

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SÄHKÖLIITTYMIEN MITOITUSTEN VERTAILU JA OPTIMOINTI

TEKIJÄ Aleksi Mertanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Aleksi Mertanen			
Työn nimi Sähköliittymien mitoitusvertailu ja optimointi			
Päiväys	15.5.2022	Sivumäärä	65
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Sweco Talotekniikka Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä sähköenergian mittausdataa työn toimeksiantajana toimivan Sweco Talotekniikka Oy:n suunnittelemissa kohteista. Kerätyn datan avulla tavoitteena oli vertailla kiinteistöjen laskennallisia huipputehoja mitattuihin huipputehoihin. Vertailun avulla arvioitiin, kuinka paljon kiinteistöjen sähköliittymissä on ylikapasiteettia. Määritettyjen arvojen pohjalta tavoitteena oli pohtia, kuinka kyseisten kohteiden sähköliittymien mitoituksia voitaisiin optimoida, jotta tulevaisuudessa tätä työtä voitaisiin käyttää referenssinä muihin saman tyyppisiin kohteisiin. Lisäksi tarkasteltiin kiinteistöjen sähkönkulutusta ajan funktiona, jotta saataisiin käsitystä siitä, millaista vaihtelua kohteiden sähköliittymien kuormituksissa esiintyy. Työ rajattiin käsiteltävän aineiston osalta oppilaitoksiin, päiväkoteihin, asuinkerrostaloihin, myymälöihin ja terveydenhuollon kohteisiin.</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin tutkimustyönä, ja tutkimusmenetelmänä käytettiin määrällistä tutkimusta. Tutkimusta varten kerättiin valittujen kohteiden tuntimittausdata, kohteiden sähköliittymien pääsulakekoot, huipputeholaskelmat, pinta-alatiedot ja kohteiden rakennusvuodet. Kerätyn tuntimittausdatan ja huipputeholaskelmien luotettavuutta arvioitiin sähkötekniikasta näkökulmasta sekä asiaa koskevien lähteiden perusteella. Tuntimittausdata käsiteltiin ja kerätystä aineistosta muodostettiin kohdetyypeittäin taulukot, jotka analysoitiin tuloksiin purettavaksi materiaaliksi.</p> <p>Analyysin tuloksista muodostettiin kohdekohtaiset laskennallisten ja toteutuneiden huipputehojen vertailutaulukot sekä tuntikulutusdata tiivistettiin vuosi- ja viikkotasoisiksi tuntikulutuskuvaajiksi. Vertailutaulukoksi puretuista tuloksista määritettiin laskennallisten ja mitattujen huipputehojen prosentuaaliset erot, sekä tuntikulutuskuvaajiksi muodostetuista tuloksista arvioitiin, millaista kuormitusta kiinteistöissä esiintyy. Saaduista tuloksista tehdyt päätelmät ja huomioitavat asiat on esitetty työn tuloksissa, johtopäätöksissä ja yhteenvedossa.</p>			
Avainsanat Sähköliittymä, Huipputeho, Ylimiöittäminen, Ylikapasiteetti			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author Aleksi Mertanen	
Title of Thesis Comparison and Optimization of Electricity Connection Dimensioning	
Date 15 May 2022	Pages 65
Client Organisation /Partner Sweco Talotekniikka Oy	
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to collect electric power consumption data from different types of properties planned by Sweco Talotekniikka Oy. The collected data was used to estimate the overcapacity of the electricity connections of these properties. Based on estimated overcapacities the aim was to reflect how the dimensioning of the electricity connections could be optimized so that this thesis could be used in the future as a reference for other properties of the same type. In addition to estimating the overcapacity, the electric power consumption data was examined as a function of time to gain understanding of the load variation in the electric connections. The work was limited to educational institutions, kindergartens, apartment buildings, stores and healthcare facilities.</p> <p>The thesis was made as a research project, and quantitative research was used as a research method. Hourly measurement data, main fuse sizes, peak power calculations, area data and the construction years of the properties were collected for the study. The reliability of the collected hourly data and peak power calculations were assessed from an electrotechnical point of view as well as from relevant sources. Hourly measurement data was processed, and the data collected for the study was analyzed and converted into results.</p> <p>The results of the analysis were used to compare the calculated and realized peak powers of each property. In addition, hourly consumption data were transformed into annual and weekly hourly consumption graphs. The percentage differences between the calculated and measured peak powers were determined from the results, and the hourly consumption graphs were used to assess the load variability on the property. The observations drawn from the results were obtained and the issues to be considered are presented in the results of the thesis as well as in the conclusion and the summary.</p>	
<p>Keywords Electricity Connection, Peak power, Oversizing, Overcapacity</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	SÄHKÖLIITTYMÄ	8
2.1	Sähköliittymän mitoitus ja huipputehon arviointi	8
2.2	Sähköliittymien ylimitoitus	12
2.3	Sähköliittymien alimitoitus	13
2.4	Tapoja vaikuttaa huipputehoon ja sähköliittymän kokoon	14
3	TYÖPROSESSIN KUVAUS.....	17
3.1	Työn aloittaminen	17
3.2	Mittausdatan kerääminen kohteista	17
3.3	Mittausdatan käsittely ja kohdekohtaisen aineiston kerääminen	18
3.4	Tulosten rakentaminen, käsittely ja kokoaminen yhteen	19
4	MITTAUSDATAN JA KOHDEKOHTAISEN AINEISTON ANALYSOINTI.....	20
4.1	Oppilaitoskohteet	21
4.2	Päiväkotikohteet	22
4.3	Asuinkerrostalokohteet	22
4.4	Myymläkohteet	23
4.5	Terveydenhuollon kohteet	24
5	TULOKSET	25
5.1	Oppilaitoskohteet	25
5.1.1	Oppilaitoskohde 1	25
5.1.2	Oppilaitoskohde 2	27
5.1.3	Oppilaitoskohde 3	29
5.2	Päiväkotikohteet	30
5.2.1	Päiväkotikohde 1	30
5.2.2	Päiväkotikohde 2	32
5.2.3	Päiväkotikohde 3 (Päiväkodin ja oppilaitoksen yhdistelmäkohde)	33
5.3	Asuinkerrostalokohteet	35
5.3.1	Asuinkerrostalokohde 1	35
5.3.2	Asuinkerrostalokohde 2	37
5.3.3	Asuinkerrostalokohde 3	39
5.4	Myymläkohteet	40

5.4.1	Myymäläkohde 1	41
5.4.2	Myymäläkohde 2	41
5.4.3	Myymäläkohde 3	42
5.5	Terveydenhuoltokohteet.....	43
5.5.1	Terveydenhuoltokohde 1.....	43
5.5.2	Terveydenhuoltokohde 2.....	46
5.5.3	Terveydenhuoltokohde 3.....	48
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	50
6.1	Sähköliittymien ylivoitusten ja ylikapasiteettien määrittely	50
6.2	Kuormituksen ajallinen vaihtelu.....	52
6.3	Tutkimuskysymykset	53
7	YHTEENVETO.....	58
7.1	Tutkimuksen toteamukset	58
7.2	Tutkimuksen luotettavuusarviointi	59
7.3	Tutkimuksen tavoitteet.....	60
8	POHDINTA.....	62
	LÄHTEET	64

KUVALUETTELO

KUVA 1.	Vuokaavio sähköliittymän mitoitusprosessista (Eckert 2019, 5)	12
KUVA 2.	Kulutushuippujen siirtäminen edullisemmalle ajanjaksolle (Grip 2013, 5)	15
KUVA 3.	Oppilaitoskohteet, huipputehojen vertailukaavio.....	25
KUVA 4.	Oppilaitos 1, huipputehojen vertailukaavio	25
KUVA 5.	Oppilaitos 1, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla	26
KUVA 6.	Oppilaitos 2, huipputehojen vertailukaavio	27
KUVA 7.	Oppilaitos 2, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla	28
KUVA 8.	Oppilaitos 3, huipputehojen vertailukaavio	29
KUVA 9.	Oppilaitos 3, tuntikulutus ajalta 4.10.2021 - 27.12.2021	29
KUVA 10.	Päiväkotikohteet, huipputehojen vertailukaavio	30
KUVA 11.	Päiväkoti 1, huipputehojen vertailukaavio	30
KUVA 12.	Päiväkoti 1, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla	31
KUVA 13.	Päiväkoti 2, huipputehojen vertailukaavio	32
KUVA 14.	Päiväkoti 2, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla	32

KUVA 15. Päiväkoti 3, huipputehojen vertailukaavio	33
KUVA 16. Päiväkoti 3, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla	34
KUVA 17. Asuinkerrostalokohteet, huipputehojen vertailukaavio	35
KUVA 18. Asuinkerrostalo 1, huipputehojen vertailukaavio	35
KUVA 19. Asuinkerrostalo 1, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla	36
KUVA 20. Asuinkerrostalo 2, huipputehojen vertailukaavio	37
KUVA 21. Asuinkerrostalo 2, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla	38
KUVA 22. Asuinkerrostalo 3, huipputehojen vertailukaavio	39
KUVA 23. Asuinkerrostalo 3, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla	39
KUVA 24. Myymäläkohteet, huipputehojen vertailukaavio	40
KUVA 25. Myymälä 1, huipputehojen vertailukaavio	41
KUVA 26. Myymälä 2, huipputehojen vertailukaavio	41
KUVA 27. Myymälä 3, huipputehojen vertailukaavio	42
KUVA 28. Terveysthuoltokohteet, huipputehojen vertailukaavio	43
KUVA 29. Terveysthuolto 1, huipputehojen vertailukaavio (PK1)	43
KUVA 30. Terveysthuolto 1, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla (PK1)	44
KUVA 31. Terveysthuolto 1, huipputehojen vertailukaavio (PK2)	45
KUVA 32. Terveysthuolto 1, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla (PK2)	46
KUVA 33. Terveysthuolto 2, huipputehojen vertailukaavio	47
KUVA 34. Terveysthuolto 2, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla	47
KUVA 35. Terveysthuolto 3, huipputehojen vertailukaavio	48
KUVA 36. Terveysthuolto 3, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla	49

TAULUKKOLUETTELO

TAULUKKO 1. Tyypillisiä Velanderin kaavan kertoimia (Lakervi & Partanen 2008, 53)	9
TAULUKKO 2. Oppilaitoskohteista kerätty data	21
TAULUKKO 3. Päiväkotikohteista kerätty data	22
TAULUKKO 4. Kerrostalokohteista kerätty data	23
TAULUKKO 5. Myymäläkohteista kerätty data	23
TAULUKKO 6. Terveysthuoltokohteista kerätty data	24
TAULUKKO 7. Kohteiden ylimitoitusten arviointi esiteltyihin teorioihin perustuen	51

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aihe saatiin Sweco Talotekniikka Oy:ltä. Sweco Talotekniikka Oy on yksi Sweco Finlandin toimialoista. Muita Sweco Finlandiin kuuluvia toimialoja ovat arkkitehtuuri, asiantuntijapalvelut, infrarakentaminen, kestävän liiketoiminnan konsultointi, projektinjohto ja rakennuttaminen, rakennetekniikka ja teollisuus. Sweco Finland puolestaan on osa kansainvälistä Sweco AB -konsernia. Sweco on rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntija, joka suunnittelee tulevaisuuden kaupunkeja ja kestävämpää yhteiskuntaa (Sweco 2022).

Sähköliittymän mitoitus on tärkeä osa kiinteistöjen sähkösuunnittelussa. Sähköliittymän koko määrittää sähköliittymän liittymismaksun sekä joissakin tapauksissa myös sähköliittymän perusmaksun. Tämän vuoksi sähköliittymän koon optimaalinen määrittäminen on tärkeää, koska sähköliittymän ylimitoitus nostaa tarpeettomasti sähköliittymästä aiheutuvia kustannuksia. Lisäksi rakennettaessa sähköliittymää liian suuri sähköliittymä kasvattaa rakentamiseen käytettäviä materiaalikustannuksia, jotka aiheutuvat muun muassa liian suuresta liittymiskaapelista, pääkeskuksesta tai muista sähköliittymän komponenteista.

Opinnäytetyön tarkoituksena on kerätä käyttötarkoitukseltaan erilaisten kiinteistökohteiden sähkönkulutustietoja noin vuoden ajalta. Kerätyn datan pohjalta tavoitteena on vertailla kohteiden sähköliittymien mitoitettuja huipputehoja toteutuneisiin huipputehoihin sekä tämän pohjalta määrittää, kuinka paljon kohteiden sähköliittymissä on ylimitoitusta. Tavoitteena on myös tutkia sähköliittymien liittymistehojen suhdetta toteutuneisiin huipputehoihin sekä määrittää, kuinka paljon sähköliittymissä on ylikapasiteettia. Tulosten pohjalta tavoitteena on tutkia ja pohtia sitä, mistä sähköliittymien ylimitoitus mahdollisesti johtuu ja kuinka ylimitoitusta voitaisiin ehkäistä.

Työ toteutetaan määrällisenä tutkimustyönä. Työssä kerätään sähkönkulutusdataa Sweco Talotekniikka Oy:n suunnittelemissa kohteista. Dataa kerätään kohteiden energiatietoja hallinnoivilta tahoilta, joita ovat isännöitsijät, kiinteistöpäälliköt, energiayhtiöt, rakennuttajat sekä joidenkin kohteiden osalta myös Swecon sisäinen henkilökunta. Kerätty data analysoidaan ja puretaan tuloksiksi, joiden perusteella pyritään vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Kuinka suuria ja merkittäviä tutkittavien kohteiden laskennallisten ja toteutuneiden huipputehojen erot ovat?
- Kuinka paljon sähköliittymissä on ylikapasiteettia?
- Millä periaatteella teoreettiset huipputehot on määritetty?
- Mistä sähköliittymien ylimitoitus johtuu ja kuinka ylimitoitusta voitaisiin ehkäistä?

Työstä pyritään tekemään mahdollisimman moneen kohdetyyppiin soveltuva, jotta sitä voitaisiin käyttää mahdollisimman kattavasti referenssinä, kun sähköliittymien mitoitukseen liittyviä aiheita käsitellään tulevaisuudessa. Työ rajataan käsiteltävän aineiston osalta oppilaitoksiin, päiväkoteihin, asuinkerrostaloihin, myymälöihin ja terveydenhuollon kohteisiin. Jokaisesta näistä kohdetyypeistä valikoitui kolme kohdetta, joita käsitellään tässä työssä. Työssä ei ole sallittua julkaista kohteiden virallisia nimiä, vaan kohteita nimitetään kohdetyypeittäin numeroituina.

2 SÄHKÖLIITTYMÄ

Sähköliittymällä tarkoitetaan kuluttajan liityntää sähköverkkoon. Sähköliittymä tilataan kyseisen kohteen alueen sähköverkkoyhtiöltä. Sähköliittymän kautta kuluttaja käyttää sähköä, jonka kulutuksen sähköverkkoyhtiö mittaa energiamittarilla. Sähköliittymällä tarkoitetaan käytännössä liittymiskaapelia, joka asennetaan sähköverkon ja kuluttajan mittauskeskuksen välille. (Halonen 2011, 8.)

Oleellinen osa sähköliittymää on pääsulakkeet, jotka asennetaan liittymiskaapelin päähän mittauskeskukseen. Sähköliittymän pääsulakkeiden koko määrittää sen, minkä kokoisen sähköliittymän kuluttaja on hankkinut jakeluverkkoyhtiöltä ja millaisesta liittymästä sähkömarkkinoihin kuluttaja maksaa (Puro 2020). Kiinteistön pääsulakkeiden perusteella määräytyvät kiinteistön liittymismaksut ja osassa sähkösopimuksista myös sähkönsiirrosta aiheutuvat kiinteät perusmaksut (Sähköverkon rakenneosat julkaisuaika tuntematon). Pääsulakkeiden koko siis määräytyy sen mukaan, minkä kokoisen sähköliittymän kuluttaja ostaa. Pääsulakkeen kokoa rajoittaa muun muassa liittymiskaapelin poikkipinta-ala ja kuluttajan mittauskeskuksen ominaisuudet. (Puro 2020.)

Rakennuksen käyttöaste ja sähköliittymän kuormitus saattavat vaihdella hyvinkin paljon rakennuksen elinkaaren aikana. Tämän vuoksi sähköliittymän kuormitusta ja käyttöastetta tulisi seurata. Sähkönkulutuskustannuksiin voidaan vaikuttaa esimerkiksi pienkohteissa vaihtamalla sähköliittymän pääsulakkeiden koko vastaamaan rakennuksen käyttöastetta. (ST 13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen 2020, 1.)

2.1 Sähköliittymän mitoitus ja huipputehon arviointi

Rakennuksen sähköliittymän mitoittaminen on yksi tärkeimmistä vaiheista kiinteistöjen sähkösuunnittelussa. Liian pieneksi mitoitettu sähköliittymä rajoittaa sähkölaitteiden ja -laitteistojen käyttöä. Liian suureksi mitoitettu sähköliittymä taas aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia rakennusvaiheessa sekä myöhemmin myös sähköliittymän käyttökustannuksia. Suunnitteluvaiheessa rakennuksen sähköliittymä tulisi mitoittaa siten, että sähköliittymän koon kapasiteetti riittää myös tulevaisuudessa, mutta liittymän koko on kuitenkin pidettävä järkevissä mittasuhteissa. (ST 13.31 2020, 1.) Alustavat arviot tarvittavasta sähköliittymästä voidaan tehdä rakennuksen laajuuden ja käyttötarkoituksen perusteella. Arvioita on tarkennettava suunnittelun edetessä ja laitevalintojen tarkentuessa. (ST 13.31 2020, 4.)

Sähköliittymän mitoitus on siis teknistaloudellinen optimointitehtävä, jossa täytyy kiinnittää huomiota kahteen eri näkökulmaan. Toisaalta on huomioitava sähkönsaannin varmuus, tulevaisuuden sähkötehon tarpeet ja muutostarpeet, mutta toisaalta on taas huomioitava myös se, että liittymän tarpeeton ylimitoittaminen ei ole taloudellisesti järkevää. (Tiainen 2015, 15.)

Sähköliittymän mitoitukseen vaikuttavia asioita ovat rakennuksen käyttötarkoitus sekä järjestelmä- ja laitevalinnat. Lisäksi niillä on suuri vaikutus myös elinkaarikustannuksiin ja ympäristövaikutuksiin. (Tiainen 2015, 15.) Järjestelmä- ja laitevalinnoilla tarkoitetaan sitä, millaisia sähkölaitteita ja sähköjärjestelmiä kiinteistöön on suunniteltu sekä sitä, ohjataan niitä esimerkiksi rakennusautomaation avulla. Rakennusautomaatio-ohjaus on energiatehokasta ja sillä voidaan pienentää kiinteistön sähkönkulutusta.

Sähköliittymän mitoituksessa oleellinen tekijä on teoreettisen huipputehon laskenta. Huipputeholla tarkoitetaan suurinta hetkellistä tehoa, joka kiinteistössä esiintyy. Huipputehon määrittäminen on tärkeää, jotta asennus voidaan suunnitella taloudelliseksi ja luotettavaksi sallittujen lämpenemien ja jännitteenalenumien mukaisesti (SFS 6000 2017, 50).

Sähköliittymää mitoittaessa täytyy pyrkiä selvittämään kiinteistön todellinen huipputeho laskemalla se todellisen tai arvioidun tehontarpeen mukaisesti. Kun aletaan määrittelemään rakennuksen tehontarvetta ja sähköliittymän kokoa, joudutaan arvioimaan tarvittava teho rakennuksen laajuutta ja käyttötarkoitusta mukaillen huomioiden sähkön jakelun varmuus, tulevaisuuden tehontarpeet ja mahdolliset muutostarpeet. (ST 13.31 2020, 3.)

Sähköliittymän mitoitukseen on olemassa monia erilaisia laskenta- ja arviointimenetelmiä. Menetelmiä ovat muun muassa käytännön kokemukseen, mittaustietoihin ja kertoimiin perustuva Velanderin kaava, käyttäjäkohtaisesti profiloidut vuosienenergiaan perustuvat kuormitusmallit, rakennuksen pinta-alaan perustuvat laskentamallit sekä laitetietoihin perustuvat laskentamallit. (Lakervi & Partanen 2008, 53.)

Velanderin kaavalla voidaan arvioida huipputeho vuosienenergian sekä käyttäjäryhmäkohtaisten kerrointen avulla (Eckert 2019, 7). Velanderin kaavan mukaan

$$P_{max} = k_1 * W + k_2 * \sqrt{W} \quad (1)$$

jossa P_{max} on määritettävä huipputeho kilowatteina, k_1 ja k_2 ovat Velanderin käyttäjäryhmäkohtaisia kertoimia ja W on vuosienenergia megawattitunteina. Kertoimet k_1 ja k_2 määritellään käytännön kokemukseen ja mittaustuloksiin perustuen. Taulukossa 1 on esitelty tyypillisiä Velanderin kaavan kertoimia.

TAULUKKO 1. Tyypillisiä Velanderin kaavan kertoimia (Lakervi & Partanen 2008, 53)

Sähkön käyttäjäryhmä	k_1	k_2
Kotitalous	0,29	2,5
Sähkölämmitys	0,22	0,9
Palvelu	0,25	1,9

Käyttäjän sähkönkulutus ei kuitenkaan mukaile tarkasti Velanderin kaavaa, mutta kaavan avulla saadut tulokset ovat osoitettu kuitenkin antavan likiarvoja todellisista huipputehoista. Velanderin kaava on kuitenkin syrjäytynyt nykyisin käytössä olevan kuormitusmalleihin perustuvan menetelmän tieltä. (Lakervi & Partanen 2008, 53.)

Kuormitusmalleihin perustuva huipputehon arviointimenetelmä on tarkempi menetelmä, jolla voidaan arvioida käyttäjän huipputehon suuruutta perustuen vuosienenergiaan. Tätä menetelmää käytetään nykyisin arvioitaessa käyttäjien huipputehoja. (Loponen 2017, 8.)

Kuormitusmallien käyttö perustuu käyttäjien luokitteluun ryhmiksi, joissa sähkön käytön voidaan olettaa olevan riittävällä tarkkuudella yhtenäistä. Kerätystä mittausaineistosta kaikille käyttäjäryhmille on laskettu vuoden jokaiselle 2-viikkojaksolle keskiteho ja niihin suhteutettu 2-viikkoindeksi. Lisäksi viikonpäiville on laskettu tunti-indeksit, jotka kuvaavat kunkin tunnin suhteellista kulutusta

verrattuna kuluvaan 2-viikkojakson tunnin keskitehoon. Tunti-indeksit ovat jaoteltu eri vuodenaajoille ja viikonpäivät on jaettu kolmeen eri luokkaan, jotka ovat arki, aatto ja pyhä. (Lakervi & Partanen 2008, 55.)

Indeksisarjoja hyödyntäen voidaan siis minkä tahansa tunnin keskiteho laskea käyttäen kaavaa

$$P_{ri} = \frac{E_r}{8760} * \frac{Q_{ri}}{100} * \frac{q_{ri}}{100} \quad (2)$$

jossa P_{ri} on käyttäjäryhmän r ajankohdan i tuntikeskiteho, E_r on käyttäjäryhmän r vuosienergia, Q_{ri} on käyttäjäryhmän r ajankohtaa i vastaava 2-viikkoindeksi, ja q_{ri} on käyttäjäryhmän r ajankohtaa i vastaava tunti-indeksi. Saadulla tuloksella kuvataan suuren käyttäjämäärän kuluttamaa keskitehoa. Yksittäisen sähkökäyttäjän kulutuksessa esiintyy suurta satunnaista vaihtelua, joten keskitehoa ei voida pitää pätevänä arvona, kun arvioidaan käyttäjän huipputehoa. (Loponen 2017, 9.)

Huipputehoa arvioitaessa kuormitusmalleihin perustuen on oletuksena se, että käyttäjien tehonvaihtelu noudattaa normaalijakaumaa, jolloin tiettyä todennäköisyyttä vastaava huipputeho voidaan arvioida, jos tunnetaan tehojen hajonta. Tällöin yhden käyttäjän huipputeho jää tietyllä todennäköisyydellä alle lasketun huipputehon. (Loponen 2017, 9.) Yhden käyttäjän huipputeho voidaan arvioida kaavalla

$$P_{max} = P_{ave} + z_a * \sigma \quad (3)$$

jossa P_{max} on kuluttajan laskennallinen huipputeho, P_{ave} on keskiteho, z_a on kerroin, joka vastaa todennäköisyyttä a ja σ on hajonta. Kerroin z_a voidaan määrittellä normaalijakauman kertymäfunktioista. Useamman saman tyyppisen käyttäjän huipputeho voidaan arvioida kaavalla

$$P_{max} = n * P_{ave} + z_a * \sqrt{n} * \sigma \quad (4)$$

jossa n on kuluttajien lukumäärä. Hajonta σ vaikuttaa suuresti pienemmän käyttäjäryhmän huipputehoon, jolloin se täytyy huomioida suunniteltaessa pienjänniteverkkoa (Loponen 2017, 9).

Erityyppisillä kuluttajilla suurin tehontarve ei yleensä esiinny samoihin aikoihin. Tämä tarkoittaa sitä, että eri kuluttajien kokonaiskuormitukset eivät ole samansuuruisia kuin kuluttajien huipputehojen summa. Tätä kutsutaan tehojen risteilyksi. (Loponen 2017, 9). Eri käyttäjäryhmiin kuuluvien kuluttajien huipputeho voidaan laskea kaavalla

$$P_{max} = n_1 * P_{ave1} + n_2 * P_{ave2} + z_a * \sqrt{n_1 * \sigma_1^2 + n_2 * \sigma_2^2} \quad (5)$$

jossa alaindekseillä 1 ja 2 on määritelty eri käyttäjäryhmien kuluttajien lukumäärä, keskiteho ja hajonta. Huipputehot tasoittuvat johtuen käyttäjäryhmien sähkökulutuksen ajallisista eroavaisuuksista sekä käyttäjien määrän kasvamisesta johtuvasta satunnaisen tehovaihtelun pienentymisestä. Tämä johtaa puolestaan siihen, että kuormituksen huipunkäyttöaika kasvaa verkossa eli kuormitus muuttuu tasaisemmaksi. (Lakervi & Partanen 2008, 57-61.)

Rakennuksen kokoon perustuvien laskentamallien muuttujana on useimmiten kohteen pinta-ala. Verkostosuosituksessa (SA 1:87 Pienjänniteverkon mitoitusohjeet ja -energiat 1987) on esitetty lineaariset laskentamallit erityyppisille kohteille, joiden muuttujana käytetään kerrosalaa. (Eckert 2019, 6.) Rakennuksen kokoon sidottavalla mallilla tarkoitetaan fyysisiin tilojen koko- ja tilatietoihin perustuvaa laskentamallia (Hyttinen 2020, 48). Tämä tarkoittaa sitä, että riippuen tilojen käyttötarkoituksesta määritellään erilaisille kiinteistötyypeille neliöteho W/m^2 , joka kerrotaan rakennuksen pinta-alalla m^2 . Tuloksesta muodostuu kyseisen tilan liitäntäteho, joka kerrotaan vielä laitteiden käytön samanaikaisuudesta riippuvalla tasauskertoimella, jolloin saadaan arvioitu rakennuksen huipputeho.

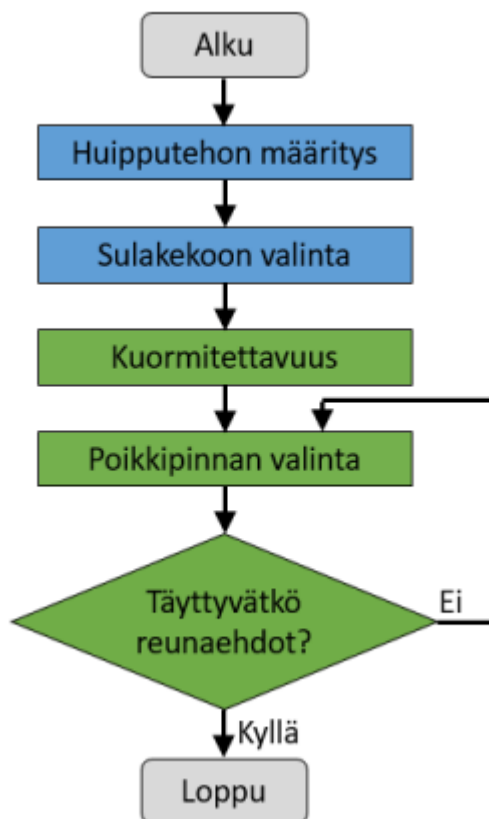
Laitetietoihin sidottu mitoitusmenetelmä perustuu rakennuksen koje- ja valaisinluetteloihin. Näistä luetteloista saadaan tiedot kohteen sähkölaitekannasta sekä niiden liitäntätehoista. Näiden laitteiden ja laiteryhmiä huipputehojen eriaikaisuus huomioidaan laitteista riippuvista tasauskertoimista. (Eckert 2019, 6.) Käytännössä kyse on siis hyvin samankaltaisesta mitoitusmenetelmästä kuin rakennuksen kokoon perustuvassa lineaarisessa laskentamallissa. Liitäntäteho määritellään sähkölaitekannan perusteella, ja näiden laitteiden toiminnan eriaikaisuus sekä laitteiden automatisointi huomioidaan kertomalla liitäntäteho laitteiden käyttöajoista riippuvilla tasauskertoimilla.

Tyypitilojen neliötehoihin ja laitetietoihin perustuvissa laskentamalleissa on haasteena eri tilojen ja eri laitteiden kuormitusten eriaikaisuuden huomioivien tasauskertoimien määrittely. Rakennuksen kokoon tai laitetietoihin perustuvia laskentamenetelmiä on mahdollista soveltaa myös yksittäisen sähköliittymän tai kohteen yhden yksittäisen jakokeskuksen mitoitukseen. (Eckert 2019, 6.)

Osa näistä laskentamenetelmistä löytyy ST-kortista ST 13.31 (2020), joka esittää myös muita useita erilaisia laskentakaavoja ja -malleja erityyppisille kohteille. Lisäksi on olemassa muun muassa erilaisien suunnitteluohjelmien sisäisiä laskentatyökaluja sekä yrityksiä itse kehittämiä työkaluja ja laskentamenetelmiä.

Lasketun huipputehon mukaan valitaan kiinteistön pääsuojauksen koko. Liitettäessä kiinteistöä yleiseen sähköverkkoon täytyy kiinteistön huipputehon arvioinnin lisäksi huomioida kiinteistössä esiintyvät normaalia suuremmat sähkökuormat. Kiinteistön huipputehon tulisi yleensä olla pienempi kuin kaikkien kiinteistön sähkölaitteiden yhteenlaskettu teho. Tällä huomioidaan se, etteivät kaikki sähkölaitteet ole käytössä samaan aikaan. (Sähköverkon rakenneosat julkaisuaika tuntematon.)

Kuvassa 1 on esitetty vuokaaviona sähköliittymän mitoituksen vaiheet. Sinisellä merkityt vaiheet merkitsevät kiinteistön sähkösuunnittelijan vastuulla olevia tehtäviä. Vihreällä merkityt vaiheet tarkoittavat kiinteistön sähkösuunnittelijan lisäksi myös verkkoyhtiön suunnittelijan vastuulla olevia tehtäviä. (Eckert 2019, 4-5.)



KUVA 1. Vuokaavio sähköliittymän mitoitusprosessista (Eckert 2019, 5)

Sähköliittymän mitoitus aloitetaan arvioimalla huipputeho. Tämän laskennallisen huipputehon perusteella mitoitetaan liittymän pääsulakkeet. Pääsulakekoon mukaan määritetään vaadittava liittymisjohdon kuormitettavuus. Liittymisjohdon mukaan tehdään oikosulku- ja jännitteenalenemalaskelmat sekä tarkistetaan reunaehtojen täyttyminen. Jos oikosulku- tai jännitteenalenemalaskelmat jäävät viitearvojen ulkopuolelle, vaihdetaan liittymisjohto poikkipinnaltaan suuremmaksi ja laskelmat suoritetaan uudestaan. (Eckert 2019, 5.)

2.2 Sähköliittymien ylimitoitus

Kiinteistön sähkönkulutuksen kannalta tulevaisuuden tarpeisiin voidaan varautua siten, että liittymisjohto ja pääkeskus ylimitoitetaan, jolloin pääsulakkeiden kokoa voidaan tarvittaessa suurentaa tulevaisuudessa. Vaihtoehtoinen tapa tulevaisuuden tarpeisiin varautumiseen on se, että koko liittymän ylimitoittamisen sijasta mitoitetaan pelkästään pääkeskus suuremman liittymän mukaisesti sekä asennetaan kiinteistöön putkitusvaraukset, jonne voidaan asentaa tarvittaessa rinnakkainen liittymiskaapeli. (ST 13.31 2020, 12.)

Rakennuksen sähköliittymää suunniteltaessa lasketaan rakennuksen huipputeho niin sanotusti pahimman skenaarion mukaan, eli arvioidaan kiinteistön hetkellisesti suurin kulutus. Tähän laskennalliseen huipputehoon lisätään vielä tulevaisuuden kasvuvaraa varten tietty prosenttimäärä.

Esimerkiksi toimistorakennukselle voidaan määritellä kasvuvaraa siten, että 5 vuodessa tehontarpeen kasvu on noin 20 %, 10 vuodessa noin 35 % ja 20 vuodessa noin 50 % (ST 53.24 Ohjeita kiinteistöjen enintään 1000 V johtojen mitoituksesta ja suojauksesta 2017, 2).

Vaikka esimerkiksi ST-korttien ohjeistukset esittävät suuntaa antavia kertoimia tulevaisuuden kasvutaralle erilaisissa kohteissa, on nämä kertoimet silti aina määritettävä tapauskohtaisesti.

Sähkölittyminen vaatii siis aina tietynlaisen ylityksen, jotta kiinteistön pääsulakkeet eivät aiheuta turhia sähkökatkoksia eikä liittymisjohto kuormitu liikaa. Ongelmaksi on kuitenkin muodostunut se, että sähköliittymien kokoja mitoitetaan tarpeettoman suureksi. Tämä aiheuttaa tarpeettomia liittymismaksuja sekä sähköenergian ja sähkönsiirron perusmaksuja.

Käytössä olevien kohteiden toteutuneita huipputehoja mitattaessa on selvinnyt, että tehovaihtelut ovat hyvin suuria oppilaitos- ja toimistokiinteistöissä. Oletuksena on, että kokoontumis- ja teollisuusrakennuksissa toteutuneet huipputehot poikkeavat toisistaan vielä tätäkin enemmän. Näin ollen pienjänniteliittymän huipputehon mitoitus tulisi tehdä mahdollisimman tapauskohtaisesti siten, että huomioidaan rakennuksen käyttötarkoitus sekä mahdollisimman kattavasti kiinteistöihin tuleva sähkölaitetekanta sekä sähkölaitteiden ohjaukset ja käyttö. (Tiainen 2015, 17-18.) Asuinrakennuksissa sähkön käyttö on lähtökohtaisesti tasaisempaa vakinaisen sähkövarustelun vuoksi, mutta nykyään myös asuin kohteissa on yleistymässä esimerkiksi kiinteistöautomaatio-ohjaukset. Tällaiset energiatehokkaat ratkaisut olisi syytä huomioida sähköliittymän mitoituksessa.

Liiallisen ylityksen syytä on monia. Liiallinen ylityksellinen voima voi johtua esimerkiksi siitä, että kohteeseen suunniteltujen sähkölaitteiden tehot on laskettu yhteen ja kerrottu niiden summa varmuuskertoimilla. Tällainen huipputeholaskelma ei huomioi sitä, että kaikki laitteet eivät ole käytössä yhtä aikaa. Tällä laskentamenetelmällä ylityksellinen voima kertaantuu suuremmissa kohteissa, jolloin lukemat voivat olla hyvinkin suuria. On todennäköistä, ettei sähkölaitteet ole koskaan käytössä samanaikaisesti, eli suunniteltua huipputehoa ei saavuteta koskaan. (Peippo 2021, 9.)

Toinen mahdollinen syy on se, että mitoituksessa käytetään liian vanhoja kokemusperäisiä kaavoja, jotka voivat johtaa jopa 40 vuoden takaisista sähkönkulutukseen liittyvistä tutkimuksista. Kuluttajien sähköenergian käyttö, kuormitusprofiilit ja tehon tarve on muuttunut, kun laitemäärät ovat kasvaneet. Samanaikaisesti kuitenkin myös laitteiden energiatehokkuus on parantunut. Lisäksi sähköliittymän kuormitusta vähentävät sähköenergian pientuotantomenetelmät kuten aurinkosähköjärjestelmät ovat yleistyneet. Myös kysyntäjousto, kuormanhallinta ja sähköenergian varastointi ovat nykyäikään kiinteistöjen sähkötekniikassa. (Eckert 2019, 1.) Kysyntäjouston, kuormanhallinnan ja sähköenergian varastoinnin vaikutusta huipputehoon ei huomioida, jos käytetään vanhentuneita sähköliittymän mitoitusmenetelmiä.

2.3 Sähköliittymien alimitoitus

Sähköliittymää mitoitettaessa on kuitenkin myös huomioitava, ettei liittymää alimitoiteta. Alimitoitettu liittymä voi johtaa sulakkeiden turhaan palamiseen ja liittymiskaapelin liialliseen kuormitukseen. Kaapelin ollessa mitoitettuna sulakkeiden mukaan, joudutaan alimitoitettun liittymän tapauksessa vaihtamaan sulakkeiden lisäksi myös kaapeli. Tämä voi olla erittäin hankalaa ja kallista. (Luomanen 2019, 12.)

Yksi syy liittymän alimitoittamiseen on se, että liittymisteho arvioidaan tuntikeskitetun perusteella. Tämä menetelmä ei kuitenkaan anna oikeanlaista kuvaa hetkellisistä tehomuutoksista ja käynnistysvirtapiikeistä, joiden perusteella verkko pitäisi mitoittaa. (Paikallisvoima 2020.)

Toinen syy alimitoitukseen on se, että käytetään laitetietoihin perustuvaa huipputehon arviointimenetelmää, eikä käytetä oikeanlaisia samanaikaisuus- tai tasoituskertoimia. Laitetietoihin perustuva laskentamalli on hyvin suosittu arviointimenetelmä etenkin uudiskohteissa, mutta jos käytettävät samanaikaisuus ja tasoituskertoimet ovat kaukana todellisuudesta, päädytään suurella todennäköisyydellä liittymän yli- tai alimitoitukseen. Laitetietoihin perustuva arviointimenetelmä on hyvin riippuvainen kohteen suunnitelmista sekä suunnittelijan kokemuksesta. Mikäli rakennuksen laiteluetteloita päivitetään suunnittelun edetessä vain harvoin, se hidastaa suunnitelmien etenemistä ja kasvattaa riskiä vääränkokoisen liittymän määrittämiselle. (Hyttinen 2020, 51.)

Laitetietoihin perustuvan arviointimenetelmän lisäksi toinen hyvin suosittu laskentamenetelmä on lineaariset laskentamallit, eli kiinteistön kokoon perustuva laskentatapa. Muuttujana laskennassa käytetään siis rakennuksen pinta-alaa. Tämäkin menetelmä on kuitenkin altis paikkaansa pitämättömille tuloksille. Pinta-alan ollessa ainoa muuttuja laskennassa on mahdollista, että rakennuksen tai tilojen käyttötarkoitus, rakennuksen rakennustapa tai käyttäjien keskinäiset eroavaisuudet jäävät huomioimatta. Lineaarisilla laskentamalleilla saadaan suuripiirteisiä tehoarvioita, mutta malli ei itsessään kykene arvioimaan hetkellisiä tehopiikkejä, kuten tunnin sisällä vaihtelevia hetkittäisiä kuormia. Tällaiset tehopiikit ovat merkittäviä liittymän mitoituksen kannalta, sillä ne voivat olla moninkertaisia saatuihin tehoarvioihin verrattuna. (Hyttinen 2020, 51.)

2.4 Tapoja vaikuttaa huipputehoon ja sähköliittymän kokoon

Uusien rakennuskohteiden energiatehokkuutta koskevan ympäristöministeriön asetuksella edellytetään, että suunnittelussa on otettava huomioon mahdollisuuksia sähkön huipputehon tarpeen pienentämiseksi ja sähkötehon ohjattavuuden parantamiseksi (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017, 32 §).

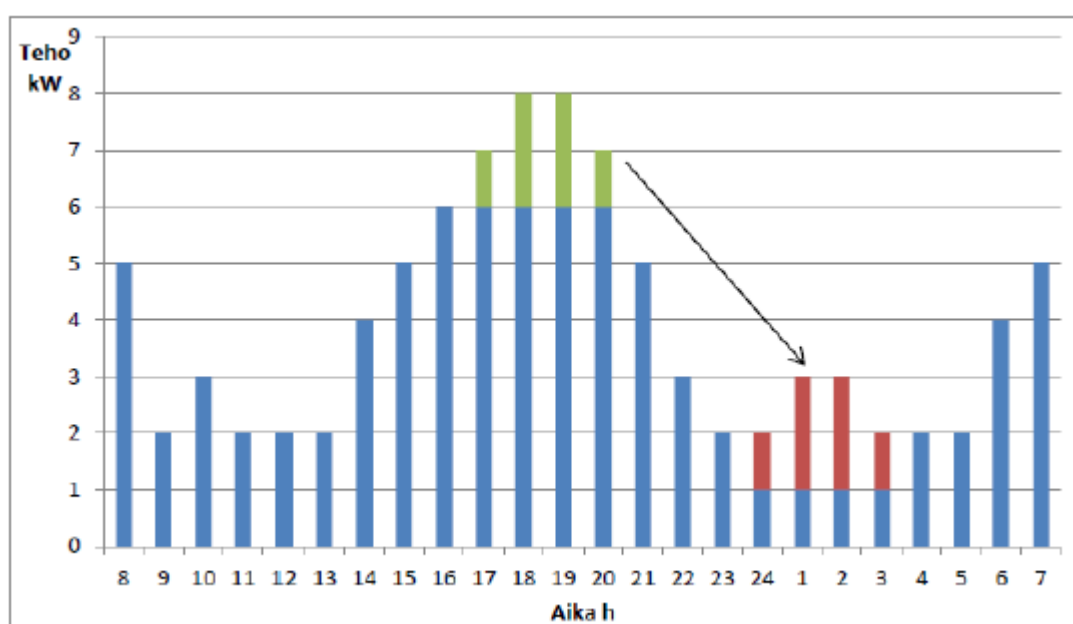
Huipputehojen tarpeen pienentämisellä ja kiinteistön kulutuksen ohjattavuuden parantamisella tarkoitetaan kulutuslaitteiden mitoitusta ja valintaa tarpeen mukaan sekä kiinteistöjen sähköverkon ja kiinteistön rakennusautomaation suunnittelemista ja rakentamista siten, että sähkökuormia voidaan yleensäkin ohjata. Huipputehoja on mahdollista myös pienentää minimoimalla suurten laitteiden käynnistysvirtoja erilaisilla menetelmillä. Esimerkkinä voidaan pitää taajuusmuuttajia ja pehmokäynnistimiä, joiden avulla voidaan rajoittaa käynnistysvirtapiikkejä sekä pienentää huipputehoja merkittävästi. (ST 13.31 2020, 3.)

Suunnittelun edetessä on mielekästä tarkastella, voitaisiinko huipputehoa rajoittamalla saavuttaa taloudellista hyötyä. Menetelmiä, joilla huipputehoa on mahdollista rajoittaa, ovat esimerkiksi kysyntäjousto, kuormanhallinta sekä sähköenergian pientuotanto ja varastointi. Jos huipputehoa saadaan esimerkiksi näillä keinoilla rajoitettua, voidaan pärjätä pienemmän kokoisella sähköliittymällä. (ST 13.31 2020, 11.)

Kysyntäjousto tarkoittaa käytännössä sähkönkulutuksen siirtämistä korkean kulutuksen ja hinnan ajankohdalta edullisempaan ajankohtaan tai sähkönkulutuksen hetkellistä muuttamista tehotasapainon hallitsemiseksi (Fingrid julkaisuaika tuntematon). Kysyntäjoustopuraisuuden tarkoitus on siis tasata sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainoa, eli sähköjärjestelmässä vähennetään tai lisätään kulutusta (Kulla 2018).

Tuotannon ollessa pienempää kuin kulutus on sähkön hinta tällöin korkeampi. Vastaavasti tuotannon ollessa kulutusta suurempaa on sähkön hinta alhaisempi. Kysyntäjoustolla pyritään siirtämään sähkönkulutusta kalliimmilta tunneilta, eli tuotannon suuremman kuormituksen ajalta ylituotannon ajankohdalle. Perinteinen esimerkki tästä on lämminvesivaraaja, jota käytetään yö sähköllä. Yön aikana sähköä kulutetaan vähemmän, jolloin tuotanto on suurempaa kuin kulutus. Tällöin on mielekästä varata lämmintä käyttövetä yöaikaan, ja käyttää lämmin vesi seuraavana päivänä. Kysyntäjoustolla voidaan siis leikata sähkön käytön huippukulutuksia ja näin ollen myös mahdollisesti pienentää liittymäkokoja (Piira 2020, 4).

Kuvassa 2 on havainnollistettu kysyntäjouston vaikutusta sähkönkulutukseen. Suurimmat tehohiiput leikataan suurimmalta kulutusaikaväliltä ja siirretään sama tehomäärä yöajalle, jolloin kulutus on pienimmillään.



KUVA 2. Kulutushuippujen siirtäminen edullisemmalle ajanjaksolle (Grip 2013, 5)

Huippukuormituksen aikana tapahtuvasta tehon leikkauksesta käytetään termiä suora kuormanohjaus. Kuormaa leikatessa huippukuormituksen ajankohdalta on tavoitteena turvata sähkönjakelu pienentämällä verkon kuormitusta. Tällöin verkon vahvistustarve vähenee tai siirtyy myöhempään ajankohtaan pienemmän kuormituksen johdosta. Kuormanohjauksella pyritään minimoimaan investointikustannuksia, jotka aiheutuvat sähköverkon vahvistamistarpeesta. (Grip 2013, 6.) Tällä menetelmällä ei siis suoranaisesti pyritä pienentämään energiakustannuksia, vaan minimoimaan sähköliittymän ylityötarvetta, jolla säästetään itse sähköliittymän investointi-, liittymis- ja perusmaksuissa.

Yksi esimerkki tällaisesta kuormituksen hallinnasta on sähköautojen lataus, joka on nykyaikana yleistyvässä. Sähköautojen lataus vaatii paljon sähköä, ja tämä on huomioitava sähköliittymiä mitoitettaessa. Tässäkin tapauksessa ei sähköliittymän järjetön ylityötarvetta ole tarpeen, sillä sähköauton latausta voidaan hallita esimerkiksi dynaamisella kuormanhallinnalla. Dynaaminen kuormanhallinta pitää silmällä sähköliittymän kuormitusta käyttäen erityistä kuormanhallintaa tarkoitettua mittaria ja säätää sähköauton lataustehon automaattisesti sen mukaan, ettei sähköliittymä ylikuormitu.

Jos tehokemat alkavat nousta siten, että sähköliittymä on vaarassa ylikuormittua, mittari pudottaa sähköauton latausaseman tehoa. Kun kuormitus tasoittuu jälleen, latausaseman tehoa nostetaan uudestaan. (Lumme Energia julkaisuaika tuntematon.)

Toinen asia, jolla voidaan vaikuttaa huipputehoon, on omavarainen sähkön pientuotanto ja varastointi. Sähköä käytännössä tuotetaan omavaraisesti esimerkiksi aurinko-, tuuli- tai vesivoimalla. Jos kuitenkin tällaisilla pientuotantolaitoksilla halutaan leikata huipputehoa, ei tällöin sähköntuotanto saa olla riippuvainen ulkoisista tekijöistä, kuten esimerkiksi sääolosuhteista, ellei käytetä pientuotannon lisäksi kuormanhallintaa ohjaamaan kuormituksia sähköntuotannon mukaan. (ST 13.31 2020, 11.) Aurinko- ja tuulivoima ovat riippuvaisia sääolosuhteista, joten niitä ei voida mieltää huipputehoa pienentävinä menetelminä, ellei kuormanhallintaa yhdistetä pientuotantoon. Muita huipputehoihin vaikuttavia pientuotantomuotoja ovat aurinko- ja tuulivoiman lisäksi muun muassa mikroturbiinit, polttokennot ja perinteiset dieselgeneraattorit. Nämä menetelmät eivät ole riippuvaisia sääolosuhteista vaan polttoaineen saannista, joten näitä menetelmiä käyttämällä on huipputehon leikkaamisen potentiaali parempi. (Pesola ym. 2014, 23-26.)

Tällaiset sähkön pientuotanto- ja varastointijärjestelmät voivat varastoida energiaa pienen kulutuksen ja kysynnän aikana ja vastaavasti syöttää tehoa huippukulutusaikana. Sähkövarastojen tarkoituksena on varastoida sähköä silloin, kun sähkön tuotanto on suurempaa kuin sen tarve. Kun taas sähkönkulutus ja kysyntä nousee, voidaan itsetuotettu sähkö purkaa varastoista ja ottaa käyttöön. (Musawi 2017, 2.)

Tällaisilla huipputehojen leikkauksiin pyrkivillä menetelmillä voidaan vaikuttaa sähkönkulutukseen silloin, kun hinnat ja kulutus ovat korkeimmillaan. Nämä menetelmät ovat monipuolisia ja nykyaikaisia toimintatapoja, joilla voidaan tasapainottaa sähköverkon kuormitusta ja sitä kautta myös pienentää sähkönkulutukseen liittyviä kustannuksia. Tällaisten energiatehokkuuteen vaikuttavien ratkaisujen kehittyessä koko ajan eteenpäin olisi syytä myös tarkastella niiden vaikutusta sähköliittymien mitoittamiseen ja pohtia sitä, millä tavalla nämä menetelmät voitaisiin huomioida paremmin, kun arvioidaan kiinteistöjen huipputehoja.

3 TYÖPROSESSIN KUVAUS

Tässä osiossa kuvataan työprosessin eteneminen alusta loppuun. Työprosessi koostui työn aloittamisesta, datan keräämisestä kohteista, datan käsittelystä ja purkamisesta sekä tulosten rakentamisesta, käsittelystä ja kokoamisesta.

3.1 Työn aloittaminen

Työn aihe saatiin Sweco Talotekniikan ryhmäpäälliköltä, jonka puolesta tuli ehdotus, että työssä käytettävien kohteiden tyypit rajattaisiin terveydenhuollon kohteisiin. Myöhemmin kuitenkin päätettiin, että työhön otetaan mukaan myös muun tyyppisiä kohteita. Työssä käytettäväksi kohdetyypeiksi valikoitui oppilaitoskohteet, päiväkotikohteet, asuinkerrostalokohteet, myymäläkohteet ja terveydenhuollon kohteet. Aikataulullisesti tuntimittausdata pyrittiin keräämään vuoden 2022 maaliskuun aikana. Datin käsittely, purkaminen ja raportointi pyrittiin tekemään vuoden 2022 huhtikuun aikana, ja työ pyrittiin saattamaan loppuun toukokuun puoleen väliin mennessä.

Swecon ryhmäpäällikkö listasi Swecon Kuopion toimipisteen suunnittelemaa potentiaalisia kiinteistökohteita, jotka voisivat soveltua tähän työhön. Lisäksi Swecon kehityspäällikkö listasi muiden paikkakuntien Swecon toimipisteiden suunnittelemaa kohteita, joista dataa voisi olla mahdollisesti saatavilla. Näiden kohteiden tiedot yhdistettiin samaan taulukkoon, johon kerättiin myös kyseisten kohteiden sähkönkulutusdatasta vastaavien tahojen yhteystiedot.

Potentiaalisia kohteita kertyi yhteensä noin 30. Oli selvää, että kohteita oli tässä vaiheessa liikaa työtä varten, sillä resurssit eivät olisi riittäneet kaikkien näiden kohteiden datin käsittelyä varten. Järkevimmäksi ratkaisuksi koettiin se, että mittausdataa tiedustellaan jokaisen kohteen kulutustietoja hallinnoivalta taholta, ja tämän jälkeen karsitaan kerätyistä kohteista soveltuvimmat.

3.2 Mittausdatan kerääminen kohteista

Kerääminen suoritettiin siten, että kulutustietoja hallinnoiville henkilöille lähetettiin sähköposti, jossa esiteltiin opinnäytetyön aihe sekä työhön tarvittava data. Tämä menetelmä koettiin kuitenkin liian hankalaksi, sillä sähköposteihin reagoitiin melko hitaasti tai ei ollenkaan. Niinpä kulutustietoja päätettiin tiedustella soittamalla. Tämä menetelmä koettiin paljon tuottavammaksi.

Osassa kohteista kerätty data oli puutteellista. Osasta tietoja ei saatu lainkaan kerättyä sen vuoksi, että mittausjärjestelmästä ei kyetty saamaan tuntimittaus tietoja, vaan ainoastaan kuukausittainen kulutusdata. Joistakin kohteista tietoja ei saatu kerättyä lainkaan johtuen siitä, että hallinnoija ei syystä tai toisesta osannut käyttää mittausjärjestelmää, tai että heillä ei ollut aikaa perehtyä asiaan. Tiedot saatiin kuitenkin kerättyä yhteensä 19 kohteesta.

Kerätyistä kohteista karsittiin muutamia kohteita pois, sillä tietoja saatiin kerättyä liian monesta samantyyppisestä kohteesta. Kaiken kaikkiaan työtä varten valikoitui 3 oppilaitosta, 2 päiväkotikohtetta, 1 oppilaitoksen ja päiväkodin yhdistelmäkohde, 3 opiskelija-asuinkerrostaloa, 3 myymälää sekä 3 terveydenhuollon kohdetta. Yhteensä työtä varten saatiin kerättyä siis 15 kohdetta.

Sähkökulutusdata pyydettiin jokaiselta vuorokauden tunnilta noin vuoden ajalta. Kulutustiedot lähetettiin pääosin Excel-taulukkona, joista ilmeni kohteiden kulutustiedot tunneittain vuorokauden jokaiselta tunnilta noin vuoden ajalta. Mymäläkohteista sekä yhdestä oppilaitoskohteesta suurin tuntikulutus oli haettu automaattisesti, ja niistä lähetettiin kuvakaappaukset. Näiden kohteiden puutteellisempi data kerättiin kyseisten kohteiden kiinteistöpäälliköltä sekä eräältä Swecon suunnittelujohtajalta. Data olisi voitu saada todennäköisesti kattavammin verkkoyhtiöltä, mutta tähän olisi tarvittu valtakirjat tietojen luovuttamiseksi, ja tähän prosessiin ei aikataulun puitteissa ollut varaa. Yleisesti ottaen valtakirjojen hankkimiset sekä verkkoyhtiöiden reagoinnit asian käsittelyyn todettiin melko hitaiksi. Lisäksi eräästä kohteesta verkkoyhtiö vaati tuntihintaisen korvauksen datan selvittelytyöstä, joka monimutkaisti työtä entisestään. Asia saatiin selvitettyä siten, että kohteesta vastaava taho hankki käyttäjätunnukset ja rekisteröityi itse verkkopalveluyhtiön palveluun, josta energiatiedot sai ladattua henkilökohtaisesti. Tässäkin prosessissa ilmeni kuitenkin myös ongelmia. Palvelusta ei muun muassa meinannut löytyä kohteen käyttöpaikkatunnusta, ja tämän osalta täytyi olla yhteydessä verkkopalveluntarjoajaan, joka ryhtyi selvittämään asiaa. Tällöin asia viivästyi entisestään, ja niinpä tämän sekaannuksen perusteella päätettiin, että data pyritään ensisijaisesti saamaan muilta tahoilta, jotta välttäisiin työn monimutkaistamiselta.

3.3 Mittausdatan käsittely ja kohdekohtaisen aineiston kerääminen

Mittausdatan keräämisprosessin jälkeen dataa alettiin käsittelemään ja purkamaan. Datasta poimittiin niiden tuntien tehoarvot, jolloin sähkönkulutus oli ollut suurinta. Näitä tuntitehohuippuja tarvittiin osaksi huipputehojen vertailukaavioita. Lisäksi data muotoiltiin kokonaisuudessaan siten, että datan avulla pystyttiin rakentamaan tuntikulutuskuvaajat viikko- ja vuositasolla.

Kun kerätty data oli käsitelty ja purettu, käytiin läpi kohteiden projektitietokannat, joista kerättiin kohteiden huipputeholaskelmat. Pääosin teholaskelmat oli tehty valmiille huipputehojen laskentataulukkopohjalle. Tällaista laskelmamuotoa pystyttiin pitämään suhteellisen luotettavana. Osa teholaskelmista oli kuitenkin tehty tyhjälle Excel-pohjalle ja laskelmien merkintätavat olivat hieman epävirallisempia, mikä rasitti laskelmien luotettavuutta jonkin verran. Kaikista laskelmista pystyttiin kuitenkin selvittämään lopullinen laskennallinen huipputeho, jonka perusteella pääsulakkeet oli mitoitettu. Teholaskelmat perustuivat pääosin rakennuksen kokoon eli neliötehoihin pohjautuvista sekä laitetietoihin perustuvista laskentamenetelmistä. Jossain tapauksessa laskentaan oli sisällytetty aikaisemmin mitattuja huippukulutustietoja. Teholaskelmista poimittiin arvioidut huipputehoarvot, ja joistakin laskelmista saatiin myös huipputehosta laskettu huippuvirran arvo.

Lisäksi projektitietokannasta haettiin kohteiden pääkeskuskaaviot, joista poimittiin pääsuojauksien nimellisarvot. Lisäksi tietokannasta etsittiin kohteiden pinta-aratiedot. Pinta-aratiedoissa oli hieman vaihtelua eri lähteissä, mutta neliötiedot antavat kuitenkin kuvaa siitä, kuinka suuri kohde on kyseessä. Kohteiden mitatut ja laskennalliset huipputehot, mitatuista ja laskennallisista huipputehoista lasketut huippuvirta-arvot, pääsuojauksien koot sekä pinta-aratiedot kerättiin kohdetyypeittäin erillisiin vertailutaulukoihin, ja nämä taulukot analysoitiin. Analyysit on esitetty tässä raportissa datan analysointiosion alaluvuissa kohdetyypeittäin jaettuna.

3.4 Tulosten rakentaminen, käsittely ja kokoaminen yhteen

Analyysien pohjalta rakennettiin vertailukaaviot, joissa vertaillaan laskennallisia huipputehoja mitattuihin huipputehoihin. Vertailutaulukoista sai kuvaa siitä, kuinka sähköliittymän mitoitus kohtaa toteutuneen huipputehon. Mitatuista huipputehoista laskettujen huippuvirta-arvojen avulla voitiin arvioida, kuinka paljon sähköliittymissä on ylikapasiteettia. Arviointi tehtiin vertaamalla mitatuista huipputehoista laskettuja virta-arvoja kiinteistön pääsuojauksen nimellisarvoon.

Lisäksi kerätystä datasta muodostettiin tuntikulutuskaaviot viikko- ja vuositasolla. Tuntikulutuskaavioista pystyttiin tulkitsemaan, kuinka usein ja miten säännöllisesti kuormitus vaihtelee ja kuinka usein sähköliittymien pääsuojauksiin kohdistuu merkittävää kuormitusta. Kohteista, joista ei saatu kerättyä muuta kuin yksittäiset suurimmat kulutushuiput, ei voitu muodostaa tuntikulutuskaavioita.

Lopuksi tulokset kasattiin yhtenäiseen taulukkoon, jossa määriteltiin kohteiden sähköliittymien ylimitukset perustuen kolmeen sähköliittymän ylimitoitusta perustelevaan teoriaan. Lisäksi viikko- ja vuositasoisten kuvaajien osalta koottiin yhteen tulkinnat kohteiden kuormitusten vaihteluista sekä päätelmät siitä, miten kuormitus ja sen vaihtelu voi vaikuttaa huipputehon suuruuteen. Koostetaulukko, sähköliittymien ylimitoitusta perustelevat teoriat sekä kuormitusten vaihteluiden tulkinnat ja päätelmät esitellään johtopäätöksissä.

4 MITTAUSDATAN JA KOHDEKOHTAISEN AINEISTON ANALYSOINTI

Mittausdatan ja kohdekohtaisen aineiston analysointi esitellään kohdetyypeittäin tämän osion alaluissa. Ennen analysointia on syytä kiinnittää huomiota muutamiin analysoitavan materiaalin luotettavuuteen liittyviin asioihin, jotka esitellään seuraavaksi.

Suurimmilta osin laskennallisten huipputehojen tehokaskelmissa ei ollut määriteltynä tehokerrointa. Tehokerrointa tarvitaan, jotta huipputehosta voidaan määrittää huippuvirta. Huippuvirtaa määrittäessä laskenta suoritetaan kaavalla

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi} \quad (6)$$

jossa I_{max} on huippuvirta, P_{max} on huipputeho, U on nimellisjännite 400 V ja $\cos\varphi$ on tehokerroin.

Näin ollen tehokerroin $\cos\varphi$ on vaikuttava tekijä huipputehon muuttamisessa huippuvirta-arvoksi, jonka perusteella valitaan pääsulakkeet. Tehokaskelmien lisäksi myöskään toteutuneita tehokertoimia ei pystytty määrittämään mittausdatasta. Mitatut huipputehot päätettiin näin ollen muuttaa virta-arvoiksi ilman tehokertoimia. Tämä vaikuttaa saatuihin huippuvirtojen arvoihin.

Toisaalta osassa tehokaskelmista oli arvioitu kiinteistön kuluttama loisteho, jonka perusteella tehokerroin oli huomioituna. Tehokertoimen $\cos\varphi$ arvon voi määrittää näennäistehon pätötehon ja loistehon avulla. Näennäisteho määritetään kaavalla

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (7)$$

jossa S on näennäisteho, P on pätöteho eli tässä tapauksessa huipputeho, ja Q on loisteho. Määritetyn näennäistehon avulla voidaan tällöin määrittää tehokerroin $\cos\varphi$ kaavalla

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (8)$$

Tehokertoimen lisäksi on tärkeää huomioida, että mitatut tehoarvot ovat tietyltä ajalta laskettuja keskiarvoja. Käytännössä siis mitatut huipputehot eivät ole absoluuttisia tehopiikkejä, vaan ne ovat tietyltä aikaväliltä mitattujen hetkellisten tehojen keskiarvoja, jotka mittausjärjestelmä on laskenut. Tämä tarkoittaa sitä, että mitausten tallennusvälien aikana tapahtuvat hetkelliset tehopiikit ovat todennäköisesti jonkin verran suurempia, kuin mitaustuloksista saadut kWh-arvot.

Tämä kappale perustuu ST-kortin ST 13.31 (2020, 11) ohjeistukseen mittausdatan kyseenalaistamisesta. Ohjeistuksen mukaan mittausdatan tallennusväli tulee huomioida, kun tarkastellaan huipputehoja. Mittaustiedon tallennusväli voi olla tiedonkeruulaitteesta tai tehoanalysointorista riippuen esimerkiksi yhden sekunnin tai kymmenen sekunnin pituinen. Verkkoyhtiöissä käytettävän laskutusmittarin tallennusväli on joko 15 minuuttia tai tunti. Näiden mittauslaitteiden tallentamat tehoarvot ovat yleensä tallennusvälillä esiintyvien tehojen keskiarvolukemia. Siten tuntimittaustiedoista ei nähdä hetkellisiä tehopiikkejä eikä eri vaiheiden toisistaan poikkeavasta kuormituksesta johtuvaa vinokuormaa. Tuntimittaustiedossa näkymättömät hetkelliset kuormitukset saattavat olla tehojen tuntikeskiarvoon verrattuna moninkertaisia. Kuitenkin vaikuttaisi siltä, että suuremmissa rakennuskohteissa hetkelliset tehoarvot tasoittuvat, koska tällaisissa kohteissa yksittäisten suurempien laitteiden osuus

kokonaiskuormituksesta on pienempi. Tämän lisäksi vinokuormitusta voidaan hallita suurissa koh-teissa helpommin ryhmittelemällä laitteet tasaisesti kaikille vaiheille.

Tähän työhön kerätyt mittaustiedot perustuvat kaikki yhden tunnin tallennusväliin. Saadut kulutus-tiedot ovat siis tunneittain mitattuja keskitehoja ja näistä mitatuista tehoista laskettu huippuvirta on näin ollen myös kyseisen tunnin keskiarvo. Mittausdata on saatu kWh-arvoina, mutta koska mittauk-set perustuvat yhden tunnin tallennusväleihin, käsitellään tuloksia kW-arvoina.

Hyödynnettäviä mittaustietoja ei voida pitää normaalijakaumaa noudattavana. Tämän vuoksi käytet-tävälle mittausaineistolle pitäisi aina tehdä normaalijakaumatarkastelut, jos tietylle teholle halutaan laskea ylitystodennäköisyyksiä. Normaalijakaumasovituksen luotettavuutta tarkasteltaessa tulisi kiin-nittää erityistä huomioita suurimpiin tehoarvoihin. (ST 13.31 2020, 11.) Mittaustiedoille ei resurssien puutteiden vuoksi tehdä tässä työssä ylitystodennäköisyyksiä arvioivaa normaalijakaumatarkastelua, vaan data käsitellään siinä muodossa kuin se on saatu.

4.1 Oppilaitoskohteet

Taulukkoon 2 on koostettu oppilaitoskohteista kerätyt tiedot ja data. Oppilaitos 1 on valmistunut vuonna 2018, oppilaitos 2 vuonna 2019 ja oppilaitos 3 vuonna 2021.

TAULUKKO 2. Oppilaitoskohteista kerätty data

Kohteen nimitys	Pinta-ala (m ²)	Laskennalliset arvot		Pääsuojaus (A)	Mitatut arvot	
		Huipputeho (kW)	Huippuvirta (A)		Huipputeho (kW)	Huippuvirta (A)
Oppilaitos 1	2412	182,4	263,6	2x 3x125/250	84,8	122,3
Oppilaitos 2	7900 (1-vaihe)	372,0 (PK1)	552,0	4x 3x315/400	385,0	555,7
	10200 (2-vaihe)	509,0 (PK2)	738,0	4x 3x315/400		
Oppilaitos 3	9830	589,0	851,0	4x 3x200/400	215,0	310,4

Oppilaitos 1 on kooltaan noin 2400 m². Kohteen laskennalliseksi huipputehoksi oli arvioitu noin 182 kW. Myös huippuvirta oli arvioitu laskennassa, ja sen arvoksi oli saatu noin 264 A. Tämän perus-teella on kohteeseen suunniteltu rinnakkaissyöttönä 2x 3x125 A kahvarokkeet, joissa on varaus 250 A varokkeille. Mitatuksi huipputehoksi saatiin noin 85 kW, ja tästä lasketuksi huippuvirraksi saa-tiin noin 122 A.

Oppilaitos 2 on kooltaan yhteensä noin 18100 m². Kohteen rakentamisprojekti oli jaettu 2 eri raken-tamisvaiheeseen. Taulukossa 2 on eritelty vaiheiden 1 ja 2 laskennalliset huipputehot pääkeskuk-sissa PK1 ja PK2.

Kohteen rakennusvaihe 1 on valmistunut aikaisemmin, ja kohteen teholaskelmasta saatu laskennalli-nen teho 372 kW perustuu kohteen aikaisempiin mittaustuloksiin. Mitattu tulos on myös rakennus-vaiheen 1 huippuvirran arvo 552 A. Vaiheen 2 huipputehoksi taas oli laskennallisesti saatu noin 509 kW. Huippuvirraksi laskennassa oli arvioitu noin 738 A.

Rakennusvaiheiden virta-arvojen yhteenlasketun arvon perusteella on määritelty kohteen molem-mille pääkeskuksille rinnakkaissyöttöinä 4x 3x315 A jonovarokkeet, joissa on varaus 400 A varok-keille. Kohteen toteutunut huipputeho on noin 385 kW ja huippuvirta näin ollen noin 556 A.

Oppilaitos 3 on kooltaan noin 9800 m². Kohteen laskennalliseksi huipputehoksi oli saatu noin 589 kW. Kohteesta oli tehty myös loistehoarvio, jonka perusteella oli laskettu liittymän laskennallinen huippuvirta ja sen arvoksi oli saatu noin 851 A. Liittymän suojaukseksi oli määritetty rinnakkaisyöttöinä 4x 3x200 jonovarokkeet, joissa on varaus 400 A varokkeille. Huipputehoksi on mitattu noin 215 kW ja tämän perusteella huippuvirraksi saatiin noin 310 A.

4.2 Päiväkotikohteet

Taulukkoon 3 on koostettu päiväkotikohteista kerätyt tiedot ja data. Päiväkotikohteessa 3 on yhdistettynä sekä päiväkoti että oppilaitos. Päiväkoti 1 ja päiväkoti 2 ovat valmistuneet vuonna 2020. Päiväkoti 3 on valmistunut vuonna 2019.

TAULUKKO 3. Päiväkotikohteista kerätty data

Kohteen nimitys	Pinta-ala (m ²)	Laskennalliset arvot		Pääsuojaus (A)	Mitatut arvot	
		Huipputeho (kW)	Huippuvirta (A)		Huipputeho (kW)	Huippuvirta (A)
Päiväkoti 1	1725	102,0	148,0	3x200/250	49,0	70,7
Päiväkoti 2	900	107,0	158,0	3x160/250	25,6	36,95
Päiväkoti 3	5148	284,3	410,8	2x 3x200/250	128,0	184,8

Päiväkodin 1 pinta-ala on noin 1700 m². Kohteen laskennalliseksi huipputehoksi oli arvioitu noin 102 kW. Teholaskelmassa laskennalliseksi huippuvirraksi oli saatu noin 148 A. Liittymän suojaukseksi oli tämän perusteella valittu 3x200 A kahvararokkeet, joissa on varaus 250 A varokkeille. Mitatuksi huipputehoksi kohteesta saatiin noin 49 kW, ja tästä laskettu virta on noin 71 A.

Päiväkoti 2 on noin 900 m² kokoinen. Kohteen laskennalliseksi huipputehoksi oli määritetty noin 107 kW. Laskelmassa on myös arvioitu loistehon suuruutta, ja sen perusteella liittymän huippuvirraksi oli määritetty 158 A. Liittymän suojaukseksi oli valittu 3x160 A kahvararokkeet, joissa on varaus 250 A varokkeille. Toteutunut huipputeho on kohteessa noin 25,6 kW. Tämän perusteella kohteen huippuvirta on noin 37 A.

Päiväkodin 3 koko on noin 5150 m². Laskelmassa kohteen huipputehoksi oli arvioitu noin 284 kW. Huippuvirraksi oli laskettu noin 411 A. Suojaukseksi oli valittu rinnakkaisyöttöinä 2x 3x200 A jonovarokeytkimet, joissa on varaus 250 A varokkeille. Mitatuksi huipputehon arvoksi kohteessa saatiin noin 128 kW ja tästä lasketuksi huippuvirraksi noin 185 A.

4.3 Asuinkerrostalokohteet

Taulukkoon 4 on koostettu asuinkerrostalokohteista kerätyt tiedot ja data. Kaikki kerrostalot koostuvat opiskelija-asuntoloista, eivätkä ne välttämättä mukaile tavallisen kerrostalon sähkönkulutusta. Asuinkerrostalo 1 on valmistunut vuonna 2019. Asuinkerrostalot 2 ja 3 ovat valmistuneet vuonna 2021.

TAULUKKO 4. Kerrostalokohteista kerätty data

Kohteen nimitys	Pinta-ala (m ²)	Laskennalliset arvot		Pääsuojaus (A)	Mitatut arvot	
		Huipputeho (kW)	Huippuvirta (A)		Huipputeho (kW)	Huippuvirta (A)
Asuinkerrostalo 1	3631 (A-talo)	144,0	207,8	2x 3x200/250	104,0	150,1
	5124 (B-talo)	151,0	217,9			
Asuinkerrostalo 2	3862	178,3	257,0	3x200/250	51,0	73,6
Asuinkerrostalo 3	2996	157,3	227,0	3x200/250	37,5	54,2

Asuinkerrostalo 1 koostuu 2 kerrostalosta, A-talosta ja B-talosta. A-talon pinta-ala on noin 3600 m² ja B-talon pinta-ala noin 5100 m². Koko kerrostalokompleksia syöttävä pääkeskus sijaitsee B-talossa, ja liittymän suojauksena toimivat 2x 3x200 jonovarokeytkimet, joissa on varaus 250 A varokkeille.

A-talon laskennalliseksi huipputehoksi oli määritetty noin 144 kW. Laskennalliseksi virraksi oli saatu noin 208 A. B-talon laskennalliseksi huipputehoksi taas oli määritetty noin 151 kW, ja siitä lasketuksi huippuvirraksi oli saatu noin 218 A.

Kohteen taloista on yhteismittaus, ja koko kohteen huippukulutukseksi mitattiin noin 104 kW. Tästä laskettu huippuvirta on noin 150 A.

Asuinkerrostalo 2 on kooltaan noin 3860 m². Laskennalliseksi huipputehoksi oli saatu noin 178 kW. Laskennan huippuvirraksi oli saatu noin 257 A. Suojaukseksi kohteeseen oli valittu 3x200 A kahvasulakkeet, joissa on varaus 250 A sulakkeille. Kohteen mitatuksi huipputehoksi saatiin noin 51 kW ja huippuvirraksi noin 74 A.

Asuinkerrostalo 3 on kooltaan noin 3000 m². Kohteen huipputehoksi oli saatu noin 157 kW ja huippuvirraksi noin 227 A. Suojaukseksi oli myös tähän kohteeseen valittu 3x200 A kahvasulakkeet, joissa on varaus 250 A sulakkeille. Mitatuksi huipputehoksi tästä kohteesta saatiin noin 38 kW ja siitä lasketuksi virraksi noin 54 A.

4.4 Myymäläkohteet

Taulukkoon 5 on koostettu myymäläkohteista kerätyt tiedot ja data. Kaikki myymäläkohteet ovat valmistuneet vuonna 2021.

TAULUKKO 5. Myymäläkohteista kerätty data

Kohteen nimitys	Pinta-ala (m ²)	Laskennalliset arvot		Pääsuojaus (A)	Mitatut arvot	
		Huipputeho (kW)	Huippuvirta (A)		Huipputeho (kW)	Huippuvirta (A)
Myymälä 1	955,0	364,8	526,5	3x315/400	123,1	177,6
Myymälä 2	1000,0	160,0	230,9	2x 3x160/250	54,6	78,9
Myymälä 3	1787,0	383,6	553,7	3x 3x160/250	72,7	104,9

Myymälän 1 koko on noin 960 m². Kohteen laskennalliseksi huipputehoksi oli saatu noin 365 kW ja laskennalliseksi huippuvirraksi noin 527 A. Suojaukseksi kohteeseen oli valittu 3x315 A kahvasulakkeet, joissa on varaus 400 A sulakkeille. Kohteen huipputehoksi mitattiin noin 123 kW ja näin ollen huippuvirraksi saatiin noin 178 A.

Myymälän 2 pinta-ala on noin 1000 m². Kohteen arvioituksi huipputehoksi oli saatu noin 160 kW ja tästä laskennalliseksi virraksi noin 231 A. Suojaukseksi oli valittu rinnakkaissyöttönä 2x 3x160 A kahvasulakkeet, joissa on varaus 250 A sulakkeille. Mitatuksi huipputehoksi kohteesta saatiin noin 55 kW ja siitä lasketuksi huippuvirraksi noin 79 A.

Myymälän 3 pinta-ala on noin 1790 m². Kohteen huipputehoksi oli laskettu noin 384 kW. Tästä lasketuksi virraksi saatiin noin 554 A. Suojaukseksi oli valittu rinnakkaissyöttönä 3x 3x160 A jonovarokkeet, joissa on varaus 250 A varokkeille. Kohteesta mitattiin huipputehoksi noin 73 kW ja tästä lasketuksi virraksi saatiin noin 105 A.

4.5 Terveydenhuollon kohteet

Taulukkoon 6 on koostettu terveydenhuoltokohteista kerätyt tiedot ja data. Terveydenhuoltokohde 1 on valmistunut vuonna 2015, terveydenhuoltokohde 2 vuonna 2021 ja terveydenhuoltokohde 3 vuonna 2016.

Terveydenhuoltokohteissa 1 ja 2 ei käytetä päävarokkeita, vaan liityntä toteutetaan kiskosilloilla, joiden suojaus toteutetaan erilaisilla suojareleillä ja katkaisijoilla. Näiden mitoitus ei tässä opinnäytetyössä käsitellä puutteellisten resurssien vuoksi.

TAULUKKO 6. Terveydenhuoltokohteista kerätty data

Kohteen nimitys	Pinta-ala (m ²)	Laskennalliset arvot		Pääsuojaus (A)	Mitatut arvot	
		Huipputeho (kW)	Huippuvirta (A)		Huipputeho (kW)	Huippuvirta (A)
Terveydenhuolto 1	11000	1703,0 (PK1)	2533,0	2500 A kiskosilta	538,0	776,5
		983,0 (PK2)	1461,0	2500 A kiskosilta	425,0	613,4
Terveydenhuolto 2	46000	4354,0	6284,5	2500 A kiskosilta	1364,9	1970,1
Terveydenhuolto 3	6600	551,0	796,0	5x 3x200 / 250	234,2	338,0

Terveydenhuoltokohteen 1 pinta-ala on noin 11000 m². Kohteessa on kaksi pääkeskusta, ja molemmista kohteista saatiin erilliset mittausdatat. Myös kohteen laskelmat oli tehty pääkeskuskohtaisesti, joten tässä kohteessa myös tarkastellaan pääkeskuksia erikseen.

Pääkeskuksen PK1 huipputehoksi oli saatu noin 1700 kW. Huippuvirraksi oli laskettu noin 2533 A. Mitatuksi huipputehoksi saatiin noin 538 kW ja tästä lasketuksi huippuvirran arvoksi noin 777 A.

Pääkeskuksen PK2 huipputehoksi oli laskettu noin 983 kW. Huippuvirraksi oli laskettu noin 1461 A. Mitattuna huipputehoksi saatiin noin 425 kW ja huippuvirraksi noin 613 A.

Terveydenhuoltokohteen 2 pinta-ala on noin 46000 m². Kohteen laskennalliseksi huipputehoksi oli laskettu noin 4354 kW ja siitä muodostuvaksi huippuvirraksi oli laskettu noin 6285 A. Kohteen mitatuksi huipputehoksi saatiin noin 1365 kW ja siitä lasketuksi huippuvirraksi noin 1970 A.

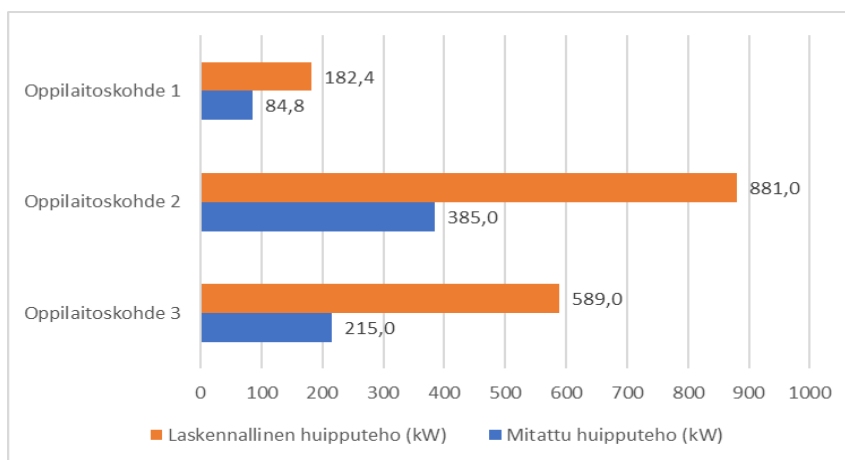
Terveydenhuoltokohteen 3 pinta-ala on noin 6600 m². Kohteen huipputehoksi oli laskettu noin 551 kW ja siitä saaduksi virraksi oli laskettu noin 796 A. Suojaukseksi oli määritetty 5x 3x200 A jonovarokekytkimet, joissa on varaus 250 A varokkeille. Kohteen mitatuksi huipputehoksi saatiin noin 234 kW ja siitä lasketuksi huippuvirraksi saatiin noin 338 A.

5 TULOKSET

Analysoitu mittausdata purettiin tuloksissa käsiteltäväksi materiaaliksi. Kiinteistöjen laskennallisista ja mitatuista huipputehoista muodostettiin vertailutaulukot. Vuositasoiset kuvaajat muodostettiin tuntikulutusdatasta noin vuoden ajalta riippuen kohteen mittausajanjaksosta, ja viikkotasoinen kuvaaja muodostettiin sen viikon ajalta, jolloin suurin huipputeho oli esiintynyt kiinteistössä. Kohteiden datasta saadut tulokset on esitelty tämän kappaleen alaluvuissa kohdetyypeittäin.

5.1 Oppilaitoskohteet

Kuvassa 3 on esitetty koostettu vertailutaulukko oppilaitoskohteiden laskennallisista ja mitatuista huipputehoista. Kaikissa kohteissa vaikuttaisi kuvan 3 perusteella olevan yli 50 % ylimitoitusta.

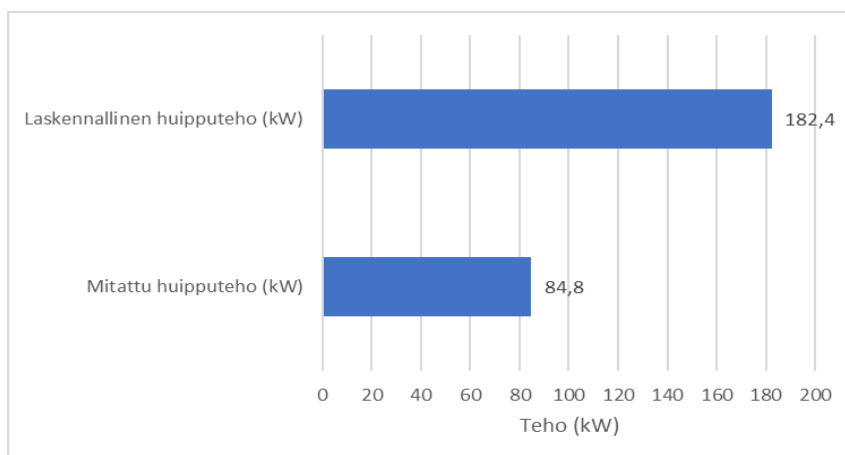


KUVA 3. Oppilaitoskohteet, huipputehojen vertailukaavio

Oppilaitoskohteista saadut tulokset esitellään tarkemmin erikseen alaluvuissa.

5.1.1 Oppilaitoskohde 1

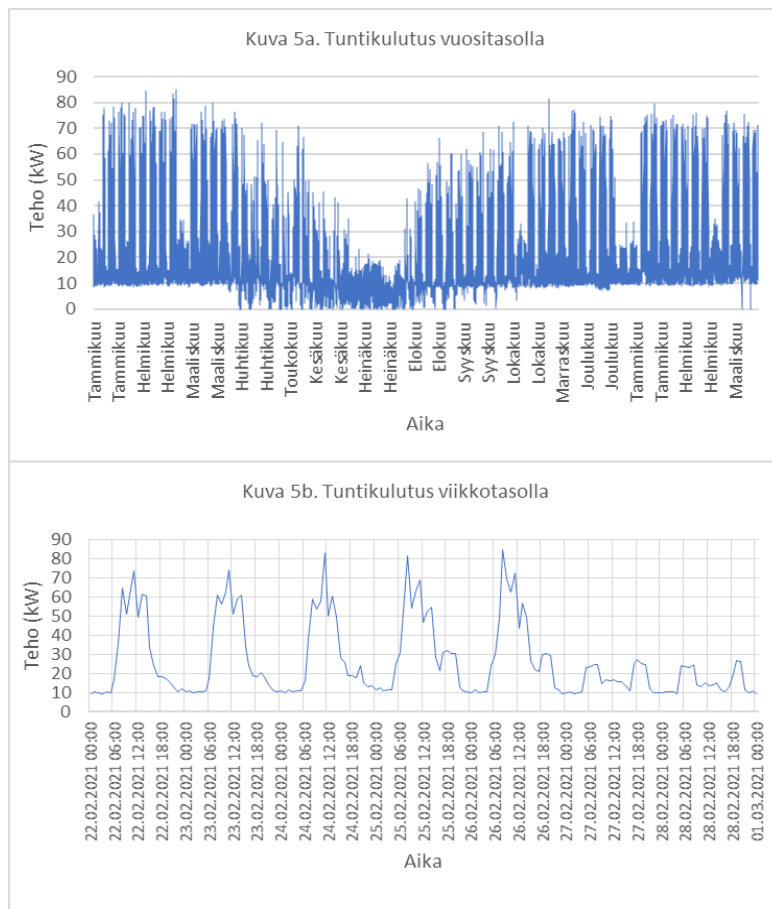
Kuvassa 4 on esitetty oppilaitoksen 1 huipputehojen vertailukaavio. Laskennallista huipputehoa määrittäessä on kohteessa käytetty laite- ja neliötehoihin perustuvaa laskentamenetelmää.



KUVA 4. Oppilaitos 1, huipputehojen vertailukaavio

Kohteen laskennallinen huipputeho on noin 115 % suurempi kuin mitattu huipputeho. Ylimitoitus tässä kohteessa on siis hieman yli kaksinkertainen. Toteutunut huipputeho on noin 46,5 % laskennallisesta huipputehosta.

Oppilaitoksen 1 sähkönkulutusdata on esitetty kuvassa 5. Kuvassa 5a on esitetty data, joka saatiin kerättyä ajalta 1.1.2021 – 31.3.2022. Kuvassa 5b on esitetty sen viikon aikainen tuntikulutus, jolloin vuoden suurin tehuippu esiintyy.



KUVA 5. Oppilaitos 1, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla

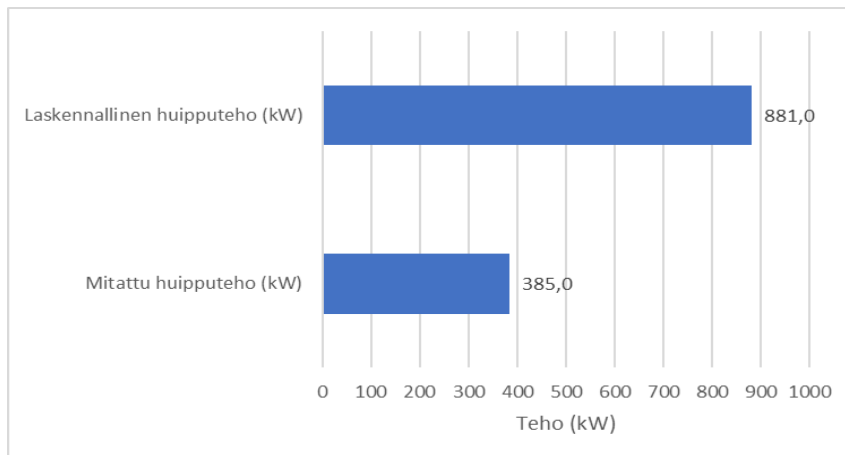
Kuvasta 5a voidaan havaita loma-aikojen vaikutus sähkönkulutukseen. Tuolloin käyrässä tapahtuu ajoittaisia pudotuksia. Datan mukaan kulutus oli suurinta koulupäivinä talviaikaan, ja tuolloin 80 kW ylittävät tehopiikit esiintyivät mittausdatan suodatuksen perusteella muutamina tunteina vuodessa. Kuvasta 5a voidaan kokonaisuudessaan päätellä, että sähköliittymässä esiintyy noin 60 kW ja 80 kW välisiä kuormituspiikkejä säännöllisesti, pois lukien loma-aikojen vähäisempi kulutus.

Kuvasta 5b nähdään koulupäivien aikoina tapahtuvat tehopiikit, jotka osuvat jotakuinkin aamupäivän ajalle. Nämä huiput johtuvat todennäköisesti lounaan valmistukseen käytettävien keittiölaitteiden kuormituksesta. Kuvan 5b tapainen käyrä esiintyy aina kouluviikoittain, joten kuormitus on säännöllistä, mutta se ei ole kovinkaan tasaista.

Kohteen suojaukseksi oli määritetty 2x 3x125 A päävarokkeet. Käytännössä suojaus kestää siis nimelliseltä sähkönsiirtokyvyltään 250 A virran. Mitatusta huipputehosta lasketun huippuvirran jäädessä noin 122 ampeeriin voidaan todeta, että pienempiin liittymä olisi tässä tapauksessa voinut mahdollisesti riittää. Toteutunut huippuvirta on noin 49 % liittymän päävarokkeiden nimellisarvosta.

5.1.2 Oppilaitoskohde 2

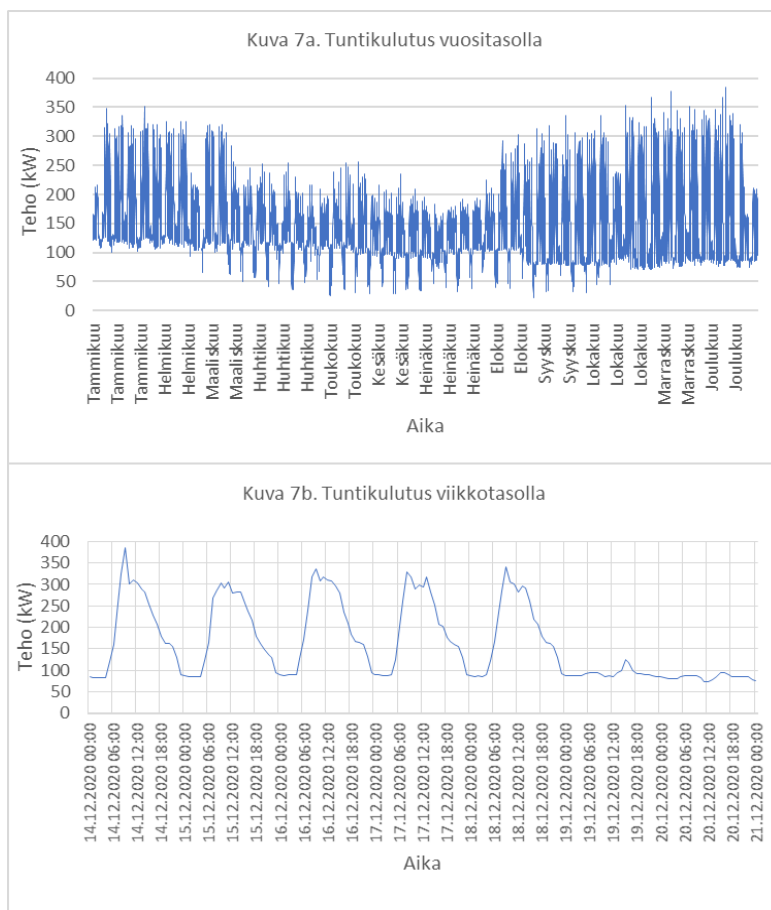
Kuvassa 6 on esitetty oppilaitoksen 2 huipputehojen vertailukaavio. Kohde oli jaettu 2 eri rakennusvaiheeseen, ja kohteen huipputehossa oli käytetty rakennusvaiheen 1 mittaustuloksia. Tähän mitattuun tehoon oli lisätty rakennusvaiheen 2 laskennallinen huipputeho. Rakennusvaiheen 2 laskennallinen huipputeho on laskettu neliötehoon perustuvalla laskentamenetelmällä.



KUVA 6. Oppilaitos 2, huipputehojen vertailukaavio

Kohteen laskennallinen huipputeho on noin 130 % suurempi kuin kohteen mitattu huipputeho. Tässä kohteessa ylimitoitus on siis noin 2,3-kertainen. Toteutunut huipputeho on noin 43,7 % laskennallisesta huipputehosta.

Kuvassa 7 on esitetty oppilaitoksen 2 sähkönkulutusdata. Kuvassa 7a on esitetty data, joka saatiin kerättyä ajalta 1.1.2020 – 31.12.2020. Kuvassa 7b on esitetty sen viikon aikainen tuntikulutus, jolloin vuoden suurin tehohuippu esiintyy.



KUVA 7. Oppilaitos 2, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla

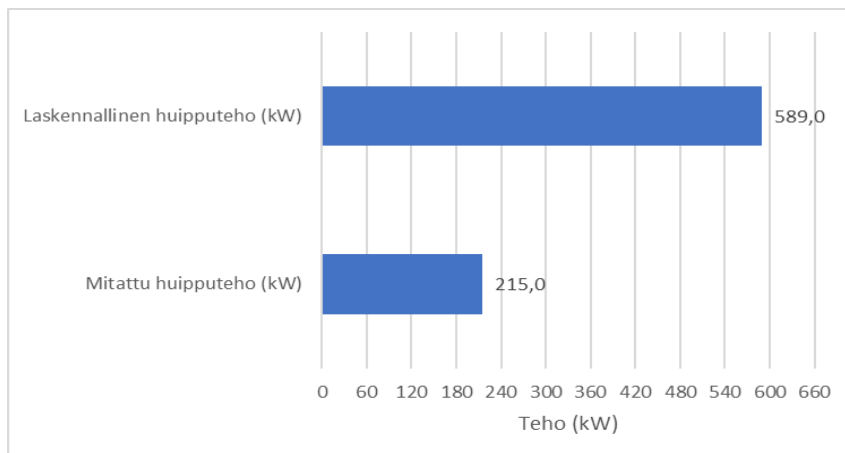
Kuvasta 7a voidaan havaita samalla tavalla loma-aikojen vaikutus sähkönkulutukseen kuin oppilaitoksessa 1. Datan mukaan kulutus oli suurinta tällöinkin koulupäivinä talviaikaan. 350 kW ylittävät tehopiikit esiintyivät datan mukaan muutaman tunnin verran vuoden aikana. Kuvasta 7a voidaan kokonaisuudessaan päätellä, että sähköliittymässä esiintyy noin 300 kW ja 380 kW välisiä tehopiikkejä säännöllisesti pois lukien loma aikojen kulutus.

Kuvasta 7b nähdään koulupäivien aikoina tapahtuvat tehopiikit, jossa tässäkin osuvat samalla periaatteella kuvan 5b tapaan aamupäivän lounasajankohdalle, jolloin keittiölaitteet ovat käytössä. Kuormitus tapahtuu säännöllisesti, mutta tehopiikkejä syntyy epätasaisesti.

Suojaukseksi kohteeseen oli valittu 4x 3x315 A jonvarokkeet. Käytännössä näillä päävarokkeilla kohteen sähköliittymä kestää kokonaisuudessaan 2520 A virran, koska samanlainen liittymä on suunniteltu molemmille rakennusvaiheille. Mitatun huippuvirran ollessa noin 556 A on päävarokkeiden virrankesto noin 4,5-kertainen toteutuneeseen huippuvirtaan nähden. Voidaan todeta, että pienempikin sähköliittymä olisi tässäkin tapauksessa saattanut riittää. Toteutunut huippuvirta on noin 22 % liittymän päävarokkeiden nimellisestä virrankesto.

5.1.3 Oppilaitoskohde 3

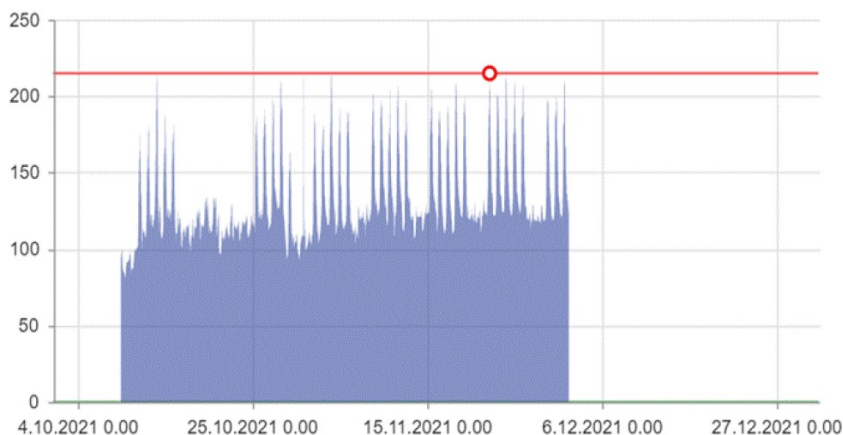
Kuvassa 8 on esitetty oppilaitoksen 3 huipputehojen vertailukaavio. Kohteen laskennallinen huipputeho on määritetty neliotehoon perustuvalla laskentamenetelmällä.



KUVA 8. Oppilaitos 3, huipputehojen vertailukaavio

Mittaustulosten mukaan kohteen sähköliittymän laskennallinen huipputeho on 174 % suurempi kuin mitä mittaustulos osoittaa. Ylimiötoitus on siis noin 2,7-kertainen. Toteutunut huipputeho on noin 36,5 % laskennallisesta huipputehosta.

Kuvassa 9 on esitetty oppilaitoksen 3 sähkönkulutusdata. Kohteen sähkönkulutusdataa ei saatu Excel-taulukkona, joten kulutushuippujen määrää ei voitu tarkastella sen tarkemmin. Kohteesta saatiin kuitenkin sähkönkulutuksen kuvaaja tuntitehoina 3 kuukauden talviajanjaksolta, jolloin kulutuksen oletetaan olleen suurinta.



KUVA 9. Oppilaitos 3, tuntikulutus ajalta 4.10.2021 - 27.12.2021

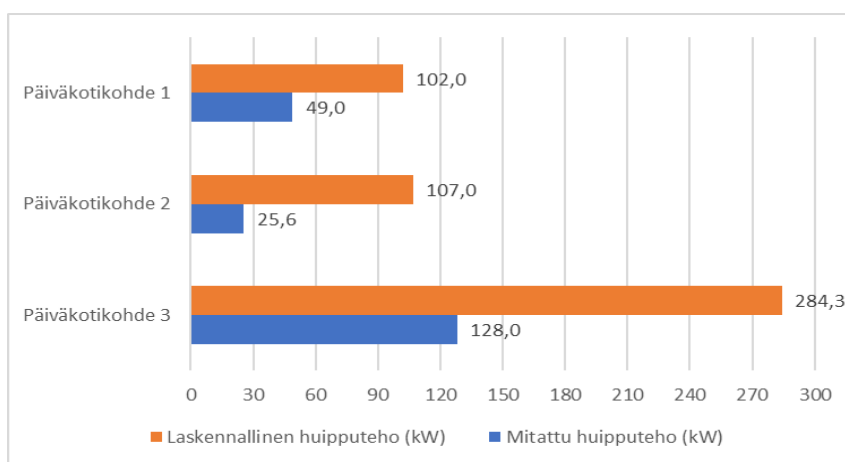
Vaikka kuvassa 9 ei näy sähkönkulutus yhtä kattavasti kuin muissa oppilaitoskohteissa, on kuvassa silti tulkittavissa kuormituksen säännöllisyys koulupäivien aikana. Tällä aikavälillä kulutushuiput nousivat kuvaajasta päätellen yli 200 kilowattitunnin ainakin noin 10 tunnin verran. Kuormituksen voidaan olettaa tässäkin oppilaitoskohteessa olevan melko säännöllistä, mutta epätasaista.

Liittymän suojaukseksi oli määritetty rinnakkaisyöttöinä 4x 3x200 jonovarokkeet, jotka käytännössä kestävät 800 A virran. Mitatun huipputehon mukainen huippuvirta oli noin 310 A, eli sähköliittymän mitoituksessa saattaa olla optimoinnin varaa. Toteutunut huippuvirta on noin 39 % liittymän päävarokkeiden nimellisestä virrankestosta.

Huomioitavaa tässä kohteessa on kuitenkin se, että kohteen sähköautojen latauspisteet eivät olleet mittaushetkellä vielä täydessä käytössä. Tämä voisi todennäköisesti nostaa mittaustuloksia.

5.2 Päiväkotikohteet

Kuvassa 10 on esitetty koostettu vertailutaulukko päiväkotikohteiden laskennallisista ja mitatuista huipputehoista. Kuvan perusteella kaikissa päiväkotikohteissa vaikuttaisi olevan ainakin 50 % ylimittotusta, ja päiväkotikohteessa 2 lähes nelinkertainen ylimittotus.

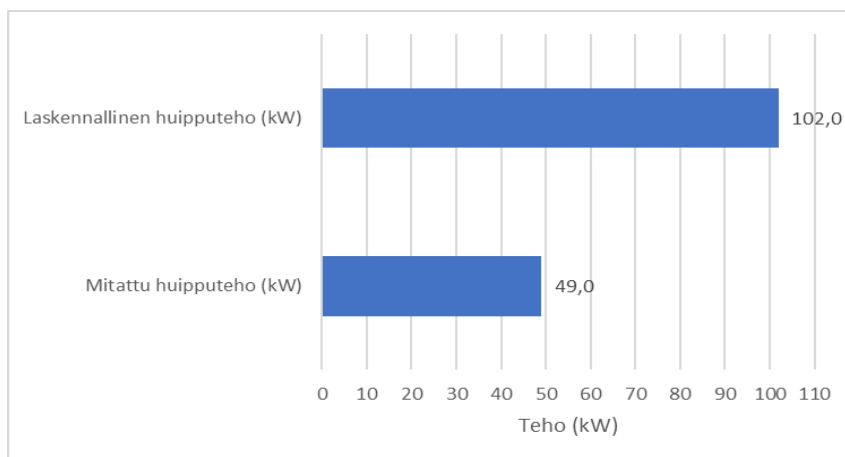


KUVA 10. Päiväkotikohteet, huipputehojen vertailukaavio

Päiväkotikohteista saadut tulokset esitellään tarkemmin erikseen alaluvuissa.

5.2.1 Päiväkotikohde 1

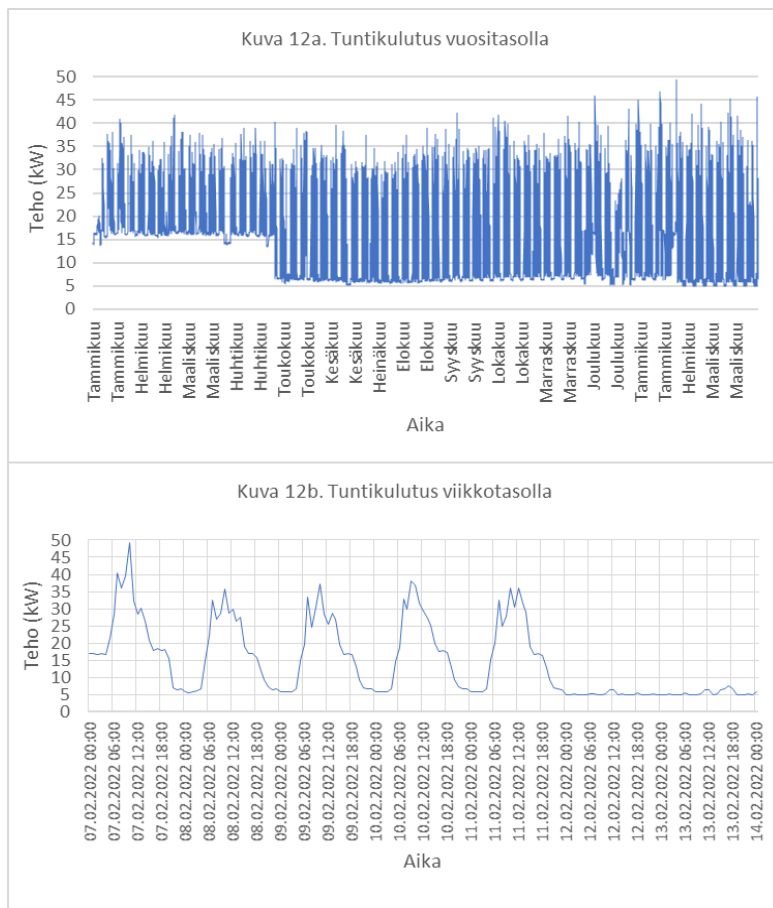
Kuvassa 11 on esitetty päiväkodin 1 huipputehojen vertailukaavio. Kohteen teholaskelmassa on käytetty laite- ja neliötehoihin perustuvaa laskentamenetelmää.



KUVA 11. Päiväkoti 1, huipputehojen vertailukaavio

Kohteen vertailukaaviosta selviää, että kohteen sähköliittymän laskennallinen huipputeho on noin 108 % suurempi kuin mitattu huipputeho. Ylimiöitus on tässä noin kaksinkertaista. Toteutunut huipputeho on noin 48 % laskennallisesta huipputehosta.

Päiväkodin 1 sähk6nkulutusdata on esitetty kuvassa 12. Kuvassa 12a on esitetty data, joka saatiin kerättyä ajalta 1.1.2021 – 31.3.2022. Kuvassa 12b on esitetty sen viikon aikainen tuntikulutus, jolloin vuoden suurin tehohippu esiintyy.



KUVA 12. Päiväkoti 1, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla

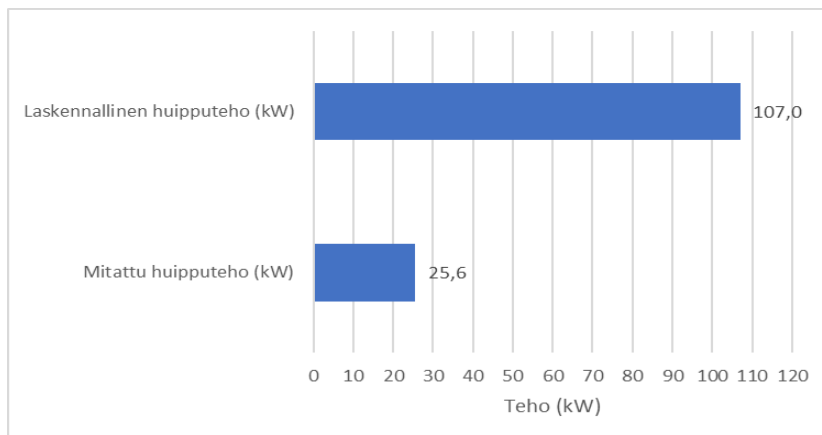
Kuvan 12a mukaan kohteessa esiintyvät suurimmat tehopiikit sijoittuvat talviajalle. Samoin kuin oppilaitoskohteissa, on myös tässä kohteessa havaittavissa loma-aikoja ja tässä tapauksessa päiväkotipäiviä mukaileva sähk6nkulutuksen vaihtelu. Mittausdatasta tarkasteltiin 45 kW ylittäviä tehopiikkejä, ja niitä esiintyy vuoden aikana noin 8 kertaa, joten suurimmat tehopiikit ovat melko harvinaisia. Suurimpina toistuvuudeltaan tiheimpinä tehopiikkeinä voidaan pitää 35 kW ylittäviä tehopiikkejä, joita esiintyy vuoden aikana paljon.

Kuvasta 12b nähdään jälleen päiväkotipäivien aikainen kuormitus samalla tavalla kuin oppilaitoskohteissa. Pääsääntöinen kuormitus tapahtuu arkipäivinä päiväsaikaan, ja iltaa kohti kulutus alkaa laskemaan.

Liittymän suojaukseksi oli valittu 3x200 A kahvararokkeet. Mittaustuloksista laskettu huippuvirta oli noin 71 A, joka jää noin kolmasosaan mitoitetuista päävarokkeista. Tästä voidaan olettaa, että sähköliittymässä saattaa olla optimoinnin varaa. Toteutunut huippuvirta on noin 35,4 % liittymän päävarokkeiden nimellisarvosta.

5.2.2 Päiväkotikohde 2

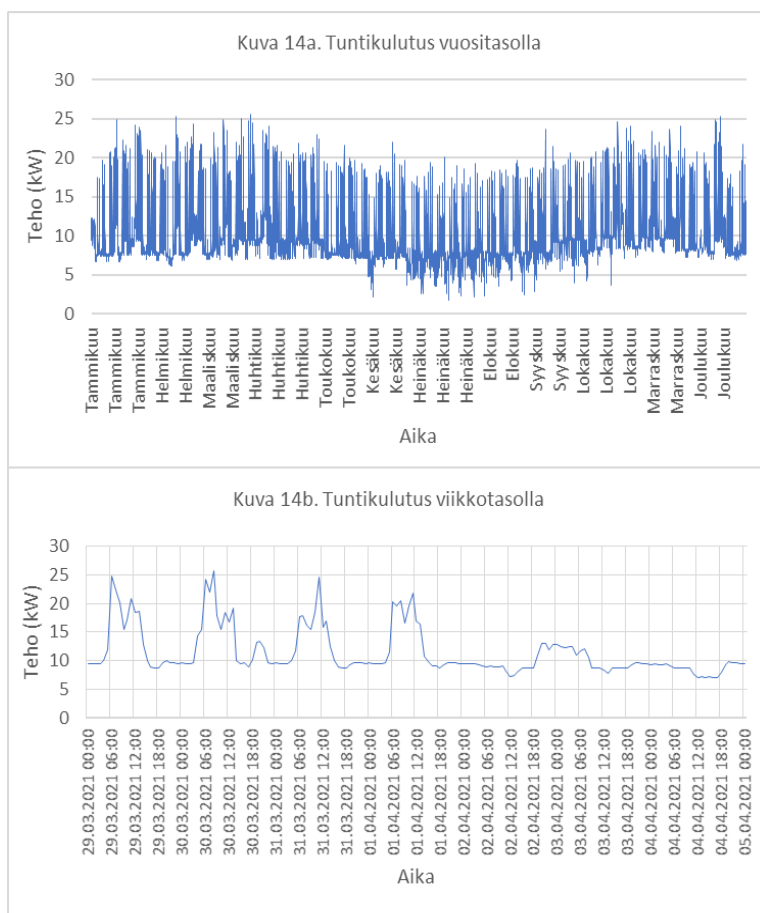
Kuvassa 13 on esitetty päiväkodin 2 huipputehojen vertailukaavio. Teholaskelmassa on käytetty laite- ja neliötehoihin perustuvaa laskentamenetelmää.



KUVA 13. Päiväkoti 2, huipputehojen vertailukaavio

Kohteen vertailukaaviota tarkastellessa selviää, että kohteen sähköliittymän laskennallinen huipputeho on noin 318 % suurempi kuin mitattu huipputeho. Ylimiöitus tässä on siis noin nelinkertaista. Toteutunut huipputeho on noin 24 % laskennallisesta huipputehosta.

Päiväkodin 2 sähkönkulutusdata on esitetty kuvassa 14. Kuvassa 14a on esitetty data, joka saatiin kerättyä ajalta 1.1.2021 – 30.12.2021. Kuvassa 14b on esitetty sen viikon aikainen tuntikulutus, jolloin vuoden suurin tehohuippu esiintyy.



KUVA 14. Päiväkoti 2, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla

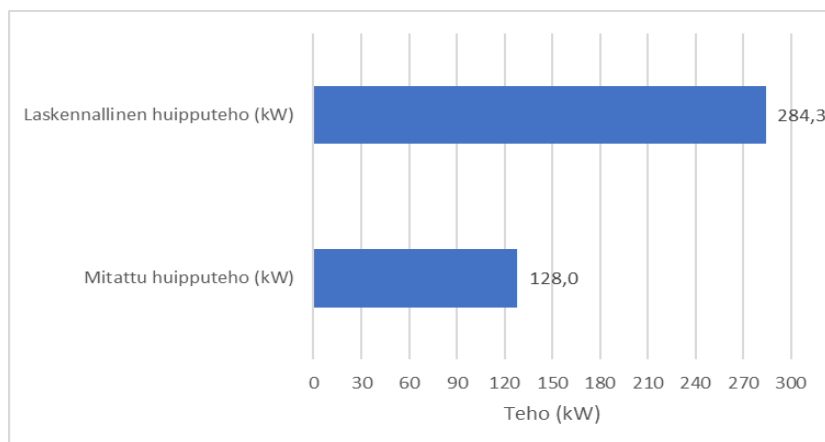
Kuvan 14a mukaan kohteessa esiintyvät suurimmat tehot osuvat talviajalle. Kohteen vuositasoisesta kuvaajasta voi päiväkodin 1 tavoin huomata samantapaista tehonvaihtelua johtuen päiväsjän suu-remmasta kulutuksesta. 25 kW ylittäviä tehopiikkejä esiintyy datan mukaan vuoden aikana muutamia. Toistuvuudeltaan tiheimpiä ja suurimpia tehopiikkejä vaikuttaisi olevan 20 kW ja 25 kW välille asettuvat tehopiikit.

Tutkittaessa kuvaa 14b havaitaan samantapaista kuormituskäyrää kuin aiemmin. Päiväkotipäivien arkirutiini näkyy tässä selkeimmin maanantaista torstaihin, mutta perjantaina kuormitus näyttäisi olevan tasaisen pientä, jolloin päiväkodissa ei välttämättä ole ollut toimintaa ainakaan normaalin vertaa. Lauantaina esiintyy pieni tehon kasvu, jolloin päiväkodissa on saattanut olla jotain pienimuotoisempaa toimintaa.

Kohteen suojaukseksi oli määritetty 3x160 A kahvavarokkeet. Mittaustuloksista laskettu huippuvirta oli noin 37 A, joka on hieman yli neljäsosan mitoitetuista päävarokkeista. Toteutunut huippuvirta on noin 23 % päävarokkeiden nimellisarvosta. On siis mahdollista, että pienemmän kokoinenkin suo-jaus olisi voinut riittää.

5.2.3 Päiväkotikohde 3 (Päiväkodin ja oppilaitoksen yhdistelmäkohde)

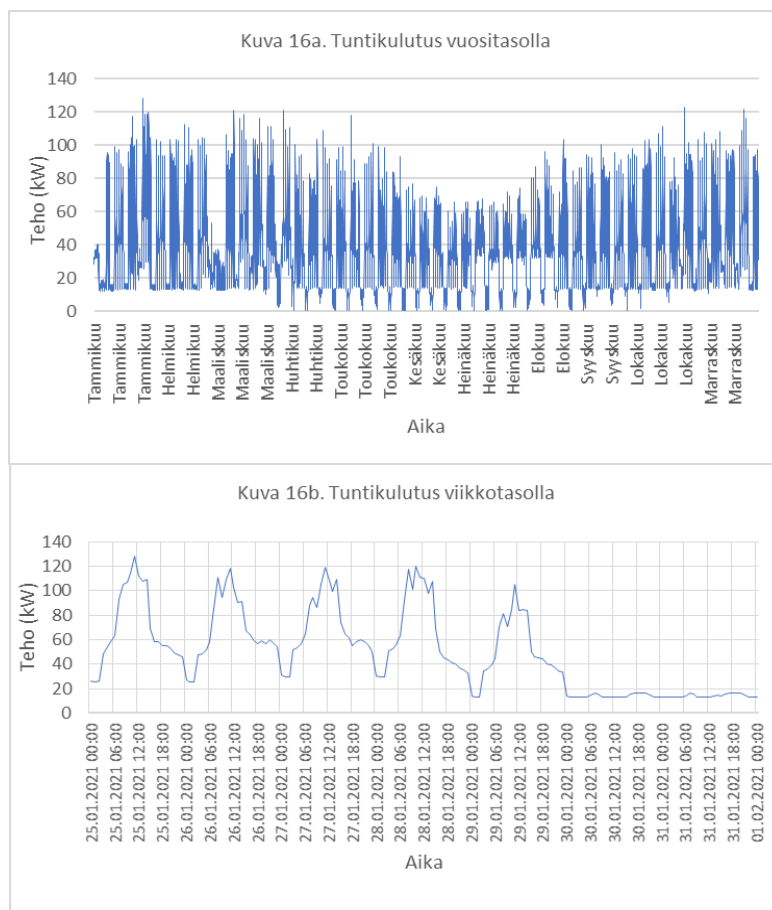
Kuvassa 15 on esitetty oppilaitoksen ja päiväkodin yhdistelmäkohteen huipputehojen vertailukaavio. Kohteen teholaskelmassa on käytetty laite- ja neliötehoon pohjautuvaa laskentamenetelmää.



KUVA 15. Päiväkoti 3, huipputehojen vertailukaavio

Ylimoitusta tämän kohteen sähköliittymässä on noin 122 %. Laskennallinen huipputeho toteutuneeseen huipputehoon nähden on siis hieman yli kaksinkertainen. Toteutunut huipputeho on noin 45 % laskennallisesta huipputehosta.

Kohteen sähkönkulutusdata on esitetty kuvassa 16. Kuvassa 16a esitetään data, joka on kerätty ajalta 1.1.2021 – 1.12.2021. Kuvassa 16b esitetään sen viikon aikainen kulutus, jolloin vuoden suurin tehohippu esiintyy.



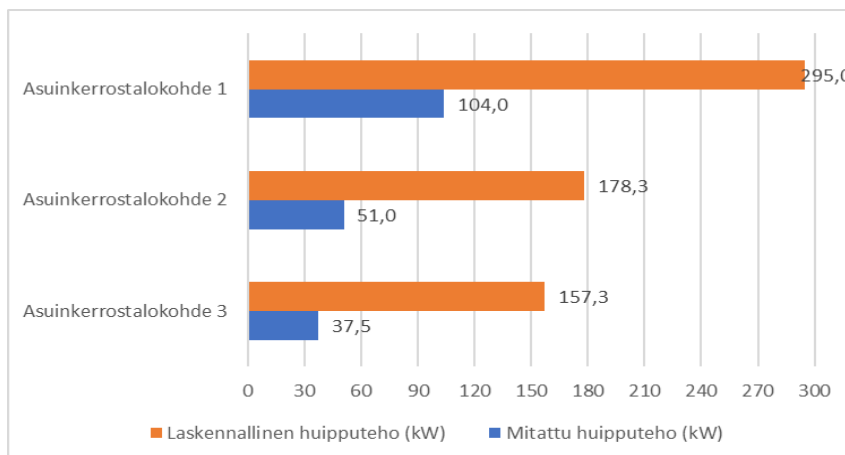
KUVA 16. Päiväkoti 3, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla

Samoin kuin aikaisemmissa kohteissa, myös tässä kohteessa ilmenee loma-aikojen ja päiväkotitai koulupäivien sähkönkulutuksen vaihtelu, kuten kuvat 16a ja 16b esittävät. Kulutus on suurinta tässäkin kohteessa talviaikaan, vaikkakin myös kevätaikana esiintyy joitakin suhteellisen isoja tehopiikkejä. Suurimpia, eli tässä tapauksessa 120 kW ylittäviä tehopiikkejä esiintyy datan poimittujen tehohuippujen mukaan muutamia. Suuret tehopiikit eivät siis ole kovinkaan säännöllisiä. Kokonaisuudessaan liittymän kuormitus kuitenkin on säännöllistä ja epätasaista kuten muissakin samantyyppisissä kohteissa. Suurimmat yleisimmät tehopiikit ovat 100 kW ylittäviä, joita kiinteistössä esiintyy vuoden aikana suhteellisen paljon, pois lukien loma-aikojen kuormitus.

Suojaukseksi kohteeseen oli valittu 2x3x200 A jonvarokekytkimet, eli suojauksen nimellinen virrankesto on siis 400 A. Mittaustuloksista lasketuksi huippuvirraksi saatiin noin 185 A, joten nimellisen virrankeston suhteen sulakkeet ovat yli kaksinkertaisia toteutuneeseen huippuvirtaan verrattuna. Toteutunut huippuvirta on noin 46 % liittymän päävarokkeiden nimellisestä virrankestopista, jolloin on mahdollista, että kohteessa olisi pärjätty pienemmällä suojauksella.

5.3 Asuinkerrostalokohteet

Kuvassa 17 on esitetty koostettu vertailukaavio asuinkerrostalokohteiden laskennallisista ja mitatuista huipputehoista. Kuvan 17 perusteella kaikissa kohteissa vaikuttaisi olevan noin kolmin- tai nelinkertainen ylimitoitus.

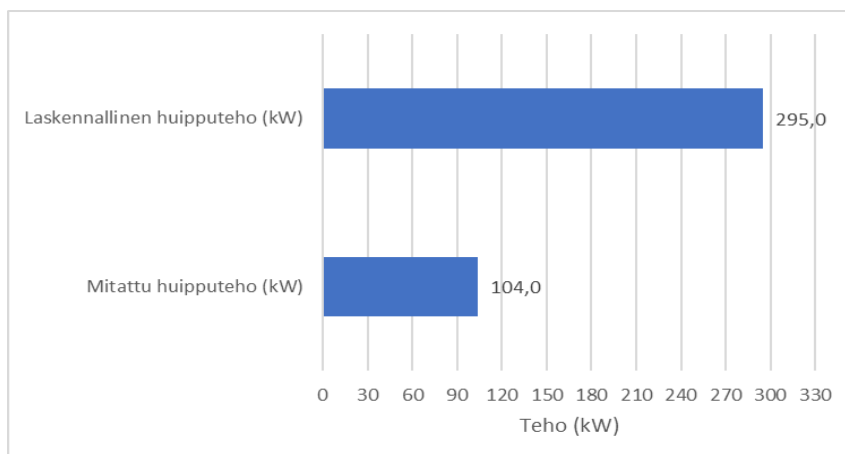


KUVA 17. Asuinkerrostalokohteet, huipputehojen vertailukaavio

Asuinkerrostalokohteista saadut tulokset esitellään tarkemmin erikseen alaluvuissa.

5.3.1 Asuinkerrostalokohde 1

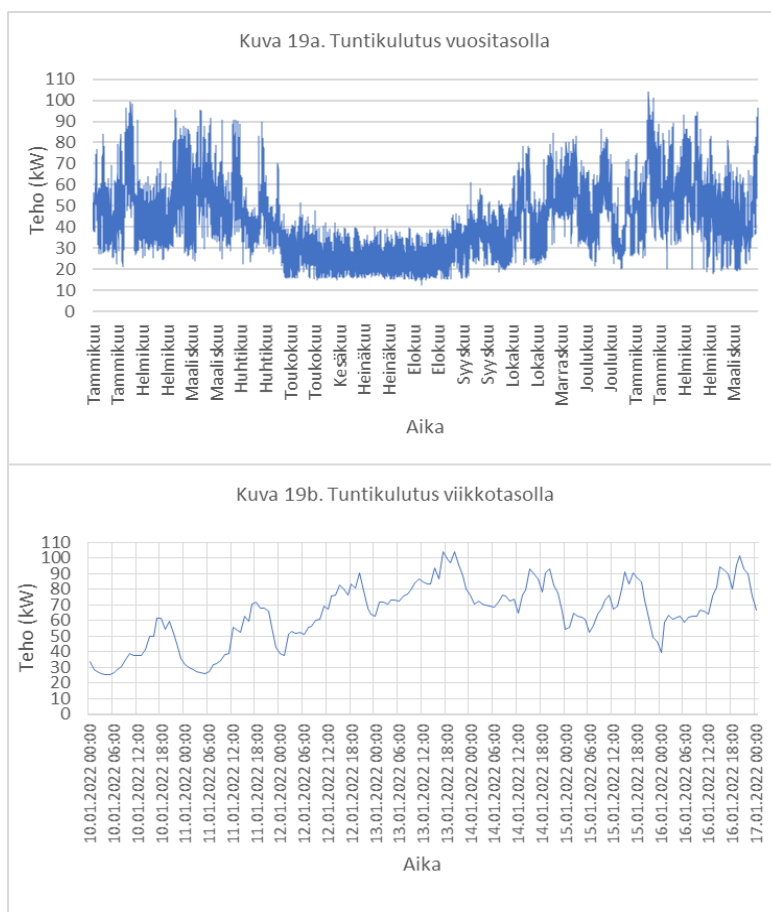
Kuvassa 18 on esitetty asuinkerrostalon 1 laskennallisen huipputehon ja mitatun huipputehon vertailukaavio. Kohteen teholaskelmissa on käytetty neliötehoon perustuvaa laskentamenetelmää, johon on lisätty kohdetyypistä riippuva tehovakio. Kohde koostui kahdesta yhteismittauksella toimivasta kerrostalosta, joiden laskennalliset tehoarvot laskettiin yhteen. Tämän jälkeen yhteenlaskettuja tehoarvoja verrattiin mittaustuloksiin.



KUVA 18. Asuinkerrostalo 1, huipputehojen vertailukaavio

Kaaviosta selviää, että laskennallinen huipputeho on noin 184 % suurempi kuin mitattu huipputeho. Ylimitoitus tässä kohteessa on siis melkein kolminkertaista. Toteutunut huipputeho on noin 35 % laskennallisesta huipputehosta.

Asuinkerrostalon 1 sähkönkulutusdata on esitetty kuvassa 19. Kuvassa 19a on esitetty data, joka saatiin kerättyä ajalta 1.1.2021 – 28.3.2022. Kuvassa 19b on esitetty sen viikon aikainen tuntikulu- tus, jolloin vuoden suurin huipputeho esiintyy.



KUVA 19. Asuinkerrostalo 1, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla

Kuvan 19a mukaan huippukulutus osuu talviajalle. Kuormitus on huomattavasti vähäisempää kesäaikaan. Vuositasolla kulutus vaikuttaa olevan hyvin epätasaista. Joulukuun lopulla vaikuttaisi syntyvän normaalista poikkeava notkahdus, joka voi viitata esimerkiksi siihen, että joulunpyhien aikaan opiskelija-asunnot ovat yleensä tyhjillään. Vuoden 2022 tammikuun aikana taas esiintyvät suurimmat 100 kW ylittävät tehopiikit, joka voi viitata esimerkiksi lämmityksen tehostamiseen kovemmilla pakasilla. Muuten tällaiset tehopiikit ovat suhteellisen harvassa. Niitä esiintyi mittausdatan mukaan vuoden aikana vain 4 kertaa. Suurimpina ja tiheimmin esiintyvänä tehopiikkeinä voitaisiin pitää 80 kW tehohippuja, joita esiintyy kiinteistössä suhteellisen paljon talvi- ja kevät aikaan. Kesäaikaan kulutuksen laskeminen on kuitenkin merkittävää. Tuolloin sähkönkulutus on näennäisesti keskimäärin noin 20 kW ja 30 kW välistä luokkaa.

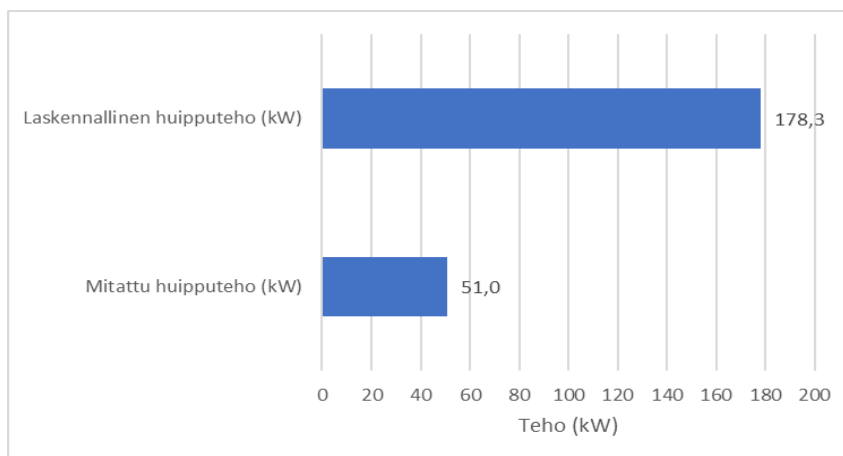
Kuvassa 19b on esitetty vuoden 2022 tammikuun viikko, jolloin kuormitus on ollut suurinta. Kuormitus vaihtelee kellonajan mukaisesti siten, että kuormitus on päiväsaikaan suurempaa kuin yöaikaan. Myös yöaikaan on kuitenkin myös havaittavissa kulutuksen nousua, joka voi viitata siihen, että sähköä käytetään esimerkiksi lämmön varaamiseen yöllä, jolloin sähkö on halvempaa. Varattu lämpö käytetään seuraavana päivänä, johon saattaa viitata noin klo 18 jälkeen tapahtuvat kulutuksen pudotukset. Tällä tarkoitetaan aikaisemmin käsitellyä kysyntäjoustoa, jolla saadaan muun muassa leikkattua huipputehoja pienemmäksi. Päiväsaikaan toteutuva suurempi kuormitus ei vaikuttaisi olevan

kovinkaan tasaista johtuen todennäköisesti siitä, että ihmiset ovat eri aikoihin kotona eikä näin ollen sähkölaitteitakaan käytetä säännönmukaisesti. Kuvan 19b mukaan kulutuksessa on kuitenkin havaittavissa viikkotasolla yö- ja päiväsaajan välistä säännöllisyyttä.

Kohteen suojaukseksi oli valittu 2x3x200 A jonovarokeytkimet, joiden nimellinen virrankesto on siis 400 A. Mitatusta huipputehosta lasketuksi huippuvirraksi saatiin noin 150 A, eli suojauksen virrankesto on noin 2,7-kertainen toteutuneeseen huippuvirtaan nähden. Toteutunut huippuvirta on noin 37,5 % päävarokkeiden nimellisestä virrankestosta, eli voi olla, että kohteessa olisi toiminut pienempikin suojaus.

5.3.2 Asuinkerrostalokohde 2

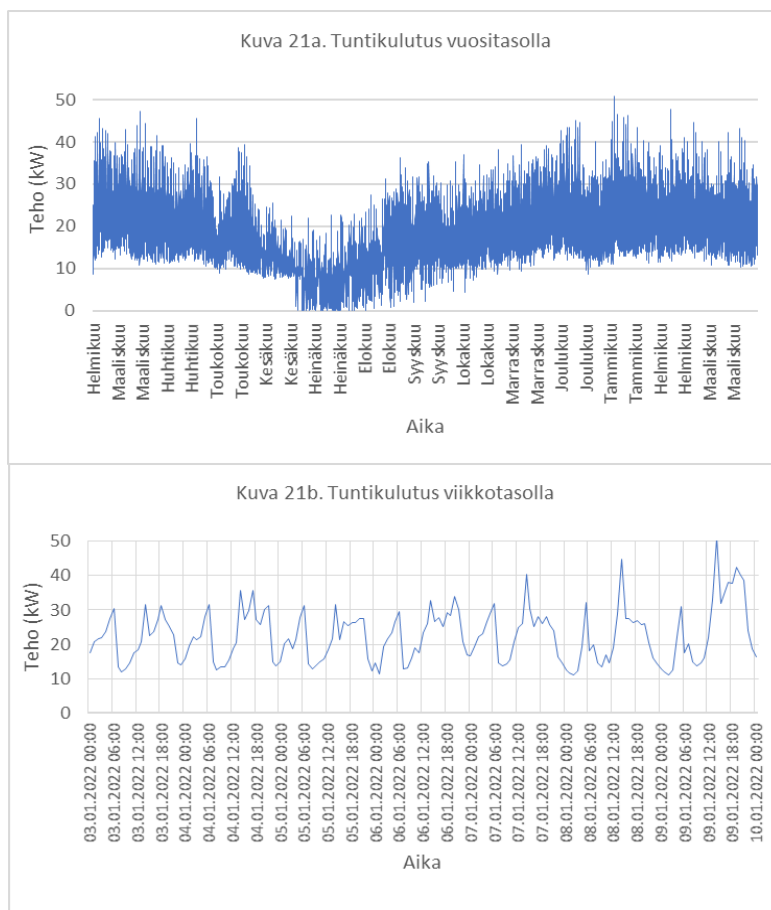
Kuvassa 20 on esitetty asuinkerrostalon 2 laskennallisen ja mitatun huipputehon vertailukaavio. Kohteen teholaskelmassa oli arvioitu huipputehoa ST-kortin 13.31 laite- ja neliötehoihin perustuvilla menetelmillä.



KUVA 20. Asuinkerrostalo 2, huipputehojen vertailukaavio

Vertailukaavion mukaan laskennallinen huipputeho on noin 250 % suurempi kuin toteutunut huipputeho. Ylimiöitus kohteessa on noin 3,5-kertaista. Mitattu huipputeho on noin 29 % laskennallisesta huipputehosta.

Asuinkerrostalon 2 sähkönkulutusdata on esitetty kuvassa 21. Kuvassa 21a on esitetty data, joka saatiin kerättyä ajalta 28.2.2021 – 31.3.2022. Kuvassa 21b on esitetty sen viikon aikainen tuntikulutus, jolloin vuoden suurin tehuippu esiintyy.



KUVA 21. Asuinkerrostalo 2, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla

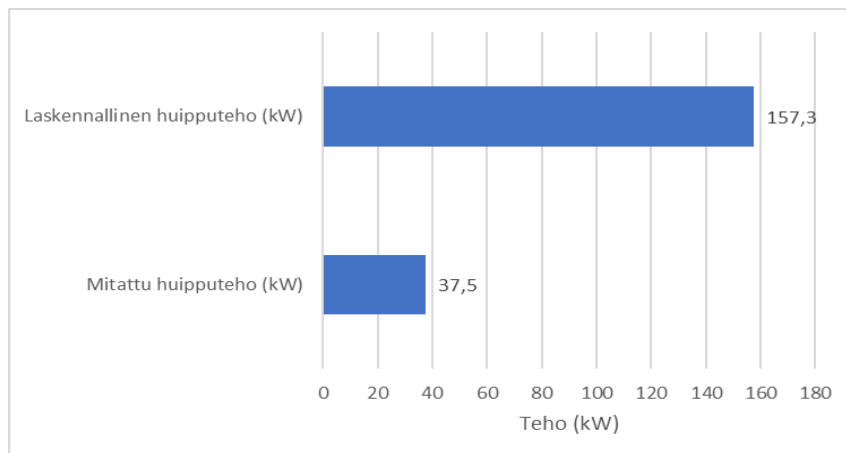
Kuvassa 21a on havaittavissa samanlainen tehon pudotus kesäaikaan kuin asuinkerrostalossa 1. Suurin kuormitus osuu tässäkin talviajalle. Tuntikulutusdatan mukaan yli 50 kW tehopiikkejä on vuoden aikana esiintynyt ainoastaan yksi, ja se on esiintynyt tammikuun aikana, johtuen todennäköisesti normaalia kovemmissa pakkasista. Muuten tehohuippujen tiheyden kannalta merkittävimmät tehopiikit jäävät lähinnä 40 kW ja 50 kW väliin. Vuodenaikainen kuormitus on tässäkin kohteessa hyvin epätasaista.

Kuvassa 21b huomataan, että kohteessa on havaittavissa yöaikaista kulutuksen nousua. Tämä voi viitata asuinkerrostalon 1 tavoin esimerkiksi siihen, että kohteessa varataan lämpöä yöaikaan, jolloin sähkö on halvempaa. Varattu lämpö käytetään siten seuraavana päivänä, johon viittaa ilta-aikaan, noin kello 19-20 jälkeen tapahtuvat kulutuksen pudotukset.

Kohteen suojaukseksi oli valittu 3x200 A kahvasulakkeet. Kohteen mitatusta huipputehosta lasketuksi huippuvirraksi saatiin noin 74 A, eli pääsulakkeiden nimellinen virrankesto on noin 2,7 kertaa niin suuri kuin toteutunut huippuvirta. Toteutunut huippuvirta on noin 37 % päävarokkeiden nimellisarvosta, eli todennäköisesti olisi voitu pärjätä myös pienemmällä suojauksella.

5.3.3 Asuinkerrostalokohde 3

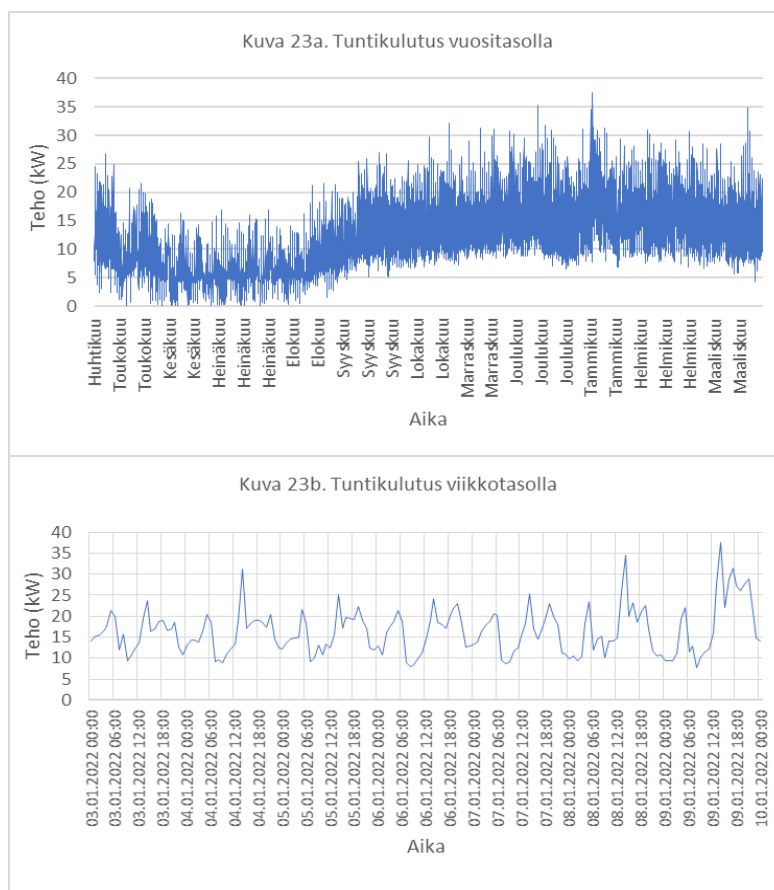
Kuvassa 22 on esitetty asuinkerrostalon 3 huipputehojen vertailukaavio. Kohde on saman suunnittelijan suunnittelema kuin asuinkerrostalo 2, ja siinä on käytetty samanlaista teholaskelmaa.



KUVA 22. Asuinkerrostalo 3, huipputehojen vertailukaavio

Vertailukaavion mukaan kohteen laskennallinen huipputeho on noin 320 % suurempi kuin mittaustulosten antama huipputeho. Ylimiöitus tässä kohteessa on siis hieman yli nelinkertaista. Mitattu huipputeho on noin 24 % toteutuneesta huipputehosta.

Asuinkerrostalon 3 sähkönkulutusdata on esitetty kuvassa 23. Kuvassa 23a on esitetty asuinkerrostalon 3 sähkönkulutusdata, joka saatiin kerättyä ajalta 30.4.2021 – 31.3.2022. Kuvassa 23b on esitetty sen viikon aikainen kulutus, jolloin vuoden suurin huipputeho esiintyy.



KUVA 23. Asuinkerrostalo 3, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla

Kuvan 23a mukaan kiinteistön suurin kulutus osuu talviajalle. Kuormitus on selkeästi vähäisempää kuin kesäaikaan. Kulutus on epätasaista, mutta tehopiikit vaikuttaisivat olevan suhteellisen säännöllisiä riippuen vuodenajasta. Tässäkin kohteessa suurin tehopiikki esiintyy tammikuun aikana. Jos verrataan tehopiikkien tiheyttä, voitaisiin merkittävimpinä piikkeinä pitää 30 kW tehohuippuja, joita esiintyy talviaikaan suhteellisen paljon.

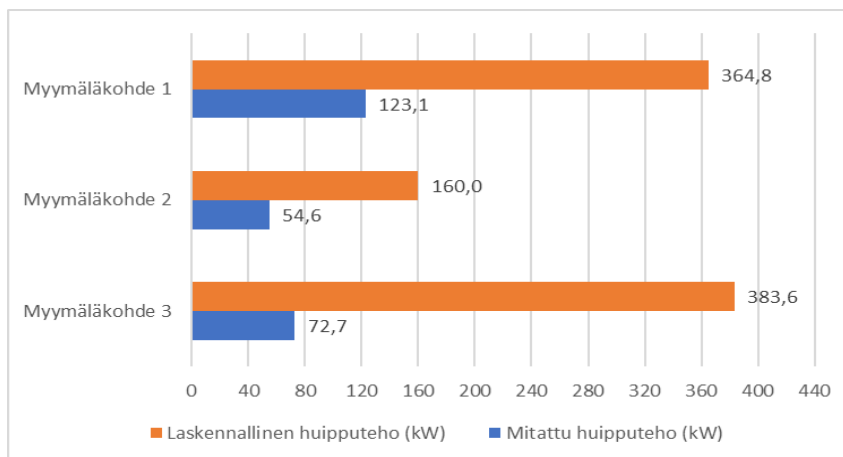
Kuvan 23b mukaan käyrä vaikuttaisi mukailevan asuinkerrostalon 2 kuvan 21b käyrää. Syntyvät tehohuiput ja kulutuksen notkahdukset osuvat suunnilleen samoihin aikoihin kuin asuinkerrostalossa 2. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että asuinkerrostalokohteet 1 ja 2 ovat saman rakennuttajan kohteita, jolloin niiden sähköjärjestelmissä voi mahdollisesti olla hyvin paljon samankaltaisuuksia.

Liittymän suojaukseksi oli valittu 3x200 A kahvasulakkeet. Kohteen mitatusta huipputehosta lasketuksi huippuvirraksi saatiin noin 54 A, joten pääsulakkeiden nimellinen virrankesto on noin 3,7 kertaa suurempi kuin suurin esiintyvä huippuvirta. Toteutunut huippuvirta on noin 27 % pääsulakkeiden nimellisarvosta, joten voidaan todeta, että pienempikin suojaus olisi voinut riittää.

5.4 Myymäläkohteet

Myymäläkohteista saatiin kerättyä ainoastaan suurin esiintynyt tehopiikki vuoden ajalta. Näin ollen myymäläkohteista ei voitu muodostaa tuntikulutuskaavioita. Siten näiden kohteiden osalta käsitellään ainoastaan huipputehojen vertailu.

Kuvassa 24 esitetään koostettu vertailutaulukko myymäläkohteiden laskennallisista ja mitatuista huipputehoista. Myymälöissä 1 ja 2 ylimitoitus vaikuttaisi olevan suurin piirtein kolminkertaista, ja myymälässä 3 ainakin viisinkertaista.

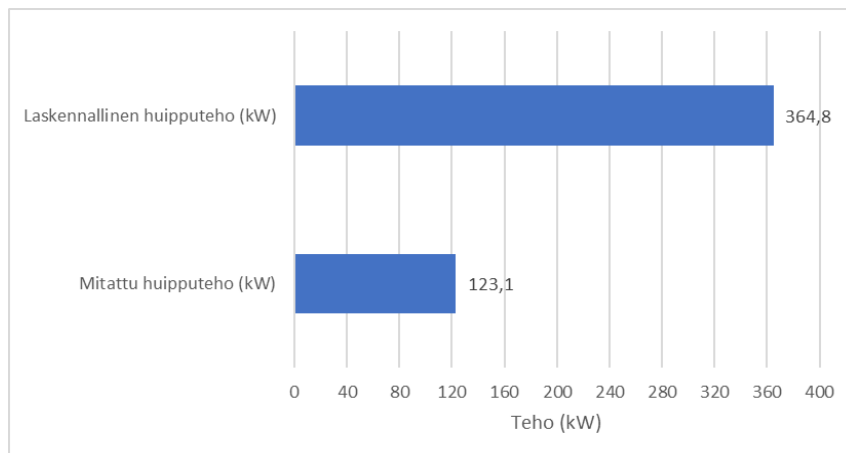


KUVA 24. Myymäläkohteet, huipputehojen vertailukaavio

Myymäläkohteista saadut tulokset esitellään tarkemmin erikseen alaluvuissa.

5.4.1 Myymäläkohde 1

Kuvassa 25 on esitetty myymälän 1 huipputehojen vertailukaavio. Kohteen huipputeho on teholas- kelman mukaan laskettu käyttäen laitekohtaista laskentamenetelmää.



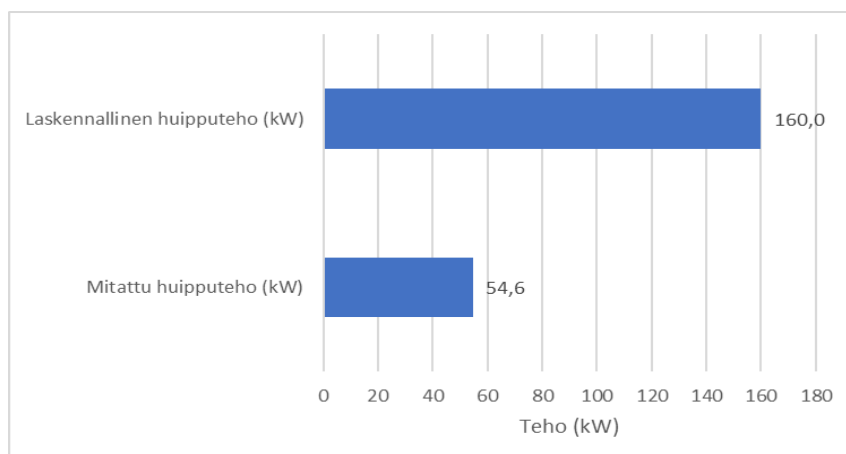
KUVA 25. Myymälä 1, huipputehojen vertailukaavio

Kaavion mukaan kohteen laskennallinen huipputeho on noin 196 % suurempi kuin kohteen mitattu huipputeho. Näin ollen kohteen huipputehon ylimitoitus on noin kolminkertaista. Mitattu huipputeho on noin 33,8 % laskennallisesta huipputehosta.

Kohteen suojaukseksi oli määritetty 3x315 A kahvasulakkeet. Mitatusta huipputehosta laskettu huip- puvirta on noin 178 A, eli sulakkeen nimellinen virrankesto on noin 1,8 kertaa niin suuri kuin toteu- tunut huippuvirta. Toteutunut huippuvirta on noin 56,4 % pääsulakkeiden nimellisarvosta. Tässä kohteessa voidaan todeta, että on mahdollista, että suojaus on optimaalinen. Tämä on kuitenkin edelleen tulkinnanvaraista, sillä liittymässä on silti ylikapasiteettia noin 43,6 %.

5.4.2 Myymäläkohde 2

Kuvassa 26 on esitetty myymälän 2 vertailukaavio. Kohteen teholas- kelma on tehty perustuen neliö- tehoon, eri tilojen kokonaistehon kulutukseen sekä osittain myös laitekohtaiseen tehoarvioon sisäl- täen lämminvesivaraajan, kylmäkonekeskuksen ja kylmäkalustekeskuksen. Nämä kaikki arviot ja ne- liöteholaskelma on laskettu yhteen.



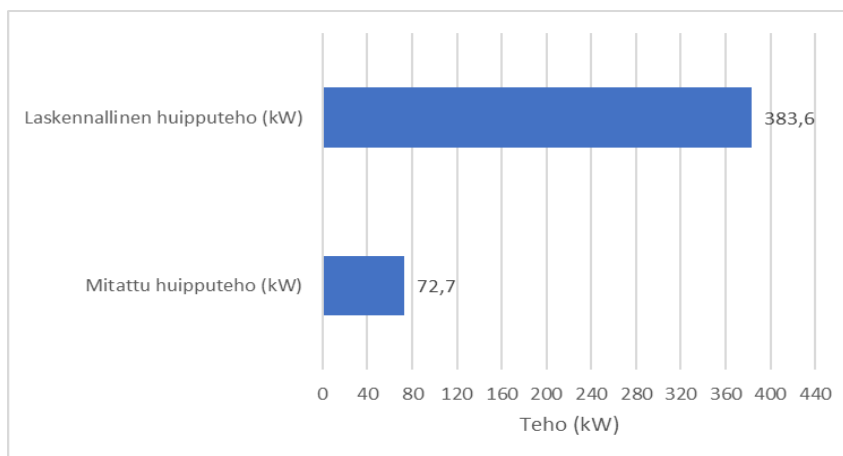
KUVA 26. Myymälä 2, huipputehojen vertailukaavio

Vertailukaavion mukaan laskennallinen huipputeho on noin 193 % suurempi kuin mitattu huipputeho. Kohteen laskennallinen huipputeho on siis melkein kolminkertainen verrattuna toteutuneeseen huipputehoon. Mitattu huipputeho on noin 34 % laskennallisesta huipputehosta.

Kohteen suojaukseksi oli valittu 2x 3x160 A kahvasulakkeet. Nimelliseltä virrankestoltaan liittymä kestää siis 320 A kuormitusvirran. Mitatusta huipputehosta laskettu huippuvirta on kohteessa noin 80 A, eli liittymän nimellinen virrankesto on noin nelinkertainen toteutuneeseen huippuvirtaan verrattuna. Toteutunut huippuvirta on noin 25 % pääsulakkeiden nimellisestä virrankestosta, mikä mahdollisesti viittaa liian suureen suojaukseen.

5.4.3 Myymäläkohde 3

Kuvassa 27 on esitetty myymälän 3 huipputehojen vertailu. Kohteen teholaskelma on tehty perustuen neliöteholaskelmaan sekä eri jakokeskusalueiden arvioituun sähkönkulutukseen. Lisäksi laskelmassa on huomioitu kylmäkonekeskuksen ja kylmäkalustekeskuksen sähkönkulutus.



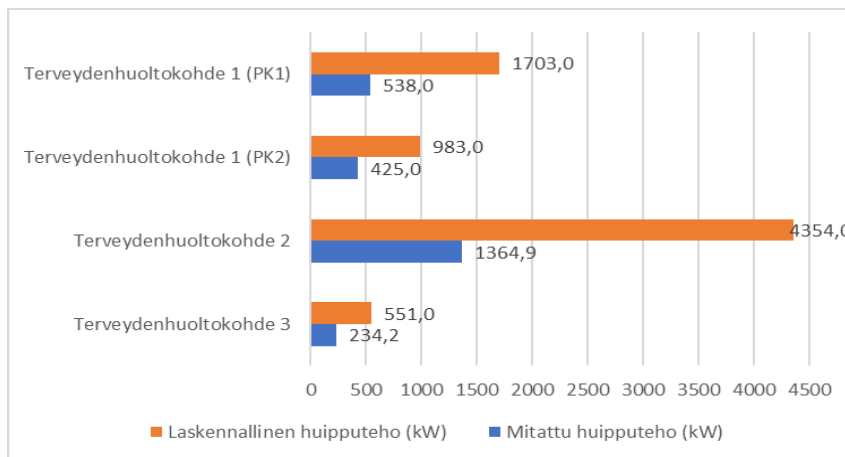
KUVA 27. Myymälä 3, huipputehojen vertailukaavio

Kaavion mukaan laskennallinen huipputeho on noin 428 % suurempi kuin toteutunut huipputeho. Kohteen laskennallinen huipputeho on siis noin 5,3-kertainen verrattuna mitattuun arvoon. Mitattu huipputeho on noin 19 % laskennallisesta huipputehosta.

Kohteen suojaukseksi oli valittu 3x 3x160 A jonovarokkeet. Nimellinen virrankesto tällä suojauksella on siis 480 A. Toteutuneen laskennallisen huippuvirran ollessa noin 105 A on liittymän virrankesto noin 4,6-kertainen toteutuneeseen huippuvirtaan nähden. Toteutunut huippuvirta on noin 22 % päävarokkeiden nimellisestä virrankestosta, joten on mahdollista, että suojaus on liian suuri.

5.5 Terveydenhuoltokohteet

Kuvassa 28 on esitetty koostettu vertailukaavio terveydenhuoltokohteiden laskennallisista ja mitatuista huipputehoista. Terveydenhuoltokohteesta 1 saatiin sekä data että teholaskelmat pääkeskuskohtaisesti, joten niiden huipputehot ovat myös tässä eriteltyinä. Pääkeskuksittain mitoitus vaikuttaisi olevan noin kolminkertaista pääkeskuksessa 1 ja noin kaksinkertaista pääkeskuksessa 2. Kohteessa 2 ylimitoitus vaikuttaa olevan noin kolminkertainen ja kohteessa 3 hieman yli kaksinkertainen.



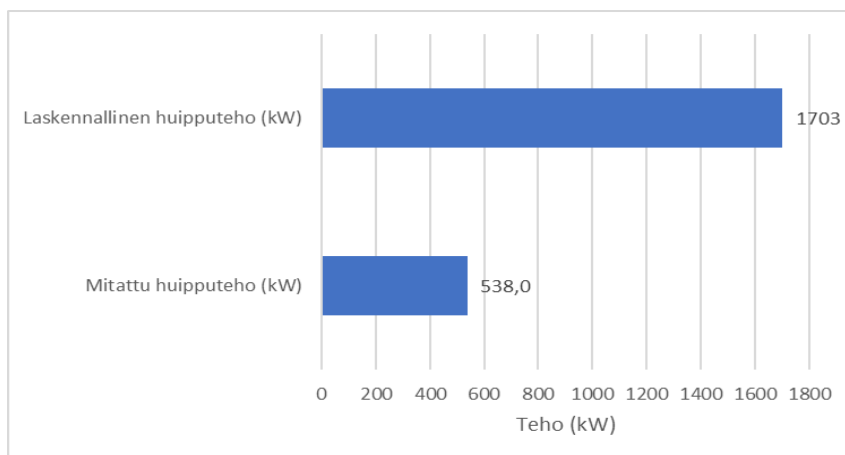
KUVA 28. Terveydenhuoltokohteet, huipputehojen vertailukaavio

Terveydenhuoltokohteista saadut tulokset esitellään tarkemmin erikseen alaluissa.

5.5.1 Terveydenhuoltokohte 1

Kohteessa on kaksi pääkeskusta, joista molemmista on tehty erilliset tehonkäyttöarviot. Pääkeskusten syöttämistä jakokeskuksista on tehty myös erilliset huipputeholaskelmat. Jakokeskusten huipputehot on laskettu yhteen ja näin muodostettu pääkeskusten arvioidut huipputehot. Laskennassa on käytetty laite- ja neliötehoon perustuvaa laskentamenetelmää, jossa on myös arvioitu erilaisten laitteiden, kojeiden ja huonetilojen tehokertoimia sekä huomioitu nämä laskennassa.

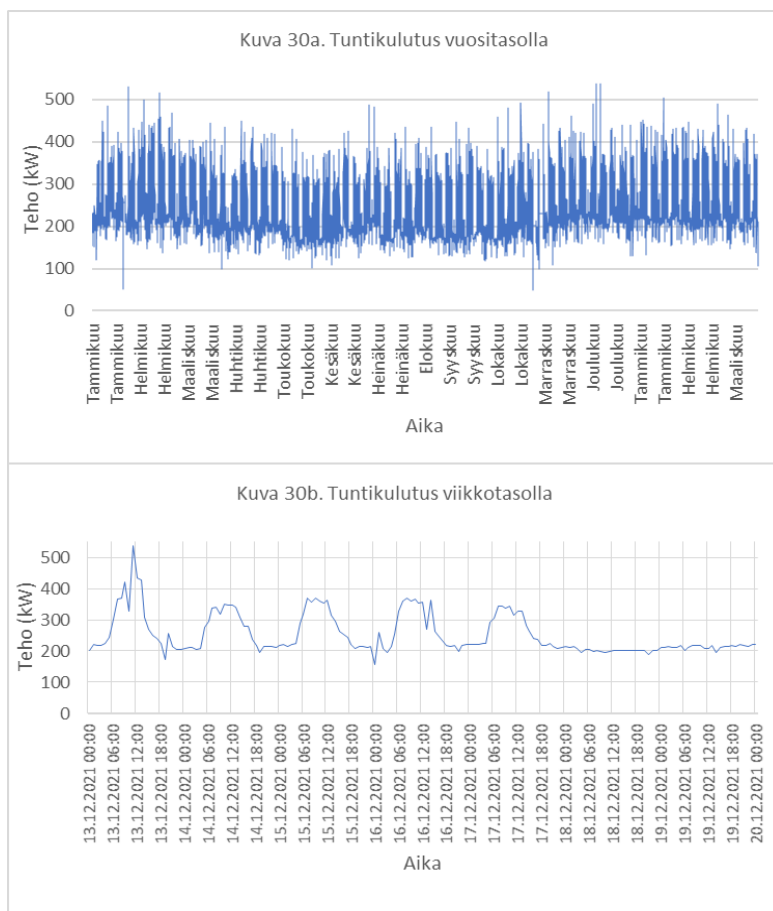
Kuvassa 29 on esitetty terveydenhuoltokohteen 1 pääkeskuksen PK1 vertailukaavio.



KUVA 29. Terveydenhuolto 1, huipputehojen vertailukaavio (PK1)

Vertailukaavion mukaan kohteen pääkeskuksen PK1 laskennallinen huipputeho on noin 217 % suurempi kuin toteutunut huipputeho. Näin ollen laskennallinen huipputeho on noin kolminkertainen toteutuneeseen huipputehoon nähden. Mitattu huipputeho on noin 31,6 % laskennallisesta huipputehosta.

Terveydenhuoltokohteen 1 pääkeskuksen PK1 sähkönkulutusdata on esitetty kuvassa 30. Kuvassa 30a on esitetty data, joka saatiin kerättyä ajalta 1.1.2021 – 30.3.2022. Kuvassa 30b on esitetty sen viikon aikainen tuntikulutus, jolloin vuoden suurin huipputeho esiintyy.



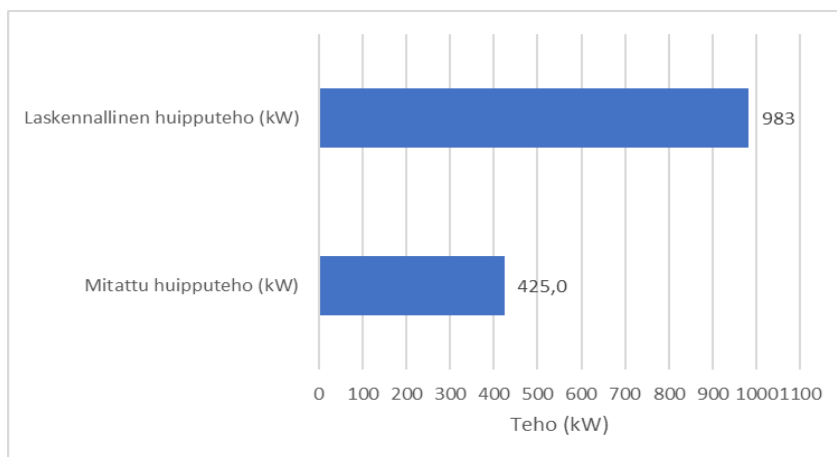
KUVA 30. Terveydenhuolto 1, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla (PK1)

Kuvan 30a mukaan kohteen pääkeskuksen PK1 sähkönkulutuksen vaihtelu vuositasolla on edellisiin kohteisiin verrattuna tasaisempaa. Datasta selvitettiin, että sähkönkulutus ylittää 500 kW rajan noin 7 kertaa vuoden aikana. Tehopiikkien tiheyden kannalta merkittävimpiä piikkeinä voidaan pitää 400 kW ylittäviä tehuippuja, joita esiintyy kohteessa merkittävän paljon.

Tämän tyyppisissä kohteissa on sähkönkulutuksen kannalta ominaista se, että esimerkiksi valaistus ja ilmanvaihto ovat yleensä jatkuvassa käytössä. Valaistuksen ja perussähköistyksen lisäksi terveydenhuoltokohteissa on hyvin monenlaisia laitteita ja laitteistoja, jotka kuluttavat paljon sähköä. Lisäksi ilmastointi on terveydenhuoltoympäristössä hyvin tärkeää, joka varmasti näkyy sähkönkulutuksessa. Kohde voi sisältää erityislaitetiloja, joita on jäähdytettävä ympäri vuoden. Laitteistojen ja ylipäättänsä sähköjärjestelmien tuntikulutusperusteinen arviointi on hankalaa, sillä laitteistojen käyttöaste on hyvin tapauskohtaista.

Kuitenkin jos tarkastellaan kuvaa 30b, havaitaan hieman samantapaista kulutuksenvaihtelua kuin oppilaitos- ja päiväkotikohteissa. Arkipäivisin kulutukset ovat huipussaan, ja iltaa kohti tehohiiput pienenevät. Viikonloppuna kuormitus on tasaista, ja kuormitus pysyy hyvin suurena. Kulutus pysyy tuolloin noin 200 kW suuruudessa. Tästä voi päätellä, että tällainen kohdeympäristö vaatii jatkuvaa kuormitusta esimerkiksi ilmanvaihdon, jäähdytyksen, valaistuksen ja monenlaisten elintärkeiden sairaalalaitteiden vuoksi.

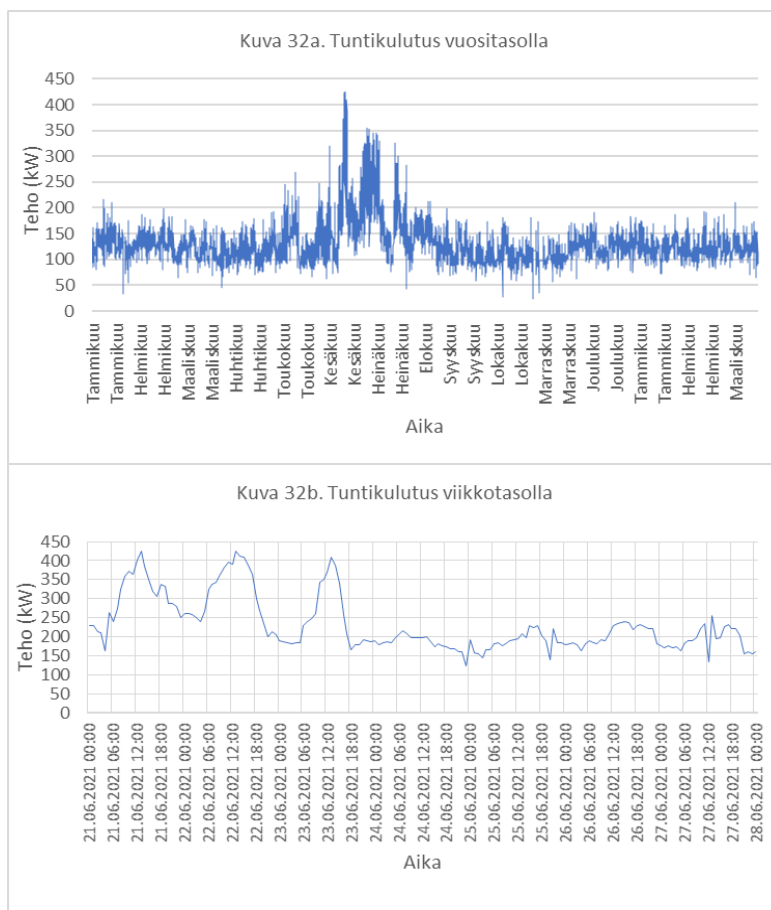
Kuvassa 31 on esitetty terveydenhuoltokohteen 1 pääkeskuksen PK2 huipputehojen vertailukaavio.



KUVA 31. Terveydenhuolto 1, huipputehojen vertailukaavio (PK2)

Vertailukaavion mukaan kohteen laskennallinen huipputeho on noin 130 % suurempi kuin toteutunut huipputeho. Näin ollen laskennallinen huipputeho on noin 2,3-kertainen verrattuna toteutuneeseen huipputehoon. Mitattu huipputeho on noin 43 % toteutuneesta huipputehosta.

Terveydenhuoltokohteen 1 pääkeskuksen PK2 sähkönkulutusdata on esitetty kuvassa 32. Kuvassa 32a on esitetty data, joka saatiin kerättyä samalta ajalta kuin pääkeskuksen 1, eli ajalta 1.1.2021 – 30.3.2022. Kuvassa 32b on esitetty sen viikon aikainen tuntikulutus, jolloin vuoden suurin tehohuippu esiintyy.



KUVA 32. Terveydenhuolto 1, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla (PK2)

Kuvan 32a mukaisesti pääkeskuksen PK2 datassa näkyy enemmän vaihtelua kuin pääkeskuksen PK1 datassa. Tehojen piikit ovat tasaisempia tammikuun ja toukokuun sekä elokuun ja maaliskuun välillä, mutta kesäaikaan kohteen pääkeskuksessa esiintyy huomattavasti suurempia piikkejä. Suurin näistä osuu noin kesä-heinäkuun ajalle, jolloin tehopiikit nousevat yli 400 kilowattitunnin.

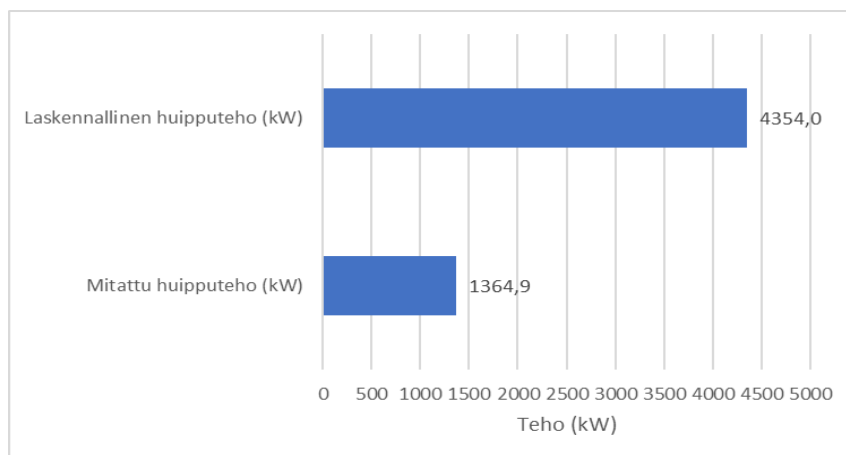
Yli 400 kW tehopiikkejä on datasta poimittujen arvojen mukaan noin 6. Tiheydeltään merkittävimmiksi tehohuipuksi voitaisiin laskea 150 kW ylittävät tehohiiput, joita toistuu vuoden aikana hyvin paljon. Kesänaikaisen tehonvaihtelun perusteella voitaisiin päätellä, että tämä keskus syöttää kyseisessä kohteessa esimerkiksi ilmastointi- tai jäähdytysjärjestelmää. Tällaisten kohteiden sisäilmastolle on määritelty erilaisia laatuvaatimuksia, jonka vuoksi kesäaikaan jäähdytys on tarpeen, jotta tilojen ilmanlaatu pysyy kyseisten vaatimusten puitteissa (Heinonen 2021, 11-16).

Kuvassa 32b on alkuvuokosta havaittavista säännöllistä kuormituksen kasvua päiväsaikaan. Kuormitus laskee ja tasaantuu iltaa kohti, ja keskiviikon jälkeen kuormitus pysyy suhteellisen tasaisena. Tätä on hankalaa arvioida, minkä vuoksi näin tapahtuu, mutta kuten aiemmin on todettu, on tällaisten kohteiden kuormituksen arviointi tuntikulutusperusteisesti haastavaa ilman tarkempia tietoja esimerkiksi kohteen laitekannasta ja laitteiden käyttöasteista.

5.5.2 Terveydenhuoltokohde 2

Kuvassa 33 on esitetty terveydenhuoltokohteen 2 vertailukaavio. Pääkeskuksia kohteessa on 3. Kohteen tehokaskelema on tehty samanlaisella menetelmällä kuin terveydenhuoltokohteen 1. Huipputehot ovat arvioitu jakokeskuksittain osittain neliötehoihin ja osittain laitetehoihin perustuen. Nämä huipputehot ovat laskettu yhteen riippuen siitä, minkä pääkeskuksen syöttävään alueeseen ne kuuluvat.

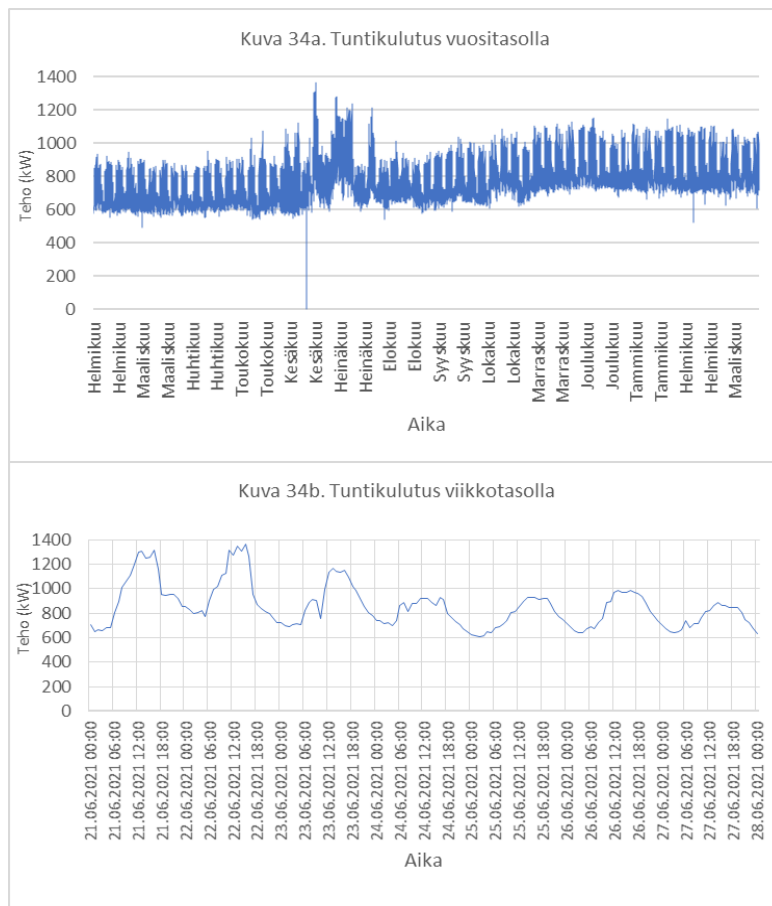
Mittausdata kohteesta saatiin kuitenkin kokonaismittauksena, eli tässä kohteessa ei eritellä pääkeskuskohtaisia huipputehoja, vaan tarkastellaan koko liittymän sähkönkulutusta kerralla.



KUVA 33. Terveysthuolto 2, huipputehojen vertailukaavio

Vertailukaavion mukaan kohteen laskennallinen huipputeho on noin 219 % suurempi kuin mitattu huipputeho. Näin ollen liittymän laskennallinen huipputeho on noin 3,2 kertaa suurempi kuin mitattu arvo. Mitattu huipputeho on noin 31 % laskennallisesta huipputehosta.

Kuvassa 34 on esitetty terveydenhuoltokohteen 2 sähkönkulutusdata. Kuvassa 34a on esitetty terveydenhuoltokohteen 2 sähkönkulutusdata, joka saatiin kerättyä ajalta 1.2.2021 – 31.3.2022. Kuvassa 34b on esitetty sen viikon aikainen kulutus, jolloin vuoden suurin huipputeho esiintyy.



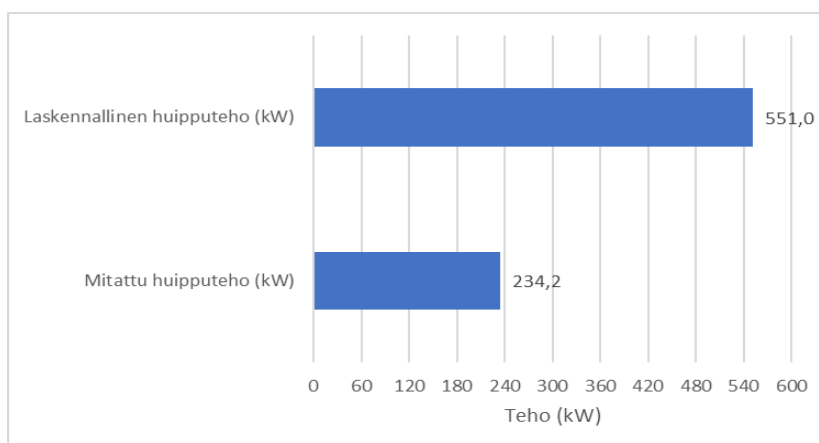
KUVA 34. Terveysthuolto 2, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla

Kuvan 34a perusteella tässä kohteessa sähkönkulutus vaikuttaisi vuositasolla myös säännöllisemmältä kuin muissa kohdetyypeissä. Suurimmat tehopiikit osuvat kesäajalle, jolloin piikit nousevat hieman alle 1400 kilowattiin. Kerätyn datan mukaan kohteen tehopiikit ylittävät 1200 kW rajan noin 23 tuntina vuodessa. Tämä viittaa jälleen siihen, että esimerkiksi ilmastointia tai jäähdytysjärjestelmiä ohjataan kesäaikaan käymään suuremmalla teholla. Tiheydeltään merkittävimpinä tehohuippuina voidaan pitää talviaikaan esiintyviä 1000 kW ylittäviä tehohuippuja, joita esiintyy hyvin paljon. Siirryttäessä talviaikaan tapahtuu sähkönkulutuksessa suhteellinen notkahdus ylöspäin. Tämä voisi viitata esimerkiksi lämmitysjärjestelmän tehostamiseen. Huomattavaa kuvassa 34a on myös tehon äkillinen putoaminen nolnaan. Todennäköisin syy tähän on jostain syystä tapahtunut mittauksen katkeaminen. Ei ole kuitenkaan myöskään poissuljettua, että kohteessa olisi voinut tapahtua sähkökatkos.

Kuvasta 34b havaitaan samantapaista säännöllisyyttä ja vaihtelevuutta sähkönkulutuksessa kuin terveydenhuoltokohteessa 1. Poiketen edellisestä kohteesta on tässä kuitenkin päivittäinen tehon nousu koko viikon kattavaa, eli teho kasvaa viikon jokaisena päivänä suhteellisen tasaisesti. Kyseessä on tässä työssä käsiteltävistä terveydenhuoltokohteista huomattavasti laajin terveydenhuoltokompleksi, jossa on tarve ylläpitää kohteen laitteistoja päivittäin. Tämä voi selittää viikon ympäri tapahtuvaa säännöllistä kuormitusta esimerkiksi asiakkaiden suuren määrän vuoksi.

5.5.3 Terveydenhuoltokohde 3

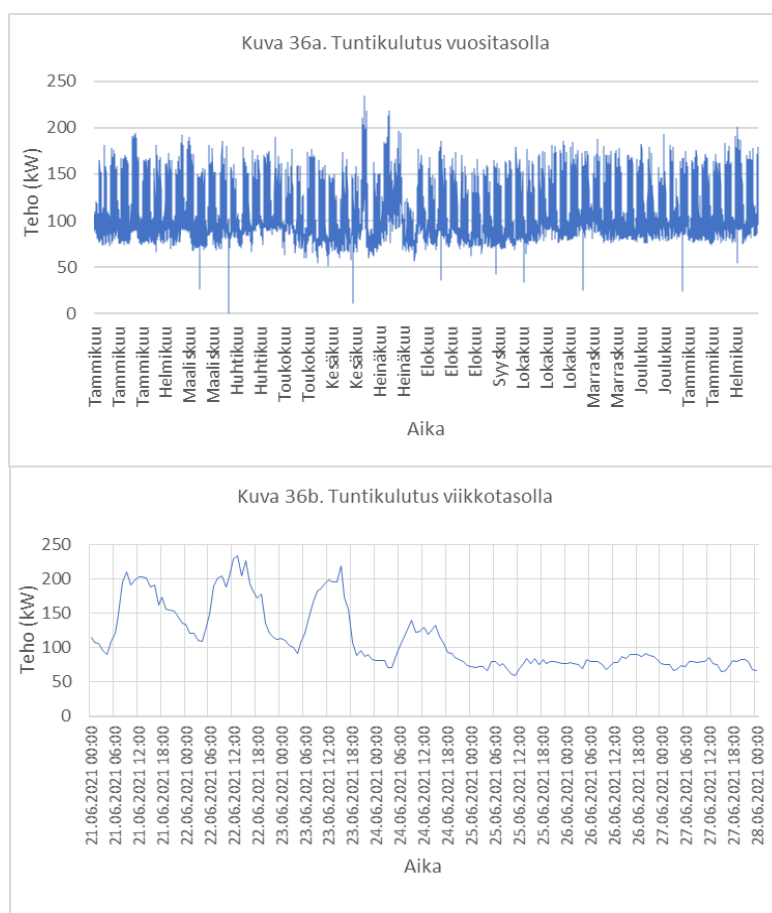
Kuvassa 35 on esitetty terveydenhuoltokohteen 3 huipputehujen vertailukaavio. Kohteen teholaskelema pohjautuu laite- ja neliötehoihin perustuvaan laskentamenetelmään.



KUVA 35. Terveydenhuolto 3, huipputehujen vertailukaavio

Kaavion mukaan kohteen laskennallinen huipputeho on noin 135 % suurempi kuin mitattu huipputeho. Näin ollen laskennallinen huipputeho on noin 2,4-kertainen mittausarvoon verrattuna. Mitattu huipputeho on noin 42,5 % laskennallisesta huipputehosta.

Terveydenhuoltokohteen 3 sähkönkulutusdata on esitetty kuvassa 36. Kuvassa 36a on esitetty data, joka saatiin kerättyä ajalta 1.1.2021 – 28.2.2022. Kuvassa 36b on esitetty sen viikon aikainen tuntikulutus, jolloin vuoden suurin tehohuippu esiintyy.



KUVA 36. Terveydenhuolto 3, tuntikulutus vuosi- ja viikkotasolla

Kuvan 36a mukaan sähkönkulutus on muiden terveydenhuoltokohteiden tavoin suhteellisen säännöllistä mutta epätasaista. Kohteessa esiintyy muiden terveydenhuoltokohteiden tapaan kesäaikainen kulutushuippu, joka voisi jälleen viitata ilmastoinnin ja jäähdytyksen tehostamiseen. Nämä tehopiikit nousevat yli 200 kilowatin. 200 kW ylittävien tehopiikkien määrä on datan mukaan noin 18. Tehohuippujen tiheyden puolesta merkittävimpiä piikkejä ovat 150 kW ylittävät tehohiiput, joita esiintyy hyvin paljon koko vuoden aikana. Huomattavaa on myös muutamat tehonlaskut vuoden aikana, jolloin sähkönkulutus laskee hetkellisesti alle arvon 50 kW.

Kuvassa 36b on myöskin muiden terveydenhuoltokohteiden tavoin nähtävissä päiväsaikoihin tapahtuvaa kulutuksen nousua. Tässä kohteessa kulutus tosin nousee vain neljänä päivänä viikossa, jonka ajanjakson jälkeen teho laskee noin 70 kW ja 80 kW väliselle tasolle ja pysyy loppuviikon ajan sellaisenaan. Tällaisia kulutuksen muutoksia on hankala arvioida ilman tarkempaa tietoa kohteen sähköjärjestelmästä.

Tämä kohde oli muista terveydenhuoltokohteista poiketen hieman pienempi, ja tässä kohteessa sähköinen suojaus oli toteutettu 5x 3x200 A jonovarokeytkimin. Näiden nimellinen virrankesto on laskennallisesti 1000 A. Toteutuneen huippuvirran ollessa noin 338 A, on sähköliittymän nimellinen virrankesto noin 3 kertaa suurempi kuin toteutunut huippuvirta. Toteutunut huippuvirta on noin 34 % päävarokkeiden nimellisestä virrankestosta. Voi olla, että pienemmällä suojauksella olisi pärjätty, mutta on myös hyvin mahdollista, että tällaisten kohteiden sähköliittymissä on oltava merkittävämmän laajennusvaraa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä osiossa kootaan tulokset kokonaisuudessaan yhteen. Alaluvuissa käsitellään erikseen tuloksien perusteella määritellyt sähköliittymien ylikapasiteettien prosentuaaliset arvot sekä tehdään lopulliset teoriapohjaiset tulkinnat ja johtopäätökset siitä, onko sähköliittymät tulosten perusteella ylimitoitettuja. Lisäksi kootaan yhteen tuloksissa esitetyistä vuosi- ja viikkotasoisista kuvaajista tehtyjä havain- toja ja huomioita sekä pohditaan kuormitusten epätasaisuuden syitä ja vaikutuksia huipputehoon. Lopussa esitellään vastaukset johdannossa esitettyihin tutkimuskysymyksiin.

6.1 Sähköliittymien ylimitoitusten ja ylikapasiteettien määrittely

Saatujen tulosten perusteella tehtiin päätelmät siitä, ovatko sähköliittymät ylimitoitettuja ja kuinka paljon niissä on ylikapasiteettia. Kun määritellään sitä, kuinka paljon kiinteistöjen sähköliittymissä on ylikapasiteettia, verrataan sähköliittymissä esiintyviä huippuvirtoja kiinteistöjen pääsuojauksien ni- mellisarvoihin. Tässä työssä käytetään kolmea erilaista teoriaa, joiden perusteella arvioidaan, onko sähköliittymä ylimitoitettu:

Teoria 1:

Sähköliittymän ylimitoitukselle ei ole olemassa vakiokerrointa, jolla voitaisiin määri- tellä kohteen optimaalinen mitoitus. Voidaan esimerkiksi todeta, että sähköliittymä on ylimitoitettu, jos liittymän tehokapasiteetista on käytössä vain puolet, eli suurimmat mitatut tehot ovat alle 50 % liittymistehosta. (Eckert 2019, 74.) Liittymisteho on ver- rannollinen pääsuojauksen nimellisarvoon, eli jos tässä työssä käsiteltävissä kohteissa suurimmat mittaustuloksista määritetyt huippuvirrat jäävät alle 50 % pääsuojauksen nimellisarvosta, tulkitaan tällaiset kohteet tämän teorian mukaan ylimitoitetuiksi.

Teoria 2:

Jos ajatellaan tarvittavan mitoituksen referenssiarvona ST-kortissa ST-53.24 (2017, 2) esitettyä toimistokäytössä olevan kiinteistön esimerkinomaista kasvupro- senttia, on tällaiselle kiinteistötyypille määritetty 50 % kasvu 20 vuodessa. Tämä tar- koittaa siis 1,5-kertaista tehonkasvua 20 vuodessa. Kerrointa 1,5 voidaan pitää mer- kittävänä tehonkasvuna, joten tätä käytetään käsiteltäviin kohteisiin ikään kuin yliarvi- oituna referenssikertoimena. Vaikka kyseinen kerroin ei käytännössä todennäköisesti pädekään käsiteltävissä kohteissa, ei kerroin luultavasti ole ainakaan pienempi, kuin mitä kohteiden todellisena kasvuvaramana voitaisiin pitää. Kohteiden mittaustuloksista määritettyjen huippuvirtojen kasvuvaramerkityksiä oletetaan kerroin 1,5, ja kertoi- men avulla saatua arvoa verrataan kiinteistön pääsuojauksen nimellisarvoon. Sen pe- rusteella, kuinka lähelle pääsuojauksen nimellisarvoa kertoimen avulla päästään, arvi- oidaan, onko sähköliittymä mahdollisesti ylimitoitettu.

Teoria 3:

Mikäli ylimitoituksen määrittelee siten, että jos pienempikokoisella suojauksella olisi pärjätty, on sähköliittymä tällöin ylimitoitettu. Sulakkeet ovat standardikokoisia, ja yli 63 A sulakekoko kasvatettaessa portaittain suuremmaksi on edellinen sulakekoko aina noin 78-80 % seuraavan sulakekoon nimellisarvosta. Tästä voitaisiin päätellä, että mikäli mitatut huipputehot jäävät alle 78 % sähköliittymän liittymistehosta, olisi pienempi suojaus tällöin riittänyt ja liittymä voitaisiin tällä perusteella määritellä ylimitoituksi. (Eckert 2019, 74.) Liittymisteho on siis verrannollinen pääsuojauksen nimellisarvoon. Näin ollen sähköliittymän mitatusta huipputehosta lasketun huippuvirran jäädessä alle 78 % kyseisen kiinteistön pääsuojauksesta, tulkitaan se siten, että olisi pärjätty pienemmällä suojauksella, joten liittymä tulkitaan tällöin ylimitoituksi.

Taulukossa 7 on esitetty teorioihin perustuvat arviot kohteiden ylimitoituksista. Teoriaa 1 varten on hetkellinen huippuvirta kerrottu kasvukertoimella 1,5. Teorioiden pohjalta on määritetty, onko liittymä ylimitoitettu. Terveystuotokehteet 1 ja 2 eivät ole tarkastelussa mukana, sillä niiden liittymistehosta ei ole tietoa.

TAULUKKO 7. Kohteiden ylimitoitusten arviointi esiteltyihin teorioihin perustuen

Kohteen nimitys	Mitatun huippuvirta (A)	Pääsuojauksen nimellisarvo (A)	Tehokapasiteetista käytetty (%)	Kasvukerroin (1,5)	Teorian 1 mukaan ylimitoitettu	Teorian 2 mukaan ylimitoitettu	Teorian 3 mukaan ylimitoitettu
Oppilaitos 1	122,3	250	48,9	183,45	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Oppilaitos 2	555,7	2520	22,1	833,55	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Oppilaitos 3	310,4	800	38,8	465,6	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Päiväkoti 1	70,7	200	35,4	106,05	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Päiväkoti 2	36,95	160	23,1	55,425	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Päiväkoti 3	184,8	400	46,2	277,2	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Asuinkerrostalo 1	150,1	400	37,5	225,15	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Asuinkerrostalo 2	73,6	200	36,8	110,4	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Asuinkerrostalo 3	54,2	200	27,1	81,3	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Myymäälä 1	177,6	315	56,4	266,4	Ei	Kyllä	Kyllä
Myymäälä 2	78,9	320	24,7	118,35	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Myymäälä 3	104,9	480	21,9	157,35	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Terveystuoto 3	338	1000	33,8	507	Kyllä	Kyllä	Kyllä

Kaikkien kohteiden sähköliittymissä on taulukon 7 perusteella ylimitoitusta lukuun ottamatta teorian 1 perusteella arvioitua myymälää 1. Kasvukertoimella 1,5 ei pääsääntöisesti päästy kovinkaan lähelle liittymien nimellisarvoja. Poikkeuksena kuitenkin oli myymäläkohde 1, jossa kasvukertoimella kerrottu huippuvirta jäi noin 18 % päähän sähköliittymän pääsuojauksen nimellisarvosta. Tämän teorian perusteella kohteen sähköliittymä voitaisiin periaatteessa määritellä optimaalisesti mitoitetuksi, mutta kasvukertoimen paikkaansa pitävyyteen kyseisessä kohteessa on suhtauduttava hyvin kriittisesti.

Mitattuja huippuvirtojen arvoja on pidettävä epäluotettavina, sillä todellisuudessa hetkelliset huippuvirrat ovat hyvin todennäköisesti suurempia kuin toteutuneet tuntimittausarvot. Myöskään teorioita ei voida pitää täysin luotettavina, vaan on tapauskohtaista, millainen sähköliittymän mitoituksen arviointimenetelmä soveltuu millekin kohteelle. Ylimitoituksen arviointimenetelmiä on tässä työssä esitettyjen teorioiden lisäksi muitakin. Myös kasvukerroin 1,5 on kyseenalaistettava, sillä todennäköisesti tällainen kasvukerroin ei päde useimpiin tässä työssä käsiteltyihin kohteisiin.

Hetkellistä huipputehoa ei siis voida mittaustulosten perusteella varmuudella arvioida. Eckertin (2019, 74) yhteen päiväkotiin ja yhteen kouluun kohdistuvassa AMR-mittaustiedonkeruututkimuksessa 10 sekunnin näytteenottointervallilla tehtyjen mittausten tuloksista oli selvitetty, että hetkelliset huipputehot saattoivat olla kaksinkertaisia, ja pienen kulutuksen aikaan jopa kolminkertaisia verrattuna keskimääräiseen tuntitehoon. Hetkellisten huipputehojen ja keskimääräisten tuntitehojen väliset suhteet tulkittiin pienenevän sen myötä, mitä suurempi kohde on kyseessä. Pienen otannan vuoksi tuloksia ei kuitenkaan pidetty yleistettävänä.

Mitatuista huipputehoista laskettuihin huippuvirta-arvoihin vaikuttaa myös tehokertoimet, joita ei ole huomioitu huippuvirtojen laskelmissa. Tuloksista saadaan kuitenkin suhteellisen luotettavaa suuntaa sille, millaisia sähköliittymien huippuvirrat ovat tuntikeskiarvoltaan olleet.

Huomioitava asia on myös se, että sähköliittymien varokekannat ovat mitoitettuja nykyisiä suojauskokoja suuremmiksi. Tällä mitoituksella on joka tapauksessa varauduttu siihen, että liittymään voidaan vaihtaa suurempi suojaus. Periaatteessa tällä tavalla on siis jo valmiiksi varauduttu tulevaisuuden tarpeisiin, vaikka ei olisi vielä edes huomioitu tässä työssä käsiteltäviä tämänhetkisiä sähköliittymien ylikapasiteetteja nykyisellä suojauksella.

6.2 Kuormituksen ajallinen vaihtelu

Eryteisesti oppilaitoksissa ja päiväkodeissa oli havaittavissa arkipäivien ja loma-aikojen vaikutus kuormituksen vaihtelevuuteen. Arkipäivinä kulutus näkyi lisääntyneinä tehopiikkeinä, kun taas talvi-, kesä-, syys- ja joululomien aikaan kulutuksen huomattiin putoavan. Myös terveydenhuoltokohteissa oli havaittavissa arkipäivien aikainen kulutus, mutta näissä kohteissa kuormitus pysyi enemmän yllä myös ilta-aikaan ja viikonloppuisin, koska kohteissa on todennäköisesti enemmän toimintaa myös näinä aikoina.

Asuinkerrostalokohteiden kuormituksen vaihtelu poikkesi hieman muista kohteista. Näissäkin kohteissa oli osittain havaittavissa lomakausien aikaiset kuormitusten putoamiset, jolloin kohteessa ei ole tällöin ollut niin paljoa toimintaa. Viikkotasolla kohteissa näkyi päivittäistä kuormituksen kasvamista ja vaihtelua selkeästi tiheämmin. Tämä johtuu sähkölaitteiden käytön eriaikaisuudesta, koska kuten yleisestikin, ihmiset ovat eri aikoihin kotona ja näin ollen kuormituskin vaihtelee sen mukaisesti. Huomiota näissä kohteissa herätti yönaikainen sähkönkulutuksen nousu, joka tulkittiin viittavaksi teoriaosuudessa käsiteltyyn kysyntäjoustoon. Kiinteistöjen sähkönkulutusta pyritään siirtämään halvemmille tunneille, jolloin saadaan myös leikattua yleisemmin päiväsaikaan syntyviä tehopiikkejä. Näissä kohteissa kysyntäjousto voi ilmetä esimerkiksi lämmityksen varaamisella yöaikaan, joka kulutetaan seuraavana päivänä.

Kaikissa kohteissa näkyi kuormituksen vaihtelun suhde vuodenaikaan nähden. Oppilaitos-, päiväkotija asuinkerrostalokohteiden kuvaajista pystyttiin havaitsemaan talviajan vaikutus kuormituksen kasvuun. Kesäaikaan taas kuormituksissa tapahtui pääsääntöisesti huomattavissa olevia pudotuksia, jotka viittaavat esimerkiksi lämmityksen poiskytkemiseen. Tilanne oli kuitenkin kesäajan osalta erilainen terveydenhuoltokohteissa, joissa keskimääräinen kuormitus putoamisen sijaan kasvoi. Tästä pääteltiin, että näissä kohteissa käytetään tehokasta ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmää, joka Heinosen (2021, 11-16) opinnäytetyön mukaan vaaditaan tällaisiin kohteisiin vaatimukset täyttävän sisäilmanlaadun varmistamiseksi sekä erilaisten sairaalalaitteiden jäähdytyksen tehostamiseksi.

Yleisesti ottaen kohteiden sähköliittymien kuormitukset ovat epätasaisia, ja mitä enemmän epätasaisuutta kuormituksissa ilmenee, sitä enemmän sähköliittymissä esiintyy tehopiikkejä johtuen erilaisien laitteiden käynnistysvirroista sekä useiden laitteiden käyttämisestä samanaikaisesti. Nämä asiat ilmenevät kuvaajissa esiintyvänä tehopiikkeinä.

Vuosi- ja viikkotason kuvaajista saadaan suurpiirteistä kuvaa siitä, minkälaista kuvaajamuotoa kiinteistöjen kuormitukset noudattavat. Datasta rakennetut kuvaajat eivät kuitenkaan ole täysin luotettavia, sillä hetkelliskuormitus ei näy mittausdatassa johtuen siitä, että mittaustulokset saatiin tunnin keskiarvoina. Tunnin aikana kuormitukset ovat todennäköisesti vaihdelleet siten, että kuvaajissa esitetyt kuormitusten nousut ja laskut korostuisivat entistä enemmän ja voisivat olla jopa moninkertaisia verrattuna tuntiperusteisiin mittaustuloksiin.

6.3 Tutkimuskysymykset

Tuloksien ja johtopäätösten perusteella määritetyt tutkimuskysymysten vastaukset on esitelty tässä alaluvussa.

Tutkimuskysymys 1. Kuinka suuria ja merkittäviä tutkittavien kohteiden laskennallisten ja toteutuneiden huipputehojen erot ovat?

Oppilaitoskohteiden sähköliittymien laskennallisten ja toteutuneiden huipputehojen erot:

Oppilaitos 1 noin 115 %

Oppilaitos 2 noin 130 %

Oppilaitos 3 noin 174 %

Päiväkotikohteiden sähköliittymien laskennallisten ja toteutuneiden huipputehojen erot:

Päiväkoti 1 noin 108 %

Päiväkoti 2 noin 318 %

Päiväkoti 3 noin 122 %

Asuinkerrostalokohteiden sähköliittymien laskennallisten ja toteutuneiden huipputehojen erot:

Asuinkerrostalo 1 noin 184 %

Asuinkerrostalo 2 noin 250 %

Asuinkerrostalo 3 noin 320 %

Myymäläkohteiden sähköliittymien laskennallisten ja toteutuneiden huipputehojen erot:

Myymälä 1 noin 196 %

Myymälä 2 noin 193 %

Myymälä 3 noin 428 %

Terveydenhuoltokohteiden sähköliittymien laskennallisten ja toteutuneiden huipputehojen erot:

Terveydenhuolto 1 noin 217 % (PK1) ja noin 130 % (PK2)

Terveydenhuolto 2 noin 219 %

Terveydenhuolto 3 noin 135 %

Kaikissa kohteissa laskennallinen huipputeho oli siis yli kaksinkertainen verrattuna toteutuneeseen huipputehoon, ja suurimmillaan yli viisinkertainen. Huipputehojen erojen merkittävyys riippuu kohteesta, eikä erojen merkittävyyksiä näin ollen voida määritellä sen tarkemmin tämän tutkimuksen perusteella. Esimerkiksi osassa kohteista on monta pääkeskusta, joiden välinen tehon jakautuminen jäi tässä tutkimuksessa selvittämättä, sillä mittaustiedot saatiin näistä kohteista ainoastaan pääkeskusten välisenä yhteismittauksena. Tällainen voi vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin siten, että yhden pääkeskuksen suojaus voi ollakin optimaalisesti mitoitettu, kun taas toinen keskus on ylimitoitettu.

Tutkittavien kohteiden toteutuneet huipputehot eivät ole luotettavia, sillä huipputehot ovat mitattu tuntikeskiarvoon perustuvalla mittausmenetelmällä. Tunnin sisällä esiintyvät hetkelliset huipputehot ovat todennäköisesti suurempia. Voidaan kuitenkin päätellä, että lähes viisinkertainen laskennallinen huipputeho on ainakin todennäköisesti yliarvioitu. Luotettavaa päätelmää tästä ei siltikään voida muodostaa.

Tutkimuskysymys 2. Kuinka paljon sähköliittymissä on ylikapasiteettia?

Oppilaitoskohteiden sähköliittymien ylikapasiteetit:

Oppilaitos 1 noin 51,1 %

Oppilaitos 2 noin 77,9 %

Oppilaitos 3 noin 61,2 %

Päiväkotikohteiden sähköliittymien ylikapasiteetit:

Päiväkoti 1 noin 64,6 %

Päiväkoti 2 noin 76,9 %

Päiväkoti 3 noin 53,8 %

Asuinkerrostalokohteiden sähköliittymien ylikapasiteetit:

Asuinkerrostalo 1 noin 62,5 %

Asuinkerrostalo 2 noin 63,2 %

Asuinkerrostalo 3 noin 72,9 %

Myymäläkohteiden sähköliittymien ylikapasiteetit:

Myymälä 1 noin 43,6 %

Myymälä 2 noin 75,3 %

Myymälä 3 noin 78,1 %

Terveydenhuoltokohteiden sähköliittymien ylikapasiteetit:

Terveydenhuolto 1 ei määritettävissä, koska ei tiedetä kohteen liittymistehoa.

Terveydenhuolto 2 ei määritettävissä, koska ei tiedetä kohteen liittymistehoa.

Terveydenhuolto 3 noin 66,2 %

Sähköliittymissä on siis ylikapasiteettia yli puolet lukuun ottamatta myymälää 1, jossa ylikapasiteettia on noin 43,6 %. Taulukon 7 päätelmistä selviää, että aiemmin esitetyn teorian 1 perusteella voitaisiin todeta, että näissä kohteissa on ylimitoitettu sähköliittymä. Sen sijaan teorioiden 2 ja 3 mukaan kaikki kohteet, mukaan lukien myymälä 1 voitaisiin määrittellä ylimitoitetuiksi. Teorian 2 mukainen myymälän 1 ylimitoitus on kuitenkin tulkinnanvarainen.

Tutkimuskysymys 3. Millä periaatteella teoreettiset huipputehot on määritetty?

Oppilaitoskohteiden laskennallisen huipputehon määrittäminen:

Oppilaitos 1: Laite- ja neliötehoon perustuva laskentamenetelmä.

Oppilaitos 2: Yhdistetty rakennusvaiheen 1 mittaustulokset rakennusvaiheen 2 neliötehoon perustuvaan laskelmaan.

Oppilaitos 3: Neliötehoon perustuva laskentamenetelmä.

Päiväkotikohteiden laskennallisen huipputehon määrittäminen:

Päiväkoti 1: Laite- ja neliötehoon perustuva laskentamenetelmä.

Päiväkoti 2: Laite- ja neliötehoon perustuva laskentamenetelmä.

Päiväkoti 3: Laite- ja neliötehoon perustuva laskentamenetelmä.

Asuinkerrostalokohteiden laskennallisen huipputehon määrittäminen:

Asuinkerrostalo 1: Neliötehoon perustuva laskentamenetelmä, johon yhdistetty kohdetyypistä riippuva tehovakio.

Asuinkerrostalo 2: ST-kortin ST13.31 laite- ja neliötehoon perustuvien laskentamenetelmien soveltaminen ja vertaaminen.

Asuinkerrostalo 3: ST-kortin ST13.31 laite- ja neliötehoon perustuvien laskentamenetelmien soveltaminen ja vertaaminen.

Myymäläkohteiden laskennallisen huipputehon määrittäminen:

Myymälä 1: Laitetehoihin perustuva laskentamenetelmä.

Myymälä 2: Neliötehoon, eri tilojen kokonaistehoon sekä suurempien laitteiden kokonaistehoon perustuvien arviointien yhdistelmä.

Myymälä 3: Neliötehoon, jakokeskusalueiden arvioituun kulutukseen sekä suurempien laitteiden kokonaistehoon perustuvien arviointien yhdistelmä.

Terveydenhuoltokohteiden laskennallisen huipputehon määrittäminen:

Terveydenhuoltokohde 1 (PK1 ja PK2): Laite- ja neliötehoon perustuva laskentamenetelmä, jossa arvioitu erilaisten laitteiden, kojeiden ja huonetilojen tehokertoimia. Pää- ja jakokeskuksittain huipputehoarviot on laskettu yhteen ja näistä muodostettu pääkeskusten arvioidut huipputehot.

Terveydenhuoltokohde 2: Laite- ja neliötehoon perustuva laskentamenetelmä, jossa arvioitu erilaisten laitteiden, kojeiden ja huonetilojen tehokertoimia. Pää- ja jakokeskuksittain huipputehoarviot on laskettu yhteen ja näistä muodostettu pääkeskusten arvioidut huipputehot.

Terveydenhuoltokohde 3: Laite- ja neliötehoihin perustuva laskentamenetelmä.

Valtaosassa kohteista on suosittu laite- ja/tai neliötehoihin perustuvaa laskentamenetelmää.

Eckertin (2019, 36-37) tutkimuksessa sähkösuunnittelijoille toteutettiin kysely suosituimmista huipputehon arviointimenetelmistä. Tässä tutkimuksessa päädyttiin samaan lopputulokseen. Tutkimuksessa suurin osa vastanneista suosi laitetietoihin perustuvaa laskentamenetelmää. Linearisoidut laskentamallit, eli toisin sanoen kerrosalaan perustuvat laskentamenetelmät olivat toiseksi suosituin huipputehon arviointimenetelmä.

Tutkimuskysymys 4. Mistä sähköliittymien ylirajoitus johtuu ja kuinka ylirajoitusta voitaisiin ehkäistä?

Yksi syy sähköliittymän ylirajoittamiselle voi olla se, että käytetään vanhentuneita kokemusperäisiä laskentamalleja, joita ei ole saatettu päivittää moneen kymmeneen vuoteen. Näitä menetelmiä ei ole enää mielekästä käyttää johtuen esimerkiksi nykyajan energiatehokkaammista laitteista, sähkötehon ohjattavuuden ja rakennusautomaation kehityksestä sekä muista sähkönkulutusta tasaavista tai pienentävistä tekijöistä, kuten muun muassa kysyntäjoustosta, kuormanhallinnasta sekä sähköntuotannon yleistymisestä.

Ylirajoitus voi johtua myös suunnittelijan vähäisestä kokemuksesta. Ilman riittävää kokemusta voi kohteen kokonaisuuden tai laitteiden yhtäaikaisen toiminnan hahmottaminen muodostua haasteeksi. Todennäköisesti tämä johtuu laitteille ja laitteistoille määriteltävistä samanaikaisuus- ja tasauskertoimista. Jos laskennassa käytettävät kertoimet ovat kaukana toteutuvasta kokonaisuudesta, sähköliittymä yli- tai alirajoitetaan erittäin todennäköisesti. Kertoimien määrittelyä varten olisi syytä tutustua huolellisesti suunniteltavien tilojen käyttötarkoitukseen sekä perehtyä kohteessa tapahtuvaan toimintaan. Lisäksi on huomioitava myös tulevaisuuden sähkötehon kasvuvara mahdollisimman optimaalisesti. (Hyttinen 2020, 51.)

Aiempien mittaustietojen käyttäminen hyödyksi huipputeholaskelmissa voi johtaa sähköliittymän ylirajoitukseen, mikäli mittaustiedot on haettu vääränlaisesta kohteesta (Eckert 2019, 81). Toinen virhearvio hyödynnettäessä mittaustietoja voi tapahtua siinä, että käytetään vanhentuneita mittaustietoja tai mittausten tallennusväliä ei huomioida. Jos rajoitus tehdään pelkästään tuntimittaustietoihin perustuen, voi vaarana olla se, että hetkellisten virtojen ollessa jopa moninkertaisia voi tuntimittaukseen perustuva rajoitus johtaa pääsulakkeiden nimellisvirran ylitykseen ja jopa sulakkeiden palamiseen. Saatujen mittaustietojen ei voida olettaa noudattavan normaalijakaumaa, ja siksi mittausdatalle tulisi aina tehdä jakaumatarkastelu, mikäli halutaan laskea ylitystodennäköisyyksiä tietyille teholle. Tällöin tulee kiinnittää erityistä huomiota suurimpiin saatuihin arvoihin. (ST13.31 2020, 11.)

Sähköliittymien ylimitoittamiseen ei ole olemassa vain yhtä selitystä. Ylimitoittamista voidaan pitää tavallaan tapauskohtaisena, koska sähköliittymän mitoitus tehdään aina kohdetyypin mukaan, ja variaatioita kohdetyypeistä on erittäin paljon, eli jokainen kohde on yksilöitävä. Lisäksi laskentamethodien ja kertoimien käyttö riippuu yksilöllisesti suunnittelijasta ja hänen kokemuksestaan. Mittaus-tietoihin perustuvat arvioinnit taas riippuvat esimerkiksi mittausajankohdasta, mittausten tallennusai-kavälistä sekä siitä, kuinka vanhoja mittaustulokset ovat. Näiden syiden vuoksi sähköliittymän mitoi-tuksessa tulisi huomioida paljon asioita, ja mitoitusmenetelmiä tulisi peilata nykyajan laitteisiin ja laitteistoihin sekä niiden entistä energiatehokkaampaan sähkönkulutukseen.

7 YHTEENVETO

Tässä työssä kerättiin erityyppisten kiinteistökohteiden sähkönkulutustietoja noin vuoden ajalta sekä vertailtiin suunniteltujen kohteiden sähköliittymien mitoitettuja huipputehoja toteutuneisiin huipputehoihin. Kerätystä datasta käytännössä poimittiin suurimmat mittausajanjakson aikana esiintyvät tehopiikit, joita verrattiin kohteiden teholaskelmissa määritettyihin laskennallisiin huipputehoihin. Mittattujen ja laskennallisten huipputehojen vertailun avulla selvitettiin, kuinka paljon laskennallinen huipputeho poikkeaa mitatusta arvosta. Kohteiden mitatut huipputehot muutettiin virta-arvoiksi ja niitä verrattiin kohteiden sähköliittymien suojauksien nimellisarvoihin. Tämän vertailun avulla saatiin kuvaa siitä, kuinka paljon ylikapasiteettia on kohteiden sähköliittymissä.

Lisäksi tutkittiin kohteiden kuormituksen käyttäytymistä vuosi- ja viikkotasolla. Muodostetuista vuosi- ja viikkotason kuvaajista pystyttiin tulkitsemaan, kuinka vaihtelevaa kuormitus on ja kuinka säännöllisesti sähköliittymien suojaukset kuormittuvat. Työ rajattiin kokonaisuudessaan tutkittavan aineiston osalta oppilaitoksiin, päiväkoteihin, asuinkerrostaloihin, myymälöihin ja terveydenhuollon kohteisiin.

Kerätty mittausdata on luottamuksellista tietoa, ja hankittaessa dataa verkkoyhtiöltä siihen tarvittiin valtakirja, jolla kiinteistön ylläpidosta vastaava taho antaa suostumuksensa tietojen luovuttamista varten. Myös osa kiinteistöjen ylläpidosta vastaavista tahoista vaati, ettei kohteiden nimeä saa julkaista tässä opinnäytetyössä. Tätä periaatetta sovellettiin kaikkiin työssä tutkittaviin kohteisiin.

7.1 Tutkimuksen toteamukset

Tutkimuksessa esiteltyjen mittausten, tulosten, laskelmien ja johtopäätösten perusteella voidaan todeta, että aiemmin esiteltyihin kolmeen sähköliittymän ylimitoitukseen perustuvaan teoriaan pohjautuen sekä huomioiden tulosten epävarmuustekijät, työssä tutkittujen kiinteistöjen sähköliittymät ovat ylimitoitettuja ja niissä on pääsääntöisesti vähintään yli puolet ylikapasiteettia.

Vuosi- ja viikkotasolla esitettyjen kuvaajien perusteella voidaan sähköliittymien kuormituksen todeta olevan hyvin vaihtelevaa. Kuormitusten vaihteluiden todettiin kohdetyypeittäin noudattavan viikko- ja vuositasolla tietynlaista säännönmukaisuutta. Tuntiperusteisen mittauksen vuoksi kuvaajista ei voitu tulkita laitteiden käynnistysvirtapiikkejä, mutta kuvaajista voidaan päätellä, mihin aikaan sähkölaitteita on käytetty useimmin. Käynnistettäessä esimerkiksi jokin keittiölaite aiheuttaa se pääsääntöisesti laitteen nimellisvirtaan suhteutettuna moninkertaisen käynnistysvirtapiikin, joka voi osaltaan selittää kuvaajissa näkyvää kuormituksen vaihtelua. Tästä voidaan päätellä, että mitä useammin ja samanaikaisemmin sähkölaitteita käynnistetään, sitä suurempi mahdollisuus on tehopiikeillä kasvaa entistä suuremmaksi, joka puolestaan vaikuttaa mittaustuloksissa näkyviin huipputehoihin.

7.2 Tutkimuksen luotettavuusarviointi

Tulosten luotettavuuteen vaikuttavia asioita esiintyi tutkimuksessa useita. Seuraavaksi eritellään työn aikana esille nousseet asiat, joihin on syytä suhtautua kriittisesti.

Mittaustuloksissa eikä pääsääntöisesti tehokaskelmissä ollut määritelty kyseisissä sähköliittymissä toteutuvia tehokertoimia. Näin ollen muutettaessa mittaustuloksia huipputehoarvoista huippuvirta-arvoiksi jätettiin tehokertoimet huomioimatta. Tehokerroin on yleensä lähellä arvoa 1, mutta tässä työssä käsitellyistä kohteista erityisesti terveydenhuoltokohteissa voi tehokertoimella olla merkittäväkin vaikutus johtuen siitä, että tällaisissa kohteissa on laitteita, jotka kuluttavat loistehoa normaalia enemmän. Tämän vuoksi tehokaskelmista ja mittaustuloksista saatuihin virta-arvoihin on suhtauduttava kriittisesti.

Mittaustulokset saatiin tuntikeskiarvoina. Näissä mittaustuloksissa ei siis nähdä hetkellisiä tehoja, jotka saattavat olla moninkertaisia verrattuna datasta saatuihin tehoarvoihin. Hetkellisarvoista ei tässä työssä ole tarkempia arvioita, mutta sitä suuremmalla syyllä mitatut arvot on kyseenalaistettava. Hetkellisillä huipputehoilla saattaa olla suurikin vaikutus, kun tarkastellaan sähköliittymien ylimitoituksia ja liittymissä esiintyviä ylikapasiteetteja.

Mittausdataa kerättiin osittain muilta kuin sähköalaa tuntevilta tahoilta, jotka hallinnoivat kohteiden sähkönkulutustietoja. Mittausdataa ei voida varmuudella todeta luotettavaksi, sillä on mahdollista, että datan alkuperä voi olla esimerkiksi väärästä mittarista. On myös mahdollista, että mittausdatan ajankohta ei pidä paikkaansa. Joidenkin kohteiden dataa oli haastavaa kerätä, sillä joillakin mittaus-tietoja hallinnoivilla tahoilla oli erinäisiä ongelmia saada oikeanlainen data ajettua sähkönkulutusmit-tarista. Esimerkiksi eräästä kohteesta data lähetettiin vahingossa uudistetun kohteen entisestä mit-tarista. Tämä kuitenkin huomattiin tuloksia käsiteltäessä. Pääosin datan kerääminen sujui kuitenkin ilman suurempia ongelmia.

Huomioitava asia on myös se, että joissakin kohteissa pääkeskuksia oli useita. Oppilaitoskohteessa 2 oli kaksi pääkeskusta, joiden huipputehot oli arvioitu erikseen. Tästä kohteesta mittausdata tuli yhteismittauksena, eikä näin ollen pääkeskusten erillisistä kuormituksista ollut tietoa. Tämän vuoksi pääkeskusten laskennalliset huipputehot laskettiin yhteen ja verrattiin tulosta yhteismittauksen da-taan. Näin ollen tehon jakautumista pääkeskusten välillä ei voitu selvittää, mikä vaikuttaa osaltaan tulosten luotettavuuteen. Muissa kohteissa, joissa pääkeskuksia oli useita, ei tällaista ongelmaa ollut tehokaskelmien ja mittausdatan kattavuuden ansiosta.

Tehokaskelmiin on kuitenkin syytä suhtautua kriittisesti. Kaikkien kohteiden laskelmista ei ole täyttä varmuutta, olivatko tehokaskelmat lopullisia laskelmia. Osassa tehokaskelmat oli tehty asianmukai-selle laskelmapohjalle, kun taas osassa kohteista tehokaskelmat oli tehty epävirallisemmin. Tämän vuoksi laskelmien paikkaansa pitävyyttä on kyseenalaistettava.

7.3 Tutkimuksen tavoitteet

Työn tavoitteena oli kerätyn mittausdatan avulla vertailla kiinteistöjen mitoitettuja huipputehoja kyseisten kiinteistöjen toteutuneisiin huipputehoihin sekä vertailun pohjalta määrittää, kuinka paljon kohteiden sähköliittymissä on ylimitoitusta. Lisäksi tavoitteena oli tutkia sähköliittymien liittymistehojen suhdetta toteutuneista huipputehoista laskettuihin huippuvirtoihin sekä määrittää, kuinka paljon sähköliittymissä on ylikapasiteettia. Tulosten pohjalta tavoitteena oli tutkia ja pohtia sitä, mistä sähköliittymien ylimitoitus johtuu ja kuinka ylimitoitusta voitaisiin ehkäistä.

Mittausdatan keräämisprosessi onnistui, vaikka prosessissa esiintyi jonkin verran ongelmia. Joissakin kohteissa ei ehditty perehtyä asiaan lainkaan, eikä dataa näin ollen saatu kerättyä näistä kohteista. Mittaustietojen saaminen työhön oikeanmuotoisilla tuloksilla, eli tuntimittausdatana tuotti joissain kohteissa hankaluuksia, sillä osasta kohteista lähetettiin ymmärryksen puutteen vuoksi kuukausittainen sähkönkulutusdata. Tämä muoto ei kelpaa, kun tarkastellaan lyhyen aikavälin, kuten tässä tapauksessa tuntitasolla kulutettua sähköä.

Erästä kohteesta taas lähetettiin vahingossa uudistetun kohteen entisen mittarin data. Tämä kuitenkin huomattiin tuloksia käsiteltäessä, ja tuore mittausdata saatiin sitä pyydettyä. Joissakin kohteissa puolestaan mittausjärjestelmä oli niin suppea, ettei sieltä saatu inhimillisen helposti ladattua tuntikulutustietoja. Resurssien puutteen vuoksi tällaiset kohteet jouduttiin jättämään pois työstä.

Lisäksi joistakin kohteista ei saatu kerättyä dataa suoraan, vaan data piti tiedustella erikseen verkkoyhtiöiltä. Eräessä kohteesta verkkoyhtiö vaati datan selvittelytyöstä tuntihintaisen korvauksen, mutta asia saatiin selvitettyä siten, että kohteesta vastaava taho hankki käyttäjätunnukset ja rekisteröityi itse verkkopalveluyhtiön palveluun, josta sai ladattua energiatiedot henkilökohtaisesti. Tällaiset ongelmatekijät viivästyttivät jonkin verran työprosessia, ja tämän vuoksi kohteet, joiden data oli hieinan puutteellista mutta kuitenkin käsiteltävissä olevassa muodossa, päätettiin ottaa työhön mukaan sellaisenaan ilman verkkoyhtiöiden osallistamista asiaan.

Huipputehojen vertailu onnistui siten, kuin se oli suunniteltu huomioiden luotettavuusarvioinnissa käsitellyt mittaustuloksiin ja tehokalkelmiin viittaavat epävarmuustekijät. Kaikista työhön valituista kohteista saatiin poimittua suurin noin vuoden aikavälillä esiintynyt tehopiikki, ja jokaisesta kohteesta löytyi myös tehokalkelmat. Joissakin tehokalkelmissa oli jonkin verran tulkinnan varaa siinä, että mikä on lopullinen arvio huipputehon suuruudesta. Pienellä taustatyöskentelyllä, eli kyselemällä tehokalkelmat laatineilta suunnittelijoilta kuitenkin saatiin ainakin suurpiirteinen arvio laskelmien lopputuloksesta. Pääsääntöisesti tehokalkelmien tulkitseminen kuitenkin onnistui hyvin. Huipputehoista saatiin rakennettua ainakin allekirjoittaneen mielestä selkeät vertailukaaviot, joiden tulkitseminen oli suhteellisen helppoa. Tunti- ja viikkotason kuvaajien mallintaminen tuotti osittain haasteita, jotta niistä saataisiin mahdollisimman helppolukuiset. Omasta mielestä tässä kuitenkin onnistuttiin suhteellisen hyvin. Vertailukaavioista sekä tuntikulutuskuvaajista saatiin tulkittua tätä työtä varten olennaisimmat asiat.

Sähköliittymien pääsuojauksien nimellisarvojen suhde toteutuneisiin huippuvirtoihin saatiin selvitettyä huomioiden luotettavuusarvioinnissa käsitellyt virta-arvojen määrittämiseen sekä hetkellisesti

suurempiin tehopiikkeihin liittyvät epävarmuustekijät. Kohteiden liittymistehot saatiin selvitettyä suhteellisen luotettavasti kohteiden sähkösuunnitelmien keskuskaavioista. Sähköliittymien ylimitoituksen määrittely tuotti hieman hankaluuksia, sillä sähköliittymässä olevan ylikapasiteetin merkittävyyttä on hankala arvioida kohteiden ollessa hyvin yksilöllisiä sen suhteen, kuinka paljon niissä tulisi olla laajennusvaraa. Työhön kuitenkin löydettiin kolme esimerkkiteoriaa, joiden perusteella saadaan suuntaa sille, kuinka suurissa määrin ja minkälaisiin määritelmiin perustuen sähköliittymät ovat ylimitoitettuja.

Sähköliittymien ylimitoituksen syitä ja mitoituksen optimointikeinoja tutkittiin ja pohdittiin aikaisempien tutkimusten sekä muiden erilaisten lähteiden kautta, joten myöskin tässä tavoitteessa onnistuttiin. Tutkimisen ja pohdinnan perusteella päädyttiin siihen lopputulokseen, että sähköliittymän mitoituksessa on hyvin paljon muuttuvia tekijöitä, jonka vuoksi tähän sähkösuunnittelun osa-alueeseen tulisi kiinnittää entistä enemmän erityistä huomiota. Jokainen kohde on yksilö, ja siksi jokaiseen suunniteltavaan kohteeseen tulisi perehtyä mahdollisimman hyvin, jotta voitaisiin selvittää mahdollisimman tarkasti sähköliittymän mitoittamiseen vaikuttavat tekijät. Loppujen lopuksi sähköliittymän mitoitus tapa on kuitenkin kiinni kohteen suunnittelijasta sekä suunnittelijan tasosta, kokemuksesta ja näkemyksistä. On kuitenkin myös tärkeää, että laskentamenetelmiä tulisi tarkastella ja päivittää peilaten niitä nykypäivän sähköjärjestelmiin, laitekohtaiseen sähkötehon tarpeeseen sekä menetelmiin, joilla sähkönkulutusta voidaan mahdollisesti pienentää tai tasoittaa esimerkiksi leikkaamalla huipputehoja.

8 POHDINTA

Työskentely opinnäytetyön parissa oli monipuolista. Työssä täytyi kommunikoida monien erilaisten tahojen kanssa sekä sähköpostilla että puhelimen välityksellä. En ole aiemmin tehnyt työtä, jossa täytyy kommunikoida näin paljon muilla paikkakunnilla vaikuttavien henkilöiden kanssa, joten työssä tuli opittua myös jonkin verran sitä, kuinka osapuolia kannattaa lähestyä siten, että heidät saa riittävän motivoituneiksi ottamaan osaa tällaiseen projektiin. Pääsääntöisesti tahot eivät olleet sähköalan asiantuntijoita, joten asian ilmaiseminen täytyi tehdä joillekin hyvin selkeästi, että mitä tarkalleen ottaen halutaan, mitä varten halutaan ja miksi halutaan.

Aluksi kerääminen suoritettiin siten, että kaikille tahoille lähetettiin sähköposti, jossa projekti ja kerättävän datan muoto kuvailtiin mahdollisimman tarkasti. Sähköpostilla kommunikointi kuitenkin todettiin liian hitaaksi menetelmäksi, joten tahoille päätettiin sen sijaan soittaa suoraan. Soittamalla prosessi eteni huomattavasti nopeammin, ja mittausdata saatiin kerättyä kaikista kohteista suhteellisen kohtuullisessa ajassa. Datan kerääminen oli kuitenkin tässä työssä henkilökohtaisesti kaikista haastavinta ja eniten aikaa vievä prosessi. Tämän prosessin puolesta olisi voinut toimia alusta lähtien ehkä hieman aktiivisemmin, jotta data olisi saatu kerättyä ehyemmässä aikataulussa.

Data onnistuttiin saamaan halutussa muodossa melkein kaikista kohteista, myymälöitä ja oppilaitoskohdetta 3 lukuun ottamatta. Näiden kohteiden osalta data saatiin kuitenkin käsiteltä, analysoitu ja purettua tuloksiksi, vaikka näiden kohteiden osalta työ jäikin hieman suppeammaksi. Muista kohteista sen sijaan data saatiin suunnitellun kattavasti ja halutussa muodossa. Vertailukaavioiden muodostaminen sujui hyvin, mutta kuvaajien muodostamisessa oli hieman hankaluuksia, jotta kuvaajat saisi mahdollisimman selkeästi luettaviksi. Kuvaajia täytyi muun muassa jonkin verran skaalata, jotta ne saatiin sovitettua raporttiin.

Tulosten perusteella tehdyt johtopäätökset aiheuttivat päänvaivaa. Jouduin miettimään aika pitkään, että kuinka perustelen sen, että sähköliittymissä olisi tämän tutkimuksen mukaan ylimitoitusta. Päädyin siihen lopputulokseen, ettäärkevin tapa on kasata kaikkien kohteiden huipputehomittaukset yhteen sekä muodostaa näistä yhteinen taulukko, josta selviää, onko liittymä ylimitoitettu ja jos on, niin millä perusteella. Mielestäni tässä onnistuin hyvin, sillä ainakin omasta mielestäni johtopäätösosio kattaa saaduista tuloksista oikeastaan kaiken työn kannalta oleellisen. Johtopäätöksissä esitetty teoriapohja ei välttämättä sovellu ainakaan kaikille kohteille, mutta kyse onkin lähinnä esimerkinomaisesta tulkinnasta siitä, millä tavalla sähköliittymä voitaisiin luokitella ylimitoitetuksi. Tulkintoja on varmasti monia muitakin.

Tuloksien oikeellisuus jäi arveluttamaan, koska työssä oli niin paljon epävarmuustekijöitä. Työstä olisi voinut saada tarkempiirteisen, jos data olisi saatu kerättyä tiheimmältä kuin tunnin tallennusväliä, jolloin tulokset olisivat todennäköisesti olleet ainakin jonkin verran tarkempia. Toki tunnin aikana tapahtuvasta tehomuutoksen keskiarvostakin saa jonkinlaista käsitystä, mitä tunnin aikana on tapahtunut, mutta harvoin voi olla liian tarkka, kun etsitään sähköliittymän mitoittamista varten suurimpia esiintyviä huipputehoja.

Mielestäni tulevaisuudessa tähän aiheeseen liittyviä jatkotutkimuksia tulisi kohdistaa kysyntäjouston, kuormanhallinnan sekä sähköenergian pientuotannon ja varastoinnin vaikutuksiin, kun käsitellään huipputehon arviointimenetelmiä ja huipputehon todellista suuruutta. Nämä energianhallintaan vaikuttavat tekijät yleistyvät koko ajan, jonka vuoksi niiden merkitys huipputehoihin korostuu entisestään.

LÄHTEET

- Eckert, Tommi 2019. Rakennusten sähköliittymien mitoitus. Diplomityö. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019120545825>. Viitattu 4.5.2022.
- Fingrid julkaisuaika tuntematon. Kysyntäjousto. Verkkojulkaisu. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisuus/pilottihankkeita/kysyntajousto/>. Viitattu 4.5.2022.
- Grip, Kaisa 2013. Pienasiakkaan kysynnän jouston ja oman tuotannon vaikutukset kuormitusmalleihin. Diplomityö. Sähkötekniikan koulutusohjelma, vaihtoehtoiset sähköenergiateknologiat. Tampereen teknillinen yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201308211288>. Viitattu 4.5.2022.
- Halonen, Tommi 2011. Sähköliittymän toimitusprosessi. Opinnäytetyö. Sähkötekniikan koulutusohjelma, sähkövoimatekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201104144313>. Viitattu 4.5.2022.
- Heinonen, Henri 2021. Ilmanvaihdon energiatehokkuus sairaaloissa. Opinnäytetyö. Insinööri (YAMK), Rakentaminen. Turun ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021071416801>. Viitattu 14.5.2022.
- Hyttinen, Tino 2020. Rakennuksen sähköliittymän optimaalinen määrittäminen. Diplomityö. Älykkäiden rakennusten teknologioiden ja palveluiden professuuri. Aalto-yliopiston sähkötekniikan korkeakoulu. Sähkötekniikan ja automaation laitos. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2020122056392>. Viitattu 4.5.2022.
- Kulla, Tatu 2018. Sähköjärjestelmän perusasioiden äärellä, osa 3: Miten kysyntäjousto toimii säätövoimana? Fortumin ForTheDoers-blogi. 22.3.2018. <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/blogi/forthedoers-blogi/miten-kysyntajousto-toimii-saatovoimana>. Viitattu 4.5.2022.
- Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo 2008. Sähkönjakelutekniikka. 3. painos. Helsinki: Otatieto. Viitattu 5.5.2022.
- Loponen, Lasse 2017. Huipputehon arviointi. Opinnäytetyö. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017092115293>. Viitattu 17.5.2022.
- Lumme Energia julkaisuaika tuntematon. Lataa sähköauto kotipihalla helposti ja huolettomasti. Lumme Energian blogi. Julkaisuaika tuntematon. <https://www.lumme-energia.fi/blogi/dynaaminen-kuormanhallinta#f0bf9278>. Viitattu 4.5.2022.
- Luomanen, Henri 2019. Kiinteistöjen sähköliittymien mitoitus, vertailu ja laskenta. Opinnäytetyö. Automaatiotekniikan koulutusohjelma, sähköautomaatio. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201904094630>. Viitattu 4.5.2022.
- Musawi, Omid 2017. Sähköenergian varastointitekniikat ja varastoinnin hyödyntäminen kotitalouksissa. Opinnäytetyö. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma, sähkövoimatekniikka. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017112117502>. Viitattu 5.5.2022.
- Paikallisvoima 2020. Uusien sähköliittymien hinnoittelumenetelmät. Verkkojulkaisu. Lausunto annettu 31.1.2020. <http://www.paikallisvoima.fi/uusien-sahkoliittymien-hinnoittelumenetelmät>. Viitattu 4.5.2022.
- Peippo, Jussi 2021. Laskentatyökalu latauspisteiden mitoitukseen jakeluverkkoyhtiössä. Opinnäytetyö. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021060213640>. Viitattu 4.5.2022.

Pesola, Aki, Vanhanen, Juha, Hagström, Markku, Karttunen, Ville, Larvus, Lauri, Hakala, Laura, Vehviläinen, Iivo 2014. Sähkön pientuotannon kilpailukyvyyn ja kokonaistaloudellisten hyötyjen analyysi. Gaia Consulting Oy. Loppuraportti. Julkaistu 3.10.2014. Viitattu 6.5.2022.

Piira, Kalevi 2020. Kysyntäjoustop mahdollisuudet - Case Otaniemi. Pdf-tiedosto. Energiaviisaat kaupungit. Julkaistu 11.3.2020. https://energiaviisaat.fi/wp-content/uploads/2020/06/Piira_VTT_sahkon-kysyntajousto_Otaniemi.pdf. Viitattu 4.5.2022.

Puro, Vesa-Matti 2020. Sähköliittymän vaikutus aurinkosähkönhintaan. Aurinkovirran blogi. 8.3.2020. <https://www.aurinkovirta.fi/artikkelit/jakeluverkot/sahkoliittymän-vaikutus-aurinkosahkon-hankintaan/>. Viitattu 4.5.2022.

SA 1:87 Pienjänniteverkkojen mitoitusohjeet ja -energiat 1987. Verkostosuositus. Helsinki: Sähköenergialiitto ry SENER, Adato Energia Oy. Viitattu 17.5.2022.

SFS-Käsikirja 600-1-1. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1-1: Yleisvaatimukset (SFS 6000 osat 1-6). 1. painos 2017-10. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Viitattu 5.5.2022.

ST 13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliihtymän mitoittaminen 2020. Espoo: Sähköinfo Oy, Sähkötieto ry. <https://severi.sahkoinfo.fi/>. Viitattu 5.5.2022.

ST 53.24 Ohjeita kiinteistöjen enintään 1000 V johtojen mitoituksesta ja suojauksesta 2017. Espoo: Sähköinfo Oy, Sähkötieto ry. <https://severi.sahkoinfo.fi/>. Viitattu 5.5.2022.

Sweco 2022. Tietoa Swecosta. Verkkójulkaisu. <https://www.sweco.fi/tietoa-swecosta/>. Viitattu 5.5.2022.

Sähköverkon rakenneosat julkaisuaika tuntematon. Sähköasennusten perusteet (verkkokurssi). DIGMA-oppimisympäristö. Tampereen ammattikorkeakoulu. <https://moodle.amk.fi/mod/book/tool/print/index.php?id=3852>. Viitattu 4.5.2022.

Tiainen, Esa 2015. Pienjännitesähkölaitteiston mitoittaminen. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Viitattu 5.5.2022.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>. Viitattu 6.5.2022.