



Taloyhtiön sähkötehonhallinta lämpöpumppulämmitykseen siirryttäessä

Samuli Ahokas

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2021

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

AHOKAS, SAMULI:

Taloyhtiön sähkötehonhallinta lämpöpumppulämmitykseen siirryttäessä

Opinnäytetyö 55 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Huhtikuu 2021

Taloyhtiön siirryessä lämpöpumppulämmitykseen sen sähkötehon tarve yleensä kasvaa. Sähkötehon tarve pyritään optimoimaan tehonhallinnan avulla. Opinnäytetyössä tutkitaan taloyhtiöiden tehoprofiileja ja niihin vaikuttavia tekijöitä. Työn tavoitteena on selvittää, millä ohjattavilla laitteilla voidaan optimoida taloyhtiön sähkötehon tarve lämpöpumppulämmitykseen siirryttäessä ja siitä syntyviä taloudellisia hyötyjä. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Sähköpalvelu P. Hintsanen Oy.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään taloyhtiöiden sähkönkulutusta ja huipputehon muodostumista. Lisäksi tarkastellaan erilaisia tehonhallintaratkaisuja taloyhtiöille ja tehonhallinnan taloudellisia vaikutuksia.

Tarkasteluun otettiin kaksi taloyhtiötä. Ensimmäisessä tarkastelukohteessa taloyhtiössä siirryttiin kaukolämmön sekä maa- ja poistoilmalämmön hybridilämmitykseen. Toisessa taloyhtiössä kaukolämpöjärjestelmä korvattiin kokonaan maa- ja poistoilmalämmön hybridiratkaisulla. Taloyhtiöiden sähkönkulutusta tutkittiin mittaamalla kiinteistöjen ja niiden lämpöpumppujärjestelmien sähkönkulutusta. Mittaukset verkkoanalysointilaitteilla pyrittiin tekemään oletettuun huipputehoajan kohtaan.

Huipputehopiikkien ajankohta selvisi verkkoyhtiöiden mittaustiedoista. Mittausten tuloksena saatiin selville kohteiden sähkötehon käyttöprofiili ja niiden perusteella tunnistettiin tehonhallinnan kannalta potentiaaliset ohjattavat laitteet.

Yhteenvetona voidaan todeta, että tehonhallinnan kannalta potentiaalisia ohjattavia laitteita lämpöpumppujärjestelmässä ovat lämpöpumppuyksiköt ja lisälämmityslähteenä käytettävät sähkökattilat ja -vastukset. Rajoittamalla näiden laitteiden toimintaa huipputehoaikaan voidaan säästää liittymän korottamisen aiheuttamissa investointikustannuksissa ja verkkoyhtiön laskuttamassa tehomaksussa.

Asiasanat: tehonhallinta, lämpöpumppu, taloyhtiö

ABSTRACT

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

AHOKAS, SAMULI:

Power Management in the Housing Company When Switching to Heat Pump Heating

Bachelor's thesis 55 pages, appendices 3 pages
April 2021

The purpose of this bachelor's thesis was to study the power profiles of housing companies, the factors which affect them, and the various executions of power management. The aim of this bachelor's thesis was to find out which loads can be controlled to optimize the housing company's electric power demand when switching to heat pump heating and the resulting economic benefits.

The theoretical part of the thesis deals with the electricity consumption and the formation of peak power in a housing company. In addition, various power management solutions for housing companies and the economic effects of power management are examined. Two housing companies were included in the observation. The electricity consumptions of the properties were measured, and their heat pump systems studied. The measurements were taken during the assumed peak power times.

The results of the observation provided analyses of the power profiles of the subject housing companies and the durations and magnitudes of the power peaks that occur there. Based on the measurements, the most significant controllable devices for power management were identified.

The findings indicate that the most potential controllable devices from the point of view of power management are the heat pump units and the electric boilers. Power management makes it possible to cut the peak power, in which case it is not necessary to increase the electrical connection. In this case, the housing company can also save money in the power fee charged by the network company.

Key words: power management, heat pump, housing company

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TEHONHALLINTA TALOYHTIÖSSÄ.....	8
	2.1.1 Sähkönkulutus	8
	2.1.2 Huipputehon muodostuminen	9
	2.2 Tehonhallintaratkaisut	10
	2.2.1 Kuormien risteily	10
	2.2.2 Dynaaminen ohjaus ja virranvalvontalaitteiden käyttö	11
	2.2.3 Sähköverkon tehotasapaino	15
	2.2.4 Energian- ja tehonhallintajärjestelmät.....	15
	2.2.5 Laitteiden jaottelu	18
	2.3 Säästöpotentiaali taloyhtiölle.....	19
	2.3.1 Liittymän korottaminen	19
	2.3.2 Tehopohjainen hinnoittelu	21
3	TARKASTELUN KOHTEET JA TUTKIMUSMENETELMÄT	23
	3.1 Kohde 101.....	23
	3.1.1 Mittaukset	24
	3.2 Kohde 102.....	25
	3.2.1 Mittaukset	27
4	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	29
	4.1 Kohde 101.....	29
	4.1.1 Tehoprofiili	29
	4.1.2 Ohjattavat kuormat	34
	4.1.3 Tehonhallinnan potentiaali.....	35
	4.2 Kohde 102.....	36
	4.2.1 Tehoprofiili	36
	4.2.2 Ohjattavat kuormat	38
	4.2.3 Tehonhallinnan potentiaali.....	40
5	YHTEENVETO JA POHDINTA	47
	LÄHTEET	50
	LIITTEET.....	53
	Liite 1. Tehonhallintajärjestelmän järjestelmäkaavio	53

LYHENTEET JA TERMIT

LTO	Lämmön talteenotto
MLP	Maalämpöpumppu
Modbus	Avoin sarjaliikenneprotokolla, joka mahdollistaa monien samaan verkkoon kytkettyjen laitteiden välisen kommunikoinnin
OCPP	Open Charge Point Protocol
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
RK LP	Lämpöpumppujärjestelmää syöttävä ryhmäkeskus

1 JOHDANTO

Lämpöpumppujen asentaminen taloyhtiöihin on yleistynyt viime vuosina. Selitys sille löytyy investoinnin kannattavuudesta. Lämpöpumpuilla saavutetaan merkittäviä taloudellisia säästöjä sekä ympäristöhyötyjä monenlaisissa kiinteistöissä. Taloyhtiöissä lämpöpumppuinvestointeihin kannustavat energiakustannusten vähentäminen sekä kiinteistön jälleenmyyntiarvon kasvattaminen. Lämpöpumppuinvestointi voi laskea myös yhtiövastiketta (Motiva Oy 2019).

Lämpöpumppujen myyntiä on kasvattanut asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA:n vuoden 2020 alusta lähtien myöntämä energia-avustus asuinrakennusten energiatehokkuutta parantaviin korjaushankkeisiin. Energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä taloyhtiölle ovat esimerkiksi öljylämmityksestä luopuminen, lämpöpumppu- ja lämmöntalteenottojärjestelmät sekä aurinkoenergian hyödyntäminen. Energia-avustusta voi saada 4000–6000 euroa yhtä asuntoa kohti (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus 2019). Myös pitkään jatkunut matala lainojen korkotaso sekä kotitalousvähennysten hyödyntämismahdollisuus saneerauskohteissa innostaa lämpöpumppuinvestointeihin. Lämpöpumppujen menekkiä saattaa lisätä myös kasvava huoli ilmastosta (Motiva Oy 2019).

Yleensä lämpöpumppulaitteiston asentaminen vanhaan kiinteistöön lisää kiinteistön sähkötehon tarvetta. Tällöin olemassa oleviin sähkölaitteistoihin voidaan joutua tekemään muutoksia, kuten sähköliittymän korotus ja syöttökaapelin sekä sähköpääkeskuksen uusiminen (Manner 2017, 15). Suurimpien kuormien samanaikaista toimintaa on mahdollista vähentää ilman, että käyttäjälle aiheutuu tästä huomattavissa olevaa haittaa (Sähkötieto ry 2021, 9). Tehonhallinnalla pyritään optimoimaan kiinteistön sähkötehotarve päälle kytkeytymisen estämisellä tai päälle kytkeytymisen ajankohdan siirtämisellä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia taloyhtiöiden tehoprofiileja ja selvittää niihin vaikuttavia tekijöitä sekä erilaisia tehonhallinnan toteutusmahdollisuuksia. Työn tavoitteena on selvittää millä ohjattavilla laitteilla pienentää taloyhtiön huipputehoa lämpöpumppulämmitykseen siirryttäessä ja siitä syntyviä taloudellisia hyötyjä. Opinnäytetyö on tehty forssalaiselle Sähköpalvelu Petri Hintsanen

Oy:lle. SPPH Oy on forssalainen sähköalan yritys, joka tekee tyypillisen sähkösuunnittelun ja -urakoinnin lisäksi maalämpöjärjestelmien sähköistyksiä yhteistyössä Tom Allen Seneran kanssa.

2 TEHONHALLINTA TALOYHTIÖSSÄ

2.1 Taloyhtiön tehoprofiili

2.1.1 Sähkönkulutus

Taloyhtiössä sähköä kuluu asukkaiden kuluttaman sähkön lisäksi puhaltimiin, pumppuihin, valaistukseen, pistorasiakuormitukseen, saunan kiukaaseen, pesutupaan sekä hissiin. Taloyhtiössä käytetty sähkö jakautuu huoneisto- ja kiinteistösähköön.

Huoneistosähköä kuluttavat asunnon sisällä valaistus, kodin kylmälaitteet, ruuan valmistus, elektroniikka ja huoneiston oma sauna. Yleensä myös kylpyhuoneen sähköinen mukavuuslattialämmitys kuuluu huoneiston omaan sähkönkulutukseen. Huoneiston asukas maksaa oman huoneistonsa sähkönkulutuksen omassa sähkölaskussaan (Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSU 2021).

Kiinteistösähköä käytetään kiinteistön teknisten järjestelmien ja toimintojen ylläpitoon, kuten yleisten tilojen ja kiinteistötekniikan laitteisiin. Kiinteistösähkönkulutus on tyypillisesti noin 2–6 kWh/m³ vuodessa. Vaihtelua aiheuttaa muun muassa se, että joissakin rakennuksissa on toimintoja, joita toisissa ei ole, kuten esimerkiksi hissit, kylmäkellarit ja autohallit. Kerros- ja rivitaloissa kiinteistösähkön kulutus on keskimäärin noin neljä prosenttia taloyhtiön hoitokuluista. Taloyhtiön osakkaat maksavat kiinteistösähkön kustannukset hoitovastikkeiden kautta. Kiinteistösähköön kuuluvat muun muassa:

- yleisten tilojen valaistus
- ulkovalaistus
- LVI-laitteet
- taloyhtiön yhteinen sauna
- pesutupa
- kylmäkellarin jäähdytys
- sulanapitolämmitykset esimerkiksi sadevesikouruissa
- autolämmitystolpat

- hissit
- sähköautojen latauspisteet.

Joissakin taloyhtiöissä asuntokohtaiset talotekniset järjestelmät, kuten asuntokohtaiset ilmanvaihtolaitteistot ja kylpyhuoneen sähköinen mukavuuslattialämmitys, saattavat kuulua kiinteistösähkön kulutuksen piiriin. Tällöin taloyhtiön osakkaat maksavat näiden laitteiden kuluttaman sähköenergian hoitovastikkeessa (Motiva Oy 2021).

2.1.2 Huipputehon muodostuminen

Kiinteistön huipputeho on hetkellisesti suurin tehoarvo, minkä kiinteistö kuluttaa. Huipputeho määrittää tarvittavat sähköliittymän pääsulakkeet, joka myös osaltaan määrittää sähköliittymän hintaa (Hyttinen 2020, 47). Usein asuinkiinteistön huipputeho ajoittuu kylmiin talvipäiviin, kun lämmitystarve on suurimmillaan. Asuinkiinteistöissä kuluukin noin 2/3 koko energian kulutuksesta tilojen lämmittämiseen (Suomen tilastokeskus 2020). Asuinkiinteistön huipputehoon vaikuttaa keskeisesti kiinteistön koko, huoneistojen lukumäärä ja tilojen sekä lämpimän käyttöveden lämmitysratkaisu. Siihen vaikuttaa myös ilmanvaihtoratkaisu, saunan ja kiukaan mitoitus, valaistus, autojen lämmitys, varautuminen sähköautojen lataukseen, hissi sekä kodinkoneet ja muut sähkölaitteet. Lämmitykseen käytettävä energia ei aina ole sähköllä tuotettua, jolloin talvisin sähkönkulutuksessa ei välttämättä ole niin suurta eroa. Tällaisia ovat esimerkiksi kaukolämpökohteet.

Laiteryhmistä lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden käyttö on lämpötilasta riippuvaista, kun taas muiden laiteryhmiä käyttö määräytyy pääosin käyttäjien määrään ja heidän päivärytmiinsä. Huipputeho ei määräydy pelkästään laiteryhmiä ja laitteiden nimellistehojen mukaan, vaan on otettava huomioon laiteryhmiä käytön samanaikaisuus ja niiden ohjaustavat. Esimerkiksi sähkölieden nimellisteho on suuri, n. 10 kW, mutta kaikkia levyjä ja uunia käytetään samanaikaisesti harvoin (Harsia ym. 2019, 40–41).

Verkkoyhtiöiden liittymisehdot ja verkkopalveluehdot edellyttävät, ettei pääsulakkeiden nimellisvirtaa tai sovittua liittymistehoa saa ylittää edes hetkellisesti, vaikka suojalaitteet ja muut komponentit sen kestäisivätkin (Sähkötieto ry 2020, 3).

2.2 Tehonhallintaratkaisut

Tehonhallinnan perusajatuksena on, että ei-ohjattavat kuormat, kuten pesutupien laitteet ja kiukaat, tekevät kuormitukseen pohjakuorman. Kuormilla, joita voidaan ohjata, pyritään saamaan huipputeho optimaaliselle tasolle. Kiinteistön normaali-käytössä tehonhallinta ei saa vaikuttaa olennaisesti olosuhteisiin tai käyttömukavuuteen (Harsia ym. 2019, 71).

Sähkötehojen hallinta tulisi nähdä koko kiinteistön sähkönkäyttöä koskevana asiana. Tehonhallinta voidaan toteuttaa paikallisilla vuorottelukytkennoillä, teho-
vahdeilla sekä erilaisten ohjauspalveluiden avulla (Sähkötieto ry 2021, 9).

2.2.1 Kuormien risteily

Kuormien risteilyssä laitteen päälle kytkeytyessä ohjataan toinen laite joko kokonaan tai osittain pois päältä. Kuormien risteily on hyvä tapa pitää kurissa kiinteistön huipputehoa, sillä esimerkiksi lämmityksen poiskytkentä lyhyeksi ajaksi ei ehdi vaikuttamaan tilojen lämpötiloihin. Pienikiinteistöissä käytetään usein kuormien risteilyä saunaa lämmittäessä. Tällöin kiukaan päälle kytkeytyessä kiukaalta lähtee ohjaustieto ohjausjohdinta pitkin osan sähkölämmittimien käytön estävälle apureleelle. Tätä kutsutaan kiuasristeilyksi.

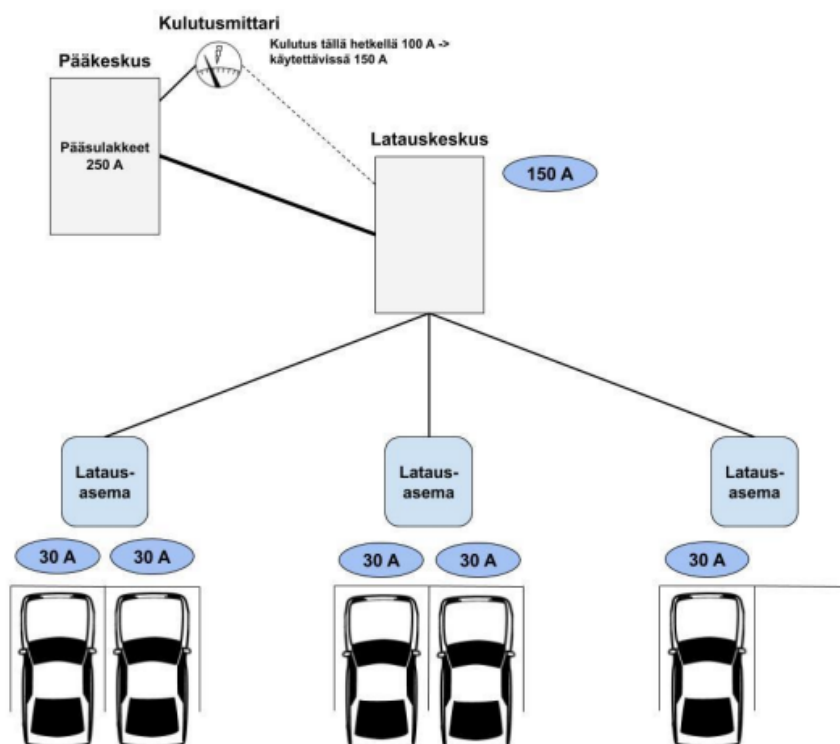
Lämpöpumppujärjestelmissä koko järjestelmän sähkönsyöttöä ei voida katkoa toiselta kuormitukselta tulevalta ohjaustiedolla. Vaikka lämpöpumppulämmitys on sähkölämmitykseen verrattuna energiatehokas tapa lämmittää kiinteistön tiloja ja lämmintä käyttövetä, niin huipputehohallinnan kannalta tehorigisteilylle on tarvetta. Jonkin sähköteholtaan merkittävän toisen laitteen tai laitteiston ollessa

päällä tulisi lämpöpumppujen kompressorien ja lisälämmityslaitteiden samanaikaista toimintaa pystyttävä rajoittamaan tai estämään (Harsia ym. 2019, 71–72).

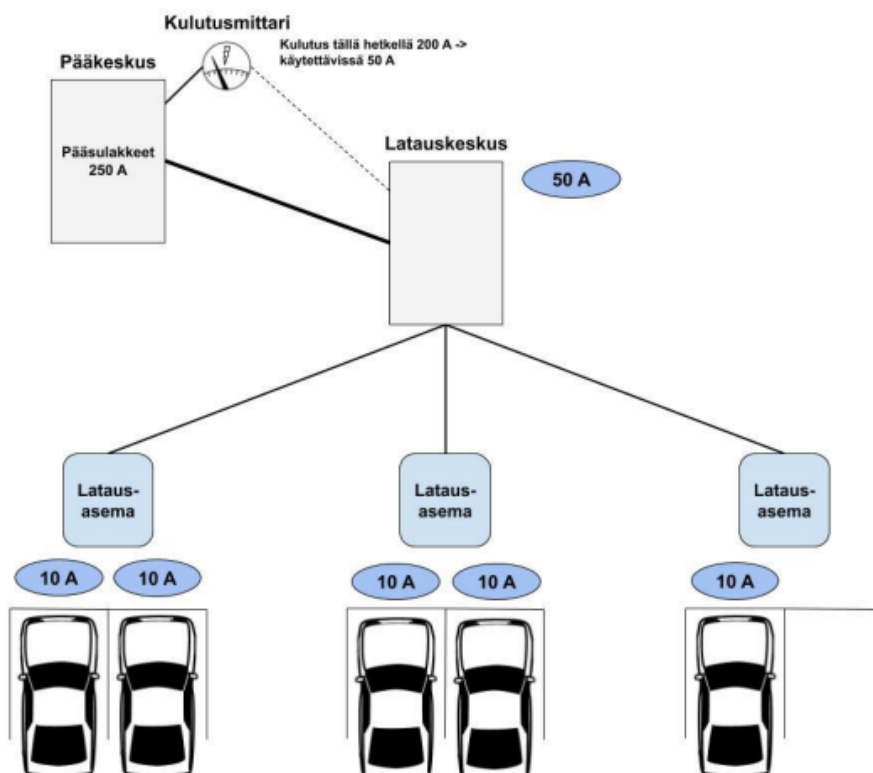
2.2.2 Dynaaminen ohjaus ja virranvalvontalaitteiden käyttö

Useamman laitteen tai laiteryhmän, kuten lämpöpumppulaitteiston, sähkökiukaan ja sähköautojen latauspisteiden, risteilytarpeisiin tarvitaan monipuolista ohjausta. Lämpöpumppulaitteiston ja sähköautojen latauksen suurimpien sähkötehotarpeiden osuessa usein asuinkiinteistöjen huipputehon aikaan kannattaa säätää laitteiden tehoa portaittain tarpeeksi pienelle teholle eikä välttämättä pakottaa sähkökattilaa pois päältä tai pudottaa sähköautojen lataustehoja puoleen kuormien risteilyn periaatteella (Harsia ym. 2019, 72).

Osa sähköautojen latauslaitteistoista tarjoaa ominaisuutena ns. dynaamista kuormanhallintaa. Sen avulla latausjärjestelmä osaa aktiivisesti tarkkailla ja hallita lataukseen käytettävää sekä kiinteistössä käytettävissä olevaa tehoa. Latausjärjestelmässä, jossa on tämä ominaisuus, kulutusmittari seuraa aktiivisesti kiinteistön kulutusta. Tämän jälkeen joko latauskeskus tai järjestelmän master-latausasema säätelee, kuinka paljon virtaa sähköautojen lataukseen on käytettävissä ja kuinka suurella teholla mikäkin laturi saa ladata (Harjunpää 2020, 20). Kuvissa 1 ja 2 esitetty sähköautojen dynaamisen kuormanhallinnan toimintaperiaate.



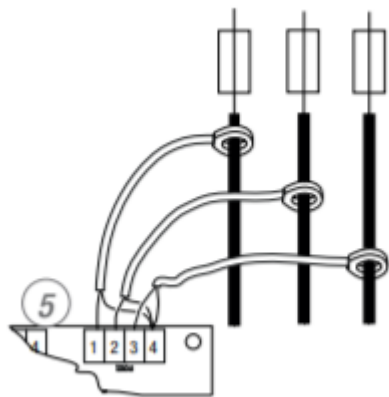
KUVA 1. Dynaaminen kuormanhallinnan toiminta (Harjunpää 2020, 23).



KUVA 2. Dynaaminen kuormanhallinta pienentää lataustehoa, kun kiinteistön muu tehontarve lisääntyy (Harjunpää 2020, 24).

Lämpöpumppujärjestelmän lisäenergian tuottajana toimivan sähkökattilan tai sähkövastuksien tehoa voidaan rajoittaa käyttämällä virranvalvontareleitä. Virranvalvontarele valvoo pääsulakkeiden tai muun suojeltavan sulakkeen virtaa epäsuorasti virtamuuntajien avulla. Virranvalvontareleen kosketin vaihtaa tilaa, kun releeseen asetettu virtaraja ylittyy. Tämä kosketintieto voidaan tuoda lämpöpumppujärjestelmää ohjaavalle automaatiojärjestelmälle, joka ohjaa haluttuja toimintoja. Yleensä virranvalvontareleellä ohjataan lisäenergiaa tuottavan sähkökattilan tai sähkövastuksien tehoa pois päältä sen verran, että virranvalvontareleen mittauspisteellä virta laskee sallitun raja-arvon alueelle. Virranvalvontareleellä voidaan ohjata myös lämpöpumppuyksiköiden kompressoreita pois päältä. Sähkökattilan tai sähkövastuksien tehon rajoittaminen ei aiheuta ongelmia, koska kiinteistön huipputehutilanteet ovat yleensä lyhytkestoisia. (Manner 2017, 16–17).

Lämpöpumpuissa ja sähkökattiloissa voi olla sisäänrakennettu kuormitusvahti, joka mittaa virtamuuntajien avulla pääsulakkeiden kuormitusta. Virtamuuntajien asennuksen lisäksi laitteeseen tulee asettaa pääsulakkeiden nimellisarvo, jolloin laite osaa itsenäisesti katkaista tehon, kun teho ylittää asetetun rajan. Sähköteho voidaan laittaa taas päälle, kun virran arvo ei enää ylitä asetettua virtarajaa (Harala 2018, 17–18). Kuvassa 3 on esitetty sähkökattilaan integroidun kuormitusvahdin virtamuuntajien kytkentä. Tässä sähkökattila on varustettu sisäänrakennetulla kuormitusvahdilla, joka ohjaa sähkövastuksen tehoportaita kytkemällä ne pois, jos pääsulakkeita ylikuormitetaan. Vastukset kytketään päälle, kun muu virrankulutus laskee (Värmebaronen AB n.d., 16)



KUVA 3. Sähkökattilaan integroidun kuormitusvahdin virtamuuntajien kytkentä (Värmebaronen AB n.d., 16).

Virranvalvonnassa voidaan myös käyttää verkkoanalysaattoria. Verkkoanalysaattorin mittaustietoja voidaan tuoda lämpöpumppujärjestelmän automaatiojärjestelmään käyttämällä esimerkiksi Modbus-protokollaa. Lämpöpumppujärjestelmän lisälämmitystehoa voidaan säätää verkkoanalysaattorin virtamittaustietojen perusteella siten, ettei virta ylitä asetettua ylärajaa (Manner 2017, 19).



KUVA 4. Verkkoanalysaattori asennettuna keskuksen kanteen (Salminen 2018, 28).

2.2.3 Sähköverkon tehotasapaino

Asuinkiinteistöt ovat pääsääntöisesti liitetty kolmivaiheiseen sähköverkkoon. Tällöin kiinteistön kokonaisteho muodostuu kolmen vaihetehon summana. Kuormitus tulisi jakaantua tasaisesti eri vaiheiden välille. Suurin osa asuinkiinteistön sähkölaitteista on yksivaiheisia ja vaikka sähkölaite olisi kytkennältään kolmivaiheinen, niin se saattaa kuormittaa vain yhtä vaihetta. Tällainen laite on esimerkiksi sähköauton latausasema. Asuinkiinteistössä muun muassa kiukaat, lämminvesivaraajat sekä pääosin lämpöpumppujen kompressorit ovat jatkuvasti kolmivaiheisia. Jossain lämmityslaitteissa lämmitysvastusten portaittainen teho-ohjaus kytkee pois yksittäisen vaiheen vastuksia, jolloin eri vaiheiden kuormitukseen saattaa tulla hyvin suuria eroja (Harsia ym. 2019, 73).

Sähköautojen latauksen tehoprofiilit vaihtelevat autokohtaisesti. Osa sähköautoista lataa vain yhdellä vaiheella ja osa kaksi- tai kolmivaiheisesti. Näin ollen kolmivaiheisen latauslaitteen vaihekohtaista kuormitusta ei pystytä ennalta määrittelemään varmasti. Latauspisteitä suunniteltaessa on tarkistettava, miten lataus kytkeytyy eri vaiheille. Useamman latauslaitteen tapauksessa vaiheita tulisi kierrättää eri latauspisteissä, jotta usean yksivaiheisesti lataava auto ei kuormita samaa vaihetta (Sähkötieto ry 2021, 12).

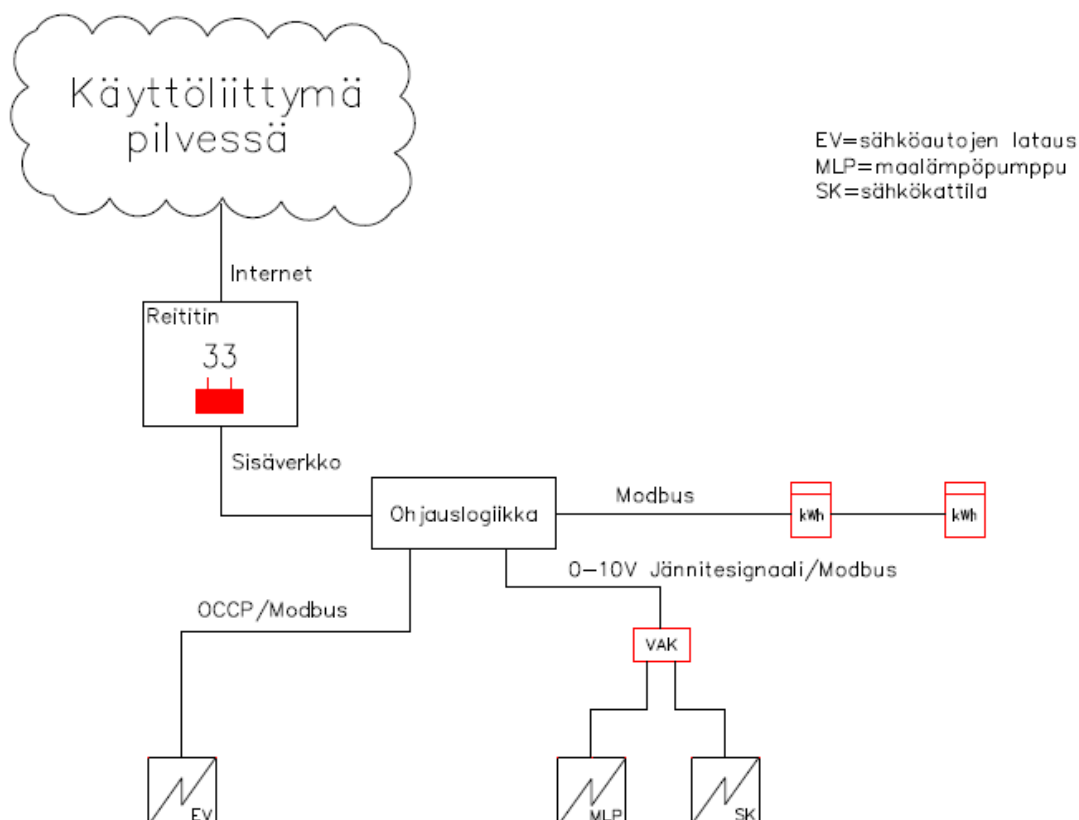
2.2.4 Energian- ja tehonhallintajärjestelmät

Suunnitteluvaiheessa on mahdotonta ennakoida, miten kiinteistön ohjaustarpeet muuttuvat kiinteistön elinkaaren aikana. Niin energian kuin tehonhallinnankin näkökulmasta tähän voidaan parhaiten varautua valitsemalla monipuolisesti ohjattavat talotekniset järjestelmät ja varaamalla riittävät tilavaraukset kaikkiin kiinteistön sähkökeskuksiin sekä putkivaraukset keskusten ja ohjattavuudeltaan merkittävimpien laitteiden välillä.

Ohjausjärjestelmät rakentuvat yleensä ryhmäkeskukseen tai sen läheisyyteen asennettavaan keskusyksikköön ja muihin mahdollisiin oheiskomponentteihin. Mikäli ohjausjärjestelmällä ohjataan kuormia kärkitieto- tai releohjauksilla, tarvitsee ohjausyksikkö joko integroidun tai erillisen relekortin. Järjestelmään voi olla

liitettynä myös liittymän tai ohjattavien laitteiden virran mittauksia. Useimmiten järjestelmä tai jopa yksittäiset laitteet ovat yhteydessä palveluntarjoajaan internet-reitittimen välityksellä, joten langallinen tai langaton yhteys reitittimelle tulee varmistaa. Keskusyksikkö ja ohjattavat laitteet voivat toisiinsa yhteydessä langattomalla, väyläpohjaisella tai kärkeen pohjautuvalla yhteydelle (Sähkötieto ry 2021, 11–12).

Tehonhallintaan suunnitellulla ohjausjärjestelmällä pystytään ottamaan koko kiinteistön sähkönkäyttö huomioon tehoja rajoittaessa. Tehonhallintajärjestelmän logiikkaohjaimen avulla pystytään säätelemään kiinteistön kokonaistehoa ulkoisen tulotiedon mukaan. Tulotiedot saadaan Modbus-protokollaa tukevilta energiamittareilta, jotka mittaavat ajantasaisesti kiinteistön sähkönkulutusta. Kulutuspiisteet, joita energiamittarit mittaavat, voivat olla liittymän pääsulakkeet, laiteryhmä tai yksittäinen laite, kuten sähkökattila tai lämpöpumppu. Ohjauslogiikkaan voidaan liittää ohjattavia laitteita tai järjestelmiä ohjausyksikköön asennettavien I/O- ja väyläkorttien avulla. Kuvassa 5 on esitetty esimerkkejä tehonhallintajärjestelmän eri tiedonsiirtotavoista.



KUVA 5. Esimerkki eri tiedonsiirtotavoista tehonhallintajärjestelmän sisällä.

Kun kiinteistössä on paljon sähkökuormaa, ohjauslogiikka rajoittaa automaattisesti ohjattavien laitteiden tehoa. Näitä ohjattavia laitteita voi olla lämpöpumput, sähkökattilat ja -vastukset sekä sähköautojen latauspisteet. Lämmityslaitteiden rajoitusviestit voidaan välittää niitä ohjaavalle automaatiojärjestelmälle analogisella jänniteviestillä tai Modbus-protokollan avulla (Tiainen 2021). Älykkäitä sähköautojen latausjärjestelmiä voidaan ohjata Modbus TCP/IP tai OCPP 1.6-protokollien avulla (Falkman 2018, 73).

Energiahallintajärjestelmillä voidaan optimoida kiinteistön energiankäyttöä perustuen esimerkiksi sääennusteiden, sähkön hintatietojen, tilojen läsnäolojen ja mahdollisen sähkön omatuotannon perusteella. Tyypillisesti käyttäjä pystyy seuraamaan ja hallitsemaan kiinteistönsä energiankulutusta tuotteen tarjoajan pilvipalvelusta. Jos kiinteistössä hyödynnetään pörssisähköä, tällä järjestelmällä pystytään siirtämään joustavat kuormat halvimmille käyttötunneille. Joustavia ja varaavia kuormia voidaan ohjata energijärjestelmällä päälle silloin, kun omatuo-

tanto on parhaimmillaan. Markkinoilla olevat energiahallintajärjestelmät painottuvat tällä hetkellä nimensä mukaan energian hallintaan, mutta osa järjestelmien valmistajista ovat ilmoittaneet varautuvansa myös tehonhallintaan tulevaisuudessa (Harsia ym. 2019, 74).

Tehopohjaisen sähkön siirtohinnoittelun tulisi tapahtua tulevaisuudessa yhteisillä periaatteilla, jotta energian- ja tehonhallintajärjestelmiä pystyttäisiin suunnittelemaan nykyiseen tapaan samoin ohjausperustein eri verkkoyhtiöiden alueilla (Harsia ym. 2019, 74). Tehopohjaisen laskutuksen yleistyessä pienliittymissä tulee käyttäjän kannalta optimaalisen ohjaustavan suunnittelussa ottaa huomioon käytettävyyden, olosuhteet, energianhallinta ja tehonhallinta kokonaisuutena (Sähkötietyö 2021, 11).

2.2.5 Laitteiden jaottelu

Taloyhtiön sähkölaitteet voidaan jakaa tehonhallinnan kannalta karkeasti kolmeen eri laiteryhmään:

- jaksottaisesti käytettävät laitteet
- ulkoisen kuorman lämpölaitteet
- sisäisen kuorman lämpölaitteet.

Jaksottaisesti käytettävien laitteiden tehonhallintamahdollisuus piilee mahdollisuudessa vaikuttaa laitteiden käyntijaksoihin, siten etteivät ole samanaikaisesti käytössä. Tähän vaikuttaa erityisesti se, millaisella aikajaksolla esimerkiksi huipputehoa mitataan. Tuntimittauksella käyntijaksojen lomittamisella saman tunnin sisällä ei vaikuta tunnin keskitehoon (Harsia ym. 2019, 74–75). Vuonna 2023 pohjoismaissa verkkoyhtiöt ottavat käyttöön 15 minuutin taseselvitysjakson eli ns. varttitaseen (Fingrid Oyj 2020). Varttitaseen käyttöönoton jälkeen käyntijaksojen lomittamisella päästään isompiin hyötyihin asuinkiinteistöissä. Jaksollisesti käytettäviä laitteita taloyhtiössä ovat esimerkiksi pesutuvassa pyykinpesukoneet ja kuivausrummut.

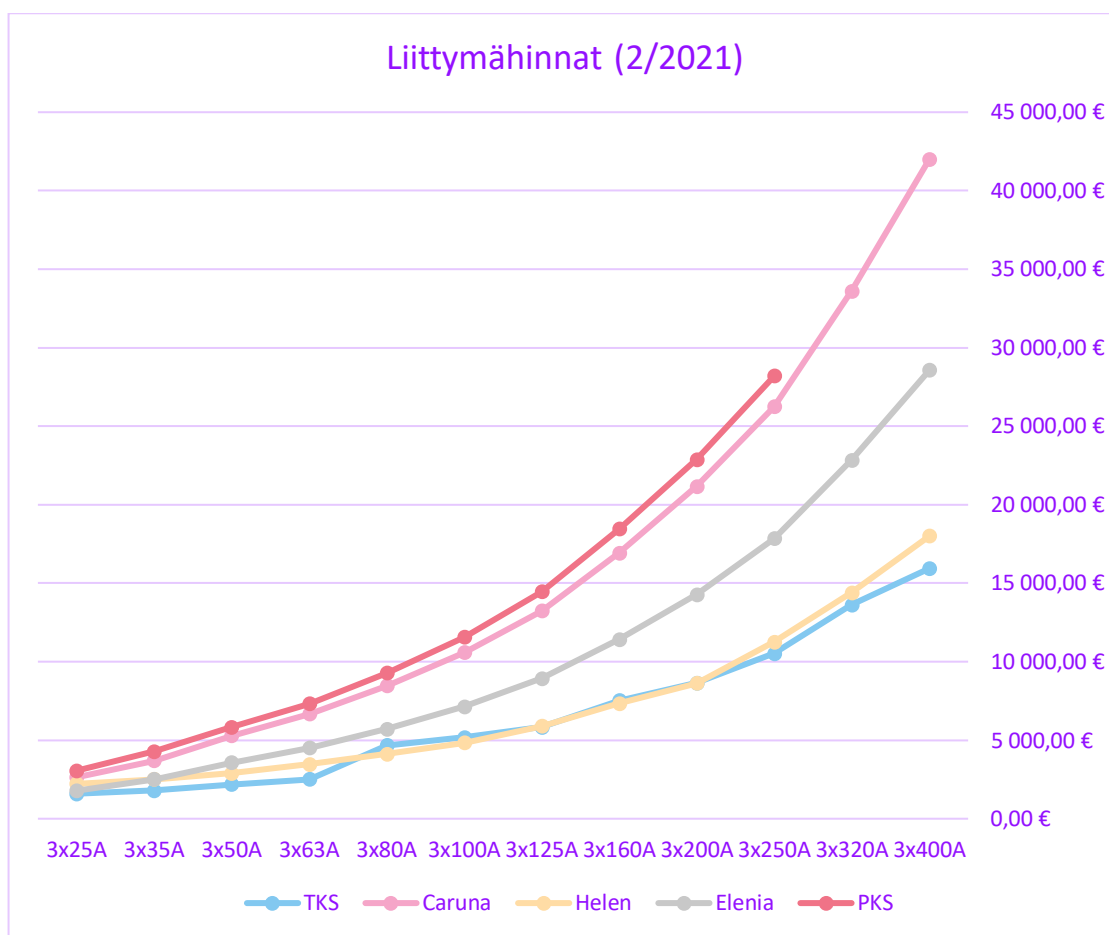
Laitteet, joilla vaikutetaan niiden ulkopuolisen kuorman, esimerkiksi tilojen, tuloilman tai lämpimän käyttöveden, lämpötilaan ovat ulkoisen kuormien lämpölaitteita. Näiden laitteiden tehonkäyttöön voidaan vaikuttaa mahdollisuudella muuttaa kyseisen kuorman lämpötilan asetusrvoa esimerkiksi joustamalla hieman tavoitearvostaan (Harsia ym. 2019, 75). Ulkoisten kuormien lämpölaitteiden tehonhallinnassa on huomioitava vaikutukset kiinteistön olosuhteisiin. Esimerkiksi huoneen lämpötila ei ehdi merkittävästi laskea, vaikka sähköpatterit olisivat hetken aikaa kytkettynä pois päältä. Yleensä tämän laiteryhmän järjestelmiä ohjataan kiinteistössä rakennusautomaatiojärjestelmällä tai jollain muulla ulkoisella ohjausjärjestelmällä.

Sisäisen kuorman lämpölaitteet ovat laitteita, jotka varaavat lämpöenergiaa itseensä. Näiden laitteiden ohjaus, joustovarallisuus ja sähkönkulutus ovat tyypillisesti samaa kokonaisuutta. Tällaisia lämpöenergiaa varaavia laitteita ovat esimerkiksi varaavat patterit ja lämpöpumppujärjestelmien vesivaraajat. Tämän laiteryhmän ohjauspotentiaali on niiden lämpöä varastoivissa ominaisuuksissa (Harsia ym. 2019, 75).

2.3 Säästöpotentiaali taloyhtiölle

2.3.1 Liittymän korottaminen

Lämpöpumppulämmitykseen siirryttäessä sähkön käyttötarve kasvaa, jolloin voi olla tarve liittymän korotukselle. Liittymää korotettaessa voi tulla myös eteen pääkeskuksen sekä liittymiskaapeleiden uusiminen, mikäli vanhoissa ei ole varaa korottaa nimellisvirtaa. Liittymän korotuksesta verkkoyhtiöt veloittavat lisäliittymismaksun, joka on usein uuden ja vanhan liittymislukan erotus. Tämän lisäksi verkkoyhtiöt veloittavat tarvittaessa kytkentä- ja mittarointitöistä omien verkkopalveluhinnastojen mukaan (Caruna Oy 2020; Tampereen sähköverkko Oy 2017b). Kuviossa 1 on esitetty eri jakeluverkkoyhtiöiden liittymähintoja.



KUVIO 1. Eri verkkoyhtiöiden liittymähintojen vertailu.

Esimerkiksi Carunalla 3x250 A:n pääsulakkeiden korottaminen 3x320 A:n pääsulakkeisiin maksaa 7 350 € sekä mahdolliset kytkentä- ja mittarointityöt (Caruna Oy 2020).

Liittymää korotettaessa saattaa nousta myös sähkön siirtokustannukset riippuen verkkoyhtiöstä ja valitusta siirtotariffista. Esimerkiksi jos sähkönsiirtohinnoittelu pohjautuu sulakekokoon, liittymän kasvaessa nousee kuukausittainen verkkopalvelumaksun perusmaksu (Elenia 2021). Tehonhallinnalla on mahdollista välttää liittymäluokan korotus kohteesta riippuen. Jossakin tapauksessa liittymää joudutaan korottamaan enemmän kuin yhdellä liittymäluokalla, jolloin tehonhallinnan avulla on mahdollista välttää korottamiselta suurimpaan liittymäluokkaan.

2.3.2 Tehopohjainen hinnoittelu

Sähkön kuluttajahinta muodostuu sähköenergian hinnasta, siirtomaksuista sekä sähkö- ja arvonlisäveroista. Sähkösiiromaksu eli verkkopalvelumaksu maksetaan paikallisen sähköverkon haltijalle. Pienkuluttajilla siirtomaksu sisältää kiinteän perusmaksun, joka määräytyy yleensä liittymän pääsulakkeiden mukaan sekä energian siirtomaksun, joka määräytyy kulutetun sähköenergian mukaan (Perkola 2020, 14). Siirtomaksuun voidaan sisällyttää tehomaksu. Sen avulla pyritään tasoittamaan sähköverkkoa kuormittavia huipputehopiikkejä ja myös lisätä siirtomaksun kustannusvastaavuutta jakamalla verkon kustannuksia oikeudenmukaisemmin niille, jota sähköverkkoa eniten kuormittavat (Isometsä 2019, 20–21).

Tehopohjaisessa hinnoittelussa siirtomaksu perustuu tietyn ajanjakson aikana mitattuun huipputehohon tai ennalta sovittuun tilaustehoon (Rossi 2018, 42). Käytännössä se tarkoittaa sitä, että kuluttaja maksaa sähkön jakelusta vastaavalle verkkoyhtiölle aiheuttamistaan kulutuspiikeistä sähkön siirtomaksuissa.

Tehomaksu on käytössä tällä hetkellä pääsääntöisesti suurille sähkökuluttajille. Tehopohjaisessa hinnoittelussa laskutetaan suuremmilta sähkökuluttajilta sekä pätö- että loistehoa. Verkkoyhtiöt määrittelevät tarkemmat määrittelytavat. Esimerkiksi Tampereen sähkölaitos tarjoaa suurehkoille asiakkaille tehotariffia. Siinä laskutettava pätöteho määräytyy käyttöpaikkakohtaisesti liukuvan 12 kuukauden aikana mitatun kahden suurimman kuukausittaisen tuntitehon keskiarvona tai ennalta tilatun siirtotehon perusteella. Tehoa mitataan 60 minuutin jaksoissa. Loistehosta laskutetaan kuukauden suurin mitattu induktiivinen loisteho, josta on vähennetty 20 % laskutettavan pätötehon määrästä tai vähintään 50 kvar. Kapasiitivistä loistehoa ei laskuteta (Tampereen sähköverkko 2017a).

**PIENJÄNNITE-
TEHOSIIRTO**

on tarkoitettu suurehkoille asiakkaille, jotka ovat liittyneet 0,4 kV pienjännitejakeluverkkoon ja joilla vuotuinen sähkönkäyttö on yli 250 MWh ja huipunkäyttöaika melko pitkä (yli 3000 h/v). Ajan määräyksessä käytetään Suomen virallista aikaa.

		alv 0 %	alv 24 %
Perusmaksu	(€/kk)	171,92	213,18
Päätötehomaksu	(€/kW/kk)	2,08	2,58
Loistehomaksu	(€/kVar/kk)	1,25	1,55
Päiväenergiamaksu	(snt/kWh)	1,3900	1,7236
Yöenergiamaksu	(snt/kWh)	0,9500	1,1780
Sähkövero, luokka 1	(snt/kWh)	2,2530	2,79372

KUVA 6. Esimerkki tehohinnoittelusta (Tampereen sähköverkko 2017a).

Kiinteistössä, joissa huipputeho on suuri suhteessa kulutettuun energiaan, tehomaksut lisäävät niiden kustannuksia (Harsia ym. 2019, 38). Tehomaksu luo sähköverkon käyttäjille taloudellisen houkuttimen sähköliittymän huipputehon hallintaan. Tämän työn kirjoitushetkellä (maaliskuu 2021) vasta muutamalla jakeluverkkoyhtiöllä on tarjolla tehopohjaista hinnoittelua taloyhtiötason liittymille.

3 TARKASTELUN KOHTEET JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Tarkasteluun otettiin kaksi taloyhtiötä. Ensimmäisessä taloyhtiössä siirryttiin kaukolämmön sekä maa- ja poistoilmalämmön hybridilämmitykseen. Toisessa taloyhtiössä kaukolämpöjärjestelmä korvattiin kokonaan maa- ja poistoilmalämmön hybridiratkaisulla. Taloyhtiöiden sähkönkulutusta tutkittiin mittaamalla verkkoanalyysointorilla kiinteistöjen pääkeskuksia, lämpöpumppulaitteistoja syöttäviä ryhmäkeskuksia ja lämpöpumppulaitteistojen suurimpia kulutuslaitteita. Verkkoanalyysointorin avulla pystytään mittamaan yksityiskohtaisesti kiinteistön teho- ja energiankulutusprofiilia. Mittaukset tehtiin Fluke 1736 ja Metrel MI2885 verkkoanalyysointoreilla.

Molempien kohteiden jakeluverkkoyhtiöiltä kysyttiin kiinteistön tuntikulutustietoja, joista voitiin tarkastella lämmitystapamuutoksen vaikutusta sähkönkulutukseen ja huipputehonajankohdat. Taloyhtiöissä ei ole verkkoyhtiön mittausta pääsulakkeissa. Mittaus koostuu useista käyttöpaikoista, jotka ovat näissä kohteissa huoneistojen ja kiinteistösähköä käyttävät käyttöpaikat. Ensimmäisessä tarkastelu-kohteessa lämpöpumppulaitteistolle oli myös oma käyttöpaikka. Tämän kohteen jakeluverkkoyhtiöltä saatiin yhteenlasketut tuntikulutustiedot, jossa oli mukana kaikki kiinteistön pääsulakkeiden takana olevat käyttöpaikat. Toisen taloyhtiön verkkoyhtiöltä ei ollut saatavilla liittymän kaikkien käyttöpaikkojen netotettuja mitaustietoja, mutta sieltä saatiin kiinteistön käyttöpaikan tuntimitaustiedot.

3.1 Kohde 101

Ensimmäinen tarkastelukohde on taloyhtiö, johon kuuluu kaksi 6-kerroksista kerrostaloa ja yksi luhtitalo. Huoneistoja on yhteensä 114 ja ne ovat yksiöitä, kaksioita, kolmiota ja neliöitä. Kiinteistöt ovat rakennettu vuonna 1960. Taloyhtiöllä on kolme yhteiskäytössä olevaa saunaa.

Taloyhtiössä on tehty vuonna 2019 lämmitystapamuutos, jolloin kaukolämmöstä siirryttiin maalämmön, poistoilmalämmön ja kaukolämmön niin sanottuun hybridilämmitykseen. Kohteessa on Gebwell Taurus 90 kW maalämpöpumppu, johon

liitetty kaksi keruupiiriä. Toinen piiri menee 2x300 metrin maalämpökaivoihin ja toinen menee kerrostalojen katoille poistoilman LTO-yksiköille. MLP ja PILP käyttävät samaa lämpöpumppuyksikköä. Luhtitalossa on käytössä vielä painovoimainen ilmanvaihto. Maalämpöpumpun rinnalla toimii kaukolämpö, jota käytetään lämpimän käyttöveden sekä tarvittaessa myös lämmityspiirin veden priimaamiseen. Joissakin saneeratuissa kylpyhuoneissa on sähköinen lattialämmitys ja monessa huoneistossa on vesikiertoinen patteri kylpyhuoneessa.

Taloyhtiössä on 3x250 A:n pääsulakkeet. Lämmitystapamuutoksen yhteydessä liittymäkoko ei tarvinnut suurentaa. Lämpöpumppulaitteistolle asennettiin oma ryhmäkeskus lämmönjakohuoneeseen. Keskuksella syötetään lämpöpumppuyksikköä, kolmea kiertovesipumppua, molempien talojen LTO-yksikköjä sekä lämpöpumppujärjestelmän energiamittareita ja valvonta-alakeskusta. Taloyhtiöllä on kahdeksan autotallia ja muutama lämmitystolppa. Lämmitystolpat voidaan ottaa tarvittaessa sähköautojen latauskäyttöön, mutta toistaiseksi ladattavia autoja ei ole.

3.1.1 Mittaukset

Mittauksilla oli tarkoitus tutkia taloyhtiön ja lämpöpumppulaitteiston sähkön käyttöä. Mittaukset suoritettiin Fluke 1736-tehologgerilla. Mittaukset aloitettiin mittaamalla koko liittymän tehoprofiilia pääkeskuksen pääsulakkeilta seitsemän päivän ajan yhden minuutin otannalla. Tämän jälkeen mittari laitettiin yhdeksi päiväksi mittaamaan lämpöpumppua syöttävää ryhmäjohtoa yhden sekunnin otannalla. Viimeisenä mittauksena mitattiin lämpöpumppulaitteistoa syöttävää ryhmäkeskusta RK LP neljä päivää myös yhden sekunnin otannalla. Saatujen mittaustulosten tarkasteluun käytettiin Fluke Energy Analyze Plus-ohjelmistoa.

3.2 Kohde 102

Toisena tarkastelukohteena on kahdesta kerrostalosta koostuva taloyhtiö, jossa kaukolämpöjärjestelmä korvattiin maalämmön ja poistoilmalämmön hybridiratkaisulla vuonna 2018. Taloyhtiön rakennukset on rakennettu vuosina 1964–65. Yhtiössä on 25 asuinhuoneistoa, kaksi liikehuoneistoa, päiväkotia ja toimistohuoneisto kahdessa eri rakennuksessa. Rakennukset ovat 4- ja 5-kerroksisia. Lämmönjakotapana toimii vesikiertoinen patteriverkosto. Rakennuksilla on yhteinen lämmönjakohuone, taloyhtiön sauna ja autotalli, jossa on kahdeksan autopaikkaa. Taloyhtiöllä on myös 12 autolämmityspistorasiaa.

Lämpöpumppulaitteisto sijaitsee taloyhtiön yhteisessä lämmönjakohuoneessa, jossa lämpöä tuotetaan kahdella Gebwell Taurus 90kW maalämpöpumpulla (KUVA 7).



KUVA 7. Kohteen maalämpöpumput.

Maalämpöpumput tuottavat lämpöä lämmitysverkostoon ja käyttövesiverkostoon. Osa lämmitysverkoston vesivirrasta ohjataan läpivirtaussähkökattilan kautta, jolla

tuotetaan tarvittava lisälämmitysenergia. Sähkökattila on Värmebaronen EP42 E, jonka nimellisteho on 42 kW.



KUVA 8. Kohteen sähkökattila.

Huolto- ja vikatilanteessa käyttövärtä lämmitetään kahdella Värmebaronen 9 kW sähkövastuksella, jotka on varustettu omalla ohjausautomaatiikalla. LTO-yksikköjä on toisen talon katolla kolme ja toisen katolla yksi. Lämpöpumppujärjestelmän toimintaa mitataan ja säädetään Ouman Ouflex-rakennusautomaatiojärjestelmällä.

Ennen lämmitystapamuutosta taloyhtiön pääkeskuksen pääsulakkeet olivat 3x125 A. Maalämpölämmitykseen siirryttäessä pääsulakkeita korotettiin 3x250 ampeeriin. Pääsulakkeiden korotuksen takia vanha liittymäkaapeli vaihdettiin suuremmaksi. Vanhan pääkeskuksen nimellisvirta ei ollut tarpeeksi suuri uusille pääsulakkeille, joten sekin uusittiin. Vanha pää- ja kiinteistökeskus jätettiin toimintaan asentamalla nousukaapelit uudelta pääkeskukselta ja sen kiinteistöosalta. Maalämpölaitteistolle asennettiin oma ryhmäkeskus RK MLP, jonka pääsulakkeet ovat 3x160 A.



KUVA 9. Lämpöpumppulaitteistoa syöttävä ryhmäkeskus.

Lämmitystapamuutoksen yhteydessä kiinteistöön asennettiin loistehon kompensointilaitteisto. Loistehon kompensointi on toteutettu 38 kvar estokelaparistolla.

3.2.1 Mittaukset

Kohteen tehoprofilia tutkittiin Mertel MI2885 verkkoanalysaattorilla. Mittaukset aloitettiin asentamalla verkkoanalysaattori mittaamaan sähkönkulutusta pääkeskuksen pääsulakkeilta. Pääkeskus sijaitsee lämmönjakohuoneen sisällä olevassa varastohuoneessa. Verkkoanalysaattori asetettiin mittaamaan tehoprofilia kuuden päivän ajan 5 minuutin otannalla. Tämän mittauksen jälkeen analysaattori siirrettiin mittaamaan lämmönjakohuoneessa sijaitsevaa lämpöpumppulaitteistoa syöttävää ryhmäkeskusta neljäksi päiväksi 10 sekunnin otannalla. Ryhmäkeskuksen jälkeen mitattiin toista maalämpöpumppua neljän päivän ajan 10 sekun-

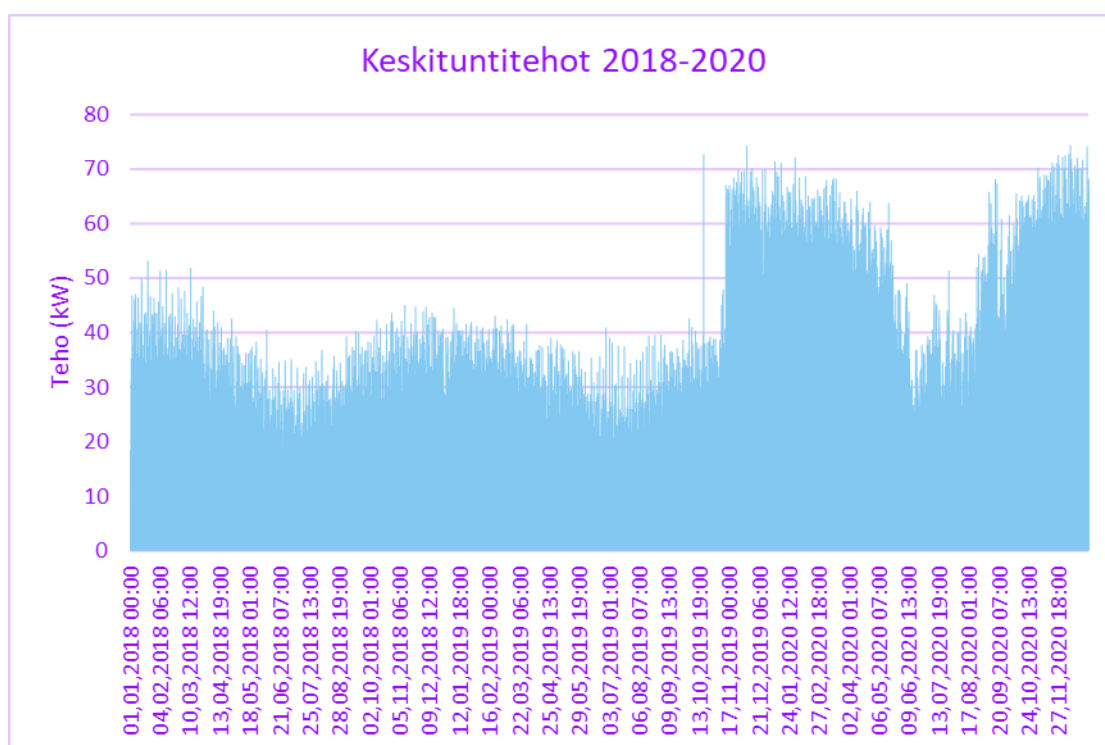
nin otannalla. Mittausten aikana sähkökattilan sähkönkulutusta ei päästy mittaamaan ulkolämpötilan ollessa niin lauhaa, ettei lisälämmitysenergiaa tarvittu. Verkoanalysointilaitteen tallentamia mittaustietoja tarkasteltiin Metrel Powerview3-ohjelmistolla.

4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO

4.1 Kohde 101

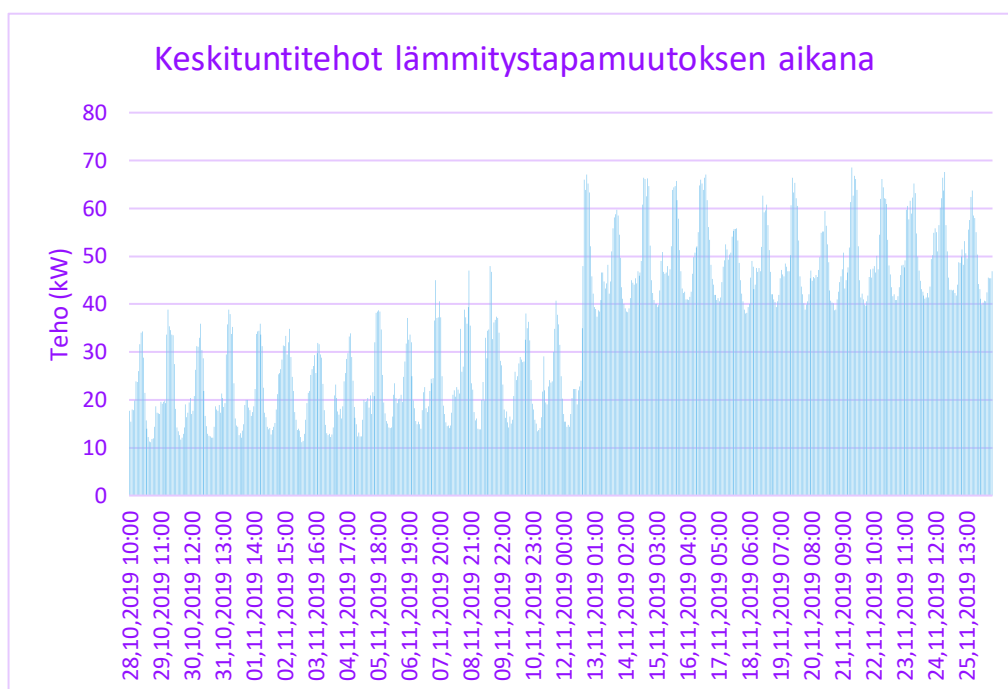
4.1.1 Tehoprofiili

Kohteen verkkoyhtiö toimitti koko liittymän mittaustiedot, jossa on mukana taloyhtiön kaikki verkkoyhtiön käyttöpaikat. Keskituntitehot vuosien 2018–2020 välillä on esitetty kuviossa 2.



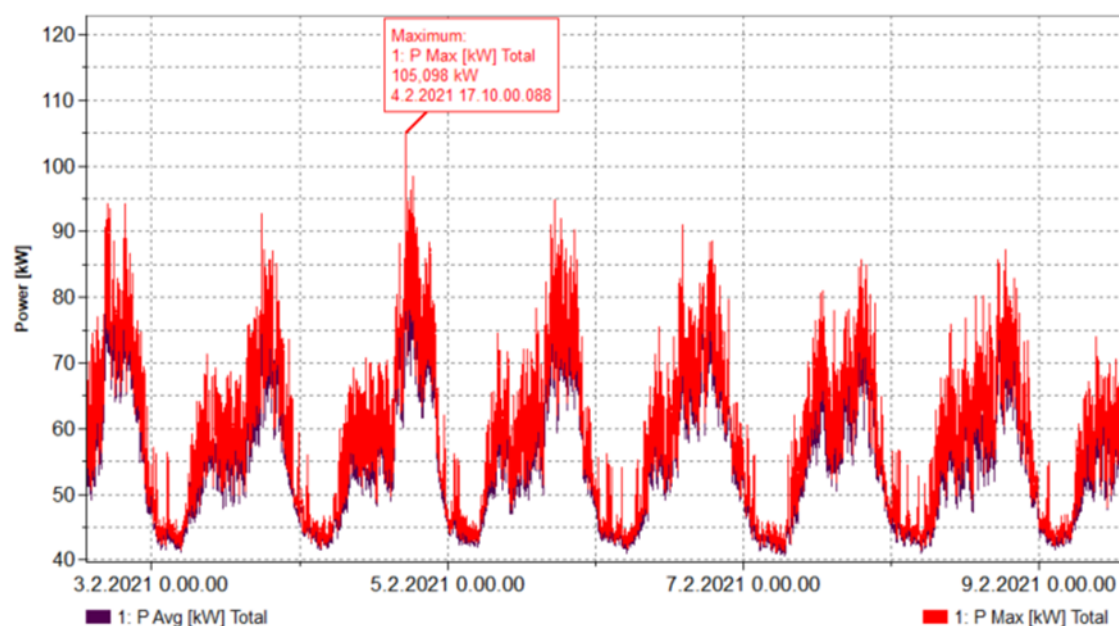
KUVIO 2. Verkkoyhtiön koko liittymän mittaustiedot vuosilta 2018–2020.

Tuntitehoissa voi huomata selvän nousun marraskuun puolessa välissä vuonna 2019, jolloin kaukolämmöstä siirryttiin MLP:n, PILP:n ja kaukolämmön hybridi-lämmitykseen. Kuvaajasta nähdään, että sähkönkulutus nousi huomattavasti, kun lämpöpumppujärjestelmä otettiin käyttöön. Kuviossa 3 on esitetty tarkemmin muutosta tehoprofiilissa lämmitystapamuutoksen aikana, noin kaksi viikkoa ennen ja noin kaksi viikkoa jälkeen. Kuvaajasta nähdään, että päivittäinen huipputehopiikki liki kaksinkertaistui.



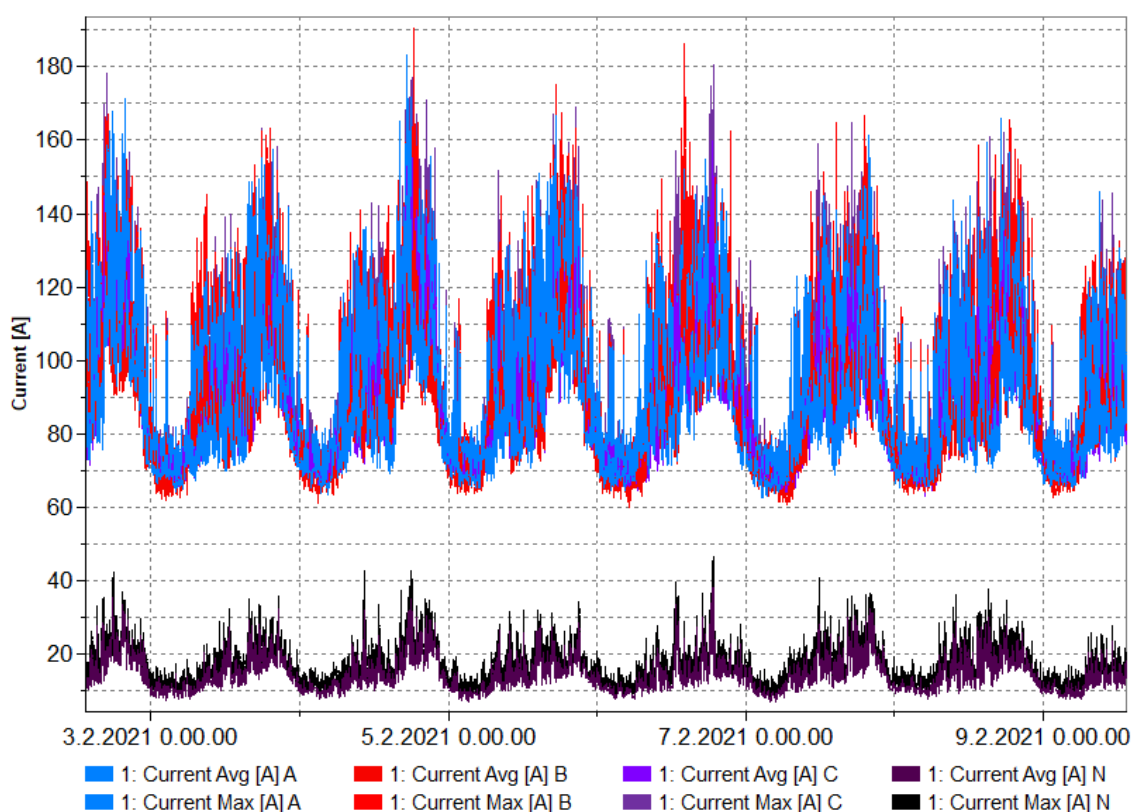
KUVIO 3. Tehoprofiilin muutos lämmitystavan muuttuessa.

Päivittäinen huipputehopiikki kuvatulla ajanjaksolla ennen lämmitystapamuutosta oli keskimäärin noin 38 kW ja muutoksen jälkeen se nousi keskimääräisesti yli 64 kilowattiin. Vuoden 2020 loppuun mennessä korkein mitattu tuntiteho oli 74,3 kW. Kuviossa 4 on esitetty liittymän tehon kulutusta minuutin mittausväliillä, jossa on korostettu hetkellinen huipputeho.



KUVIO 4. Liittymän tehoprofiili mittausjakson aikana.

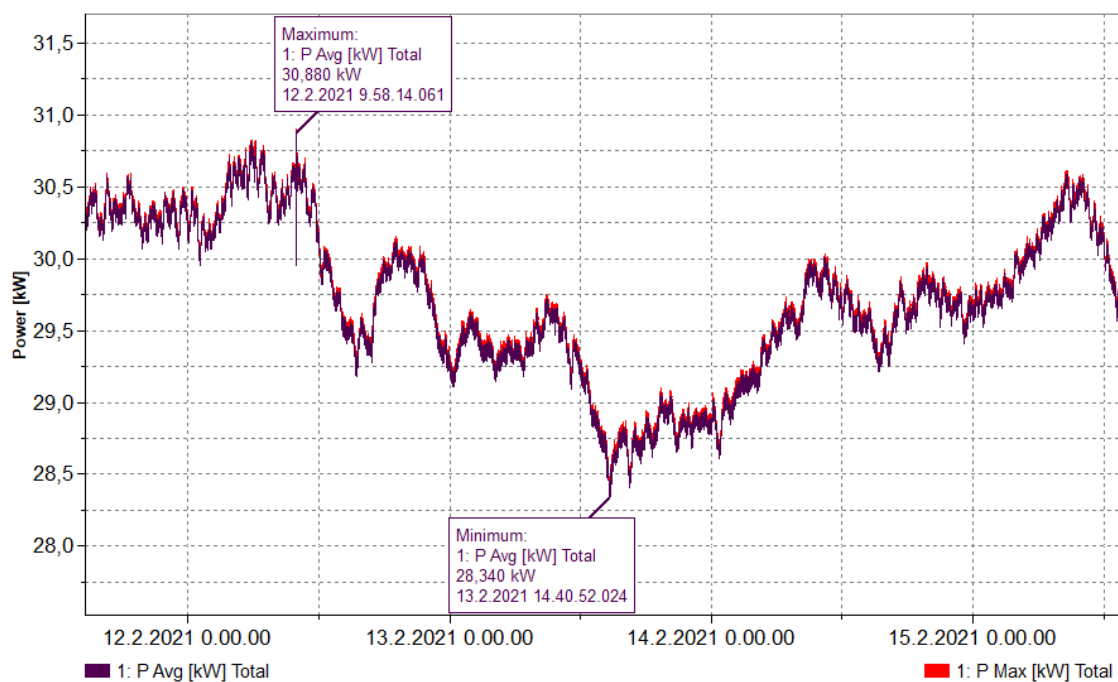
Liittymän tehoprofiilista nähdään, että päivittäinen huipputehopiikki ajoittuu iltapäivään noin klo 18.00 ja sähkönkulutus on alhaisimmillaan yöllä noin klo 02.00–08.00 välillä. Mittausajanjaksolla korkein mitattu teho oli n. 105,1 kW. Verkkoyhtiön mittaustiedoista nähdään, että huipputeho ajoittuu vuosittain helmikuuhun. Tämän perusteella voidaan olettaa, että mittauksen huipputeho on lähellä taloyhtiön vuosittaista huipputehoa. Alla olevassa kuviossa 5 on esitettyä liittymän vaiheiden virrat minuutin mittausvälillä.



KUVIO 5. Pääkeskuksen vaihevirit.

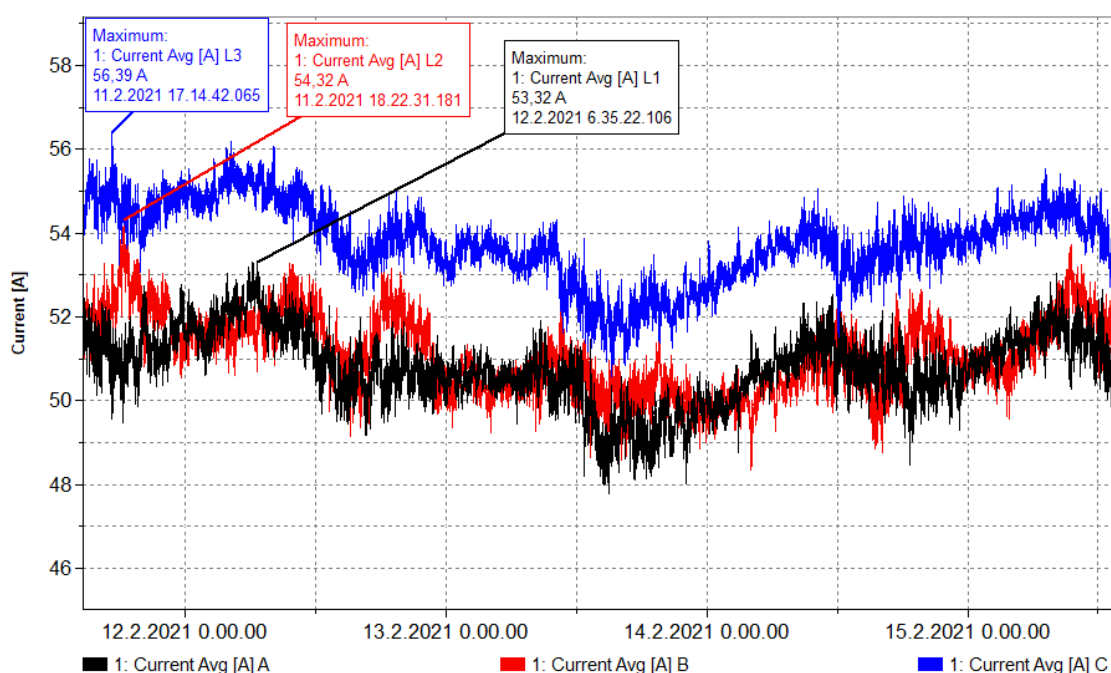
Pääsulakkeiden läpi kulki huippuhetkellä 183,4–190,8 A, jolloin pääsulakkeisiin jää 60 A kuormitusvaraa. Kuvioista 4 ja 5 nähdään, että päivittäiset huipputehopiikit ovat lyhyitä, noin kahden tunnin kestäviä.

Lämpöpumppulaitteistoa syöttävää ryhmäkeskusta mitattiin neljän päivän ajan yhden sekunnin otannalla. Alla esitettyssä kuviossa 6 on lämpöpumppulaitteistoa syöttävän ryhmäkeskuksen tehoprofiilista mittausjakson aikana.



KUVIO 6. RK LP:n tehoprofiili mittausjakson aikana.

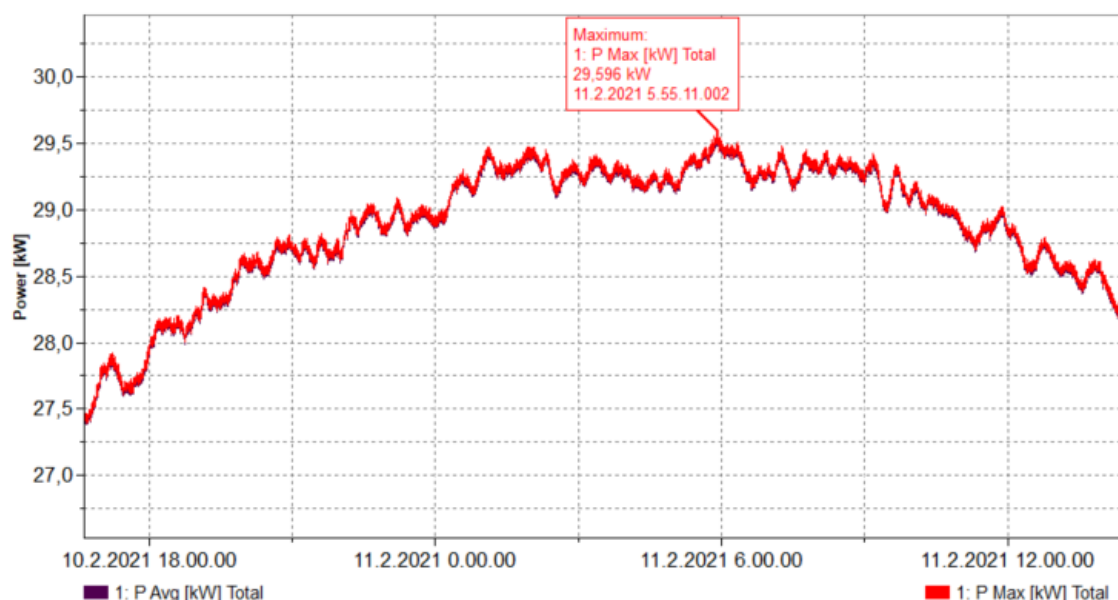
Mittausjakson aikana korkein mitattu teho oli 30,9 kW. Tehoprofiilista nähdään, ettei lämpöpumppulaitteiston tehonkäyttö ole yhtä tarkasti sidottu vuorokausirytmiiin kuin liittymän tehonkäyttö. Lämmitysjärjestelmän sähkönkulutus riippuukin rakennusten lämmitystarpeesta, eli kylmemmällä säällä lämmitysjärjestelmä vaatii enemmän sähköä. Kuviossa 7 on esitetty ryhmäkeskuksen virran käyttö yhden sekunnin mittausvälillä.



KUVIO 7. RK LP:n vaihevirrat.

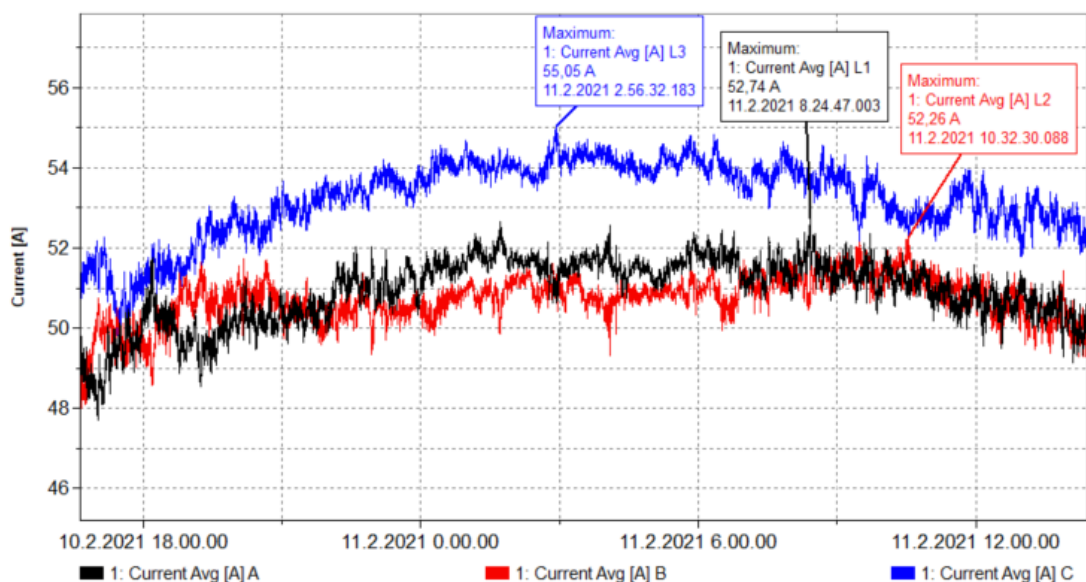
Vaiheessa L3 kulki suurin virta koko mittausjakson aikana, mutta tämä ero ei ole merkittävä. Tämä johtuu yksivaiheisten kiertovesipumppujen käytöstä. Ryhmäkeskuksen virtojen tasaisuuden perusteella lämpöpumpun kompressorit eivät pysähtyneet mittauksen aikana.

Lämpöpumpun ryhmäkaapelia mitattiin yhden päivän ajan yhden sekunnin otannalla. Lämpöpumpuna oli Gebwell Taurus 90 kW, jossa on kaksi päälle/poissäätöistä kompressoria. Kuviossa 8 on lämpöpumpun tehoprofiili yhden sekunnin mittausvälillä.



KUVIO 8. Lämpöpumpun tehoprofiili.

Mittausten aikana lämpöpumppu oli käynnissä molemmilla kompressoreilla koko ajan, jolloin ei saatu mittaustuloksiin pysähdyksen ja käynnistyksen vaikutusta. Lämpöpumpun käydessä molemmilla kompressoreilla lämpöpumpun ottama teho pysyi melko tasaisena n. 27,5 kW ja 30 kW välillä. Kuviossa 9 on esitetty lämpöpumppua syöttävän kaapelin vaihevirtojen käyttäytyminen yhden sekunnin mittausvälillä.



KUVIO 9. Lämpöpumpun syöttökaapelin vaihevirrat.

Kuvaajasta nähdään, että vaiheessa L3 kulkee selvästi suurempi virta kuin muissa, mutta erot ovat alle 4 A. Mittausten perusteella lämpöpumppuyksikkö ottaa 52–55 A virran käydessään molemmilla kompressoreilla.

4.1.2 Ohjattavat kuormat

Lämpöpumppulaitteistossa suurin tehonkuluttaja on lämpöpumppuyksikkö. Muita kuluttajia ovat LTO-yksiköt sekä yksivaiheiset kiertovesipumput. Potentiaalisiin kohde tehonhallinnalle laitteistosta on lämpöpumppuyksikkö. Lämpöpumpussa on kaksi kompressoria, joita voi säätää päälle/pois-tyyppisesti. Tällöin lämpöpumppua voidaan rajoittaa kolmessa portaassa: 0 % eli molemmilla kompressoreilla on käyntilupa, 50 %, jolloin toisen kompressorin käyttö estetään tai 100 %, jolloin molempien kompressoreiden käyttö estetään. Lämpöpumpulle voidaan antaa ulkoisella potentiaalivapaalla kosketintiedolla estoviesti kompressorien käynnistykselle, jolloin kompressorit lukittuvat. Lämpöpumppu palaa normaaliin toimintaan viestin poistuttua. Tätä ns. käyntilupatoimintoa käyttämällä voidaan rajoittaa kiinteistön tehopiikkejä, kun kiinteistössä on paljon yhtäaikaista sähkökuormaa. Tehonrajoitustilanteet lämpöpumpun kompressorien osalta eivät kuitenkaan voi olla ajallisesti pitkäkestoisia, ettei käyttöveden ja kiinteistön tilojen lämpötilat laskevat liikaa.

4.1.3 Tehonhallinnan potentiaali

Tällä hetkellä taloyhtiö ei voi tehonhallinnan avulla säästää sähkön siirtomaksuissa, koska kiinteistökeskuksen ja lämpöpumppulaitteistoa syöttävän ryhmäkeskuksen käyttöpaikkojen siirtomaksujen laskutus ei perustu pääsulakkeiden kokoon tai tehopohjaiseen hinnoitteluun. Tehonhallinnan estää tässä tapauksessa myös se, että tehonhallinnan näkökulmasta kiinteistön ohjattavat ja ei-ohjattavat laitteet sijaitsevat eri käyttöpaikkojen takana, joka estää huipputuntitehojen rajoittamisen.

Taloyhtiön autonlämmitystolppia voidaan sähköautojen yleistyessä ottaa latauskäyttöön. Tehoprofiilimittauksista nähtiin, että taloyhtiön huipputehoaikaan pääsulakkeita kuormitti n. 190 A virta, jolloin kuormitusvaraa jäi vielä 60 A. Tällöin yksittäisiä tolppia voidaan aluksi ottaa latauskäyttöön kiinteällä latausvirralla. Liittymän nimellisvirran tullessa vastaan taloyhtiön on joko suurennettava pääsulakekokoa tai siirryttävä älykkääseen lataukseen.

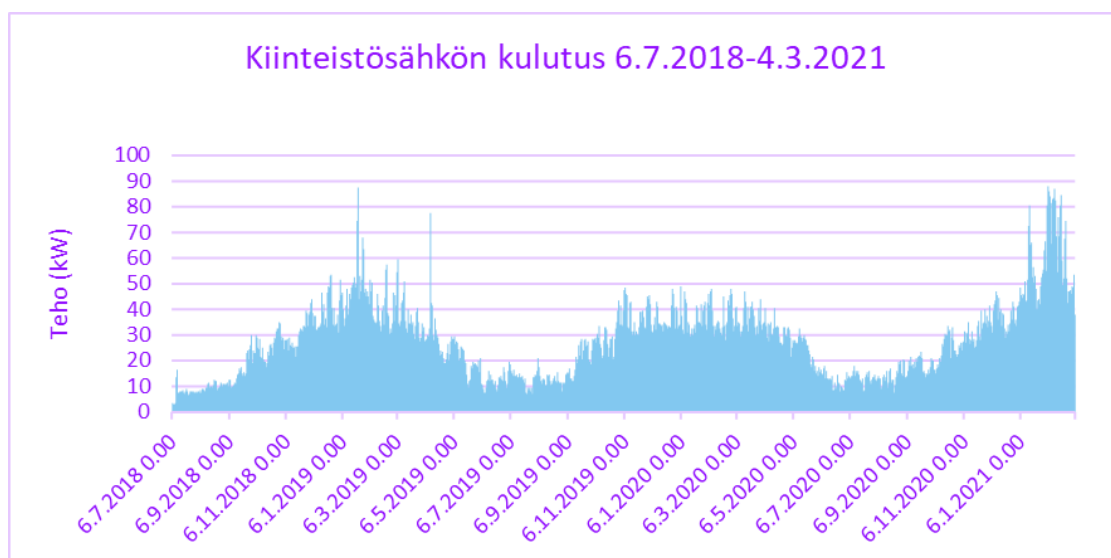
Liittymäluokkaa kasvatettaessa seuraavaan liittymäluokkaan (3x320 A) liittymän korotusmaksu olisi 3086 €. Tämän lisäksi liittymäkaapeli joudutaan vaihtamaan suuremmaksi, jonka takia tarvike- ja työkustannukset kasvavat huomattavasti. Taloyhtiön pääkeskuksen nimellisvirta ei riitä liittymän korottamiseen, jolloin sekin joudutaan uusiksi.

Pääsulakkeiden korotuksen välttämiseksi taloyhtiö voi siirtyä sähköautojen älykkääseen lataukseen. Älykäs lataus voidaan toteuttaa yksitasoisesti, jolloin latausjärjestelmälle annetaan maksimivirta jaettavaksi latauspisteiden kesken tai kaksitasoisesti, jolloin lisäksi mitataan reaaliajassa liittymän sähkötehoa ja mitoitetaan käytössä oleva kapasiteetti sen mukaan.

4.2 Kohde 102

4.2.1 Tehoprofiili

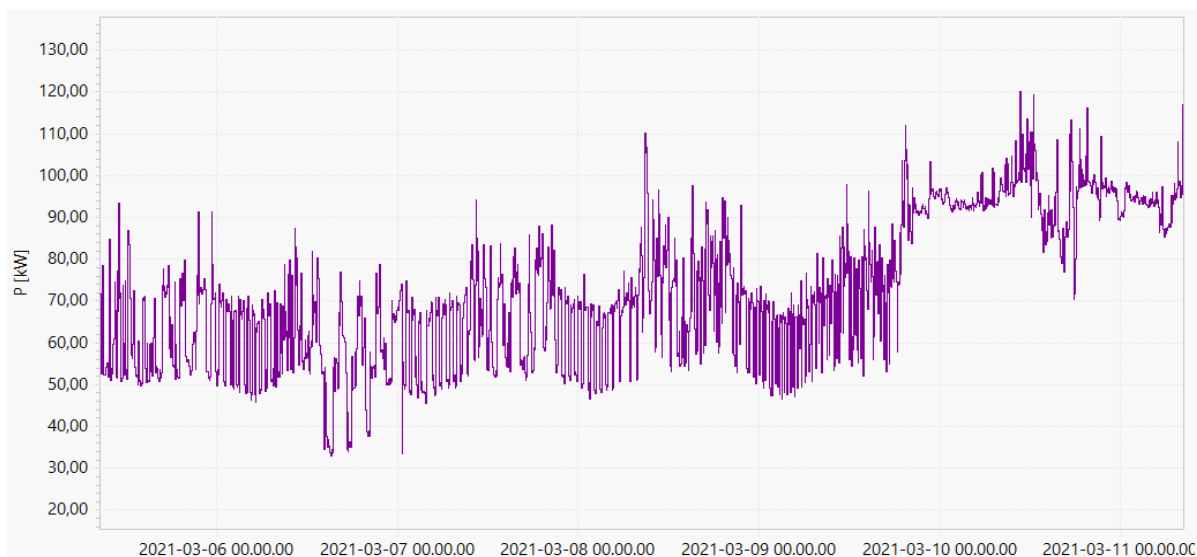
Kiinteistösähkön suurimmat kulutuspisteet ovat maalämpöpumput ja sähkökat-tila, joiden yhteenlaskettu nimellissähköteho on noin 100 kW. Lämpöpumppulait-teistoa syöttävän keskuksen sähkönkulutus riippuu ulkolämpötilasta, joka vaikut-taa rakennusten lämmitystarpeeseen. Verkkoyhtiön kiinteistösähkön mittaustie-doista kuviossa 10 nähdään, että korkeimmat tehopiikit ajoittuvat vuosittain tam-mikuun ja maaliskuun välille. Pääkeskuksen kiinteistöosan käyttöpaikan alla on vanha kiinteistökeskus, lämpöpumppulaitteisto ja loistehon kompensointi. Kiin-teistöosalla on 200 A pääsulakkeet.



KUVIO 10. Taloyhtiön kiinteistösähkön kulutus 6.7.2018-4.3.2021

Kiinteistösähkön kulutuksesta nähdään, että korkeimmat tehopiikit vuosien 2019 ja 2021 talvella nousevat yli 80 kilowattiin, kun tavanomaiset tehopiikit ovat 50 kW tasolla.

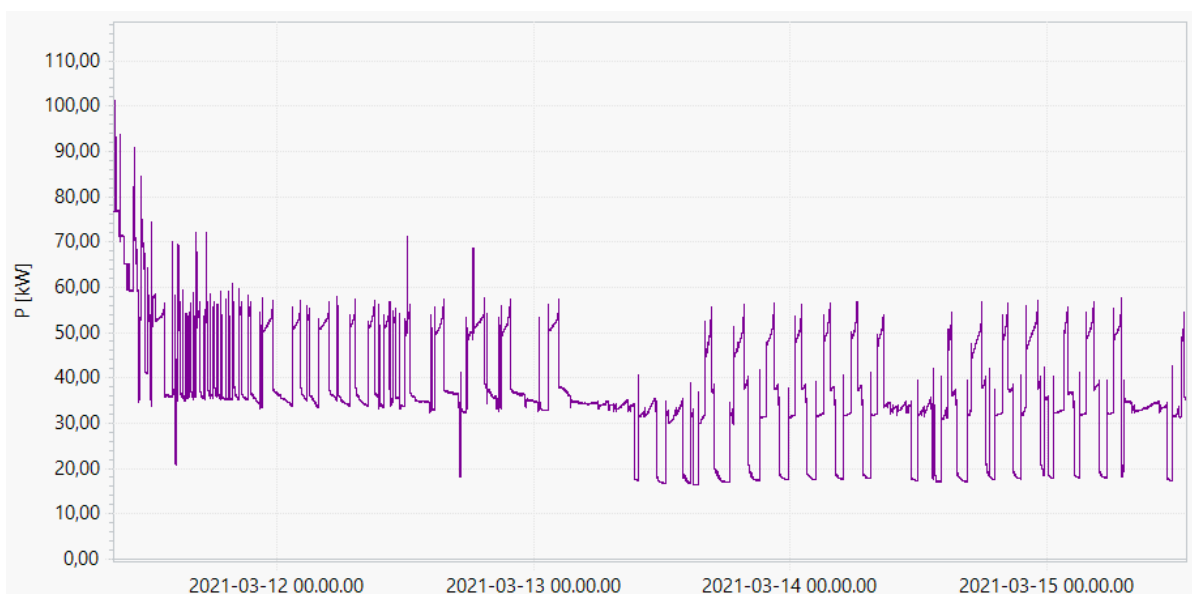
Kuviossa 11 on esitetty pääkeskuksen tehoprofiili viiden minuutin mittausväliillä. Mittaus suoritettiin pääkeskuksen pääsulakkeilta, jolloin mittaukseen vaikutti kiin-teistöelektrisyyskäyttö sekä asuntokohtaiset kulutukset.



KUVIO 11. Pääkeskuksen tehoprofiili 5.3.2021-11.3.2021.

Pääkeskuksella huipputeho nousi mittausjakson aikana n. 120 kilowattiin. Huipputehohetkinä keskuksen pääsulakkeita kuormitti n. 190–200 ampeerin virta vaihetta kohti. Tehoprofiilista nähdään, ettei tarkastelujakson aikana kellonajalla ole juurikaan merkitystä pääkeskuksen tehopiikeissä. 10.3.–11.3. aikana oleva tasaisuus tehoprofiilissa, johtunee suuresta lämmöntarpeesta. Tällöin molemmat lämpöpumput ja sähkökattila ovat olleet käytössä.

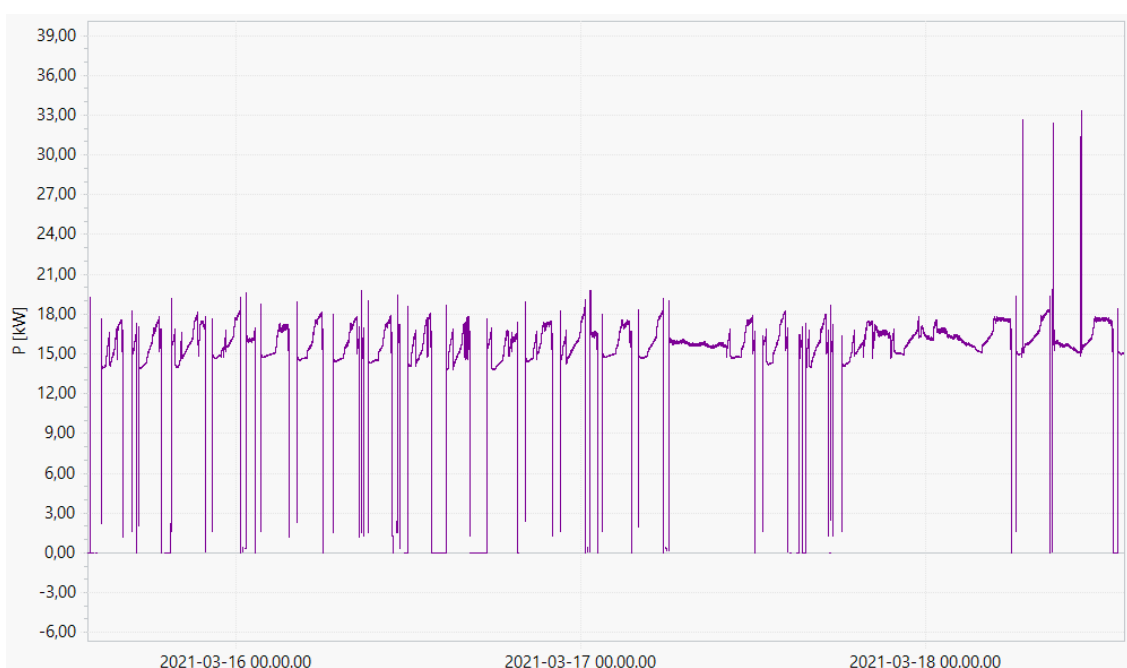
Lämpöpumppulaitteiston mitattu tehoprofiili 10 sekunnin mittausvälillä on esitettyä kuviossa 12. Lämpöpumppulaitteistoa syöttävän ryhmäkeskuksen suurimmat kulutuslaitteet ovat kaksi maalämpöpumppuyksikköä ja sähkökattila.



KUVIO 12. RK MLP:n tehoprofiili.

Tarkastelujakson alussa oleva korkea tehopiikki johtuu siitä, että lämpöpumppujen lisäksi sähkökattila oli käytössä. Kuvaajasta nähdään, kun lämmitystarve vähenee, niin automaatiojärjestelmä alkaa pudottamaan sähkökattilan tehoa 6 kW portaissa. Tämän jälkeen kuvaajasta on nähtävissä lämpöpumppujen kompressorien käynnistymistä ja pysähtymistä.

Maalämpöpumppuyksikön tehoprofiili 10 sekunnin mittausvälillä on esitetty kuviossa 13. Tarkastelujakson aikana lämpöpumppuyksikkö kävi pääsääntöisesti vain toisella kompressorilla.



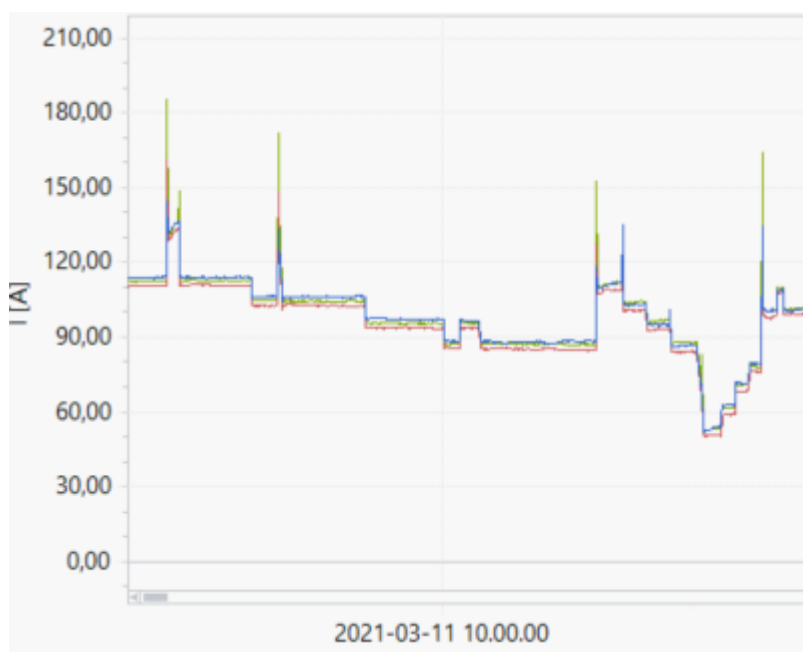
KUVIO 13. Maalämpöpumppu 1. tehoprofiili.

Lämpöpumpun käydessä vain toisella kompressorilla sen ottama pätöteho on n. 15–18 kW. Mittausjakson aikana lämpöpumppu käytti hetkellisesti molempia kompressoreita noin neljän minuutin jaksoissa. Kyseisillä hetkillä lämpöpumpun ottama pätöteho oli 31–33 kW.

4.2.2 Ohjattavat kuormat

Taloyhtiön potentiaalisiin ohjattava kuorma on lämpöpumppulaitteisto. Kohteessa on käyttövedelle lämminvesivaraaja, joka mahdollistaa lämmityksen tehotarpeen

siirtämistä. Kohteen huipputehohetki muodostuu silloin, kun sähkökattilaa tarvitaan tuottamaan lisälämmitysenergiaa. Lämpöpumppulaitteistoa syöttävän ryhmäkeskuksen mittaustuloksista nähdään sähkökattilan tehoportaiden säätö. Kun sähkökattilan tehoporrasta pienennetään tai suurennetaan, niin virran jakauma pysyy tasaisena. Tästä voidaan päätellä, että sähkökattila kuormittaa vaiheita tasaisesti eri tehoportailla. Kuvassa 10 nähdään sähkökattilan tehoportaiden säätö.



KUVA 10. Sähkökattilan tehoportaat.

Kattilan tehoa voidaan ohjata ulkoisella 0-10V signaalilla, mikä vastaa 0–100 % asennetusta tehosta. Kattilassa on sisäinen kuormitusvahti, joka mittaa virtamuuntajien avulla pääsulakkeiden kuormitusta. Virran kasvaessa liian suureksi kattilan oma automatiikka rajoittaa sen ottamaa tehoa. Kattilaa voidaan ohjata myös ulkoisella potentiaalivapaalla koskettimella, jolla estetään kattilan käyttö kokonaan (Värmebaronen AB, 2001).

Kohteen lämpöpumput ovat samanlaisia lämpöpumppuja kuten ensimmäisessä tarkastelukohteessa. Molempien lämpöpumppujen kompressoreita voidaan ohjata ulkoisella potentiaalivapaalla kosketintiedolla. Kuvasta 11 nähdään, että lämpöpumpun kompressorit kuormittavat melko tasaisesti kaikkia vaiheita.



KUVA 11. Lämpöpumpun virran jakauma.

4.2.3 Tehonhallinnan potentiaali

Taloyhtiön jakeluverkkoyhtiö laskuttaa tehomaksua yli 160 ampeerin käyttöpaikoista. Taulukossa 1 on esitetty verkkoyhtiön tehomaksun laskutusperusteet.

TAULUKKO 1. Tehomaksun laskutusperusteet (Forssan Verkkopalvelut n.d.).

Pienjännitetehosiirto	Alv 0 %	Alv 24 %
Perusmaksu €/kk	50,44	62,54
Tehomaksu €/kW, kk	2,77	3,44
Loistehomaksu, otto €/kvar, kk	4,18	5,18
Loistehomaksu, anto €/kvar, kk	6,05	7,50

Tehomaksun laskutusperuste on viimeisen 12 kuukauden aikana mitatun kahden suurimman kuukausikohtaisen tuntitehon keskiarvo. Loistehomaksun laskutusperusteena on kuukausittainen loistehohuippu, josta on vähennetty 20 % saman kuukauden pätötehohuipun määrästä (Forssan Verkkopalvelut n.d.). Taulukossa 2 on esitetty kiinteistöosan käyttöpaikan kuukausittaiset tehomaksut tammikuusta 2019 tammikuuhun 2020. Verkkoyhtiön ilmoittamista keskituntitehoista selviää, että suurin 12 kuukauden aikana mitatun kahden suurimman kuukausituntitehon

keskiarvo 84,25 kW. Tällöin tehomaksun suuruus on ollut 233,37 € kuukaudessa. Tämän lisäksi siirtomaksuun kuuluu perusmaksu ja loistehomaksu.

TAULUKKO 2. Tehomaksut tammikuu 2019-tammikuu 2020.

	Kuukauden huipputuntiteho (kW)	Viimeisen 12 kk:n kahden suurimman kuukausikohtaisen tuntitehon keskiarvo (kW)	Tehomaksu (€)
tammi.19	87,5		
helmi.19	57,5	70,5	195,29
maalis.19	59,5	72,5	200,83
huhti.19	77,5	73,5	203,60
touko.19	29,5	82,5	228,53
kesä.19	21	82,5	228,53
heinä.19	19,5	82,5	228,53
elo.19	21	82,5	228,53
syys.19	28,5	82,5	228,53
loka.19	43,5	82,5	228,53
marras.19	48,5	82,5	228,53
joulu.19	48	82,5	228,53
tammi.20	49	82,5	228,53
Yhteensä			2656,43

Yllä olevasta taulukosta nähdään, että tammi- ja huhtikuussa mitattiin suuret huipputehot. Ellei suurempia huipputuntitehoja ilmene seuraavan 12 kuukauden aikana, nämä huipputeholukemat perustavat tehomaksujen suuruudet seuraavan vuoden helmikuuhun asti.

Kohteen suurimmat tehopiikit ilmenevät lämpötilan laskiessa, jolloin sähkötehon tarve kasvaa. Tällöin tehopiikin aiheuttaa lämpöpumppujärjestelmien laitteiden sekä muiden suuritehoisten laitteiden, kuten kiukaan, pesutuvan laitteiden ja autolämmityspistorasioiden, samanaikainen käyttö. Huipputehohetkinä huipputehoa saadaan leikattua rajoittamalla sähkökattilan ja lämpöpumppujen kompressorien käyttöä. Näistä sähkökattila on potentiaalisempi vaihtoehto, koska sen

sähköenergiankulutus on suhteessa suurempi kuin lämpöpumppuyksiköiden. Sen tehoa voidaan ohjata portaittain toisin kuin lämpöpumppujen kompresso-reita, joita voidaan ohjata joko päälle tai pois. Edellä mainittuja laitteita ei kannata pakottaa pois päältä vaan säätää laitteiden tehoa portaittain tarpeeksi pienelle teholle, ettei käyttäjälle aiheudu tästä huomattavissa olevaa haittaa.

Yksinkertaisin tapa rajoittaa huipputehoa olisi käyttää hyödyksi sähkökattilan sisäistä kuormitusvahtia. Tämä ominaisuus on suunniteltu suojaamaan pääsulakkeita ylikuormitukselta, eikä niinkään huipputehon pienentämiseen, jolloin tarvitaan monipuolisempaa ohjausta tehojen hallintaa varten.

Tehopohjaiseen verkkopalvelumaksuun perustuva tehonhallinta voidaan toteuttaa tehonhallintajärjestelmällä. Tällöin järjestelmä rajoittaa automaattisesti joustavien kuormien tehoa, kun kiinteistössä on paljon ei-ohjattavaa kuormaa. Ei-ohjattavan kuorman muodostavat pesutuvan laitteet, kiuas ja autolämmityspistorasiat. Järjestelmä seuraa käyttöpaikan kokonaistehoa sekä laitekohtaista tehoa energian takamittauksilla. Kun teho ylittää asetetun rajan, järjestelmä ottaa tehonrajoitustilan käyttöön. Tehonhallintajärjestelmän järjestelmäkaavio on esitetty liitteessä 1.

Tehonrajoitustilassa järjestelmä rajoittaa ensisijaisesti lisälämmityslähteenä olevaa sähkökattilaa. Mikäli tehoa tarvitsee rajoittaa enemmän, voi järjestelmä antaa käynnistyksen estoviestin lämpöpumppujen kompressoreille. Järjestelmä pyrkii estämään yhden kompressorin käyttöä kerrallaan ja enintään kahden tunnin ajan. Tämän jälkeen kyseiselle kompressorille annetaan käyntilupa ja toisen kompressorin käyttö estetään.

Tehonhallintajärjestelmä tarkkailee kokonais- sekä laitekohtaista kulutusta energiamittareilta Modbus-tiedonsiirtoväylän kautta. Tehonrajoitustilanteessa se välittää analogisen säätöviestin rakennusautomaatiolle, joka säätää viestillä osoitettua laitetta viestin mukaisesti. Säätöviesti välitetään rakennusautomaatiojärjestelmälle 0–10 Vdc jänniteohjauksena ja rakennusautomaatiojärjestelmä ohjaa laitteita Modbus-väylän kautta.

Sähkökatkon jälkeen järjestelmä ohjaa sähkönsyötön palautuessa suuritehoiset laitteet päälle niiden kriittisyyden mukaan. Ensisijaisena ovat laitteet, jotka vastaavat tilojen ja käyttöveden lämmityksestä. Järjestelmä sallii pesutuvan laitteiden, sähkökiukaan ja autolämmityspistorasioiden käytön aikaisintaan kahden tunnin kuluttua sähkönsyötön palaututtua. Näiden laitteiden esto tapahtuu kontaktorihjauksella. Kun tilojen ja käyttöveden lämpötilat ovat palanneet asetusarvoihin, järjestelmä palaa normaalitilaan. Tällä järjestelyllä vältetään suurelta tehopiikiltä, josta verkkoyhtiö laskuttaisi seuraavan 12 kuukauden ajan.

Tehoa rajoittaessa järjestelmä ei salli asuntojen ja käyttöveden lämpötilojen laskevan alle rakennusautomaatiojärjestelmään asetettujen raja-arvojen. Tarvittaessa huoltohenkilökunta voi estää tehonrajoituksen manuaalisesti.

Ei-ohjattavien laitteiden käyttöastetta huipputehoaikaan ei tiedetä tarkasti, jolloin tehomaksuissa saatavia säästöjä arvioidaan taulukon 2 pohjalta. Taulukossa 3 on esitetty säästöt, jotka saadaan pienentämällä tammi- ja huhtikuun huipputuntitehopiikkejä 10 %. Rajoitettavat huipputuntitehot on merkitty punaisella, joiden perusteella on laskettu säästöt tehomaksuissa. Rajoittamalla tammi- ja huhtikuun huipputehopiikkejä 10 %, säästöjä olisi saatu helmikuusta 2019 12 kuukautta eteenpäin yhteensä 242,03 €.

TAULUKKO 3. Tehomaksut, kun korkeimpia huipputuntitehoja pienennetään 10 %.

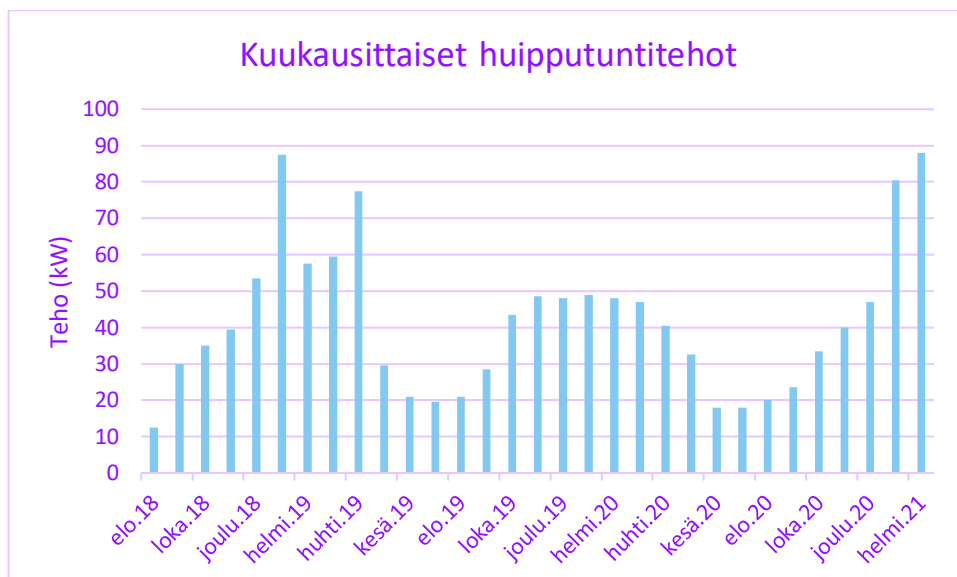
	Kuukauden huipputuntiteho (kW)	Viimeisen 12 kk:n kahden suurimman kuukausikohtaisen tuntitehon keskiarvo (kW)	Tehomaksu (€)
tammi.19	78,75		
helmi.19	57,5	66,13	183,17
maalis.19	59,5	68,13	188,71
huhti.19	69,75	69,13	191,48
touko.19	29,5	74,25	205,67
kesä.19	21	74,25	205,67
heinä.19	19,5	74,25	205,67
elo.19	21	74,25	205,67
syys.19	28,5	74,25	205,67
loka.19	43,5	74,25	205,67
marras.19	48,5	74,25	205,67
joulu.19	48	74,25	205,67
tammi.20	49	74,25	205,67
Yhteensä			2414,40
Säästö			242,03

Taulukossa 4 on esitetty säästöt, jotka saadaan pienentämällä tammi- ja huhtikuun huipputuntitehopiikkejä 20 %. Säästöjä olisi saatu seuraavan 12 kuukauden ajalta yhteensä 484,06 €.

TAULUKKO 4. Tehomaksut, kun korkeimpia huipputuntitehoja pienennetään 20 %.

	Kuukauden huipputuntiteho (kW)	Viimeisen 12 kk:n kahden suurimman kuukausikohtaisen tuntitehon keskiarvo (kW)	Tehomaksu (€)
tammi.19	70		
helmi.19	57,5	61,75	171,05
maalis.19	59,5	63,75	176,59
huhti.19	62	64,75	179,36
touko.19	29,5	66	182,82
kesä.19	21	66	182,82
heinä.19	19,5	66	182,82
elo.19	21	66	182,82
syys.19	28,5	66	182,82
loka.19	43,5	66	182,82
marras.19	48,5	66	182,82
joulu.19	48	66	182,82
tammi.20	49	66	182,82
Yhteensä			2172,37
Säästö			484,06

Tammi- ja huhtikuun 2019 huipputuntitehojen rajoittamisella 10 % olisi säästöjä saatu 242 € ja 20 % rajoituksella 484 €. Kuviosta 14 nähdään, että korkeita huipputehopiikkejä ei tule säännöllisesti tai välttämättä ollenkaan.



KUVIO 14. Taloyhtiön kiinteistösähkön huipputuntehot kuukausittain.

Esimerkiksi alkuvuosi 2020 oli leuto, jolloin lämmitystarve ja näin ollen sähköteho- hontarve pysyi maltillisena. Tämän takia tulevaisuuden säästöjä tehomaksuissa ja tehonhallintajärjestelmän investoinnin kannattavuutta on hyvin vaikea arvioida. Jos taloyhtiö investoisi nyt tehonhallintajärjestelmän ja tulevat kolme talvea olisi- vat yhtä leutoja kuten vuonna 2020, säästöjä ei syntyisi moneen vuoteen.

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Lämpöpumppulaitteiston asentaminen lisää yleensä merkittävästi kiinteistön sähkötehon tarvetta, jolloin kiinteistön sähkölaitteistoihin joudutaan tekemään muutoksia. Näitä muutoksia ovat esimerkiksi sähköliittymän korotus, liittymiskaapelin vaihtaminen suuremmaksi ja pääkeskuksen uusiminen, jos pääkeskuksen nimellisvirta ei riittävä uudelle pääsulakekoolle. Yleensä kiinteistökeskukselle asennetaan uusi alakeskus, jolla syötetään lämpöpumppulaitteistoa.

Työn tavoitteena oli selvittää millä ohjattavilla laitteilla voidaan optimoida taloyhtiön sähkötehon tarve lämpöpumppulämmitykseen siirryttäessä ja siitä syntyviä taloudellisia hyötyjä. Tarkastelussa oli kaksi taloyhtiötä. Ensimmäisessä taloyhtiössä siirryttiin kaukolämmön sekä maa- ja poistoilmalämmön hybridilämmitykseen. Toisessa taloyhtiössä kaukolämpöjärjestelmä korvattiin kokonaan maalämmön ja poistoilmalämmön hybridiratkaisulla. Tämän jälkeen tarkasteltiin, mitä ohjattavia kuormia kohteista löytyy ja niiden ohjausmahdollisuuksia. Lopuksi arvioitiin tehonhallinnan avulla syntyviä taloudellisia hyötyjä.

Työssä tehdyissä tehoprofiilianalyyseistä nähdään, että lämpöpumppulämmitteisissä taloyhtiöissä huipputeho ajoittuu talven kylmimpiin ajanjaksoihin, tyypillisesti helmikuuhun, kun lämmitystarve on suurimmillaan. Tämä tulos on linjassa teoriaosuudessa tutkitun tiedon kanssa. Lämpöpumppulämmitteisessä kiinteistössä lisälämmityslaitteina käytetyt sähkökattilat ja -vastukset aiheuttavat suuret tehopiikit.

Tehonhallinnan kannalta potentiaalisia ohjattavia laitteita lämpöpumppulaitteistossa ovat lämpöpumppuyksiköt ja lisälämmityslähteenä käytetyt sähkökattilat ja -vastukset. Lämminvesivaraajalla on mahdollista varastoida lämpöä ja siirtää lämmitysajankohtaa, jolloin huipputehoaikaan voidaan rajoittaa tai estää sähkökattilan tai -vastuksien käytön hetkellisesti ilman, että käyttäjille tulee haittaa. Sähköautojen yleistyessä niiden latauskentät luovat taloyhtiöille uuden joustavan kuorman.

Lämpöpumppujen kompressoreita voidaan ohjata käyntilupatoiminnolla päälle/pois-tyyppisesti Modbus-protokollan avulla tai tuomalla lämpöpumpulle ulkoinen kosketintieto. Sähkökattilan tehoa voidaan säätää ulkoisella 0-10V signaalilla tai kattilan sisäisen kuormitusvahdin avulla, joka edellyttää virtamuuntajien asennusta haluttuun mittauspisteeseen. Kattilan käyttö voidaan myös estää ulkoisella potentiaalivapaalla kosketintiedolla. Tehonhallinnan kannalta sähkökattila on merkittävämpi, koska sen sähkönkulutus on suhteessa lämpöpumppuihin suurempi ja sitä voidaan säätää portaittain.

Tehonhallinta tulisi nähdä koko kiinteistön sähkönkäyttöä koskevana asiana. Jos erilliset laitteet ohjaavat sähkötehojaan omilla ohjausjärjestelmillä, voidaan joutua tilanteeseen, jossa toinen laite tiputtaa tehojaan, jolloin toinen tulkitsee sen, niin että voi lisätä tehoja. Näin ollen useiden ohjattavien kuormien kokonaisuuksia tulisi ohjata keskitetysti.

Sähköliittymän liittymismaksut määräytyvät liittymän pääsulakkeiden mukaan. Lämpöpumppujärjestelmän hankinta voi johtaa tilanteeseen, jossa joudutaan valitsemaan kahden liittymäkokovaihtoehdon väliltä suurempi vain pienen lämpöpumppulaitteiston aiheuttaman ylikuormituksen vuoksi. Taloyhtiötason sähköliittymissä liittymän korottaminen voi lisätä kustannuksia muutamasta tuhannesta kymmeneen tuhansiin euroihin. Tehonhallinnan avulla voidaan valita näissä tapauksissa pienempi liittymävaihtoehto.

Toinen tässä työssä tarkasteltu säästöpotentiaali on verkkoyhtiön siirtomaksuun sisällytyssä tehomaksussa. Monet verkkoyhtiöt laskuttavat tehomaksua viimeisen 12 kuukauden aikana mitattujen huipputuntehojen perusteella. Tämän hinnoittelumallin mukaan lämpöpumppulämmitteisissä taloyhtiöissä talvisin esiintyvä huipputehopiikki vaikuttaa tehomaksuihin seuraavan vuoden ajan. Näissä tapauksissa tehonhallinnan kannattavuutta on vaikea arvioida huipputehopiikkien ennalta-arvaamattomuudesta johtuen. Leutona talvena ei välttämättä suuria huipputehoja synny ja tehonhallinnalla suunnitellut säästöt jäävät saavuttamatta. Mikäli toisen tarkastelukohteen huipputuntehopiikkejä pystyttäisiin rajoittamaan 10–20 % ilman, että se vaikuttaa olennaisesti olosuhteisiin tai käyttömukavuuteen.

teen, saataisiin vuodessa satojen eurojen säästö. Tulevaisuudessa tehomaksujen osuus siirtomaksuissa tulee todennäköisesti nousemaan, jolloin tehonhallinnasta tulee taloudellisesti kannattavampaa.

Tässä työssä käsiteltiin tehonhallinnalla saavutettavia taloudellisia hyötyjä, mutta ei otettu kantaa tehonhallinnan kannattavuuteen. Jatkotutkimuksena voitaisiin tutkia eri tehonhallinnan toteutustapojen kannattavuutta tässä työssä käsiteltyjen taloudellisten motiivien osalta.

LÄHTEET

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. 2019. Energia-avustus. Luettu 9.3.2021. https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus

Caruna Oy. 2020. Liittymismaksuhinnasto. Luettu 2.3.2021. https://caruna-cms-prod.s3-eu-west-1.amazonaws.com/liittymismaksuhinnasto_caruna_oy_1.12.2020.pdf?QuDs6k2ekALL2kC_7632U2FsO9X8IsZj

Elenia. 2021. Verkkopalveluhinnasto, sulakepohjaiset verkkopalvelutuotteet. Verkkojulkaisu. Julkaistu 1.1.2021. Luettu 24.4.2021. <https://www.elenia.fi/files/6139106ff40ec0193ede522108ca33c7c1a6e3f1/elenia-sulake-hinnasto-2021-a5-fin-v1.pdf>

Falkman, A. 2018. Kuormanhallinnan toteutus sähköautojen älykkäissä latausjärjestelmissä. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158518/Diplomity%C3%B6%20Aarni%20Falkman.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fingrid Oyj. 2020. Kantaverkkoyhtiöiden uusi ehdotus varttitaseen käyttöön otolle on 22.05.2023. Verkkosivu. Luettu 27.3.2021 <https://www.fingrid.fi/sivut/ajankohtaista/tiedotteet/2020/kantaverkkoyhtioiden-uusi-ehdotus-varttitaseen-kayttoonotolle-on-22.5.2023/>

Forssan Verkkopalvelut Oy. n.d. Forssan Verkkopalvelut Oy:n siirtohinnasto 1.1.2020 alkaen. Verkkosivu. Luettu 29.3.2021. <https://www.fvp.fi/hinnastot/siirtohinasto/>

Harala, S. 2018. Lämpöpumppujen tehonohjaus mahdollisuudet. Talotekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804295866>

Harjunpää, S. 2020. Sähköautojen latauksen dynaaminen kuormanhallinta taloyhtiössä. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020051611789>

Harsia, P., Järventausta, P., Hilden, A., Kallioharju, A., Kortetmäki, A., Koskela, J., Mutanen, A., Rautiainen, A., Supponen, A., Uusitalo, S., Heijo, J. 2019. SÄTE-opas. Sähkötehojen hallinta osana rakennuksen energiatehokkuutta. Luettu 14.2.2021. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020081460538>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSU. 2021. Asukkaan arjen energiankulutus. Luettu 25.2.2021. <https://energianeuvonta.fi/asukkaalle/>

Hyttinen, T. 2020. Rakennuksen sähköliittymän optimaalinen määrittäminen. Älykkäiden rakennusten teknologiat ja palvelut. Aalto yliopisto. Diplomityö. https://aaltoodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/97565/master_Hyttinen_Tino_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Isometsä, M. 2019. Kuluttajan mahdollisuudet kysyntäjousto. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201905098620>

Manner, M. 2017. Lämpöpumppujärjestelmien sähköasennukset. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017052910886>

Motiva Oy. 2019. Lämpöpumpun hankinta taloyhtiöön. Verkkosivu. Päivitetty 29.8.2019. Luettu 24.2.2021. https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankintaopas_kunnat_ja_taloyhtiot.pdf

Motiva Oy. 2021. Kiinteistösähkönkulutus. Verkkosivu. Päivitetty 16.2.2021. Luettu 19.2.2021. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeks-perttitoiminta/tietoa_energian- ja_vedenkulutuksesta/kiinteistosahkonkulutus

Perkola, L. 2020. Akuston hyödyntäminen rakennusten sähkötehoaiheiden leikkaamisessa. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202005067592>

Rossi, K. 2018. Kustannusvastaavan sähkön siirtohinnoittelun kehittäminen. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158471/Diplomity%C3%B6_Rossi_Katariina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Salminen, S. 2018. Sähkökeskuksen suunnitteluohje. Sähkötekniikan diplominsinöörin tutkinto-ohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201808312247>

Suomen tilastokeskus. 2020. Suomen virallinen tilasto (SVT): Asumisen energiankulutus. Liitekuviot 2. Asumisen energiakulutus käyttökohteittain vuonna 2019. Verkkajulkaisu. Helsinki: Tilastokeskus. Päivitetty 19.11.2020. Luettu 25.2.2021. http://www.stat.fi/til/asen/2019/asen_2019_2020-11-19_kuv_002_fi.html

Sähkötieto ry. 2020. ST-kortti 13.31. Rakennusten ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähkötieto ry. 2021. ST-esimerkit 12. Keinoja sähkötehoaiheiden hallintaan asuinkiinteistössä. Espoo: Sähköinfo Oy.

Tampereen sähköverkko Oy. 2017a. Verkkopalveluhinnasto. Verkkajulkaisu. Julkaistu 1.10.2017. Luettu 4.3.2021. https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkoverkko/hinnastot-ja-sopimusehdot/2017-10-01---verkkopalveluhinnasto---kaikki-tuotteet_paivitys-2020-12-31.pdf

Tampereen sähköverkko Oy. 2017b. Sähköverkkotoimintaan liittyvä palveluhinnasto. Verkkajulkaisu. Luettu 24.4.2021. https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkoverkko/hinnastot-ja-sopimusehdot/tsv_palvelumaksuhinnasto.pdf

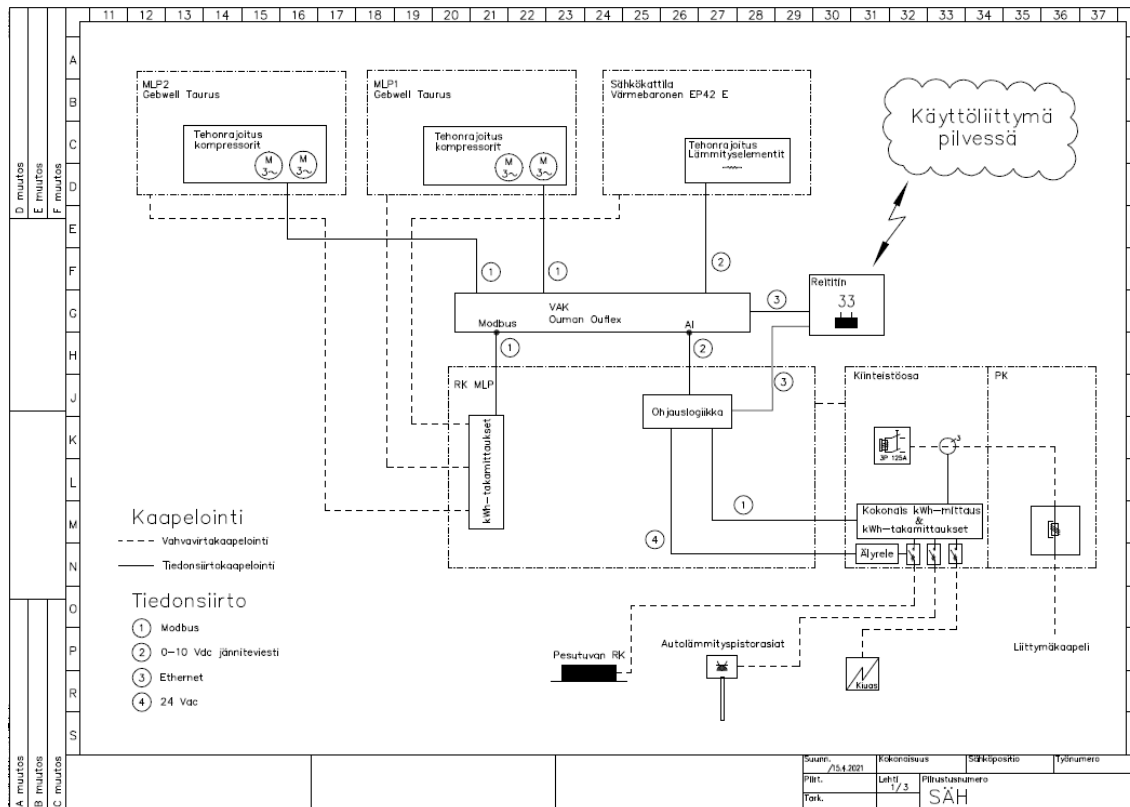
Tiainen, E. B&R-järjestelmän asiantuntija. 2021. Energiaoptimaattorin kehitys. Muistio 18.3.2021. Julkaisematon.

Värmebaronen AB. n.d. Installation och skötsel EP 26E/EP 42E. Luetu
20.3.2021. <https://varmebaronen.se/manualer-elpannor-industri-fastighet/>

LIITTEET

Liite 1. Tehohallintajärjestelmän järjestelmäkaavio

1 (3)



	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
A	<h1>Toimintaselostus</h1>																										A
B	<h2>Järjestelmän tarkoitus</h2>																										B
C	Tehonhallintajärjestelmän tarkoituksena on rajoittaa kiinteistön huipputehoa.																										C
D	Rajoittaminen tapahtuu estämällä suurten kuormien päälle kytkeytyminen tai siirtämällä päällekytkeytymisen ajankohtaa.																										D
E	Järjestelmä rajoittaa joustavien laitteiden tehoa, kun kiinteistössä on paljon kuormitusta.																										E
F	Ei-ohjattavat kuormat:																										F
G	-Pesutuvan laitteet (14 kW)																										G
H	-Autolämmityspistorasiat (12 x 2 kW)																										H
J	-Kiuas (11 kW)																										J
K	Joustavat laitteet																										K
L	- Sähkökattila (42 kW)																										L
M	- Lämpöpumppujen kompressorit (4x16 kW)																										M
N	<h2>Käyttötoiminnot</h2>																										N
O	<u>Normaalitilassa</u> järjestelmä tarkkailee käyttöpaikan kokonaistehoa. Mikäli teho ylittää asetetun rajan, järjestelmä ottaa <u>tehonrajoitustilan</u> käyttöön.																										O
P	Tehonrajoitustilassa järjestelmä rajoittaa ensisijaisesti sähkökattilan käyttöä																										P
R	Toissijaisesti järjestelmä voi rajoittaa lämpöpumppujen kompressorien käyttöä.																										R
S	<p>Järjestelmä pyrkii vuorottelemaan tilojen ja käyttöveden lämmityksen rajoittamista. Järjestelmä ei salli lämpötilojen laskea asetettavien raja-arvojen alle.</p> <p>Järjestelmä välittää säätöviestin rakennusautomaatiojärjestelmälle, joka säätää viestillä osoitettua laitetta viestin mukaisesti. Säätöviesti välitetään 0–10 V jänniteviestinä. Rakennusautomaatio ohjaa laitteita modbus-protokollaa käyttäen.</p> <p>Järjestelmän tehonrajoitus perustuu tehopohjaiseen verkkopalvelumaksuun, jota järjestelmä pyrkii minimoimaan. Järjestelmä välittää pilvikäyttöliittymään kulutustiedot, josta käyttäjä voi seurata kulutusta ja asettaa tehorajat näiden mukaan.</p> <p>Jakeluverkon häiriötilanteessa (sähkökatko) järjestelmä menee <u>häiriötilaan</u>. Sähkökatkon jälkeen järjestelmä ohjaa laitteet päälle niiden kriittisyyden mukaan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tilojen lämmitys 2. Käyttöveden lämmitys 3. Muut laitteet <p>Sähkönsyötön palautuessa järjestelmä estää kahden tunnin ajan ei-kriittisten laitteiden käytön, joita ovat:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pesutuvan laitteet - Autolämmityspistorasiat - Kiuas <p>Tässä tilanteessa järjestelmä välittää jänniteviestin ölyreleelle, joka ohjaa näiden laitteiden kontaktoria. Viestin poistuttua kontaktorit vetävät jolloin laitteiden käyttö mahdollistuu.</p>																										S
											Suunn. /54.4201		Kokonaismuus		Sähköpöytä		Työnumero										
											Päiv. /		Lehti /2/3		Pöytänumero												
													SÄH														

		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37																													
D muutos	A	<p>Kun tilojen ja käyttöveden lämpötilat ovat raja-arvojen sisällä, järjestelmä palaa normaalitilaan.</p> <p>Rajoitukset</p> <p>Asuntojen ja käyttöveden lämpötilojen ei sallita laskevan alle rakennusautomaatiojärjestelmään asetettujen raja-arvojen alle.</p> <p>Käyttäjä voi estää manuaalisesti tehonrajoitustoimintojen käytön</p>																										A																													
	B																											B																													
	C																											C																													
D	D																																																								
E	E																																																								
F	F																																																								
G	G																																																								
H	H																																																								
J	J																																																								
K	K																																																								
E muutos	L																											L																													
	M																											M																													
	N																											N																													
O	O																																																								
P	P																																																								
R	R																																																								
S	S																																																								
A muutos																												Suunn. /05.4.2021		Kokonaisuus	SÄHKÖosasto	Työnumero																									
																												Pien.		Lehti 3/3	Piirustusnumero																										
																												Tekn.		SÄH																											