



# **KYSYNNÄN JOUSTO**

Automaatiojärjestelmien hyödyntäminen  
kysynnän jouston teknisessä toteutuksessa

Sami Salminen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2014  
Talotekniikka  
Sähköinen talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Sähköinen talotekniikka

SALMINEN, SAMI:

Kysynnän jousto

Automaatiojärjestelmien hyödyntäminen kysynnän jouston teknisessä toteutuksessa

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 9 sivua

Huhtikuu 2014

---

Energiateollisuus ry:n koordinoima sähkötutkimuspooli on käynnistänyt tutkimushankkeen, jonka tarkoituksena on selvittää Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut kysynnän jouston toteuttamiseen ja sen vaikutukset verkkoyhtiöille. Tämä opinnäytetyö on osa mainittua tutkimushanketta, ja sen tavoitteena on selvittää olemassa olevien kiinteistöjen automaatiojärjestelmien potentiaali kuluttajapään teknisiin ratkaisuihin.

Kysynnän jouston tavoitteena ei ole säästää energiaa, vaan tasoittaa sähkön kulutusta ja vähentää huippukuormituksia siirtämällä kuormitusta pienemmän kulutuksen ajankohtaan. Perinteisessä energijärjestelmässä sähkön tuotanto on seurannut kulutusta, mutta joustamattoman tuotannon, kuten uusiutuvan energian ja ydinvoiman, lisääntyessä on kulutuksen seurattava tuotantoa. Kulutushuippujen aikaan on yleensä käytössä paljon ympäristöpäästöjä aiheuttavia energiantuotantomuotoja, joiden käyttöä tasaisella kulutuksella voitaisiin vähentää.

1970-luvulta lähtien kiinteistöihin on asennettu erilaisia automaatio- ja ohjausjärjestelmiä, joista työssä käsitellään erikseen pienkiinteistöjen sähkölämmityksen ohjaamiseen tarkoitettuja järjestelmät sekä suurten kiinteistöjen LVI-järjestelmiä ohjaavat kiinteistöautomaatoratkaisut. Eräänä merkittävänä järjestelmänä kysynnän jouston kannalta, joka ei sovi edellä mainittuihin kuvauksiin, voidaan pitää suurissa kiinteistöissä käytettyä DALI-valaistuksenohjausjärjestelmää.

Tutkimuksen tuloksena havaittiin, että työssä esitellyt ohjaus- ja automaatiojärjestelmät ovat valjastettavissa kysynnän jouston toteuttamiseen. Toiset järjestelmät soveltuvat tähän tarkoitukseen muita paremmin. Tuloksena saatiin kuluttajapään teknisiä ratkaisuja sekä niiden kustannusvaikutuksia kysynnän jouston toteuttamiseen, hyödyntäen olemassa olevien kiinteistöjen tyypillisiä automaatio- ja ohjausjärjestelmiä. Teknisiä ratkaisuja saatiin suuriin kiinteistöihin sekä sähkölämmitteisiin pienkiinteistöihin. Näitä työssä esiteltyjä ratkaisuja voidaan alkaa soveltaa kohtalaisen lyhyellä aikavälillä kysynnän jouston kuluttajapään teknisessä toteutuksessa.

---

Asiasanat: kysynnän jousto, automaatio, kuorman ohjaus, AMR

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
Electrical Building Services

SALMINEN, SAMI:

Demand Response

Automation Systems in the Technical Implementation of Demand Response

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 9 pages

April 2014

---

The Committee for Electricity Supply & Trading coordinated by Finnish Energy Industries Association has launched a research project, the purpose of which is to find practical solutions to implement demand response in Finland and its effects to power-distribution companies. This study is a part of the research project and the aim is to find out technical solutions for the use of automation systems in existing buildings.

The aim of demand response is to level out the electricity consumption and reduce peak loads by transferring the load into a period of lower consumption. Saving energy is not the purpose of demand response. In the traditional energy system the production of electricity has followed the consumption. With the increase of inflexible production, such as renewable energy and nuclear power, the electricity consumption must follow the production. During the peaks a lot of energy production forms that produce environmental emissions are used. Environmental emissions could be reduced by equable consumption.

Since the 1970s a variety of automation and control systems have been installed in buildings. This study introduces automation and control systems used for electric heating in detached houses and for HVAC-systems in large-scale buildings. This study also introduces the implementation of demand response by using DALI-lighting control system.

The results of this study showed that the introduced control and automation systems can be used to implement demand response. Some systems are better than others for this purpose. The result of the study was also technical solutions for consumers' use, and cost effects on the implementation of demand response by using control and automation systems in existing buildings. Technical solutions were found for electrically heated detached houses as well as for HVAC-systems in large-scale buildings. The results can be applied within a reasonable time span.

---

Key words: demand response, automation, load control, AMR

## SISÄLLYS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO.....  | 7  |
| 1.1   | Työn tavoite .....   | 7  |
| 1.2   | Hankkeen kuvaus .....  | 7  |
| 2     | KYSYNNÄN JOUSTOSTA YLEISESTI .....                             | 9  |
| 2.1   | Huipputehokuormitukset .....                                   | 9  |
| 2.2   | Huipputehokuormien vaikutukset.....                            | 11 |
| 2.3   | Kustannusvaikutukset .....                                     | 12 |
| 3     | TYYPPIKIINTEISTÖT JA ESIMERKKITAPAUKSET .....                  | 16 |
| 3.1   | Kiinteistöjen luokittelu .....                                 | 16 |
| 3.2   | Tehonohjaus mahdollisuuksien määrittely .....                  | 16 |
| 4     | HUIPPUKUORMIEN OHJAUS.....                                     | 20 |
| 4.1   | Huippukuormien rajoitus uudiskohteissa.....                    | 20 |
| 4.2   | Huippukuormien rajoitus olemassa olevissa kohteissa.....       | 20 |
| 4.3   | Potentiaalisten ongelmien analyysi.....                        | 20 |
| 4.4   | Hajautetun tuotannon käyttäminen huippukuorman aikana .....    | 21 |
| 5     | OLEMASSA OLEVAT AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT .....                   | 22 |
| 5.1   | ME-Platin.....   | 24 |
| 5.1.1 | Asennusmuutokset .....   | 26 |
| 5.2   | Ouman EH-60 .....  | 27 |
| 5.2.1 | Asennusmuutokset .....   | 29 |
| 5.3   | DALI.....  | 29 |
| 5.3.1 | Olosuhdevaikutukset.....                                       | 30 |
| 5.3.2 | Asennusmuutokset .....   | 32 |
| 5.4   | LVI -järjestelmien automaatio .....                            | 33 |
| 5.4.1 | TAC Vista (Schneider Electric) .....                           | 37 |
| 5.4.2 | Ouman -järjestelmät .....                                      | 38 |
| 5.4.3 | Beckhoff.....  | 38 |
| 5.4.4 | Honeywell .....  | 39 |
| 5.4.5 | CompuTec .....   | 39 |
| 5.4.6 | Asennusmuutokset .....   | 40 |
| 6     | KUSTANNUSVAIKUTUKSET.....                                      | 42 |
| 6.1   | Kustannusten jakaminen verkkoyhtiön ja kuluttajan kanssa ..... | 42 |
| 6.2   | Asennusmuutosten kustannukset .....                            | 43 |
| 6.2.1 | ME-Platin .....  | 43 |
| 6.2.2 | Ouman EH-60 .....  | 44 |
| 6.2.3 | DALI .....   | 44 |

|   |    |
|---|----|
| 6.2.4 LVI-järjestelmien automaatio .....                                    | 45 |
| 7 POHDINTA.....   | 47 |
| LÄHTEET.....  | 49 |
| LIITTEET .....  | 51 |
| Liite 1. Potentiaalisten ongelmien analyysi.....                            | 52 |
| Liite 2. ME-Platin asennusmuutokset .....                                   | 54 |
| Liite 3. Ouman EH-60 asennusmuutokset.....                                  | 55 |
| Liite 4. DALI valaistuksen mittaustulokset.....                             | 56 |
| Liite 5. Jäähdytyskoneen ulkoiset kytkennät Chiller Trane VGA 150-240 ..... | 57 |
| Liite 6. Kaksinopeuspuhaltimen piirikaavio.....                             | 58 |
| Liite 7. Kiinteistöautomaatiojärjestelmän rakenne.....                      | 59 |
| Liite 8. Automaatiojärjestelmän ohjaamat tyypilliset kuormitukset .....     | 60 |

**LYHENTEET JA TERMIT**

|               |   |
|---------------|---|
| TAMK          | Tampereen ammattikorkeakoulu  |
| TTY           | Tampereen teknillinen yliopisto   |
| LUT           | Lappeenrannan teknillinen yliopisto                                     |
| ST-pooli      | Energiateollisuus ry:n koordinoima sähkötutkimuspooli                   |
| DALI          | Digital Adressable Lighting Interface,<br>valaistuksenohjausjärjestelmä |
| AMR           | Automatic meter reading, automaattinen mittarinluenta                   |
| NO – kosketin | Normal open, lepotilassa auki oleva kosketin                            |
| NC – kosketin | Normal closed, lepotilassa kiinni oleva kosketin                        |
| TCP/IP        | Internet liikennöinnin tiedonsiirtoprotokolla                           |
| WAN           | Wide area network, laajaverkko  |
| LAN           | Local area network, lähiverkko  |
| EC-moottori   | Elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori                             |
| I/O           | Input/output, tulo/lähtö  |
| Ovh           | Ohjevähittäishinta, suositushinta                                       |

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tavoite

Työn tarkoituksena oli tutkia ja kartoittaa Suomen kiinteistökannan sähköverkot ja etsiä niistä potentiaalia sekä teknisiä ratkaisuja kysynnän joustoon. Työ toteutettiin osana Energiategollisuus ry:n koordinoiman energia-alan sähköverkko- ja palveluntuotantoalan tutkimusta edistävän yhteistoimintaelimen Sähkötutkimuspoolin ”kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut” hanketta. Hankkeeseen tehtiin TAMKissa neljästä eri tarkastelunäkökulmasta opinnäytetyöt kuluttajapään teknisistä ratkaisuista osana kysynnän jouston toteutumista. Kappaleet 1-4 ovat kirjoitettu hankkeeseen osallistuneiden Tampereen ammattikorkeakoulun opiskelijoiden yhteistyönä.

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena selvittää olemassa olevien kiinteistöjen automaatio- ja ohjausjärjestelmien potentiaali kysynnän jouston toteuttamiseen. Erilaisia automaatio- ja ohjausjärjestelmiä on asennettu runsaasti sähkölämmitteisiin omakotitaloihin, joten niiden potentiaali voi olla hyvin suuri. Yleisimmin automaatiojärjestelmiä esiintyy kuitenkin suurissa kiinteistöissä, kuten asuinkerrostaloissa sekä liike-, toimisto-, hoitoalan-, kokoontumis- ja opetusrakennusten LVI – järjestelmissä. ohjaa yleensä jokin automaatiojärjestelmä, jotka pyritään valjastamaan myös kysynnän jouston tekniseen toteutukseen.

## 1.2 Hankkeen kuvaus

Projektin toteutukseen osallistuvat Tampereen teknillisen yliopiston sähkötekniikan ja rakennustekniikanlaitos, Tampereen ammattikorkeakoulun rakentamisen- ja teknologian-yksikkö, Lappeenrannan teknillisen yliopiston sähkömarkkinalaboratorio sekä näiden laajat poikkitieteelliset yhteistyöverkostot.

Sähkötutkimuspooli on käynnistänyt tutkimushankkeen, jossa tarkastellaan Suomeen soveltuvia käytännön ratkaisuja kuorman ohjaamiseksi sekä kysyntäjouston vaikutuksia jakeluverkkoyhtiöille. Hankkeen tarkoituksena on täydentää Cleen Oy:n Smart Grids and Energy Market (SGEM) -tutkimusohjelman tutkimusta aihealueelta.

Tarjouspyynnön mukaisesti hankkeen onnistunut toteuttaminen edellyttää laajaa poikkitieteellistä osaamis pohjaa ja yhteistyöta hojen verkostoa. (Projektisuunnitelma v.2.1 2013)

Projektin tulostavoitteeksi on asetettu suosituksia liittyen tekniseen kiinteistön sähköverkon suunnitteluun ja lainsäädännön muutostarpeisiin sekä sähkömarkkinamallin kehittämiseen. Tavoitteena on myös analysoida kysynnän jouston aiheuttamia vaikutuksia jakeluverkkoyhtiöille sekä kuinka vaikutuksiin pystytään vastaamaan.

Kokonaisuudessaan hanke jakautuu viiteen eri osatehtävään, joidenka toteutus pyritään tuottamaan hankkeen kaikkien eri osapuolten yhteistyönä. Osatehtävät 2, 3 ja 5 kuuluvat TAMK:n ja TTY:n painopisteeseen ja osatehtäviin 1 ja 4 kohdistuu LUT:n tutkimus.

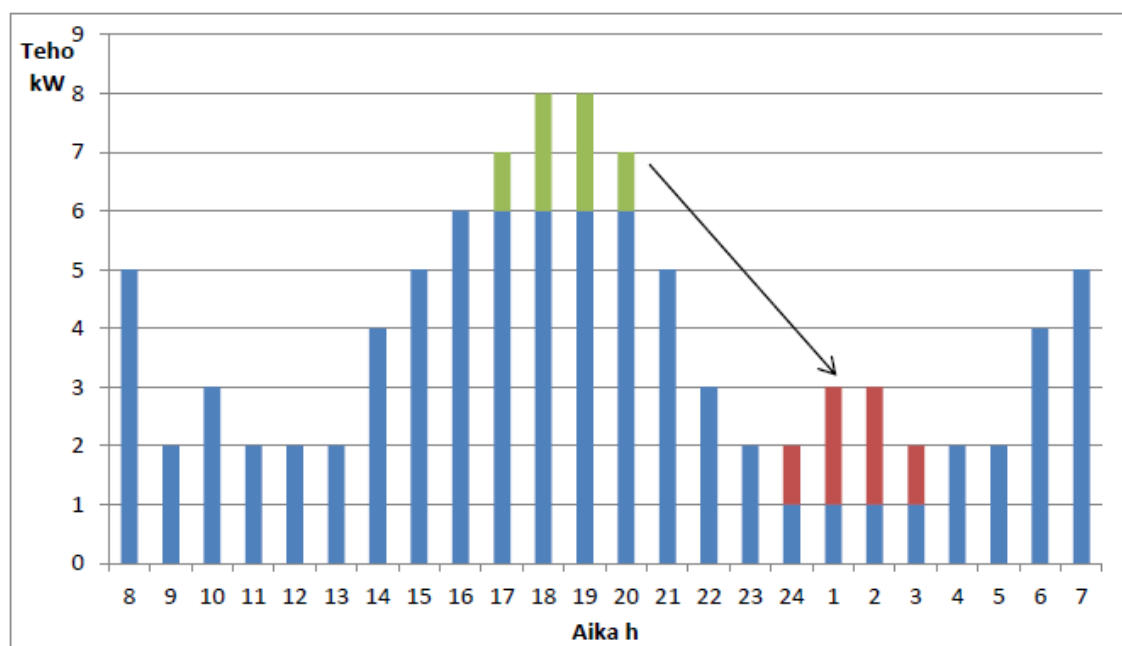
- 1) Kysynnän jouston tarpeet, hinnoittelurakenteet ja markkinamekanismit
- 2) Kysynnän jouston teknis-taloudellinen potentiaali
- 3) Kuluttajapään tekniset ratkaisut erilaisissa kohteissa
- 4) Kysyntäjouston vaikutukset jakeluverkkoyhtiöille
- 5) Lainsäädäntö ja viranomaisvalvonta

Hankkeen puitteissa järjestetään myös työpajoja, joihin pyritään hankkimaan paljon asiantuntijoita yritysmaailmasta käyttäen hankkeen toteuttajien laajaa yhteistyöverkostoa. Työpajojen kautta pyritään levittämään hankkeessa selvinneitä tuloksia alan toimijoiden keskuuteen. (Projektisuunnitelma v.2.1 2013)



## 2 KYSYNNÄN JOUSTOSTA YLEISESTI

Kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkönkäytön hetkellistä vähentämistä tai käytön siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan tunneilta edullisempaan ajankohtaan, kuten kuviossa 1 on esitetty. Kysyntäjoustoa tarvitaan lisää, kun joustamattoman tuotannon, esim. ydinvoiman ja uusiutuvan energian, määrä verkossa lisääntyy. Joustamaton tuotanto asettaa haasteita nykyiselle markkinamallille, jossa vain energialla käydään kauppaa. Kysyntäjouston lisääminen on yksi toimenpide, jolla yritetään turvata nykyisen markkinamallin säilyminen jatkossakin. (Kysyntäjousto 2014. Fingrid)



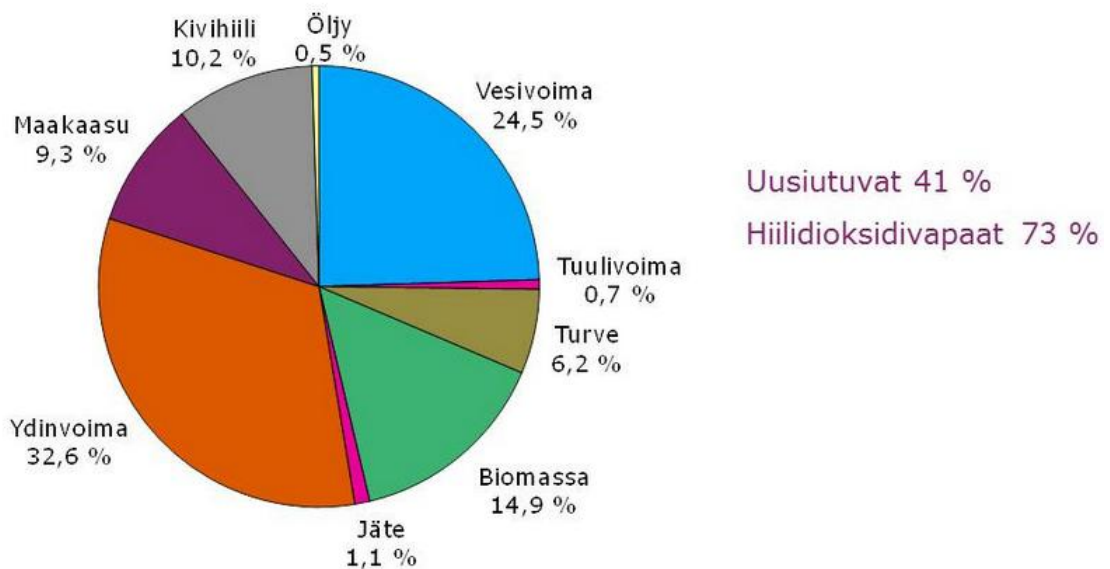
KUVIO 1. Kysynnän jouston havainnollistaminen (Grip K. 2013. Diplomityö)

### 2.1 Huipputehokuormitukset

Perinteisessä energiajärjestelmässä tuotanto on seurannut kulutusta, mutta tuuli- ja aurinkovoiman sekä tasaisesti ajettavan ydinvoiman lisääntyessä osan sähkön kulutuksesta tulisikin seurata tuotantoa ja järjestelmään tulisi nykyistä enemmän sisällyttää kysynnän joustoa ja energiavarastoja. Sähkön kysyntäjouston edistäminen on keskeinen tavoite älykkään sähköverkon kehittämisessä. Valtakunnallisten sähköntehohuippujen aikaan energian hinta yleensä nousee selvästi, ja näiden aikaan on käytössä myös paljon päästöjä aiheuttavia energiantuotantomuotoja. Kysyntäjouston avulla voidaan sähkönkulutusta siirtää sähköntehohuipuista toisiin ajankohtiin, tai

korvata sähkön tarve jollain vaihtoehtoisella tavalla. Vastaavasti sähkön kysynnän kuoppien ajankohtiin on mahdollista lisätä sähkönkulutusta korvaamalla muita energiamuotoja. Kuviossa 2 on esitettyä sähkötuotanto Suomessa energialähteittäin vuonna 2012. Sähkönjakeluverkon tasolla saattaa kuitenkin esiintyä tilanteita, jolloin verkon huippukuormitus osuu ajankohtaan, jolloin energia olisi halpaa, mikä lisää kysynnän joustoon problematiikkaa. Joustavasti käyttäytyvä ja ohjattavissa oleva kuormitus muodostaa merkittävän potentiaalin myös koko voimajärjestelmän erilaisille reserveille. Kysynnän jousto on laaja kokonaisuus, joka sisältävät järjestelmävaraavan, tasevaraavan, sähkönmyyjän, jakeluverkkoyhtiön sekä asiakkaan näkökulmat. (Projektisuunnitelma v.2.1 2013)

## Sähkön tuotanto energialähteittäin 2012 (67,7 TWh)



23.1.2013

KUVIO 2. Sähkön tuotanto energialähteittäin 2012

(Sähkön tuotanto. Energiateollisuus ry.)

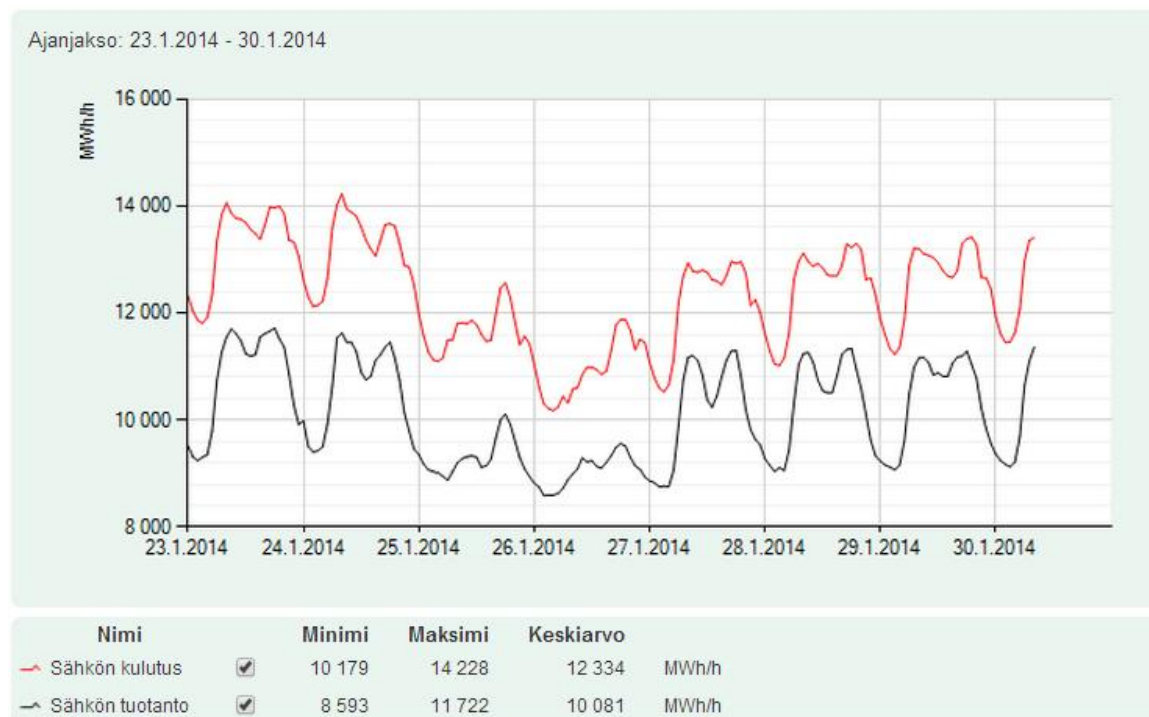
Sähkoyhtiöillä oli ennen sähkömarkkinoiden vapautumista osin yhtiökohtaisia, osin yhteiseen kytkentäsuositukseen perustuvia vaatimuksia erityisesti sähkölämmityskiinteistöjen tehonrajoituksista ja tehonohjausvarauksista. Vastaavia yhtiökohtaisia ohjeita on edelleen laajasti olemassa. Yleisesti kiinteistöjen

sähköverkkoja tai niiden ohjausjärjestelmiä ei ole suunniteltu eikä suunnittelua ole ohjattu ottamaan huomioon kuormanohjaustarpeita. Kuorman ohjauksen käyttöönotto edellyttää uusien kiinteistöjen sähköverkon ja laitevalintojen suunnittelun tavoitteellista ohjausta. Olemassa olevien kiinteistöjen järjestelmien muuttaminen on kuitenkin keskeistä merkittävän tehopotentialin saamiseksi, vaikka siihen liittyy suuria haasteita käytännön toteutuksissa.

(Projektisuunnitelma v.2.1 2013)

## 2.2 Huipputehokuormien vaikutukset

Huippukuormajaksoja esiintyy sähköverkossa vuorokausittain ja niiden suuruus ja kesto ovat pitkälti ennustettavissa. Syitä jaksoihin ovat ihmisten säännölliset asumistottumukset. Esimerkiksi asuinrakennusten sähkönkulutus lisääntyy voimakkaasti kello viiden jälkeen iltapäivällä, suurimman osan ihmisistä palattua töistä. Kulutuksen voidaan nähdä jälleen laskevan kello seitsemän jälkeen iltapäivällä. Tämä on havaittavissa kuviossa 3 esitetystä sähkönkulutuksen profiilissa.



KUVIO 3. Sähkön kulutus ja tuotanto MWh/h 23-30.1.2014 (Kulutus ja tuotanto. 2013. Fingrid)

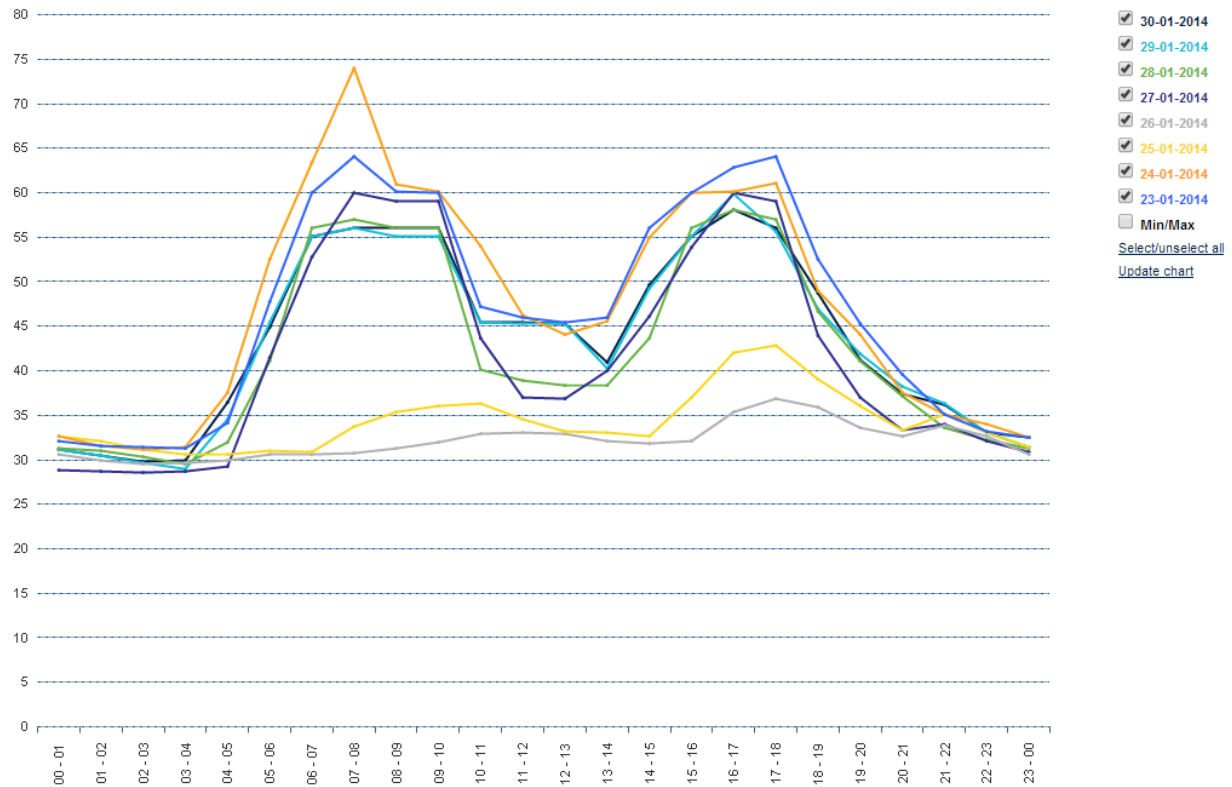
Huippukuormavoimaloiden tarkoituksena on pitää verkon taajuus vakiona. Siirtoverkon taajuus alkaa pudota, kun verkon kuormitus kasvaa liian suureksi. Tämä johtuu käytännössä voimakoneiden kapasiteetin ylittymisestä, joka hidastaa niiden pyörintänopeutta. Huippukuormitustilanteissa joudutaan tyypillisesti turvautumaan huippukuormavoimaloihin, jotka käyttävät esimerkiksi öljyä polttoaineenaan. Tämän tyyppisten voimalaitosten tarkoituksena on turvata keskeytymätön sähköjakelu huippukuormituksen aika, eikä niinkään tuottaa energiaa mahdollisimman tehokkaasti ja päästöttömästi. Kyseisillä voimalaitoksilla sähköntuotanto saattaa olla jopa tappiollista verkkoyhtiöille, mikä lisää tarvetta kulutushuppujen tasaamiselle.

Kysynnän jouston aiheuttamat muutokset heijastuvat suuresti Suomen sähköverkon aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin. Fossiilisia polttoaineita käyttävien huippukuormalaitosten vähentynyt käyttöaste pienentää osaltaan sähköntuotannon aiheuttamia päästöjä. Kysynnän jousto tarjoaa myös mahdollisuuden käyttää energiaa siihen aikaan päivästä, jolloin esimerkiksi tuuli- ja aurinkovoiman tuottama teho on suurimmillaan. Tämä tarkoittaa tulevaisuudessa erityisesti uusiutuvien energianlähteiden tuotantokapasiteetin kasvaessa, aiempaa suurempaa ekologisen energian käyttöasetta esimerkiksi sähköautojen latauksessa.

Sähköverkon kuormitus pyritään kysynnän jouston avulla tasaamaan. Tämä tarkoittaa varsinkin pitkillä siirtoyhteyksillä tehonsiirtohäviöiden pienentymistä, joka edelleen säästää energiaa käytettäväksi kulutuskohteissa. Vähentyneet hiilidioksidipäästöt helpottavat Suomen asemaa EU:n asettamissa päästökaupparamääräyksissä, joka vaikuttaa teollisuuden kilpailukykyyn.

### **2.3 Kustannusvaikutukset**

Kysynnän joustossa ei ole tarkoituksena vähentää kokonaiskulutusta. Osana kysynnän jouston toteutumisesta sähkön keskihinta tulee laskemaan ja sähkön tuntikohtaiset hintavaihtelut pienenevät, joka taas itsessään syö kysynnän jouston toimintaperiaatetta sekä mielekkyyttä siihen osallistumiseen kuluttajan näkökulmasta. Kuviossa 4 on esitettyinä erään ajanjakson tuntikohtaiset sähkön spot – hinnat. Tuntikohtaiseen hintaan vaikuttaa mm. kulutusennusteet ja sääolosuhteet.

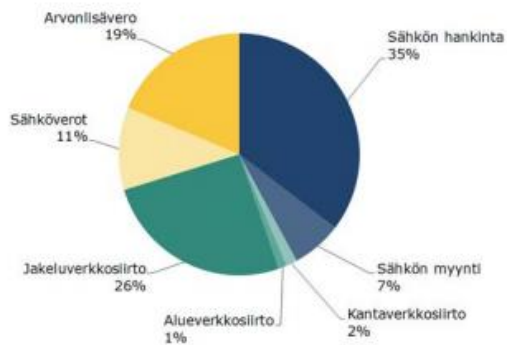


KUVIO 4. Sähkön tuntihinta €/MWh 23-30.1.2014 (EISpot. 2014. NordPool)

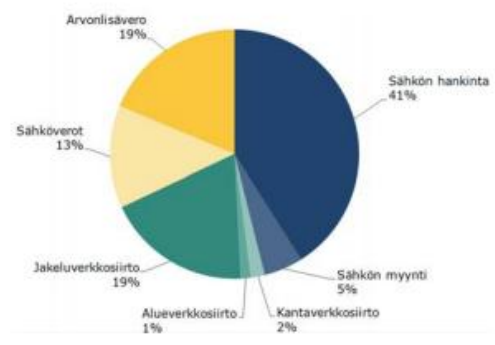
Sähkö hinta muodostuu kuluttajalle sähköenergian tuotannosta ja sähkösiirrosta. Kuluttaja voi ostaa sähköenergian haluamaltaan tuottajalta, esimerkiksi Fortum, Tampereen Sähkölaitos tms. Sähkön siirtoon asiakas ei voi luonnollisesti vaikuttaa, sähköä siirtävä verkkoyhtiö määräytyy asiakkaan sijainnin mukaan.

Asiakas maksaa sähkölaskussa sekä kuluttamastaan sähköstä että sähkön siirrosta. Tämän lisäksi asiakkaan maksettavaksi tulee erilaisia veroja. Sähkönmyyntiyhtiöitä voi kilpailuttaa, siirtoa ei. Sähkön hinnan muodostuminen on kuvattu kuviossa 5.

### Tyypillisen kotitalouskuluttajan sähkön hinnan muodostuminen

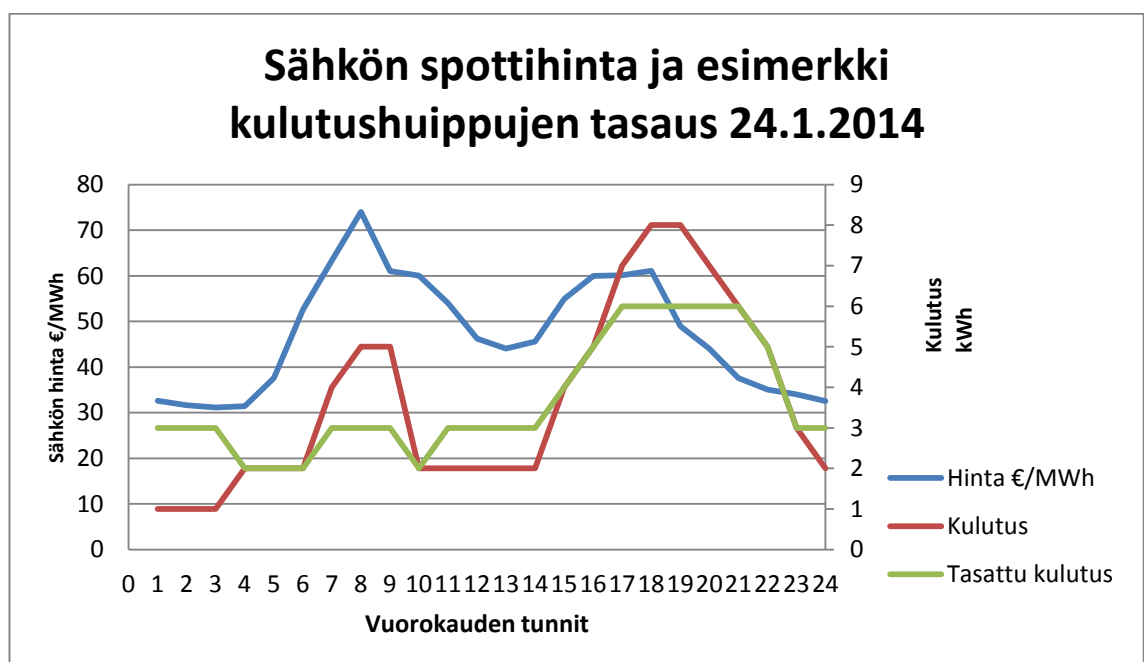


### Tyypillisen sähkölämmittäjän sähkön hinnan muodostuminen



KUVIO 5. Sähkön hinnan muodostuminen. (Sähkön hinta pähkinänkuoressa. 2013. Energiateollisuus ry)

Kuviossa 6 on esitettyä esimerkki kulutushuippujen tasaamisesta sekä sen kustannusvaikutuksista taulukossa 1. Kuten esimerkistä voidaan todeta, normaalissa ja tasatussa kulutuksessa kulutetaan saman verran sähköenergiaa, mutta kulutuksen intensiteetti painottuu eri vuorokauden ajankohtiin. Tässä esimerkissä sähköenergian kulutuksen tasaamisella päästään viiden prosentin säästöön energiakustannuksissa. Suurempiinkin säästöprosentteihin voidaan päästä, jos sähkön hintavaihtelut ovat radikaalimpia, kuin tässä esimerkissä, mutta todennäköisesti säästöprosentti pysyy alle kymmenen.



KUVIO 6. Esimerkki kulutushuippujen tasauksesta (Salminen, Eskelinen 2014)

TAULUKKO 1. Kulutushuippujen tasauksen vaikutus kustannuksiin. (Salminen, Eskelinen 2014)

| KULUTUS     |           |           | SPOT HINTA |       | HINTA/TUNTI    |                |
|-------------|-----------|-----------|------------|-------|----------------|----------------|
| NORMAALI    | TASATTU   |           | Klo        | €/MWh | NORMAALI       | TASATTU        |
| kWh         |           | Klo       |            |       | €              | €              |
| 1           | 3         | 00 - 01   | 00 - 01    | 32,62 | 0,03262        | 0,09786        |
| 1           | 3         | 01 - 02   | 01 - 02    | 31,6  | 0,0316         | 0,0948         |
| 1           | 3         | 02 - 03   | 02 - 03    | 31,16 | 0,03116        | 0,09348        |
| 2           | 2         | 03 - 04   | 03 - 04    | 31,38 | 0,06276        | 0,06276        |
| 2           | 2         | 04 - 05   | 04 - 05    | 37,6  | 0,0752         | 0,0752         |
| 2           | 2         | 05 - 06   | 05 - 06    | 52,58 | 0,10516        | 0,10516        |
| 4           | 3         | 06 - 07   | 06 - 07    | 63,38 | 0,25352        | 0,19014        |
| 5           | 3         | 07 - 08   | 07 - 08    | 74,02 | 0,3701         | 0,22206        |
| 5           | 3         | 08 - 09   | 08 - 09    | 61    | 0,305          | 0,183          |
| 2           | 2         | 09 - 10   | 09 - 10    | 60,07 | 0,12014        | 0,12014        |
| 2           | 3         | 10 - 11   | 10 - 11    | 53,98 | 0,10796        | 0,16194        |
| 2           | 3         | 11 - 12   | 11 - 12    | 46,23 | 0,09246        | 0,13869        |
| 2           | 3         | 12 - 13   | 12 - 13    | 44,07 | 0,08814        | 0,13221        |
| 2           | 3         | 13 - 14   | 13 - 14    | 45,57 | 0,09114        | 0,13671        |
| 4           | 4         | 14 - 15   | 14 - 15    | 54,96 | 0,21984        | 0,21984        |
| 5           | 5         | 15 - 16   | 15 - 16    | 60    | 0,3            | 0,3            |
| 7           | 6         | 16 - 17   | 16 - 17    | 60,09 | 0,42063        | 0,36054        |
| 8           | 6         | 17 - 18   | 17 - 18    | 61,09 | 0,48872        | 0,36654        |
| 8           | 6         | 18 - 19   | 18 - 19    | 48,94 | 0,39152        | 0,29364        |
| 7           | 6         | 19 - 20   | 19 - 20    | 44,06 | 0,30842        | 0,26436        |
| 6           | 6         | 20 - 21   | 20 - 21    | 37,61 | 0,22566        | 0,22566        |
| 5           | 5         | 21 - 22   | 21 - 22    | 35,09 | 0,17545        | 0,17545        |
| 3           | 3         | 22 - 23   | 22 - 23    | 34,04 | 0,10212        | 0,10212        |
| 2           | 3         | 23 - 00   | 23 - 00    | 32,51 | 0,06502        | 0,09753        |
| <b>YHT.</b> | <b>88</b> | <b>88</b> |            |       | <b>4,46434</b> | <b>4,21983</b> |

SÄÄSTÖ 0,24451 €

5 %

### **3 TYYPPIKIINTEISTÖT JA ESIMERKKITAPAUKSET**

#### **3.1 Kiinteistöjen luokittelu**

Suomen rakennuskanta voidaan jakaa osiin käyttämällä tilastokeskuksen rakennusluokitusta vuodelta 1994. Rakennusluokitus on hyvä työkalu pohdittaessa erilaisia tyypillisiä esimerkkikiinteistöjä ja kysynnän jouston kannattavuutta niiden sähkön kulutuksen optimoinnissa. Näiden tietojen pohjalta hankittiin erilaisten kohteiden sähkösuunnitelmadokumentteja yhteistyökumppaneilta. Projektissa käytetyt sähkösuunnitelmadokumentit valikoitiin siten, että erilaisista kohteista saatiin kattavasti kuvia eri aikakausilta. Pidimme tätä tärkeänä koska sähkölaitoksilla on asiakkaina suuri määrä erilaisia kiinteistöjä, jotka on rakennettu eri aikakausina ja täysin eri lähtökohdista.

Esimerkkikiinteistöjen avulla laadittiin mallitapauksia erityyppisten kiinteistöiden sähkökulutuksesta ja sen jakaantumisesta kiinteistön erilaisten sähköjärjestelmien kesken. Esimerkkitapaukset antavat tietoa erilaisten kohteiden todellisista tehonpudotus mahdollisuuksista.

#### **3.2 Tehonohjaus mahdollisuuksien määrittely**

Tehonohjauksen mahdollisuuksien määrittelyä varten laadittiin kuvion 7 mukainen taulukko, johon eritellään kohteen keskuskaavioista näkyvien lähtöjen perusteella erilaiset kuormitukset. Taulukkoon on myös merkitty mahdollinen pudotettavissa oleva teho ja toisaalta tehot joihin ei voida vaikuttaa tai joiden ohjaaminen ei olisi kohtuullista asiakkaalle.



| Luokka               | Tyyppi                  | Lämmitysmuoto           | > 1970 | 1970-1980 | 1980-1985 | 1986-1990 | 1991-1995 | 1996-2000 | 2001-2005 | 2005-2010 | 2011- |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| Asuinrakennukset     | Pientalo                | Sähkölämmitys ("suora") |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      |                         | Sähkölämmitys (varaaja) |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      |                         | Öljy/kaukolämpö         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      |                         | Maalämpö                |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      |                         | Lämpöpumput/"seka"      |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      | Rivitalo                | Sähkölämmitys ("suora") |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      |                         | Öljy/kaukolämpö         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      |                         | Maalämpö                |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      | Kerrostalo              | Öljy/kaukolämpö         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      |                         | Maalämpö                |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
| Lomakiinteistö       | Sähkölämmitys ("suora") |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      | Muu                     |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
| Hoitoalanrakennukset | Terveyskeskukset        |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      | Sairaala                |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      | Päiväkodit              |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
| Opetusrakennukset    | Koulut                  |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      | Korkeakoulut            |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
| Toimistorakennukset  | Toimistorakennukset     |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      | Myyntirakennukset       |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |

KUVIO 7. Periaatekuva tietojen keräykseen käytetystä taulukosta (Harsia P. 2013)

Tapausten esittelyä varten laadittiin erityyppisiä tutkimuskohteita, joiden avulla havainnollistetaan esimerkkitapauksia. Kuviossa 7 esitetään vihreällä värillä työssä käytetyt tutkimuskohteet.

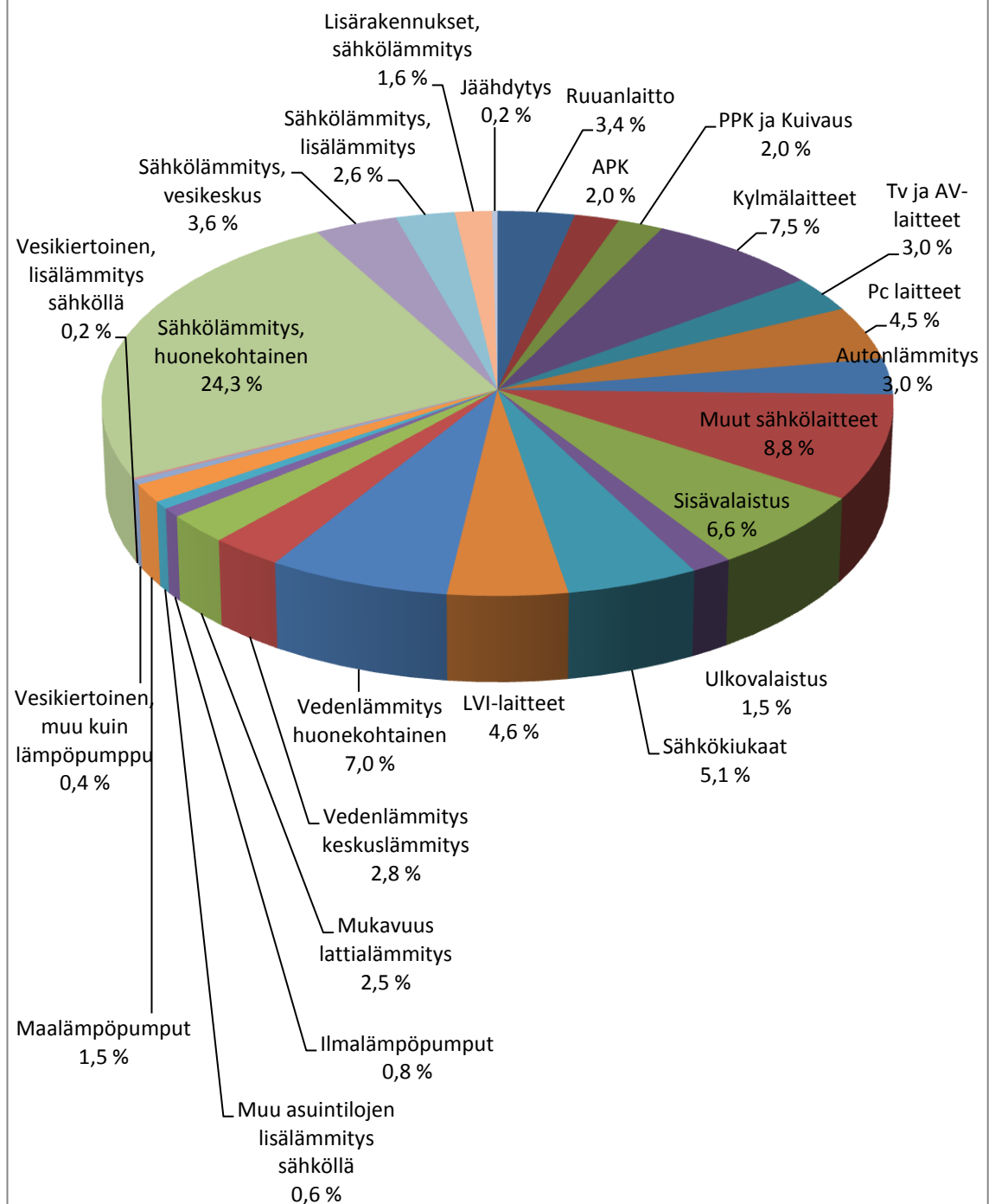
Kun tyyppikiinteistöt ja Suomen rakennuskanta on tiedossa, niin voidaan taulukossa 2 esitettyjen kulutustietojen perusteella arvioida varovaisesti, kuinka suuri potentiaali Suomen asuin- ja kiinteistömarkkinoista on saatavilla kuormanohjauksen piiriin.

Asuinkiinteistöjen kulutustiedot ovat lisäksi havainnollistettu kuiviossa 8. Kulutustiedoista on havaittavissa, että yli puolet asuinkiinteistöjen käyttämästä sähköenergiasta kuluu kiinteistön lämmittämiseen.

TAULUKKO 2. Kotitalouksien sähkökäyttö 2011 (Tutkimusraportti. 2013. Motiva)

| <b>Kodinsähkölaitteet</b>                    | <b>GWh</b>   | <b>%</b>  |
|--|--------------|-----------|
| Ruuanlaitto                                  | 632          | 3         |
| APK  | 367          | 2         |
| PPK ja Kuivaus                               | 373          | 2         |
| Kylmälaitteet                                | 1410         | 7         |
| Tv ja AV-laitteet                            | 564          | 3         |
| Pc laitteet                                  | 848          | 4         |
| Autonlämmitys                                | 571          | 3         |
| Muut sähkölaitteet                           | 1649         | 9         |
| Sisävalaistus                                | 1230         | 6         |
| Ulkovalaistus                                | 290          | 2         |
| <b>Yht.</b>                                  | <b>7934</b>  | <b>41</b> |
| <b>Asunnon lämmitykseen liittyvä kulutus</b> |              |           |
| Sähkökiukaat                                 | 948          | 5         |
| LVI-laitteet                                 | 861          | 4         |
| Vedenlämmitys huonekohtainen                 | 1307         | 7         |
| Vedenlämmitys keskuslämmitys                 | 520          | 3         |
| Mukavuus lattialämmitys                      | 464          | 2         |
| Ilmalämpöpumput                              | 142          | 1         |
| Muu asuintilojen lisälämmitys sähköllä       | 122          | 1         |
| Maalämpöpumput                               | 287          | 1         |
| Vesikiertoinen, muu kuin lämpöpumppu         | 79           | >1        |
| Vesikiertoinen, lisälämmitys sähköllä        | 29           | >1        |
| Sähkölämmitys, huonekohtainen                | 4562         | 24        |
| Sähkölämmitys, vesikeskus                    | 681          | 4         |
| Sähkölämmitys, lisälämmitys                  | 485          | 3         |
| Lisärakennukset, sähkölämmitys               | 303          | 2         |
| Jäähdytys                                    | 46           | >1        |
| <b>Yht.</b>                                  | <b>11302</b> | <b>59</b> |

## Suomen asuinkiinteistöjen sähkönkäytön jakautuminen vuonna 2011



KUVIO 8. Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011 (Tutkimusraportti. 2013. Motiva)

## **4 HUIPPUKUORMIEN OHJAUS**

### **4.1 Huippukuormien rajoitus uudiskohteissa**

Uudiskohteissa huippukuormien rajoittaminen pystytään totuttamaan kustannustehokkaammin, kuin olemassa olevissa kohteissa. Rajoituksen toteuttamiseen on useita eri vaihtoehtoja ja niiden toteuttaminen tulee huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Suurin este kuorman ohjauksen toteutumislle ei ole olemassa olevan tekniikan puute, vaan teknillistaloudellisesti kaikille osapuolille kannattavan ratkaisun rakentamisessa.

### **4.2 Huippukuormien rajoitus olemassa olevissa kohteissa**

Pienillä muutoksilla tehoreserviin olisi mahdollista valjastaa merkittäviä määriä olemassa olevia kiinteistöjä. Olemassa olevissa kohteissa rajoituksen toteutettavuus riippuu paljon kohteen sähköverkon rakenteesta ja olemassa olevista ohjausmahdollisuuksista. Jesse Rantasen opinnäytetyössä tutkittiin asuinrakennusten ja Joona Siivosen työssä julkisten kiinteistöjen ohjauspotentiaalia aikakausittain.

### **4.3 Potentiaalisten ongelmien analyysi**

Pitkälle automatisoituja etäohjauksia toteutettaessa on syytä perehtyä ohjauksen mahdollisesti aiheuttamiin potentiaalisiin ongelma- ja vaaratilanteisiin. Kysynnän jouston teknisessä toteutuksessa on syytä ottaa huomioon ohjauksen välittömät ja välilliset vaikutukset turvallisuuteen. Kuviossa 9 on esitettyä osakopio potentiaalisten ongelmien analyysistä ja koko analyysi on tarkasteltavana liitteessä 1.

| Ohjattava järjestelmä  |  |  |
|--|--|--|
| Liesi/uuni   | Pesukoneet   | Sähköautojen lataus  |
| Valvomaton laitteiden käyttö <sup>1)</sup>                                 | Valvomaton laitteiden käyttö <sup>1)</sup>                                 | Vähäinen latauksen ajoon lähettäessä, akustojen vanheneminen |
| Tulipalo   | Vesivahinko, tulipalo  | Ajon keskeytyminen, akustojen uusimisen tarve                |
| Sähkökatkon jälkeen laite käynnistettävä uudestaan. Älykkäät sähkölaitteet | Sähkökatkon jälkeen laite käynnistettävä uudestaan. Älykkäät sähkölaitteet | Älykäs akustojen lataus                                      |

KUVIO 9. Potentiaalisten ongelmien analyysi, osakopio.

#### 4.4 Hajautetun tuotannon käyttäminen huippukuorman aikana

Paikallisen pientuotannon kannattavuuden voidaan päätellä parantuvan, mikäli paikallinen kysyntä vastaa kasvaneeseen tuotantoon. Verkon toiminta tehostuu, mikäli pienien tuotantoyksiköiden tuottamaa tehoa ei tarvitse siirtää kauas. Esimerkiksi älykkäät sähköautojen latausasemat voisivat ladata autojen akustoja, kun pientuotannon tuottama teho olisi suurimmillaan. Vastaavasti latausasemat voisivat purkaa akustoja sähköverkon käyttöön kulutushuippujen aikana.

Jos kiinteistössä on käytössä omaa pientuotantoa huippukuormituksen aikaan, ei tehonrajoitusta tarvitse välttämättä toteuttaa kyseisessä kohteessa, eikä se ole välttämättä kannattavaakaan. Jos pientuotannon tuottama teho pystyy kattamaan kiinteistön hetkellisen tehonrajoituksen ohjaaman kuorman tehontarpeen, ei tehonrajoitusta kannata toteuttaa, ainakaan kuluttajan näkökulmasta. Sähköverkon kannalta tehonrajoitus kannattaisi silti tässäkin tilanteessa toteuttaa ja käyttää pientuotannon teho muun verkon tarpeeseen. Tämä edellyttäisi kuluttajan näkökulmasta spot -hintaista syöttötariffia pientuotantoon.

## 5 OLEMASSA OLEVAT AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT

Tässä kappaleessa käsitellään olemassa olevien sähkölämmityskohteiden automaatio- ja ohjausjärjestelmien potentiaalia kysynnän jouston toteuttamiseen. Kaksi merkittävintä järjestelmää esitellään erikseen omissa kappaleissaan. Erilaisia automaatiojärjestelmiä on asennettu yleisesti sähkölämmityskohteisiin, varsinkin sähkölämmitteisiin omakotitaloihin, 1980 – luvulta lähtien. Kappaleessa perehdytään erikseen myös suurten kiinteistöjen LVI-järjestelmiä ohjaavaan automaatioon, joista otetaan esille eräät järjestelmät. Yhtenä merkittävä ohjausjärjestelmänä kysynnän jouston kannalta voidaan pitää myös DALI – valaistuksenohjausjärjestelmää, joka käsitellään omassa kappaleessaan. Taulukossa 3 on kuvattuna tässä työssä esiteltävien järjestelmien esiintyminen olemassa olevissa kiinteistöissä.

Olemassa olevien automaatio- ja ohjausjärjestelmien potentiaali saattaa muodostua hyvinkin suureksi, järjestelmien suomista eduista johtuen, verrattuna ilman ohjausjärjestelmää toteutettuun kohteeseen. Kohteissa, joissa on käytössä jokin ohjausjärjestelmä, on lämmityskuormat luonnollisesti ryhmitelty valmiiksi omiin ryhmiinsä, sekä kuormien ohjaus tapahtuu yleensä yhdestä paikasta. Joissakin järjestelmissä on lisäksi huomioitu tehonrajoituksen toteuttaminen valmiiksi, joten asennusmuutokset näissä kohteissa tulevat olemaan kohtalaisen pieniä. Asennusmuutoksissa on oletettu, että tehonrajoitustieto tuodaan AMR –mittarin tehonrajoitusreleeltä potentiaalivapaana kosketintietona, mutta tehonrajoitustieto on mahdollista tuoda myös jostakin muusta järjestelmästä. Tietoa lienee helpoin käsitellä olemassa olevissa automaatiojärjestelmissä potentiaalivapaana kosketintietona. Eri järjestelmien asennusmuutosten kustannusvaikutukset ovat esitettyinä kappaleessa 6.2.



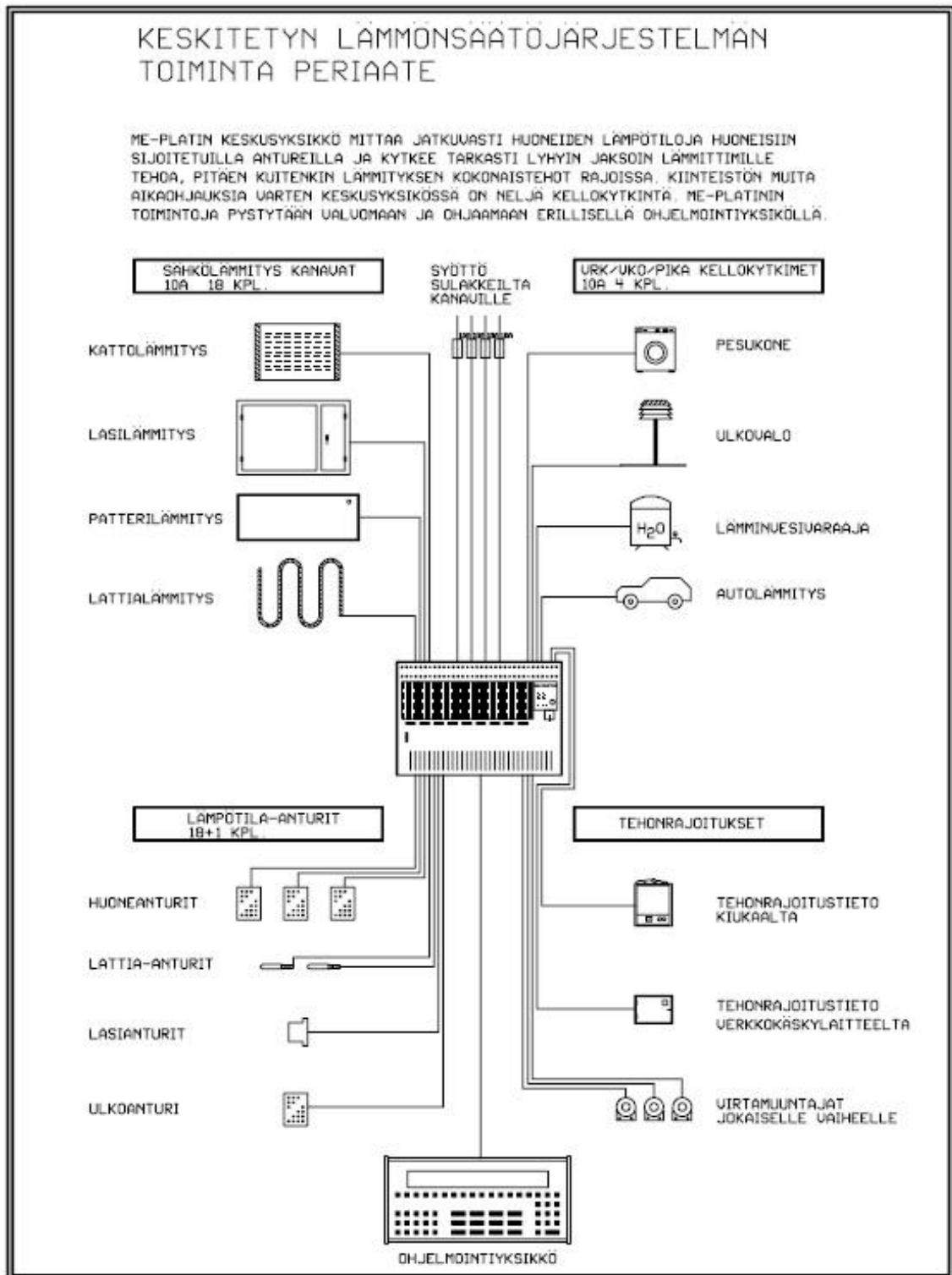
## 5.1 ME-Platin

Muurlan Elektroniikka Oy:n vuonna 1985 markkinoille saattama sähkölämmitykseen suunniteltu keskitetty lämmönsäätöjärjestelmä.” Sen käyttökohteita ovat omakotitalot, rivitalot, pienteollisuuskiinteistöt sekä julkiset kiinteistöt kuten päiväkodit, majoitusliikkeet ja vastaavat tilat” (Lämmönsäätöjärjestelmä ME-Platin. 2013. ME-Platin). Järjestelmää on asennettu pääosin omakoti- ja vapaa-ajankiinteistöihin.

ME-Platin –järjestelmän toimintaperiaate on esitetty kuviossa 10. Järjestelmässä on 18 kpl 10 ampeerin lämmityskanavaa ja neljä 10 ampeerin kello-ohjattua kanavaa. Lämmityskanavia voidaan ohjata kaikkia erikseen lämpötilamittauksen mukaan. Kello-ohjattuihin kanaviin on kytketty yleensä esimerkiksi lämminvesivaraaja, autolämmitys, ulkovalaistus sekä ilmastointi.

Tehonrajoituksen toteuttamiseen ME-Platinin viimeisimmässä järjestelmässä (ME-Platin-18F) on neljä eri vaihtoehtoa; kanavamäärään perustuva rajoitus, laskettuun virtarajaan perustuva tehonrajoitus, mitattuun virtaan perustuva tehonrajoitus tai ulkoinen ohjaustieto. Tätä ulkoista ohjaustietoa käytetään tehonrajoituksen toteuttamiseen kappaleessa 5.1.1 asennusmuutokset.

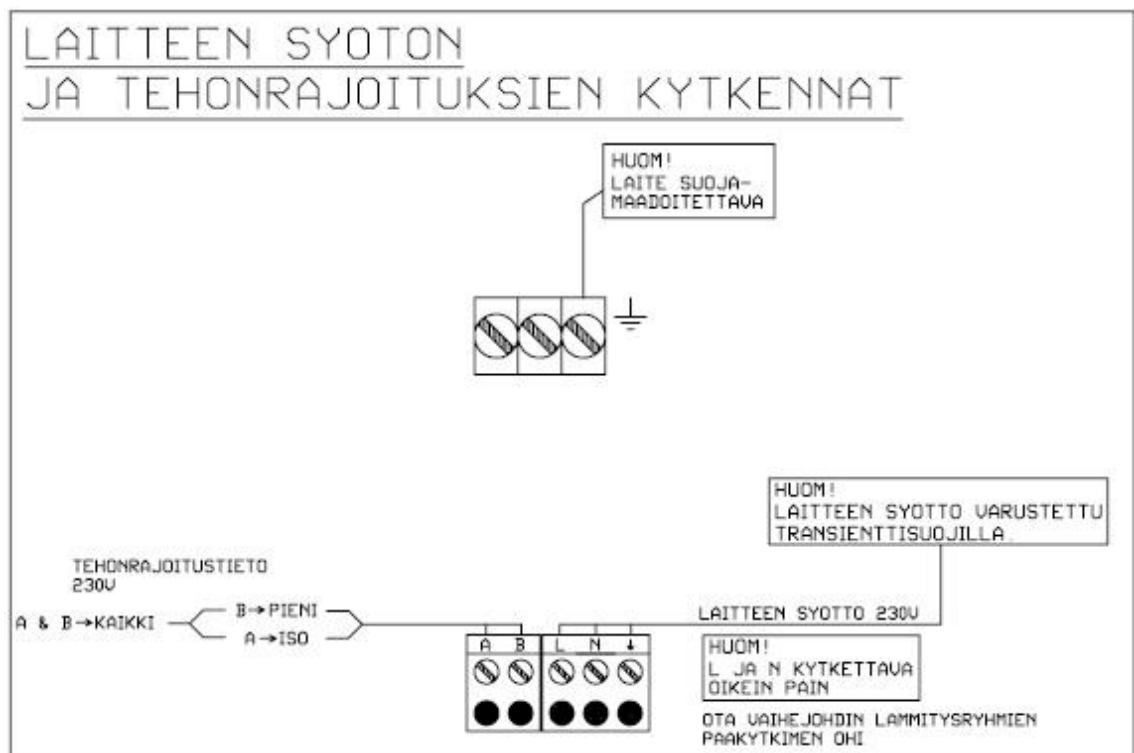




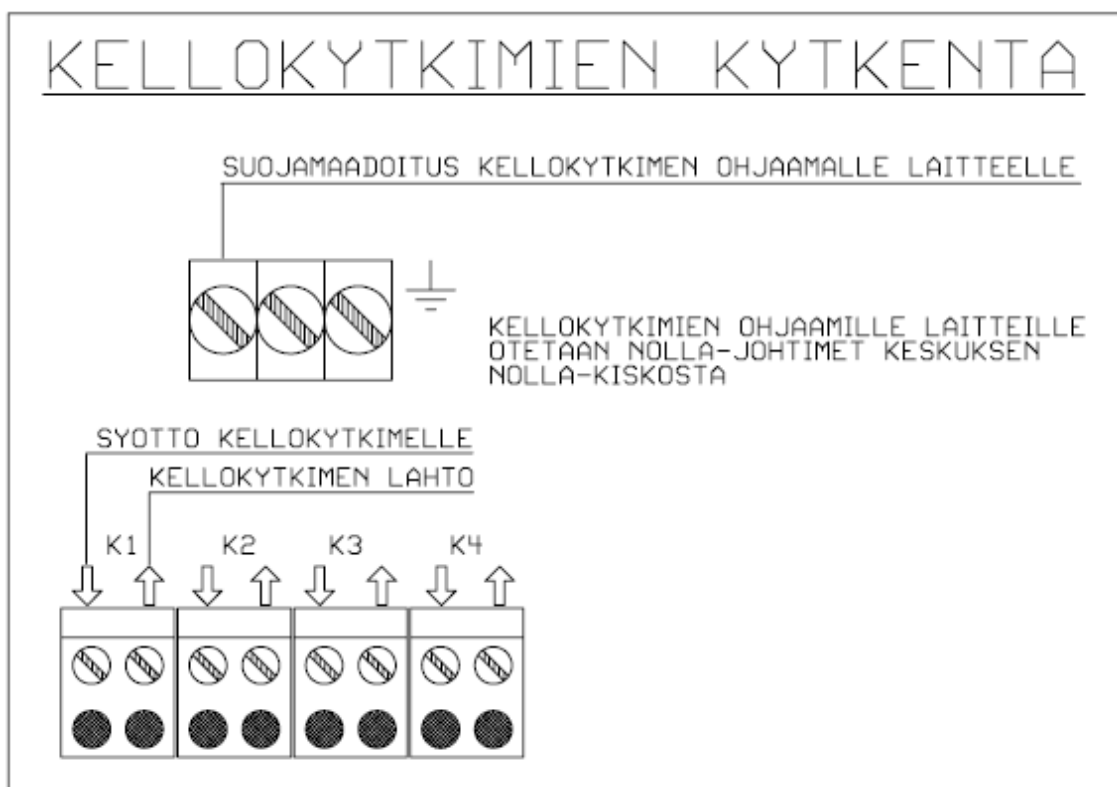
KUVIO 10. ME-Platin toimintaperiaate (ME-Platin suunnitteluohje, 2001. Muurlan Elektronikka Oy).

### 5.1.1 Asennusmuutokset

Järjestelmään on tuotavissa ulkoinen tehonrajoitustieto kolmessa eri portaassa. Ulkoinen tehonrajoitus, esitetty kuviossa 11, aktivoituu tuotaessa 230 V vaihtojännite tehonrajoitustietoliittimelle A ja/tai B. Tämä tehonrajoitustieto voidaan tuoda AMR – mittarin tehonrajoitusreleeltä. Sama tehonrajoitustieto voidaan käyttää kuvion 12 kello-ohjattujen lähtöjen, kuten lämminvesivaraajan ohjaamiseen pois päältä huippukuormituksen aikaan. Ulkoisen tehonrajoituksen toteuttavat asennusmuutokset tyypillisessä kohteessa ovat esitettyinä liitteessä 2.



KUVIO 11. ME-Platin tehonrajoituksen kytkentä (ME-Platin asennusohje. 2001. Muurlan Elektroniikka Oy)



KUVIO 12. ME-Platin kellokytkimien kytkentä (ME-Platin asennusohje. 2001. Muurlan Elektroniikka Oy)

## 5.2 Ouman EH-60

Oumanin vuonna 2002 julkaisema EH-60 on järjestelmä sähkölämmitteisen omakotitalon, kesämökin tai pienen liikekiinteistön ohjaukseen ja valvontaan. EH-60 –järjestelmällä voidaan toteuttaa kiinteistön lämmityksen ohjaus ja erilaisia valvontatoimintoja sekä kotona-poissa -ohjaus. Järjestelmä on liitettävissä GSM- ja Web – käyttöliittymiin. Järjestelmää on asennettu pääosin omakoti- ja vapaa-ajankiinteistöihin.

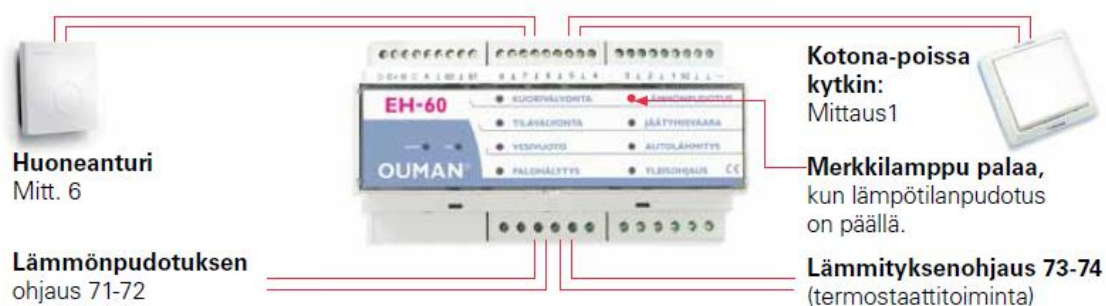
EH-60 –järjestelmään on saatavilla selainpohjainen etäohjaus- ja valvontaratkaisu, jonka periaate on esitetty kuviossa 13. Tämä ratkaisu on suositeltavaa, jos valvottavia kohteita on useita tai jos kiinteistö sijaitsee kaukana. EH-60 on tällöin kytkettävä Modbus- väylän välityksellä EH-net palvelimeen, sekä halutessa myös GSM – modeemiin. Etäohjausratkaisun avulla voi esimerkiksi säätää kiinteistöjen lämpötiloja ja muuttaa säätöjen asetusarvoja sekä lukea mittauksia hälytyshistoriaa.



KUVIO 13. Ouman EH-net ja GSM palvelut. (EH-60 käsikirja. Ouman Oy)

Lämmityksen ohjaus ja valvonta voi tapahtua järjestelmällä kolmella eri tavalla; termostaattitoiminto, lämmönpuodustoiminto, jäätymisvaaratoiminto. Termostaattitoiminto: ”kotona-poissa-ohjaus toimii siten, että matkapuhelimella (tai paikallisella kotona-poissa-kytkimellä) voidaan nostaa ja laskea huonelämpö ennalta määrättyihin tasoihin, joita voidaan muuttaa matkapuhelimella. Termostaattitoiminta edellyttää, että huoneanturin on oltava kytkettynä säätimeen ja lämmitystä on ohjattava kontaktoreilla.” (EH-60 käsikirja. Ouman Oy)

Lämpötilanpuodustoiminto: ”kotona-poissa-ohjaus toimii siten, että joko matkapuhelimella tai paikallisella kytkimellä nostetaan ja lasketaan huonelämpö ennalta määrättyihin tasoihin. Kotona- ja poissa lämpötilan asetteleminen tehdään termostaateilla, jotka sijaitsevat joko lämmityspattereissa tai lämmitettävän tilan seinällä. Lämmönpuodustoiminnossa asetusarvoja ei siis voi muuttaa matkapuhelimella. Ainoastaan kotona-poissa-toiminnon tila on muutettavissa.” (EH-60 käsikirja. Ouman Oy) Kuviossa 14 on esitettyä EH-60 –järjestelmän kytkentäperiaate lämmityksen osalta.



KUVIO 14. EH-60 –järjestelmän kytkentäperiaate lämmityksen osalta. (EH-60 käsikirja. Ouman Oy)

### 5.2.1 Asennusmuutokset

Järjestelmään ei voida suoraan tuoda ulkoista tehonrajoitustietoa, vaan muutokset täytyy tehdä sähkökeskuksen ohjauskytkentöihin. Tehonrajoituksen kytkentämuutos toteutetaan, sen mukaan, mikä toiminto järjestelmässä on käytössä. Jos käytössä on lämmönpudotustoiminto, kytketään AMR – mittarin tehonrajoituksen NO – kosketin ennen lämmönpudotuksen kontaktoria. Jos käytössä on termostaattitoiminto, kytketään AMR – mittarin tehonrajoituksen NC – kosketin ennen huonelämmityksen kontaktoria. Ulkoisen tehonrajoituksen toteuttavat asennusmuutokset Ouman EH-60 -järjestelmässä ovat esitettyinä liitteessä 3.

### 5.3 DALI

”DALI (Digital Addressable Lighting Interface) on kansainvälisiin standardeihin (IEC 60929 ja IEC 62386) perustuva, valaistuksen ohjaukseen tarkoitettu avoin tiedonsiirtoprotokolla. DALI kehitettiin suurten valaisin- ja liitäntälaittevalmistajan yhteistyönä 1990-luvun loppupuolella.” (Kallioharju K. 2013. Koulutusmateriaali)

DALIa ollaan käytetty Suomessa enimmäkseen suurten kohteiden, kuten koulujen ja liikekiinteistöjen, valaistuksen ohjaamiseen. Yhtenä suurena referenssikohteena toimivat Tampereen ammattikorkeakoulun G- ja F-talot. DALI on kasvattamassa asemaansa valaistuksen ohjausjärjestelmien keskuudessa sen energiansäästö mahdollisuuksien ja kohtalaisen edullisten investointikustannusten ansiosta. DALI

pystytään liittämään myös muiden automaatiojärjestelmien kanssa yhteen, joiden kautta tehonpudotustieto voidaan välittää.

Kysynnän jouston kannalta DALIa voitaisiin hyödyntää laskemalla kiinteistön valaisimien valotaso ohjelmallisesti, kulutuspiikin aikaan. Tieto kulutuspiikistä voitaisiin tuoda järjestelmään AMR –mittarin tehonrajoitusreleeltä kosketintietona. Kuviossa 15 on esitettyä valaisimien valotason säätökäyrän ja ihmissilmän aistiman valotason suhde. Suurissa kohteissa valaistustehoa on useita kilowatteja, joten myös valaistuksella voidaan saavuttaa suuria potentiaaleja kysynnän jouston kannalta. Esimerkiksi Tampereen ammattikorkeakoulussa DALI –järjestelmä ohjaa yli 50 kilowattia valaistustehoa, joka on merkittävä teho yhden kiinteistön tehonrajoituspotentiaali pelkän valaistuksen osalta.



KUVIO 15. Valonsäätö DALI (TAMK Valaistussuunnittelu kurssin koulutusmateriaali, 12.2.2013, Kari Kallioharju)

### 5.3.1 Olosuhdevaikutukset

Tampereen ammattikorkeakoulun tiloissa suoritettiin Helvar Oy:n DALI järjestelmää ja valaistuksen säätämistä selventäviä mittauksia kysynnän jouston kannalta. Mittauksilla pyrittiin selvittämään valaisimien ottaman sähkötehon käyttäytyminen valaistusvoimakkuuden suhteen. Taulukossa 4 on esitettyinä suorat mittaustulokset eri ohjauksen prosenttiarvoilla. Taulukosta havaitaan järjestelmän ns. tyhjäkäyntiteho,

jonka järjestelmä kuluttaa, vaikka valaisimet ovat kokonaan pois päältä. Tyhjäkäyntiteho käytännön sovelluksessa lähes merkityksettömän pieni, mutta tässä mittauksessa sen osuus on suuri, johtuen mitatun järjestelmän pienestä tehosta. Samasta taulukosta havaitaan myös mittaustilanteen häiriövalaistus, 1,4 lx.

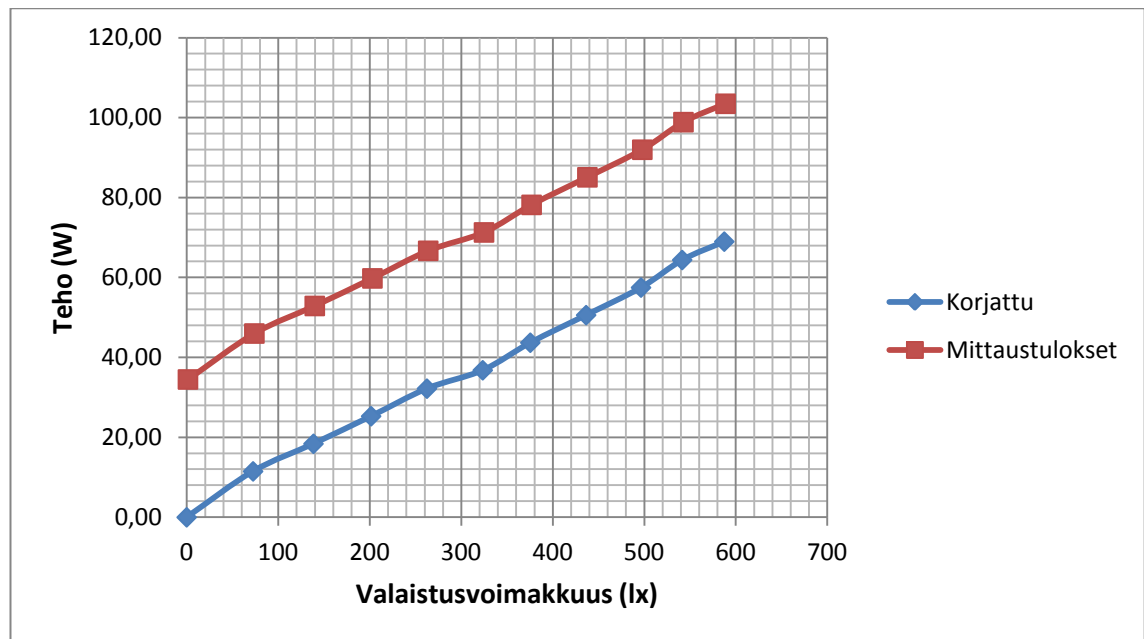
Taulukossa 5 on esitettyinä mittaustulokset, joista on vähennettynä järjestelmän tyhjäkäyntiteho ja mittaustilanteen häiriövalaistus. Täten mittaustuloksista on saatu paremmin todellista tilannetta ja tehoja kuvaavat. Mittaustulokset ovat havainnollistettu liitteen 4 kuvaajissa. Kuviossa 16 on esitettyinä valaistuksen ottaman tehon käyttäytyminen valaistusvoimakkuuden suhteen.

TAULUKKO 4. Mittaustulokset.

| VALAISTUS OHJAUS DALI<br>(0-100%) | MITTAUKSET               |           |          | SUHDE TÄYTEEN OHJAUSKÄSKYYN |                     |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------|----------|-----------------------------|---------------------|
|                                   | VALAISTUSVOIMAKKUUS (lx) | VIRTA (A) | TEHO (W) | TEHO                        | VALAISTUSVOIMAKKUUS |
| 100                               | 589                      | 0,45      | 103,50   | 100 %                       | 100 %               |
| 90                                | 543                      | 0,43      | 98,90    | 96 %                        | 92 %                |
| 80                                | 498                      | 0,40      | 92,00    | 89 %                        | 85 %                |
| 70                                | 438                      | 0,37      | 85,10    | 82 %                        | 74 %                |
| 60                                | 377                      | 0,34      | 78,20    | 76 %                        | 64 %                |
| 50                                | 325                      | 0,31      | 71,30    | 69 %                        | 55 %                |
| 40                                | 264                      | 0,29      | 66,70    | 64 %                        | 45 %                |
| 30                                | 203                      | 0,26      | 59,80    | 58 %                        | 34 %                |
| 20                                | 140                      | 0,23      | 52,90    | 51 %                        | 24 %                |
| 10                                | 74                       | 0,20      | 46,00    | 44 %                        | 13 %                |
| 0                                 | 1,4                      | 0,15      | 34,50    | 33 %                        | 0 %                 |

TAULUKKO 5. Korjatut mittaustulokset.

| VALAISTUS OHJAUS DALI<br>(0-100%) | MITTAUKSET               |           |          | SUHDE TÄYTEEN OHJAUSKÄSKYYN |                     |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------|----------|-----------------------------|---------------------|
|                                   | VALAISTUSVOIMAKKUUS (lx) | VIRTA (A) | TEHO (W) | TEHO                        | VALAISTUSVOIMAKKUUS |
| 100                               | 587,6                    | 0,30      | 69,00    | 100 %                       | 100 %               |
| 90                                | 541,6                    | 0,28      | 64,40    | 93 %                        | 92 %                |
| 80                                | 496,6                    | 0,25      | 57,50    | 83 %                        | 85 %                |
| 70                                | 436,6                    | 0,22      | 50,60    | 73 %                        | 74 %                |
| 60                                | 375,6                    | 0,19      | 43,70    | 63 %                        | 64 %                |
| 50                                | 323,6                    | 0,16      | 36,80    | 53 %                        | 55 %                |
| 40                                | 262,6                    | 0,14      | 32,20    | 47 %                        | 45 %                |
| 30                                | 201,6                    | 0,11      | 25,30    | 37 %                        | 34 %                |
| 20                                | 138,6                    | 0,08      | 18,40    | 27 %                        | 24 %                |
| 10                                | 72,6                     | 0,05      | 11,50    | 17 %                        | 12 %                |
| 0                                 | 0                        | 0,00      | 0,00     | 0 %                         | 0 %                 |



KUVIO 16. Tehon muuttuminen valaistusvoimakkuuden suhteen.

Mittaustuloksista todetaan valaistusvoimakkuuden, valaisimien ottotehon ja DALI järjestelmä digitaalinen ohjauksikäskyn olevan kohtalaisen tarkasti suoraan verrannollisia toisiinsa nähden. Kattavammat mittaustulokset saataisiin, jos mittaukset suoritettaisiin suuremmalle järjestelmälle. Eli jos tilan valaistusvoimakkuus tiputetaan ohjauksikäskyllä puoleen nykyisestä, niin samassa suhteessa tippuu myös valaisimien ottama hetkellinen sähköteho.

### 5.3.2 Asennusmuutokset

DALI järjestelmään tuodaan potentiaalivapaa NO kosketintieto AMR – mittarin tehonrajoitusreleeltä, jolloin järjestelmä tietää, että nyt on laskettava hetkellistä tehoa. Sulkeutuva kosketintieto tuodaan kuvan 1 mukaiseen 942 – sisäänmenoyksikköön. Järjestelmään luodaan ohjelma Helvar Designer – ohjelmistolla tätä tilannetta varten.

Kun tehonrajoitusreleen kosketin sulkeutuu, lähetetään DALI väylään Direct Proportion -komento, joka laskee kaikkien valaisimien valotasoa määritellyn prosenttien viimeksi kutsutusta tasosta. Direct Proportion – komento voitaisiin ohjelmoida laskemaan valaisimien valaistustasoa esimerkiksi 30–60 % riippuen tilan normaalista valaistustasosta.





KUVA 1. Helvar 942 sisäänmenoyksikkö. (Input devices. Helvar. 2013)

Komennon vaikutuksen alaisuudesta voidaan poistaa sellaiset tilat, joiden valaistus on kriittinen tilan toiminnan kannalta. Kun AMR – mittarin tehonrajoituksen kosketin avautuu, ohjelmoidaan järjestelmä kutsumaan ohjatut valaisimet Last Level – komennolla siihen tasoon, jossa ne olivat ennen tehonrajoituksen toteuttamista. Nämä asennusmuutokset ovat mahdollista toteuttaa ainoastaan Helvar Oy:n DALI reititinjärjestelmässä. Pienemmät DALI järjestelmät voidaan muuttaa reititinjärjestelmäksi kuvan 2 mukaisella yksiverkkoisella 905 reitittimellä.



KUVA 2. Helvar 905 reititin (Routers. Helvar. 2013)

#### 5.4 LVI -järjestelmien automaatio

Olemassa oleviin kiinteistöihin on asennettu erilaisia ja eritasoisia automaatiojärjestelmiä 1970-luvuta lähtien. Yleensä, varsinkin vanhemmissa kohteissa, automaatiojärjestelmien ohjaukseen kuuluvat pääosin LVI – järjestelmät kuten ilmanvaihto, jäähdytys ja lämmitys. Tässä kappaleessa tarkastellaan suurten kohteiden, kuten asuinkerrostalojen, liike-, toimisto-, hoitoalan-, kokoontumis- ja opetusrakennusten LVI – järjestelmien automaatiota. Suurissa kiinteistöissä LVI –

järjestelmissä on yleensä paljon sähkötehoa, kuten taulukosta 6 voidaan todeta, on Tampereen ammattikorkeakoulun yksinään uuden G-siiven LVI – laitteiden yhteenlaskettu sähköteho yli 400 kW. Taulukossa on huomioituna ainoastaan ilmanvaihto- ja jäähdytyskoneet, koska pumppujen ohjausta ei ole järkevää toteuttaa ja niiden osuus LVI – laitteiden tehosta on hyvin pieni. Taulukosta voidaan havaita myös jäähdytyslaitteiden muodostavan suuren osan LVI – laitteiden kokonaistehosta. Liitteessä 5 on esitetty erään jäähdytyskoneen ulkoiset sähkökytkennät, joista voidaan havaita, että koneelle tuodaan käyntilupa automaatiojärjestelmästä sulkeutuvana kosketintietona. Yleensä käyntiluvan ehtona on ulkolämpötilaraja, tyypillisesti 10-14 °C.

Kysynnän jouston kannalta merkittävä potentiaali löytyy suurista kiinteistöistä, joissa on paljon sähkötehoa vaativia LVI – järjestelmiä ja on yleensä käytössä jokin automaatiojärjestelmä. Järjestelmä ohjaa laitteita yleisesti kello- ja kalenteriohjelman mukaan, mutta kehittyneimmissä järjestelmissä ohjaus voi tapahtua palveltavan tilan olosuhteiden mukaan. Kaikista vanhimmissa kohteissa, automaatio on toteutettu yksikkösäätimillä, joihin ei pääse ulkoisella ohjauksella käsiksi. Tämän ikäiset järjestelmät yleensä uusitaan seuraavan suuremman saneerauksen yhteydessä, jolloin kysynnän jouston toteuttaminen mahdollistuu. 1990 – luvulla ja myöhemmin asennettuihin suurien kiinteistöjen automaatiojärjestelmiin, lähes kaikkiin, kysynnän jouston toteuttaminen on mahdollista ohjelmallisilla muutoksilla.

Vaikka kiinteistössä olisikin automaatiojärjestelmä, johonka pääsee tekemään ohjelmallisia muutoksia, voi prosessien päätelaitteiden säädettävyys tulla vastaan tehonrajoituksen toteutusta suunniteltaessa. Tästä lienee paras esimerkki ilmanvaihtokoneiden puhallinmoottorit. Yksinopeuspuhaltimia voidaan ohjata vain päälle tai pois päältä ja ilmastoinnin pysäyttäminen vähänkin pidemmäksi aikaa kokonaan olisi käyttäjän kannalta kohtuutonta. Kaksinopeuspuhaltimia pystytään ohjaamaan täyteen tai puoleen nopeuteen, joten tämän tyyppisillä puhaltimilla tehonrajoitus onnistuu yksinopeuskonetta paremmin. Kaksinopeuspuhaltimilla voidaan joutua kuitenkin tilanteeseen, jossa puhalletaan jo puolella nopeudella eikä pyörimisnopeutta voida enää hidastaa, paitsi täysin pysähdyksiin. Tätä puhallintyyppiä ohjataan automaatiojärjestelmästä yleensä aikaohjelmalla, mutta ohjelmaan voidaan luoda ehto, jolla pakotetaan puhallinmoottorin pyörimisnopeus puoleen kellonajasta riippumatta, kun tehonrajoitus on tarpeellinen. Kaksinopeuspuhaltimissa on yleisesti

myös käsikäyttömahdollisuus sähkökeskuksessa sijaitsevalla valintakytkimellä. Jos puhallinta käytetään jostain syystä käsikäytöllä, ei tehonrajoitus onnistu automaatiojärjestelmän kautta ilman kytkentämuutoksia. Kaksinopeuspuhaltimien lähtöjen kontakteista on usein otettu tilatiedot automaatiojärjestelmään. Nämä sulkeutuvilla lisäkoskettimilla toteutetut tilatiedot indikoivat järjestelmälle puhaltimen sen hetkisen pyörimisnopeuden. Liitteessä 6 on tyypillisen automaatio-ohjatun kaksinopeuspuhaltimen lähdön piirikaavio.

Ilmanvaihtokoneet, joissa on taajuusmuuttajaohjatut- tai EC-puhallinmoottorit, on pyörimisnopeuden ja näin ollen tehon säätäminen huomattavasti helpompaa. Näissä sovelluksissa pyörimisnopeutta säädetään automaatiojärjestelmästä lähetettävällä nopeusohjeella, yleensä jännitetietona tai väyläkäskynä.

Suurempiin kiinteistöihin automaatiojärjestelmiä on toimittanut ja osa toimittaa edelleen mm. Schneider Electric, Ouman, Beckhoff, Honeywell, Computec ja Siemens. Kiinteistöissä esiintyy myös järjestelmiä, joidenka myynti on lopetettu tai ne ovat fuusioituneet jonkin toisen yrityksen kanssa. Tyypillisesti kaikki näiden toimittajien järjestelmät toimivat väyläpohjaisesti ja niiden ohjelmointi tapahtuu tietokoneavusteisella käyttöliittymällä. Järjestelmissä on myös tyypillisesti alakeskuksia, joissa on I/O- ja väyläliitäntöjä automaatiojärjestelmän päätelaitteille. Liitteessä 7 on esitetty tyypillisen suuren kohteen kiinteistöautomaatiojärjestelmän rakenne. Seuraavissa kappaleissa on esitelty merkittävimmät suurten kiinteistöjen automaatiojärjestelmien toimittajat ja ratkaisuja, joita on käytetty Suomen kiinteistökannassa viimeisten vuosikymmenten aikana. Kappaleessa 5.4.6 pohditaan näiden järjestelmien asennusmuutosten toteuttamista kysynnän jouston mahdollistamiseksi.

TAULUKKO 6. TAMK G-siiven LVI – laitteiden sähkötehoja. (Toteutussuunnitelmien kojeluettelo 6.5.2011)

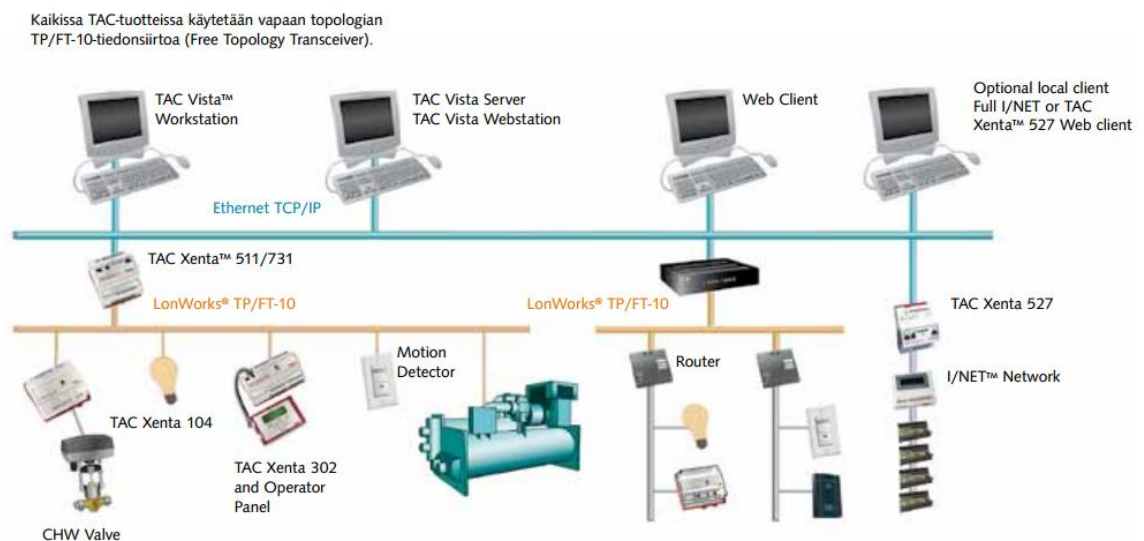
| LAITE                | TUNNUS     | SÄHKÖTEHO (kW)  | OSUUS TEHOSTA |
|----------------------|------------|-----------------|---------------|
| Vedenjäähdytin       | JK06KO01   | 150,00          | 36,16 %       |
| Vedenjäähdytin       | JK06KO02   | 150,00          | 36,16 %       |
| Nestejäähdytin       | JK06LF01   | 15,00           | 3,62 %        |
| Nestejäähdytin       | JK06LF02   | 15,00           | 3,62 %        |
| Vakioilmastointikoje | G-VI01KF01 | 6,00            | 1,45 %        |
| Vakioilmastointikoje | G-VI01KF02 | 6,00            | 1,45 %        |
| Vakioilmastointikoje | G-VI01KF03 | 6,00            | 1,45 %        |
| Tuloilmakoje         | G-TK53TF01 | 1,10            | 0,27 %        |
| Poistoilmakoje       | G-TK53PF01 | 1,10            | 0,27 %        |
| Tuloilmakoje         | G-TK54TF01 | 3,00            | 0,72 %        |
| Poistoilmakoje       | G-TK54PF01 | 3,00            | 0,72 %        |
| Tuloilmakoje         | G-TK55TF01 | 3,00            | 0,72 %        |
| Poistoilmakoje       | G-TK55PF01 | 3,00            | 0,72 %        |
| Tuloilmakoje         | G-TK56TF01 | 2,20            | 0,53 %        |
| Poistoilmakoje       | G-TK56PF01 | 2,20            | 0,53 %        |
| Poistoilmakoje       | G-TK56PF02 | 1,00            | 0,24 %        |
| Tuloilmakoje         | G-TK57TF01 | 2,20            | 0,53 %        |
| Poistoilmakoje       | G-TK57PF01 | 2,20            | 0,53 %        |
| Poistoilmakoje       | G-TK57PF02 | 1,00            | 0,24 %        |
| Tuloilmakoje         | G-TK58TF01 | 5,50            | 1,33 %        |
| Poistoilmakoje       | G-TK58PF01 | 5,50            | 1,33 %        |
| Tuloilmakoje         | G-TK59TF01 | 5,50            | 1,33 %        |
| Poistoilmakoje       | G-TK59PF01 | 5,50            | 1,33 %        |
| Tuloilmakoje         | G-TK60TF01 | 3,00            | 0,72 %        |
| Poistoilmakoje       | G-TK60PF01 | 3,00            | 0,72 %        |
| Tuloilmakoje         | G-TK61TF01 | 3,00            | 0,72 %        |
| Poistoilmakoje       | G-TK61PF01 | 3,00            | 0,72 %        |
| Poistoilmakoje       | G-PK59PF01 | 1,00            | 0,24 %        |
| Poistoilmakoje       | G-PK60PF01 | 0,50            | 0,12 %        |
| Poistoilmakoje       | G-PK61PF01 | 0,50            | 0,12 %        |
| Poistoilmakoje       | G-PK62PF01 | 0,50            | 0,12 %        |
| Poistoilmakoje       | G-PK63PF01 | 0,50            | 0,12 %        |
| Poistoilmakoje       | G-PK64PF01 | 1,10            | 0,27 %        |
| Poistoilmakoje       | G-PK65PF01 | 1,10            | 0,27 %        |
| Poistoilmakoje       | G-PK66PF01 | 0,50            | 0,12 %        |
| Poistoilmakoje       | G-PK72PF01 | 0,50            | 0,12 %        |
| Poistoilmakoje       | G-PK73PF01 | 0,50            | 0,12 %        |
| Poistoilmakoje       | G-PK74PF01 | 1,10            | 0,27 %        |
| <b>YHTEENSÄ</b>      |            | <b>414,8 kW</b> |               |

Esimerkkinä käytetyn Tampereen ammattikorkeakoulun vuonna 2013 rakennetun G-siiven kokoluokassa olevien kiinteistöjen automaatiojärjestelmien periaatteellinen ohjauskaavio on esitettyä liitteessä 8.

#### 5.4.1 TAC Vista (Schneider Electric)

TAC oli yksi maailman johtavista avoimeen teknologiaan perustuva kiinteistöautomaatoratkaisujen toimittaja. Yrityskauppojen myötä vuonna 2009 tuli yrityksestä osa suurempaa konsernia, Schneider Electriciä. Yrityksen tarjoamaa järjestelmää on asennettu kiinteistöihin Suomessa usean vuoden ajan, pääosin suuriin kiinteistöihin. Kuviossa 17 on esitettyä Vista – järjestelmän arkkitehtuuri.

”TAC Vista perustuu avoimeen järjestelmäarkkitehtuuriin, joten käyttäjää ei ole sidottu vain yhden valmistajan tuotteisiin – näin valinnanvapaus säilyy. TAC Vista toimii tietokoneissa, joissa on Microsoft Windows – käyttöjärjestelmä ja tavanomainen TCP/IP – protokollaa hyödyntävä Ethernet- tai valokaapelilähiverkkoyhteys sekä peruslaitteisto verkkokäyttöön. Kenttäväylän tiedonsiirto perustuu avoimeen LonWorks – tekniikkaan, jota käyttää maailmanlaajuisesti yli 3000 valmistajaa. TCP/IP – protokollan ansiosta TAC Vista valvomoserverit voivat olla yhteydessä toisiinsa Internetin tai olemassa olevien WAN/LAN – verkkojen välityksellä.” (TAC Vista tuoteluettelo. TAC. 2013)



KUVIO 17. Vista järjestelmän arkkitehtuuri (TAC Vista tuoteluettelo. TAC. 2013)

TAC Vista – järjestelmä soveltuu suurten sekä pienempien kiinteistöjen tai usean kiinteistön kokonaisuuden hallintasovellukseksi. Samalla järjestelmällä pystytään hallitsemaan keskitetysti kiinteistön kaikkia prosesseja, kuten lämmitystä, jäähdytystä, ilmastointia, kulunvalvontaa, turvallisuutta ja valaistusta. Järjestelmän ohjauksessa on siis tyypillisesti paljon sähkötehoa, mitkä pystyttäisiin valjastamaan kysynnän jouston tehoreserviin.

#### **5.4.2 Ouman -järjestelmät**

Suomalainen 1988 perustettu Ouman Oy toimittaa automaattioratkaisuita niin pienkiinteistöihin kuin suuriin rakennuksiinkin. Yritys on saavuttanut markkinajohtajuuden lämmönsäädössä Suomessa, mutta ratkaisuita löytyy myös ilmastoinnin ja muiden kiinteistön prosessien hallintaan sekä ohjaus- ja valvontatarpeisiin. Ouman on tuotteistanut valmiita ratkaisuja erilaisiin automaatio- ja ohjaustarpeisiin, mutta valikoimasta löytyy myös vapaasti ohjelmoitavia ja avoimia järjestelmiä. Ouman hyödyntää tiedonsiirrossa RS-485, Lonworks ja Modbus avoimia tiedonsiirtostandardeja.

”Kempeleläiset rakennusautomaatioalan yritykset Ouman ja Ekonor ovat yrityskauppojen myötä yhdistyneet raumalaisen Enerpointin kanssa. Yrityskaupoissa Oumanin ja Ekonorin koko osakekanta on myyty Enerpointin omistavalle Etagrene Oy:lle. Yhdistyessään kolme yritystä muodostavaa Suomen suurimman rakennusautomaatioalan yrityksen, jolla on vahva asema myös Pohjoismaissa. Konsernin vuosittainen liikevaihto on yli 32 miljoonaa euroa. Kaikki kolme yritystä jatkavat toimintaansa omalla nimellään ja henkilöstöllään.” (Tiedote. Enerpoint. 2013).

#### **5.4.3 Beckhoff**

”Beckhoff toimittaa avoimia automaatiojärjestelmiä, jotka pohjautuvat PC-pohjaiseen ohjaustekniikkaan. Tuotevalikoimaan kuuluvat muun muassa kenttäväyläkomponentit, liikkeenohjaustuotteet, teollisuus-PC:t ja ohjauspaneelit sekä automaatio-sovelluksien ohjelmistot. Eri ryhmien tuotteita voidaan käyttää erillisinä komponentteina, tai ne

voidaan integroida täydellisiksi ohjausjärjestelmiksi. Beckhoffin tuotteita ja järjestelmäratkaisuja käytetään maailmanlaajuisesti monenlaisissa sovelluksissa nopeista työstökeskuksista aina älykkääseen rakennusautomaatioon.”

(PC-based control technology. Beckhoff. 2013)

Beckhoff on aloittanut toimintansa Suomessa jo vuonna 1986. Alkuun yritys toimi Suomessa edustajan välityksellä ja vuodesta 2000 lähtien Beckhoff yhtiönä. Yrityksen teollisuus PC:t, kenttäväyläkomponentit ja automaatio-ohjelmistot muodostavat yhdessä avoimen automaatiotratkaisun, joka on yhteensopiva standardirajapintoja käyttäen muihin automaatiojärjestelmiin. Beckhoffin komponenttien ohjelmointiin käytetään TwinCAT –ohjelmistoa, kansainvälisen IEC 61131-3 standardin mukaisesti. Näillä järjestelmillä on toteutettu Suomessa monenlaisia kohteita eri aikakausina ja tältä suurelta yhtiöltä saanee teknistä tukea kaiken ikäisten järjestelmien ohjelmointiin sekä asennusmuutoksiin.

#### **5.4.4 Honeywell**

Honeywell yrityksen liiketoiminta Suomessa keskittyy teollisuus- ja rakennusautomaatioon sekä rakennusten huoltopalveluihin. Yrityksen automaatiojärjestelmällä on toteutettu Suomessa paljon toimisto- ja liikerakennuksia, asuinrakennuksia sekä julkisen sektorin kiinteistöjä kuten kouluja ja päiväkotia. Honeywellin järjestelmät käyttävät tiedonsiirrossa avoimia standardeja, kuten Bacnet, Lonworks ja OPC.

#### **5.4.5 Computec**

Automaatiojärjestelmätoimittaja Computec Oy fuusioitui vuonna 2008 YIT Kiinteistötekniikka Oy:hyn osakekannan myynnin myötä ja yrityksen nimeksi tuli YIT Kiinteistötekniikka Oy Automaatiotratkaisut. Myöhemmin vuonna 2013 kiinteistötekniisten ja teollisuuden palveluiden irtaantuessa YIT-konsernista omaksi erilliseksi konserniksi, syntyi Caverion Oy, joka edustaa nykyään Computec – automaatiojärjestelmää. Näistä yrityskaupoista voidaan päätellä, että viimeisintään

vuodesta 2008 lähtien on suurin osa YIT Oyj:n rakentamista kohteista toteutettu Computec –automaatiojärjestelmällä.

#### 5.4.6 Asennusmuutokset

Esitelyihin väyläpohjaisiin automaatiojärjestelmiin asennusmuutosten tekeminen onnistuu pienellä fyysisellä työllä ja ohjattavista kojeista riippuvalla ohjelmointimäärällä. Tässä työssä ei käsitellä jokaisen esitellyn järjestelmän asennusmuutoksia yksityiskohtaisesti erikseen, koska asennusmuutosten toteuttaminen tapahtuu samalla periaatteella kaikissa esiteltyissä järjestelmissä. Automaatiojärjestelmän I/O -pisteeseen tuodaan DI (digital input) tieto, eli kosketintieto, AMR – mittarin tehonrajoitusreleeltä. Tätä tietoa käytetään automaatiojärjestelmän ohjelmassa ehtona tehonrajoituksen ohjaamiseen päälle. Kun tehonrajoitusreleen kosketin taas avautuu, ohjataan tehonrajoitukseen osallistuneet laitteet siihen tilaan, mikä automaatiojärjestelmän sen hetkisten mittaustietojen tai aikaohjelmien mukaan on tarpeellinen. Fyysisiä lisäyksiä voidaan joutua tekemään, jos järjestelmässä ei ole jätetty varalle ylimääräisiä I/O – pisteitä, joita tarvitaan tehonrajoituksen kosketintiedolle ja mahdollisesti lisättäville tilatiedoille.

Automaatiojärjestelmästä voidaan ohjata ohjelmallisilla muutoksilla esimerkiksi taajuusmuuttajaohjattujen puhaltimien kierrosnopeutta pienemmäksi, jäähdytyksen lauhdutinyksiköiden ja sulanapitolämmityksen käyntilupaa sekä valaistusta. Prosesseihin, joihin voidaan varastoida sähköllä tuotettua energiaa, kuten sähkölämmitteiset vesivaraajat, voitaisiin soveltaa kaksisuuntaista kuormannohjausta. Kun sähkön kulutus on valtakunnallisesti pientä ja tästä johtuen sähköenergian spot-hinta halpaa, on sähköenergian käyttö silloin kuluttajalle kannattavaa. Energiaa voitaisiin varastoida halvan sähkön aikaan ja käyttää sitten myöhemmin kalliimman sähkön spot –hinnan aikaan. Tätä kaksisuuntaista, eli kuormia päälle ja pois päältä kytkevää, kuormannohjausta voidaan soveltaa laajemmin tulevaisuudessa sähköautojen lataukseen. Tämä edellyttää kylläkin tiedonsiirrolta enemmän, kuin pelkän kosketintiedon AMR –mittarilta. Tätä ja muita tulevaisuuden automaatiojärjestelmiin ja niillä toteutettuun kysynnän joustoon liittyviä aiheita käsitellään laajemmin samaan hankkeeseen osallistuvassa Heikki Eskelisen tutkintotyössä.



Kannattavinta on asennusmuutokset kohdistaa prosesseihin, joiden tehonrajoituspotentiaali on kiinteistössä suurin ja muutokset ovat helpoin toteuttaa. Tyypillisesti tämä on suurissa kiinteistöissä jäähdytys, mutta potentiaalin arviointi täytyy toteuttaa aina hankekohtaisesti. Jäähdytysjärjestelmä voi esimerkiksi palvella tiloja, joissa jäähdytys on kriittinen subjekti tilan tai tilassa toimivien laitteiden kannalta. Tämän vuoksi tärkeään asemaan tulee myös tehonrajoitusajan pituus. Esille nousutta jäähdytysprosessia, voidaan hyvin ohjata lyhyitä aikoja pois päältä, palveltavan tilan lämpötilan nousematta liian suureksi. Kriittisten tilojen jäähdytykseen voidaan ohjelmoida ehto, joka määrittää palveltavan tilan korkeimman sallitun lämpötilan, jonka ylittyessä tehonrajoitus ohitetaan. Tätä olosuhdevaikutusten problematiikkaa on syytä tarkastella aina tehonrajoituksen toteutusta suunniteltaessa.

Jäähdytysjärjestelmän, sisäisesti, sähköteholtaan suurin komponentti on kompressori ja lauhdutinpuhaltimet sekä kiertopumput tähän nähden hyvin pieniä. Tämän vuoksi tehonrajoitus olisi järkevää toteuttaa vain kompressorille ja pitää jäähdytysjärjestelmää yllä vapaajäähdytyksellä. Tämä edellyttää sitä, että järjestelmällä on mahdollista toteuttaa vapaajäähdytys. Joissakin jäähdytysjärjestelmissä on myös varaaja, johon jäähdytysenergiaa voidaan varastoida. Tämä ominaisuus pidentää osaltaan tehonrajoitukseen käytettävää aikaa.

## 6 KUSTANNUSVAIKUTUKSET

Tässä kappaleessa tarkastellaan kysynnän jouston toteuttamisen aiheuttamia kustannusvaikutuksia kuluttajapään teknisen toteutuksen kannalta. Toteutuksien tekniikan hinta on saatava taloudellisesti kannattavalle tasolle, johonka tarvitaan eri tahojen yhteistyötä ja halukkuutta. Uudiskohteissa kustannusvaikutukset eivät muodostu kovinkaan suuriksi, mutta toteutus on huomioitava jo suunnitteluvaiheessa hyvin tarkasti. Muutokset ovat kustannustehokkaampaa toteuttaa kohteen muun saneerauksen yhteydessä, kuin erillisenä työnä. Lähdetessä toteuttamaan fyysisiä sekä ohjelmallisia muutoksia järjestelmiin, on ensiksi arvioitava onko ohjattavan prosessin tehopotentiali riittävän suuri, jotta muutostyö olisi teknistaloudellisesti kannattavaa.

On myös huomioitava, että kuluttajan näkökulmasta kysynnän jousto syö toteutuessaan omaa kannattavuuttaan. Kun kulutus on tasaista, niin spot –hinta muodostuu myös hyvin tasaiseksi ajan suhteen, joten kuluttajalle ei pääse syntymään rahallista säästöä kulutuksen siirtämisestä toiseen ajankohtaan. Toisaalta, tällöin voidaan myös olettaa sähkön hinnan laskevan sähköverkko- ja energiayhtiöiden saavuttamien säästöjen myötä.

Olemassa olevissa kohteissa, joissa on käytössä jokin automaatiojärjestelmä, on kysynnän jouston tekninen toteuttaminen keskimääräisesti helpompaa ja kustannustehokkaampaa, kuin kohteissa joissa ei ole automaatiojärjestelmää kappaleessa 5 esiin tulleiden tyypillisten ominaisuuksien myötä. Jos järjestelmään joudutaan lisäämään uusia komponentteja tai ohjattavien kuormitusten lähtöihin kontaktoreita, voi syntyä teknisiä haasteita sähkökeskuksen vapaan tilan kanssa.

### 6.1 Kustannusten jakaminen verkkoyhtiön ja kuluttajan kanssa

Vaikka kuluttajapään teknisestä toteutuksesta aiheutuukin kustannuksia, niin sen vastapainoksi investointi voi saada aikaan myös merkittäviä säästöjä verrattuna kohteeseen, jossa kysynnän joustoa ei toteuteta. Säästöt saavat aikaan tulevaisuuden spot –hintaisten tai tehokaistatariffiin pohjautuvat sähköenergian hinnoittelut. Mutta,

kuten kappaleen 6 alussa on mainittu, syö kysynnän jousto toteutuessaan omaa säästöpotentiaaliaan kuluttajan näkökulmasta.

Kuluttajan investointihalukkuutta voidaan parantaa markkinoinnilla ja tiedottamisella, sekä mahdollisesti pienillä kertakorvauksilla yhteistyöhalukkuudesta. Mahdollinen kuluttajan säästöpotentiaali on myös hyvä tuoda esiin tiedottamisessa.

## **6.2 Asennusmuutosten kustannukset**

Kaikissa järjestelmissä kustannuksiin vaikuttaa, onko AMR –mittarin tehonrajoitustieto johdotettu riviliittimille keskuksen sinetöidyn alueen ulkopuolelle vai joutuuko asennustyön yhteydessä aukaisemaan sinetöinnin ja hakemaan tehonrajoitustiedon suoraan mittarilta asti. Sinetöinnin rikkomisesta on omat käytännöt eri verkkoyhtiöillä, mutta yleensä siitä täytyy tehdä ilmoitus ja tilata uusi sinetöinti, joka aiheuttaa kustannuksia. Kustannuksiin vaikuttaa lisäksi AMR-mittarin fyysinen sijainti suhteessa ohjattavan järjestelmän liityntäpisteeseen, sekä olemassa olevat kaapelointireitit. Vanhemmissa automaatiojärjestelmissä, joissa joudutaan tekemään ohjelmallisia muutoksia, voi olla haasteellista löytää ohjelman muokkaamiseen tarvittavia ohjelmistoja ja dokumentteja sekä henkilöitä, jotka hallitsevat järjestelmän ohjelmoinnin. Nämä saattavat nostaa osaltaan asennusmuutosten kustannuksia.

Eri järjestelmien asennusmuutosten kustannusvaikutukset ovat arvioitu kokemukseräisen tiedon perusteella ja haastattelemalla alan asiantuntijoita. Kustannuksiin vaikuttavat myös asentajan kilometrikorvaukset, jotka riippuvat kohteen sijainnista. Asennusmuutokset ovat kustannustehokkainta toteuttaa kohteen muun sähkösaneerauksen yhteydessä, mutta kustannusarviot ovat arvioitu siten, että kohteessa suoritettaisiin ainoastaan kysynnän jouston toteuttavat asennusmuutokset.

### **6.2.1 ME-Platin**

Tässä järjestelmässä asennusmuutokset ovat helppo toteuttaa, jos ME-Platin keskusyksikkö ja AMR –mittari sijaitsevat samassa keskuksessa. Tällöin työ ei edellytä pitkiä kaapelointeja, vaan kaikki fyysiset asennukset tapahtuvat samassa tilassa.

Ohjelmallisia muutoksia ei ole tarvetta tehdä tällä järjestelmällä tehon rajoituksen toteuttamiseksi. Työhön vaadittavaksi ajaksi voidaan arvioida kohteesta riippuen 1 – 3 tuntia, jonka kustannusvaikutukset työn tilaajalle vaihtelevat alueellisesti. Lisättäviä komponentteja ei, johtimien ja mahdollisten riviliittimien lisäksi, asennustyössä tarvita. Joten kustannusvaikutus on hyvin pieni. Jos AMR – mittarin tehonrajoitustieto joudutaan kaapeloimaan järjestelmään kaukaa, voi kustannukset nousta huomattavasti suuremmiksi. Tämän vuoksi asennusmuutosten kustannusvaikutukset tulee arvioida tapauskohtaisesti, mutta yleensä AMR – mittari ja ME–Platin keskusyksikkö sijaitsevat samassa tilassa.

### **6.2.2 Ouman EH-60**

Kuten ME-Platin järjestelmässä, tähänkin järjestelmään muutokset toteutetaan ainoastaan kohteen keskuksella, jos EH-60 ja AMR –mittari sijaitsevat samassa keskuksessa. Tähän järjestelmään ei ole myöskään tarvetta tehdä ohjelmallisia muutoksia tehon rajoituksen toteuttamiseksi. Työhön vaadittavaksi ajaksi voidaan arvioida kohteesta riippuen 1 – 3 tuntia, jonka kustannusvaikutukset työn tilaajalle vaihtelevat alueellisesti. Lisättäviä komponentteja ei, johtimien ja mahdollisten riviliittimien lisäksi, asennustyössä tarvita. Joten kustannusvaikutus on hyvin pieni. Jos AMR – mittarin tehonrajoitustieto joudutaan kaapeloimaan järjestelmään kaukaa, voi kustannukset nousta huomattavasti suuremmiksi. Tämän vuoksi asennusmuutosten kustannusvaikutukset tulee arvioida tapauskohtaisesti, mutta yleensä AMR – mittari ja EH-60 keskusyksikkö sijaitsevat samassa tilassa.

### **6.2.3 DALI**

DALI –järjestelmään voidaan joutua hankkimaan työn lisäksi uusia komponentteja, jos kohteessa ei tarvittavia ole valmiiksi. Yksi tarvittava komponentti on 942 – sisäänmenoyksikkö, johon potentiaalivapaa kosketintieto tehonrajoituksesta tuodaan. Jos kohteessa on pieni, Helvar Toolbox –ohjelmistolla ohjelmoitu järjestelmä, täytyy kohteeseen hankkia myös reititin, joista pienin on yksiverkkoinen 905. Reititin voidaan joutua hankkimaan, koska tehonrajoitukseen tarvittavat komennot voidaan ohjelmoida vain reititinjärjestelmään.

Suurissa järjestelmissä, joihin tehonrajoitus on kannattavinta toteuttaa, on DALI – järjestelmä todennäköisesti valmiiksi reititinjärjestelmä. Kohteessa voi olla myös 942 – sisäänmenoyksikkö ja siinä vähintään yksi vapaa sisäänmeno tehonrajoitustiedolle, jolloin komponenttihankinnoilta vältytään. Mahdollisesti tarvittaville komponenteille sähkötukkuliike SLO:n suositushinnat ovat esitettyinä taulukossa 7.

#### TAULUKKO 7. DALI – tuotteiden suositushinnat

(Tuotehaku. SLO. 2014)

| Tuote  |             | Hinta (€)  |             |
|--------|-------------|------------|-------------|
| Tunnus | Sähkönumero | Ovh alv 0% | Ovh alv 24% |
| 942    | 2602078     | 409,00     | 507,16      |
| 905    | 2602098     | 970,00     | 1202,80     |

Fyysiset asennusmuutokset suoritetaan DALI – järjestelmässä, kuten kahdessa edellisessä järjestelmässä, jos kohteessa on valmiiksi tarvittavat komponentit. Fyysisten asennusten kustannukset riippuvat 942 – sisäänmenoyksikön ja AMR – mittarin välimatkasta, joten työhön vaadittavaksi ajaksi arvioidaan 1 – 3 tuntia. Jos järjestelmään joudutaan lisäämään tarvittavia komponentteja, voidaan siihen arvioida asennustyötä 1 – 3 tuntia tehonrajoitustiedon johdotuksen lisäksi.

Tähän järjestelmään joudutaan tekemään fyysisten muutosten lisäksi ohjelmallisia muutoksia. Ohjelmallisten muutosten työn määrä riippuu voimakkaasti järjestelmän laajuudesta ja monimutkaisuudesta. Tämän vuoksi ohjelmallisiin muutoksiin arvioidaan 3 – 8 tuntia työtä.

#### 6.2.4 LVI-järjestelmien automaatio

Esitellyissä järjestelmissä asennusmuutosten kustannukset koostuvat pääosin järjestelmän ohjelmallisista muutoksista. Kuten aikaisemmin jo mainittiinkin, vanhimmissa järjestelmissä voi muodostua haasteita tarvittavien ohjelmistojen ja niiden käytön osaajien löytämisessä. Fyysisissä asennusmuutoksissa voidaan päästä hyvinkin pienillä kustannuksilla, mutta on niihin silti arvioitava noin 2 tuntia työtä. Ohjelmallisiin

asennusmuutoksiin, muutosten suunnitteluun sekä olosuhdevaikutusten pohdintaan on arvioitava vähintäänkin 8 tuntia työtä, kohteen laajuudesta riippuen.

## 7 POHDINTA

Kysynnän jouston kuluttajapään teknistä toteutusta pohdittaessa, ovat erilaiset ohjaus- ja automaatiojärjestelmät merkittävässä asemassa. Yksisuuntaisen kuormanohjauksen tekninen toteutus on mahdollista lähes kaikilla olemassa olevilla järjestelmillä, mutta kaksisuuntainen tehonrajoitus sekä indikointi tehonrajoituksen toteutumisesta vain kehittyneimmillä järjestelmillä. Kaksisuuntaisen tehonrajoituksen ja indikoinnin toteuttamiseen vaadittaisiin tiedonsiirrolta enemmän, kuin pelkkä kosketintieto AMR-mittarilta. Tieto tehonrajoituksen toteutumisesta ja todellisesta rajoitetusta tehosta olisi tärkeä rajoitusta toteuttavalle taholle.

Toteutettaessa tehonrajoitusta kiinteistössä on huomioitava ohjauksien olosuhdevaikutukset ja tämän seurauksena tehonrajoitukseen sallittu aika. Näiden asioiden tärkeys korostuu, kun tehonrajoitus kohdistetaan sellaiseen prosessiin, jonka toiminta vaikuttaa kiinteistössä olevaan kriittiseen toimintaan. Tämä voidaan yleensä huomioida järjestelmän ohjelmoinnissa luomalla ehtoja, jotka ohittavat tehonrajoituksen jos esimerkiksi lämpötila nousee ohjelmoitua raja-arvoa korkeammalle.

Työssä havaittiin suurissa kiinteistöissä erääksi potentiaalisimmaksi kuormaksi, jota tyypillisesti ohjataan automaatiojärjestelmien kautta, paikallisesti toteutetun jäädytyksen. Tässä prosessissa on yleensä tehonrajoituspotentiaali ainoastaan kesäaikaan. Varsinkin suurissa järjestelmissä tehonrajoituksen viive prosessiin voi olla pitkä, joten ohjaus ei vaikuta välittömästi olosuhteisiin.

Pienikiinteistöissä ohjausjärjestelmillä ohjattava potentiaalinen kuormitus on sähkölämmitys, jossa suurin tehonrajoituspotentiaali on talviaikaan. Varsinkin varaavissa lämmitysjärjestelmissä olisi mahdollista hyödyntää kaksisuuntaista kuormanohjausta, eli lämmitysenergiaa varattaisiin esimerkiksi lämminvesivaraajaan pienen kuormituksen aikaan. Tämänkaltainen toiminto edellyttäisi tietenkin ohjausjärjestelmältä älykkyyttä.

Jotta kuluttajat saataisiin osallistumaan kysynnän jouston toteuttamiseen, on taloudellinen kannattavuus realisoiduttava sähkö- ja sähköverkkoyhtiöiden lisäksi myös kuluttajille. Tämä on tärkeää, koska kysynnän jouston toteuttaminen on hyvin vaikeaa

ilman kuluttajien yhteistyöhalukkuutta. Sähkö- ja sähköverkkoyhtiöt myyvät tietyn määrän sähköenergiaa tai sähkön siirtoa vuodessa. Kysynnän jouston toteutuessa sähköenergian kulutus ei vähene, mutta kuluttajille pitäisi saada kuluttamastaan sähköenergiasta pienempi lasku. Myyntipuolella olevat yhtiöt tuskin haluavat tätä säästöä omasta tuloksestaan lahjoittaa. Taloudelliset säästöt saataneen kuitenkin huippukuormavoimaloiden käynnistämättä jättämisestä sekä pienemmästä sähkön ostoenergian tarpeesta korkeiden spot-hintojen aikaan. Taloudellisten säästöjen lisäksi kysynnän joustoa voidaan markkinoida myös positiivisilla ympäristövaikutuksilla, joka on ajankohtainen ja merkittävä asia nykypäivän kuluttajille.

Kysynnän joustolla on positiivinen vaikutus erilaisten kiinteistöjen ohjaus- ja automaatiojärjestelmien kehittämisessä, koska niiden tarve korostuu varsinkin kaksisuuntaisessa kuormanohjauksessa sekä kuormanohjauksen indikoinnissa. Tähän tarvitaan yhteistyötä myös laitevalmistajien kanssa.



## LÄHTEET

Projektisuunnitelma v.2.1 2013. Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiölle.

Kysyntäjousto 2014. Fingrid. Luettu 29.9.2013.  
<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/kulutus-ja-tuotanto/Kysyntajousto/Sivut/default.aspx>

Grip K. 2013. Pienasiakkaan kysynnän jouston ja oman tuotannon vaikutukset kuormitusmalleihin. Diplomityö.

Sähkön tuotanto. Energiateollisuus ry. Luettu 29.9.2013. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/sahkontuotanto>

Kulutus ja tuotanto. Fingrid. Luettu 29.9.2013  
<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/kulutus-ja-tuotanto/Sivut/default.aspx>

ElSpot. 2014. NordPool. Luettu 6.2.2014  
<http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/ALL1/Hourly/>

Sähkön hinta pähkinänkuoressa. 2011. Energiateollisuus ry. Luettu: 6.2.2014  
[http://energia.fi/sites/default/files/et\\_sahko\\_hinta\\_esite\\_160911.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/et_sahko_hinta_esite_160911.pdf)

Salminen S, Eskelinen H. 2014. Esimerkkilaskelmat

Motiva Tutkimusraportti 2011. Luettu 26.2.2013.  
[http://www.motiva.fi/files/8300/Kotitalouksien\\_sahkonkaytto\\_2011\\_Tutkimusraportti.pdf](http://www.motiva.fi/files/8300/Kotitalouksien_sahkonkaytto_2011_Tutkimusraportti.pdf)

Lämmönsäätöjärjestelmä ME-Platin. 2013. ME-Platin. <http://www.me-platin.com/>

ME-Platin suunnitteluohje. ME-Platin 18F. 2001. Muurlan Elektroniikka Oy

ME-Platin asennusohje. ME-Platin 18F. 2001. Muurlan Elektroniikka Oy

EH-60 käsikirja. Ouman Oy. Luettu 29.9.2013.  
[http://www.ouman.fi/files/kayttoohjeet/eh-60\\_kasikirja\\_ver\\_2.4.9\\_disp.pdf](http://www.ouman.fi/files/kayttoohjeet/eh-60_kasikirja_ver_2.4.9_disp.pdf)

Kallioharju K. 2013. TAMK Valaistussuunnittelu kurssin koulutusmateriaali.

Input devices. Helvar. Luettu 29.9.2013. <http://www.helvar.com/products/input-devices>

Routers. Helvar. Luettu 29.9.2013. <http://www.helvar.com/products/routers>

TAC Vista tuoteluettelo. TAC. Luettu 29.9.2013.  
[http://www.tac.com/fi/data/internal/data/08/71/1255335652546/CAT\\_VISTA\\_A4\\_suosu\\_verkkolaatu.pdf](http://www.tac.com/fi/data/internal/data/08/71/1255335652546/CAT_VISTA_A4_suosu_verkkolaatu.pdf)

Tiedote. Enerpoint. Luettu 29.9.2013.  
[http://www.enerpoint.fi/media/tiedote\\_23\\_8\\_2013.pdf](http://www.enerpoint.fi/media/tiedote_23_8_2013.pdf)

PC-based control technology. Beckhoff. Luettu 29.9 2013.  
<http://www.beckhoff.fi/fi/default.htm?beckhoff/products.htm>

Tuotehaku. SLO. Luettu: 15.3.2014

<http://www.slo.fi/www/fi/Tuotteet/Tuoteluettelo/Sivut/tuotetietosivu.aspx?partno=2602260> ja

<http://www.slo.fi/www/fi/Tuotteet/Tuoteluettelo/Sivut/tuotetietosivu.aspx?partno=2602260>

Johdotuskaavio. Chiller Oy. Luettu 15.3.2014. [http://www.chiller.fi/doc/VGA\\_150-240\\_SAHKOKUVA.pdf](http://www.chiller.fi/doc/VGA_150-240_SAHKOKUVA.pdf)

ST-Käsikirja 17. Sähkötieto ry. 19.1.2012. Sivu 190.

**LIITTEET**

Liite 1. Potentiaalisten ongelmien analyysi

Liite 2. ME-Platin asennusmuutokset

Liite 3. Ouman EH-60 asennusmuutokset

Liite 4. DALI valaistuksen mittaustulokset

Liite 5. Jäähdytyskoneen ulkoiset kytkennät Chiller Trane VGA 150-240

Liite 6. Kaksinopeuspuhaltimen piirikaavio

Liite 7. Kiinteistöautomaatiojärjestelmän rakenne

Liite 8. Automaatiojärjestelmän ohjaamat tyypilliset kuormitukset

## Liite 1. Potentiaalisten ongelmien analyysi. (1/2)

| Ohjattava järjestelmä          |   |   |   |                                 |   |   |
|--------------------------------|---|---|---|---------------------------------|---|---|
| Vaara                          | Sähköturvallisuus   | Ilmastointi   |   |                                 | Lämmitys                                    |   |
|                                |   | Huono ilmanlaatu  | Kosteus   | Vaaralliset kaasut ilmassa      | Kylmyys                                     | Liukkaus  |
| <b>Seuras</b>                  | Sähköisku, Kuolema, Vamma, Tulipalo   | Sairastelu, Huono työympäristö  | Rakenteiden homehtuminen, Sairastelu, Allergiat | Tapaturma, Tulipalo, Räjähdytys | Huono työympäristö, Home, Kosteus           | Liukastumiset   |
| <b>Ehkäisevät toimenpiteet</b> | Ohjausjärjestelmien selkeä merkitseminen, aiheen liittäminen osaksi sähkötyöturvallisuus koulutusta | Ilmanlaadun seuranta useista pisteistä, ilmastoinnin ohjaus, lyhyt tehonpudotusaika |   |                                 | Lämpötilan seuranta, lyhyt tehonpudotusaika | Lyhyt tehonpudotusaika, varoitus ajoittaisesta liukkaudesta |

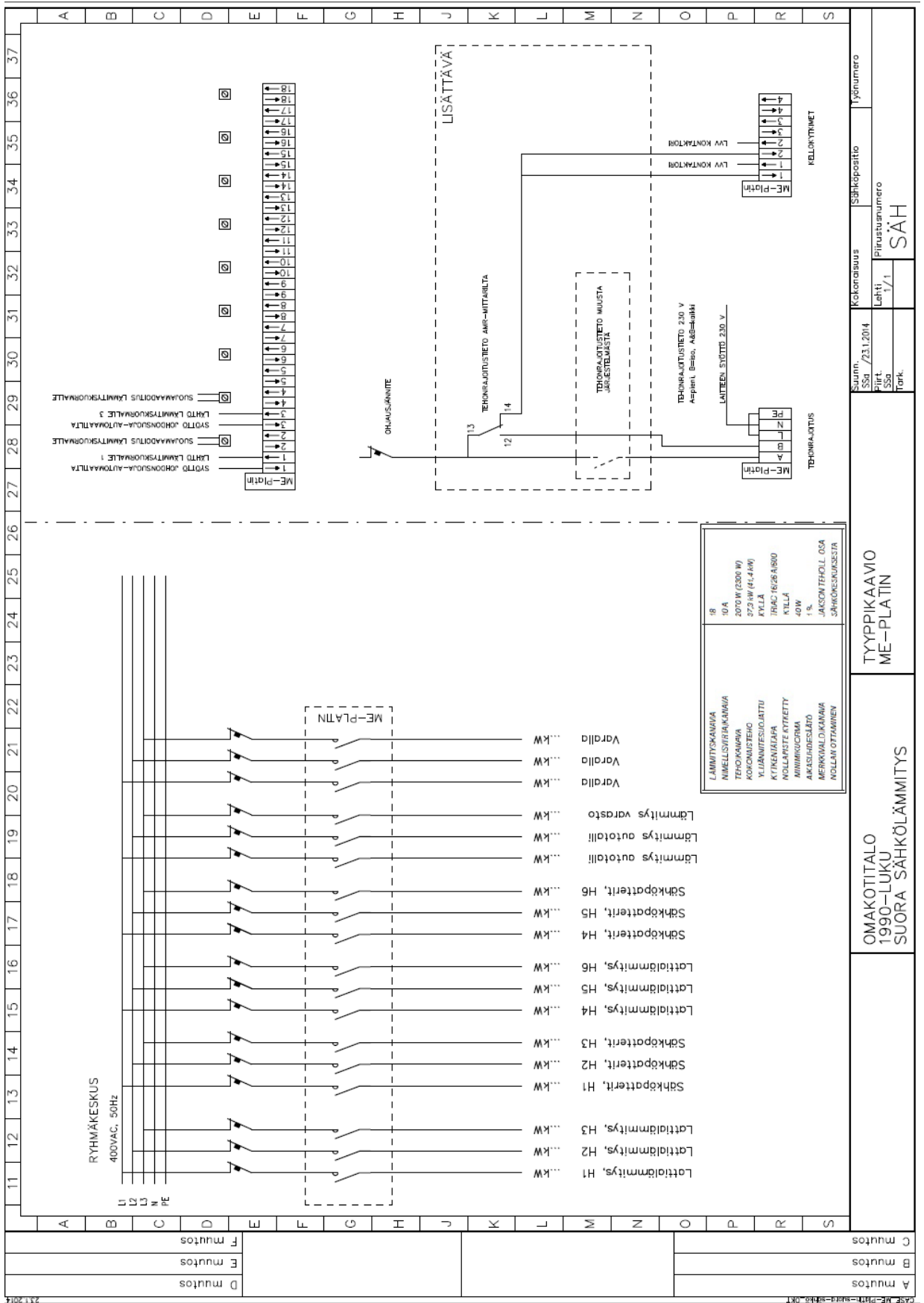
**SELITYKSET**

- 1) Laitteen ollessa päällä, tehonrajoitus kytkee laitteen sähkönsyötön pois. Laitteen sähköjen kytketyessä takaisin laite voi jäädä kuumentamaan valvomatta.

## Liite 1. Potentiaalisten ongelmien analyysi. (2/2)

| Ohjattava järjestelmä                |                                    |  |  |  |
|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|--|
| Jäähdytys                            | Valaistus                          | Liesi/uuni   | Pesukoneet   | Sähköautojen lataus  |
| Kuumuus työtiloissa                  | Huono näkyväisyys                  | Valvomaton laitteiden käyttö <sup>1)</sup>                                   | Valvomaton laitteiden käyttö <sup>1)</sup>                                   | Vähäinen latauksen ajoon lähdeittäessä, akustojen vanheneminen |
| Kuumuuden aiheuttamat terveysriskit  | Huono työympäristö, Tapaturmavaara | Tulipalo   | Vesivahinko, tulipalo  | Ajon keskeytyminen, akustojen uusimisen tarve                  |
| Riittävä tilojen lämpötilan seuranta | Valaistusolosuhteiden seuranta     | Sähkökatkon jälkeinen laite käynnistettävä uudelleen. Älykkäät sähkölaitteet | Sähkökatkon jälkeinen laite käynnistettävä uudelleen. Älykkäät sähkölaitteet | Älykäs akustojen lataus  |

Liite 2. ME-Platin asennusmuutokset

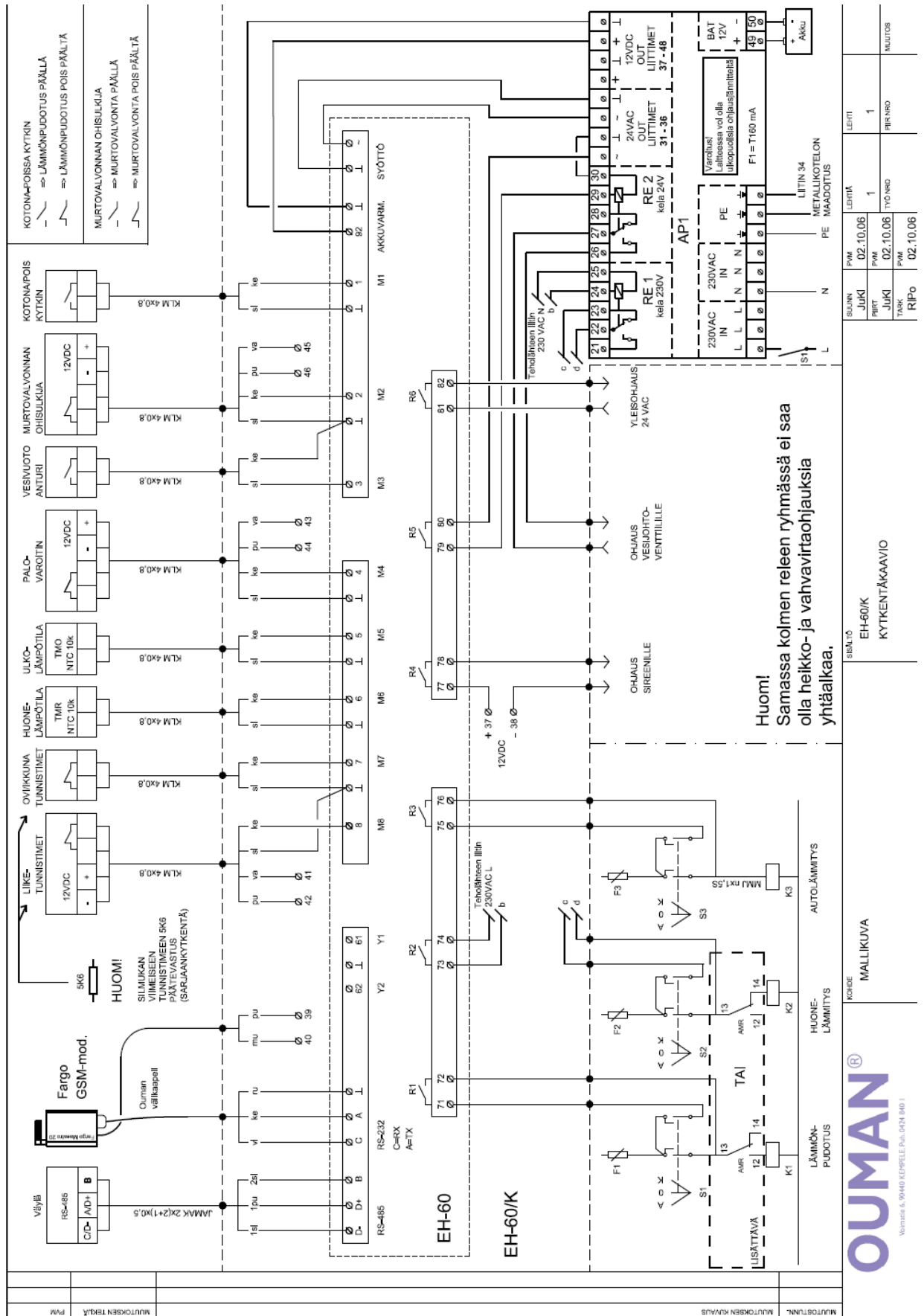


TYYPPIKAAVIO  
ME-PLATIN

OMAKOTITALO  
1990-LUKU  
SUORA SÄHKÖLÄMMITYS

|                |             |                  |           |
|----------------|-------------|------------------|-----------|
| Summ.          | Kokonaissum | Sähköpostio      | Työnumero |
| Ssa /23.1.2014 | Lehti       | Piirustusanumero |           |
| Esit.          | ..../1      | SAH              |           |
| Tark.          |             |                  |           |

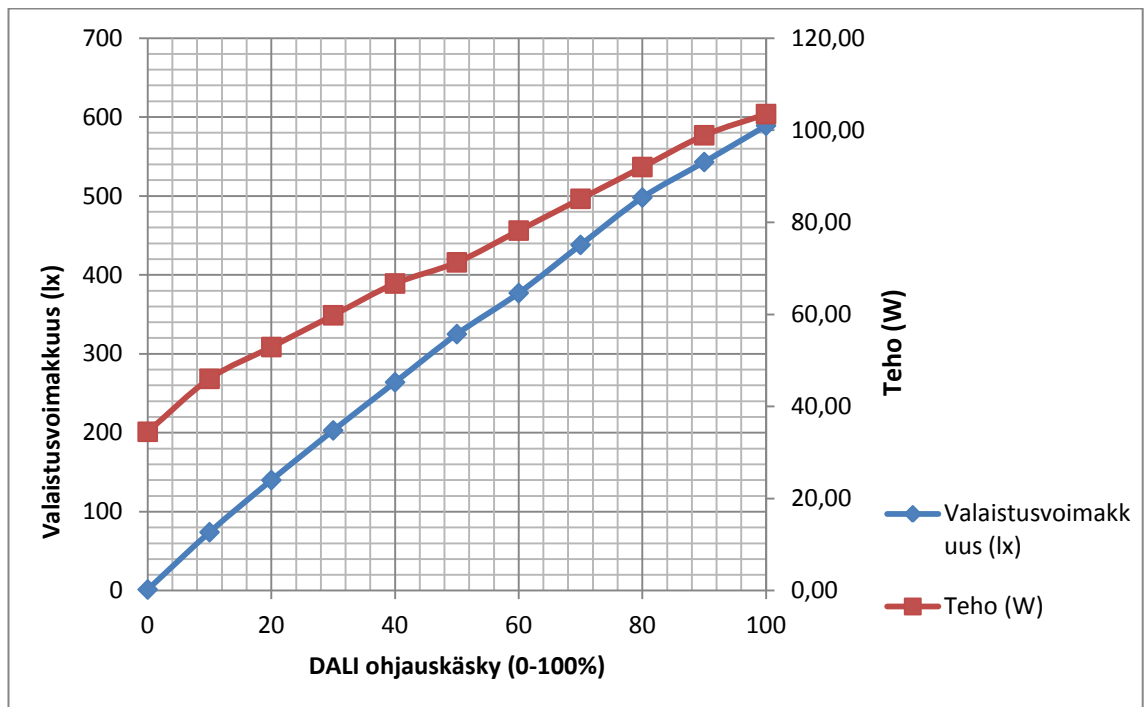
Liite 3. Ouman EH-60 asennusmuutokset



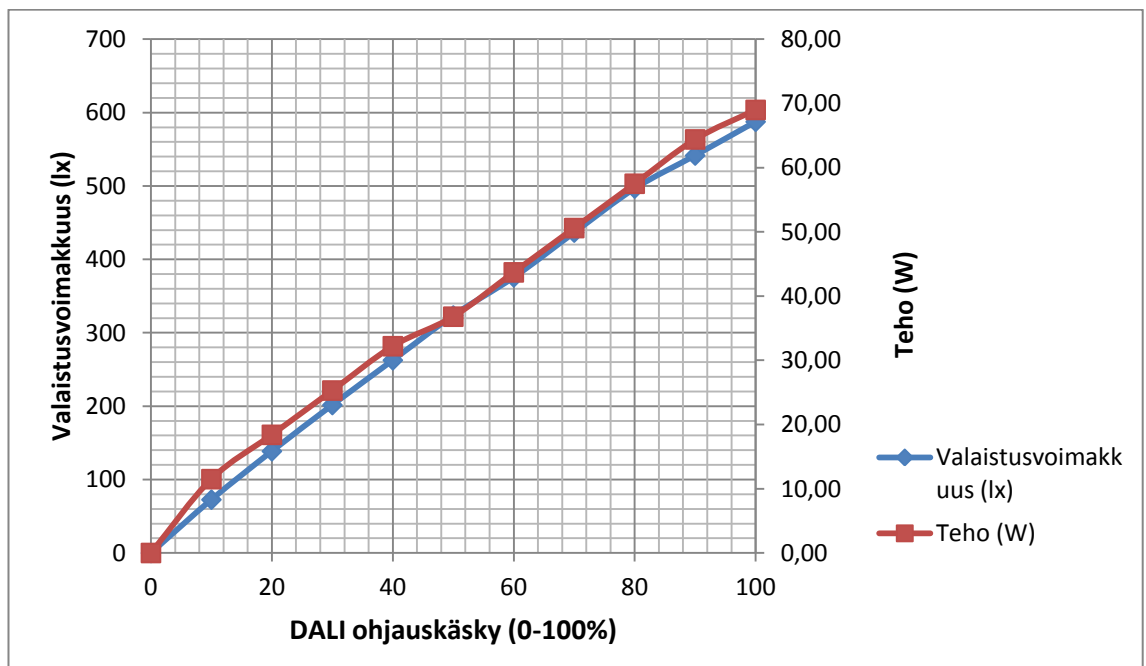
|             |                |                |          |       |     |         |
|-------------|----------------|----------------|----------|-------|-----|---------|
| MURTOSTUNN. | MURTOSEN TRUKI | PVM            | 02.10.06 | LEHTI | 1   | NALUTOS |
| KORKE       | MALLIKUVA      | 02.10.06       | TYÖNKO   | RIP   | RIP |         |
| SEALTO      | EH-60/K        | KYTKENTÄKAAVIO | 02.10.06 |       |     |         |
|             |                |                | 02.10.06 |       |     |         |



## Liite 4. DALI valaistuksen mittaustulokset



Mittaustulokset kuvaajina.



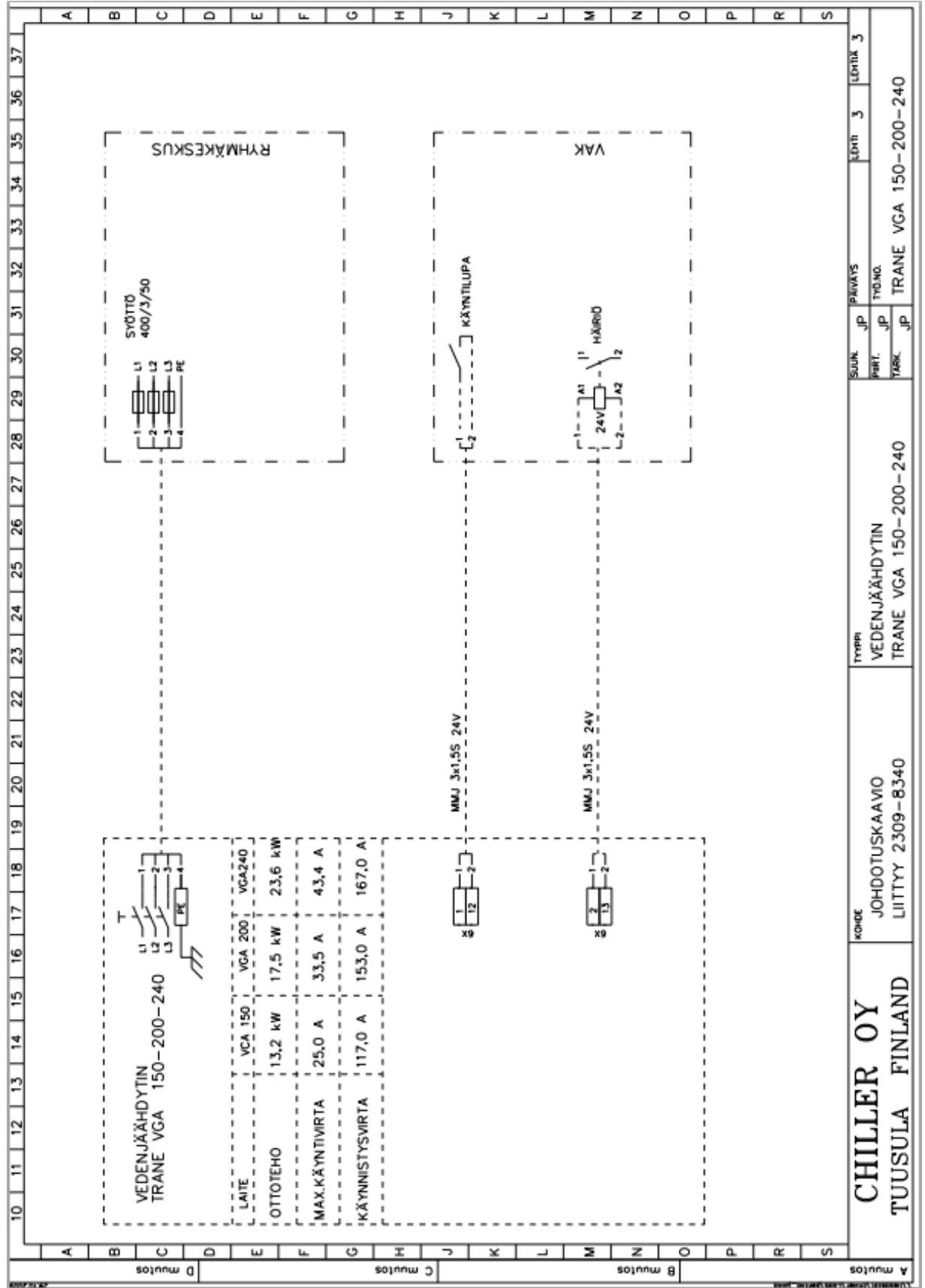
Korjatut mittaustulokset kuvaajina.

Mittaukset suoritettu Tampereen ammattikorkeakoulun tiloissa maaliskuussa 2014.

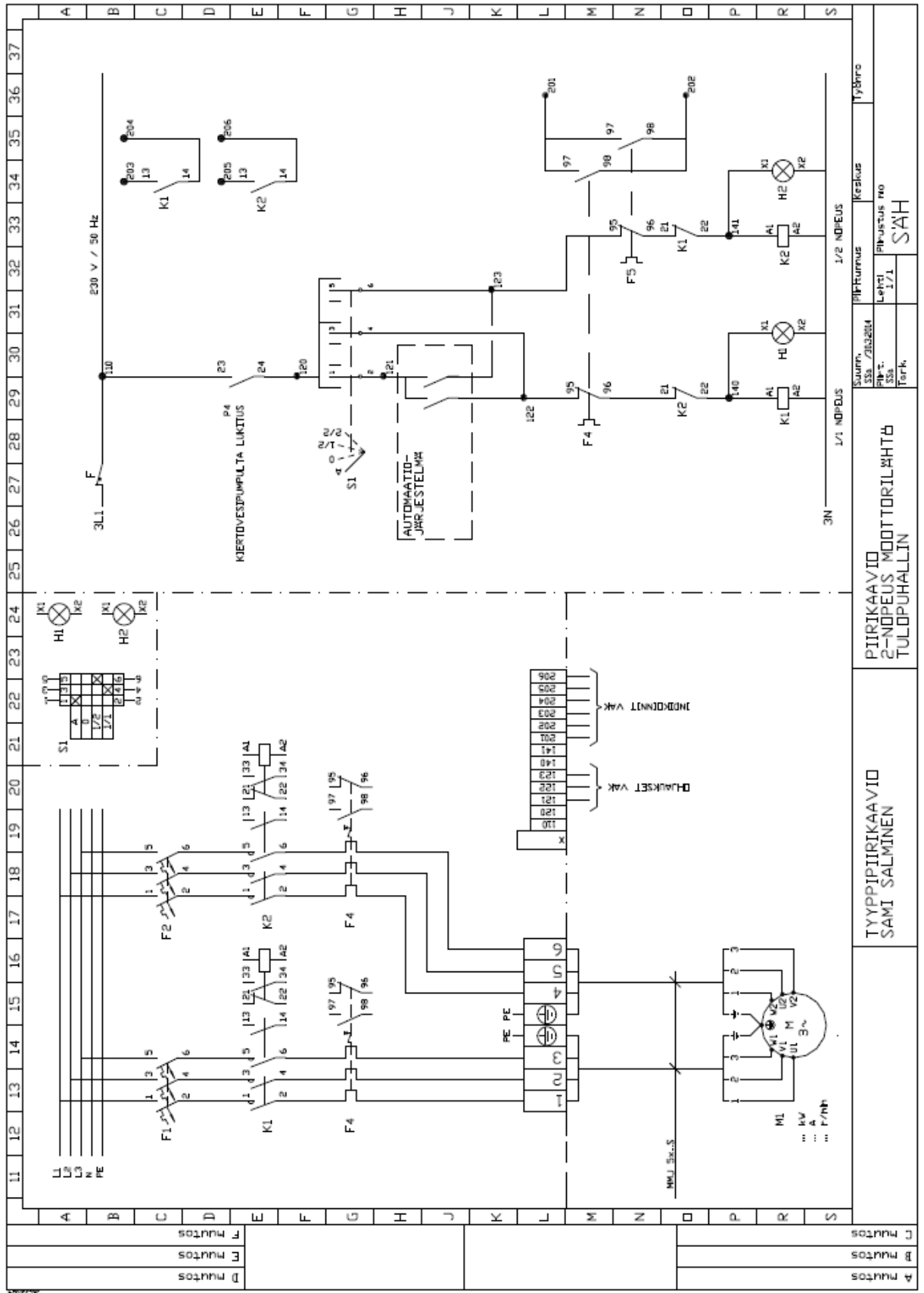


Liite 5. Jäähdytyskoneen ulkoiset kytkennät Chiller Trane VGA 150-240

(Johdotuskaavio. Chiller Oy. 2014)

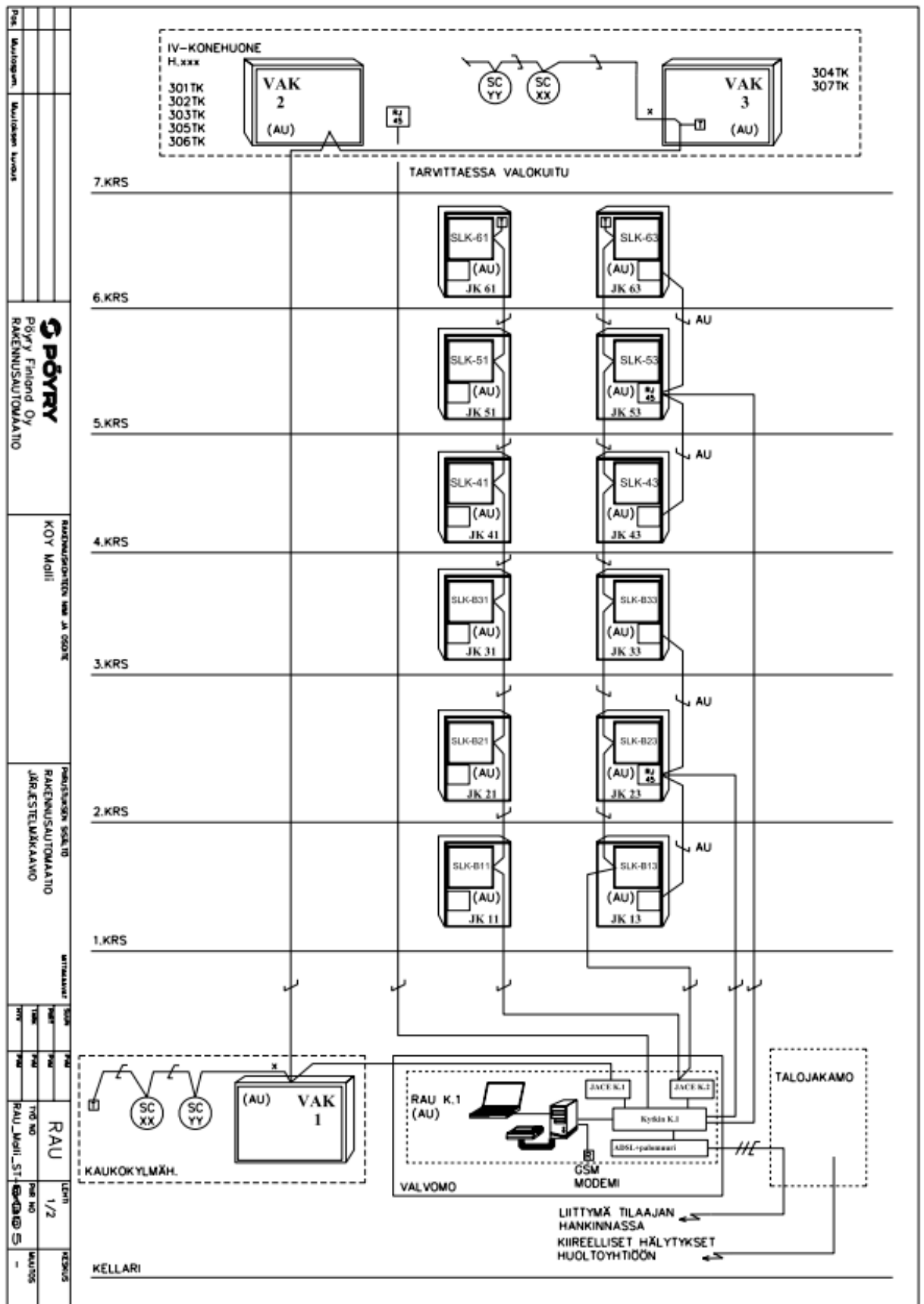


Liite 6. Kaksinopeuspuhaltimen piirikaavio



Liite 7. Kiinteistöautomaatiojärjestelmän rakenne

(Sähkötieto ry. ST-Käsikirja 17. 2012)



|  |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|
| Proj.                                      | Maalinen | Maalinen | Maalinen |
| Maalinen                                   | Maalinen | Maalinen | Maalinen |
| <br>Pöryy Finland Oy<br>RAKENNUSAUTOMAATIO |          |          |          |
| RAKENNUSAUTOMAATION KÖY Malli              |          |          |          |
| RAKENNUSAUTOMAATION JÄRJESTELMÄKAAVIO      |          |          |          |
| KELLARI                                    |          |          |          |
| RAU  | 1/2      |          |          |
| RAU_Malli_ST                               |          |          |          |

Liite 8. Automaatiojärjestelmän ohjaamat tyypilliset kuormitukset

