



# KYSYNNÄNJOUSTO

## Asuinkiinteistöjen sähköverkot

Jesse Rantanen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014  
Talotekniikka  
Sähköinen talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Sähköinen talotekniikka

RANTANEN, JESSE  
Kysynnänjousto  
Asuinkiinteistöjen sähköverkot

Opinnäytetyö 60 sivua  
Toukokuu 2014

---

Energiateollisuus ry:n koordinoima Sähkötutkimuspooli on käynnistänyt tutkimushankkeen, jonka tarkoituksena on selvittää Suomeen soveltuvat käytännönratkaisut kysynnänjouston toteuttamiseen ja sen vaikutukset verkkoyhtiölle. Tämä opinnäytetyö on osa mainittua tutkimushanketta ja sen tavoitteena on selvittää asuinkiinteistöjen sähköverkkojen rakenteita ja niissä olevia potentiaalisia ohjattavia tehoja kysynnänjouston näkökulmasta tarkisteltuna.

Kysynnänjouston tavoitteena ei ole ensisijaisesti energian säästö vaan sähkönkulutuksen tasoittaminen ja huippukuormitusten vähentäminen siirtämällä kuormitusta pienemmän kulutuksen ajankohtaan. Perinteisissä energiajärjestelmissä sähköntuotanto on seurannut kulutusta, mutta joustamattoman tuotannon, kuten uusiutuvan energian ja ydinvoiman lisääntyessä on kulutuksen seurattava tuotantoa. Kulutushuippujen aikaan on tyypillisesti käytössä paljon ympäristöpäästöjä aiheuttavia energian tuotantomuotoja, joiden käyttöä tasaisella kulutuksella voitaisiin vähentää.

Opinnäytetyö on osatutkimus Kysynnänjoustohanketta. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin asuinkiinteistöjen sähköverkkojen rakennetta ja niiden tyypillisimpiä tehoja kysynnänjoustokentässä. Eri kiinteistötyypeistä laadittiin case -muotoisia esimerkkejä, joissa pyrittiin selvittämään tapauskohtaisesti tyypillisimmät tehot ja niiden ohjausmahdollisuudet. Potentiaalisista ohjattavista tehoista, jotka eivät sisältäneet valmiita ohjauskytkentöjä, laadittiin kytkentämuutosehdotukset.

Työn tuloksena saatiin selvitettyä asuinkiinteistöjen potentiaalisimmat tehot, joita ovat mm. sähkölämmitystehot sekä erilaisten lämpöpumppujen sähkövastustehot. Kuormanohjausmahdollisuudet sijaitsevat sähkölämmityksessä, joka sisältää tyypillisesti valmiin ohjauskytkennän. Ongelmat kuormanohjausmahdollisuuksissa johtuvat sähköverkkojen rakenteesta eri kiinteistötyypeissä. Lisäksi ongelmia tuottavat sähkölaitteiden erilainen reagointi sähkön hetkelliseen katkeamiseen. Kysynnänjoustoa toteutettaessa on myös mietittävä käyttäjämukavuutta kuormienohjauksissa.

## **ABSTRACT**

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

JESSE RANTANEN:  
Demand Response  
Electricity Networks in Residential Buildings

Bachelor's thesis 60 pages  
May 2014

---

Committee for Electricity Supply & Trading coordinated by Finnish Energy Industries Association has launched a research project to find practical solutions for the implementation of demand response in Finland and its impact on power distribution companies. This study is a part of the research project.

The aim of demand response is to equalize the electricity consumption and reduce peak loads by shifting the loads into a period of lower consumption. Saving energy is not the purpose of demand response. In the traditional energy systems the production of electricity has followed the consumption. When increasing the inflexible production, such as renewable energy and nuclear power, the electricity consumption must follow the production. During the peak loads a lot of energy is produced by means that cause environmental emissions. Environmental emissions could be reduced by steady consumption.

This study examined the technical solutions and the average power consumption in existing residential buildings. The purpose was to figure out the most typical power usages and the possibilities to control them, on a case-by-case basis. Suggestions for circuit changes were made for the potentially controllable power capacities that did not include ready-made control circuits.

As a result of this study, the potential power capacities in existing residential buildings were found. They include e.g. electric heating capacity and the heating capacity of different heating elements in heat pumps. The opportunities of load control are in electric heating that typically includes ready-made control circuits. The problems in load control are caused by power grid structures in different types of buildings. Additional problems are caused by the response of electric appliances to momentary power outages. When planning the implementation of demand response, the user comfort also has to be considered in the load control.

---

Key words: demand response

## SISÄLLYS

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | JOHDANTO.....   | 6  |
| 1.1   | Työn tavoite .....  | 6  |
| 1.2   | Hankkeen kuvaus .....                                       | 6  |
| 2     | KYSYNNÄNJOUSTOSTA YLEISESTI .....                           | 8  |
| 2.1   | Huipputehokuormitukset .....                                | 8  |
| 2.2   | Huipputehokuormien vaikutukset.....                         | 10 |
| 2.3   | Kustannusvaikutukset .....                                  | 11 |
| 3     | TYYPPIKIINTEISTÖT JA ESIMERKKITAPAUKSET .....               | 15 |
| 3.1   | Kiinteistöjen luokittelu .....                              | 15 |
| 3.2   | Tehonohjaus mahdollisuuksien määrittely .....               | 15 |
| 4     | HUIPPUKUORMIEN OHJAUS.....                                  | 20 |
| 4.1   | Huippukuormien rajoitus uudiskohteissa.....                 | 20 |
| 4.2   | Huippukuormien rajoitus olemassa olevissa kohteissa.....    | 20 |
| 4.3   | Hajautetun tuotannon käyttäminen huippukuorman aikana ..... | 20 |
| 5     | ASUINKIINTEISTÖJEN KYSYNNÄNJOUSTO .....                     | 22 |
| 5.1   | Pientalot .....   | 23 |
| 5.1.1 | SLY-Kytkenä .....   | 24 |
| 5.1.2 | Pääsulakkeiden mitoitus ja huipputehon laskenta.....        | 25 |
| 5.1.3 | Case suora lämmitys SLY-kytkentä.....                       | 29 |
| 5.1.4 | Case B VILP 2012 .....                                      | 30 |
| 5.1.5 | Case C sähkölämmitys 2012 .....                             | 33 |
| 5.1.6 | Case D MLP 2012 .....                                       | 36 |
| 5.1.7 | Case E PILP 2012 .....                                      | 38 |
| 5.2   | Rivi – ja paritalot .....                                   | 40 |
| 5.3   | Case F sähkölämmitteinen rivitalo 1986 .....                | 40 |
| 5.4   | Kerrostalot .....   | 41 |
| 5.4.1 | Case G kaukolämpö kerrostalo 1998 .....                     | 42 |
| 5.5   | Lomakiinteistöt .....                                       | 44 |
| 6     | KYTKENTÄMUUTOKSET.....                                      | 46 |
| 6.1   | Kiukaan ohjaus (tehonrajoitus).....                         | 46 |
| 6.2   | Yksittäisten kojeiden ohjaus / lisälämmitykset.....         | 50 |
| 6.3   | Lämpöpumppukohteet .....                                    | 53 |
| 7     | VALMIIT OHJAUSPOTENTIALIT .....                             | 55 |
| 8     | LÄMMITYSTAPOJEN KEHITYS SUOMESSA.....                       | 56 |
| 9     | POHDINTA.....   | 58 |
|       | LÄHTEET.....  | 59 |

**LYHENTEET JA TERMIT**

|          |  |
|----------|--|
| TAMK     | Tampereen ammattikorkeakoulu                           |
| TTY      | Tampereen teknillinen yliopisto                        |
| LUT      | Lappeenrannan teknillinen yliopisto                    |
| ST-pooli | Energiateollisuus ry:n koordinoima sähkötutkimus-pooli |
| AMR      | Automatic meter reading, automaattinen mittariluenta   |
| CEM      | Customer Energy Manager                                |
| MLP      | Maalämpöpumppu   |
| PILP     | Poistoilmalämpöpumppu                                  |
| VILP     | Ilma-vesilämpöpumppu                                   |

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tavoite

Työn tarkoituksena on tutkia ja kartoittaa Suomen kiinteistökannan sähköverkoja ja etsiä niistä potentiaalia sekä teknisiä ratkaisuja kysynnänjoustoon osana Energiateollisuus ry:n koordinoiman energia-alan sähköverkko- ja palveluntuotantoalan tutkimusta edistävän yhteistoimintaelimen Sähkötutkimuspoolin ”Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut” hanketta. Hankkeeseen tehdään TAMKissa neljästä eri tarkastelunäkökulmasta opinnäytetyöt kulluttajapään teknisistä ratkaisuista osana kysynnänjouston toteutumista. Kappalet 1-4 ovat kirjoitettu hankkeeseen osallistuneiden Tampereen ammattikorkeakoulun opiskelijoiden yhteistyönä.

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena selvittää asuinkiinteistöjen osalta niiden tyypillisimmät verkon rakenteet ja kysynnänjouston kannalta potentiaalisimmat tehot ja niiden ohjausmahdollisuudet.

## 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 kysynnänjouston 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 yhteistyötahojen 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 kysynnänjouston aiheuttamia vaikutuksia jakeluverkkoyhtiöille sekä kuinka vaikutuksiin pystytään vastaamaan.

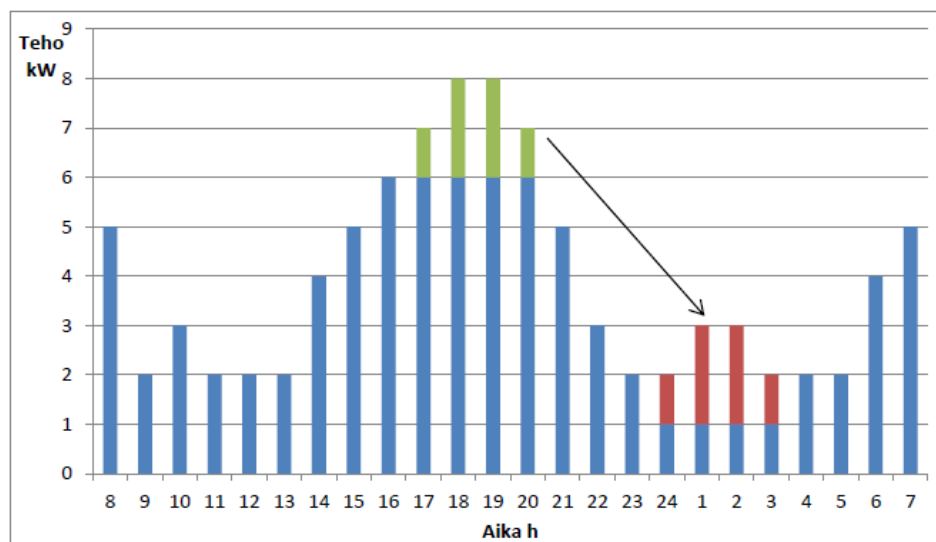
Kokonaisuudessaan hanke jakautuu viiteen eri osatehtävään, joidenka toteutus pyritään tuottamaan hankkeen kaikkien eri osapuolten yhteistyönä. Osatehtävät 2, 3 ja 5 kuuluvat TAMK:n ja TTY:n painopisteeseen ja osatehtäviin 1 ja 4 kohdistuu LUT:n tutkimus.

- 1) Kysynnänjouston tarpeet, hinnoittelurakenteet ja markkinamekanismit
- 2) Kysynnänjouston teknis-taloudellinen potentiaali
- 3) Kuluttajapään tekniset ratkaisut erilaisissa kohteissa
- 4) Kysynnänjouston 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 KYSYNNÄNJOUSTOSTA YLEISESTI

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



KUVIO 1. Kysynnänjouston havainnollistaminen (Grip K. 2013. Diplomityö).

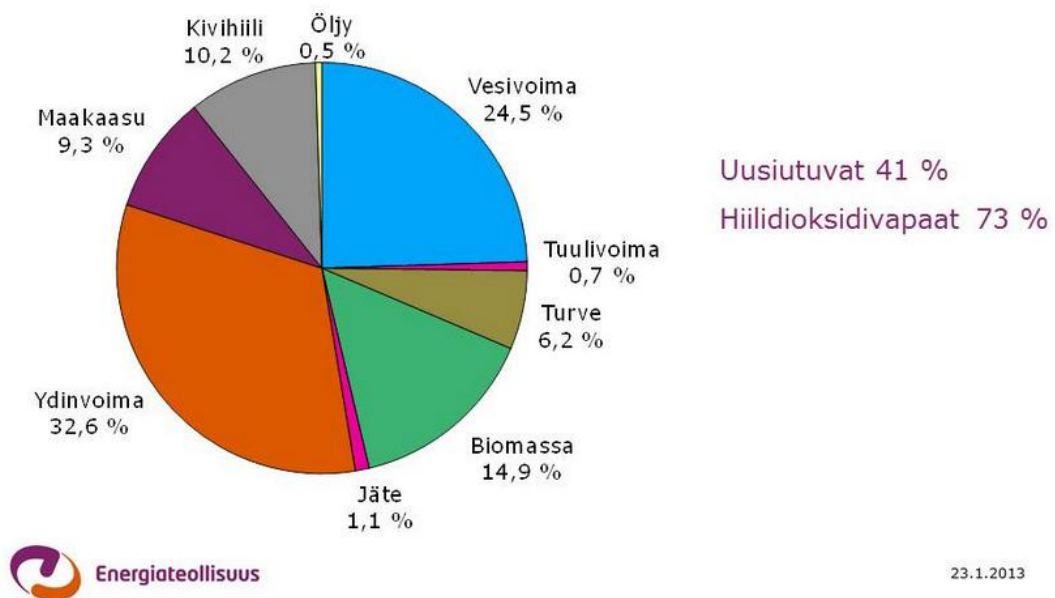
### 2.1 Huipputehokuormitukset

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 kysynnänjoustoa ja energiavarastoja. Sähkön kysynnänjouston edistäminen on keskeinen tavoite älykkään sähköverkon kehittämisessä. Valta-kunnallisten sähköntehohuippujen aikaan energian hinta yleensä nousee selvästi, ja näiden aikaan on käytössä myös paljon päästöjä aiheuttavia energiantuotantomuotoja. Kysynnänjouston avulla voidaan sähkönkulutusta siirtää sähkö-



tehohipuista 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 sähköntuotanto Suomessa energialähteittäin vuonna 2012. Sähkönjakeluverkon tasolla saattaa kuitenkin esiintyä tilanteita, jolloin verkon huippukuormitus osuu ajankohtaan, jolloin energia olisi halpaa, mikä lisää kysynnänjoustoon problematiikkaa. Joustavasti käyttäytyvä ja ohjattavissa oleva kuormitus muodostaa merkittävän potentiaalin myös koko voimajärjestelmän erilaisille reserveille. Kysynnänjousto on laaja kokonaisuus, joka sisältävät järjestelmävastaavan, tasevastaavan, sähkönmyyjän, jakeluverkkoyhtiön sekä asiakkaan näkökulmat. (Projektisuunnitelma v.2.1 2013).

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



KUVIO 2. Sähkön tuotanto energialähteittäin 2012

(Sähkön tuotanto. Energiateollisuus ry.)

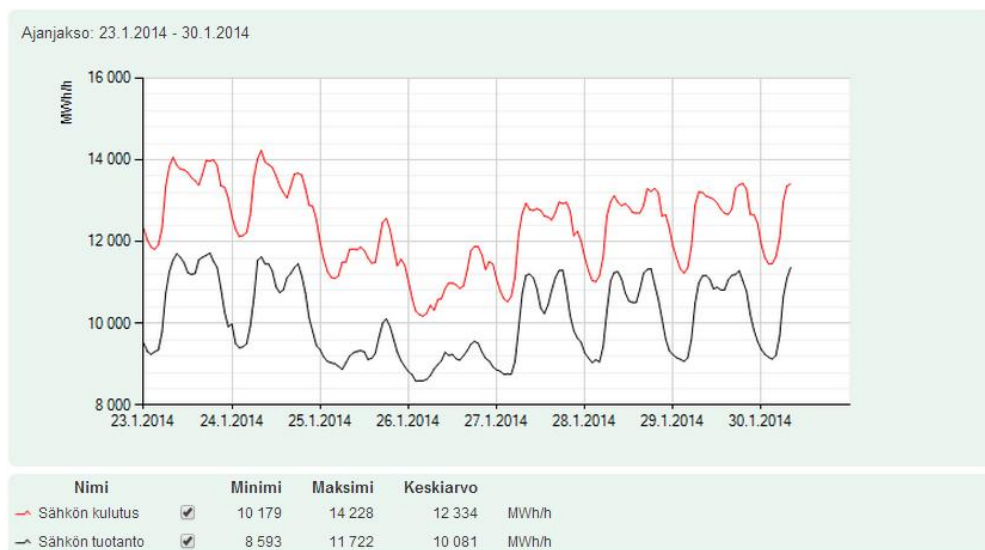
Sähkoyhtiöillä oli ennen sähkömarkkinoiden vapautumista osin yhtiökohtaisia, osin yhteiseen kytkentäsuositukseen perustuvia vaatimuksia erityisesti sähkölämmityskiinteistöjen tehonrajoituksista ja tehonohjausvarauksista. Vastaavia yhtiökohtaisia ohjeita on edelleen laajasti olemassa. Yleisesti kiinteistöjen sähköverkkoja tai niiden ohjausjärjestelmiä ei ole suunniteltu eikä suunnittelua ole ohjattu ottamaan huomioon kuormanohjaustarpeita. Kuormanohjauksen käyt-

töönotto 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 palatua 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 polt-

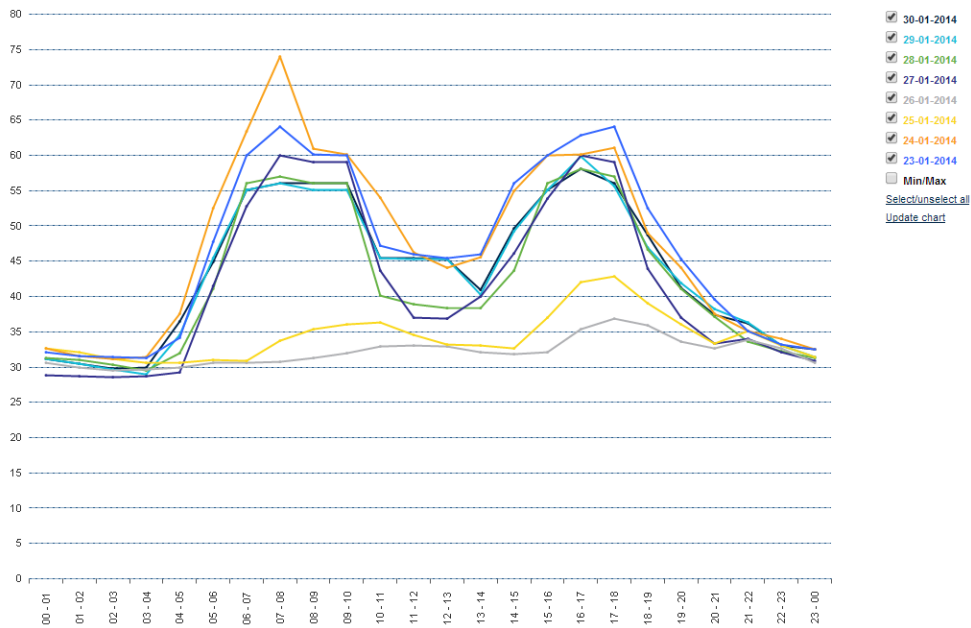
toaineenaan. Tämän tyyppisten voimalaitosten tarkoituksena on turvata keskeytymätön sähköjakelu huippukuormituksen aikana, eikä niinkään tuottaa energiaa mahdollisimman tehokkaasti ja päästöttömästi. Kyseisillä voimalaitoksilla sähköntuotanto saattaa olla jopa tappiollista verkkoyhtiöille, mikä lisää tarvetta kulutushuppujen tasaamiselle.

Kysynnänjouston aiheuttamat muutokset heijastuvat suuresti Suomen sähköverkon aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin. Fossiilisia polttoaineita käyttävien huippukuormalaitosten vähentynyt käyttöaste pienentää osaltaan sähköntuotannon aiheuttamia päästöjä. Kysynnänjousto 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 kysynnänjouston avulla tasaamaan. Tämä tarkoittaa varsinkin pitkillä siirtoyhteisillä tehonsiirtohäviöiden pienentymistä, joka edelleen säästää energiaa käytettäväksi kulutuskohteissa. Vähentyneet hiilidioksidipäästöt helpottavat Suomen asemaa EU:n asettamissa päästökauppa määräyksissä, joka vaikuttaa teollisuuden kilpailukykyyn.

### **2.3 Kustannusvaikutukset**

Kysynnänjoustossa ei ole tarkoituksena vähentää kokonaiskulutusta. Osana kysynnän jouston toteutumista sähkön keskihinta tulee laskemaan ja sähkön tuntikohtaiset hintavaihtelut pienenevät. Tämä itsessään syö kysynnänjouston toimintaperiaatetta sekä mielekkyyttä siihen osallistumiseen kuluttajan näkökulmasta. Kuviossa 4 on esitettyä erään ajanjakson tuntikohtaiset sähkön spot – hinnat. Tuntikohtaiseen hintaan vaikuttavat mm. kulutusennusteet ja sääolosuhteet.

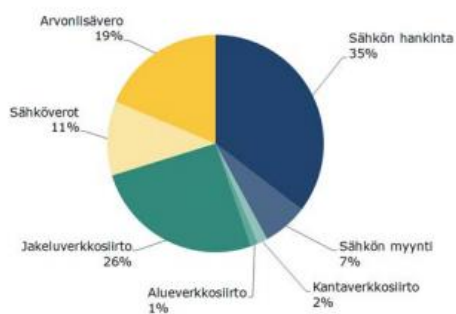


KUVIO 4. Sähkön tuntihinta €/MWh 23-30.1.2014 (EISpot. 2014. NordPool).

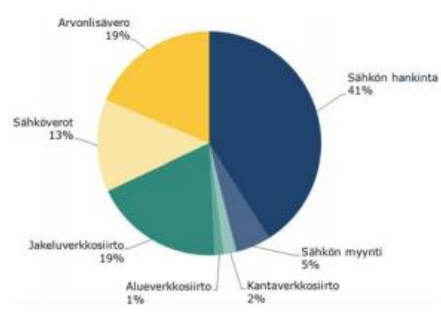
Sähköhinta muodostuu kuluttajalle sähköenergian tuotannosta ja sähkösiirrosta. Kuluttaja voi ostaa sähköenergian haluamaltaan tuottajalta, esimerkiksi Fortum, Tampereen Sähkölaitos tms. Sähkönsiirtoon asiakas ei voi luonnollisesti vaikuttaa, sähköä siirtävä verkkoyhtiö määräytyy asiakkaan sijainnin mukaan.

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

**Tyypillisen kotitalouskuluttajan sähkön hinnan muodostuminen**

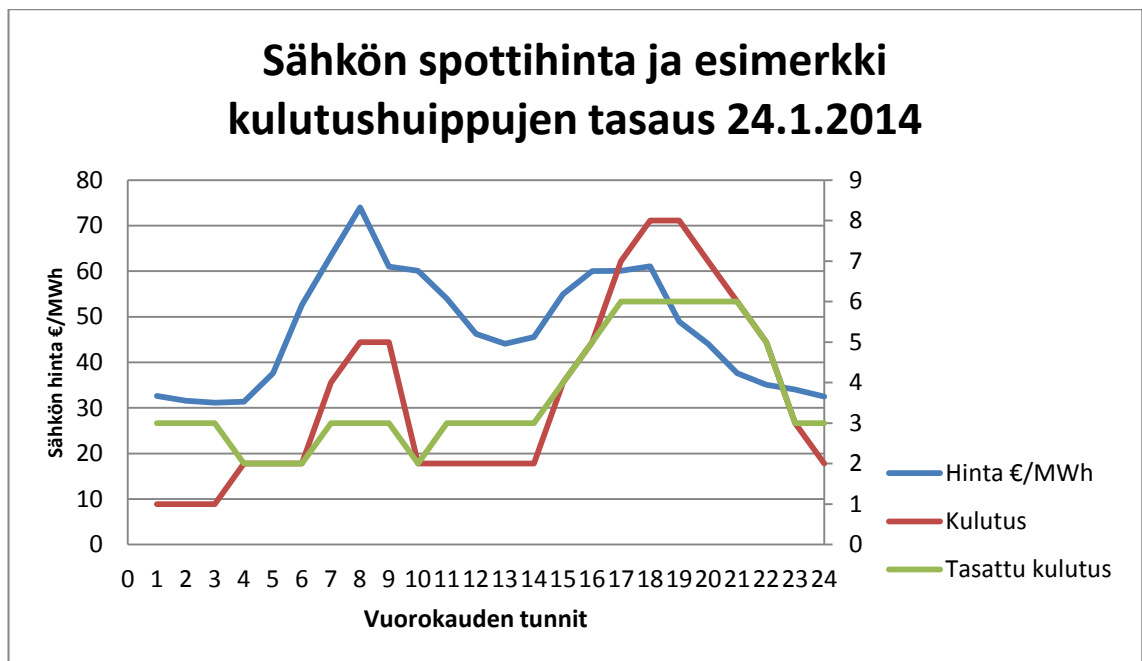


**Tyypillisen sähkölämmittäjän sähkön hinnan muodostuminen**



KUVIO 5. Sähkön hinnan muodostuminen. (Sähkön hinta pähkinänkuoressa. 2011. 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 säästö pysyy alle kymmenen prosentin



KUVIO 6. Esimerkki kulutushuippujen tasauksesta. (Salminen S. 2014).

TAULUKKO 1. Kulutushuippujen tasauksen vaikutus kustannuksiin.

| 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 kysynnänjouston kannattavuutta niiden sähkönkulutuksen optimoinnissa. Näiden tietojen pohjalta hankittiin erilaisten kohteiden sähkösuunnitelmadokumentteja yhteistyökumppaneilta. Projektissa käytetyt sähkösuunnitelmadokumentit valikoitiin siten, että erilaisista kohteista saatiin kattavasti kuvia eri aikakausilta. Tätä pidettiin tärkeänä, koska sähköverkkoyhtiöiden asiakkaina on suuri määrä erilaisia kiinteistöjä, jotka on rakennettu eri aikakausina ja täysin eri lähtökohdista.

Esimerkkikiinteistöjen avulla laadittiin mallitapauksia erityyppisten kiinteistöiden sähkölukutuksesta ja sen jakaantumisesta kiinteistön erilaisten sähköjärjestelmien kesken. Esimerkkitapaukset antavat tietoa erilaisten kohteiden todellisista tehonpudotusmahdollisuuksista.

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

Tehonohjauksen mahdollisuuksien määrittelyä varten laadittiin 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.

TAULUKKO 2. Hankkeessa käytetyt tutkimuskohteet (Harsia P. 2014 Kysynnänjousto materiaalit).

| 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         |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      | Sairaalat                |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      | Päiväkodit               |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
| Opetusrakennukset    | Koulut                   |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      | Korkeakoulut             |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
| Toimistorakennukset  | Toimistot                |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |
|                      | Myynti-<br>ä rakennukset |                         |        |           |           |           |           |           |           |           |       |

Tapausten esittelyä varten laadittiin erityyppisiä tutkimuskohteita, joiden avulla havainnollistetaan esimerkitapauksia. Taulukossa 2 on esitetty hankkeen tutkimuskohteet.

Kun tyyppikiinteistöt ja Suomen rakennuskanta on tiedossa, niin voidaan taulukossa 3 esitettyjen kulutustietojen perusteella arvioida, kuinka suuri potentiaali Suomen asuin-kiinteistökannasta on saatavilla kuormanohjauksen piiriin. Asuin-kiinteistöjen kulutustiedot ovat lisäksi havainnollistettu kuviossa 7. Kulutustie-



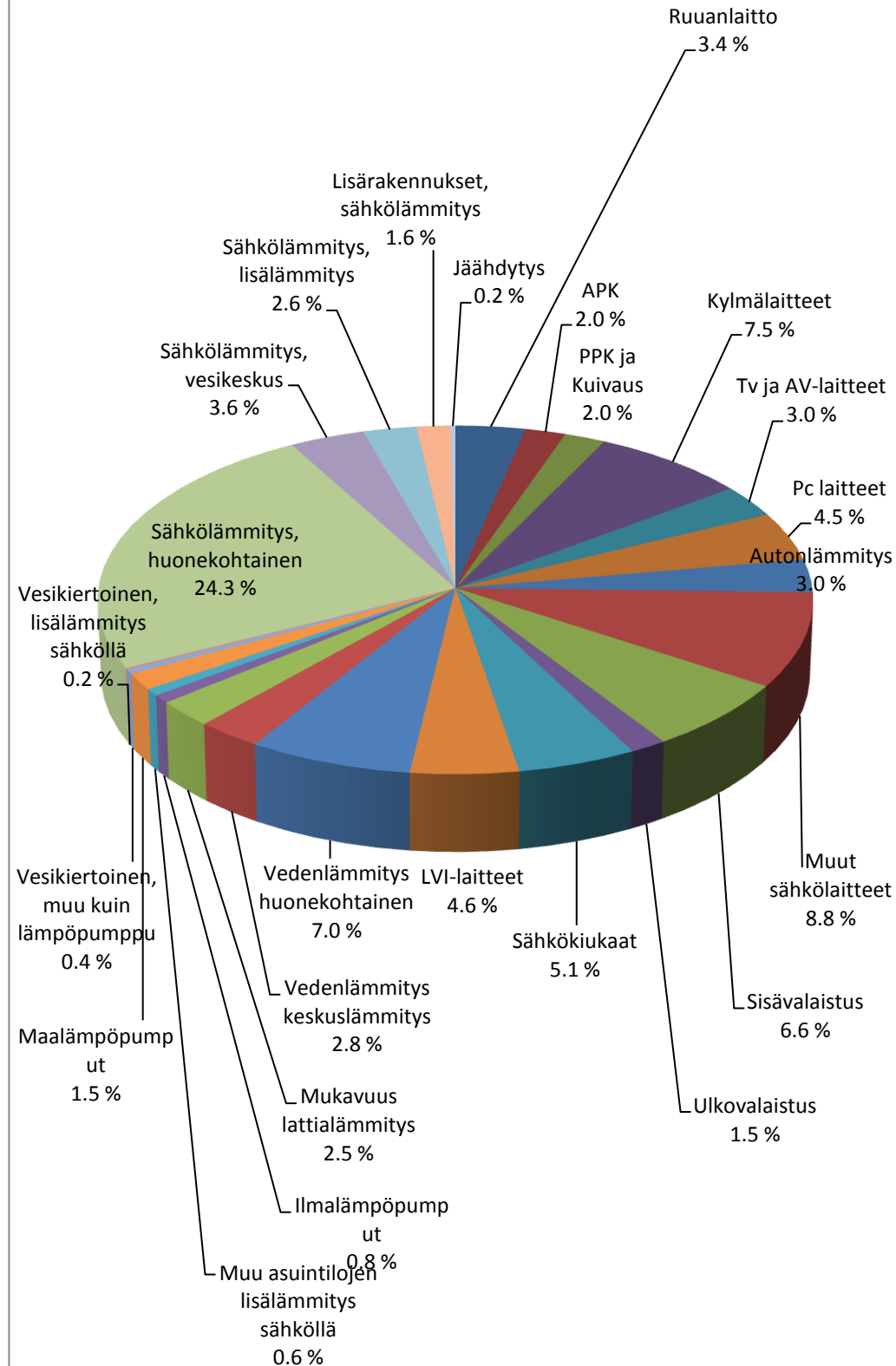
doista on havaittavissa, että yli puolet asuinkiinteistöjen käyttämästä sähköenergiasta kuluu kiinteistön lämmittämiseen.

Kysynnänjouston kannalta oleelliset tehohuiput eivät kuitenkaan johdu yksinomaan sähkölämmittämisestä syntyvästä tehosta. Sähkölämmitteisissä kohteissa lämmitysteho jakaantuu tasaisesti, lukuun ottamatta lämminvesivaraajien ja varaavien lämmitysten aiheuttamia tehopiikkejä. Kyseisissä tapauksissa suuret massat kytkeytyvät samanaikaisesti päälle sähköä ollessa halvempaa. Kulutus-  
huiput johtuvat eri laitteiden tehonkulutuksien summasta. Esimerkkinä voidaan pitää kylmää arkipäivää n. kello 16.00 – 18.00, jolloin ihmiset palaavat töistä kotiin ja alkavat laittaa ruokaa. Näinä ajankohtina kysynnänjouston kannalta olisi tärkeä pystyä ohjaamaan lämmitystehoa.

TAULUKKO 3. Kotitalouksien sähkönkäyttö 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 7. Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011 (Tutkimusraportti. 2013. Motiva).

## **4 HUIPPUKUORMIEN OHJAUS**

### **4.1 Huippukuormien rajoitus uudiskohteissa**

Uudiskohteissa huippukuormien rajoittaminen pystytään toteuttamaan kustannustehokkaammin, kuin olemassa olevissa kohteissa. Rajoituksen toteuttamiseen on useita eri vaihtoehtoja ja niiden toteuttaminen tulee huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Suurin este kuorman ohjauksen toteutumiselle 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. Suomen rakennuskannassa rajoituksen toteutettavuus riippuu paljon kohteiden sähköverkon rakenteesta ja olemassa olevista ohjausmahdollisuuksista. Tässä työssä asiaa tutkitaan pääasiassa juurikin olemassa olevissa asuinrakennuskiinteistöissä. Toimitilojen puolella Joonas Siivonen on tehnyt hankkeen puitteissa opinnäytetyön.

### **4.3 Hajautetun tuotannon käyttäminen huippukuorman aikana**

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 kulu-tushuippujen 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 ASUINKIINTEISTÖJEN KYSYNNÄNJOUSTO

Asuinkiinteistöjen sähköverkkoja tutkitaan tässä työssä case –muotoisina tapauksina. Taulukossa 4 on eriteltynä käsiteltävät esimerkkikohteet. Taulukon jaottelu on toteutettu eri aikakausien sähköverkkojen tyyppien mukaisesti.

TAULUKKO 4. Työssä käsiteltävät case tyyppikiinteistöt.

| Luokka           | Tyyppi                | Lämmitysmuoto           | <1970 | 1970-1980 | 1980-1985 | 1986-1990 | 1991-1995 | 1996-2000 | 2001-2005 | 2011- |
|------------------|-----------------------|-------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| Asuinrakennukset | Pientalot             | Sähkölämmitys"suora"    |       |           |           |           | A         |           |           | C     |
|                  |                       | Sähkölämmitys "varaava" |       |           |           |           |           |           |           |       |
|                  |                       | Öljy/kaukolämpö         |       |           |           |           |           |           |           |       |
|                  |                       | Maalämpö                |       |           |           |           |           |           |           | D     |
|                  |                       | Lämpöpumput/"seka"      |       |           |           |           |           |           |           | B,E   |
|                  | Rivitalo              | Sähkölämmitys"suora"    |       |           |           | F         |           |           |           |       |
|                  |                       | Öljy/kaukolämpö         |       |           |           |           |           |           |           |       |
|                  |                       | Maalämpö                |       |           |           |           |           |           |           |       |
|                  | Kerrosta lot          | Sähkölämmitys"suora"    |       |           |           |           |           |           |           |       |
|                  |                       | Öljy/kaukolämpö         |       |           |           |           |           | G         |           |       |
|                  |                       | Maalämpö                |       |           |           |           |           |           |           |       |
|                  | Loma kiinteistö + muu | Sähkölämmitys"suora"    |       |           |           |           |           |           |           |       |
|                  |                       | muu                     |       |           |           |           |           |           |           |       |

Eri aikakausina on ollut monia eri määräyksiä ja asennusstandardeja, jotka ovat vaikuttaneet asennuksiin ja sähköverkkojen rakenteisiin (Kuvio 8). SFS 6000 standardisarja ”pienjännitesähköasennukset” uusittiin vuonna 2007. Nykyisin käytössä oleva päivitys ilmestyi vuonna 2012.

Yksi oleellisimmista muutoksista vuosien saatossa on vikavirtasuojajatkimien tulo pakolliseksi uusissa pistorasioissa vuonna 2008. Tätä aiemmin vikavirtasuojia on edellytetty vain kylpyhuoneiden ja ulkotilojen pistorasioissa. Muutoksen johdosta sekaryhmien käyttö on vähentynyt. Vikavirtasuojaa ei kuitenkaan vaadita tapauksissa, joissa syötön katkeamisesta voi aiheutua merkittävää vahinkoa. Tyypillisesti kyseiset laitteet ovat kiinteitä laitteita, joita syöttää yksi vain laitteelle tarkoitettu pistorasia.

| <b>Määräys /Asennusstandardi</b>  | <b>Voimassa alkaen</b> |
|---|------------------------|
| Standardisarja SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset  | 2.1.2000               |
| Sähkötarkastuskeskuksen julkaisu A 2-94 "Rakennusten sähköasennukset" (perustuu pääosin standardisarjoihin CENELEC HD 384 ja IEC 60364) | 1.7.1997               |
| Sähkötarkastuskeskuksen julkaisu A 1-93 "Sähköturvallisuusmääräykset"   | 31.12.1993             |
| Sähkötarkastuskeskuksen julkaisu A 1-89 "Sähköturvallisuusmääräykset"+ korjattu painos  | 1.7.1991               |
| Sähkötarkastuskeskuksen julkaisu A 1-80 "Sähköturvallisuusmääräykset"+ muutokset 1985 ja 1986   | 1.1.1981               |
| Sähkötarkastuslaitoksen julkaisu A 1-74   | 1.7.1974               |
| Sähkötarkastuslaitoksen julkaisu A 1-57 "Sähkölaki ja varmuusmääräykset" + A1-66  | 1.10.1957              |
| Sähkötarkastuslaitoksen käsikirja 1 "Varmuusmääräykset"   | 1.7.1930               |

KUVIO 8. Standardi muutokset.

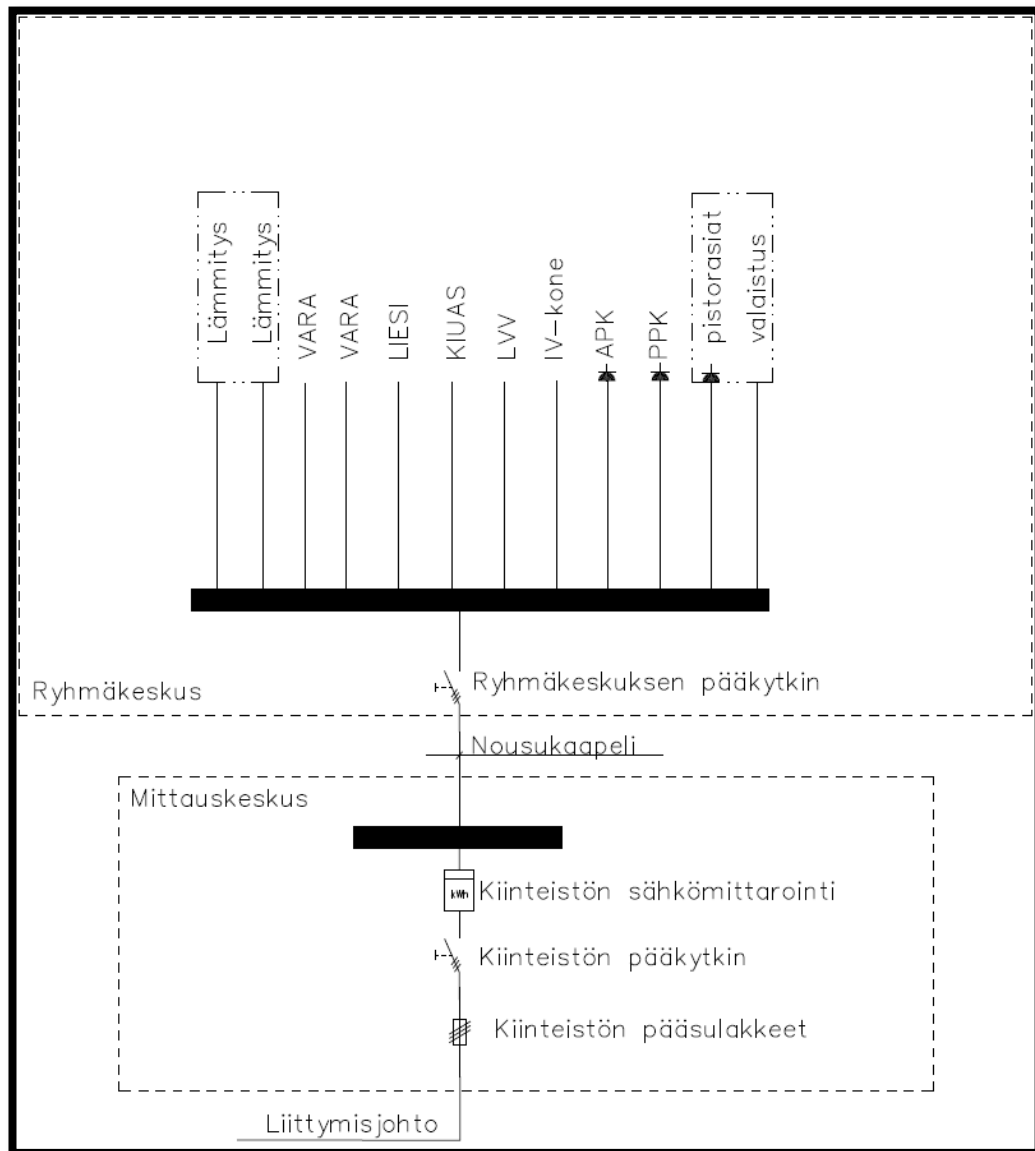
## 5.1 Pientalot

Pientaloja Suomessa oli vuonna 2012 1 112 315, joista n. 480 000 sähkölämmityskohteita (Suomen tilastokeskus). Kuviossa 9 on esitetty, että sähköverkko koostuu liittymiskaapelista, mittarikeskuksesta ja ryhmäkeskuksesta. Verkon pääkomponentit ovat järjestyksessä liittymiskaapeli, pääsulakkeet, pääkytkin, sähkömittari, nousukaapeli ryhmäkeskukselle, ryhmäkeskuksen pääkytkin ja ryhmälähdöt. Pääsulakkeet valitaan kiinteistön huipputehon mukaan.

Pääkeskus voi olla integroituna ryhmäkeskukseen tai sijaita omana erillisenä keskuksenaan esimerkiksi autotallissa tai talon ulkoseinällä. Se sisältää kiinteistön pääsulakkeet, pääkytkimen ja sähkömittarin, lisäksi mittarikeskuksessa voi olla myös ryhmälähtöjä.

Ryhmäkeskus sijaitsee normaalisti kiinteistön sisällä, esim. eteisessä, varastossa tai erillisessä teknisessä tilassa. Sähkönjakelu on jaettu niissä useisiin ryhmälähtöihin, jotka ovat toteutettu suorina lähtöinä (pelkkä sulake/johdonsuojakatkaisija) tai ohjattuina lähtöinä (sulake/johdonsuojakatkaisija

+ kontaktori). Ryhmälähtöjen määrä vaihtelee hyvin paljon aikakausittain. Vanhoissa kiinteistöissä on vähän ryhmälähtöjä ja niiden suojaukseen on käytetty perinteisiä sulakkeita. Uusissa kohteissa määräyksien tiukentumassa sähkönjakelua on jaettu useampiin ryhmälähtöihin. Niiden suojaus on joko toteutettu sulakkeilla tai johdonsuojakatkaisijoilla.



KUVIO 9. Omakotitalon sähköverkon periaatekuva.

### 5.1.1 SLY-Kytcentä

SLY -kytkentä on tyypillinen jakeluverkkoyhtiöiden entisaikaan suosittelu sähkölämmityksen vakio ohjaustapa. SLY -kytkentäsuositus tehtiin vuonna



1986 ja sitä uudistettiin vuonna 1992. Kytkennän ominaisuuksia ovat mm. yö-aikatieto/tariffiohjaustieto, huipputehon rajoitus, tehon ohjaus sähköverkon huipputehon aikana, sekä erilaiset lämmityksen käyttökytkimet ja lämmin-vesivaraajan päiväkäyttöohjaus.

Tariffiohjauksella tarkoitetaan niin sanottua aikaohjausta. Sitä käytetään etenkin varaavissa kohteissa, joissa varattava massa (esim. laattalattia tai vesisäiliö) pyritään lämmittämään sähkön ollessa halpaa.

Huipputehon rajoituksella (kiuasvuorottelu) tarkoitetaan sähkölämmityskuormien pois pudottamista kiukaan päälläolon ajaksi. Kiuasvuorottelun avulla saadaan pienennettyä kiinteistöä suojaavien pääsulakkeiden kokoa.

Lämmityskuormia voidaan pakottaa pois päältä sähköverkon huipputehon aikana verkkokäskeytyohjauksella. Kyseisen ohjauksen taakse kytketyt lämmityskuormat vaihtuvat kohteittain.

### 5.1.2 Pääsulakkeiden mitoitus ja huipputehon laskenta

Kiinteistön pääsulakkeita mitoittava virta lasketaan kaavan 1 mukaisesti. Pääsulakkeiden koko valitaan mitoittavan virran perusteella. Sulakkeiden tulee olla mitoittavaa virtaa suurempi.

$$I (A) = \frac{P_h(W)}{\cos \varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U(V)} \quad (1)$$

missä:

|       |   |                      |
|-------|---|----------------------|
| I     | = | mitoittava virta (A) |
| $P_h$ | = | huipputeho (W)       |
| U     | = | Pääjännite (V)       |

Omakotitalojen huipputehon laskentaan tässä työssä on käytetty ST-kortin 13.31 julkaisemaa laskentamallia. Kuviossa 10 on esitetty laskentamalli asuinrakennuskohteille. Huipputeho voidaan myös vaihtoehtoisesti laskea huoneistokohtaisilla malleilla. Huoneistokohtaiset laskentamallit ovat esiteltynä kuvioissa 11, 12 ja 13.

|   |  |   |
|---|--|---|
| Asuinrakennukset  |  | Huomautuksia  |
| Kerros- ja rivitalot:   | Huipputeho [kW]  | $A_{krs}$ = kerrosala [m <sup>2</sup> ]   |
| 1 Ilman kiukaita  | $P_{max} = P_{vz} + 17 * A_{krs} / 1000$<br>$P_{vz} = 65 \text{ kW}$ | Soveltuu, jos $A_{krs}$ on vähintään 2500 m <sup>2</sup> .<br>Pienemmissä $P_{vz}$ korvataan arvolla:<br>$P_v = A_{krs} / 2500 * P_{vz}$<br>$P_v$ vähintään 30 kW |
| 2 Huoneistokohtaiset kiukaat  | $P_{max} = P_{vz} + 24 * A_{krs} / 1000$<br>$P_{vz} = 90 \text{ kW}$ |   |
| Pienet rivitalot:   | Huipputeho [kW]  | Rivitalot, joissa 5-15 huoneistoa;<br>$A_{lsm}$ = lämmitetty pinta-ala [m <sup>2</sup> ]  |
| 1 Ei sähkölämmitystä, kiuas on  | $P_{max} = 30 + 26 * A_{lsm} / 1000$                                 |   |
| 2 Suora sähkölämmitys, kiuas  | $P_{max} = 30 + 64 * A_{lsm} / 1000$                                 | Käyttöveden lämmitys jatkuvana tai yöllä  |
| 3 Suora sähkölämmitys, kiuas tai kiuasvaraus  | $P_{max} = 30 + 49 * A_{lsm} / 1000$                                 | Käyttöveden lämmitys yöllä  |
| Omakotitalot ja erittäin pienet rivitalot:  | Huipputeho [kW]  | Maksimi 4 rivitalohuoneistoa tai omakotitalot; $A_{lsm}$ = lämmitetty pinta-ala [m <sup>2</sup> ]   |
| 1 Ei sähkölämmitystä, kiuas on  | $P_{max} = 7,5 + 26 * A_{lsm} / 1000$                                |   |
| 2 Suorasähkölämmitys, kiuas   | $P_{max} = 7,5 + 64 * A_{lsm} / 1000$                                | Käyttöveden lämmitys jatkuvana tai yöllä  |
| 3 Suora sähkölämmitys, kiuas tai kiuasvaraus  | $P_{max} = 7,5 + 49 * A_{lsm} / 1000$                                | Käyttöveden lämmitys yöllä  |
| Paikoitusalueet:  |  | $N_{auto}$ = lämmitettyjen autopaikkojen lukumäärä<br>$P_{pys}$ = pysäköintialueen huipputeho [kW]  |
| 1 Pysäköintialue  | $P_{pys} = 10 + 0,5 * N_{auto}$                                      |   |
| Huomautukset: Liittymisjohdon virtaa määritettäessä tulee huomioida kuormituksen tehokerroin $\cos \phi$ . Jos loistehon osuus on vähäinen, voidaan arvioida $\cos \phi = 0,96$ . |  |   |

KUVIO 10. Huipputehon laskentakaavat (ST-kortti 13.31).

|  |
|--|
| <p><b>Huoneiston perussähköistys + sähkökiuas</b></p> <p>Asuinhuoneiston huippukuormitus lasketaan seuraavasti:</p> $P_{hmax} = P_{val} \times A_h / 1000 + P_{kk} + P_{kev}$ <p><math>P_{val}</math> = valaistuskuorma, 10 W/m<sup>2</sup><br/> <math>A_h</math> = huoneiston pinta-ala, m<sup>2</sup><br/> <math>P_{kk}</math> = kojekuorma, kW<br/> <math>P_{kev}</math> = kiukaan ei vuoroteltu osa, kW</p> <p>Kojekuorman <math>P_{kk}</math> arvo määritetään seuraavasti:</p> $P_{kk} = 6,0 \text{ kW, kun } A_h \leq 75 \text{ m}^2$ $P_{kk} = 7,5 \text{ kW, kun } A_h > 75 \text{ m}^2$ <p>tai vaihtoehtoisesti seuraavalla kaavalla</p> $P_{kk} = 6,0 + 20 \times A_h / 1000$ |
|--|

KUVIO 11. Huipputehon huoneistokohtainen laskentakaava 1 (ST-kortti 13.31).

### Huoneiston perussähköistys + sähkökiuas + varaava sähkölämmitys + LVV

Täyssähköistetyin varaavalla tai osittain varaavalla sähkölämmityksellä varustetun asuinhuoneiston huippukuormitus lasketaan seuraavasti:

$$P_{hmax} = P_{hläm} + P_{aläm} + P_{LVV} + P_{kev} + (P_{kk} + p_{val} \times A_h / 1000)$$

$P_{hläm}$  = sähkölämmityksen teho, kW

$P_{aläm}$  = autolämmityksen teho, kW

$P_{LVV}$  = lämminvesivaraajan teho, kW

$A_h$  = huoneiston pinta-ala, m<sup>2</sup>

$P_{kev}$  = kiukaan ei vuoroteltu osa, kW

$P_{kk}$  = kojekuorma, 5 kW

$p_{val}$  = valaistuskuorma, 10 W/m<sup>2</sup>

KUVIO 12. Huipputehon huoneistokohtainen laskentakaava 2 (ST-kortti 13.31).

### Huoneiston perussähköistys + sähkökiuas + suora sähkölämmitys + LVV

Täyssähköistetyin suoralla sähkölämmityksellä varustetun asuinhuoneiston huippukuormitus lasketaan seuraavasti:

$$P_{hmax} = P_{hläm} + P_{aläm} + P_{LVV} + P_{kev} + (P_{kk} + p_{val} \times A_h / 1000)$$

$P_{hläm}$  = sähkölämmityksen teho, kW

$P_{aläm}$  = autolämmityksen teho, kW

$P_{LVV}$  = lämminvesivaraajan teho, kW

$A_h$  = huoneiston pinta-ala, m<sup>2</sup>

$P_{kev}$  = kiukaan ei vuoroteltu osa, kW

$P_{kk}$  = kojekuorma, 3 kW

$p_{val}$  = valaistuskuorma, 10 W/m<sup>2</sup>

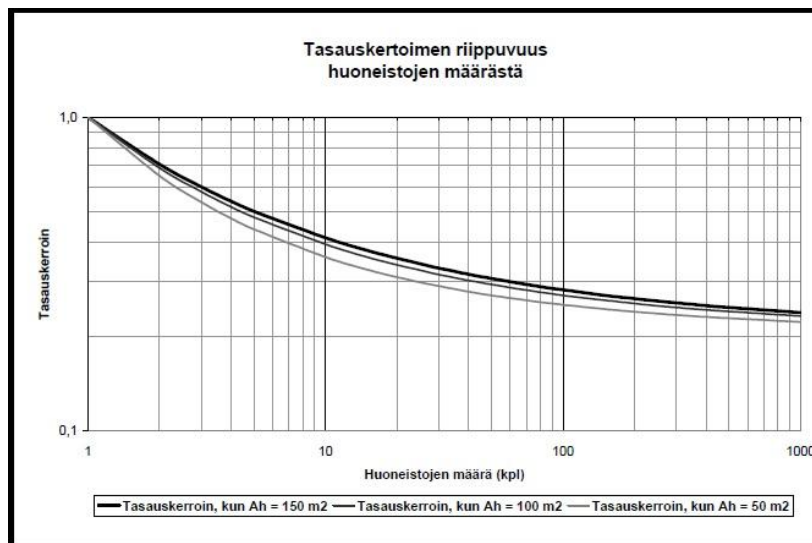
KUVIO 13. Huipputehon huoneistokohtainen laskentakaava 3 (ST-kortti 13.31).

Tässä työssä useamman huoneiston (rivi- ja kerrostalot) rakennuksen huipputehon laskennassa on käytetty kuvion 14 mukaista kaavaa, jossa tasauskerroin  $C_{(Nh)}$  on määritelty kuvion 15 mukaisella laskentamallilla. Tasauskerroin voidaan myös määrittellä kokemuspäisästi tai laskea kuvion 16 kaavan mukaisesti

$$P_{\max} = C(N_h) \times N_h \times P_{h\max}$$

$P_{\max}$  = rakennuksen huipputeho, kW  
 $C(N_h)$  = tasauskerroin huoneistojen välillä  
 $N_h$  = huoneistojen määrä  
 $P_{h\max}$  = yhden huoneiston huipputeho, kW

KUVIO 14. Huipputehon huoneistokohtainen laskentakaava 4 (ST-kortti 13.31).



KUVIO 15. Tasauskerroimen määrittely (ST-kortti 13.31).

$$C(N_h) = C_{\min} + (1 - C_{\min}) \times \left\{ 1 / \left[ 1 + \log(N_h) / \log(A_h) \right] \right\}^{3.5}$$

$C(N_h)$  = tasauskerroin, kun huoneistomäärä on  $N_h$  ja huoneiston keskimääräinen pinta-ala  $A_h$  (ks. kuva 3).  
 $C_{\min}$  = minimi tasauskerroin, jota pienemmäksi tasaus ei laske, vaikka huoneistojen määrä nousisi kuinka suureksi (tässä valittu 0,20)  
 $P_{h\max}$  = huoneiston huipputeho (kW)

KUVIO 16. Tasauskerroimen laskenta (ST-kortti 13.31).

Tässä työssä esimerkkikohteiden tehojen tarkasteluun on käytetty taulukko 5 mukaista tehotaulukkoa, jossa on havainnointi kiinteistön huipputehon muodostuminen kohteissa. Esimerkkikuva on havainnollinen ja huipputeho on laskettu kylmänä talvipäivänä, jolloin lämmitykset ovat päällä ja jäähdytys pois päältä. Eli jäähdytyksen tehona olevaa 2 kW:ta ei huomioida huipputehossa, koska se

ei ole samanaikaisesti päällä lämmityksen kanssa. Lämmitystehosta lasketaan vain puolet, koska kohteessa on kiuasvuorottelu, jolloin puolet lämmitystehosta putoaa pois.

TAULUKKO 5. Tehotaulukko esimerkki.

|                  | $P_{\text{laite}}$ [kW] | K1 | $P_{\text{vaad}}$ [kW] | K2   | $P_{\text{tarve}}$ [kW] | $P_{\text{huippu}}$ [kW] |
|------------------|-------------------------|----|------------------------|------|-------------------------|--------------------------|
| Sähkölämmittimet | 10                      | 1  | 10                     | 0,5  | 5,0                     | 20                       |
| Ilmanvaihto      | 0,1                     |    |                        |      |                         |                          |
| Jäähdytys        | 2                       | 0  |                        | 0,7  | 0,0                     |                          |
| LVV              | 3                       | 1  | 3                      | 1    | 3,0                     |                          |
| Kiuas            | 8                       | 1  | 8                      | 1    | 8,0                     |                          |
| Liesi            | 8,5                     | 1  | 8,5                    | 0,25 | 2,1                     |                          |
| APK              | 2                       | 1  | 2                      | 0,25 | 0,5                     |                          |
| PPK              | 2                       | 1  | 2                      | 0,25 | 0,5                     |                          |
|                  |                         |    |                        |      |                         |                          |
| Valo+ pr         | 3                       | 1  | 3                      | 0,25 | 0,8                     |                          |

Huipputeho muodostuu kiinteistön kojekuormien yhteistehosta, joissa on huomioitu samanaikaisuuskertoimet. K1 on samanaikaisuuskerroin muiden laitteiden kanssa ja K2 laitteen käyttöaste, eli kuinka paljon laitteen maksitehosta on normaalisti päällä. Hyvänä esimerkkinä tästä voidaan pitää liettä. Liesi on suuritehoinen laite, mutta kuitenkin hyvin harvoin sitä kuormitetaan täydellä teholla (kaikki tasot ja uuni päällä). Samanaikaisuuskertoimet ovat kokemuseräisiä arvioita.

### 5.1.3 Case suora lämmitys SLY-kytkentä

Tyypikiinteistö on 120 m<sup>2</sup> kokoinen omakotitalo, joka on rakennettu vuonna 1991. Lämmitysmuotona on sähkö. Rakennuksessa on käytetty sähkölämmittimiä sekä lattialämmitystä. Lämmityksen ohjauskytkentänä on SLY-kytkentä. Noin puolet rakennuksen lämmityskuormasta on kiuasvuoroteltu, sekä lisäksi kohteessa on kotona/poissa-kytkin sähkölämmittimille. Taulukossa 6 on esitetty tyypikiinteistön tehotaulukko.

TAULUKKO 6. Case A tehotaulukko.

|                  | $P_{\text{laite}}$ [kW] | K1 | $P_{\text{vaad}}$ [kW] | K2   | $P_{\text{tarve}}$ [kW] | $P_{\text{huippu}}$ [kW] |
|------------------|-------------------------|----|------------------------|------|-------------------------|--------------------------|
| Sähkölämmittimet | 8,8                     | 1  | 8,8                    | 0,5  | 4,4                     | 21                       |
|                  | 3,3                     | 1  | 3,3                    | 0,5  | 1,7                     |                          |
| LVV              | 3                       | 1  | 3                      | 1    | 3,0                     |                          |
| Kiuas            | 8                       | 1  | 8                      | 1    | 8,0                     |                          |
| Liesi            | 8,5                     | 1  | 8,5                    | 0,25 | 2,1                     |                          |
| APK              | 2                       | 1  | 2                      | 0,25 | 0,5                     |                          |
| PPK              | 2                       | 1  | 2                      | 0,25 | 0,5                     |                          |
| Valo+pr          | 3                       | 1  | 3                      | 0,25 | 0,8                     |                          |

Kysynnänjouston kannalta mahdollisuudet ovat sähkölämmityksessä ja LVV:ssä (taulukko 7), jotka sisältävät valmiin SLY- kytken mahdollistaman tariffi- ja huipputehonrajoitus mahdollisuuden. Muiden kojeiden ohjaaminen vaatisi kytkentämuutoksia ja lisäkontaktoreita. Lämmityksen tariffiohjattava teho vaihtelee välillä 0 – 6,34 kW, riippuen käyttökytkimien asennosta (jatkuva-0-yö). Tehonrajoituksen takana oleva ohjauspotentiaali vaihtelee välillä 0 – 8.8 kW.

TAULUKKO 7. Case A lämmityksen ohjattavat tehot.

| Tyyppikiinteistön 1 ohjattavissa olevat tehot |              |                     |                    |
|---|--------------|---------------------|--------------------|
|   | kW (kok)     | tariffiohjattu (kW) | tehonrajoitus (kW) |
| lattia lämmitys                               | 3,34         | 3,34                | 0                  |
| sähkölämmittimet                              | 8,8          | 0                   | 8,8                |
| lämmivesivaaraja                              | 3            | 3                   | 0                  |
| <b>Yhteensä</b>                               | <b>15,14</b> | <b>6,34</b>         | <b>8,8</b>         |

#### 5.1.4 Case B VILP 2012

Tyyppikiinteistö on yksikerroksinen omakotitalo (163,3 m<sup>2</sup>), joka on rakennettu vuonna 2012. Kohteessa on ilmalämpöpumppu ja vesikiertoinen lattialämmitys.

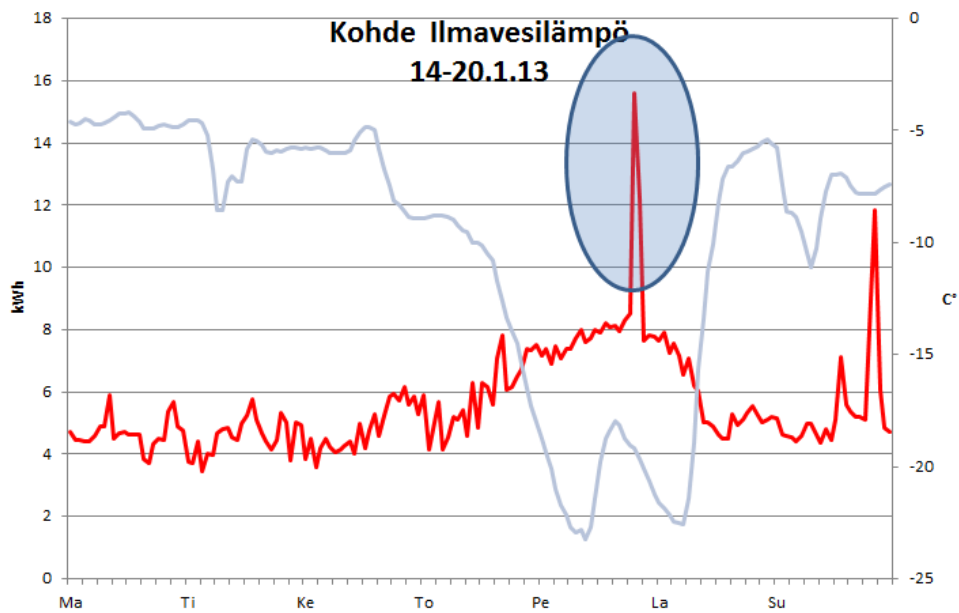
Kohteeseen on myös asennettu sähkölämmitteinen sadevesikouru. Kiinteistön pääsulakkeet ovat kokoa 3 x 25 A.

Taulukossa 8 on esitettyä kohteen tehotaulukko. Kohteesta ei ole ilmoitettu laskettua huipputehoa, joten huipputeho on laskettu ST-kortin 13.31 ohjeen avulla. Laskennalliseksi huipputehoksi on saatu 17.97 kW.

TAULUKKO 8. Case B tehotaulukko.

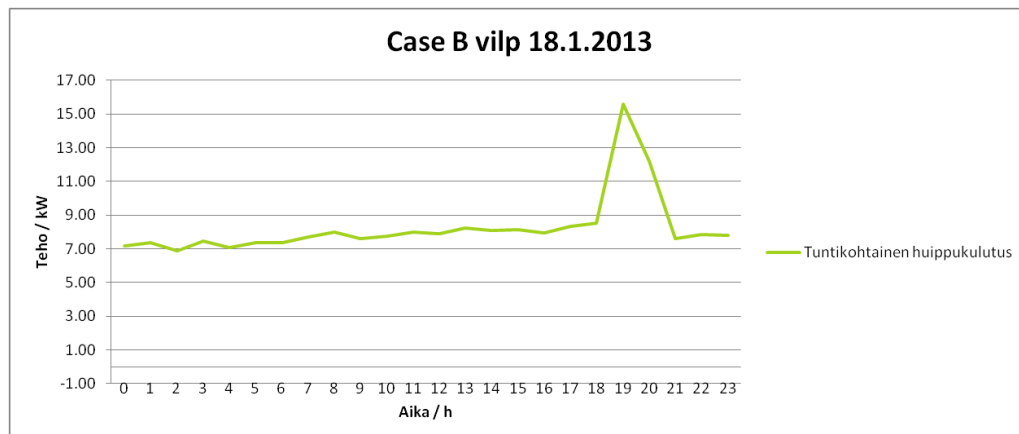
|                           | $P_{laite}$ [kW] | K1 | $P_{vaad}$ [kW] | K2   | $P_{tarve}$ [kW] | $P_{huippu}$ [kW] |
|---------------------------|------------------|----|-----------------|------|------------------|-------------------|
| VILP sähkövastus          | 6                | 1  | 6               | 1    | 6,0              | 18                |
| Ilmanvaihtojärj. Lisävas. | 2                | 1  | 2               | 0    | 0,0              |                   |
| Rännilämmitys             | 1,25             | 1  | 1,2             | 0,6  | 0,7              |                   |
| Kiuas                     | 8                | 1  | 8               | 1    | 8,0              |                   |
| Liesi                     | 8,5              | 1  | 8,5             | 0,25 | 2,1              |                   |
| APK                       | 2                | 1  | 2               | 0,25 | 0,5              |                   |
| PPK                       | 2                | 1  | 2               | 0,25 | 0,5              |                   |
| Valo+ pr                  | 2                | 1  | 2               | 0,25 | 0,5              |                   |
|                           |                  |    |                 |      |                  |                   |
|                           |                  |    |                 |      |                  |                   |

Kuviossa 17 on esitetty kohteen huippukulutus. Huippukulutuksen ajankohta tarkasteltavana ajanjaksona (vuosi 2013) on ollut perjantai-iltana 18.1.2013. Huipputehopiikin aikaan lämpötila on ollut n.  $-20^{\circ}\text{C}$ , joten voidaan olettaa, että kuvasta näkyvän piikin aikaan ilmalämpöpumpun lisävastustukset ovat olleet päällä. Niiden lisäksi päällä on ollut myös mahdollisesti kiuas tai liesi. Kuvio ei kerro aivan koko totuutta huipputehosta, koska tarkastelu-aika on tuntikohtainen.



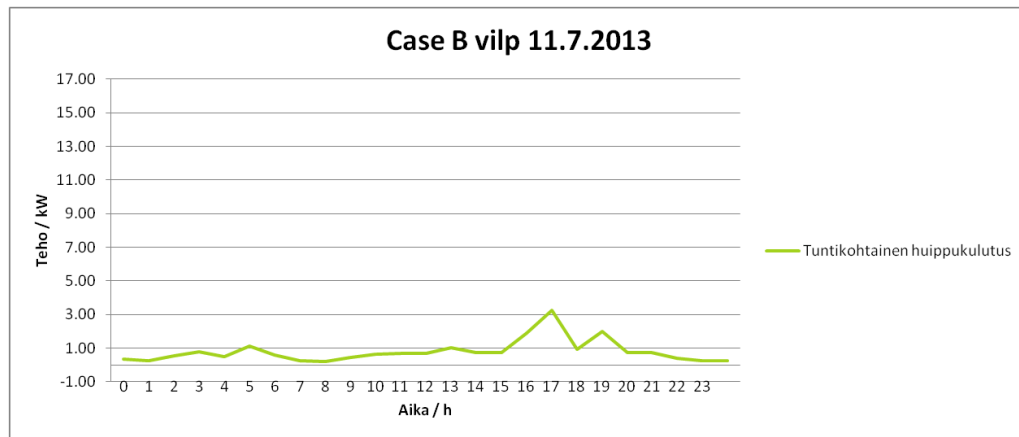
KUVIO 17. Case B huippukulutus 14 - 20.1.13 (Samu-Pekka Jokitalo, Vuores - hanke).

Kuviossa 18 on esitetty vuorokausikohtainen kulutus kylmänä talvipäivänä. Ohjattava potentiaali vaihtelee n. 7 - 15 kW:n välillä. Tämä koostuu pääosin lämpöpumpun lisä sähkövastuksesta. Kuviossa 19 on esitetty vertailevana ajan- kohtana kesäpäivä.



KUVIO 18. Case B vuorokausikohtainen kulutus 18.1.2013.





KUVIO 19. Case B vuorokausikohtainen kulutus 11.7.2013.

Kysynnänjouston kannalta ilmalämpöpumppu -kohteen potentiaali sijaitsee sisäyksikön lisävastuksessa. Lisävastuksen sähköteho on 6 kW, joka kytkeytyy päälle, kun ilmasta ei saada riittävää määrää lämpöä. Käytännössä kyseinen tilanne tulee vastaan talviajan pakkasilla. Ilmalämpöpumpun sähkövastuksen kytkeminen tehonrajoitusreleen taakse vaatii lisäkontaktorin sekä kytkentämuutoksia. Rännilämmityksen potentiaali on 1250 W, joka vaatii myös lisäkontaktorin ja kytkentämuutoksia.

Kesäajan ohjauspotentiaali on olematon. Kuviossa näkyvät pienet tehopiikit johtuvat kulutuskojeista. Kyseinen ajankohta (kello 15 - 17) viittaa ihmisten kotiintuloaikaan, jolloin tyypillisesti laitetaan ruokaa. Tällöin kuvassa näkyvä tehopiikki voi johtua ruuanlaittokojeista.

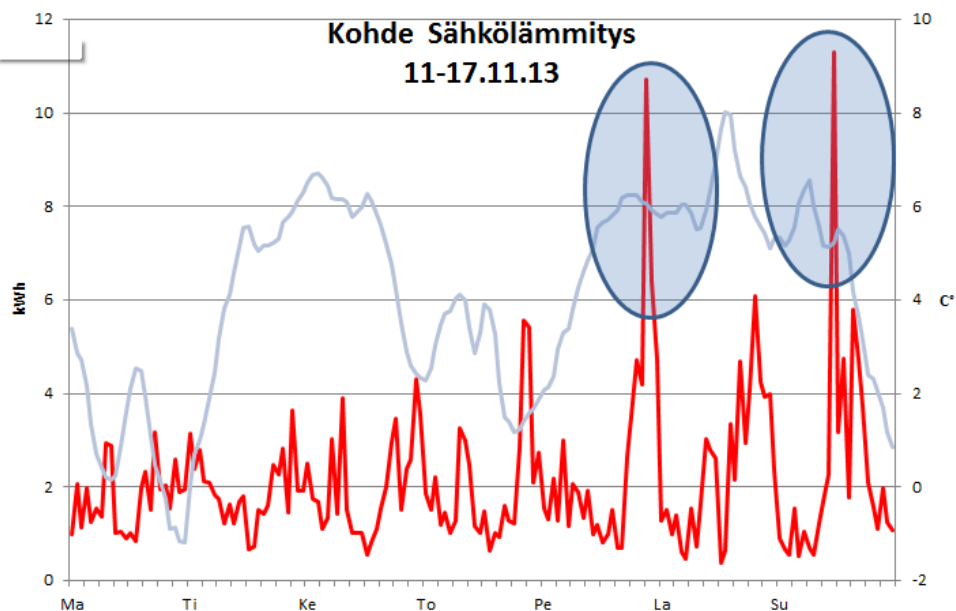
### 5.1.5 Case C sähkölämmitys 2012

Kohde on kaksikerroksinen omakotitalo (119m<sup>2</sup>), joka on rakennettu vuonna 2012. Lämmitysmuotona on sähkökäyttöinen lattialämmitys, joka on toteutettu pääosin Ensto Ewo-odMat -lämmitysmatoilla. Kohteen huipputeho ei ole ilmoitettu, joten saatu 15,1 kW on laskettu ST-kortin 13.31 ohjeen avulla. Kohdeessa on SLY -kytkentä lämmityskuormien ohjaamiseen. Kiukaan kanssa vuorotteleva teho on puolet lämmitystehosta eli 4.15 kW. Kiinteistön pääsulakkeet ovat kokoa 3 x 25 A. Taulukossa 9 on esitetty kohteen tehotaulukko.

TAULUKKO 9. Case C tehotaulukko

|                        | $P_{\text{laite}}$ [kW] | K1 | $P_{\text{vaad}}$ [kW] | K2   | $P_{\text{tarve}}$ [kW] | $P_{\text{huippu}}$ [kW] |
|------------------------|-------------------------|----|------------------------|------|-------------------------|--------------------------|
| Lämmittimet            | 8,3                     | 1  | 8,3                    | 0,4  | 3,3                     | 15                       |
| Ilmanvaihtojärjestelmä | 0,5                     | 1  | 0,5                    | 1    | 0,5                     |                          |
| ILP (sähkövastus)      | 0,4                     | 1  | 0,4                    | 1    | 0,4                     |                          |
| LVV                    | 3                       | 1  | 3                      | 0,5  | 1,5                     |                          |
| Kiuas                  | 6                       | 1  | 6                      | 1    | 6,0                     |                          |
| Liesi                  | 8,1                     | 1  | 8,1                    | 0,25 | 2,0                     |                          |
| APK                    | 2                       | 1  | 2                      | 0,25 | 0,5                     |                          |
| PPK                    | 2                       | 1  | 2                      | 0,25 | 0,5                     |                          |
|                        |                         |    |                        |      |                         |                          |
| Valo+ pr               | 1,5                     | 1  | 1,5                    | 0,5  | 0,8                     |                          |

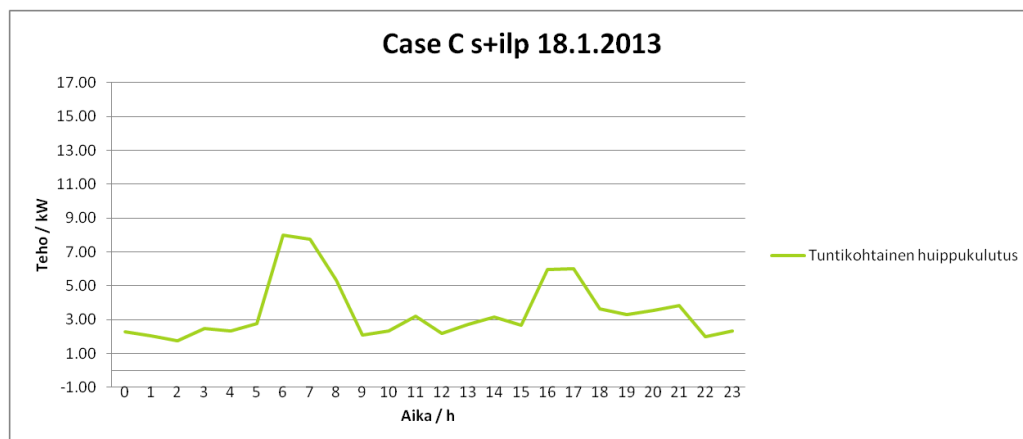
Kohteen todellinen tuntikohtainen huipputeho on mitattu sunnuntaina 17.11. Tarkastelu on tuntikohtainen, joten tarkasteltavana ajanjaksona on voinut olla suurempia tehopiikkejä. Kuviossa 20 on esitetty kyseisen viikon tehon käyttäytyminen



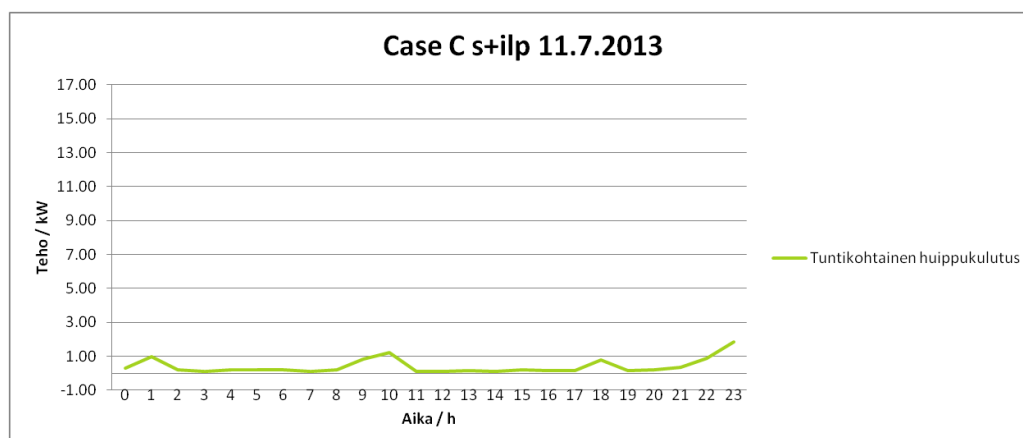
KUVIO 20. Case C huippukulutus 11 - 17.11.13 (Samu-Pekka Jokitalo, Vuores-hanke).

Kohteen huipputehon ajankohdasta voimme päätellä, että huipputeho ei ole riippuvainen lämpötilasta. Huipputeho piikit sijoittuvat tarkasteltavana ajankohdaksi perjantai-iltaan ja sunnuntaipäivään. Kyseisinä ajankohtina huipputehot ovat voineet johtua esimerkiksi kiukaan ja liedin samanaikaisesta kuormituksesta.

Kysynnänjouston kannalta sähkölämmityskohteen ohjattava potentiaali vaihtelee suuresti, riippuen käyttökytkimien asennosta (jatkuva – yö) sekä lämmittimien käyttöasteesta. Maksimi potentiaali on 8,3 kW (sähkölämmittimet) + 3 kW (LVV) = 11,3 kW. Kuvioista 21 näemme kuitenkin, että laskettu huippu 11,3 on vain osa todellisesta ohjattavasta potentiaalista. Kuviossa 22 on taas esitettynä vertailevana ajanjaksona kesäpäivä. Kesäpäivän kulutus on pieni ja se koostuu pääosin vain kulutuskojeista ja LVV:stä. LVV:n ohjauspotentiaali on ympärivuotista ja huiput ovat pääosin yöaikaan riippuen käyttökytkimen asennosta (jatkuva – yö). Lämminvesivaraajan ohjauspotentiaali vaihtelee välillä 0 – 3 kW.



KUVIO 21. Case C vuorokausikohtainen kulutus 18.1.2013.



KUVIO 22. Case C vuorokausikohtainen kulutus 11.7.2013.

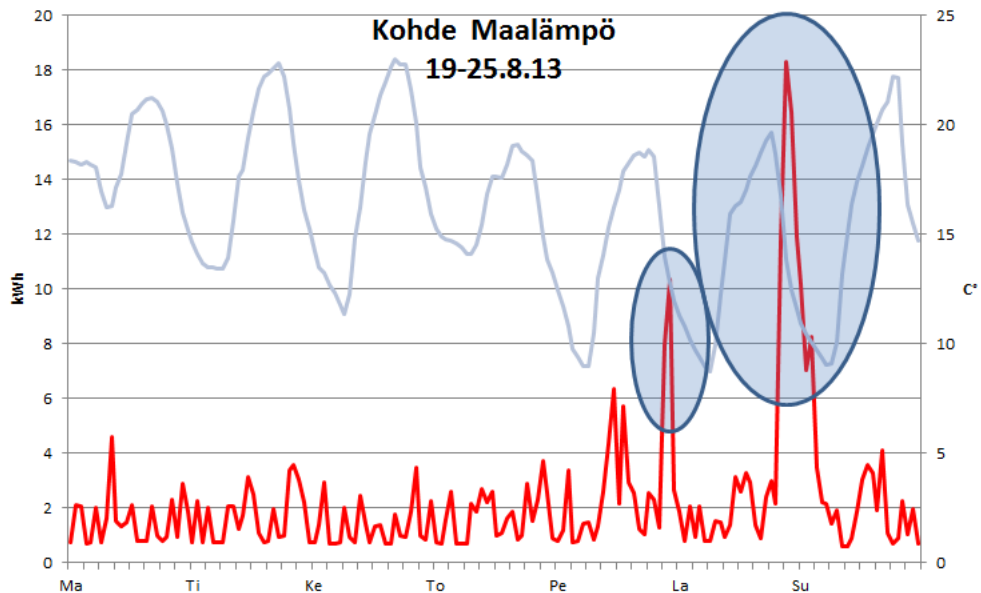
### 5.1.6 Case D MLP 2012

Tyypikiinteistö on suuri omakotitalo (390m<sup>2</sup>), joka on rakennettu vuonna 2012. Kohteessa on maalämpöpumppu ja vesikiertoinen lattialämmitys. Pääsulakkeet ovat kokoa 3 x 35 A. Laskennallista huipputehoa ei ole ollut saatavilla, joten se on laskettu ST-kortin 13.31 ohjeen avulla. Huipputehoksi on saatu 32,4. Taulukossa 10 on esitetty tyypikiinteistön tehotaulukko.

TAULUKKO 10. Case D tehotaulukko.

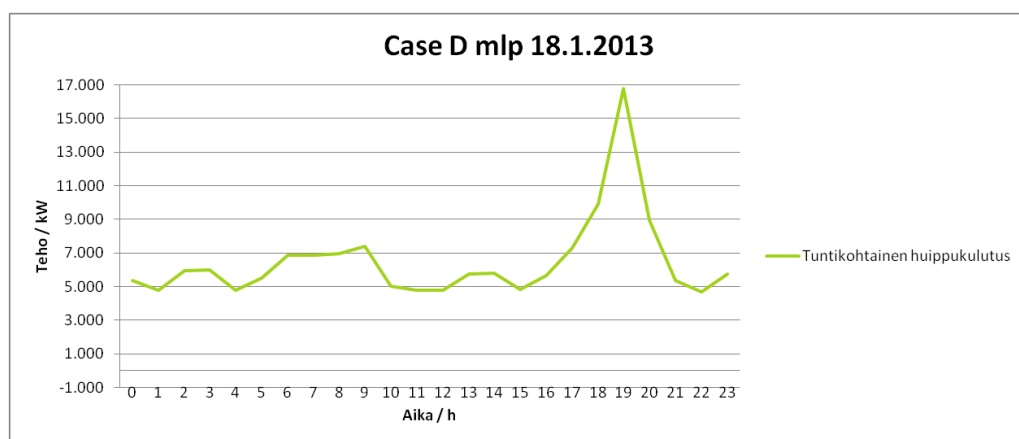
|                         | $P_{\text{laite}}$ [kW] | $K1$ | $P_{\text{vaad}}$ [kW] | $K2$ | $P_{\text{tarve}}$ [kW] | $P_{\text{huippu}}$ [kW] |
|-------------------------|-------------------------|------|------------------------|------|-------------------------|--------------------------|
| MLP                     | 9                       | 1    | 9                      | 1    | 9,0                     | 32                       |
| IV-kone X2              | 2                       | 1    | 2                      | 1    | 2,0                     |                          |
| Poreallas (aina lämmin) | 4,5                     | 1    | 4,5                    | 1    | 4,5                     |                          |
| Kiuas                   | 10                      | 1    | 10                     | 1    | 10,0                    |                          |
| Liesi                   | 8,5                     | 1    | 8,5                    | 0,25 | 2,1                     |                          |
| APK                     | 2                       | 1    | 2                      | 0,25 | 0,5                     |                          |
| PPK                     | 2                       | 1    | 2                      | 0,25 | 0,5                     |                          |
| Terassin infralämm      | 2                       | 1    | 2                      | 1    | 2,0                     |                          |
| Valo+ pr                | 4                       | 1    | 4                      | 0,25 | 1,0                     |                          |

Kohteen huipputeho on ollut lauantai-iltana 24.8.2013. Kuviossa 23 on esitetty huipputehon käyttäytyminen kyseillä viikolla. Huipputehon ajankohdasta voimme päätellä, että huipputeho ei ole lämpötilariippuvainen. Kyseisenä hetkenä lämpötila on ollut noin 10° C. Huipputehon ajankohdasta päätellen voimme olettaa sen koostuvan esimerkiksi saunomisesta ja porealtaan käytöstä. Maalämpöpumpun lisävastukset ovat myös voineet olla päällä käyttövedenlämmitykseen.

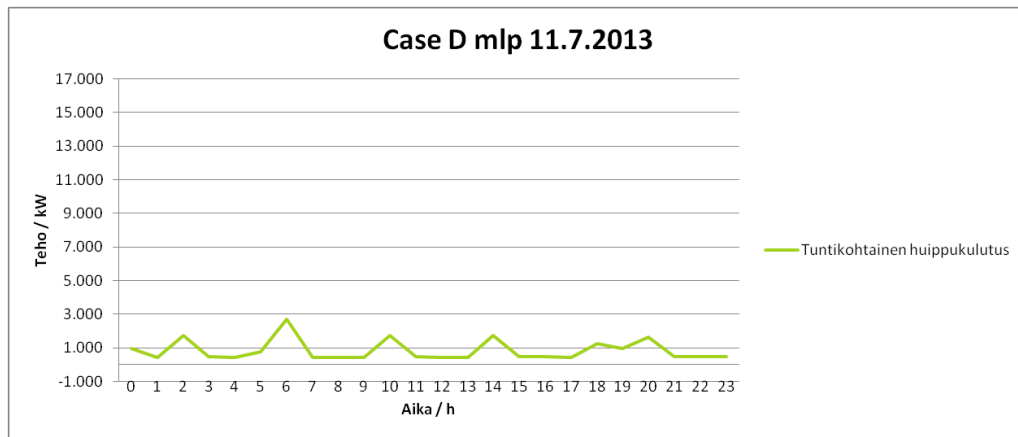


KUVIO 23. Case D huippukulutus 19 – 25.8.13 (Samu-Pekka Jokitalo, Vuores hanke).

Kysynnänjouston kannalta kohde on haastava. Kohteessa ei ole valmiita ohjauksia, vaan kaikki potentiaaliset ohjattavat kuormat vaatisivat lisäkontaktorin ja kytkentämuutoksia. Potentiaali on vaihteleva. Kuviossa 24 on esitetty kylmän talvipäivän vuorokausikohtainen kulutus. Ohjattava potentiaali vaihtelee n. 5 - 17 kW:n välillä, joka luultavasti pääosin koostuu MLP:n lisävastuksesta. Kuviossa 25 on taas esitelty vertailevana ajankohtana kesäpäivä. Kuvioista näemme, että kesäaikaan ohjattava potentiaali on lähes olematon.



KUVIO 24. Case D vuorokausikohtainen kulutus 18.1.2013.



KUVIO 25. Case D vuorokausikohtainen kulutus 11.7.2013.

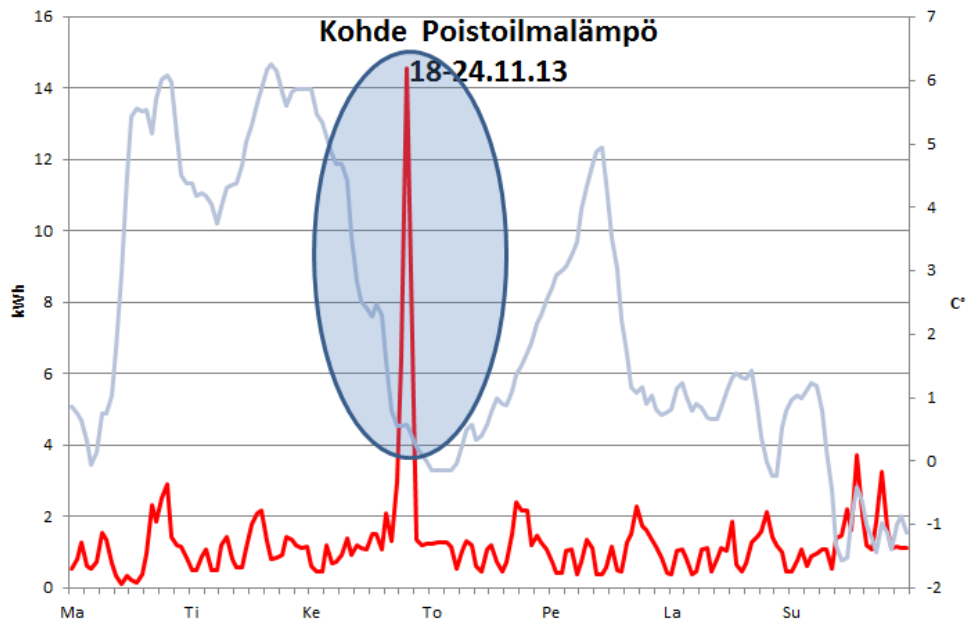
### 5.1.7 Case E PILP 2012

Tyypikiinteistö on yksikerroksinen omakotitalo (150 m<sup>2</sup>), joka on rakennettu vuonna 2012. Kohteessa on poistoilmalämpöpumppu . Kohteen lämmitystä on täydennetty sähkökäyttöisellä lattialämmityksellä. Kohteen laskennallinen huipputeho on 18 kW. Huipputeho on laskettu ST-kortin 13.31 ohjeen avulla. Taulukossa 11 on esitetty kohteen tehotaulukko.

TAULUKKO 11. Case E tehotaulukko

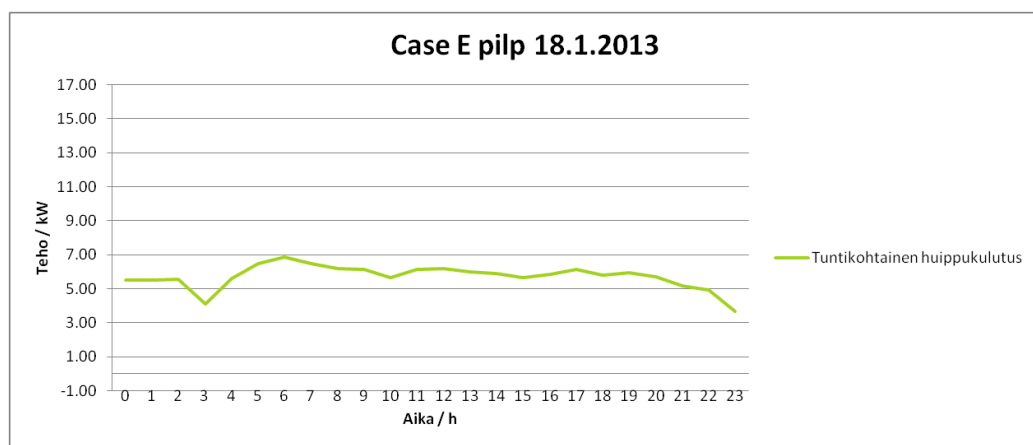
|                   | <b>P<sub>laite</sub> [kW]</b> | <b>K1</b> | <b>P<sub>vaad</sub> [kW]</b> | <b>K2</b> | <b>P<sub>tarve</sub> [kW]</b> | <b>P<sub>huippu</sub> [kW]</b> |
|-------------------|-------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|-------------------------------|--------------------------------|
| PILP (lisävastus) | 3                             | 1         | 3                            | 1         | 3,0                           | 18                             |
| ilmanvaihtojärj.  | 3                             | 1         | 3                            | 1         | 3,0                           |                                |
| Lattialämmitys    | 1,8                           | 1         | 1,8                          | 1         | 1,8                           |                                |
| Kiuas             | 6                             | 1         | 6                            | 1         | 6,0                           |                                |
| Liesi             | 8,5                           | 1         | 8,5                          | 0,25      | 2,1                           |                                |
| APK               | 2                             | 1         | 2                            | 0,25      | 0,5                           |                                |
| PPK               | 2                             | 1         | 2                            | 0,25      | 0,5                           |                                |
| Valo+ pr          | 4                             | 1         | 4                            | 0,25      | 1,0                           |                                |

Kohteen huipputeho on ollut keskiviikkona 20.11. Kuviossa 26 on esitetty tehon käyttäytyminen kyseisellä viikolla.

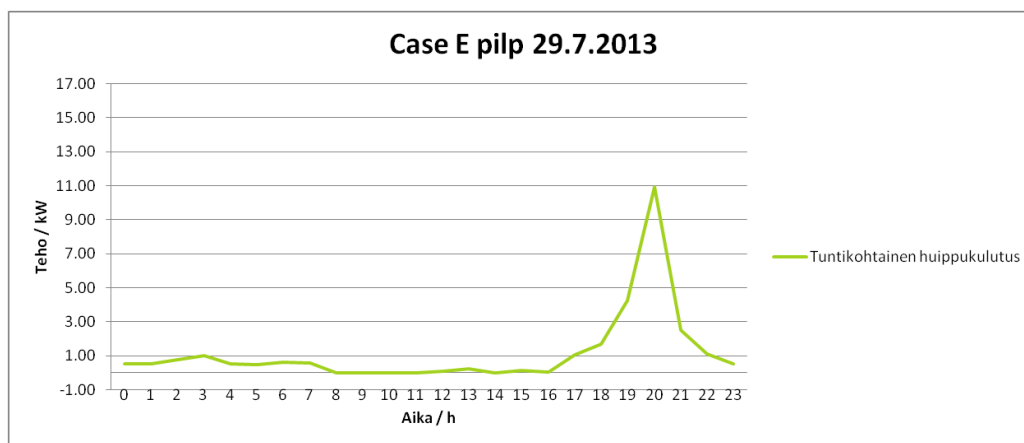


KUVIO 26. Case E huippukulutus 18 – 24.11.13 (Samu-Pekka Jokitalo, Vuores-hanke).

Kysynnänjouston kannalta kohde on haastava. Kohteessa ei ole valmiita ohjauksia vaan potentiaaliset ohjattavat kuormat vaatisivat lisäkontaktorin ja kytkentämuutoksia. Potentiaali on vaihteleva. Kuviossa 27 on esitetty kylmän talvipäivän vuorokausikohtainen kulutus. Ohjattava potentiaali vaihtelee n. 3 – 7 kW:n välillä. Kuviossa 28 on taas esitelty vertailevana ajankohtana kesäpäivä. Kesäpäivän kuviossa näkyvä 11 kW tehopiikki voi johtua esimerkiksi samanaikaisesta saunomisesta ja ruuanlaitosta, jolloin suuritehoiset laitteet (kiuas ja liesi) ovat päällä. Kesäaikaan huipputehopiikit ovat hyvin satunnaisia.



KUVIO 27. Case E vuorokausikohtainen kulutus 18.1.2013.



KUVIO 28. Case E vuorokausikohtainen kulutus 29.7.2013.

## 5.2 Rivi – ja paritalot

Rivi- ja paritalojen osuus Suomen rakennuskannasta 2012 oli n. 78 000, joista sähkölämmityskohteita n. 25 000 (Suomen tilastokeskus). Näissä kohteissa huoneistoja on n. 125 000. Rivitalojen sähköverkon perusrakenne on rakenteeltaan samanlainen kuin kerrostaloissa. Sähköverkon pääkomponentit ovat pääkeskus, kiinteistökeskus, mittarikeskus ja ryhmäkeskukset. Pääkeskus, kiinteistökeskus ja mittarikeskus sijaitsevat yleisesti erillisessä teknisessä tilassa kiinteistön yhteydessä tai sen välittömässä läheisyydessä. Mikäli rivitaloja on monia, niillä voi olla yhteinen tekninen tila ja useita mittarikeskuksia (jokaisella talolla oma).

## 5.3 Case F sähkölämmitteinen rivitalo 1986

Esimerkkikohde on vuonna 1986 rakennettu rivitalo, jossa on yhdeksän huoneistoa. Lämmitysmuotona on sähkölämmitys. Kohteessa sähkölämmityskytkenät ovat toteutettu SLY -kytkennällä. Kiinteistön huipputeho on 108 kW. SLY -kytkennän takana oleva sähkölämmityksen huipputeho on 42 kW (patterit) + 27 kW (lämmivesivaraajat). Huoneistojen pesutilojen lämmitys on toteutettu lattialämmityskaapeleilla. Taulukossa 12 on esitetty tyyppikiinteistön teho-  
taulukko



TAULUKKO 12. CASE F tehotaulukko.

|                   | P <sub>laite</sub> [kW] | K1 | P <sub>vaad</sub> [kW] | K2   | P <sub>tarve</sub> [kW] | P <sub>huippu</sub> [kW] | kpl | P <sub>yht</sub> [kW] | K2  | Parvio [kW] | P <sub>huippu</sub> [kW] |
|-------------------|-------------------------|----|------------------------|------|-------------------------|--------------------------|-----|-----------------------|-----|-------------|--------------------------|
| Sähköpatterit     | 4,7                     | 1  | 4,7                    | 0,4  | 1,9                     | K                        | 9   | 17                    | 0,9 | 15          | 108                      |
| Lattialämmitys    | 1                       | 1  | 1                      | 1    | 1,0                     |                          | 9   | 9                     | 0,9 | 8           |                          |
| Lämminvesivaraaja | 3                       | 1  | 3                      | 1    | 3,0                     | K                        | 9   | 27                    | 0,9 | 24          |                          |
| Kiuas             | 6                       | 1  | 6                      | 1    | 6,0                     |                          | 9   | 54                    | 0,6 | 32          |                          |
| Liesi             | 8,1                     | 1  | 8,1                    | 0,25 | 2,0                     |                          | 9   | 18                    | 0,5 | 9           |                          |
| APK               | 1,5                     | 1  | 1,5                    | 0,25 | 0,4                     |                          | 9   | 3                     | 0,6 | 2           |                          |
| PPK               | 1,5                     | 1  | 1,5                    | 0,25 | 0,4                     |                          | 9   | 3                     | 0,6 | 2           |                          |
| Valo+ pr          | 1,5                     | 1  | 1,5                    | 0,25 | 0,4                     |                          | 9   | 3                     | 0,8 | 3           |                          |
| Autolämmitys x6   | 12                      | 1  | 12                     | 0,9  | 10,8                    |                          |     |                       |     |             |                          |
| Valaistus + pr    | 2                       | 1  | 2                      | 0,5  | 1,0                     |                          |     |                       |     |             |                          |
| Sähköpatterit     | 0,6                     | 1  | 0,6                    | 0,8  | 0,5                     |                          |     |                       |     | 12          |                          |

Kysynnänjouston kannalta sähkölämmiteinen rivitalokohde on hyvin merkittävä. Sähkölämmitystekot ovat suuria ja ne sisältävät valmiin ohjauskytkennän. Esimerkkikohteen ohjattava maksimipotentiali on 69 kW. Muita potentiaalisia ohjattavia tehoja kohteessa olisi huoneistojen lattialämmitykset ja autolämmityspistorasiat ja teknisentilan lämmitykseen käytettävät sähköpatterit. Muissa kuin huoneistoissa sijaitsevat lämmityslaitteet vaativat lisäkontaktorin ja kytkentämuutoksia.

#### 5.4 Kerrostalot

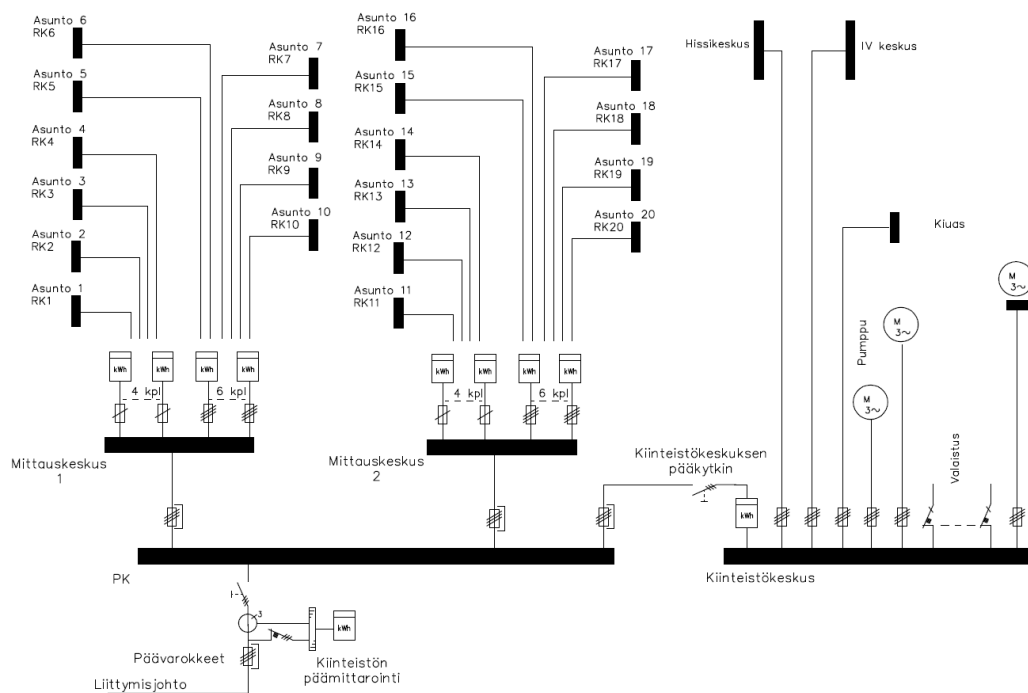
Kerrostalojen osuus Suomen rakennuskannasta vuonna 2012 oli n. 58 000, joista sähkölämmityskohteita n. 2300 (Suomen tilastokeskus). Kuviossa 29 on esitetty kerrostalojen sähköverkkojen perusrakenne. Sähköverkon pääkomponentit ovat pääkeskus, kiinteistökeskus, mittarikeskukset ja ryhmäkeskukset.

Kiinteistön pääkeskus sijaitsee normaalisti kellaritiloissa sille varatussa lukitus-tilassa. Pääkeskuksen mittarointi toteutetaan yli 63 A:n liittymissä epäsuorana. Epäsuoraa mittausta käytetään, koska sähkömittarit eivät kestä yli 63 A virtaa. Mittaus perustuu mittamuuntajiin, jotka muuntavat arvot halutussa suhteessa sähkömittareilla sopiviksi.

Kiinteistökeskuksen tarkoitus on nimensä mukaisesti hoitaa kiinteistön sähkönjakelu. Se sijaitsee normaalisti samassa tilassa kuin pääkeskus ja voi olla myös osa pääkeskusta. Kiinteistökeskuksen mittarointi tapa riippuu sen pääsulakekoosta. Esimerkkikuvassa on esitetty epäsuoramittaus. Yli 63 A:ssa käytetään epäsuoraa mittausta ja alle 63A suoraa mittausta

Mittarikeskukset ovat keskuksia, jotka hoitavat sähkönjakelun asuntoihin. Mittarikeskukset ovat normaalisti porraskohtaisia ja sijaitsevat esim. kellarikerroksessa lukitussa tilassa. Mittarikeskukset eivät sisällä mitään muuta kuin asuntojen lähdöt ja niiden mittaukset.

Ryhmäkeskukset sijaitsevat asunnoissa ja ovat asuntokohtaisia. Ryhmäkeskusten tarkoituksena on hoitaa sähkönjakelu huoneistoissa.



Kuvio 29. Tyypillinen kerrostalon sähköverkko.

#### 5.4.1 Case G kaukolämpö kerrostalo 1998

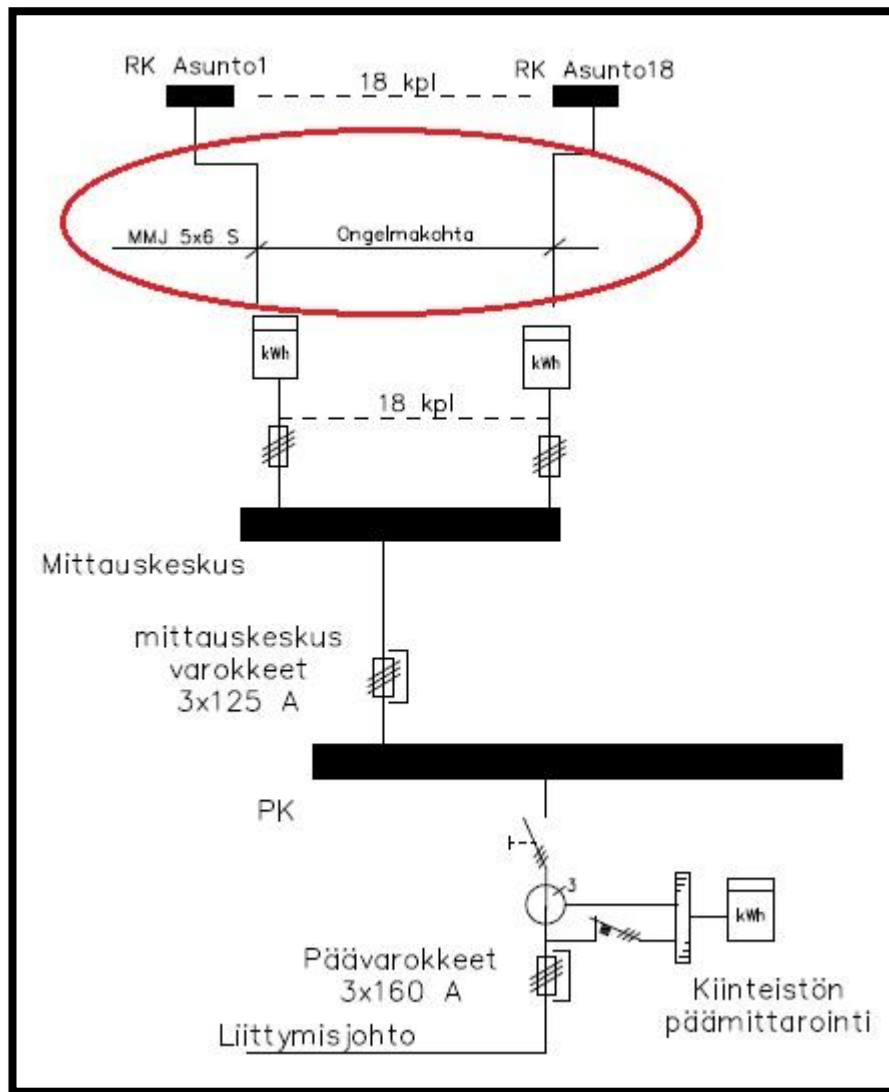
Esimerkkikohde on rakennettu vuonna 1988 kerrostalo. Kohteessa on 18 huoneistoa ja sen lämmitysmuoto on vesikiertoinen patterilämmitys. Kohteen laskennallinen huipputeho on 105 kW. Kiinteistön pääsulakkeet ovat kokoa 3 x

160 A ja huoneistojen 3 x 25 A. Taulukossa 13 on esitetty kiinteistön tehotaulukko.

TAULUKKO 13. Case G tehotaulukko.

|                 | $P_{\text{laite}} \text{ [kW]}$ | $K1$ | $P_{\text{vaad}} \text{ [kW]}$ | $K2$ | $P_{\text{tarve}} \text{ [kW]}$ | $P_{\text{huippu}} \text{ [kW]}$ | kpI | $P_{\text{yht}} \text{ [kW]}$ | $K2$ | $P_{\text{parvio}} \text{ [kW]}$ | $P_{\text{huippu}} \text{ [kW]}$ |
|-----------------|---------------------------------|------|--------------------------------|------|---------------------------------|----------------------------------|-----|-------------------------------|------|----------------------------------|----------------------------------|
| Kiuas           | 6                               | 1    | 6                              | 1    | 6,0                             | 10                               | 18  | 108                           | 0,4  | 43                               | 105                              |
| Liesi           | 8,5                             | 1    | 8,5                            | 0,25 | 2,1                             |                                  | 18  | 38                            | 0,6  | 23                               |                                  |
| APK             | 2                               | 1    | 2                              | 0,25 | 0,5                             |                                  | 18  | 9                             | 0,4  | 3                                |                                  |
| PPK             | 2                               | 1    | 2                              | 0,25 | 0,5                             |                                  | 18  | 9                             | 0,4  | 3                                |                                  |
| Valo+ pr        | 2                               | 1    | 2                              | 0,25 | 0,5                             |                                  | 18  | 9                             | 0,8  | 7                                |                                  |
| Kylmäkone       | 4                               | 1    | 4                              | 1    | 4                               | 24                               | 1   | 4                             | 1,0  | 4                                |                                  |
| Autolämmitys    | 2                               | 0    | 0                              | 1    | 0,0                             |                                  | 3   | 0                             | 0,8  | 0                                |                                  |
| Valaistus + pr  | 5                               | 1    | 5                              | 0,5  | 2,5                             |                                  | 1   | 3                             | 1,0  | 3                                |                                  |
| Huippu-imurit   | 0,4                             | 1    | 0,4                            | 0,8  | 0,3                             |                                  | 3   | 1                             | 0,8  | 1                                |                                  |
| Hissi           | 10                              | 1    | 10                             | 0,7  | 7,0                             |                                  | 1   | 7                             | 0,8  | 5                                |                                  |
| kuivauspuhallin | 6                               | 1    | 6                              | 1    | 6,0                             |                                  | 1   | 6                             | 1,0  | 6                                |                                  |
| LJK-paketti     | 4                               | 1    | 4                              | 1    | 4,0                             |                                  | 1   | 4                             | 1,0  | 4                                |                                  |

Kysynnänjouston kannalta kerrostalokohteet ovat vaikeasti hyödynnettäviä. Huoneistojen mittarit sijaitsevat erillisessä tilassa kuin ryhmäkeskukset, joten suoraa ohjausmahdollisuutta ei ole mahdollista toteuttaa AMR-mittarilta ilman lisäkaapelointia huoneistojen ja mittarikeskustilan välillä. Kuviossa 30 on esitettyä ongelmakohta. Syöttökaapelin lisäksi mittarikeskuksen ja huoneistokohdaisien ryhmäkeskusten välillä tulisi olla myös ohjauskaapeli. Ohjauskaapelin avulla pudotustieto saadaan tuotua AMR-mittarilta ryhmäkeskuksille. Käytännössä tämä vaihtoehto on mahdollista toteuttaa vain saneerauksien yhteydessä.



KUVIO 30. Huoneistojen kuormien ohjaamisen ongelmakohta.

Kohteen ohjattavat potentiaalit ovat autolämmityspistorasiat (6 kW), kylmäkone (4 kW) ja kuivauspuhallin (6 kW). Nämä kaikki vaativat kytkentämuutoksen. Potentiaaliset kuormat ovat teholtaan niin pieniä ja satunnaisia, että ei ole kannattavaa lähteä tekemään ohjausmuutoksia.

## 5.5 Lomakiinteistöt

Lomakiinteistöjen määrä Suomessa on n. 493 000 vuonna 2011. Näissä kiinteistöissä verkkosähkön osuus on 76 %. Suoria sähkölämmityskohteita n. 55% (Markku Nieminen. 2009. Kesämökkibarometri). Tyypillisesti niiden sähköverkot ovat rakenteeltaan samanlaisia kuin pientaloissa. Ohjauspotentiaali kohteis-

sa riippuu muiden kohteiden tapaan lämmittimien ja muiden potentiaalisten kojeiden käyttöasteesta.

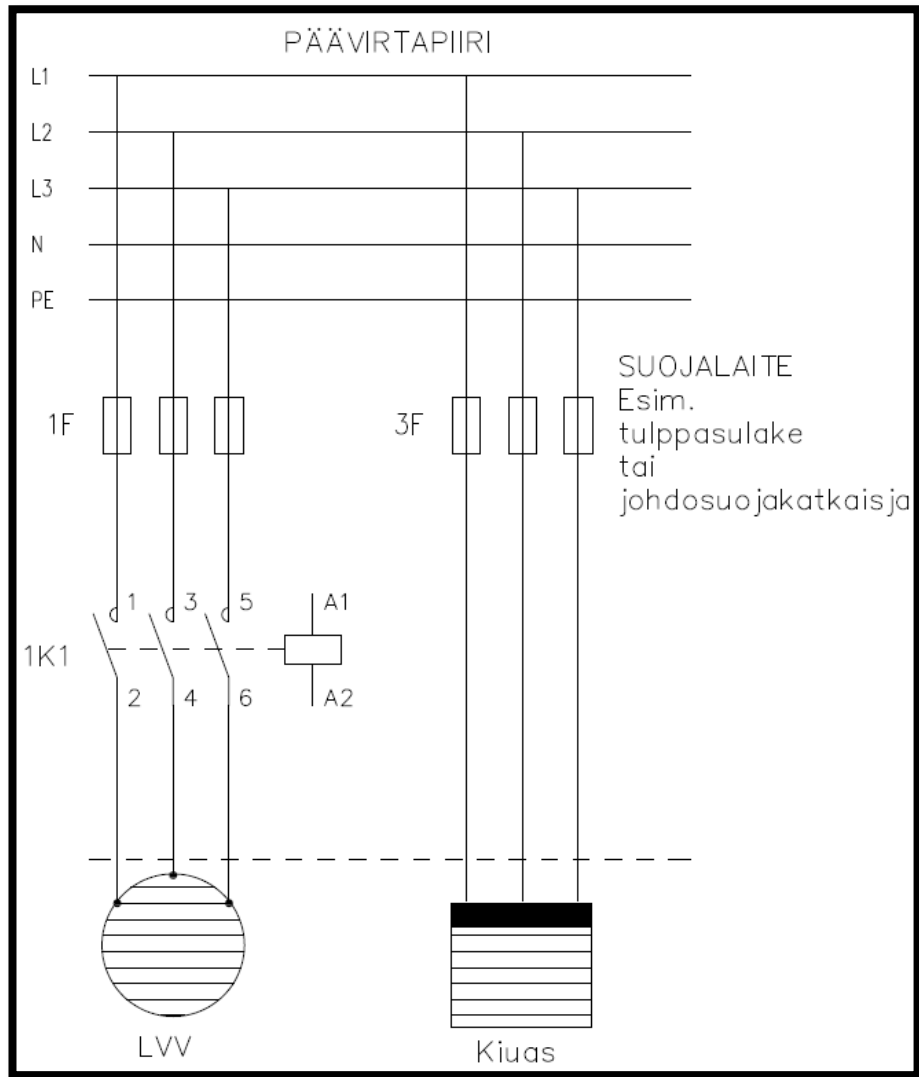
Ohjattava potentiaali lomakiinteistöissä on erilainen, kuin pientaloissa. Tyypillinen käyttö on viikonloppuisin ja kesälomien aikaan. Noin neljäsosa kiinteistöistä on ympärivuotisesti lämmitettyjä. Mökkibarometrin mukaan käyttöaste vaihtelee vain kesäkäyttöisten 40 vuorokaudesta talviasuttujen 103 vuorokautteen. (Markku Nieminen. 2009. Kesämökkibarometri).

## 6 KYTKENTÄMUUTOKSET

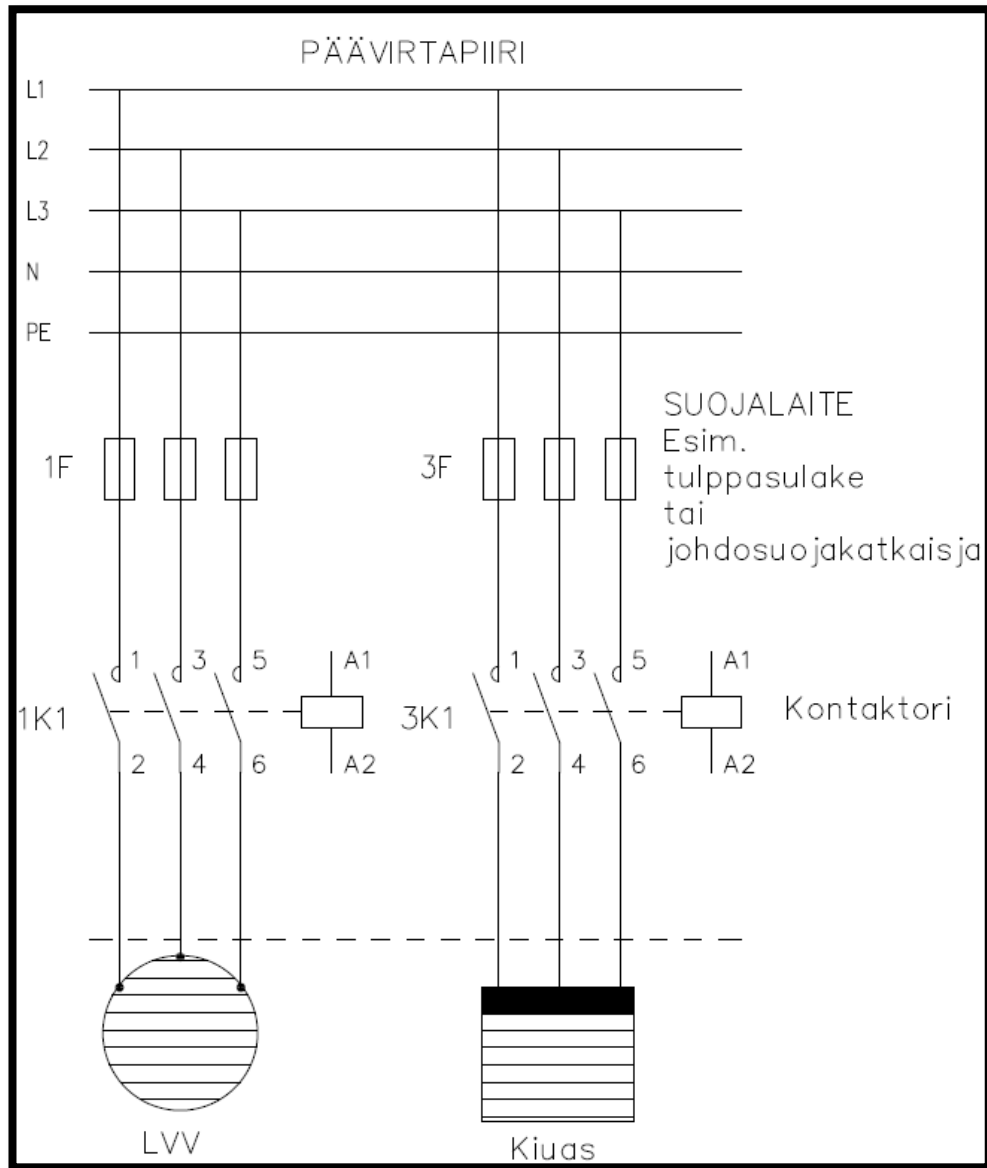
Asuinrakennuksissa sijaitsevat potentiaaliset ohjattavat kuormat eivät tyypillisesti sisällä valmiita ohjauskytkentöjä, lukuun ottamatta SLY -kytkennällisiä sähkölämmityskohteita. Potentiaalisia kuormia ovat mm. kiukaat, erilaisten lämpöpumppujen lisävastukset (sähkö), mukavuuslämmitykset sekä autolämmityspistorasiat.

### 6.1 Kiukaan ohjaus (tehonrajoitus)

Kiukaan ohjausta voidaan käyttää tehonrajoitustilanteessa. Ne ovat tyypillisesti toteutettu ns. suorina lähtöinä (kuvio 31). Suorassa lähdössä ei ole ohjausmahdollisuutta. Ohjausmahdollisuus vaatii kontaktorin (kuvio 32). Kontaktori taas vaatii toimiakseen ohjaustiedon esim. AMR- mittarilta tai muulta ohjausjärjestelmältä. Kuviossa 33 on esitetty ohjausvirtapiiri. Kuviossa on esitetty myös lämminvesivaraajan ohjaus, joka tyypillisesti on kytketty aikaohjauksen taakse.

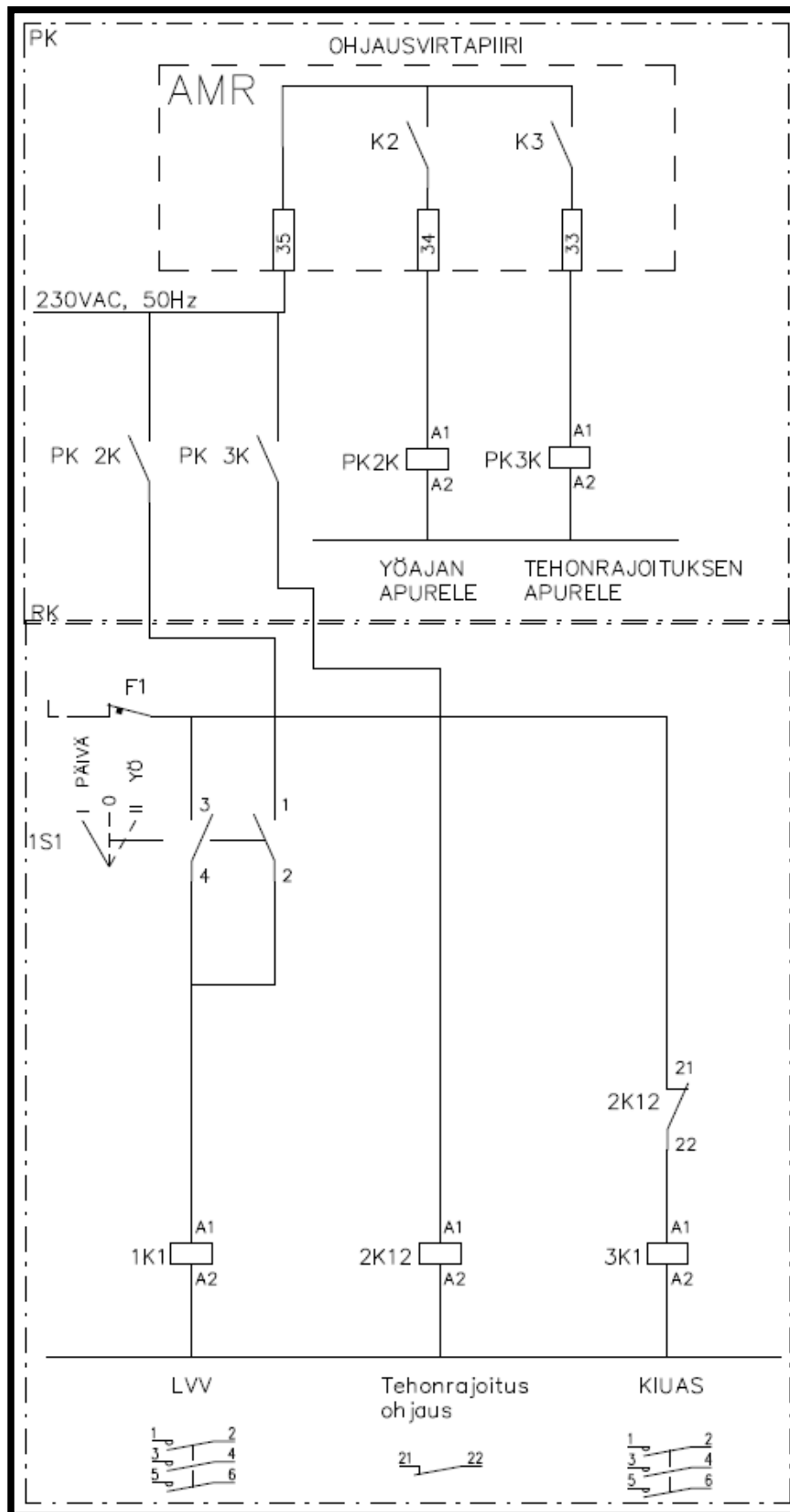


Kuvio 31. Päävirtapiiri kiuas suora.



Kuvio 32. Päävirtapiiri kiuas ohjattu.





Kuva 33. Kiukaan ohjausvirtapiiri.

Suuremmissa kiukaissa esim. kerrostalojen yhteissaunat, sisältävät tyypillisesti erillisen ohjauskeskuksen. Ohjauskeskukseen voidaan tuoda mallista riippuen ulkoinen pudotustieto esim. AMR-mittarilta suoraan. Mikäli kiukaan ohjaus on toteutettu valvonta alakeskuksen (VAK) kautta tai rakennusautomaatiojärjestelmän kautta, pudotustieto voidaan toteuttaa ohjelmamuutoksien avulla. Tässä työssä ohjausmahdollisuuksia ei käsitellä rakennusautomaatio tasolla. Kyseisestä aiheesta hankkeeseen liittyen on kirjoitettu kaksi opinnäytetyötä, Sami Salminen; Vanhat automaatiojärjestelmät ja Heikki Eskelinen; Uudet automaatiojärjestelmät.

Uusien kiukaiden ohjauksessa voi ilmaantua ongelmia. Nykyajan kiukaat sisältävät tyypillisesti erillisen käyttöpaneelin. Sähkön katketessa käyttöpaneelilta kiuas lopettaa toiminnan (haluttu toiminto). Sähkön palautuessa käyttöpaneelille kiuas ei mallista riippuen lähde automaattisesti päälle vaan se tarvitsee käydä uudelleen kytkemässä paneelilta (ei haluttu toiminto). Tämä voidaan kokea käyttäjän kannalta epämukavaksi.

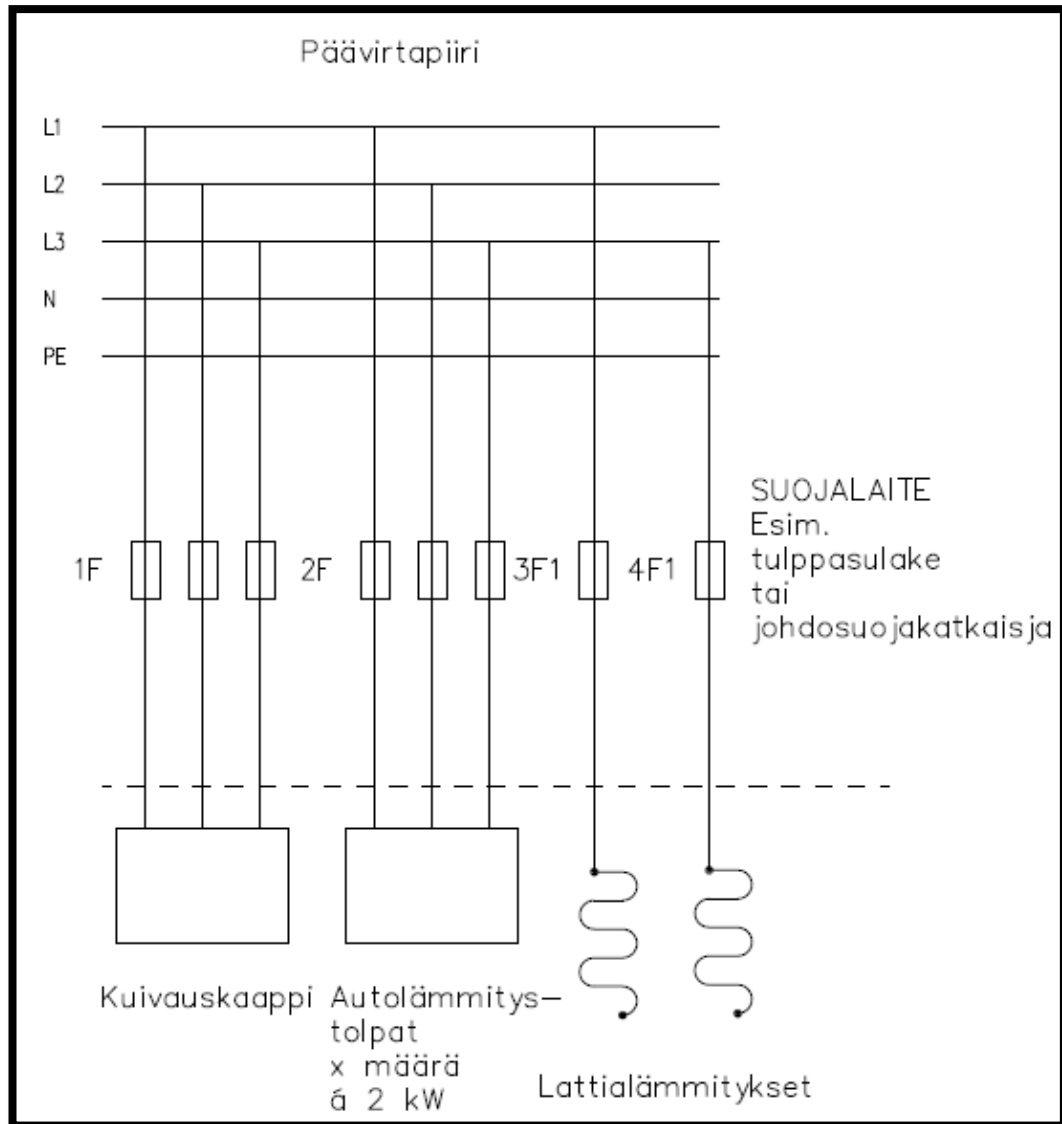
Kiukaiden automaattisen ohjauksien kanssa on oltava varovainen. Virhekytkennät ja toiminnot voivat aiheuttaa palovaaran. Esimerkkitalanteena voidaan pitää kiukaan kytkeytymistä päälle vaatteiden ollessa kuivumassa saunassa. Tämä aiheuttaa välittömän palovaaran ja on käyttäjän kannalta hengenvaarallinen.

## **6.2 Yksittäisten kojeiden ohjaus / lisälämmitykset**

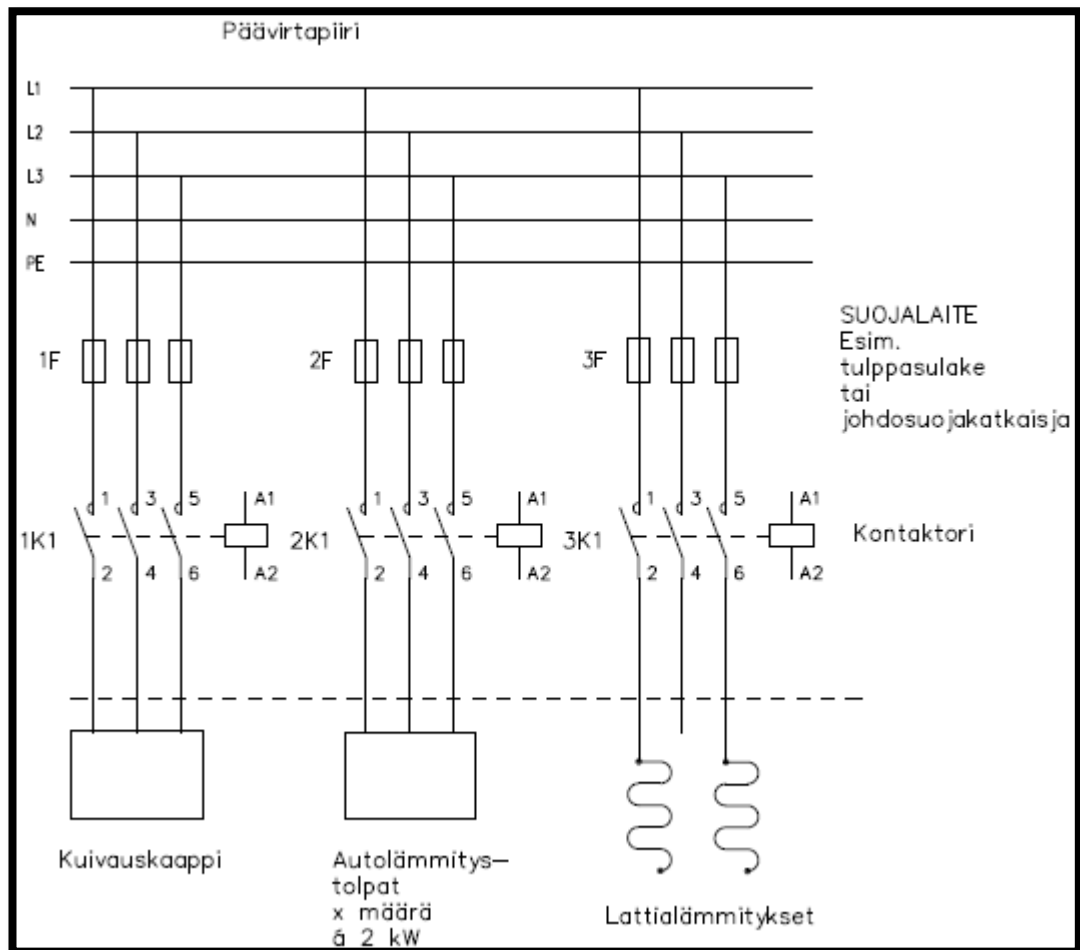
Lähtökohtana yksittäisien kojeiden ohjaamiselle on, että ne ovat toteutettu omana lähtönä, eikä niiden ohjaaminen aiheuta vaaraa ihmisille tai muille järjestelmille. Esimerkiksi erilaisten pumppujen, puhaltimien ja hissien ohjaaminen ei ole suotavaa.

Lisälämmitykset kuten esimerkiksi terassien infralämmittimet, mukavuuslämmitykset, autolämmitykset, rännilämmitykset ja erilaiset sulanapitolämmitykset ovat potentiaalisia ohjattavia kuormia. Kyseiset lämmitykset eivät tyypillisesti sisällä valmista ohjauskytkentää vaan lähdöt ovat toteutettu suorina lähtöinä. Kyseisien lämmityksien määrä Suomessa ei ole tiedossa. Kuviossa 34 (perusti-

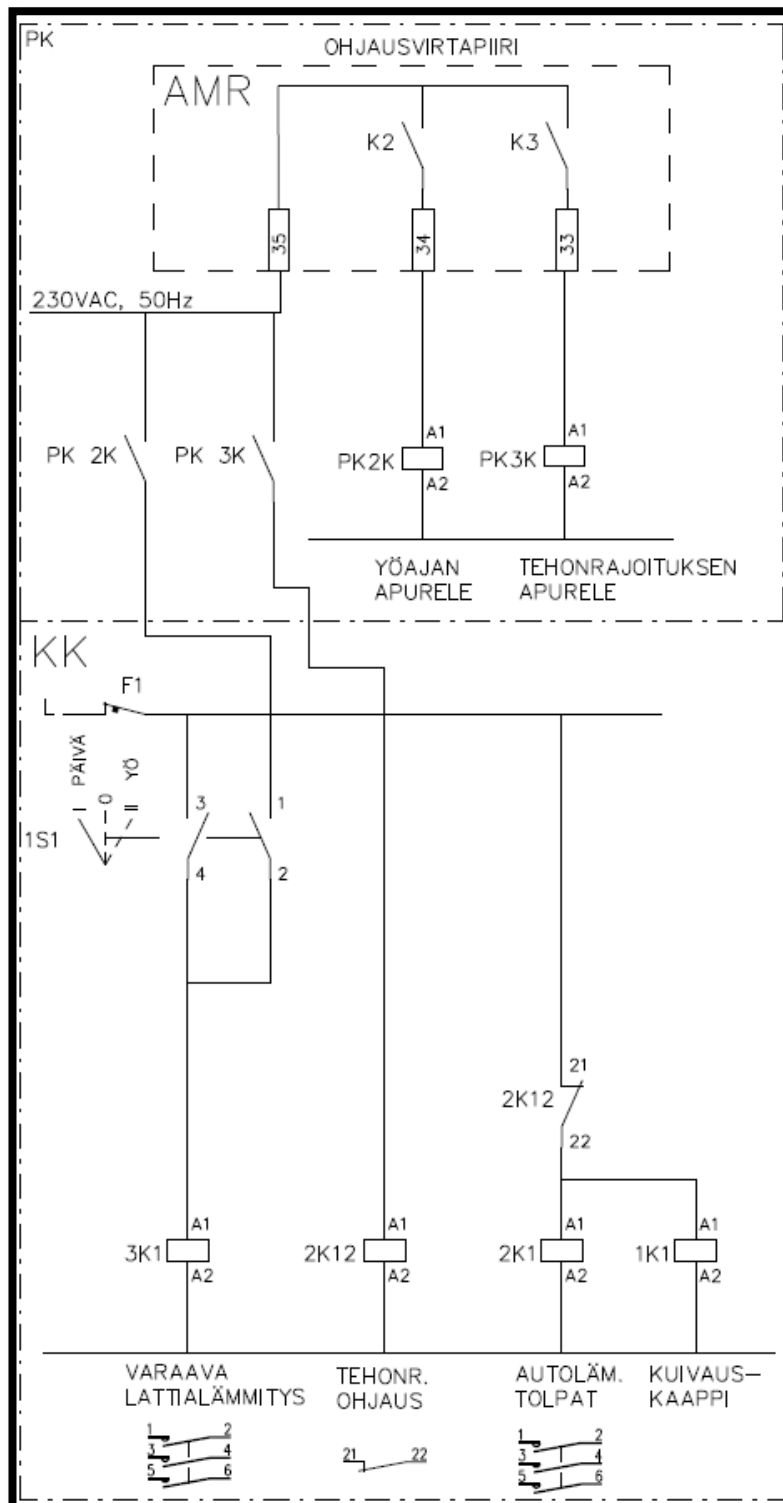
lanne), 35 (muutoskytkentä päävirtapiiri) ja 36 (ohjausvirtapiiri) on esitetty esimerkkinä kerrostalokohteen kuivauskaapin, autolämmityspistorasioiden ja pesutilojen lattialämmitysten muutoskytkennät aikaohjauksen taakse.



Kuvio 34. Päävirtapiiri ennen muutoskytkentöjä.



Kuvio 35 Päävirtapiiri muutoskytkentöjen jälkeen.



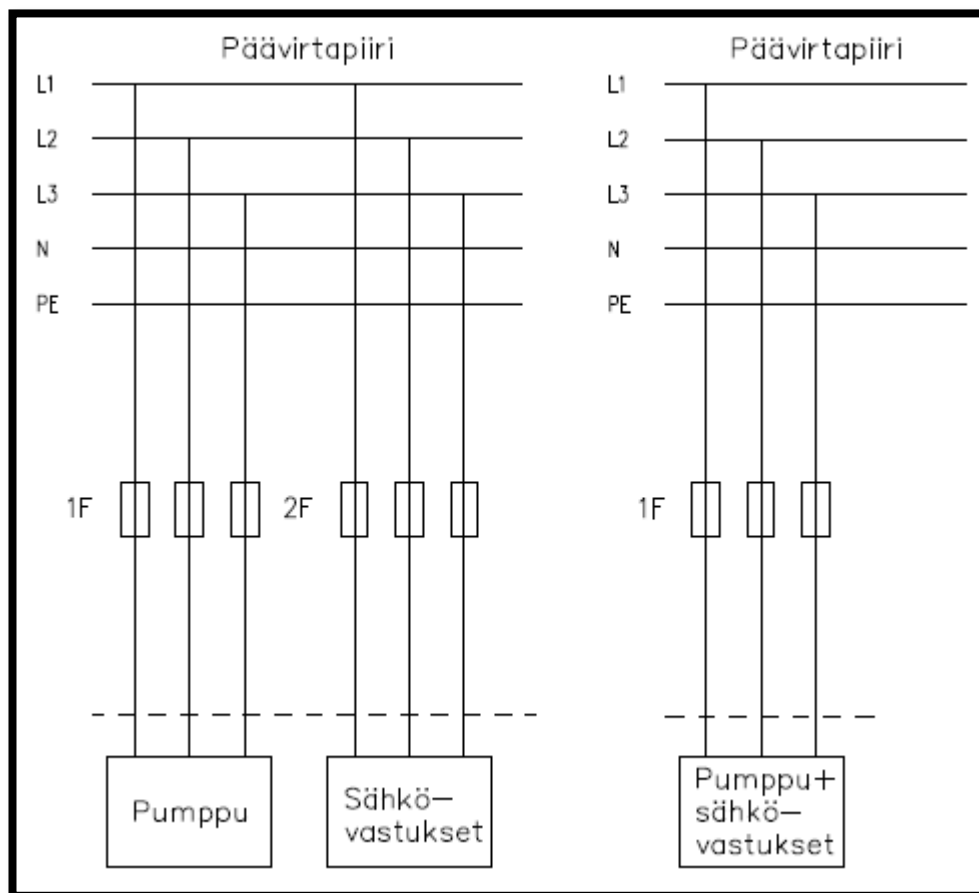
Kuvio 36. Ohjausvirtapiiri muutoskytkentöjen jälkeen.

### 6.3 Lämpöpumppukohteet

Lämpöpumppukohteiden kytkentämuutokset ovat hankalia. Valmistajia ja malleja on monia ja kaikki toimivat omalla tavallaan. Tyypillisesti pumppujen säh-

kökäyttöiset lisävastukset ovat teholtaan suuria, ja ne tarvitsevat virtavahdit keskukselle. Virran kasvaessa aseteltua arvoa suuremmaksi (mitoitettu pääsulakkeiden mukaan) sähkövastukset kytkeytyvät pois päältä. Sähkövastuksista voidaan myös tapauskohtaisesti pudottaa vain osa pois.

Lämpöpumppujen perus toteutusmalleja on kaksi (kuvio 37). Pumppu ja vastukset kaapeloidaan ryhmäkeskukselta yhdellä kaapelilla, jolloin molemmilla on yhteinen suojalaite. Toisella tavalla toteutettuna molemmat kaapeloidaan omilla johdoilla, jolloin molemmilla on myös omat suojalaitteet.



Kuvio 37. Lämpöpumppujen toteutusmallit.

Kohteessa, jossa sähkövastukset ovat kaapeloitu omalla kaapelilla ja sisältää oman suojalaitteen, pudotus voidaan toteuttaa edellisten kytkentäesimerkkien mukaisesti lisäämällä kontaktorin ryhmälähtöön. Yhden kaapelin periaatteella toteutettuja pumppujen sähkövastuksia ei voida ohjata pois päältä ilman laitekohtaisia sisäisiä kytkentämuutoksia ja lisäkaapelointia.

## 7 VALMIIT OHJAUSPOTENTIALIT

Ohjauspotentiaalia asuinkiinteistössä on vaihtelevasti. Suurin osa sijaitsee kuitenkin sähkölämmityksessä. Valmiita SLY- kytkennällisiä kohteita Suomessa on n. 300 000 (Harsia P. 2014 Sähkölämmityksen ohjauskytkennät materiaali). Yhden kohteen keskimääräistä ohjauspotentiaalia on vaikea määrittellä. Se on riippuvainen lämpötilasta. Kesäisin sähkölämmityskohteiden ohjauspotentiaali on olematon. Se koostuu pääosin vain lämminvesivaraajista, joiden huiput ovat öisin. Kylmänä talvipäivänä keskimääräiseksi lämmitystehoksi voidaan arvioida n. 4 kW. Tällöin suoraan ohjattavissa olevaksi tehoksi saadaan 1,2 GW vuosina 1986 – 2012 rakennetuissa pientalokohteissa

Ennen SLY-ohjeistusta (1986) on rakennettu arviolta n. 200 000 – 250 000 sähkölämmitteistä rakennusta. Näissä kohteissa voidaan olettaa olevan verkko-yhtiökohtaisia ohjauskytkentöjä (Harsia P. 2014). Vanhoissa kiinteistöissä energiahäviöt ovat suurempia. Tästä johtuen lämmitykseen kuluva teho on myös suurempi kuin uudemmissa kiinteistöissä.

## 8 LÄMMITYSTAPOJEN KEHITYS SUOMESSA

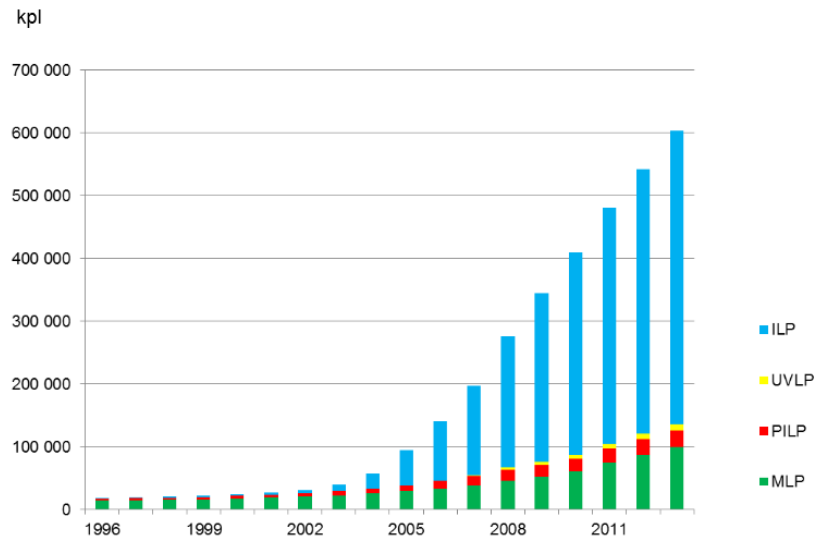
Kasvihuonekaasujen voimakkaat vähennystavoitteet ovat muokanneet lämmitystapojen valintaa 2000-luvulla. Muita merkittäviä tekijöitä ovat olleet sähkön- ja öljyn hinnan kallistuminen markkinoilla. Tästä johtuen uusien öljylämmityskohteiden rakentaminen on vähentynyt huomattavasti Suomessa. Sähkölämmityksen suosio on myös vähentynyt pientalorakentamisessa. On kuitenkin huomattava, että se on edelleen suosituin lämmitysmuoto. Uudet energiamääräykset tulevat jatkossakin vähentämään sähkölämmityksen suosiota. Puulämmityksen suosio viime vuosina on ollut tasaista eikä huomattavaa muutosta ole odotettavissa. Kaukolämmityksen käyttö on kasvanut 2000-luvulla, mutta tulevaisuudessa sen voidaan olettaa vähenemän. Vähenemisen oletetaan johtuvan uusien rakennusten rakentamisesta yhä energiatehokkaammiksi, jolloin vuosikustannukset nousevat suhteellisen korkeaksi (Vihola, Heljo).

Eniten kasvava lämmitystapa on kuitenkin lämpöpumppujärjestelmät, etenkin maalämpö. Yksi syy tähän on uusiutuville energiamuodoille jaettavat energiaavustukset ja muiden lämmitysmuotojen kallistuminen (Vihola, Heljo). Lämpöpumppujen myynti Suomessa on kasvanut rakentamisen alamäestä huolimatta. Kuviossa 38 on esitetty niiden kokonaismäärän kehitys Suomessa, ja kuviossa 39 niiden myyntimäärät vuosittain (SULPU).

Lämmitystapojen kehityssuunnan voidaan olettaa muuttavan Suomen sähkönkulutuksen tehoprofiilia entistä ailahtelevammaksi lämpöpumppujen lisääntyessä. Tämä johtuu niiden suuritehoisista lisävastuksista, jotka kytkeytyvät päälle, kun ilmasta, vedestä tai maasta ei saada riittävää määrää lämpöä. Sähkövastuksien käyttöasteeseen lämpöpumpuissa vaikuttaa oleellisesti pumpun mitoitus. Liian pieni pumppu aiheuttaa sähkövastuksien turhaa lämmitystä ja ylisuuri pumppu taas investointikustannuksiin ja kompressorin turhaan kulumiseen.

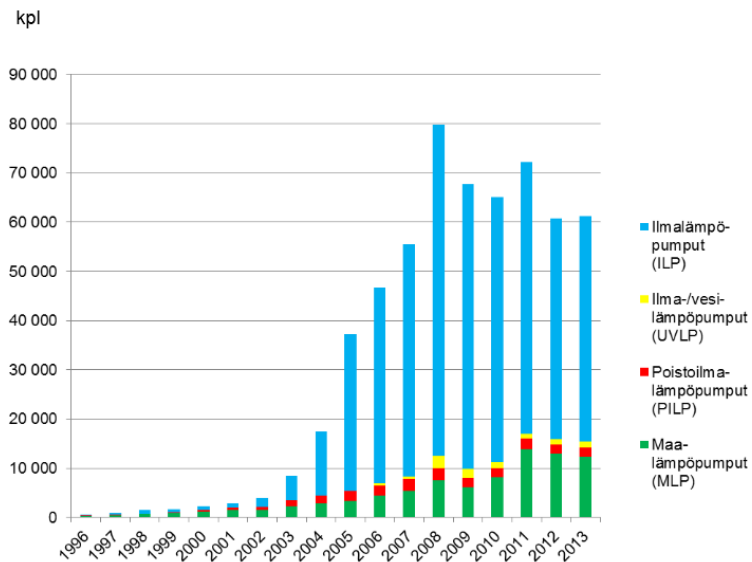


### Lämpöpumppujen kokonaismäärän kehitys 1996-2013 kappaleina



Kuvio 38. Lämpöpumppujen määrä Suomessa (SULPU, 2014).

### Lämpöpumppujen myyntimäärät vuosittain 1996-2013 kappaleina



Kuvio 39. Lämpöpumppujen myynti Suomessa (SULPU, 2014).

## 9 POHDINTA

Kysynnänjouston toteuttaminen Suomessa on haastava projekti. Suurin potentiaali kysynnänjoustokentässä Suomen asuinkiinteistöissä sijaitsee sähkölämmityskohteissa, jotka sisältävät tyypillisesti valmiin ohjauskytken. On mietittävä tarkkaan, mitä kuormanohjaukseen kannattaa kytkeä ja onko kytkentämuidoksien tekeminen ylipäätänsä kannattavaa taloudellisesti. Pääpaino tulisikin asettaa uusiin kiinteistöihin ja niiden suunnitteluun. Suunnittelukäytäntöjä tulisi muuttaa siten, että kuormanohjaus mahdollistettaisiin kaikissa kiinteistöissä. Laitevalmistajien tulisi myös ottaa kuormanohjaus huomioon, etenkin lämpöpumppu laitteissa. Potentiaaliset ohjattavat kuormat tulisi tapauskohtaisesti määrittellä.

Kuormanohjauksen potentiaali Suomen asuinkiinteistöissä on vaihteleva. Talvisin kylmään aikaan potentiaali sijaitsee lämmittämisessä ja kesäaikaan jäähdyttämisessä. Käyttöveden lämmitys on kuitenkin ympärivuotista ja kulutushuiput niissä ovat tyypillisesti yöaikaan. Kiinteistökohtaisia kulutushuippuja on mahdollon määrittää. Se ei kuitenkaan ole merkittävä tekijä kysynnänjoustokentässä, sillä kulutushuiput eivät tyypillisesti ole kiinteistöissä samaan aikaan, joten ne tasaavat toisensa. Tiedetään kuitenkin että kulutuspiikkejä syntyy aamulla 6-8 aikaan sekä päivällä kello 15 - 18 aikaan. Aamulla esiintyvät kulutuspiikit syntyvät, kun ihmiset heräävät ja laittavat aamupalaa. Päiväsaikaan esiintyvä kulutushuippu syntyy ihmisten palatessa töistä kotiin. Lisäksi kulutushuippuja tiedetään esiintyvän perjantai- ja lauantai-iltasin. Nämä piikit voidaan olettaa johtuvan kansalle tyypillisestä perjantai- tai lauantaisaunasta.

Loppupäätelmänä voidaan esittää kysynnänjouston olevan potentiaalinen ratkaisu Suomen sähkönkulutuksen tasauksessa. Ennen kysynnänjouston toteuttamista Suomen sähkömarkkinoilla on kuitenkin laadittava säännöt sen toteuttamisesta. Sääntöjen tulisi sisältää uudet suunnittelu ohjeet, standardit, lait ja käytännöt.

## LÄHTEET

Finni Erkki, Hietaniemi Janne, Karppinen Reijo Insinööritoimisto Olof Grannlund Oy 2001. Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen ST – kortti 13.31. Sähköinfo. (ST –kortti 13.31)

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

Harsia P. 2014. Kysynnänjousto materiaalit

Harsia P. 2014 Sähkölämmityksen ohjauskytkennät materiaali.

Jokitalo Samu-Pekka. Vuores-hankkeen materiaalit.

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

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

Markku Nieminen. 2009. Kesämökkibarometri. Työ- ja elinkeinoministeriö. Tilastokeskus.

Motiva Tutkimusraportti 2011. Kotitalouksien sähkönkäyttö 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)

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

Suomen tilastokeskus. Rakennukset pääasiallisen lämmitysaineen mukaan taulukko, tilastokeskus. Luettu 17.4.2014.

Salminen Sami. 2014. Kysynnänjousto materiaalit.

SULPU, Suomen lämpöpumppuyhdistys 2014. Lämpöpumppuuala kasvoi rakentamisen alamäestä huolimatta ja määrä ylitti jo 600.000, artikkeli, luettu 28.4.2014. [http://www.sulpu.fi/uutiset/-/asset\\_publisher/WD1ExS3CMra3/content/lampopumppuuala-kasvoi-rakentamisen-alamasta-huolimatta-ja-maara-ylitti-jo-600-000?redirect=http%3A%2F%2Fwww.sulpu.fi%2Fuutiset%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_I NSTCE\\_WD1ExS3CMra3%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn2%26p\\_p\\_col\\_pos%3D1%26p\\_p\\_col\\_count%3D2](http://www.sulpu.fi/uutiset/-/asset_publisher/WD1ExS3CMra3/content/lampopumppuuala-kasvoi-rakentamisen-alamasta-huolimatta-ja-maara-ylitti-jo-600-000?redirect=http%3A%2F%2Fwww.sulpu.fi%2Fuutiset%3Fp_p_id%3D101_I NSTCE_WD1ExS3CMra3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2)

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)

Vihola Jaakko, Heljo Juhani 2012. Lämmitystapojen kehitys 2000-2012. Aineistoselvitys. Tampereen teknillinen yliopisto. Luettu 27.4.2014.