



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

LÄMPÖPUMPPUJEN VERKKOVAIKUTUKSET

Samu Rautiainen

Opinnäytetyö
20.4.2018
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka

RAUTIAINEN, SAMU:
Lämpöpumppujen verkkovaikutukset

Opinnäytetyö 49 sivua
Huhtikuu 2018

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua lämpöpumppujen sähköverkolle aiheuttamiin vaikutuksiin. Opinnäytetyö tehtiin osana EL-tran-konsortion järjestämää lämpöpumppuihin liittyvää tutkimusta.

Työssä perehdyttiin lämpöpumpputyyppeihin ja lämpöpumppujen aiheuttamiin verkkovaikutuksiin, niiden syihin ja ennaltaehkäisemiseen. Näitä vaikutuksia tuotiin päätutkimuskohteena olevan muuntopiirin avulla esille. Verkkovaikutuksissa keskityttiin muuntopiiriin ja yksittäisten liittymien tehojen aiheuttamiin vaikutuksiin.

Tutkittavaksi muuntopiiriksi valittiin omakotitaloalueella sijaitseva muuntopiiri Tampereen Kissanmaalta. Muuntopiiri valittiin sen muuttumattomuutensa ja rakennustyyppien perusteella. Muuntopiirin ja kahdeksan kohteen tuntitehotiedot saatiin sähkölaitokselta. Näitä tuntitehotietoja analysoitiin ja verrattiin mitoituksellisiin tehoihin. Mitoitukselliset tehot määritettiin verkostosuositus SA 1:87:n ja Trimble NIS -verkonhallintaohjelmiston avulla.

Opinnäytetyössä lämpöpumpuista aiheutuvia ongelmia verkkolle saatiin tuotua esille tutkimuskohteena olleen muuntopiirin avulla. Muuntopiirin tehotasot olivat selvästi nousevia tarkastelujaksolla ja jatkavat nousuaan tulevaisuudessa. Öljylämmityksestä maalämpöjärjestelmään muuttaneissa kohteissa huomattiin suurin tehotasojen kasvu ja suurimmat ylitykset mitoituksellisiin tehoihin verraten.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bachelor of Electrical and automation engineering
Power engineering

RAUTIAINEN SAMU:
Electrical Effects of Heat Pumps on Powe Grid

Bachelor's thesis 49 pages
April 2018

The purpose of the Thesis was to get acquainted with different heat pump types and their effect on power grid, the causes of the negative effects and how to prevent them. The Thesis was made in part of heat pump research by EL-tran -consortium.

The effects were displayed with the transformation circuit which was the main subject of the Thesis. The research concentrated on effects caused by electrical power in transformation circuit and in single electricity connections. The transformation circuit was chosen from Tampere Kissanmaa, and it was chosen because of its constancy and the type of buildings in the target area.

The information about hourly capacity in transformation circuit and in electricity connections was obtained from the electrical power plant. This information was analyzed and compared to designed electrical powers. The designed electrical powers were determined with power grid recommendation SA 1:87 and with Trimble NIS- power grid control software.

The effects of heat pumps on the grid were demonstrated successfully. The levels of power were clearly increased in the reference period. The level of the electrical power was increased the most in buildings, where the heating system was changed from oil heating system to heat pump system. Also, the biggest exceeding of designed power was noticed in these subjects.

Keywords: heat pump, electrical effects on power grid, transformation circuit,
level of power

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LÄMPÖPUMPPU LÄMMITYSJÄRJESTELMÄSSÄ	7
	2.1 Lämpöpumppujen yleistyminen	7
	2.2 Lämpöpumpputyypit.....	8
	2.2.1 Maalämpöpumppu.....	8
	2.2.2 Ilmalämpöpumppu	9
	2.2.3 Poistoilmalämpöpumppu	10
3	VERKKOVAIKUTUKSET	11
	3.1 Teho	11
	3.2 Sähkön laatu.....	12
	3.2.1 Jännitetasomuutokset	12
	3.2.2 Yliaallot.....	13
4	TUTKIMUSTYÖ MUUNTOPIIRISTÄ	14
	4.1 Muuntopiirin alue ja kartat	14
	4.2 Muuntopiirin teho	16
	4.3 Lämpötilan ja tehon vertailu	18
	4.4 Kohteet.....	20
	4.4.1 Kohde 1	21
	4.4.2 Kohde 3	22
	4.4.3 Kohde 5	23
	4.4.4 Kohde 7	24
	4.4.5 Kohde 8	25
	4.4.6 Kohteet 2, 4 ja 6	26
	4.4.7 Lämmitystapamuutosten näkyminen muuntopiirin tehokäyrällä..	27
	4.5 Verkostosuositusten mukainen tehon mitoitus	28
	4.5.1 Kohde 1	31
	4.5.2 Kohde 3	35
	4.5.3 Kohde 7	39
	4.5.4 Kohde 8	40
	4.5.5 Päätelmät tehokäyrien eroista	44
	4.6 Trimble NIS:n avulla tehty tehon mitoitus	44
5	YHTEENVETO	46
	LÄHTEET.....	48

ERITYISSANASTO

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
Trimble-NIS	Sähkoyhtiöiden käyttämä verkkotietojärjestelmä
LVI	Lämpö-, vesi- ja ilmastointijärjestelmät
Nibe, Thermia ja IVT	Maalämpöpumppujen valmistajia

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin osana EL-tran -konsortion järjestämää lämpöpumppuihin liittyvää tutkimusta. EL-tran -konsortio tutkii, mitä resurssitehokkaalla sähköjärjestelmällä tarkoitetaan ja miten se toteutetaan. Lämpöpumppututkimusta tehtiin tässä opinnäytetyössä käsiteltävän sähkövoimatekniikan näkökannan lisäksi myös tutkimukseen osallistuneiden Tampereen ammattikorkeakoulun opettajien, sekä LVI- ja talosähköisen-alan opiskelijoiden toimesta.

Lämpöpumppujen yleisyys pientalojen lämmitysjärjestelmissä kasvaa nykypäivänä paljon lämmityskustannuksien laskun ja ympäristöystävällisyytensä vuoksi. Lämpöpumppujen yleistyessä näiden aiheuttamat lämmitysjärjestelmämuutokset aiheuttavat verkon kuormitustavan muutoksia. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä eri lämpöpumpputyyppeihin ja niiden aiheuttamiin verkkovaikutuksiin.

Lämpöpumppututkimusta varten Tampereen Kissanmaalta valittiin muuntopiiri, ja tässä opinnäytetyössä tutkitaan sen alueella olevien liittymien lämmitystapoja, niiden muutoksia sekä näiden aiheuttamia vaikutuksia sähköverkossa. Tutkittavat vaikutukset rajattiin siten, että vaikutuksia käsiteltiin liittymien tehojen kannalta.

2 LÄMPÖPUMPPU LÄMMITYSJÄRJESTELMÄSSÄ

Lämpöpumpuilla on eri lämmönlähteet ja lämmönsiirtokohteet, mutta niiden toimintaperiaate on kuitenkin sama. Lämpöpumpun yleinen toimintaperiaate on sama, kuin jääkaapilla, mutta lämpöpumppu vain siirtää lämpöä rakennuksen ulkopuolelta sisäpuolelle. Tavallisimpina lämmönlähteinä lämpöpumpuille toimivat ulkoilma, rakennuksen ilmanvaihdossa poistuva poistoilma, vesistö ja maaperä. Eri lämpöpumpputyypin toiminnasta kerrotaan tarkemmin luvussa 2.2. (Sulpu 2018.)

Lämpöpumppujärjestelmä tarvitsee lämmönlähteen lisäksi sähköenergiaa. Maalämpöpumpun tuottama lämmitysenergia koostuu 1/3 sähköenergiasta ja 2/3 lämmönlähteestä saadusta lämpöenergiasta. Muilla lämpöpumpputyypeillä sähköenergiaa tarvitaan 40-60%. Lämpöpumpussa sähköenergiaa käytetään kompressoria pyörittävän oikosulkumoottorin käyttämiseen. Myös lämpöpumppujärjestelmän oheislaitteistoon, kuten ohjaukseen kuluu sähköenergiaa. (Sulpu 2018.)

Verkon kannalta maalämpöpumpuilla on suurin vaikutus. Tämä johtuu siitä, että maalämpöpumput voidaan mitoittaa rakennuksen päälämmitysjärjestelmäksi. Pientaloissa maalämpöpumput asennetaan ilman käynnistysvirran ohjausta, ja niin sanotulla ”on/off”-kytkentätavalla maalämpöpumppu ottaa piikkimäistä tehoa verkosta. Tämä aiheuttaa verkon näkökulmasta ongelmia, joita käsitellään luvussa 3.

2.1 Lämpöpumppujen yleistyminen

Lämpöpumppuratkaisut yleistyvät jatkuvasti rakennusten lämmityslaitteistona tai osana tätä. Lämpöpumppujen yleistymisen merkittävimpinä syinä ovat niiden ympäristöystävällisyys ja taloudellisuus lämmitysjärjestelmänä. Lämpöpumpuilla pystytään vähentämään useissa kohteissa lämmityskustannuksia ja lämmitysjärjestelmän aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Lämpöpumppuratkaisuilla pystytään myös pienentämään sähköenergian tarvetta suoraan sähkölämmitykseen verrattuna. (Sulpu 2018.)

Lämpöpumppujärjestelmiä asennetaan aina omakotitaloista suurien kiinteistöjen lämmityslaitteistoiksi. Rakennuksien lämpöpumpuilla tuotettavasta lämmitysenergian määrästä

suurin osuus tuotetaan maa- ja kalliolämpöpumpuilla. Lämpöpumpputyypeistä maalämpöpumppu on ainut, joka voidaan mitoittaa rakennuksen päälämmitysjärjestelmäksi. Muita lämpöpumpputyyppejä voidaan mitoittaa lämmitysjärjestelmän avuksi. (Sulpu 2018)

2.2 Lämpöpumpputyypit

Lämpöpumpputyyppejä on erilaisia, ja nämä tyypit jakaantuvat niiden lämmönlähteen ja lämmönsiirtokohteen mukaan. Lämpöpumpputyyppejä ovat maalämpöpumppu, ilmalämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu. Nämä lämpöpumpputyypit ja niiden ominaisuudet ovat eritelty seuraaviin alalukuihin.

2.2.1 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumpun toiminta perustuu siihen, että se kerää maaperästä lämpöä ja siirtää sen talon/rakennuksen lämmitysjärjestelmään ja käyttöveteen. Lämmönkeruuputkistossa kiertää lämmönkeruuneste, joka lämpenee 1-4 astetta. Lämmönkeruuneste kiertää maalämpöpumpun höyrystimen läpi, jossa höyrystimen kylmäaine lämpenee. Kylmäaine alkaa tästä lämpenemisestä johtuen kiehua ja muuttuu kaasuksi. Kaasu puristetaan korkeampaan paineeseen maalämpöpumpun kompressorin avulla, ja se kuumenee noin +50 - +120 asteeseen. Kuuma kaasu siirretään lauhduttimeen, jossa se tiivistyy takaisin nesteeksi ja prosessissa vapautuva lämpö siirretään lämmitysjärjestelmään. Maalämpöpumpun kannalta edullisimmat lämmönjakotavat ovat vesikiertoinen lattialämmitys ja ilmalämmitys. Tällöin vapautuvan lämmön ja sen käyttökohteen lämpötilan tarpeen välillä on mahdollisimman suuri ero, jolloin päästään myös parhaimpaan lämpökertoimeen. (Maalämpö, 2018.)

Maalämpöpumppu pystyy tuottamaan kolminkertaisen – viisinkertaisen lämpöenergian määrän verraten sen käyttämään sähköenergiaan. Maalämpöpumpun lämmitystekhot vaihtelevat 6 kW – 60 kW riippuen energian tarpeesta. Maalämpöpumppu riittää lämmitysjärjestelmänä toimimaan päälämmönlähteenä. Maalämpöpumpun vuositason lämpöker-

roin on 2,5 – 3,5 Suomen olosuhteissa. Lämpökerroin kertoo, kuinka tehokkaasti lämpöpumpun ottama sähköenergia saadaan tuotettua lämpöenergiaksi. (Laitinen, Ari et al. 2011.)

Maalämpöjärjestelmä voidaan mitoittaa täysitehoiseksi tai osatehoiseksi. Täysitehoiseksi mitoitettuna maalämpöpumppu pystyy tuottamaan koko rakennuksen/rakennuksien lämmitystarpeen ja mahdollisesti myös käyttöveden lämmityksen. Osatehoiseksi mitoitettuna maalämpöpumppu toimii aina käydessään nimellistehollaan, ja lämmitystarpeen huiput tuotetaan sähkövastuksilla. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas.)

2.2.2 Ilmalämpöpumppu

Ilma-ilmalämpöpumppu toimii samalla toimintaperiaatteella, kuin maalämpöpumppu, mutta lämpö vain kerätään tässä tapauksessa ulkoyksikön avulla ilmasta. Ulkoyksikkö siis kerää lämmön puhaltimen avulla ulkoilmasta ja kerätyllä lämmöllä höyrystetään kylmäaine. Kylmäainekaasu siirretään kylmäaineputkistoja pitkin sisäyksikölle/-yksiköille, jossa kaasu lauhdutetaan takaisin. Prosessissa vapautuva lämpö puhalletaan sisäyksikössä sijaitsevan puhaltimen avulla sisäilmaan. Ilma-ilmalämpöpumpulla pystytään myös jäähdyttämään sisäilmaa, jolloin lämpiminä kesäpäivinäkin lämpötila saadaan pidettyä vakiona. Jäähdyttäminen toimii samalla periaatteella, kuin lämmittäminen, mutta prosessi toimii vain päinvastoin. Lämpöä otetaan sisältä, jolloin sisäilma viilenee. (Sulpu 2018.)

Ilma-ilmalämpöpumppu-järjestelmä vaatii rinnalleen lämmitystehon maksimitarvetta vastaavan lämmitysjärjestelmän, esimerkiksi öljy-, sähkö-, puulämmityksen tai maalämpöjärjestelmän. Ilma-ilmalämpöpumpun lämmitysteho vaihtelee 5 kW ja 6 kW välillä, ja jäähdytysteho 3 kW ja 4 kW välillä. Vuositason lämpökerroin Suomen olosuhteissa on 1,8 – 2,2. (Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-keskusliitto 2002, Sulpu 2018.)

Ilma-vesilämpöpumppu toimii samalla tavalla, kuin ilma-ilmalämpöpumppu, mutta lauhduttimelta saatu lämpöenergia siirretään käyttöveden tai kiertovedellä toimivan lämmitysjärjestelmän lämmittämiseen. Näiden lämmitystehot vaihtelevat 6 kW ja 15 kW välillä. Vuositason lämpökerroin Suomen olosuhteissa on 1,7 – 2,0. (Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-keskusliitto 2002, Sulpu 2018.)

2.2.3 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppukin toimii samalla toiminta periaatteella, kuin aiemmin esiteltyt ilmalämpöpumput, mutta tässä tapauksessa lämmön keruu tapahtuu höyrystin- tai liuos-patterin avulla rakennuksen poistoilmasta. Tätä lämmitysmuotoa käytetään huoneilman tai käyttöveden lämmitykseen. Koska poistoilman lämpötila ei juurikaan vaihtele, poistoilmalämpöpumpun tuottama lämpöteho ei laske merkittävästi kovillakaan pakkasilla. (Sulpu 2018.)

Kuten muissakin ilmalämpöpumpuissa, poistoilmalämpöpumpun rinnalle tarvitaan päälämmitysjärjestelmä. Poistoilmalämpöpumppujen lämmitystehot vaihtelevat 2 – 4 kW ja jäähdystehot 1 – 2 kW. Vuositason lämpökerroin Suomen olosuhteissa on 1,5 – 2,2. (Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-keskusliitto 2002, Sulpu 2018.)

3 VERKKOVAIKUTUKSET

Lämpöpumppu koostuu sähkölaitteen näkökulmasta kompressoria pyörittävästä oikosulkumoottorista ja kahdesta kiertopumpusta, joista toinen kierrättää lämmitettävää vettä ja toinen kylmäainetta. Maalämpöpumpuilla on lisäksi ohjauskeskus, jossa sijaitsee ohjaukselliset laitteet sekä varokojeet (Käyttöohje Lämpöässä). Verkon kannalta suurin merkitys on edellä mainitulla oikosulkumoottorilla. Oikosulkumoottori ottaa tyypillisesti 4-8 kertaisen käynnistysvirran moottorin nimellisvirtaan nähden (Hietalahti, L s. 43). Käynnistyksen aikana lämpöpumppu ottaa siis myös suuren tehon verkosta.

Lämpöpumput aiheuttavat yleistyessään merkittäviä vaikutuksia sähköverkoille. Ongelmia tulisi ennaltaehkäistä ja varautua lämpöpumppujen yleistymiseen. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi eri näkökulmien kannalta lämpöpumppujen aiheuttamia verkkovaiikutuksia.

3.1 Teho

Saman muuntopiirin alueella olevien lämpöpumppujen yleisyydellä on merkittävä vaikutus verkkoon. Varsinkin maalämpöpumput ottavat suoraan käynnistyessään suuren virran verkosta. Ongelma esiintyy erityisesti omakotialueilla sijaitsevilla muuntopiireissä, koska omakotitalon kokoisissa asuinkiinteistöissä maalämpöpumput asennetaan yleisesti ilman virranrajoitusta. Jos saman muuntopiirin alueella käynnistyy monta maalämpöpumppua samanaikaisesti, tai on päällä samanaikaisesti, verkosta otetaan hetkellisesti paljon tehoa ja virtaa. Tällainen tilanne voi pahimmillaan realisoitua sähkökatkoksen jälkeen kovilla pakkasilla, koska kaikki lämpöpumput menevät tällöin samanaikaisesti päälle ja osatehoisesti mitoitetuissa maalämpöpumpuissa ovat myös lisävastukset päällä.

Maalämpöpumpuilla korvatut lämmitysmuodot vaikuttavat myös oleellisesti verkosta otettuun tehoon. Jos maalämpöpumppu on korvannut jonkun muun, kuin suoran sähkölämmityksen, rakennuksen sähköisen tehon tarve kasvaa. Maalämpöpumppu käynnistyy silloin, kun sen on tarpeellista tuottaa lämmitystehoa rakennukselle, ja käynnistyessään se ottaa piikkimäisen tehon verkosta.

Ongelmakohdat tulevat esiin sellaisilla muuntopiireillä/alueilla, missä on paljon öljylämmitystä. Naapurusto innostaa toisiaan omalla esimerkillään hankkimaan maalämpöpumpun lämmitysjärjestelmäksi, jolloin muuntopiirin ottama tehon tarve kasvaa todella merkittävästi. Edellä mainitun tyyppisessä muuntopiirissä niitä syöttävä muuntaja saattaa olla huomattavasti alimitoitettu maalämpöpumppujen yleistyessä.

3.2 Sähkön laatu

Lämpöpumput vaikuttavat sähkön laatuun toimintaperiaatteidensa takia. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi sähkön laatuun vaikuttavia tekijöitä, joita lämpöpumput aiheuttavat.

3.2.1 Jännitetasomuutokset

Alueilla, joilla lämpöpumput korvaavat muita, kuin sähkölämmitysmuotoja, pienjännitejohdon loppupäähän saattaa aiheutua pysyviä jännitteenalenemia tiettyinä ajankohtina. Lämpöpumpun käynnistyessä verkosta otetaan huomattavasti nimellisvirtaa suurempaa virtaa, ja joissain tapauksissa suuremmaksi, kuin liittymän liittymisoikeus, jolloin se aiheuttaa verkosta otettavan jännitteen alenemisen. Asiakkaan pääsulakkeet määrittävät liittymisoikeuden ja ylitettäessä tämä hetkellisesti tai jatkuvasti, ylitetään myös liittymisoikeus. Tämä taas voi aiheuttaa välkyntää, kun virtapiikeistä syntyvä jännitteen muutokset ovat tarpeeksi suuria ja usein toistuvia. (Välkyntä ja sen aiheuttajia sähköverkossa, Lämpöpumput sähköverkossa.)

Välkyntällä tarkoitetaan SFS-EN 50160 mukaisesti valolähteen pintakirkkauden tai spektrijakauman muutosten aiheuttamaa näköaistimuksen epävakaaisuutta. Välkyntän häiritsevyys riippuu jännitemuutosten lukumäärästä ja jännitemuutoksen suuruudesta. (Välkyntä ja sen aiheuttajia sähköverkossa.)

Jännitetason muutoksia voidaan ennaltaehkäistä maalämpöpumppujen käynnistystapoja muuttamalla. Vaihtoehtoisia käynnistystapoja ovat käynnistäminen pehmokäynnistimellä tai taajuusmuuttajalla. Pehmokäynnistimellä saadaan laskettua käynnistysvirtaa, mutta ei

niin tehokkaasti, kuin taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajalla käynnistysvirta saadaan laskettua parhaimmillaan jopa nimellisvirran tasolle ja maalämpöpumpun kompressoria pyörittävää oikosulkumoottoria voidaan säätää portaattomasti taajuutta muuttamalla. Virranrajoitusta käytetään yleisesti vain suuremmissa kiinteistöissä. (Välkyntä ja sen aiheuttajia sähköverkossa.)

3.2.2 Yliaallot

Maalämpöpumput ottavat käynnistyessään suuren käynnistysvirran ja tätä käynnistysvirtaa voidaan pienentää lähes nimellisvirran suuruiseksi taajuusmuuttajalla, kuten edellisessä luvussa mainittiin. Taajuusmuuttajia sisältävät maalämpöpumput voivat lisätä yliaaltovirtoja ja -jännitteitä taajuusmuuttajan toimintaperiaatteen takia. (Yliaalto-opus.)

Yliaaltojen aiheuttamia haittoja verkolle on esitelty seuraavassa listauksessa (Yliaalto-opus):

- Verkkokomponenttien lisähäviöt
- Suoja- ja mittalaitteiden virheellistä toimintaa
- Häiriöt ja vauriot ATK- ja automaatiojärjestelmissä, sekä televerkoissa
- 3. yliaaltovirrasta aiheutuva nollajohtimen ylikuormitus
- Kompensointikondensaattoreiden ja verkon välillä tapahtuvat resonanssit

Yliaallot vaativat kompensointia häiriöiden välttämiseksi, mutta tässä opinnäytetyössä käsiteltävissä pientalokohteissa ongelmaa ei tule. Maalämpöpumput kytketään lähes poikkeuksetta pientalokohteissa suoralla kontaktorikytkennällä ja joissain kohteissa liittymän haltijan halutessa pehmokäynnistimellä.

4 TUTKIMUSTYÖ MUUNTOPIIRISTÄ

Opinnäytetyötä varten valittiin omakotitaloalueella sijaitseva muuntopiiri. Valittu muuntopiiri sijaitsee Tampereen Kissanmaalla ja sen muuntajana toimii teholtaan 500 kVA muuntaja. Muuntopiirin vaikutusalueella on 45 omakotitaloliittymää ja yksi yhdistyksen kokoustila, jotka ovat varustettu suurimmaksi osakseen 3 x 25 A pääsulakkeilla. Muutamalla liittymällä on 3 x 35 A pääsulakkeet.

Muuntopiirin alueella oleviin liittymiin jaettiin kyselylomake, johon vastaamalla liittymä otettiin mukaan tutkimukseen. Kyselyn ohessa liittymän haltijaa pyydettiin allekirjoittamaan valtakirja, joita vastaan sähkölaitokselta saatiin tuntitehotiedot liittymälle. Kyselylomakkeen ja valtakirjan palauttaneet otettiin mukaan tutkimukseen. Lisäksi osaa kohteista käytiin haastattelemassa TAMK:in tutkimusryhmän toimesta.

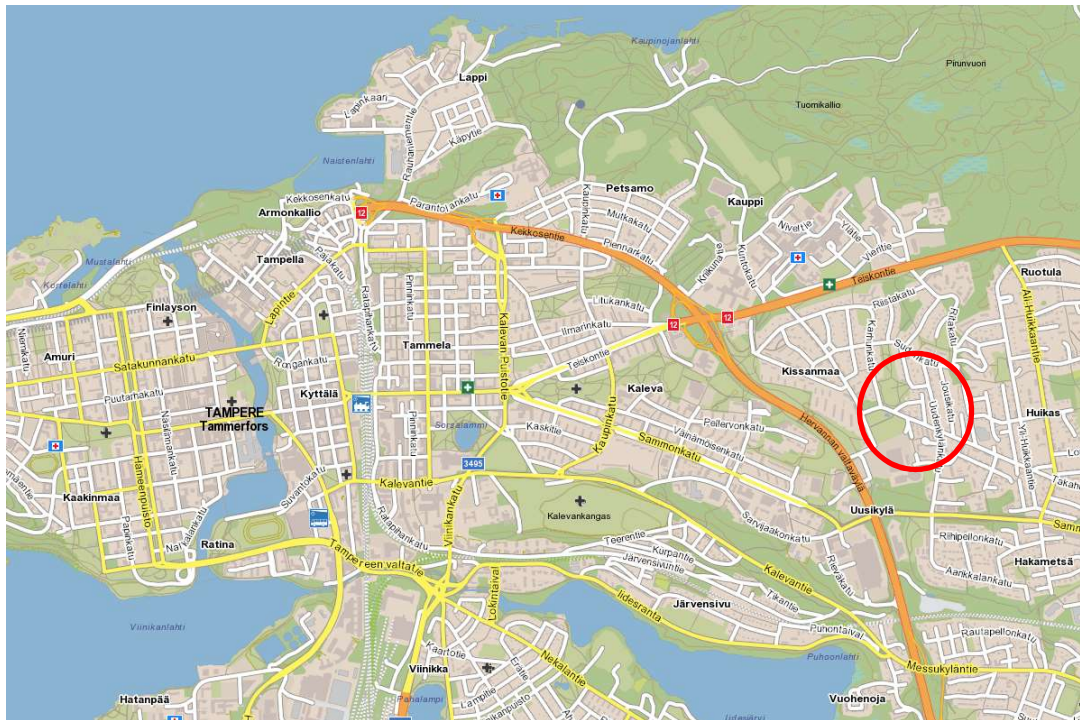
Muuntopiiristä saatiin sähkölaitokselta myös koko muuntopiirin tuntitehotiedot. Tuntitehokäyrää verrattiin lämpötilakäyrään, joka saatiin Ilmatieteenlaitoksen avoimesta datasta. Sääasemaksi valittiin Tampereen Härmälän sääasema, koska sieltä oli saatavilla tuntilämpötilat koko tarkastelujaksolle 2012-2017.

Tietoja käsitellään opinnäytetyössä sähköyhtiöiden käyttämällä verkkotietojärjestelmä Trimble NIS:llä, Microsoft Excelillä ja MATLAB:lla. MATLAB on MathWorks -yhtiön ylläpitämä numeeriseen laskentaan tarkoitettu tietokoneohjelmisto.

4.1 Muuntopiirin alue ja kartat

Opinnäytetyössä tutkittiin Tampereen Kissanmaalla sijaitsevaa muuntopiiriä ja sen alueella olevien liittymien lämmitystapojen muutoksia keskittyen lämpöpumppuihin. Tutkittava alue valittiin sen yksinkertaisuuden vuoksi; muuntopiirin alueella melkein kaikki liittymät ovat omakotitaloja ja muuntopiirin alueella ei ole uudisrakentamista tehty. Suurin osa muuntopiirin alueella sijaitsevista taloista on rakennettu 1950-1960 luvulla.

Tarkasteltavan muuntopiirin sijaintia on tarkemmin kuvattu seuraavassa karttakuvassa (KUVA 1). Kuvaan on punaisella ympyröity muuntopiirin sijainti Tampereella.



KUVA 1. Muuntopiiri Tampereella (Kartat)

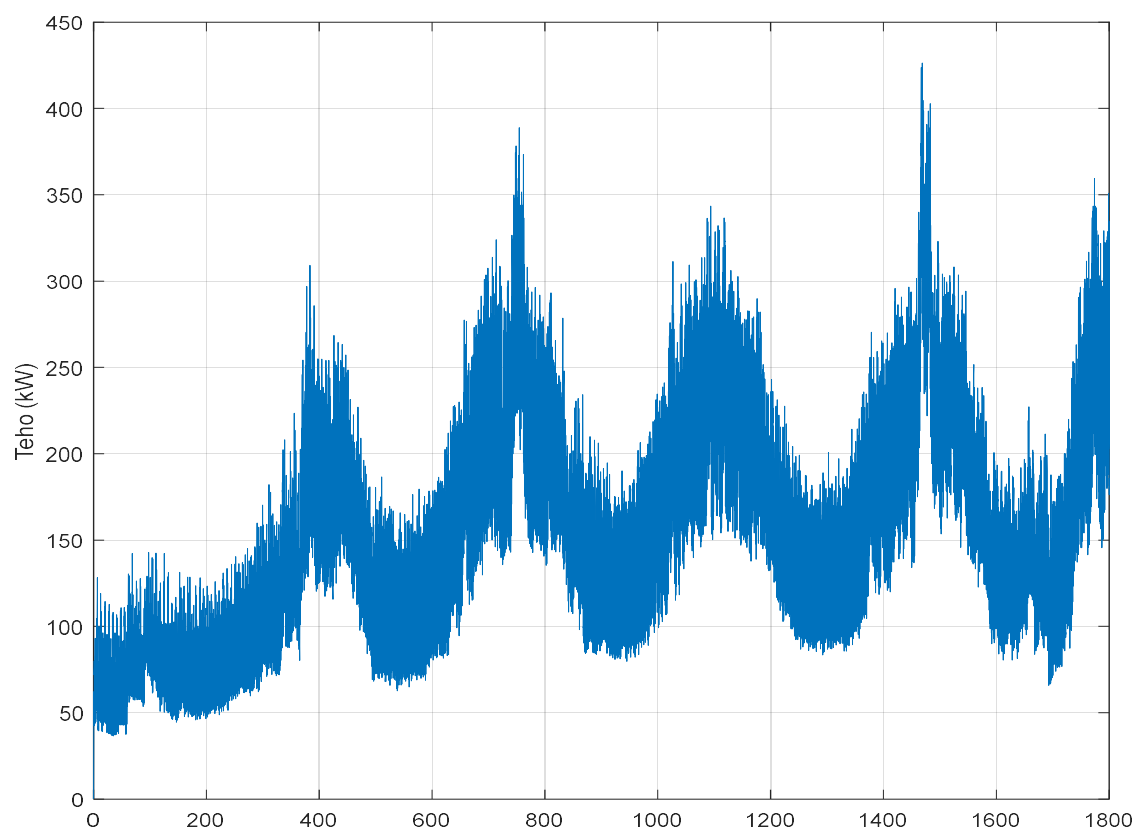
Muuntopiiri kartoitettiin Trimble-NIS ohjelmalla, jotta pystyttiin määrittämään kaikki muuntopiirin alueelle kuuluvat liittymät. Kuvassa 2 on esitetty kuva muuntopiiristä, jossa muuntopiiri on esitetty tumman punaisella värillä.



KUVA 2. Muuntopiiri Trimble:ssä

4.2 Muuntopiirin teho

Tutkinnan alla olleen muuntopiirin tehotasot ovat nousseet vuosi vuodelta. Kuviossa 1 on esitelty huipputeho (kW) ajan funktiona (vuorikausina). Vuoden 2012 talven teho on todella matala ja tämä johtuu siitä, että tuona vuonna muuntopiirin vaikutusalue muuttui. Muuntopiirin muuntajan takana on muutoksen jälkeen vain opinnäytetyön kohteena oleva omakotitaloalue. Tehokäyrä kuvastaa siis suoraan muuntopiirin omakotitalojen sähkönkulutusta. Käyrän pohjakuorma ja talven tehot ovat joka vuosi korkeammalla. Tehon hajonta on kasvanut tarkastelujaksolla, joka viittaa lämpöpumppujen yleistymiseen lämmitysjärjestelmissä.



KUVIO 1. Muuntopiirin teho 2016-2017

Verkostosuosituksen SA 2:08 mukaan pientaloalueella sijaitsevassa muuntopiirissä, jossa on sähkölämmitystä, tehokerroin on 0,98. Tutkittavalla asuinalueella on myös paljon öljylämmitystä, joilla käytetty tehokerroin on 0,86. Pientaloalueen tehokertoimeksi oletettiin näiden perusteella noin 0,92. (SA2:08, s. 32 taulukko 14.)

Kyseinen muuntopiiri on 500 kVA muuntajan takana, joka vastaa noin 460 kW pätötehoa 0,92 tehokertoimella. Huipputehon piikit eivät ole vielä lähellä tätä muuntajan nimellistehoa, mutta 2016 talvella saavutettiin kuitenkin noin 425 kW teho. Muuntajaa voidaan kuormittaa nimelliskuormaa suuremmalla kuormalla ja seuraavassa taulukossa (TAULUKKO 1) on esitelty eri muuntamotyyppien kuormitettavuuskertoimia. Kuormitettavuuskertoimella tarkoitetaan kuormitettavuutta suhteessa nimellistehoon. Punaisella laatikolla on merkitty tutkimuskohteen muuntamon ja muuntopiirin tyyppi. Kyseessä on siis pientaloalueella sijaitseva, puistomuuntamon takana oleva muuntopiiri.

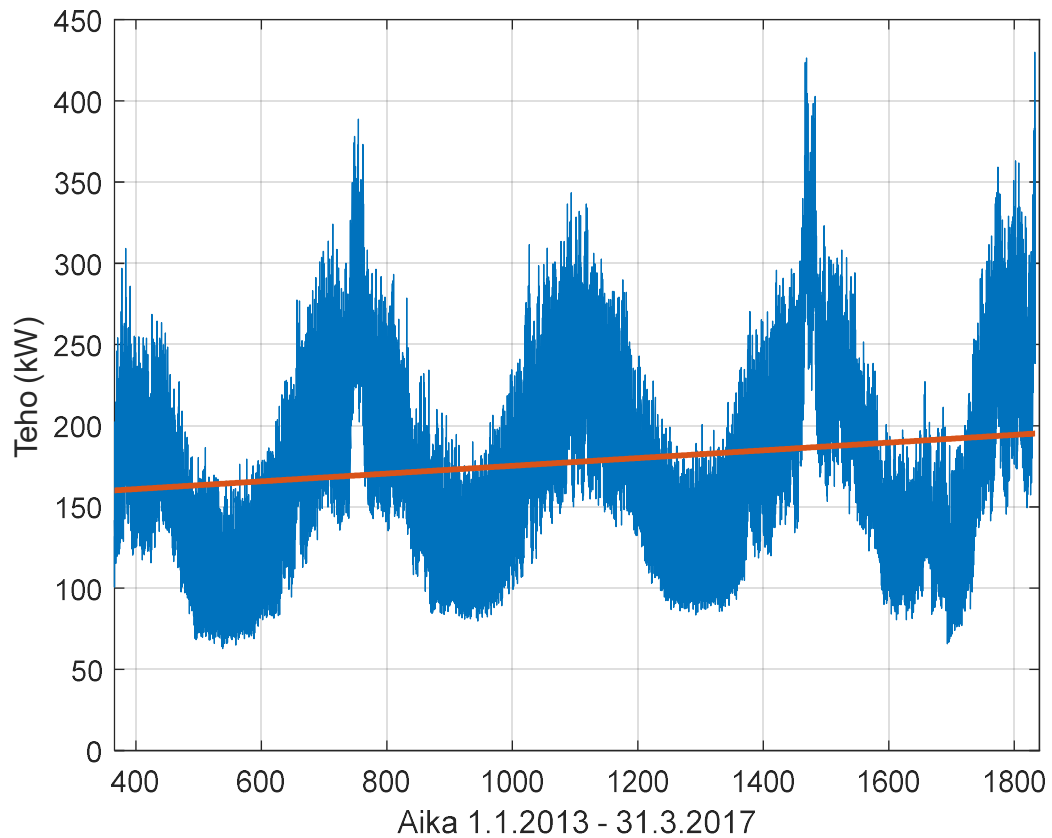
TAULUKKO 1. Jakelumuuntajan kuormitettavuus (SA 2:08, s. 8 taulukko 2)

Muuntopiiri	Muuntamotyyppi		
	Pylväsmmo	Puistommo	Kiinteistömmo
Pientaloalue, sähkölämmitys	1,5	1,4	1,2
Kerrostaloalue	1,5	1,4	1,2
Keskusta- alue	1,4	1,3	1,0
Teollisuusalue	1,4	1,3	1,0
Maaseutualue	1,5	1,4	1,2

Tuntitehot ovat keskiarvotehoja tunnin ajalta, jolloin jakelumuuntajan kuormitettavuutta voidaan verrata suoraan tuntitehoihin ja tällöin eliminoidaan hetkelliset piikit, joille muuntamoilla on suuremmat kuormituskertoimet. Käsiteltävän muuntajan kuormitusteho voidaan laskea siten, että aiemmin mainittu 475 kW kerrotaisiin laatikoidulla kuormituskertoimella 1,4, jolloin muuntajan maksimikuormaksi saadaan 665 kW. Tarkasteltavan muuntopiirin tilanteessa tehokäyrä ei ole siis lähellä muuntajan sallittua maksimikuormitusta. Tehon nousu on kuitenkin vuosittaista, ja vaikuttaisi nousevan myös tulevaisuudessa.

Seuraavassa kuvaajassa (KUVIO 2) on esitetty edelläkin esitetty koko muuntopiirin tehokäyrä, johon on lisätty oranssi trendiviiva. Trendiviiva piirrettiin vuodet 2013 – 2017 kattavalle tehokäyrälle, jotta muuntopiirin muutos saatiin pois kuvaajasta. Tuntitehokäyrä todettiin jo aiemmin olevan nouseva, mutta trendiviivalla pystytään vielä paremmin todentamaan tehotasojen selkeä nouseminen. Trendiviiva lähtee noin 160 kW kohdalta ja

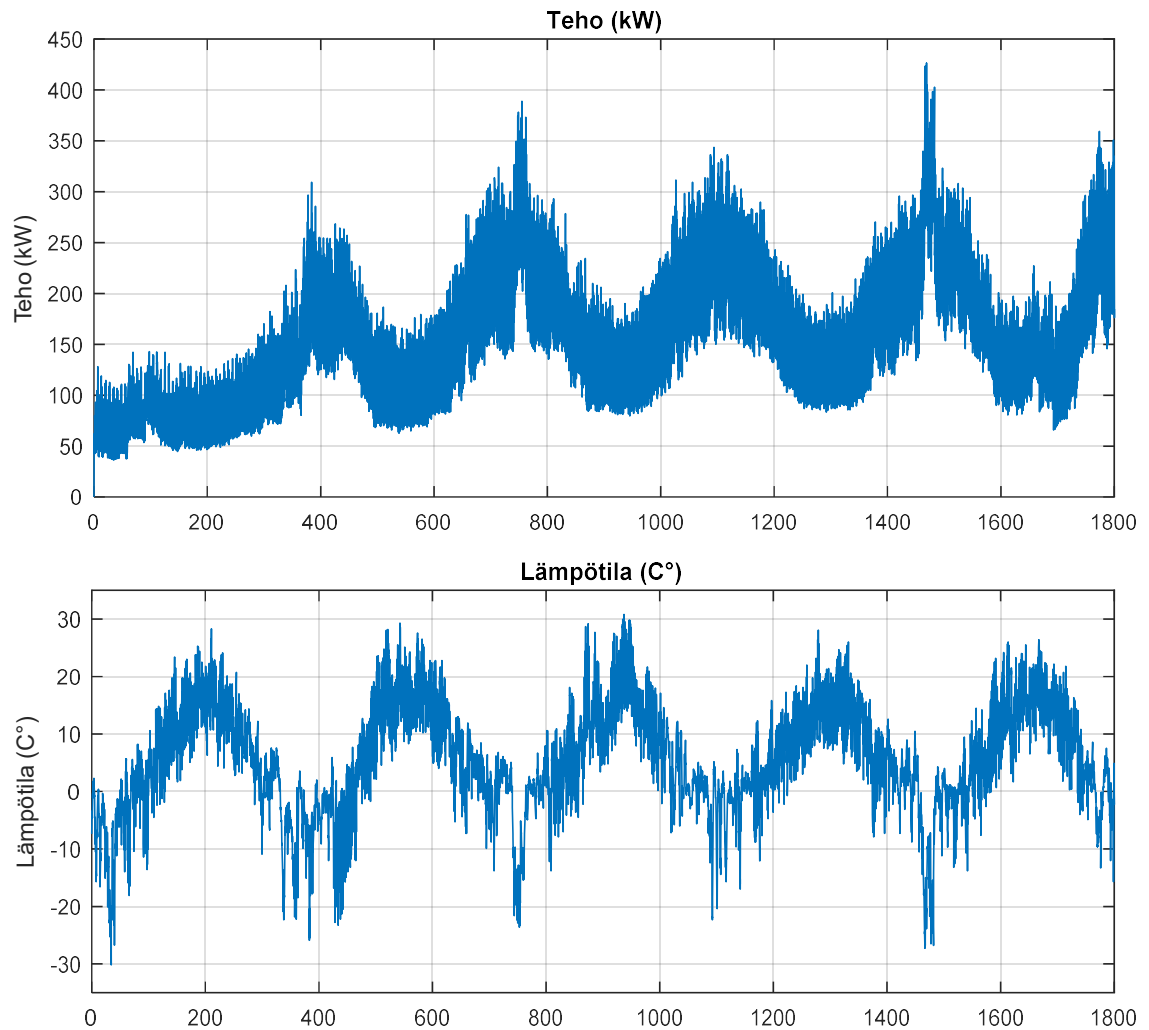
nousee tarkastelujakson loppuun noin 200 kW. Tällä neljän vuoden jaksolla siis tehotasot olivat nousseet 1,25 kertaiseksi.



KUVIO 2. Muuntopiirin tehokäyrä trendiviivalla

4.3 Lämpötilan ja tehon vertailu

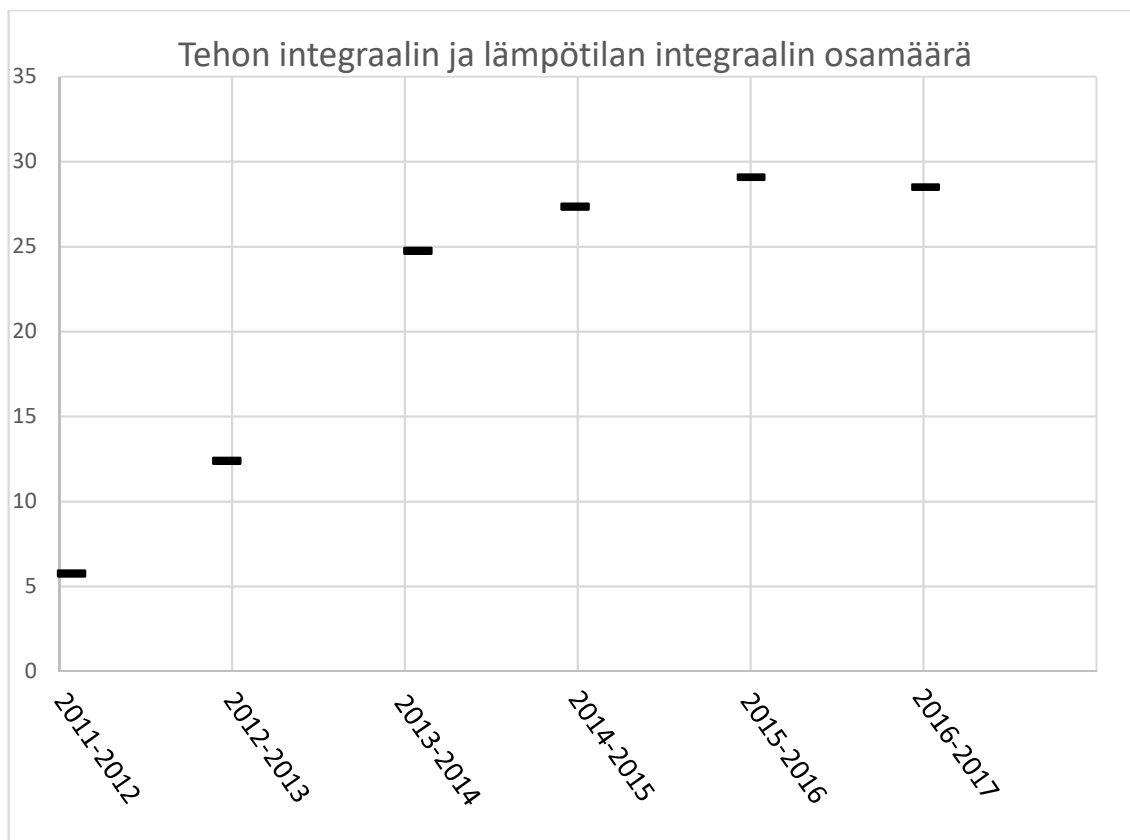
Koko muuntopiirin tehoa ja lämpötilaa verrattiin tarkastelujaksolla. Vertailukäyrät on esitetty kuviossa 3 siten, että lämpötilakäyrä on tehokäyrän alla. Tuntitehot on esitetty kilowatteina, lämpötilat celsiusasteina ja aika vuorokausina. Tuntitehokäyrä mukailee lämpötilakäyrää ja tehopiikit ajoittuvat kovimmille pakkasille. Lämpötilakäyrä ja tehokäyrä ovat lähes suoraan toistensa peilikuvat.



KUVIO 3. Muuntopiirin tehokäyrä ja sitä vastaava lämpötilakäyrä

Tehohiiput koostuvat lämpötilasta suoraan verrannollisesta lämmitystehosta, sekä liittymien muusta kuormasta; kodin elektroniikasta ja kiukaasta. Tehotasojen nousua tutkiessa voidaan eliminoida lämpötilan vaikutus jakamalla teho ja lämpötila keskenään. Tämä tutkimustapa ei poista muiden laitteiden ja kiukaan aiheuttamaa tehoa, mutta on kuitenkin suuntaa antava tehotasojen nousua tutkiessa. Tehotasojen nousua tutkittiin siten, että viikon mittaiselta ajalta muuntopiirin teho ja lämpötila integroitiin, jonka jälkeen tehon integraali jaettiin lämpötilan integraalilla (muutettiin positiiviseksi ennen jakamista).

Tutkittavaa viikkoa valitessa pyrittiin siihen, että lämpötila olisi tämän viikon aikana keskiarvillisesti mahdollisimman lähellä -10 astetta. Tällaiset viikot etsittiin joka talvelle, ja tämän vertailun tulokset on esitetty kuviossa 4. Kuvaajassa vertikaaliset viivat kuvaavat vuoden vaihdetta.



KUVIO 4. Tehon integraalin ja lämpötilan integraalin osamäärä ajan funktiona

Myös tästä kuvaajasta huomataan, että tehotasot ovat nousseet tarkastelujakson aikana. Vuosien 2016-2017 talvena laskettu integraalien osamäärä oli kuitenkin hieman pienempi, kuin vuosien 2015-2016 talvena. Tämä johtuu siitä, että ennen tarkastelun alla ollutta viikkoa oli lämpimämpi ajanjakso (lähellä 0°C), jonka seurauksena rakennukset olivat varanneet lämpöä ennen pakkasia. Kyseinen viikko oli ainut viikko tarkastelujakson lopussa, jossa lämpötila oli keskiarvillisesti noin -10°C .

4.4 Kohteet

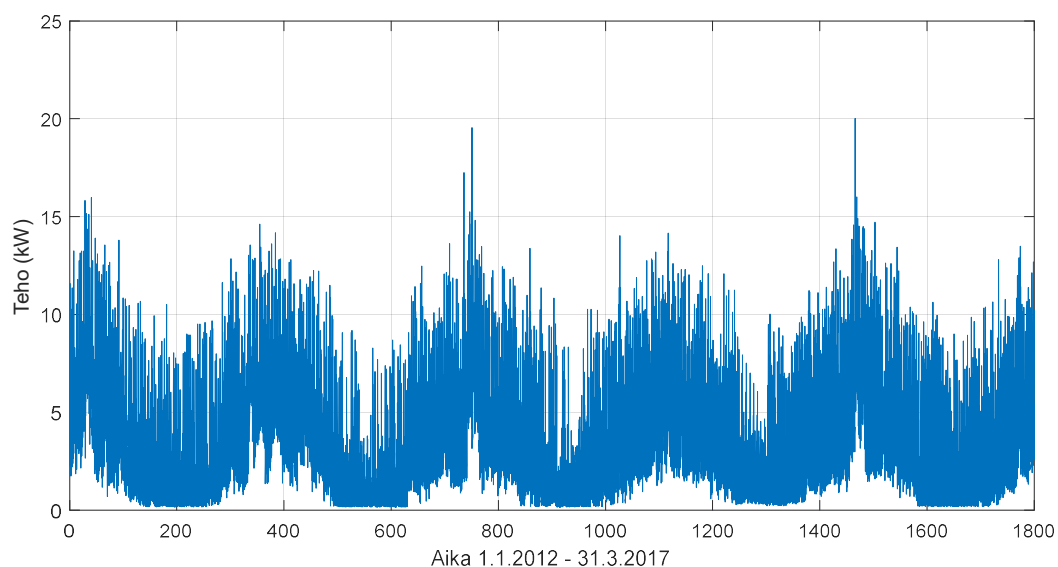
Tutkimukseen mukaan otetut kohteet valittiin palautettujen valtakirjojen perusteella. Kohteita käytiin haastattelemassa hankkeen toimesta, jotta saatiin tarkempaa tietoa lämmitystavoista ja lämpöpumppuihin liittyvistä laitteistoista. Muutamasta kohteesta saatiin tarkempaa tietoa lämmitystapamuutoksista ja selityksiä tuntitehokäyrällä ilmaantuneille tehohiipuille. Kohteiden tietoja käsitellään anonymisti, joten valittuja kahdeksaa kohdetta käsitellään kohdenumeroin 1-8.

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään ensiksi ne kohteet, joissa kohteen omistajia käytiin haastattelemassa ja myöhemmin ne kohteet, joista haastattelutietoja ei ole. Käsiteltävissä kuvaajissa on esitetty kyseisen kohteen tuntiteho ajan funktiona, jossa ajan yksikkönä on vuorokaudet.

4.4.1 Kohde 1

Kohde 1 on omakotitalo, jossa on suora sähkölämmitys ja sähkökiuas (2-3 kertaa viikossa päällä). Kohteessa on 25 A pääsulakkeet. Rakennus on 160 m² vuonna 1937 rakennettu hirsirunkoinen omakotitalo, jossa asuu kolmen hengen perhe. Lisälämmitystapana kohteessa on kaksi kaakeliuunia. Sähkönkulutus liittymällä on noin 27 000 kWh ja keskituntiteho 3,11 kW.

Kuviossa 5 esitetty tarkastelujakson (2012-2017) ajalta kohteen tuntitehot. Kohteessa ei ole tapahtunut tuntitehokäyrän perusteella suurta muutosta tehon käytössä. Tuntitehokäyrän tehojen tasaisuuden ja korkeuden perusteella voidaan päätellä, että kohteessa on suora sähkölämmitys. Kohde 1 ei ollut opinnäytetyön aiheen kannalta mielenkiintoisin, mutta sitä vasten oli hyvä verrata maalämpöjärjestelmän aiheuttamaa tehon käyrämuotoa.

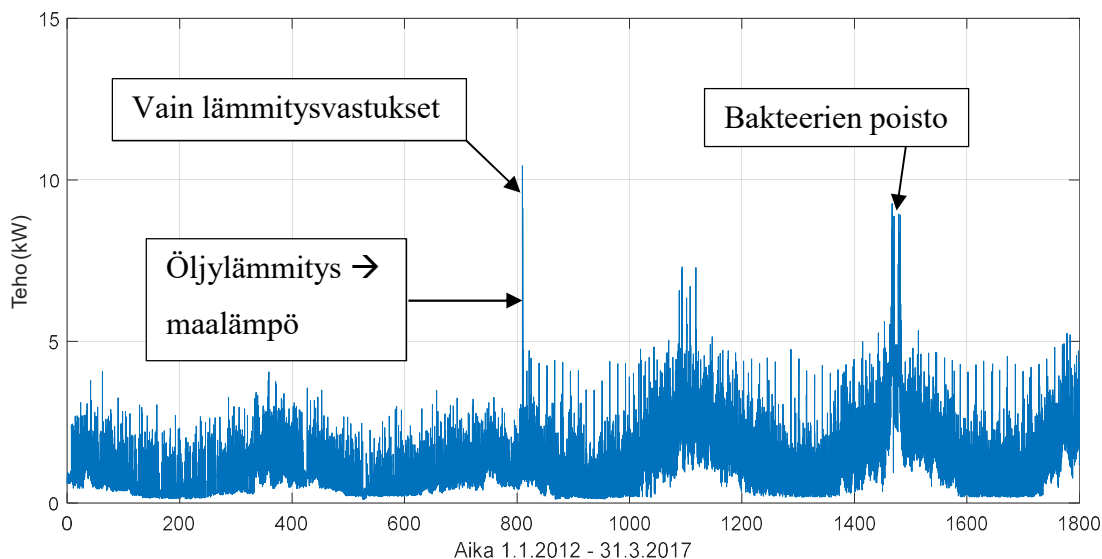


KUVIO 5. Kohteen 1 tuntitehokäyrä 2012-2017

4.4.2 Kohde 3

Kohteessa 3 sijaitsee 220 m² purueristeinen puukiukaallinen omakotitalo, joka on rakennettu vuonna 1954. Kohteessa on ollut vuoden 2014 maaliskuuhun öljylämmitys, jonka jälkeen lämmitystapa on muutettu maalämpöpumppujärjestelmään (IVT 9 kW). Kohteessa asuu viiden hengen perhe. Liittymän sähkönkulutus on noin 11 000 kWh vuodessa ja keskituntiteho noin 1,27 kW.

Kuviossa 6 on esitetty kohteen 3 tuntitehokuvaaja vuodesta 2012 vuoteen 2017. Kuvaajaan on selitetty kohteen tuntitehokäyrällä tapahtuneita muutoksia; hetki jolloin vaihdettiin öljylämmityksestä maalämpöön, hetkellinen käyttö vain lämmitysvastuksilla ja lämpötilannosto bakteerien poiston yhteydessä. Maalämpöpumpun kytkennän yhteydessä osatehomitoitettuja lämpöpumppuja ajetaan pelkillä lisävastuksilla, jotta maalämpöpumppu saadaan toimintakuntoon. Näihin liittyvät tehopiikit ovat selvästi havaittavissa kuvasta ja huomattavasti suurempia normaaleihin tuntitehoihin verrattuna. Kuvaajasta voidaan huomata, että liittymän ottamat tehopiikit verkosta ovat kaksinkertaistuneet öljylämmityksestä maalämpöön vaihtamisen jälkeen. Muuntopiirin kannalta tällainen tuntitehon kasvu on vaikutukseltaan suuri.



KUVIO 6. Kohteen 3 tuntitehokäyrä 2012-2017

Jos käyrämuotoa verrataan edelliseen suoran sähkölämmityksen kohteeseen 1 (KUVIO 6), maalämpöjärjestelmän käyttöönoton jälkeen tasaisen vaihtelevuuden lisäksi liittymä

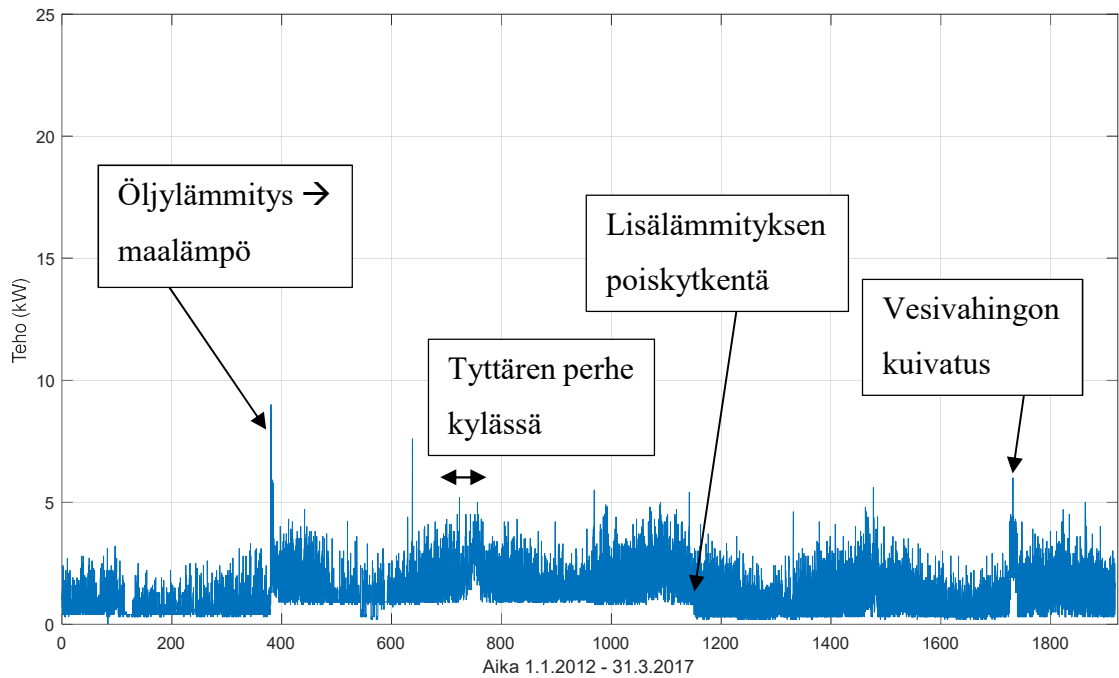
ottaa piikkimäistä tehoa tasaisin välein. Tällainen tehon käyrämuoto kuvastaa maalämpöjärjestelmää lämmitysjärjestelmänä.

Bakteerien poiston yhteydessä pitkäaikaiset tehopiikit nousevat noin 9 kW, joka on kolminkertainen huipputeho öljylämmityksen huipputehoihin verrattuna. Bakteerien poisto sijoittui vielä talven koville pakkasille, jolloin muuntopiirin alueella käytetään muutenkin paljon tehoa.

4.4.3 Kohde 5

Kohde 5 on 210 m² villaeristeinen ja tiilivuorattu omakotitalo, joka on rakennettu vuonna 1996. Kohteessa on käytössä puukiuas ja siellä asuu kaksi eläkeläistä. Päätoiminen lämmitystapa on vaihdettu öljylämmityksestä maalämpöpumppuun (Nibe 8 kW) vuonna 2013 ja lisäksi lisälämmitystapana on poistoilmalämpöpumppu. Liittymän sähkönkulutus on noin 11 000 kWh vuodessa ja keskituntiteho 1,27 kW.

Kuviossa 7 on esitelty liittymän tuntitehokuvaaja tarkastelujaksolla. Kuvaajaan on lisätty haastattelun perusteella selvinneet selitykset muutoksille; öljylämmityksen muuttaminen maalämpöön, omistajien tyttären perheen vierailu (3kk), lisälämmityksen poiskytkentä ja vesivahingon kuivattaminen. Nämä muutokset ovat selkeästi havaittavissa kuvaajasta.



KUVIO 7. Kohteen 5 tuntitehokäyrä 2012-2017

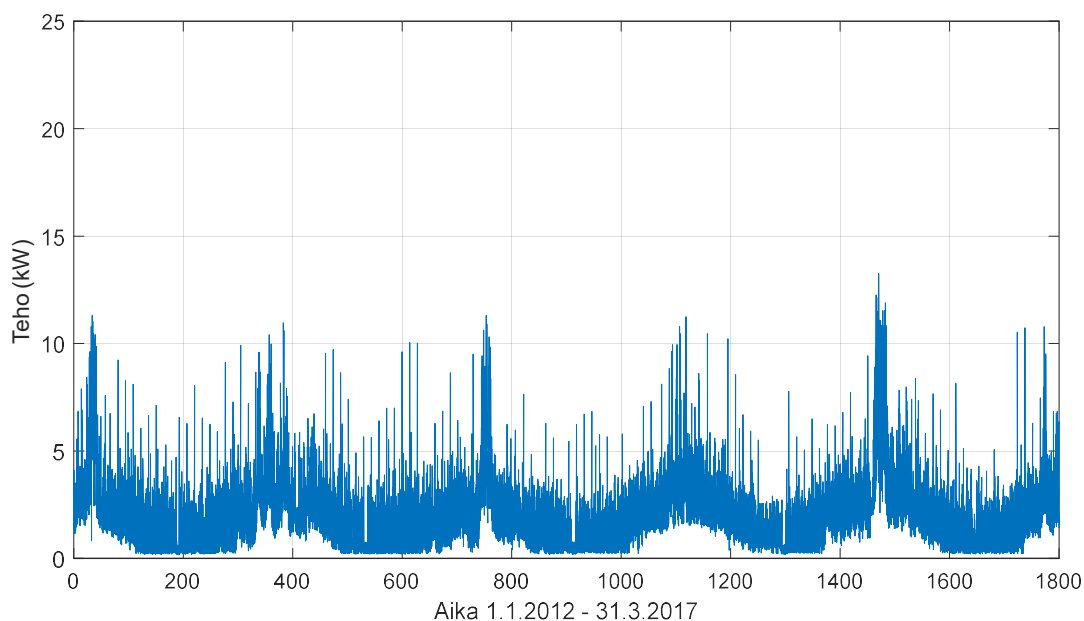
Tuntitehokäyrällä voidaan huomata tehotasojen kaksinkertaistuminen; 2,5 kW huipputehosta noin 5 kW huipputehoon. Myös tässä kohteessa maalämpöpumppua käytettiin asennuksen yhteydessä pelkillä lisävastuksilla, joka aiheuttaa piikin lämmitystavan vaihdon kohdalle. Kohteessa oli maalämpöpumpun 500 W lisälämmitysvastus kytketty tarpeettomasti päälle maalämpöpumpun asennuksen yhteydessä. Tästä johtuen vuosina 2013-2015 tehokäyrä pysyy aiemman pohjatehon yläpuolella lämmitysvastuksen tehon verran, eli noin yhdessä kilowatissa.

4.4.4 Kohde 7

Kohde 7 on noin 170 m² omakotitalo, joka on rakennettu vuonna 1958. Kohteessa asuu kuusi henkilöä ja on puukiuas. Päätoiminen lämmitystapa on vaihdettu maalämpöpumpuun (Thermia 9,4 kW) ennen tarkastelujakson alkamista. Lämmönjakotapana on vesikiertoinen patterijärjestelmä ja kylpyhuoneissa vesikiertoinen lattialämmitys. Liittymän sähkönkulutus on noin 16 000 kWh vuodessa ja keskituntiteho 1,85 kW.

Kuviossa 8 on esitetty kohteen 7 tuntitehokuvaaja tarkastelujaksolla. Käyrämuoto on hyvin samanlainen, kuin kohteen 3 maalämpöön muuttamisen jälkeen (KUVIO 6). Kohteen

tuntitehokäyrällä on piikkimäisiä tehoja ympäri vuoden, jotka johtuvat maalämpöpumpun päälle kytkennöistä ja muista samanaikaisista tehoista kohteessa.



KUVIO 8. Kohteen 7 tuntitehokäyrä 2012-2017

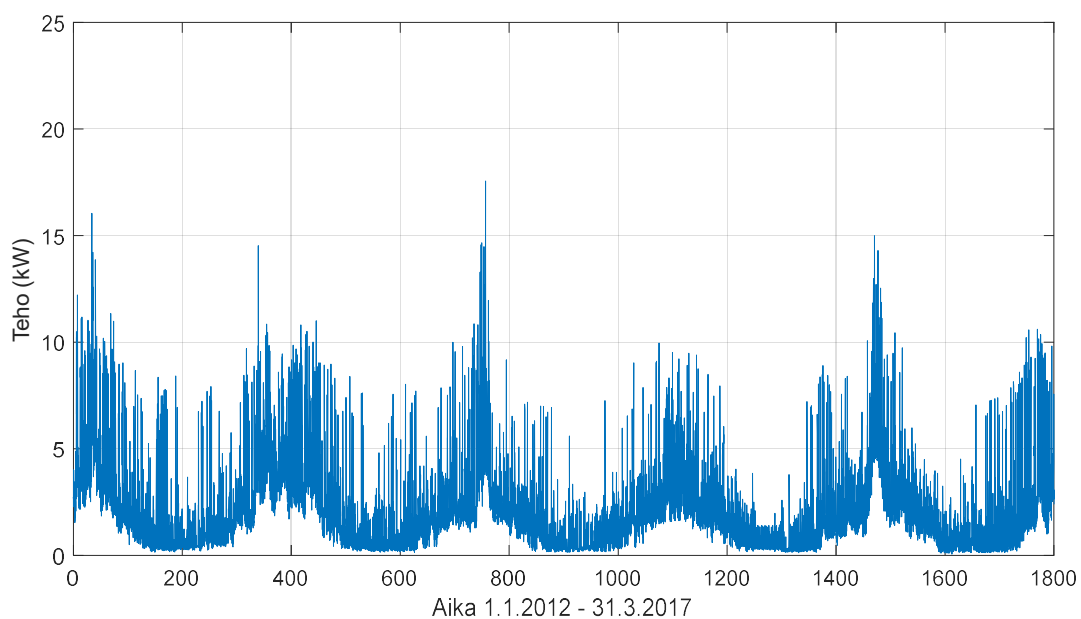
4.4.5 Kohde 8

Kohde 8 on 1954 rakennettu noin 170 m² purueristeinen rintamamiestalo. Talossa asuu kaksi ihmistä ja kohteessa on puu- sekä sähkökiuas. Kohteen lämmitysjärjestelmä on vaihdettu maalämpöjärjestelmään vuonna 2009. Maalämpöjärjestelmän lämmönjakotapa on vesikiertoinen patterilämmitys. Liittymän sähkönkulutus on noin 16 000 kWh vuodessa ja keskituntiteho 1,83 kW.

Kuviossa 9 on esitetty kohteen 8 tuntitehokuvaaja tarkastelujaksolla. Käyrämuoto on haka-kaava, kuten aiemmin esiteltyissä maalämpöpumpullisissa kohteissa, jonka aiheuttaa maalämpöpumpun päälle kytkentä. Tuntiteho on parhaimmillaan noin 17,5 kW, joka vastaa virtana aiemmin esiteltyllä tehokertoimella ohmin lain mukaan

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi} = \frac{17\,500 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,92} = 27,4 \text{ A.}$$

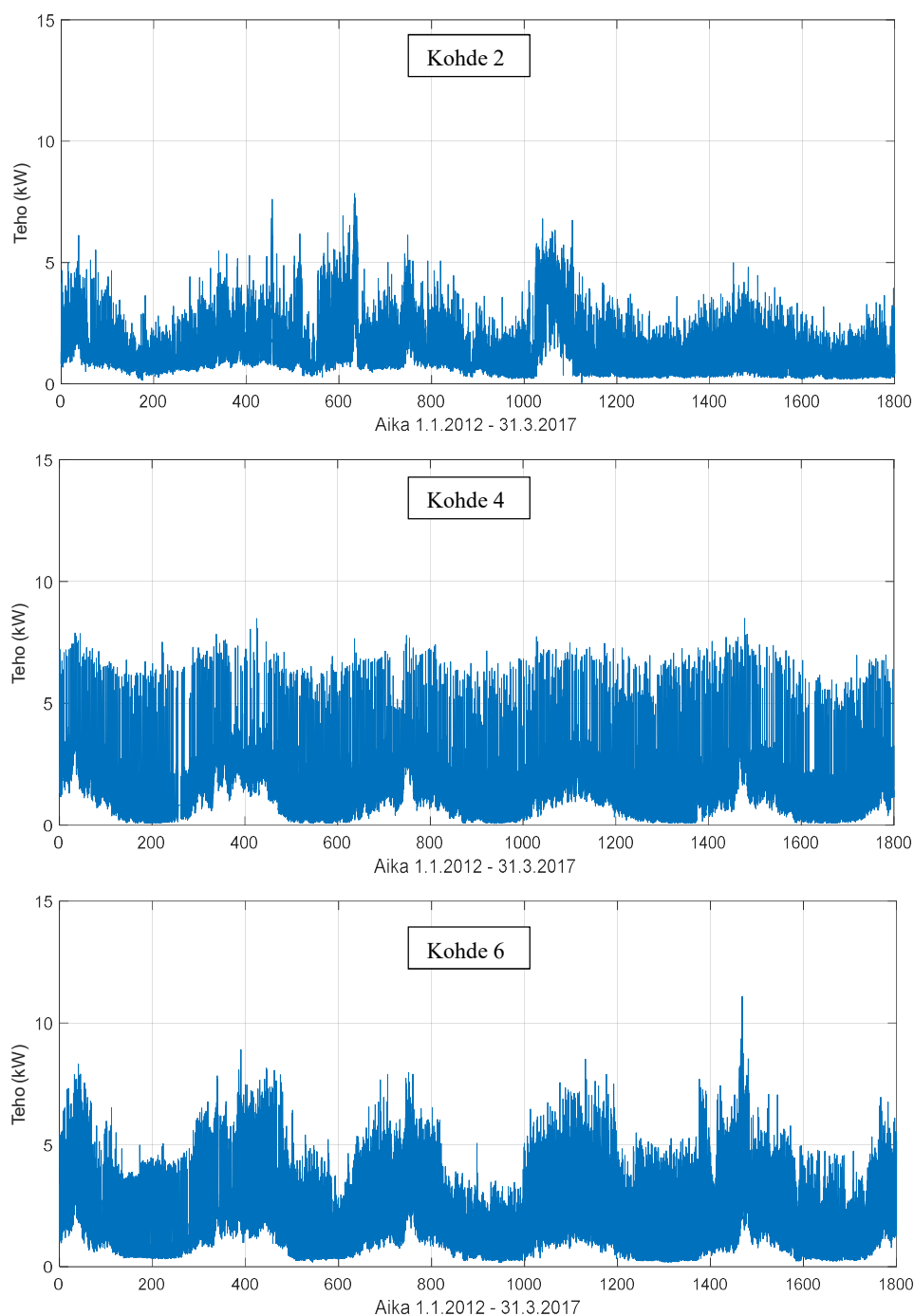
Kohteessa on 35 A pääsulakkeet, joten tuntitehon mukaan laskettu virta ei ylitä liittymis-oikeutta. Tuntiteho ei kuitenkaan kerro maksimitehoa, jonka takia laskettua virtaa ei pysty suoraan vertaamaan pääsulakkeisiin.



KUVIO 9. Kohteen 8 tuntitehokäyrä 2012-2017

4.4.6 Kohteet 2, 4 ja 6

Kohteita 2, 4 ja 6 ei käyty haastattelemassa, mutta näiden tuntitehokäyrät on kuitenkin esitetty kuviossa 10. Trimble NIS:n mukaan kohteissa 2 ja 4 on suora sähkölämmitys ja kohteessa 6 osittain varaava sähkölämmitys. Tehohuippujen korkeudesta päätellen, nämä kohteet eivät ole kovinkaan suuria kohteita lämmityspinta-alaltaan. Kohteessa 4 on huomattavasti tasaisempi teho tarkastelujaksolla, kuin kohteissa 2 ja 6, joka viittaa suoraan sähkölämmitykseen. Kaikkien kohteiden tehot ovat kuitenkin tasaisia, ja verraten aikaisempiin maalämpöpumpullisten pientalojen tuntitehokäyriin, ei näissä todennäköisesti ole maalämpöpumppuja lämmitysjärjestelmänä.

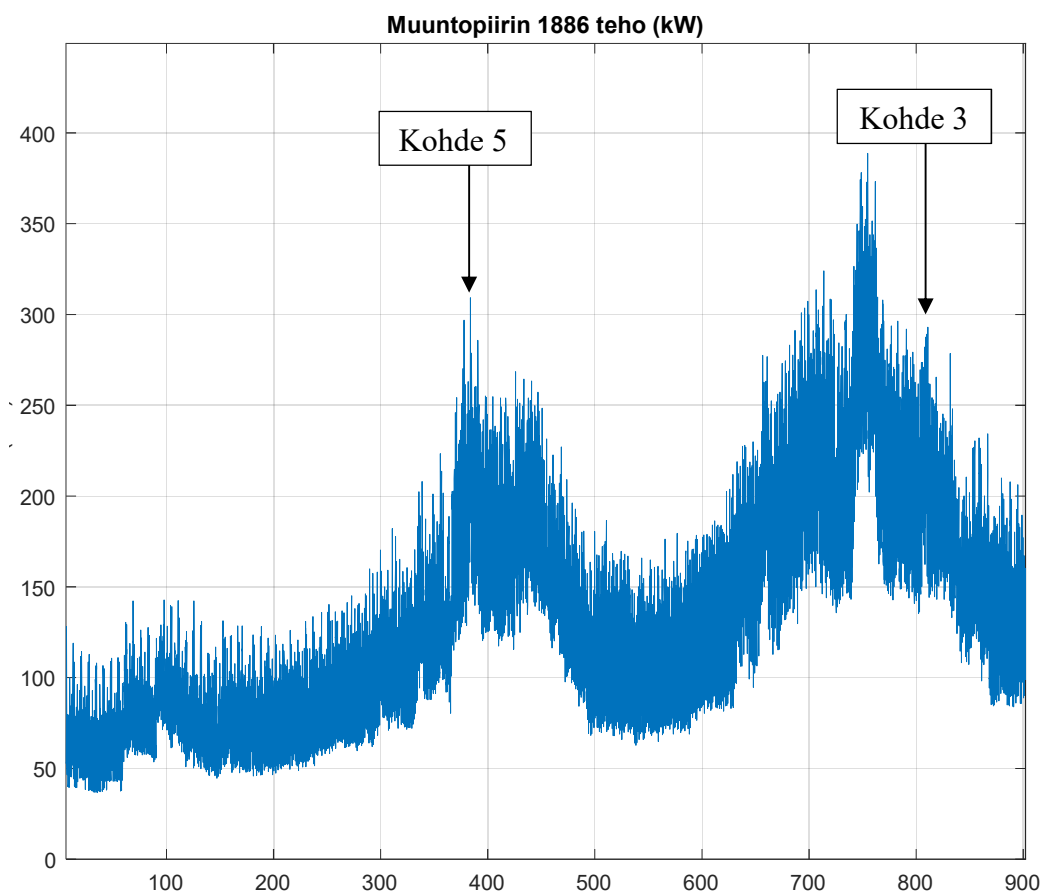


KUVIO 10. Kohteiden 2, 4 ja 6 tarkastelujakson tehokuvaajat

4.4.7 Lämmitystapamuutosten näkyminen muuntopiirin tehokäyrällä

Kahden kohteen lämmitystapamuutokset sijoittuivat tarkastelujaksolle. Kuviossa 11 on esitetty alkuosa muuntopiirin tehosta, ja nuolilla merkitty muutoksia lämmitystavoissa tutkittavien kohteitten osalta. Ensimmäisen nuolen osoittamassa tehuipussa muuntopiirillä sijaitsevan kohteen 5 lämmitystapa muutettiin maalämpöön. Kohteen 5 lämmitysta-

pamuutos sijoittui talvelle 2013, jolloin tehotasot ovat muutenkin korkealla. Toisen vuoden kärki taas osoittaa kohteen 3 muuttumista maalämpöön. Tällaiset muun huippukuorman päälle sijoittuvat tehohiiput nostavat verkolta vaadittavaa tehoa suurimman tehotarpeen aikaan.



KUVIO 11. Kohteiden 3 ja 5 muuttuminen maalämpöön

Lämmitystavan muutokset näkyvät selvästi tehokäyrällä, vaikkakaan eivät koko muuntopiirin mittakaavassa ole merkittäviä. Vaikutus on suurempaa pidemmällä aikajänteellä, kun tehotasot nousevat.

4.5 Verkostosuositusten mukainen tehon mitoitus

Laskettaessa nykyisen verkon kuormituksia, kuormituskäyräpohjaiset verkostolaskentaohjelmistot käyttävät lähtötietoinaan kuluttajan vuosienenergiaa, kuluttajan tyypistä riippuvaa kuormituskäyrää sekä sähköliittymän pääsulakkeen kokoa. (SA 2:08). Ohjelmistot käyttävät mallien pohjana verkostosuosituksessa SA 1:87 määritellyjä malleja, joita käytetään kiinteistöjen tehomitoituksessa. Verkostosuosituksen avulla saadaan karkea arvio

esimerkiksi pienjänniteverkon muuntopiirin huipputehoista, ja näiden avulla voidaan mitoittaa muuntajan teho muuntopiirille. (SA 1:87.)

Verkostosuosituksen mukaisia malleja hyödynnettiin tässä opinnäytetyössä, jotta voitiin verrata tehotasoa suunnitellun ja toteutuneen tehon kesken. Mitoituksessa käytetään sähköverkkoyhtiöiden toimesta tarkempia mitoitustapoja, mutta nämäkin pohjautuvat kyseiseen verkostosuositukseen. Tehokäyrien avulla voitiin tehdä vertailua liittymien tuntitehon ja muuntopiirin suunnittelussa käytettyjen suositusten kesken. (SA 1:87.)

SA 1:87 käsittelee mitoitustehojen laskemisen osalta kerrostalot ja suuret rivitalot, pientalot, vapaa-ajan asunnot, maatalouteen liittyvät kiinteistöt, teollisuuteen sekä palveluihin ja julkiseen kulutukseen liittyvät kohteet. Muuntopiirin alueella esiintyy vain pientaloja, joten mitoituksessa keskitytään tähän osaan verkostosuositusta. Pientaloihin kuuluvat omakotitalot ja pienet rivitalot. Tällaisissa kohteissa sähkönkäyttö keskittyy asumiseen, lämmitykseen, käyttöveden lämmittämiseen sekä kiukaaseen. (SA 1:87.)

Pientalojen mitoituksessa käytettävät mallit ovat muodostettu 1983 aloitetun kuormitusmittausaineiston pohjalta ja näissä malleissa eri kulutuslajit ovat jo yhdistetty. Mallien käyttö soveltuu yli neljä pientaloa käsitteleville ryhmille. Yksittäisen pientalon mitoituskellinen teho saadaan laskettua kertomalla ensin kohteena olevan pientalon pinta-ala neljällä, ja jakamalla pinta-alan avulla laskettu mitoitusteho neljällä. Seuraavissa kaavoissa on esitelty keskiarvohuipputehon mitoitussyhtälöt eri lämmitystavoille. Sähköverkkoyhtiöt käyttävät verkon mitoituksessa keskiarvohuipputehoa, joka vastaa toteutunutta tuntitehoa. Pientalon, jossa ei ole sähkölämmitystä ja on sähkökiuas, keskiarvohuipputeho $P_{ka.max}$ lasketaan seuraavasti,

$$P_{ka.max.1} = 10 + 26 \cdot A, \quad (1)$$

jossa A lämmitetty pinta-ala tuhansina neliömetreinä. Tätä lämmitystapaa sovelletaan vertailussa öljylämmitteiselle omakotitalolle. Myöhemmin esiteltävissä kuvaajissa kaavan mukaista käyrää nimitetään ”Lämmitystapa 1”. Vastaava huipputeho suoran sähkölämmityksen pientaloon, jossa käyttöveden lämmitys on jatkuva, tai käyttöveden lämmitys tapahtuu yöllä ja pientalossa on sähkökiuas, keskiarvohuipputeho lasketaan seuraavasti,

$$P_{ka.max.2} = 10 + 64 \cdot A. \quad (2)$$

Kaavan 2 mukaista käyrää nimitetään myöhemmin nimellä ”Lämmitystapa 2”. Suoralle sähkölämmitykselle, jossa käyttöveden lämmitys tapahtuu yöllä ja pientalossa ei ole sähköiuasta, tai näiden aiheuttamia tehoja vuorotellaan, keskiarvohuipputeho lasketaan kaavalla

$$P_{ka.max.3} = 10 + 49 \cdot A. \quad (3)$$

Kaavan 3 mukaista käyrää nimitetään myöhemmin nimellä ”Lämmitystapa 3”. Varaavalle sähkölämmitykselle voidaan huipputeho laskea tarkemmin, jos pientaloon varaustehtot tiedetään, mutta jos näitä ei tiedetä, lasketaan keskiarvohuipputeho seuraavasti,

$$P_{ka.max} = 10 + 220 \cdot A. \quad (4)$$

Kaavaa 4 ei käytetty laskennoissa, koska tutkittavissa kohteissa ei ollut varaavaa sähkölämmitystä käytössä. (SA 1:87.) Taulukkoon 2 listattiin lämmitystavat ja niitä vastaavat selitteet myöhemmin esitettävien kuvaajien tulkinnan helpottamiseksi.

TAULUKKO 2. Lämmitystapojen selitteet

Lämmitystapa	Selite	Kaava
1	Pientalo, jossa on sähkökuuas, mutta ei sähkölämmitystä (öljylämmitys)	1
2	Suora sähkölämmitys, jossa käyttöveden lämmitys on jatkuvaa, tai se tapahtuu yöllä ja on sähkökuuas	2
3	Suora sähkölämmitys, jossa käyttöveden lämmitys tapahtuu yöllä ja talossa ei ole sähkökuuasta, tai näiden aiheuttamia tehoja vuorotellaan	3

Huipputehojen avulla voidaan pientaloille piirtää vuorokausikäyrät (SA 1:87). Nämä vuorokausikäyrät digitalisoitiin verkostosuosituksesta ja verrattiin toteutuneisiin tehoihin vuosina 2012 ja 2016. Digitalisointi tehtiin taulukkomuotoon, joka siirrettiin MATLAB:iin.

Vuoden 2012 tutkittavaksi vuorokaudeksi valittiin lauantai 28.1.2012 ja vuoden 2016 vuorokaudeksi lauantai 9.1.2018. Päiviä valittaessa pyrittiin siihen, että tehohuiput esiintyisivät kaikissa kohteissa tuona päivänä. Päiviksi valittiin lauantait, koska tuolloin verkostosuosituksen mukaan esiintyy suurimmat tehot ja vertailuun saadaan mukaan kertomella 1 oleva teho (laskennallinen keskiarvohuipputeho).

Vertailua tehtiin vain niihin kohteisiin, joista tiedettiin haastattelujen perusteella kohteen lämmitettävä pinta-ala. Tällaisia kohteita olivat kohteet 1, 3, 7 ja 8. Opinnäytetyön kannalta tärkeimmät kohteet näistä ovat 3, 7 ja 8, koska näissä kaikissa on maalämpöpumppu päätoimisena lämmitystapana. Myös kohde 1 on hyvä ottaa vertailuun, koska sitä vasten voidaan verrata suoran sähkölämmityksen ja maalämpöjärjestelmän eroja. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään ja analysoidaan kunkin kohteen mitoituksellisten ja toteutuneiden tehojen eroja, sekä käyrämuotoja.

Kohteille 3 ja 8 määritettiin vuorokausikohtaisen tehokäyrän lisäksi vuosikohtainen tehokäyrä. Vuosikohtaista tehokuvaajaa varten jokaiselta viikolta etsittiin maksimiteho tuntitehodatasta, koska vuosittaiset tuntitehokäyrät olivat annettu viikoittaisina tehoina. Näitä verrattiin verkostosuositusten mukaisiin vuosittaisiin keskiarvohuipputehoihin.

4.5.1 Kohde 1

Kohteessa 1 on suora sähkölämmitys ja sähkökiuas. Haastattelun ja Trimble NIS:n mukaan kohteessa olisi suora sähkölämmitys, joten vertailuun otettiin vuosien 2012 ja 2016 lämmitystapaa vastaavat ja toteutuneet tehokäyrät.

Lämmitystapoja vastaavat käyrät piirretään edellä mainitun mukaisesti verkostosuosituksessa SA 1:87 esiteltyjen käyrien ja lämmitystapaa vastaavan keskiarvohuipputehon avulla. Keskiarvohuipputeho määrittyy suoraan kullekin lämmitystavalle lämmitettävän pinta-alan perusteella. Kohteen lämmitettävä pinta-ala on 160 m², joten lämmitystapaa 2 vastaava keskiarvohuipputeho on kaavan 2 mukaisesti

$$P_{ka.max.2} = 10 + 64 \cdot \frac{160 \text{ m}^2}{1000 \text{ m}^2} = 12,74 \text{ kW},$$

ja lämmitystapaa 3 vastaava keskiarvohuipputeho on kaavan 3 mukaisesti

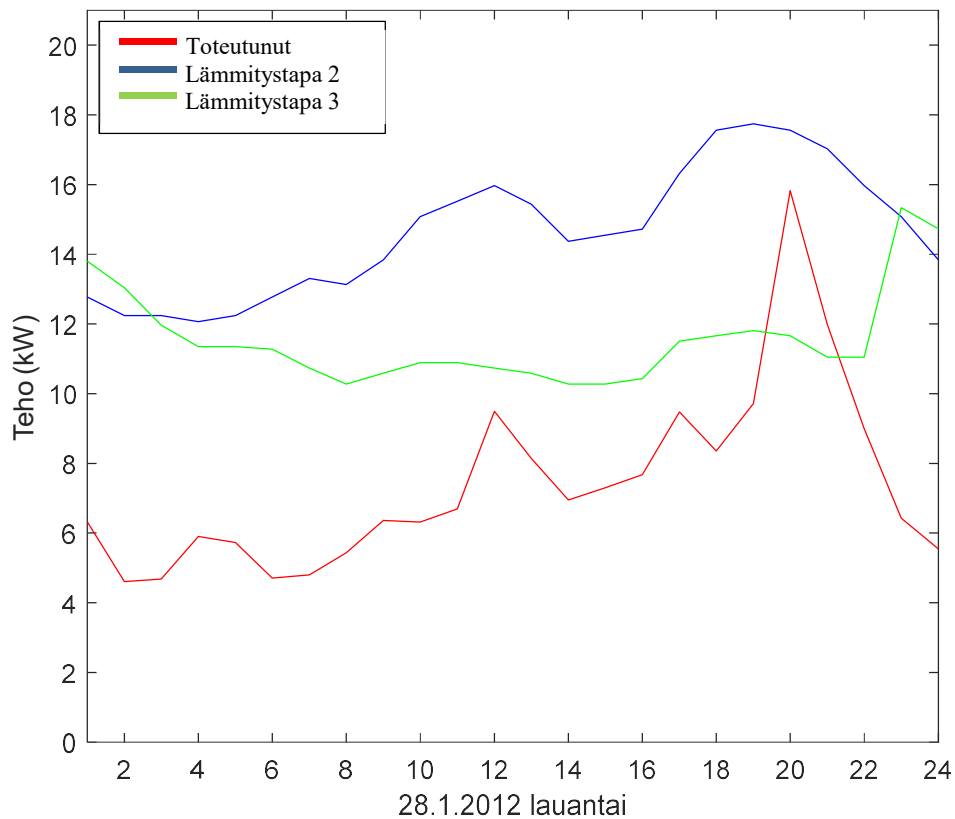
$$P_{ka.max.3} = 10 + 49 \cdot \frac{160 \text{ m}^2}{1000 \text{ m}^2} = 10,34 \text{ kW}.$$

Verkostosuosituksesta taulukkomuotoon digitalisoidut keskiarvohuipputehon kertoimet kullekin vuorokauden tunnille ja niiden avulla lasketut lämmitystapaa 2 ja 3 tehot on esitelty taulukossa 3. Taulukkoon lisättiin myös lämmitystapaa 1 vastaavat kertoimet, joita käytetään muissa kohteissa. Taulukon arvoista piirrettiin kuvioihin 12 ja 13 lämmitystapojen 2 ja 3 mukaiset mitoitukselliset käyrät. Samalla tavalla määritettiin myös muiden kohteiden mitoitustehöt. Kertoimet ovat siis lämmitystapakohtaiset, ja muuttujana eri kohteilla on lämmitystapaa vastaavan kaavan ja lämmitettävän pinta-alan avulla laskettu keskiarvohuipputeho.

TAULUKKO 3. Lämmitystapoja vastaavat kertoimet ja tehot

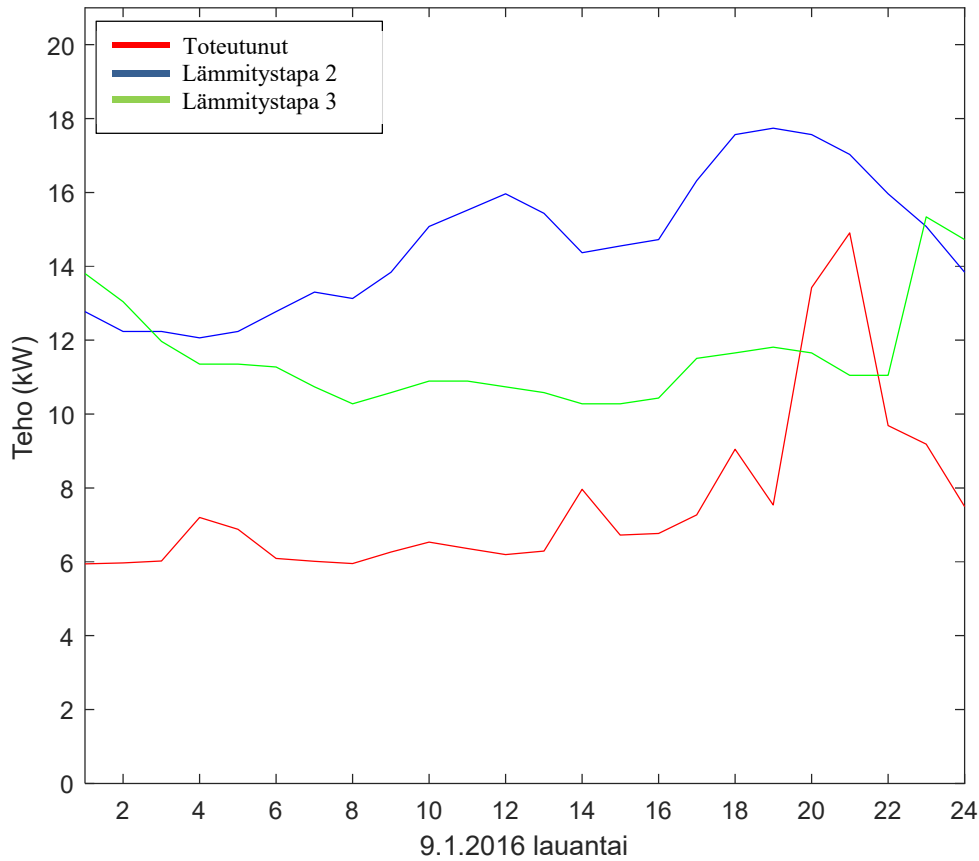
	Pka.max.2 = 12,74 kW		Pka.max.3 = 10,34 kW		
	LÄMMITYSTAPA 2		LÄMMITYSTAPA 3		LÄMMITYSTAPA 1
Aika (h)	Kerroin	Teho (kW)	Kerroin	Teho (kW)	Kerroin
1	0,72	9,1728	0,9	9,306	0,22
2	0,69	8,7906	0,85	8,789	0,2
3	0,69	8,7906	0,78	8,0652	0,195
4	0,68	8,6632	0,74	7,6516	0,19
5	0,69	8,7906	0,74	7,6516	0,195
6	0,72	9,1728	0,735	7,5999	0,23
7	0,75	9,555	0,7	7,238	0,21
8	0,74	9,4276	0,67	6,9278	0,24
9	0,78	9,9372	0,69	7,1346	0,24
10	0,85	10,829	0,71	7,3414	0,18
11	0,875	11,1475	0,71	7,3414	0,17
12	0,9	11,466	0,7	7,238	0,18
13	0,87	11,0838	0,69	7,1346	0,18
14	0,81	10,3194	0,67	6,9278	0,18
15	0,82	10,4468	0,67	6,9278	0,195
16	0,83	10,5742	0,68	7,0312	0,23
17	0,92	11,7208	0,75	7,755	0,31
18	0,99	12,6126	0,76	7,8584	0,47
19	1	12,74	0,77	7,9618	0,6
20	0,99	12,6126	0,76	7,8584	0,6
21	0,96	12,2304	0,72	7,4448	0,51
22	0,9	11,466	0,72	7,4448	0,31
23	0,85	10,829	1	10,34	0,28
24	0,78	9,9372	0,96	9,9264	0,25

Kuviossa 12 on esitetty kohteen 1 tehot ajan funktiona, jossa tehot on esitetty kilowatteina ja aika tunteina. Punainen viiva on toteutunut tuntiteho, sininen viiva lämmitystapaa 2 ja vihreä lämmitystapaa 3 vastaava mitoituksellinen keskiarvohuipputeho. Kuvioista huomataan, että vain illalle sijoittuva tehopiikki ylittää lämmitystapaa 3 vastaavan tehon. Kohteessa on suora sähkölämmitys, mutta silti kumpikaan suoraa sähkölämmitystä kuvaavista käyristä ei vastaa toteutunutta tehoa käyrämuodoltaan.



KUVIO 12. Kohteen 1 mitoituksellinen ja 9.2.2012 toteutunut huipputeho

Vastaavaa mitoitusmallia vasten vertailtu tehokäyrä vuonna 2016 on esitetty kuviossa 13. Käyrän perusteella illalla tapahtuva tehohuippu ylittää lämmitystapaa 3 vastaavan tehokäyrän, kuten vuonna 2012. Tällainen hetkellinen tehon ylitys ei ole vielä yksittäiselle liittymälle suuri muuntopiiriä ajatellen. Jos tällaisia ylityksiä tapahtuisi paljon illan tehohuipun aikaan, näkyisi se selkeästi myös muuntopiirin tehossa piikkinä. Vuoden 2016 käyrä on käyrämuodoltaan lähempänä mitoitettuja tehoja kuin vuoden 2012 käyrä, mutta kuitenkin päiväsaikaan ja yöllä huomattavasti matalampi.

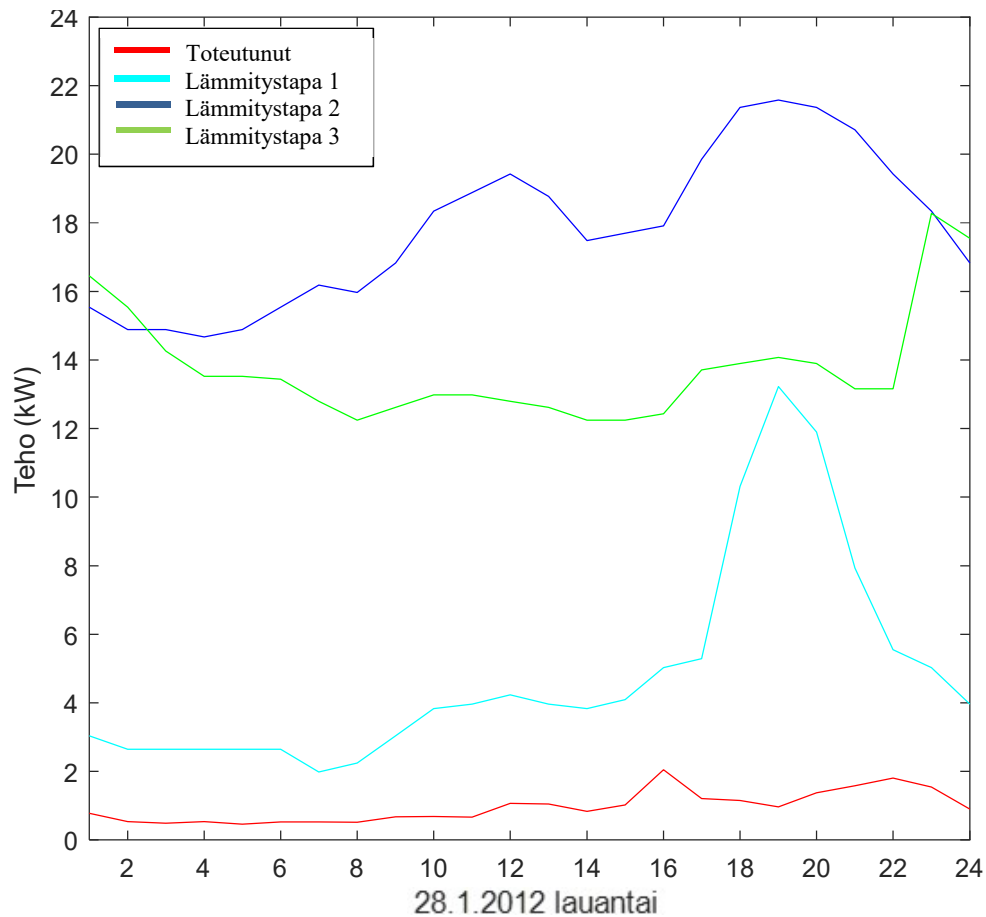


KUVIO 13. Kohteen 1 mitoituksellinen ja 4.1.2016 toteutunut huipputeho

4.5.2 Kohde 3

Kohteessa 3 lämmitystapa muuttui 2014 keväällä suorasta sähkölämmityksestä maalämpöpumppuun. Kohteessa on siis ollut haastattelun perusteella suora sähkölämmitys vuonna 2012, joten vertailuun voidaan ottaa molemmat suoraan sähkölämmitykseen sovellettavat käyrät.

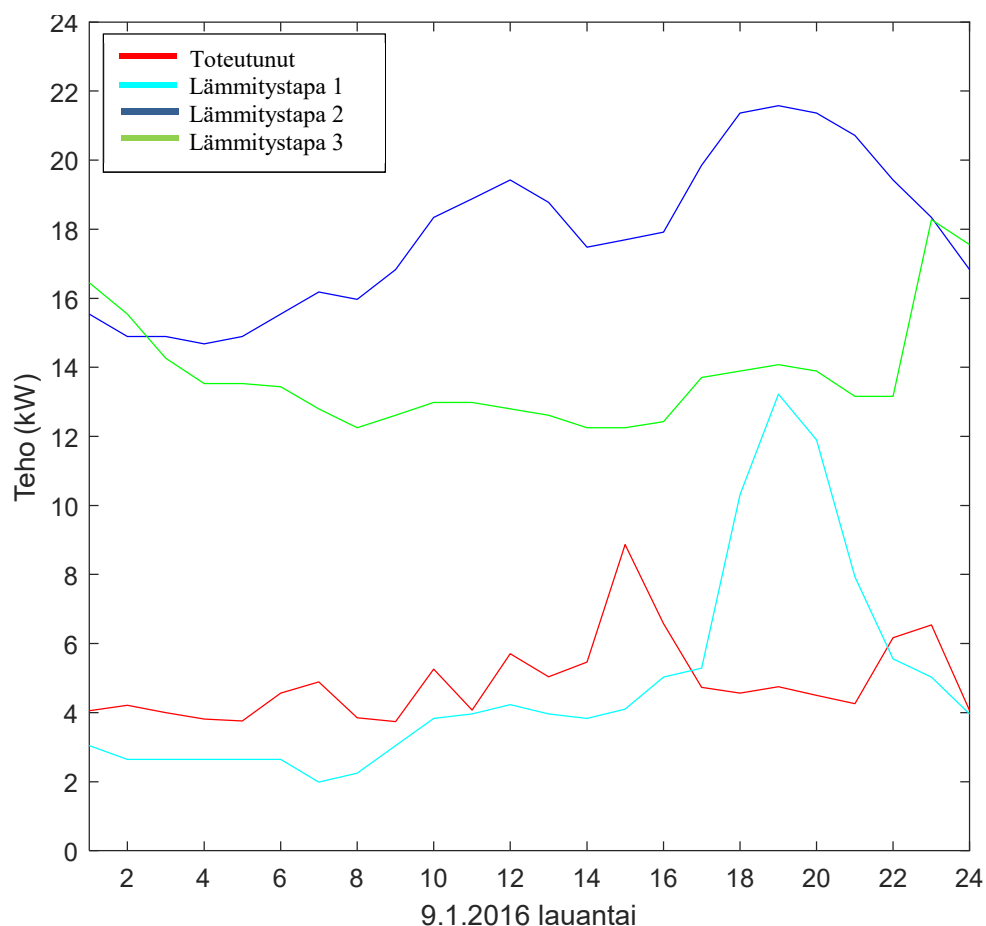
Koska tehot osoittautuivat hyvin mataliksi vuonna 2012, otettiin lisäksi mukaan käyrä, joka vastaa pientaloa ilman sähkölämmitystä. Eri lämmitystavat sovitettiin samaan kuvaajaan (KUVIO 14) vertailun helpottamiseksi. Kuvaajassa on turkoosilla lämmitystapaa 1 vastaava mitoituuskäyrä, sinisellä lämmitystapaa 2 vastaava mitoituuskäyrä ja vihreällä lämmitystapaa 3 vastaava mitoituuskäyrä ja.



KUVIO 14. Kohteen 3 mitoituksellinen ja toteutunut huipputeho 2012

Kuvaajasta huomataan heti, että kaikilla mitoitustavoilla kohteen mitoitusteho on liian suuri. Kohteessa on lämmitettävää pinta-alaa 220 m², jonka lämmitys vaatii talvella paljon sähkötehoa suoralla sähkölämmityksellä. Kohteessa on kaksi puulla lämmitettävää takkaa, joilla lämmitystehot saadaan matalammiksi. Kohteen mitoituksessa ei ole mitään ongelmaa tämän kaltaisilla tehoilla, koska toteutunut teho ei ole käytännössä lähelläkään mitoituksellisia käyriä.

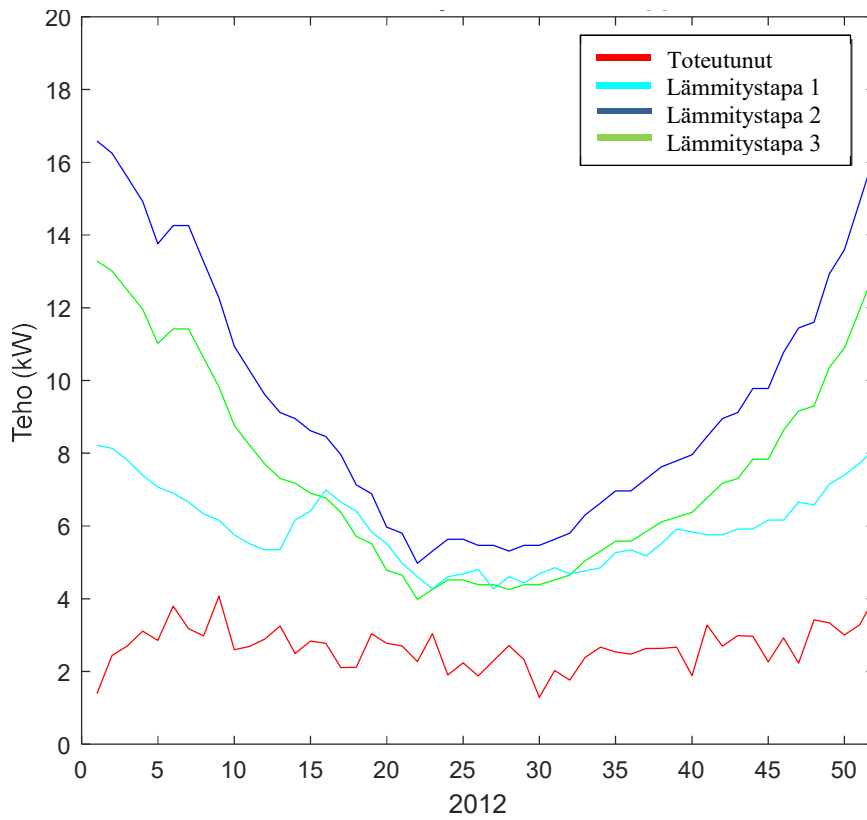
Samasta kohteesta vuoden 2016 yhdistetty tehokäyrä on esitetty kuviossa 15. Kuten aiemmin mainittiin, kohteessa oli tuona vuonna maalämpöpumppu. Toteutuneen huipputehokäyrän käyrämuoto on niin sanotusti hakkaava, joka viittaa suoraan maalämpöjärjestelmään.



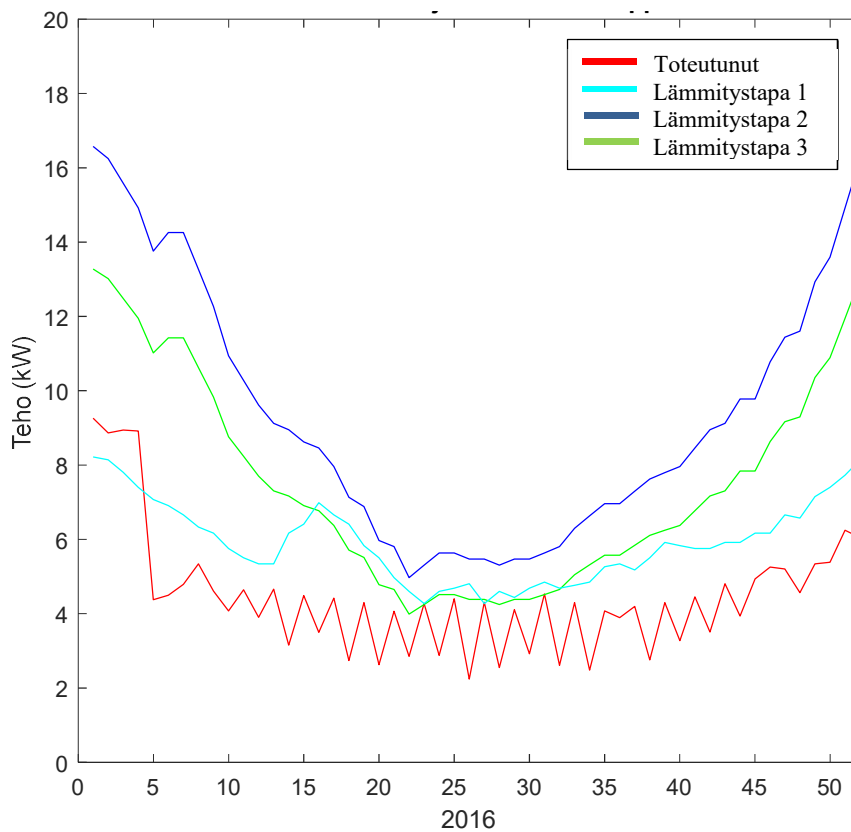
KUVIO 15. Kohteen 3 mitoituksellinen ja toteutunut huipputeho 2016

Kohteen toteutunut teho ylittää juuri ja juuri lämmitystapaa 1 vastaavan tehokäyrän päiväsaikaan, mutta illalle mitoitettu huipputeho on huomattavasti toteutunutta suurempi. Kohteen 3 tehot eivät siis muuntopiirille mitoitukseen verrattuna ongelmia aiheuta. Suorien sähkölämmityksien mitoitustehöt ovat huomattavasti ylimitoitettuja tälle kohteelle. Tämä johtuu jo aiemmin mainitusta suuresta pinta-alasta, joka kasvattaa mitoitusmallien tehot suuriksi.

Kohteesta 3 otettiin myös koko vuoden tuntitehot vuosilta 2012 ja 2016 ja näitä verrattiin mitoituksellisiin käyriin. Kuviossa 16 on esitetty vuoden 2012 mitoituksellisten keskiarvohuipputehojen ja toteutuneen tuntitehon käyrä, sekä vastaavat kuvaajat vuodelta 2016 kuviossa 17. Kohteessa ei toteutunut käyrä ylittänyt suoran sähkölämmityksen käyriä kumpanakaan vuonna. 2016 toteutunut käyrä ylittää lämmitystapaa 1 vastaavan käyrän vuoden alussa, mutta muutoin pysyy kaikkien mitoituskäyrien alapuolella. Vuoden 2016 alussa oli pidempikestoiset noin -25° pakkaset, jotka aiheuttivat tämän tehon nousun.



KUVIO 16. Kohteen 3 mitoituksellinen keskiarvohuipputeho ja toteutunut tuntiteho koko vuodelta 2012

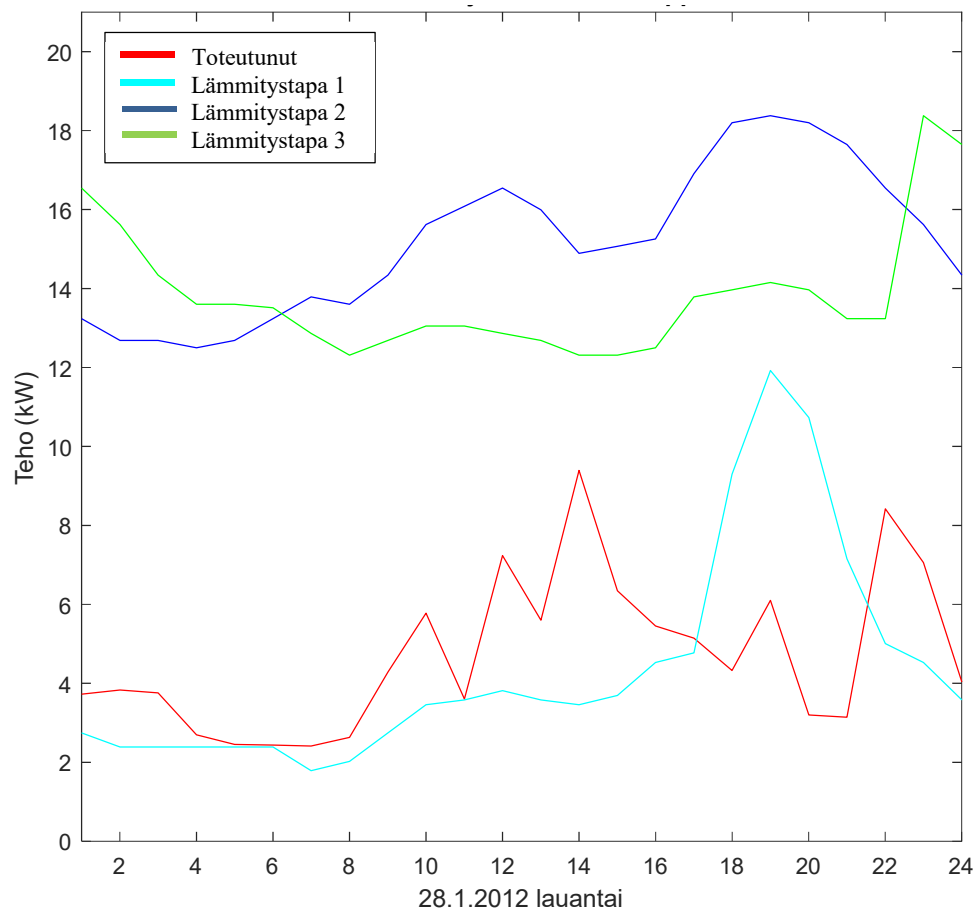


KUVIO 17. Kohteen 3 mitoituksellinen keskiarvohuipputeho ja toteutunut tuntiteho koko vuodelta 2016

4.5.3 Kohde 7

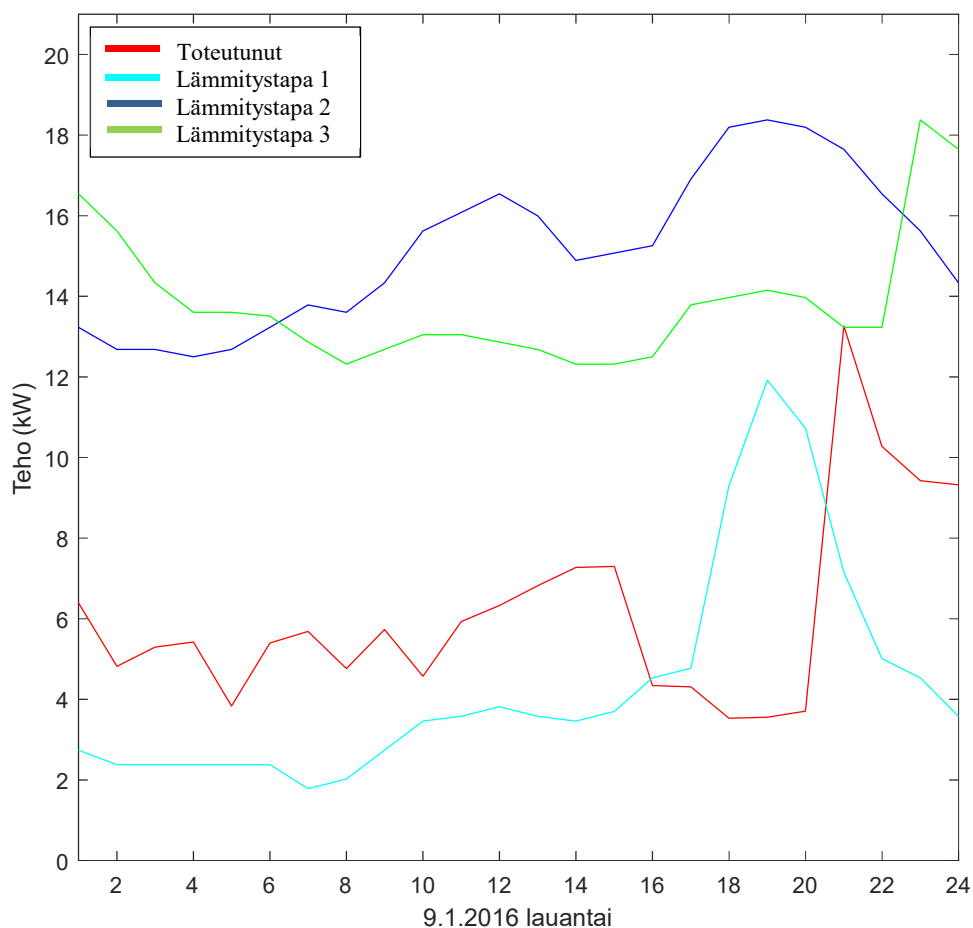
Kohteen 7 lämmitystapa oli koko tarkastelujaksolla maalämpöpumppu. Trimble NIS:n mukaan kohteessa olisi alle 7000 kWh vuotuinen energiamäärä. Vertailuun otettiin myös pientalo ilman sähkölämmitystä, koska kiinteistössä on ollut todennäköisesti öljylämmitys ennen maalämpöpumppua. Kohde on todennäköisesti mitoitettu lämmitystavan 1 mukaisesti.

Kuviossa 18 on esitetty vuoden 2012 mitoituksellinen ja toteutunut huipputeho. Kuvaajan perusteella toteutunut teho ylittää mitoituskäyrän päiväsaikaan ja yöllä. Mitoitetun tehon tehohuippu on kuitenkin huomattavasti noin 3 kW korkeampi kuin päivällä tapahtuva tehohuippu. Päivän tehohuippu ei suoraan aiheuta ongelmia, ellei samaan aikaan muilla liittymillä oteta tehoa. Suoraan sähkölämmitykseen verraten käyrä pysyy koko vuorokauden reilusti alapuolella.



KUVIO 18. Kohteen 7 mitoituksellinen ja toteutunut huipputeho 2012

Vuoden 2016 kuvaajassa (KUVIO 19) huomataan, että toteutunut käyrä ylittää lämmitystavan 1 mukaisen käyrän. Teho on korkeampi kuin mitoitettu lämmitystavan 1 mukaisessa tehossa, ja on ajoittunut 2 tuntia myöhemmäksi. Teho on päivän aikana karkeasti kaksi kertaa suurempi, kuin mitoituksellinen teho 00-14 välillä ja huippu noin 3 kW mitoituskäyrän huippua suurempi. Myös vuonna 2016 suoran sähkölämmityksen mallit ovat reilusti suurempia, kuin toteutunut tehokäyrä.

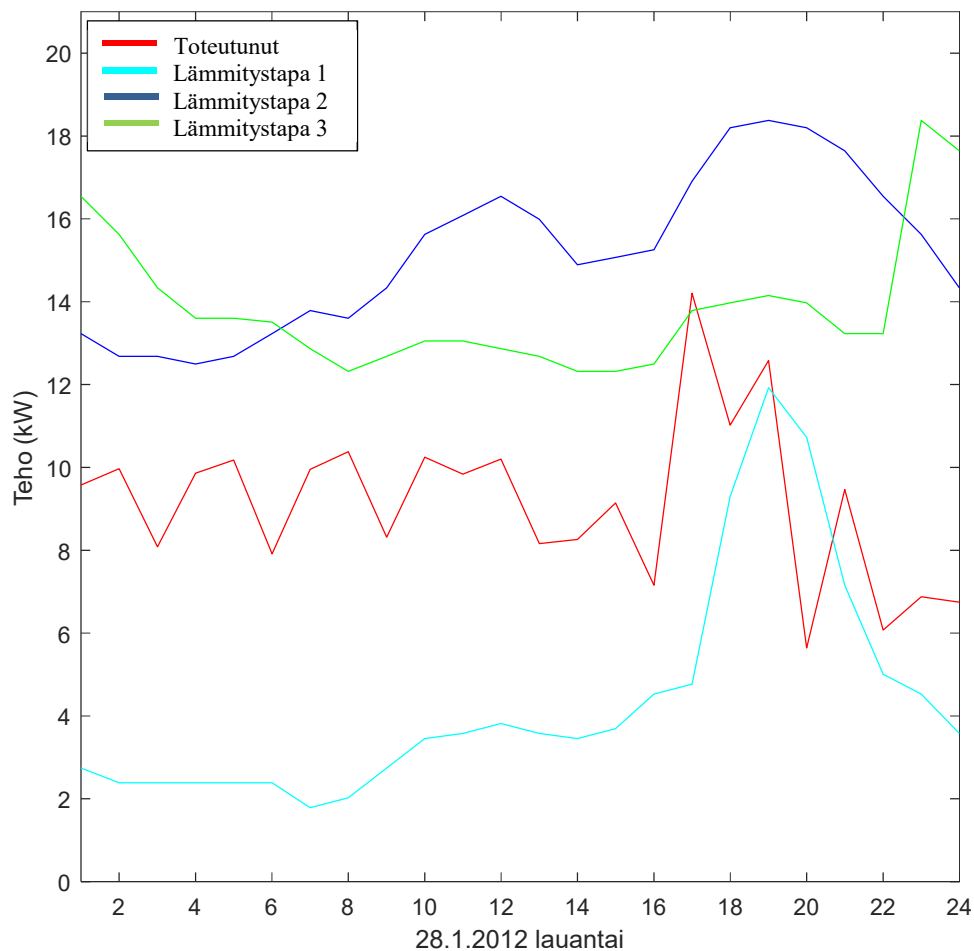


KUVIO 19. Kohteen 7 mitoituksellinen ja toteutunut huipputeho 2016

4.5.4 Kohde 8

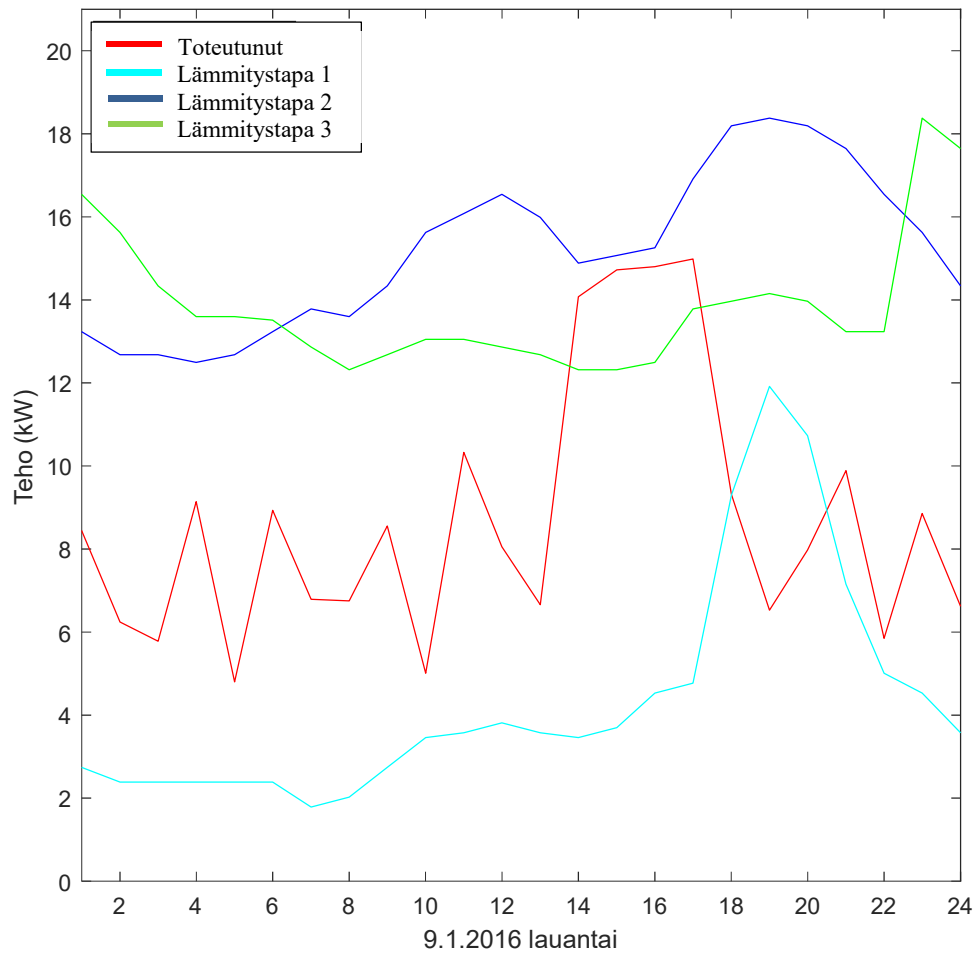
Kohteessa 8 on ollut koko tarkastelujakson päätoimisena lämmitystapana osatehoiseksi mitoitettu maalämpöpumppu. Kohteessa on myös lisälämmitystapana ilmalämpöpumppu ja sähkö- sekä puukiuas. Kohteessa on ollut ennen sähkölämmitystä öljylämmitys, jolloin mitoitus on todennäköisesti tehty lämmitystapaa 1 vastaavan käyrän mukaisesti. Kuviossa 20 on esitetty kohteen 8 mitoituksellinen ja toteutunut huipputeho vuonna 2012. Toteu-

tuneen tehon huippu on noin 3 kW suurempi, kuin lämmitystapaa 1 vastaava käyrä. Kohteen teho on yöllä ja päiväsaikaan huomattavasti korkeampi, kuin lämmitystapaa 1 vastaava mitoitus-teho.



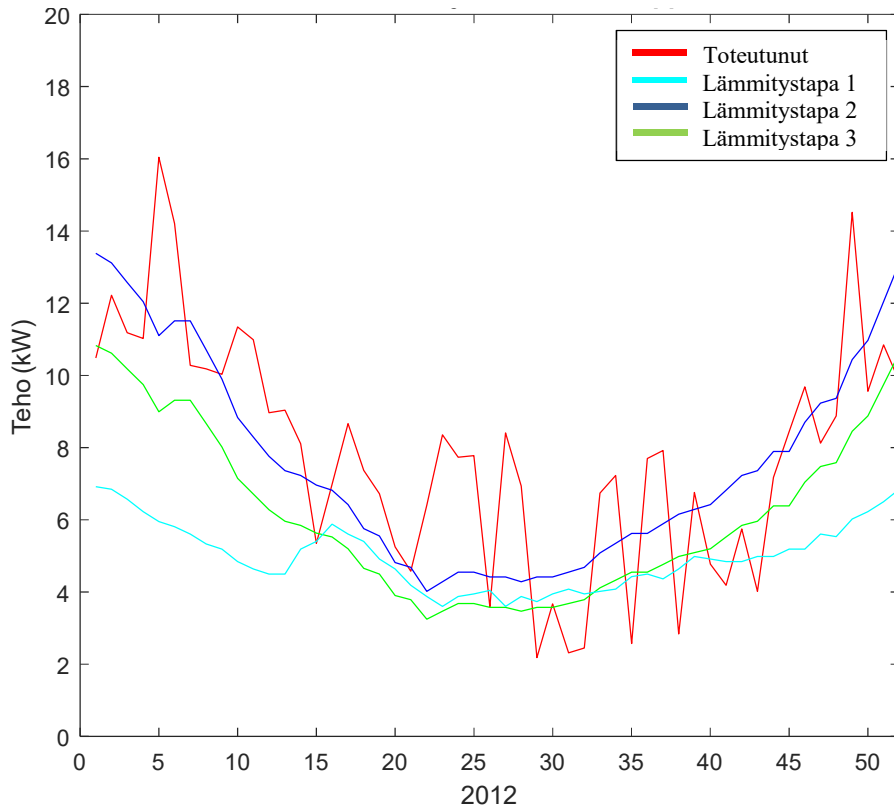
KUVIO 20. Kohteen 8 mitoituksellinen ja toteutunut huipputeho 2012

Saman kohteen, vuoden 2016 mitoituksellisten ja toteutuneen huipputehojen käyrät, ovat esitelty kuviossa 21. Toteutunut huipputeho on hieman korkeampi, kuin vuonna 2012, mutta kuitenkin käyrämuodoltaan samanlainen. Myöskin tässä kuvaajassa toteutunut huipputeho on ”Lämmitystapa 1” -käyrää suurempi. Kohde 8 on hyvä esimerkki siitä, kuinka suuri vaikutus verkosta otettavaan tehoon on muutettaessa lämmitystapa öljylämmityksestä maalämpöön.

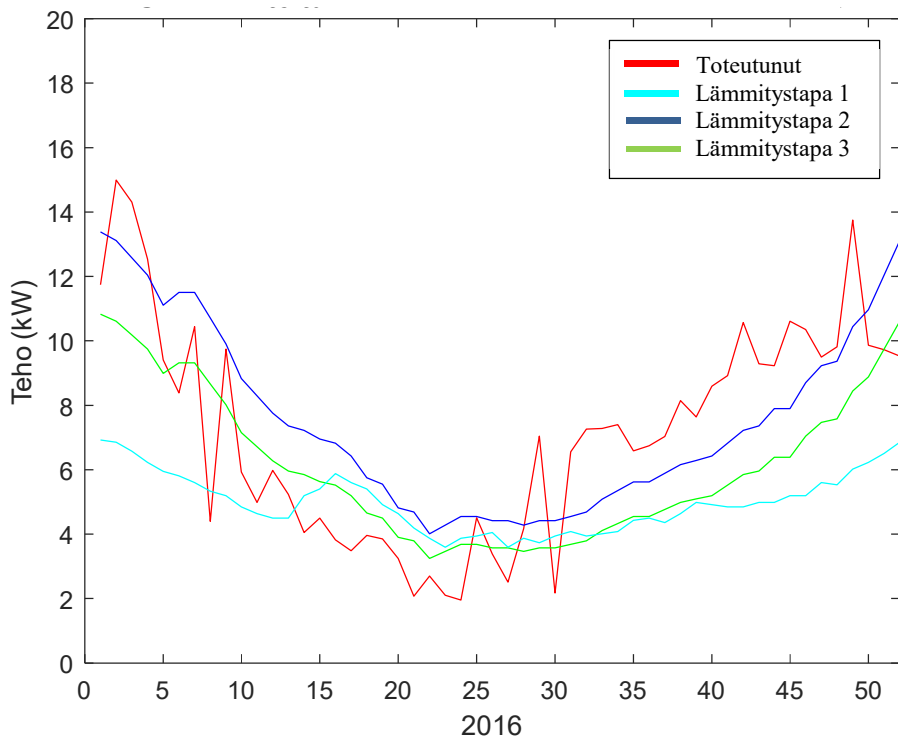


KUVIO 21. Kohteen 8 mitoituksellinen ja toteutunut huipputeho 2016

Myös kohteelle 8 tehtiin vuosikohtainen tehokäyrien vertailu. Kuviossa 22 on vuosikohtainen kuvaaja vuodelle 2012, ja kuviossa 23 vuodelle 2016. Tässä kohteessa molempina vuosina toteutunut tehokäyrä ylittää mitoitukselliset tehokäyrät. Kohteen teho on siis vuositasolla huomattavasti korkeampi, kuin mitä millään mitoitusmallilla on laskettu mitoituksellinen teho. Tämä viittaa siihen, että suorille sähkölämmityksillekään tarkoitettu mitoitus-teho ei kata kaikissa tapauksissa maalämpöjärjestelmän verkosta ottamaa tehoa.



KUVIO 22. Kohteen 8 mitoituksellinen ja toteutunut huipputeho 2012



KUVIO 23. Kohteen 8 mitoituksellinen ja toteutunut huipputeho 2016

4.5.5 Päätelmät tehokäyrien eroista

Kohteissa 3 ja 7 huomattiin, että mitoitukselliset tehokäyrät ovat huomattavasti toteutuneita tehokäyriä pienempiä. Kohteita yhdistää se, että ollaan siirrytty pienitehoisesta lämmitystavasta maalämpöpumppuun, joka ottaa tehoa piikkimäisesti ja hakkaavasti. Suurimmat erot tulevat siirryttäessä öljylämmityksestä maalämpöjärjestelmään. Tästä hyvä esimerkki on kohteen 8 mitoitettu ja toteutunut teho (KUVIOT 20 ja 21), jossa toteutunut teho käyrä on reilusti lämmitystapaa 1 vastaavan käyrän yläpuolella.

Lämmitykseen käytettävän tehon lisäksi tehoa käytetään myös muihin laitteisiin ja kiukaan lämmittämiseen. Kiukaan tehon osuminen samaan aikaan maalämpöpumpun käymisen kanssa aiheuttaa ilta-aikaan suuria piikkejä verkosta otettavaan tehoon.

Edellä esiteltyjen kuvioiden mitoitukselliset käyrämuodot eivät vastaa muodoltaan liittymien tehoja, joissa on maalämpöpumppujärjestelmä lämmitystapana. Jos uudet maalämpöpumpulliset taloudet mitoitetaan suoran sähkölämmityksen mukaan, saadaan mitoitus-teho kattamaan maalämpöpumpullisen liittymän tehon. Maalämpöpumppujen yleistyessä olisi sähköverkkoyhtiöiden hyvä olla hereillä, varsinkin öljylämmitysvaltaisien muuntopiirien kohdalla lämmitystapamuutoksista. Tällöin voitaisiin reagoida ajoissa muuntopiirin tehon tarpeen kasvamiseen.

Vuonna 2012 muuntopiiri jakautui ja tutkimuksen alla olleelle muuntopiirille tuli oma 500 kVA muuntaja, jolloin ollaan voitu laskea tehoja sen hetkisten kulutuksien mukaan. Vastaavanlaisessa muuntopiirissä, jossa muuntopiiri on pysynyt muuttumattomana pidempään, tällaiset tehotasojen nousuihin liittyvät ongelmat realisoituvat vakavammin.

4.6 Trimble NIS:n avulla tehty tehon mitoitus

Trimble NIS -verkonhallinta ohjelmalla pystytään laskemaan Trimblen mukaisen mallin huipputeho ja huipunkäyttöaika, jos vuotuinen sähköenergia tiedetään. Sähkölaitokselta saadusta tuntitehotiedoista voitiin etsiä vuoden maksimiteho ja verrata sitä Trimble NIS:n mallilla saatuun huipputehoon. Trimblellä saadut huipputehot eroavat verkostosuositusten malleista siksi, koska Trimblen laskennassa käytetään useampaa erilaista

mallia samalle lämmitystavalle, riippuen esimerkiksi vuosienenergiasta ja yösähköä hyödyntävien mallien kohdalla yöllä lämmitettävän käyttöveden prosentuaalisesta osuudesta. Tehot laskettiin Trimbleen ennalta syötetyn mallin perusteella.

Huipputehot vuosilta 2012 ja 2016, sekä näitä vastaavat Trimblen antamat huipputehot on listattu taulukkoon 4. Kohteesta 2 ei saatu tehotietoja Trimblen kautta, koska Trimblen mukaan kohde oli mallinnettu kahden eri mallin perusteella, joissa tehohuiput olivat suuresti toisistaan eroavat.

TAULUKKO 4. Trimble NIS:n ja toteutuneiden huipputehojen vertailu

Kohde	2012 (kW)		2016 (kW)	
	Trimble	Toteutunut	Trimble	Toteutunut
1	17620	15977	17880	20012
2	-	-	-	-
3	4510	4070	9220	9263
4	7260	7891	5790	8488
5	5750	3300	9560	6000
6	12900	8320	12930	11085
7	9930	11309	11130	13263
8	10890	16043	12510	14987

Vuonna 2012 kohteilla 4, 7 ja 8 toteutuneet huipputehot olivat suuremmat, kuin Trimblen mukaiset huipputehot. Kohteessa 8 ylitys oli reilusti suurempi, kuin kohteissa 4 ja 7, johtuen kohteessa tapahtuneesta lämmitystapamuutoksesta.

Vuonna 2016 kaikkien muiden kohteiden, paitsi 5 ja 6 huipputeho ylitti Trimblessä mitoitettua tehoa. Kohteessa 7 ja 8 ylitys on tapahtunut molempina vuosina ja näissä kohteissa aiempi lämmitystapa oli öljylämmitys. Kohteiden lämmitystapa vaihtui maalämpöjärjestelmään ennen tarkastelujaksoa. Mitoitusteho ylitettiin niin monessa kohteessa, että liittymätasollakin verkosta otettava teho on kasvamaan päin.

Trimblen mallit eivät välttämättä ole ajan tasalla, mutta niiden avulla päästään lähemmäksi muuntopiirin muutoksen yhteydessä mitoitettua tehoa. Trimblen malleissa ei ole omaa suoraan maalämpöjärjestelmälle sovellettavaa mallia, joka olisi hyvä ja ajankohdainen lisä mitoitusmallivalikoimaan.

5 YHTEENVETO

Lämpöpumppujen yleisyys pientalojen lämmitysjärjestelmissä kasvaa nykypäivänä paljon lämmityskustannuksien laskun ja ympäristöystävällisyytensä vuoksi. Lämpöpumppujärjestelmien yleistyvyys on ekologisesti hyvä asia ja myös kustannustehokas lämmitysjärjestelmä rakennuksen omistajien kannalta. Yleistyvyyteen tulisi reagoida ajoissa varsinkin pientaloalueilla, ja niiden aiheuttamat haitat verkolle tulisi tunnistaa ja niitä tulisi ennalta ehkäistä.

Lämpöpumpuilla on eri lämmönlähteet ja lämmönsiirtokohteet. Lämpöpumpputyypeistä maalämpöpumpulla on suurin vaikutus verkkoon, koska nämä pystytään mitoittamaan rakennuksen päälämmitysjärjestelmäksi.

Lämpöpumpuissa kompressoria pyörittävä oikosulkumoottori aiheuttaa suurimman vaikutuksen verkkoon. Oikosulkumoottori ottaa käynnistyessään 4-8 kertaisen virran nimellisivirtaansa nähden, ja pientalokohteissa ei tätä käynnistysvirtaa kompensoida mitenkään. Oikosulkumoottoria ajetaan ”on/off” -menetelmällä, jolloin moottori pyörii nimellisnopeuttaan aina, kun se on päällä. Tästä johtuen pientaloalueella sijaitsevassa muuntopiirissä tehoa otetaan piikkimäisesti, ja kertaantuessaan maalämpöpumppujen käynnistykset ja yhtäaikaiset käytöt aiheuttavat jännitteen alenemia, välkyntää ja pahimmassa tapauksessa muuntopiirin muuntajan palamisen. Näiden lisäksi kiuas ja muut laitteet aiheuttavat vieläkin korkeampia tehuippuja.

Tutkimuskohteena olleen muuntopiirin tuntitehokäyrä oli selvästi kasvava (KUVIOT 1 ja 2), joka viittaa lämmitystapamuutoksiin muuntopiirin liittymissä. Kohteilla 3 ja 5 tehotasot kaksinkertaistuivat siirryttäessä öljylämmityksestä maalämpöjärjestelmään (KUVIOT 6 ja 7). Verkkoa mitoittaessa muuntopiirin muuntaja mitoitetaan silloisien tehotasojen mukaan tietyllä kasvuvaralla. Muuntopiirin sisällä tapahtuvat lämmitysjärjestelmien muutokset kuitenkin voivat nopeuttaa tätä kasvua huomattavasti.

Kohteiden mitoituksellisia ja toteutuneita tehoja vertaillen huomattiin, että juurikin niissä kohteissa, joissa lämmitysjärjestelmä oli muutettu öljylämmityksestä maalämpöön, huomattiin suurimmat erot vertailukuvaajissa. Kohteessa 8 huomattiin suurimmat tunti-

tehon ylitykset mitoitetuista tehoista vuorokausitarkastelussa. Kohteen 8 kohdalla ylitettiin myös suoran sähkölämmityksen käyrät vuositasolla, joka viittaa siihen, että kaikissa tapauksissa ei edes suoran sähkölämmityksen mukaan mitoitettut käyrät riitä kattamaan maalämpöjärjestelmällisen pientalon ottamaa tehoa.

Ongelma eskaloituu muuntopiireissä, joissa on paljon öljylämmitysjärjestelmiä ja joissa naapurit innostavat toisiaan hankkimaan lyhyen ajan sisällä maalämpöjärjestelmiä. Muuntopiirin tehoja tulisi valvoa ennakoiden ja kerätä tietoa liittymien lämmitystapamuutoksista, jotta vältetään muuntajan vaurioitumiselta ylikuormitustilanteessa.

LÄHTEET

Hietalahti, Lauri. Teollisuuden sähkökäytöt. Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka. 2013.

Kartat. Fonecta. Hakupäivä 2.2.2018.
www.fonecta.fi/kartat

Käyttöohje Lämpöässä. Lämpöässä Oy. T/P 40-80 Käyttöohje. Luettu 10.2.2018. Saatavissa: <http://docplayer.fi/8388909-Kayttoohje-lampoassa-t-p-40-80.html>

Laitinen, Ari et al. 2011. Impacts of large penetration of heat pumps on the electricity use. Verkkodokumentti. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Luettu 15.1.2018. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2011/VTT-R-03174-11.pdf>

Lämpöpumppujen energialaskentaopas. 3.10.2012, Eskola, L, Jokisalo, J. Sirén, K. Aalto-yliopisto. Luettu 10.3.2018.

Lämpöpumput sähköverkossa. Imatran Seudun Sähkö ISSOY. Verkkodokumentti. Luettu 10.4.2018. Saatavissa: https://www.issoy.fi/sites/default/files/liitteet/lampopumput_sahkoverkossa.pdf

Maalämpö, 2018. Senera Oy. Luettu 10.3.2018.
<https://www.tomallensenera.fi/maalampo#maalampopumppu>

Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-keskusliitto 2002. Lämpöpumput. Ohjetiedosto. LVI 11-10332

SA 2:08. Verkostosuositus. Energiateollisuus Ry. Adato Energia Oy

Sulpu 2018. Lämpöpumput. Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. Hakupäivä: 10.3.2018.
<https://www.sulpu.fi/lampopumput>

SA 1:87. Verkostosuositus. Sähköenergialiitto ry SENER. Adato Energia Oy.

Välkyntä ja sen aiheuttajia sähköverkossa. PDF-diasarja. Seppo Suurinkeroinen. KSOY. Kymenlaakson Sähkö Oy. Saatavissa: <https://www.ksoy.fi/content/download/1762/21580/file/V%C3%A4lkynt%C3%A4+ja+sen+aiheuttajia+s%C3%A4hk%C3%B6verkossa.pdf>

Yliaalto-opus. Leena Korpinen. Opus. Luettu 2.2.2018. Saatavissa: <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf>