeskuksia lähinnä suosituimmille energiayhtiöille Suomessa (There Corporation).

Etenkin suurista Suomessa taloautomaatiota tarjoavista yrityksistä osa on ulkomaisia. Samat yritykset tarjoavat samankaltaisia taloautomaatiopalveluita siis myös muissa maissa, eikä markkinoissa siten välttämättä ole suuria eroja laitosten näkökulmasta. Pientalorakentajan näkökulmasta taasen tarjonta on vaihtelevaa.

Yhdysvalloista löytyy useampi suuri verkkokauppa joka myy monenlaisia plug-and-play taloautomaatiotuotteita suoraan kuluttajalle, kuten Smarthome, Smart Home USA ja Smarthome-Products. Kaupallisia tee-se-itse taloautomaatiolaitteiden markkinoita ei Suomessa ole ollenkaan. Tähän voi vaikuttaa Suomen rakennusmääräykset ja erilainen suhtautuminen älykkään kodin sovelluksiin.

Myös langattomuus näkyy ulkomaisessa tuotevalikoimassa vahvemmin, samoin tiedon siirto internetin välityksellä. Esimerkiksi mobiililaitteen selaimella toimivista lampunkannoista ei ole mainintaakaan Suomen markkinoilla. Kuvaava ero Suomen markkinoista oli myös Sähkö 2013-messut, jossa suurin osa näytteilleasettajista liittyi valaistukseen (EasyFairs 2013), kun taas yhdysvaltalaisen UX Magazinen mukaan Consumer Electronics Shown tarjonnasta pystyi päätellä Smart Home -ratkaisujen olevan vahvasti kasvussa (UX Magazine 2013).

Edellä mainittua väitettä puoltaa jo aikaisemmin mainittu TEKESin arvio, jonka mukaan tulevaisuuden koti -tyyppiset taloautomaatio-sovellukset sisältävät "merkittävää potentiaalia PK-yrityksille" (Ylén ym. 2013, 47). Tämä ei vaikuta olevan Suomessa realisoitunut vielä, eli markkinoilla olisi tilaa pienille taloautomaatiopalvelujen toimittajille. Tosin Ville Luotonen mainitsee There Corporationin taloautomaatiotuotteen lanseerauksesta diplomityössään: "Start-up yrityksen tapauksessa tuotteen lanseeraus suorille kuluttajamarkkinoille merkitsee kuitenkin usein yrityksen tuhoa, sillä jo kuluttajamarkkinoiden jakeluverkoston luominen ja ylläpito vaativat uuden pk-yrityksen näkökulmasta kohtuuttomasti resursseja ja mikäli markkinat kasvavat nopeasti, kasvuun ei pystytä vastaamaan" (Luotonen 2009, 50).

Suomen markkinoilla puhutaan huomattavan paljon väylätekniikan standardeista, eritoten KNX:stä. Ulkomaisilla markkinoilla myydään älykkäitä koteja, mutta Suomessa myydään KNX-väylätekniikkaa. Sen levinneisyydestä kertoo myös ABB:n tavoitteet KNX:n kasvattamisesta (Anteroinen 2012b, 54).

3.2 Avoimet sovellukset

Open Source, eli avoin lähdekoodi, tarkoittaa alunperin tapaa kehittää ja jaella tietokoneohjelmistoja. Asiakas voi vapaasti käyttää, kopioida, muunnella ja jaella avoimen lähdekoodin ohjelmaa ilman lisenssimaksuja ja työlästä ylläpitoa. (COSS Ry)

Open Source Hardware eli avoimen laitteiston määritelmä perustuu avoimen lähdekoodin määrittelyyn. Laitteiston, joka ilmoitetaan avoimeksi laitteistoksi, suunnitelmat

on julkaistava samalle yleisölle kun laite on julkaistu. Laitteistoa voi siten valmistaa, muokata ja käyttää vapaasti. (OSHWA)

Avoimia suomalaisia projekteja ei löytynyt lähes yhtäkään. Kansainvälisiltä markkinoilta löytyy pieniä projekteja, mutta lähinnä avoimen lähdekoodin ja -laitteiston kanssa järjestelmiä toteutetaan asiantuntijapiireissä. Selvä harrastajien käyttäjäkunta löytyy mikrokontrollereilla toteutetuille automaatiojärjestelmille.

Dennisin mukaan (2013, 20) joitakin markkinoilla olevia kotitalouslaitteita, kuten älykkeitä kylmälaitteita, on rakennettu osittain avoimiksi, jotta ne olisivat yhdistettävissä mikrokontrollereilla rakennettuihin avoimiin järjestelmiin. Näin kaupalliset tuotteet hyötyvät avoimista ratkaisuista ja toisinpäin.

Avoimen ohjelmiston käyttöjärjestelmiä on monenlaisiin tarkoituksiin. FreeDomotic -ohjelmalla taloautomaation suunnittelun ja hallinnan voi tehdä graafisesti kotikoneella. Open Source Automation luottaa yhteensopivuuden ohjelman lisäosille, joita voi yhteisön voimin ohjelmoida. OpenHab käyttöjärjestelmä lupaa yhteensopivuuden kaikkiin kaupallisiin järjestelmiin. Raspberry Pi -mikrokontrollerille asennettava PiHome -ohjelman toteutus vaikuttaa helpolta, mutta rajoittuu vain päälle/pois ominaisuuksiin. Suomalaisena joukossa on TaloLogger, joka on suunnattu taloautomaatiojärjestelmän tiedonvarastointiin. (Liite 1.)

Avoimien ratkaisujen joukosta esiin nousevat avoimen laitteiston ja ohjelmiston kokonaispaketit Ninja Block ja WigWag. Molemmat ovat Start-Up-kilpailujen ja yhteisörahoituksen voimalla kehittyneet kattaviksi kustomoitavissa oleviksi automaatoratkaisuiksi. Automaation ohjelmointi tapahtuu mahdollisimman käyttäjäystävällisesti graafisesti if /then -mallilla. Ninja Blockin kehittäjät tarjoavat jopa Raspberry Pi:n GPIO-pinneihin kiinnitettävää siltaa sekä pilvipalvelua.

Kaikkiaan harrastuneisuutta taloautomaation rakennukseen on paljon. Harrastajien keskuudessa käytetyimmät alustat taloautomaation kokoamiseen ovat Arduino ja Raspberry Pi mikrokontrollerit.

3.2.1 Arduino

Arduino on elektroniikkaprototyyppien rakentamiseen suosituin mikrokontrolleri. Yhdellä piirilevyllä on kaikki tarvittava yksinkertaisen robotin rakentamiseksi, mutta Arduinosta on saatavilla myös suppeampia ja laajempia versioita sekä lisäosia erilaisiin tarkoituksiin. Valmistajan verkkosivuilta voi ladata ilmaisen kehitysympäristön ja laitteisto on erittäin edullinen. Laittaistosta löytyy myös kaaviot, mikäli mikrokontrollerin haluaa koota itse. (Arduino)

Arduino yhdistetään tietokoneeseen USB-kaapelilla, josta se saa myös virran. Käyttöjärjestelmäriippumattomassa kehitysympäristössä muutetaan ohjelmistosignaalit elektroniikaksi Arduinon ulostulopinneihin. Niillä voidaan ohjalla esimerkiksi moottoreita, valoja, kytkimiä yms. Arduinossa on myös analogiset sisääntulot, joilla voidaan lukea erilaisien antureiden tietoja.

Arduinon käyttömahdollisuudet ovat taloautomaatiojärjestelmää rakentaessa erinomaiset. Lisäpiirejä, eli ns. shieldejä, löytyy myös Arduinoyhteisön valmistamina lukemattomia. Jos toimintaa, kuten väylämuunninta ei löydy valmiina kilpenä, voi sen usein tehdä ohjelmallisesti käyttäen digitaalisia ja analogisia GPIO-pinnejä.

Taloautomaatiosovelluksia on rakennettu käyttäen Arduinoa. Yksinkertaisimmillaan Arduinon voi yhdistää kaukosäätimiin, joilla ohjallaan pistorasioita (Karvinen & Karvinen 2011, 177). Käyttäen kilpiä ja muita mikrokontrollereita yhdessä on mahdollista suorittaa Arduinolla mitä monimutkaisempia taloautomaation toimintoja (Dennis 2013, 141).

Arduinon kaltaisia alustoja prototyypin rakentamiselle ovat muunmuassa Basic Stamp ja TinkerForge.

3.2.2 Raspberry Pi

Raspbery Pi on luottokortin kokoinen yhden piirilevyn kokoinen tietokone. Se sisältää portit kaikille tavallisimmille äänen ja kuvan ulostuloille, usb-portit ja verkkokortin. Suoritusteho riittää HD-laatuiseen videokuvan toistamiseen ja useisiin muihin sovelluk-

siin. Käyttöjärjestelmä on SD-muistikortilla. Laitteen A-mallin hinta on 25\$ ja B:n 35\$. (Raspberry Pi)

Raspberry Piä erinomaisen alustan taloautomaatiojärjestelmän rakentamiseen tekee sen koko, edullisuus ja ohjelmoitavat GPIO-pinnit. Raspberry Pi voi toimia järjestelmän pääkeskuksena tai kokonsa ja hintansa puolesta alakeskuksena, joka lähiverkossa on kytketty yhteen pääkeskukseen tai -ohjelmistoon.

Kuten Arduinon, Raspberry Pin GPIO-pinnit voivat välittää ja vastaanottaa signaaleja ja siihen on rakennettu kilpiä toiminnallisuuden kasvattamiseksi. Raspberry Pin etu Arduinon nähden on sen sisältämä käyttöjärjestelmä ja suoritusteho. Molemmat mikrokontrollerit voidaan kuitenkin yhdistää toisiinsa käyttämällä siltaa ja soveltuvaa ohjelmistoa, hyödyntäen siten molempien laitteiden hyvät puolet (Dennis 2013, 13).

Raspberry Pin kaltaisia yhden piirin tietokoneita ovat muunmuassa: BeagleBone, OLinuXino ja SABRE Lite.

3.3 Analyysi

Markkinakatsauksen ja selvityksen perusteella on todettavissa markkinoilla olevan tilaa pientaloasujalle suunnatulle taloautomaatiojärjestelmälle. Suoranaisesta kysynnästä ei ole kyse, koska kyseessä on suhteellisen tuore ilmiö, vaikka teknologia suuremman levinneisyyden mahdollistaisikin. Etenkin Suomessa pientaloihin tehdään taloautomaatiojärjestelmiä huomattavan vähän ja kehitys vaikuttaa hitaalta kansainvälisiin markkinoihin verrattuna.

Kotimaisilla markkinoilla luotetaan kuitenkin väylätekniikkaan. Useampi, niin suuri kuin pienikin toimija on valinnut KNX-väylätekniikan, jolla usein koko automaatiojärjestelmää markkinoidaan. Avointa järjestelmää kehittäessä Suomen markkinoille onkin suositeltavaa ottaa huomioon KNX:n tarjonta ja tunnettuus.

Langattoman yhteyden standardit Z-Wave ja EnOcean nousivat esille kansainvälisiä markkinoita tutkittaessa. Standardien elinikä on vaikea ennustaa, mutta tuen lisäämi-

nen järjestelmään on perusteltavissa standardien tämän hetkisen käyttömäärän perusteella. Saneerauskohteisiin järjestelmien suunnitteleminen myös vaatii usein langattoman yhteyden, jolloin eniten valmistajia käsittävien standardien valinta on loogista.

Selvityksen perusteella Suomen markkinoilta puuttuu kansainvälisillä markkinoilla esiintyvät tee-se-itse-tuotteet. Näille markkinoille siirryttäessä on otettava huomioon tuotteiden turvallisuus, joka useimmiten ilmaistaan erilaisilla merkinnöillä. Toisaalta elektroniikan rakennussarjoista tehtäviä laitteita saa itse rakentaa, jos ne liittyvät sähköalan harrastustoimintaan (Tukes). Oikeat sähköasennustyöt voi kuitenkin suorittaa vain siihen pätevyitynyt henkilö.

Avoimista laitteistosta mainitut Raspberry Pi ja Arduino ovat harrastajien keskuudessa suosittuja, mutta selvityksen perusteella ei ainakaan ilmennyt niiden käyttöä kaupallisissa järjestelmissä. Start-upit Ninja Block ja WigWag perustuvat vastaavien avoimien laitteiston käyttömahdollisuuksiin ja ne voisikin nähdä potentiaalisina yhteistyökumppaneina tai mahdollisesti kilpailijoina. Avoimille järjestelmille löytyy joka tapauksessa kysyntää etenkin Suomesta.

Niin kirjallisuuden kuin markkinakatsauksenkin perusteella taloautomaatiojärjestelmien kehitys on nopeaa talotekniikan ja sähkötekniikan saralla, mutta ohjelmiston tuomia mahdollisuuksia ei hyödynnetä, tai ainakaan niitä ei ole tuotu esille. Prosessinohjausohjelmistojen kehitystä taloautomaatiojärjestelmissä tulisikin pitää yhtä tärkeänä, kuin käyttöjärjestelmien kehitystä tietokoneissa. Microsoftin entinen toimitusjohtaja Bill Gates on maininnut robotiikan markkinoiden näyttävän samalta kuin 30 vuotta sitten tietokoneiden, eli täynnä mahdollisuuksia ja varmaa kehitystä (Smith 2013; Wood 2007).

4 Konseptikuvaus

Tässä luvussa kuvataan toimeksiantajalle konseptoitu taloautomaatio tuote. Aluksi kuvataan tuotteen tekniset ominaisuudet, eli laitteisto ja ohjelmisto, jotka parhaiten edustavat työssä tutkittua avointa ekotehokkuuteen tähtäävää taloautomaatiojärjestelmää. Sen jälkeen esitellään tuotteen ympärille rakentuvan palvelun konsepti ja lopuksi analysoidaan koko konseptin tuotteistaminen. Näin mahdollistetaan projektin tulosten monipuolinen hyödyntäminen toimeksiantajan tuotekehityksessä.

4.1 Laitteisto

Laitteiston valintaan vaikuttaa hinta, saatavuus ja ennen kaikkea soveltuvuus automaatiojärjestelmän kehitysalustaksi. Mikrokontrollereiden valinta on tästä näkökulmasta perusteltua niiden edullisuuden ja muokattavuuden puolesta. Raspberry Pi on mikrokontrollereista monikäyttöisin, koska samaan laitteella voi ylläpitää palvelinta, ohjelmoida ja ajaa prosessin hallinta ohjelmistoja sekä hallita järjestelmää.

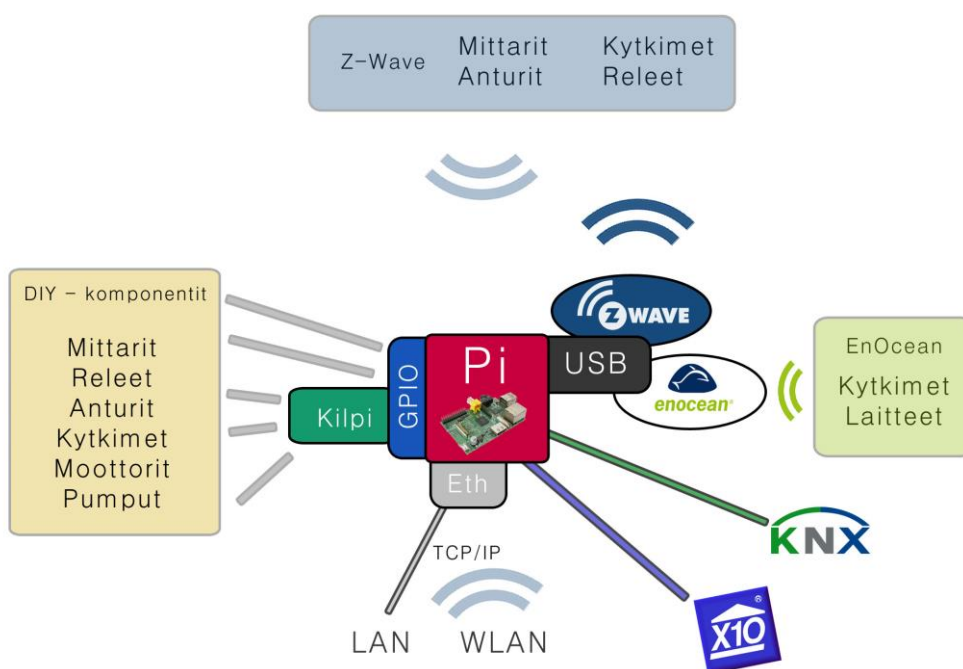
Raspberry Pin käyttäminen keskuksena tuo useita etuja, mutta järjestelmiä on mahdollista toteuttaa myös esimerkiksi vanhoilla kannettavilla tietokoneilla, jotka kuluttavat vähän virtaa suhteessa palvelimiin ja pöytäkoneisiin. Raspberry Pitä käyttäessä eliminoiduu äänihaitat ja pienen koon takia sijoittaminen esimerkiksi sähkökaappiin on mahdollista. Myös matalamman käyttöjännitteen ansiosta monimutkaisemmat matalaenergiaratkaisut ovat mahdollisia.

Suurin hyöty Raspberry Pistä on kuitenkin sen tarjoama tuki erilaisille silloille ja kilville GPIO -pinneihin yhdistettynä. Tämän voi nähdä eräänlaisena I/O-pisteenä useille esimerkiksi kierrätys-elektronikasta valmistetuille antureille ja kytkimille. Tavoitteena lopulta olisi rakentaa oma Raspberry Pihin sopiva kilpi, joka tarjoaisi yhteyden ohjelmiston ja laitteiston välille.

Markkinoilta löytyy kauko-ohjattavia pistorasioita, joiden piirejä muokkaamalla voidaan rakentaa yksinkertaisia on/off automaatio-sovelluksia pistorasioihin (Karvinen & Karvinen 2011, 177). Kyseiset sovellukset eivät kuitenkaan ole liiketoiminnallisesti kannat-

tavia, vaikka voivatkin auttaa ohjelmistokehityksessä. Lopulliseksi ratkaisuksi olisi suositeltavaa löytää sopivat valmistajat yksinkertaisille releille sekä muille toimilaitteille, joita voi GPIO-pinnien kautta yhdistää ohjelmistologiikkaan. Vaihtoehtoisesti laitteet voi aluksi valmistaa itse, mutta vastatakseen mahdollisesti kasvavaan kysyntään on huolehdittava tuotteen jakeluketjun toimintavarmuudesta ulkoistamalla tuotanto.

Raspberry Pi:llä toteutetun järjestelmän voi toteuttaa yhden keskuksen mallilla. Kyseinen malli on edullisinta toteuttaa ja se onkin hyvä lähtöpiste taloautomaatio tuotetta kehittäessä. (Kuvio 9.)



Kuvio 9. Yhden keskuksen laitteistomalli.

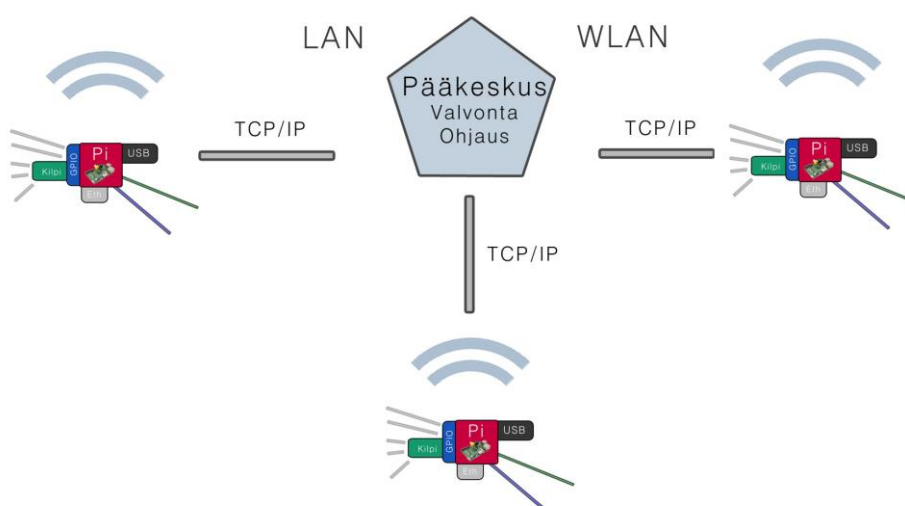
Keskuksen USB-väylään olisi asennettavissa vastaanottimia Z-Wave ja EnOcean laitteille, jotta järjestelmä voisi hyödyntää langattomia standardeja. Langattomat mittarit ja anturit on useimmiten tilattava ulkopuolelta, mutta valmistajia on useita, joista voi kilpailuttaa järjestelmään parhaiten sopivat.

Euroopassa yleisempään KNX-väylään etsitään mahdollisuus kytkeä järjestelmään. KNX-laitteet tarvitsevat lisenssin kuten KNX-asentajatkin, joten mahdollisuudet ja oikeudet on tutkittava huolellisesti. Samoin yhteyden voi mahdollistaa myös X10-

standardille, jolle vastaavia lisenssejä ei tarvitse ja lisäosia löytyy USB-väylään kytkettävissä valmiiksi.

Keskuksen verkkokortti mahdollistaa yhteyden WLAN- tai ethernetiyhteydellä toisiin järjestelmiin ja internetiin, mikäli sellainen tarvitaan. TCP/IP -protokollalla voidaan lähiverkossa muodostaa usean laitteen ja järjestelmän välinen datayhteys.

Modulaarista mallia käytettäessä yhdistetään TCP/IP protokollaa käyttäen useamman keskuksen ohjelmisto yhteen pääkeskukseen ja joskus jopa toisiinsa ilman pääkeskusta (kuvio 10). Pääkeskus voi toimia kuten valvontakeskus antaen vain komentoja alakeskuksille ja valvoen toimintaa. Näin logiikka on hajautettu alakeskuksille ja järjestelmän vikasietoisuus on parempi, koska toiminta ei nojaa yhteen keskukseen.



Kuvio 10. Modulaarinen laitteistomalli.

4.2 Ohjelmisto

Ohjelmiston valinnassa on huomioitava yhteensopivuus ja muokattavuus. Mahdollisuudet energian säästämiseen ovat tapauskohtaiset, joten ohjelmisto on oltava räätälöitävissä. Avoimien ohjelmien käyttö on tässä mielessä myös suositeltavaa, koska avoin lähdekoodi takaa ohjelman muokattavuuden.

Paras vaihtoehto on kuitenkin kehittää ohjelmisto ainakin osittain itse. Tämä mahdollistaa yhteensopivuuden kaikille laitteille ja täyden hallinnan ohjelman energiansäästö-

mahdollisuuksissa. Ohjelmistokehitys ja ohjelman päivittäminen vaatii resursseja, mutta oma prosessinhallintaohjelmisto heijastaa asiantuntemusta, joka markkinoilla voi näkyä kilpailuetuna.

Ohjelmoinnissa kannattaa käyttää myös valmiita koodikirjastoja ja viitekehyksiä kehityksen nopeuttamiseksi. Raspberry Pi:lle löytyy harrastajayhteisöistä myös paljon valmiita avoimia ohjelmapalasia etenkin GPIO-pinnien käyttöön. Tässä vaiheessa konseptointia voidaankin rajata myös ohjelmiston osalta näkökulma Raspberry Pi:n käyttämiin nopeamman tuotekehityksen edesauttamiseksi.

Raspberry Pi:ssä käyttöjärjestelmänä on usein Raspbian -linux julkaisua, joka on Debian wheezy -julkaisun Raspberry Pi:lle optimoitu versio. Mediakeskukseksi siihen sopii RaspBMC tai OpenELEC -käyttöjärjestelmäjulkaisut. (Raspberry Pi.) Muita laitteistoja käytettäessä käytännössä mikä tahansa Linux -julkaisu ja teoriassa myös Windows Server sopii järjestelmän käyttöjärjestelmäksi.

Järjestelmään tarvitaan tietokanta asetusarvojen ja erilaisen käyttödatan tallentamiseksi. Tietokannan suoritusteholla ei vielä yksittäisten järjestelmien toteutuksessa ole suurta merkitystä. MariaDB tai SQLite ovat avoimuudeltaan ja yhteensopivuudeltaan kuitenkin Raspberry Pi:hin parhaimmat vaihtoehdot.

Ohjelmiston back-endin toteuttamiseksi käytetään laitteistoihin parhaiten sopivaa ohjelmointikieltä. Järjestelmä on toteutettavissa lähes millä tahansa kielellä, mutta suositellut kielet ovat Pythonin tai C++ niiden automaatioon sopivan rakenteen takia. Toteutuksen tueksi voi käyttää myös Raspberry Pi:lle yhteensopivaa IO -ohjelmointia (IOLanguage).

MQTT on laitteiden välillä tapahtuvan viestin jakelun protokolla, jonka etuja on verkon kevyt kuormitus ja yhdeltä monelle suuntautuvat viestit (Locke 2010). Automaatiojärjestelmän toteutuksessa tämä on eduksi komentoja ja anturidataa lähettäessä. Laitteet seuraavat ns. aiheita, joihin lähetetty tieto toteuttaa toimintoja ohjelmoidulla tavalla.

Ohjelmiston front-endin, eli käyttöliittymän, voi toteuttaa usealla tavalla. Liittymän ei tarvitse olla edes graafinen, vaan ohjaus voi tapahtua kytkimillä ja painikkeilla, jotka yhdistetään suoraan prosessinohjausohjelmistoon. Graafisen liittymän voi myös toteuttaa lokaalisti esimerkiksi eteishallissa sijaitsevaksi kosketustauluksi. Järjestelmän etähallinnan mahdollistamiseksi on kuitenkin ylläpidettävä palvelinohjelmistoa järjestelmän keskuksessa. Raspberry Pi:n tapauksessa voidaan käyttää Linux-järjestelmissä suosittua Apache HTTP Serveriä.

Jo taloautomaatiojärjestelmien teoriaa tutkiessa tärkeäksi todettu tietoturva on myös potentiaalisilla asiakkailta usein päälimmäinen ajatus järjestelmien etäkäytöstä mainitessa. Yksinkertaisilla ratkaisuilla palvelimista saa hyvin tietoturvallisia, mutta avoimet järjestelmät voivat avoimuutensa takia olla suljettuja haavoittuvampia. Etenkin toiminnan kasvaessa on järjestelmien turvallisuus varmistettava tietoturva-asiantuntijan kanssa.

Selvityksen perusteella kaupallisten taloautomaatiojärjestelmien yksi suurimmista ongelmista oli myös ohjelmistojen käytettävyys. Huonosti tehty käyttöliittymä voi pahimmassa tapauksessa karkoittaa käyttäjän ja mitätöidä automaatiosta saatavan hyödyn (Sähkötieto ry 2012, 157). Käyttöliittymän erinomainen käytettävyys on järjestelmän toteutuksessa varmistettava, koska siten on saavutettavissa paremmat energiansäästömahdollisuudet ja samalla tuotteelle kilpailuetua markkinoilla.

Automaatiojärjestelmän hallinnan helppokäyttöisyyden tueksi ohjelmoidaan tarvittaessa sovellus mobiililaitteille. Yhteensopivuuden parantamiseksi Androidin tai vastaavan avoimen käyttöjärjestelmän suosiminen on eduksi. Mobiililaitteilla toimivan käyttöliittymän voi myös toteuttaa selainpohjaisilla ratkaisuilla, jonka mahdollistaa HTML5:n ja Javascriptin käyttö hallintapaneelin toteutuksessa (liite 2).

4.3 Palvelurakenne

Palvelun kehityksessä huomioidaan kehityskaari potentiaalisten asiakkaiden omaksumisvalmiudessa. Ensimmäiset asiakkaat ovat ns. innovaattoreita, jotka omaksuvat uudet teknologiat ensimmäisenä ja usein auttavat jopa tuotekehityksessä. Tässä tapauksessa innovaattoreita kuvaa taloautomaatioharrastajat. Keräämällä yhteisö taloautomaatiohar-

rastajia saadaan tuottelle luonnolliset testaajat ja nopeampi kehitys tuotekehityskaaren alkuvaiheessa. Tässä vaiheessa palvelu on lähinnä tietopankki tee-se-itse -tyyppisille taloautomaatiojärjestelmille ja keskustelufoorumi taloautomaatioharrastajille.

Myöhemmin palvelun oheen perustetaan verkkokauppa, jossa myydään taloautomaatiojärjestelmien toteuttamiseen tarvittavaa laitteistoa. Sivustolla on ladattavissa ohjelmisto lähdekoodeineen, joka on yhteensopiva myytyihin laitteistoihin. Mahdollisuuksien mukaan valmistetaan myös omia komponentteja, kuten silta RaspberryPin GPIO -väylään tai ohjelmistoon helposti liitettäviä plug-and-play toimilaitteita.

Lopulta palvelu pyritään vakioimaan siten, että ohjelmisto ja laitteisto on eheä kokonaisuus. Asiakaskunnan karttuessa, helpommin omaksuttavan ja toimivan palvelukokonaisuuden ansiosta, tarjotaan myös suunnittelu- ja asennuspalvelua. Palvelut toteutetaan kuitenkin niissä rajoissa, jossa ne on mahdollista toteuttaa lisenssien ja pätevyyksien mahdollisesti vielä puuttuessa.

Palvelun ydinosaminen, eli energiatehokkuuden vahva ymmärrys ja sen tehokas optimointi taloautomaatiolla, ei palvelun kehittyessä muutu. Osaaminen voidaan nähdä myös ydinpalveluna, jota tukevat tukipalvelut, eli tässä tapauksessa myytävät laitteet ja tietopankki (Sipilä 1996, 64).

Kysynnän kasvuun on reagoitava varmistamalla laitteiston riittävä valmistus ja palveluihin kuluvien resurssien riittävyys kasvattamalla sidosryhmiä. Toiminta pidetään avoimena ja kilpailuetu saavutetaan varmistamalla huippuosaaminen taloautomaatioteknologian käytössä energian säästöön.

4.4 Tuotteistaminen

Tuotteistaminen on palveluiden, hyödykkeiden tai niiden yhdistelmästä muokattu markkinoitava ja myytävä ratkaisu asiakkaan ongelmaan (Ilmoniemi, Järvensivu, Kyläkallio, Parantainen & Siikavuo 2009, 37). Sipilän (1996, 12) mukaan tuotteistamiseen liittyy myös palvelun määrittely, suunnittelu, kehittäminen, kuvaaminen ja tuottaminen.

Tässä tuotteistamista tutkitaan sillä laajuudella, joka projektin tulosten puitteissa on aiheellista.

Toimeksiantajan toiminta-alue on laaja, joten on loogista tuotteistaa taloautomaatio selkeästi omaksi kokonaisuudekseen. Tuotteen nimeen tai hintaan ei tässä puututa. Sen sijaan pohditaan tuotteen sijoittelua ja näkyvyyttä markkinoilla, sekä avoimuuden luomaa kysymystä tuotteen suojauksesta.

Tässä opinnäytteessä perusteltu kestävä kehitys ja avoimuus yrityksen arvoina tuodaan vahvasti esille ja niitä käytetään myös markkinoilla differoitumiseen. Energian säästö on myös päätavoite jokaisessa projektissa ja se on oltava aina perusteltavissa asiantuntevuuden vahvistamiseksi. Asiantuntevuus sekä energiatehokkaan asumisen alalla, että monipuolisten taloautomaatiojärjestelmien toteuttamisessa on yrityksen kilpailuedun perusta.

Tuotteistamisen yksi lähtökohhta on varmistaa tuotteen asiakaslähtöisyys. Tuotteen on ratkaistava asiakkaan polttava ongelma ja tuotettava selkeää lisäarvoa (Sipilä 1996, 74; Ilmoniemi ym. 2009, 40). Energian säästö ja ympäristön suojeleminen on tässä tuotteen päätavoite, mutta tuotekuvauksessa kannattaa mainita myös järjestelmän soveltuvuus yleisimmin taloautomaatiojärjestelmissä esiintyviin ominaisuuksiin viihde-elektroniikan ja turvallisuuden hallitsemiseen. Energian säästön ja mukavuuden lisääntymisen lisäksi tuotteen ympärille kehittyvä yhteisö hyötyy tehokkaasta tiedonsaannista ja laitteiden parantuvasta saatavuudesta.

Verkkosivu on tärkein kanava tiedon jakamiseen, mutta myös muita sisältömarkkinoinnin kanavia, kuten sosiaalista mediaa käytetään potentiaalisten asiakkaiden tavoittamiseksi etenkin tuotteen vakioimisen jälkeen. Verkkosivuilla sijaitsee myös tärkeä yhteisöpalvelu alkuvaiheen tuotekehitykselle sekä verkkokauppa, josta ohjelmistoon yhteensopivia osia voi tilata. Lopulta myös suunnittelu- ja asennuspalvelut tilataan verkkosivujen kautta. Tiedon saaminen ja tuotteiden tilaaminen pyritään tekemään näin mahdollisimman helpoksi.

Tuotteistamisen asteet jaetaan neljään tasoon joita on myös karkeasti kuvattu edellisen kappaleen palvelukonseptin kehityksessä (Sipilä 1996, 13). Ensimmäisenä on sisäisten työmentelmien tuotteistaminen, jota voitaisiin ymmärtää yrityksen sisällä tuotteen rakenne. Tämä konseptikuvaus on ensimmäinen askel kohti ensimmäistä tuotteistamisen tasoa. Toista tasoa, palvelun tuotetukea, kuvaa verkkosivujen yhteisöpalvelu. Tuotteistettu palvelu on kolmas taso, joka tarkoittaa pitkälle tuotteistettua kokonaisuutta. Toimiva verkkokauppa ja tiedonjako kuvaavat hyvin kolmatta tuotteistuksen tasoa. Viimeinen taso on monistettava palvelu, eli suunnittelu- tai asennuspalvelupaketti, jonka toteuttaminen on niin pitkälle tuotteistettu, että se on ulkoistettavissa. (Kuvio 11.)

Tuotteistamisen tasot palvelun kehittyessä



Kuvio 11. Tuotteistamisen tasot palvelun kehittyessä

Palvelutuotteen ympärille kehittyvän brändin suojaus on tehtävä alkuvaiheessa. Nimi on suojattava heti alusta lähtien, johon Suomessa yksinkertaisin tapa on rekisteröidä toiminimi kaupparekisteriin (Sipilä 1996, 103). Toimintatapa tulisi olla avointa, jotta yhteisöllinen kehittäminen on mahdollista, mutta etenkin tieteellisiä julkaisuja kannattaa suojella lisensseillä. Lähdekoodin ja laitteiston avoimeen suojeleluun sopiva lisenssi on GNU GPL ja kirjallisten julkaisujen lisenssiksi voidaan käyttää Creative Commons -lisenssi-perhettä. Molemmilla lisensseillä voi varmistaa ohjelmiston pysyvän avoimena jatkossakin, jotta sen yhteisöllinen kehittäminen on taattua.

Menestyvä ja hyvin tuotteistettu tuote houkuttelee kilpailijoita ja avoin ratkaisu mahdollistaa toiminnan kopioimisen. Jo tämä dokumentti voisi teoriassa vaarantaa tässä kuvattujen menetelmien ainutlaatuisuuden markkinoilla. Avoin toiminta ja sen julkistaminen voi kuitenkin toimia jopa paremmin kuin tuotemerkit ja patentit, koska toiminnan kopioija jää helpommin kiinni, jos alkuperäinen tekijä on tarpeeksi tunnettu (Sipilä 1996, 119). Varsinkin yhteisötoiminnalla saavutettu korkea asiantuntemus puhuu aina puolestaan.

Yhteisön voimin kehitettävälle avoimelle ja energiatehokkaalle taloautomaatio tuotteelle on nyt kerätty tietoperusta, löydetty kysyntä ja konseptoitu tuote- ja palvelurakenne. Nimen lisäksi tuotteistamisen osalta pohdittavaksi jää, halutaanko kotimaisille vai kansainvälisille markkinoille. Etenkin kotimaisilla markkinoilla alalle on odotettavissa lähivuosina suurta kasvua, joten varsinainen tuotekehitysprosessi on aloitettava mahdollisimman tehokkaasti.

"If you focus your mind on the freedom and community that you can build by staying firm, you will find the strength to do it. Stand for something, or you will fall for nothing." -Richard Stallman

5 Yhteenveto

Projektin suunniteltu laajuus käsitti alun perin myös tuotekehityksen. Ensimmäisessä ohjauskokouksessa tavoitteeksi rajattiin konseptikuvaus, mikä osoittautui oikeaksi päätökseksi projektiin käytetyn ajan lähestyessä sille varattua 400 tuntia. Aikataulussa pyrittiin, vaikka projekti aloitettiin vasta lokakuun alussa. Tämä onnistui tarkoin projektihallinnollisin menetelmin mm. projektin ohjaajan opastuksella ja projektin tekijän intohimoisella suhtautumisella työskentelyyn.

Työn tavoitteena oli saada kuva taloautomaatiojärjestelmien markkinoista ja avoimen lähdekoodin mahdollisuuksista järjestelmien toteuttamisessa sekä monipuolinen konseptikuvaus toimeksiantajan taloautomaatiotuotteesta. Markkinoista saatiin kokonaisvaltainen kuva, mutta tuloksia analysoidessa on otettava huomioon, että kyseessä on laadullinen selvitys perustuen lähes yksinomaan verkosta löytyvään tietoon. Myös avoimien laitteistojen ja -ohjelmistojen käyttöä taloautomaatiojärjestelmän toteutuksessa arvioitiin vain teoriassa, koska prototyypin rakentamiseen ja käytännön testaamiseen ei riittänyt projektissa resursseja.

Projektin alkupuolen tekninen ote laajentui loppua kohden myös liiketoiminnallisiin näkökulmiin. Näin ollen hyödylliseksi, erityisesti tuotteistamisen ja palvelukonseptin kuvaamisen kohdalla osoittautuivat koulutusohjelman tarjoamat liike-elämän kurssit sekä aikaisemmat liiketalouden opinnot. Myös ohjelmointiin, tietoliikenneyhteyksiin ja käyttöjärjestelmiin liittyneistä opinnoista koulutusohjelmassa oli välitön hyöty taloautomaatiojärjestelmän toteutusta pohtiessa.

Energiatehokkaan asumisen ja taloautomaatiojärjestelmien teoriassa käytiin kuitenkin koulutusohjelman aiheisiin nähden melko pitkällä, joka osaltaan teki projektista haastavamman. Toisaalta tämä monitieteellisyys oli oppimisen kannalta positiivinen kokemus, joka herätti mielenkiinnon rakennustekniikkaa, talotekniikkaa ja elektroniikkaa kohtaan.

Kaiken kaikkiaan projekti oli erittäin onnistunut ja toimeksiantaja oli siihen tyytyväinen. Tehty selvitys ja konseptointi loi viitekehityksen tuotekehitykselle, jonka tulokseksi odo-

tetaan valmista taloautomaatiotuotetta. Valmis järjestelmä tulee lopulta mahdollistamaan helpomman ja ympäristöystävällisemmän elämän ainakin suomalaisissa kodeissa.

Lähteet

ABB. 2011a. Investoi rakennusautomaatioon, KNX-taloautomaatio. WAIM45/112011. Hämeen Kirjapaino Oy. Luettavissa:

http://cna.mikkeli.amk.fi/Public/JormPekk/ABB/ABB%20tuoteryhm%C3%A4t/Asennustuotteet%20ABB%20%20Bush%20Jaeger/KNX_Oikea%20investointi.pdf. Luettu: 24.10.2013.

ABB. 2011b. KNX-taloautomaatio, Tuoteluettelo 2012. WAIM31/12.2011. Hämeen Kirjapaino Oy. Luettavissa:

http://abb.smartpage.fi/fi/taloautomaatio_tuoteluettelo_2012/files/taloautomaatio_tuoteluettelo_2012.pdf. Luettu: 22.10.2013.

Aittomäki, E., Eerikäinen, T., Leisola, M., Ojamo, H., Suominen, I., von Weyrman, N. 2002. Bioprosessiteknikka. WSOY.

Alikoski, Koch, Korhola, Piikkilä, Riikkula, Sahlstén. 2000. Avoimen LON -väylätetekniikan toteutuksia. ST –käsikirja 15. Sähköinfo. Espoo 2000.

Anteroinen, S . 2012a. Automaatiolla ilmaston muutosta kaatamaan – Talon kaikki toiminnot kannattaa yhdistää yhdeksi yhtenäiseksi älyverkoksi. Kiinteistö & Talotekniikka, 1/2012, s. 50-53. Luettavissa: <http://www.publico.com/magazine/pdf/689.pdf> Luettu: 24.10.2013.

Anteroinen, S . 2012b. KNX kasvaa kohisten. Kiinteistö & Talotekniikka, 1/2012, s. 54. Luettavissa: <http://www.publico.com/magazine/pdf/689.pdf> Luettu: 24.10.2013.

Arduino. Introduction. Luettavissa: <http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> Luettu 22.11.2013.

Arvinen, M. 2011. KNX voi jopa nopeuttaa asennusta. Sähköinfo, 1/2011. Luettavissa: http://www.sahkoala.fi/ajankohtaista/sahkoinfo-lehti/sahkoinfo_1-2011/taloautomaatio/fi_FI/030111_knx/. Luettu: 22.10.2013.

Bainbridge, D & Haggard, K. 2011. Passive solar architecture - Heating, cooling, ventilation, daylighting, and more using natural flows. Chelsea Green Publishing.

COSS Ry. Avoin lähdekoodi. Luettavissa: <http://coss.fi/avoimuus/avoin-lahdekoodi/>.
Luettu: 27.10.2013.

Dennis, A. 2013. Raspberry Pi Home Automation with Arduino. Packt Publishing Ltd.

EACI, Executive Agency for Competitiveness and Innovation of the European Commission. 2013. ECO-innovation – Greener business through smart solutions. Luettavissa: http://ec.europa.eu/environment/eco-innovation/files/docs/publi/brochure_eco-innovation_a42013.pdf. Luettu: 27.10.2013.

EasyFairs. 2013. Sähkö 2013. Luettavissa:
http://www.easyfairs.com/fi/events_216/saehkoe-puhtaus-ekorakennus2013_35311/saehkoe-2013_35312/visitors_35313/naeytteilleasettajakatalogi_35323/ Luettu: 2.12.2013.

Energiateollisuus. Sähkölämmitys. Luettavissa: <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/sahkolammitys>. Luettu: 28.11.2013.

Guerra, M. 2013. Compact living - How to Design Small Interior Space. Permanent Publications.

Goodwin, S. 2010. Smart Home Automation with Linux. Apress.

Heinokoski, R., Asp, R., Hyppönen, H. 2008. Automaatio - helppoa elämää?. Opetushallitus.

Hill, K. 2013. When 'Smart Homes' Get Hacked: I Haunted A Complete Stranger's House Via The Internet. Forbes. Luettavissa:

<http://www.forbes.com/sites/kashmirhill/2013/07/26/smart-homes-hack/> Luettu: 30.11.2013.

Ilmoniemi, M., Järvensivu, P., Kyläkallio, K., Parantainen, J. & Siikavuo, J. 2009. Uuden yrittäjän käsikirja. Talentum.

IOLanguage. Io Programming guide. Luettavissa:

<http://iolanguage.org/scm/io/docs/IOGuide.html>. Luettu: 8.12.2013.

ISA - International Society of Automation. 2012. IEC 61131-3 industrial control programming standard advancements. Luettavissa:

<http://www.isa.org/InTechTemplate.cfm?template=/ContentManagement/ContentDisplay.cfm&ContentID=91467>. Luettu: 4.12.2013.

Isosaari, K. 2012. Mistä energia taloon? - Omakotitaloasujan energia- ja ympäristöopas. Otavamedia Oy.

Isosaari, K. Äly tuli taloon. Tekniikan maailma. Luettavissa:

http://digi.tekniikanmaailma.fi/issue_page/asuminen-2/?shared=1. Luettu: 24.10.2013.

Karvinen, K & Karvinen, T. 2011. Make: Arduino Bots and Gadgets. O´reilly.

KNX. 2013. Introduction. Luettavissa: <http://www.knx.org/knx-standard/introduction/>. Luettu: 22.10.2013.

KNX Finland Ry. KNX - Urakoitsijat. Luettavissa:

<http://www.knx.fi/index.php?k=220427> Luettu: 1.12.2013

Lahti, K., Tolonen, P., Airanmo, S., Holopainen, M., Koivisto, I., Suominen, T., Valste, J. & Viitanen, P. 2005. Elämä - Biologia. 8., uudistettu painos. WSOY.S

Laitinen, J. 2010. Pueni suuri energiakirja - opas energiatehokkaaseen asumiseen. Into Kustannus Oy.

Locke, D. 2010. MQ Telemetry Transport (MQTT) V3.1 Protocol Specification. Luettavissa: <http://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-mqtt/>. Luettu: 8.12.2013.

Luotonen, V. 2010. Avoimen kotiautomaatiojärjestelmän lanseeraus. Tampereen teknillinen yliopisto.

Marcotte, E. 2010. Responsive Web Design. Luettavissa: <http://alistapart.com/article/responsive-web-design>. Luettu: 14.12.2013.

Mattila, T. 2013. Input-output analysis of the networks of production, consumption and environmental destruction in Finland. Aalto University publication series DOCTORAL DISSERTATIONS 124/2013. Unigrafia Oy. Helsinki.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-5280-9>. Hakupäivä: 12.9.2013.

Mollison, B. 1979. Permaculture 2. Tagari publications.

Motiva. 2013. Maalämpöpumppu. Luettavissa: http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampopumppu. Luettu: 4.12.2013.

NFC Forum. 2013. Technical Specifications. Luettavissa: http://www.nfc-forum.org/specs/spec_list/. Luettu: 4.12.2013.

OPC Foundation. What is OPC?.
http://www.opcfoundation.org/Default.aspx/01_about/01_what_is.asp. Luettu: 4.12.2013.

OSHOWA, Open Source Hardware Association. Definition. Luettavissa: <http://www.oshwa.org/definition/>. Luettu: 27.10.2013.

Rakentaja. 2013. KNX-taloautomaatio hallitsee talon toimintoja. Sanoma News Oy.
Luettavissa: http://www.rakentaja.fi/artikkelit/10934/knx_abb.htm#.UnAF5qzyPVN.
Luettu: 22.10.2013.

Raspberry Pi. Luettavissa: <http://www.raspberrypi.org>. Luettu: 22.11.2013

Seppänen, T. 2013. Energiaomavaraisen asuinkiinteistön sähkösuunnitteluopas, Insi-
nööriyö. Metropolia, sähkötekniikka. Luettavissa:
[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63875/energiaomavarainen_a
suintalo.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63875/energiaomavarainen_a
suintalo.pdf?sequence=1). Luettu: 24.10.2013.

Sipilä, J. 1996. Asiantuntijapalveluijen tuotteistaminen. WSOY.

Smith, K. 2013. Bill Gates: Robots Will Be The Next World-Changing Technology.
Luettavissa: [http://finance.yahoo.com/news/bill-gates-robots-next-world-
134500596.html](http://finance.yahoo.com/news/bill-gates-robots-next-world-
134500596.html). Luettu: 8.12.2013.

Suomen Arkkitehtiliitto. 1983. Energiakäsikirja. Gummerus.

Säkötieto ry. 2012. Rakennusautomaatiojärjestelmät – Tietotekniset järjestelmät. Tam-
merprint Oy.

Tammilehto, J. 2013. Wireless building automation in Finland. Tampereen ammatti-
korkeakoulu.

There Corporation. 2013. Luettavissa: <http://www.therecorporation.com/>. Luettu:
14.12.2013.

Tilastokeskus. 2012. Tilasto: Asumisen energiankulutus. Luettavissa:
http://www.stat.fi/til/asen/2011/asen_2011_2012-11-16_tie_001_fi.html. Luettu:
27.10.2013.

Tilastokeskus. Energiatase. Luettavissa: <http://www.stat.fi/meta/kas/energiatase.html>.
Luettu: 4.12.2013.

Tukes. Mitä töitä saa tehdä tavallinen sähkökäyttäjä? Luettavissa:
http://www.tukes.fi/kodinsahkoturvallisuus/3_2.html. Luettu: 8.12.2013.

UX Magazine. Home Automation: The next frontier for UX? Luettavissa:
<http://uxmag.com/articles/home-automation-the-next-frontier-for-ux>. Luettu:
2.12.2013.

VTT Prosessit. 2004. Energia Suomessa – Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. 3.
täysin uudistettu painos. Edita Prima Oy.

Wood, L. 2007. Bill Gates predicts the future is robots. Luettavissa:
<http://www.computerworlduk.com/in-depth/it-business/11/bill-gates-predicts-the-future-is-robots/>. Luettu: 8.12.2013.

Ylén, J., Ventä, O., Tommila, T., Lappalainen, J., Hirvonen, J., Karhela, T., Paljakka, M., Lehtinen, H., Heilala, J., Peltonen, J., Malm, T., Valkonen, J., Voho, P. 2010. Automaatio liiketoimitaprosessioen tukena. Tekesin katsaus 271/2010. Tekes. Helsinki.
Luettavissa:
http://http://www.tekes.fi/Julkaisut/automaatio_liiketoimintaprosessien_tukena.pdf.
Luettu: 22.10.2013.

Ympäristöministeriö. 2013a. Rakennuksen energia- ja ekotehokkuus. Luettavissa:
http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus. Luettu: 22.10.2013.

Ympäristöministeriö. 2013b. Rakennuksen energiatodistus. Luettavissa:
http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus. Luettu: 4.12.2013.

Z-Wave Alliance. 2012. About Z-wave. Luettavissa: <http://www.z-wavealliance.org/about-z-wave>. Luettu: 2.12.2013.

Liitteet

Liite 1. Markkinakatsauksen tulokset - taulukot

Taloautomaatiotarjonta

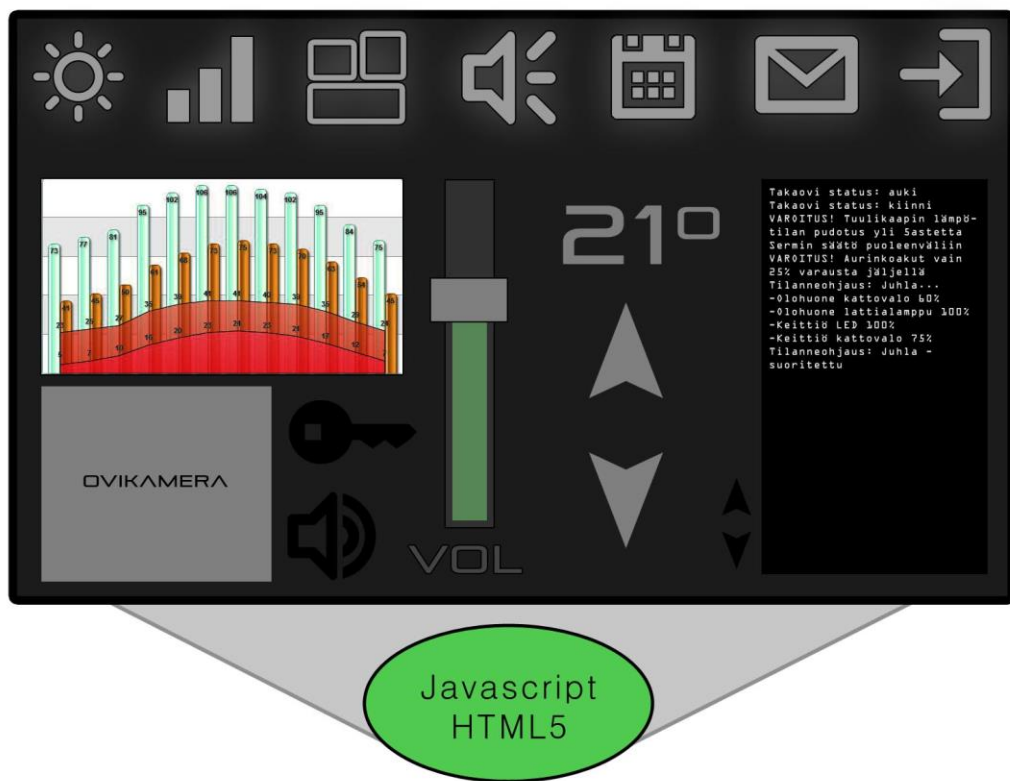
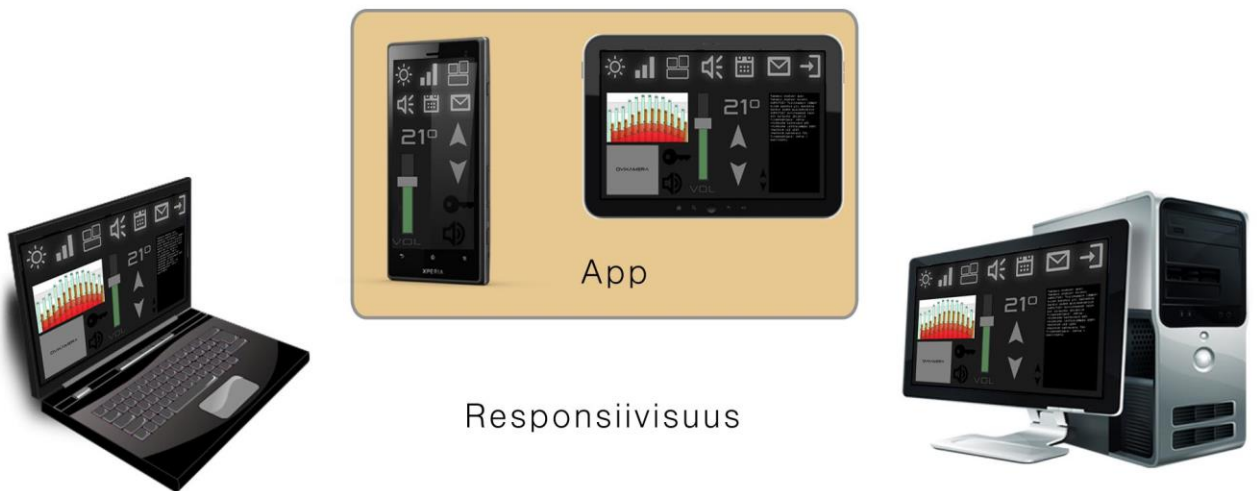
Yritys	Maa	Tuotteet	Kommentit
ABB	Suomi/ Sveitsi	Sähkölaitteet, releet, kytkimet, anturit, mitarit,... Asennuspalvelut.	KNX väylä. EnOcean kytkitekniikka. Dali valonsäädinväylä.
Basalte	Belgia	Design kalusteet, painonapit ja kytkimet.	DJS Automation
Berker	Saksa	Design kytkimet, painonapit ja pistorasiat.	DJS Automation
Carlo Gavazzi	Italia	Sähkölaitteet, releet, kytkimet, anturit, mitarit,...	
Caverion	Suomi	Suuret suunnittelu- ja asennuspalvelut	Pörssinoteerattu teollisuus- ja kiinteistötekniikan suuryritys.
Control4	Yhdysvallat	Palvelupaketit pientaloasujalle	Asennuspalveluita sähköura-koitsijoiden kautta
CoreFactory	Suomi	Keskuslaite, jossa web käyttöliittymä	
EKE	Suomi	Suuret ja pienet asennus- ja suunnittelupalvelut.	Asuintaloalue -mittaisia sovelluksia
Elko	Norja	Komponentit ja asennuspalvelut	
Fidelix	Suomi	Teollisuusautomaatio, myös pientalohin	Suuret projektit
Honeywell	Yhdysvallat	Termostaatit ja komponentit	
ISS	Suomi	Suuret suunnittelu- ja asennuspalvelut.	Monialaosaamista kiinteistön huollossa.
Lonix	Suomi	Automaatiopalvelut laitoksille ja teollisuudelle.	Toimii pääasiassa ulkomailla. Lähtöisin LonWorks COBA projektista.
Merilux	Suomi	Järjestelmäpalvelut sekä omia komponentteja.	Saksalainen Gira järjestelmä.
Ouman	Suomi	Palvelu- ja asennuspaketit suuryrityksille ja pientaloille.	ModBus väylätekniikka
Shneider Electric	Suomi/ Ranska	Sähkölaitteet, releet, komponentit...	TAC(LonWorks), Connect, KNX, DALI

Siemens	Suomi/ Saksa	Sähkölaitteet, releet, kytkimet, anturit, mittarit,... Asennuspalvelut.	KNX, EnOcean
Talomat	Suomi	Palvelupaketti, omia komponentteja	Pieni, hyvin menestyvä toimija
There Corporation	Suomi	ThereGate keskus	Z-wave. Asiakkaana lähinnä energiayhtiöt.
Vera	Kiina	Keskus ja plug and play -komponentit	Saatavuus Suomeen, ei asentajia.
Zennio	Espanja	Kosketusnäytölliset painikkeet ja kytkimet	DJS Automation

Open Source

Nimi	Kuvaus	Kommentti	URL
FreeDomotic	Graafinen suunnitteluohjelma		www.freedomotic.com/
HomeOS	Taloautomaatio käyttöjärjestelmä	Microsoft julkaissut tietoa. Mahdollisesti open source.	
Ninja Block	Kokonaisvaltainen paketti	Vakuuttavin start-up open source taloautomaatio. Australialais-amerikkalaista yhteistyötä. Panostaa helppoon ohjelmointiin.	ninjablocks.com/
Open Source Automation	Hallintaohjelmisto	Lisäosilla tuki kaikkiin järjestelmiin	www.opensourceautomation.com/
OpenHab	Hallintaohjelmisto	Täysin vapaa, taattu sopivuus eri järjestelmiin	www.openhab.org/index.php/start/
PiHome	Hallintaohjelmisto	Valmiit lisäpalat mobiililaitteille. Rajoittunut päälle/pois ominasuuksiin.	
TaloLogger	Lokiohjelma	Suomalainen avoin lokitietojen keruuohjelma	zil.olammi.iki.fi/sw/
WigWag	Kokonaisvaltainen paketti	Laajamittainen laitteisto ja ohjelmisto. Plug and play osia. Liityntä langattoman väljän laitteisiin.	www.wigwag.com/

Liite 2. Ohjelmistorakenne ja selainkäyttöliittymä



Prosessinhallinta

WEB - Apache

Tietokanta



MQTT
Python
C++



Raspbian



MariaDB