



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SAIRAALAN TEHON MITOITUSOHJE

Opinnäytetyö

TEKIJÄ: Toni Pokkinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Toni Pokkinen	
Työn nimi Sairaalan tehon mitoitusohje	
Päiväys 21.5.2017	Sivumäärä/Liitteet 28
Ohjaaja(t) lehtori Heikki Laininen, insinööri Jukka Kolehmainen, lehtori Timo Savallampi	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Granlund Kuopio Oy, Pohjois-Savon sairaanhoitopiirin kuntayhtymä	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua Kuopion yliopistollisen sairaalan laajennushankkeessa valmistuneen Kaarisairaalan vuonna 2016 toteutuneisiin tehokuormiin ja vertailla toteutunutta tehokuormitusta suunnitteluvaiheessa laskettuihin mitoitusarvoihin. Vertailun perusteella oli tarkoitus laatia sairaaloita koskeva tehon mitoitusohje, jonka avulla tehon mitoitus voidaan optimoida laskentavaiheessa vastaamaan nykyaikaisille sairaaloille tyypillistä kuormitusta.</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin Granlund Kuopio Oy:n toimeksiantamana ja yhteistyössä Kuopion yliopistollisen sairaalan kanssa. Opinnäytetyö tehtiin keräämällä mittaustietoa Kaarisairaalan energiamittareista käyttämällä Schneider Electricin Power Monitoring Expert -ohjelmaa, joka keskitetysti kerää, tallentaa ja tulostaa energian kulutustietoa Kuopion yliopistollisen sairaalan sähköverkosta. Kerättyjä mittaustietoja verrattiin Granlund Kuopio Oy:n laatimiin suunnitteluvaiheen tehon mitoitusarvoihin.</p> <p>Työn tuotoksena syntyneeseen tehon mitoitusohjeeseen on kerätty eri sairaala-alueiden ja laitteiden toteutuneet tehoarvot vuodelta 2016. Ohjeessa esitettyjä arvoja voidaan käyttää vertailuarvoina tulevaisuuden suunnittelu- projektien laskettuihin mitoitusarvoihin ja vertailun perusteella arvioida laskelmien optimointivaraa.</p>	
Avainsanat Huipputeho, tehon mitoitus, sairaala, KYS, Kaarisairaala	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Toni Pokkinen			
Title of Thesis Designing guide for hospital power rating			
Date	21 May 2017	Pages/Appendices	28
Supervisor(s) Mr Heikki Laininen, Lecturer, Mr Jukka Kolehmainen, Engineer, Mr Timo Savallampi, Lecturer			
Client Organisation /Partners Granlund Kuopio Oy, Pohjois-Savon sairaanhoitopiirin kuntayhtymä			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was made for Granlund Kuopio Oy, which is the leading company in building services engineering in the Eastern Finland region. The aim of this thesis was to make a designing guide for hospital power rating by researching the actual power consumption of the target hospital and comparing the results to the designing phase power values of the same hospital. The hospital in question is a completely new Kaarisairaala built in 2015, which was built as a part of the expansion project of the Kuopio University Hospital. The thesis was made in co-operation with the Kuopio University Hospital.</p> <p>The thesis was made by comparing the actual power consumption of the year 2016 of Kaarisairaala to the calculated power ratings of the designing phase, which were made by Granlund Kuopio Oy. The power consumption data was gathered using the Schneider Electric Power Monitoring Expert 7 program, which the administration of the Kuopio university hospitals uses for maintenance and for gathering information from the electrical systems in the hospital. The program was used to make power consumption reports from the switchboards in question and the selected time period was the year 2016.</p> <p>The result of this thesis is a designing guide presented in tabular form, which contains the actual power consumption information of different areas and devices of Kaarisairaala of the year 2016. These actual power consumption values can be compared to the initial power rating values of any new hospital designing project. The possibility of optimizing the power rating of any new similar project can be recognized by comparing the actual power consumption of Kaarisairaala to the designing phase power rating values of a new hospital project.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Hospital, power rating, Kaarisairaala</p>			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Granlund Kuopio Oy:n toimeksiantamana. Työn aihe oli tutustua Kuopion yliopistollisen sairaalan vuonna 2015 valmistuneen Kaarisairaalan toteutuneisiin sähkötehuormiin ja laatia toteutuneiden kuormitusten pohjalta tehon mitoitusohje, jolla voidaan optimoida sähköistä tehon mitoitusta tulevaisuuden sairaalakohteisiin. Aihe on mielestäni ajankohtainen, koska Kaarisairaala on varustukseltaan nykyaikainen ja sen alueet ovat kattavasti varustettu sähkönkulutusmittareilla. Mittausten kattavuuden ansiosta sairaalasta on saatavilla analysointia varten runsaasti mitaustietoa, jota ei ole ollut aiemmin saatavilla.

Haluan kiittää Granlund Kuopio Oy:n sähköosaston johtajaa, insinööri Timo Oravaista tämän opinnäytetyön tarjoamisesta ja sähköosaston ryhmäpäällikköä, insinööri Jukka Kolehmaista saamastani ohjauksesta ja neuvoista opinnäytetyön aikana. Lisäksi haluan kiittää Savonian lehtoria Heikki Lainista ohjauksesta ja Kuopion yliopistollisen sairaalan sähköasiantuntijaa, insinööri Ville Sirviötä yhteistyöstä opinnäytetyön aikana.

Erityisesti haluan kiittää vaimoani kaikesta tuesta ja kannustuksesta opintojeni ja opinnäytetyöni aikana.

Kuopiossa 21.5.2017

Toni Pokkinen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	GRANLUND KUOPIO OY	7
3	KAARISAIRAALA	8
4	TEHON MITOITTAMINEN	9
4.1	Tehon mitoitukselta yleisesti	9
4.2	Tietolähteet	10
4.3	Tehon mitoituksen käsitteet ja määritykset	10
4.4	Tasotuskertoimet	11
4.5	Kuormatyyppit	11
4.5.1	Ilmanvaihto	11
4.5.2	Pumput	12
4.5.3	Valaistus	12
4.5.4	Jäähdytykset	14
4.5.5	Kojeet ja laitteet	14
4.5.6	Sähkölämmitykset	14
4.5.7	Sairaaloille tyypilliset kuormat	15
4.5.8	Loisteho ja yliaallot tehon mitoituksessa	15
4.6	Varmennettu sähkönjakelu	16
4.6.1	Varmennettu sähkönjakelu sairaaloissa	16
4.6.2	DRUPS	17
4.6.3	Varavoima	17
5	MITTAUSTIEDON KERÄÄMINEN	18
5.1	Schneider Electric Power Monitoring Expert 7	18
5.2	Mittautiedon keräämismenetelmät	19
6	MITTAUSTIEDON TULKINTA	22
6.1	Lähtötiedot ja havainnot	22
6.2	Mittaus- ja laskentatulosten vertailu	23
7	TEHON MITOITUSOHJE	25
8	YHTEENVETO	26
9	LÄHDELUETTELO	28

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on tutustua vuonna 2015 valmistuneen Kuopion yliopistollisen sairaalan Kaarisairaalan eri käyttötarkoituksiin tarkoitettujen alueiden toteutuneisiin huipputehoihin yhdeltä vuodelta ja laatia toteutuneiden tehojen pohjalta sairaalan tehon mitoitusohje. Mitoitusohjetta on tarkoitus hyödyntää tulevaisuudessa uusien sairaaloiden suunnitteluvaiheen tehon mitoituslaskelmissa. Opinnäytetyö tehtiin vuoden 2017 kevään aikana.

Tutkimuksessa perehdytään sairaaloille sähkönkulutuksen kannalta erityisiin alueisiin, kuten tuki- ja liikuntaelinsairauksien ja kirurgianpoliklinikkaan sekä teho-, dialyysi- ja leikkausosastoihin. Lisäksi perehdytään sairaalan ilmanvaihdon, keittölaitteiden, höyrykehittimien, vedenjäähdytinkoneiden ja dialyysilaitteiden aiheuttamiin sähköverkon kuormituksiin. Mitoitusohjeen avulla saadaan arvioitua tarkemmin nykyaikaista huipputehoa kyseisten sairaalatilojen kuormituksessa ja siten optimoitua tehon mitoitusta niin, että ylimääräinen ylimitoitus voidaan minimoida.

Tämän opinnäytetyön aihe tuli ajankohtaiseksi Kuopion yliopistollisen sairaalan laajennushankkeen yhteydessä valmistuneen Kaarisairaalan oltua käytössä noin puolitoista vuotta. Monipuolinen Kaari-sairaala on erinomainen tutkimuskohde tilanteeseen, kun halutaan selvittää nykyaikaiselle sairaalalle tyypillistä sähköverkon kuormitusta eri sairaala-alueilla. Kaarisairaalan pää-, jako- ja ohjauskeskukset on kaikki varustettu energiamittarein, jotka mahdollistavat tarkan energiankulutuksen ja tehohuippujen seurannan kaikilla osastoilla.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on kuopiolainen talotekniikkaan erikoistunut suunnittelutoimisto Granolund Kuopio Oy, joka myös vastasi valmistuneen Kaarisairaalan taloteknisestä suunnittelusta. Opinnäytetyö tehdään yhteistyössä Kuopion yliopistollisen sairaalan kanssa.

2 GRANLUND KUOPIO OY

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Granlund Kuopio Oy, joka on Itä-Suomen johtava talotekniikan suunnitteluun erikoistunut suunnittelutoimisto. Granlund Kuopio Oy on osa valtakunnallista vuonna 1960 perustettua Granlund-konsernia. Kuopion toimisto on perustettu vuonna 1969. Koko konsernin palveluksessa toimii yli 700 työntekijää 20 toimistossa ympäri Suomea ja Kuopion toimistolla työskentelee noin 50 henkilöä. Granlund Kuopio Oy:n toimeksiannot kuuluvat tasaisesti pääryhmiin teollisuus, toimistotilat, liiketilat, sairaalat ja terveyskeskukset sekä muut julkiset rakennukset. Toimeksiannot tulevat nykyisin Itä-Suomen läänistä ja asiakaskohtaisesti muualta Suomesta ja myös ulkomailta. (Granlund Oy, 2017a; Granlund Oy, 2017b)

Taloteknisen suunnittelun lisäksi Granlund Kuopio Oy:n toimintaan kuuluvat merkittävästi muun muassa energiakatselmukset, kuntoarviot, huoltokirjat, olosuhdeselvitykset, puhdastilojen teknisten järjestelmien validoinnit, valvontatehtävät, rakennusautomaation etävalvontapalvelut ja ESCO-konsultointi. (Granlund Oy, 2017b)

Granlund Kuopio Oy vastasi Kuopion yliopistollisen sairaalan laajennushankkeessa valmistuneen Kaarisairaan lvi-, sähkö-, rakennusautomaatio- ja teletekniikkasuunnittelusta ja lisäksi kiinteiden sairaalalaitteiden suunnittelusta. Myös Granlundin Helsingin yksikkö osallistui kiinteiden sairaalalaitteiden suunnitteluun. (Granlund Oy, 2017c)

3 KAARISAIRAALA

Kaarisairaala on Kuopion yliopistollisen sairaalan laajennushankkeen yhteydessä vuoden 2015 touku-
kuussa käyttöön otettu uusi sairaalarakennus. Sairaala sisältää modernit tilat ja laitteet muun mu-
assa leikkausosastoille, kirurgian poliklinikalle, TULES-poliklinikalle, aikuisten, lasten ja vastasynty-
neiden teho-osastoille ja dialyysiosastolle. Tässä työssä tarkastellaan edellä mainittujen osastojen ja
poliklinikoiden tehon kulutusta.

Perusratkaisu Kaarisairaalan sähkönjakelussa on normaalijakelun ja varmennetun jakelun rinnakkais-
syöttö. Tämä tarkoittaa, että kunkin keskuksen vaikutusalueella syöttäviä sähkökeskuksia on aina
kaksi, joista toinen on aina normaalijakelun jakokeskus ja toinen on useimmiten DRUPS-jakokeskus.
Joidenkin alueiden ja laitteiden sähkönsyöttö on varmennettu tavallisilla varavoimakoneilla, joiden
toiminta eroaa DRUPS-koneista sähkökatkon alkaessa käynnistyksen aikana tapahtuvasta katkok-
sesta sähkönsyötössä. Sähkönsyöttöjen rinnakkaisuus merkitsi tässä opinnäytetyössä mittaustulos-
ten yhdistämistä kuormitusten selvittämisessä.



KUVA 1. Kaarisairaala

4 TEHON MITOITTAMINEN

4.1 Tehon mitoituksesta yleisesti

Rakennuksen sähköisen tehon mitoituksen tarkoituksena on laskennallisesti mitoittaa rakennuksen liittymä sähköjakeluverkkoon ja rakennuksen sisäisen sähköverkon kaapeloinnin johdintoikkopinta-alat niin, että ne kykenevät siirtämään sähköistä energiaa standardisarjan SFS 6000 kohdassa 311 mainittujen vaatimusten mukaisesti. Mitoitusvaatimus on oikean suurimman kuormituksen tunnistaminen, jotta sähköasennukset voidaan suunnitella taloudellisesti ja luotettavasti lämpenemien ja jännitteen alenemien suhteen. Tehon mitoitus määrittää myös rakennuksen liittymän ja jakeluverkon välisen muuntajan tai muuntajien sähkösiirtokapasiteetin, eli tehon mitoitus määrittää muuntajien lukumäärän ja kokoluokan. Standardin SFS 6000 kohdan 132 mukaan sähköverkko ja sähköliittymä tulee mitoittaa niin, ettei sähkönsiirto aiheuta liikaa lämpenemää, ettei jännitteenalenema nouse liian suureksi ja että oikosulkuvirta pysyy riittävänä. Edellä mainituilla ehdoilla varmistetaan syötön automaattisen poiskytkennän toimivuus, riittävä jännitetaso ja laitteiston odotettu käyttöikä. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015; Suomen standardisoimisliitto SFS Ry, 2012)

Tehon mitoituksessa tulee ottaa huomioon myös tulevaisuuden laajennustarve, joka yleensä tarkoittaa 30 % lisävaraa laskennalla saatujen laskettujen ja tasoitettujen huipputehoarvojen lisäksi. Sähköverkon mitoittaminen tulee kuitenkin tehdä mahdollisimman vähäisellä ylimitoituksella, koska se ei ole taloudellisesti, eikä ekologisesti kannattavaa. Tarpeeton ylimitoitus maksaa asiakkaalle enemmän korkeampien materiaalikustannuksien ja korkeamman liittymismaksun muodossa. Ihannetilanteessa tehon mitoitus on oikeassa suhteessa todelliseen kuormitukseen ja odotettuun laajennustarpeeseen. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015)

Kiinteistön liittymisteho määrää, kuinka suuri liittymismaksu kiinteistön liittämisestä sähköjakeluverkkoon on maksettava alueen jakeluverkon omistamalle jakeluverkkoyhtiölle. Kaarisairaala on yhdistetty jakeluverkkoon 20/0,4 kV jänniteportaiden keskijänniteliittymällä ja kiinteistöllä on omat kiinteistömuuntajansa. Pienjänniteliittymissä (0,4 kV) liittymismaksun suuruuden määrää kiinteistön pääsulakkeiden virta-arvo ja esimerkiksi Kuopion energian liittymismaksuhinnoittelu yli 80 A:n pääsulakkeilla asemakaava-alueella on 35 €/A. Keskijänniteliittymän (10 – 20 kV) liittymismaksun hinta koostuu perusmaksusta, joka peritään kaikilta asiakkailta ja lisäksi liittymishinnan määrää kapasiteettimaksu, joka koostuu kiinteistöä syöttävien muuntajien nimellistehoista. Esimerkiksi Kuopion Energian perusmaksu keskijänniteliittymille on 13 550,00 € ja kapasiteettimaksu 2 000 kVA:iin asti on 20 €/kVA ja hinta 2 000 kVA ylittävältä osuudelta on 8 €/kVA. Yli 5 000 kVA:n liittymisteholla liittymismaksu määräytyy sähköverkon rakennuskustannusten perusteella. Keskijänniteliittymän hinnoittelusta voidaan päätellä, että liittymän hinta 2 000 kVA:iin saakka on 53 550,00 € ja hinta kasvaa 8 000 euroa jokaista 1 000 kVA:a kohden. (Kuopion Energia Oy, 2017)

Asuinkiinteistöjä suunnitellessa voidaan hyvin käyttää kokemusperäistä tietoa ja laskennan tueksi löytyy paljon valmiita laskentakaavoja esimerkiksi ST-kortista 13.31. Tämä johtuu asuinkiinteistöissä esiintyvien neliötehojen poikkeavuuksien vähyydestä. Asuinkiinteistöjä mitoittaessa käytetään

pinta-alapohjaista tehon mitoitusta, jossa arvioidaan keskimääräistä neliömetrikohtaista tehoarvoa (W/m^2). (Sähkötieto Ry, 2015)

Muissa kuin asuinrakennuksissa pinta-alapohjaiset tehopoikkeavuudet ovat niin suuria, ettei vakioarvoja voida käyttää. Tällöin on laskettava kullekin kuormitustyyppille kohteeseen sopivat mahdollisimman tarkat tapauskohtaiset huipputehot ja tasoituskertoimet, ottaen huomioon rakennuksen käyttötarkoituksen ja laitekannan. (Sähkötieto Ry, 2015)

4.2 Tietolähteet

Lähteenä tämän opinnäytetyön tekemiseen on käytetty ST-korttia 13.31, 52.15, 52.13 ja ST-käsikirjaa 31, mitkä antavat tietoa rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoituksesta, loistehon vaikutuksesta mitoitukseen, yliaaltojen vaikutuksesta mitoitukseen ja varavoimakoneisiin liittyvästä suunnittelusta. ST-korteista ja käsikirjasta löytyvät tehomitoituksen kannalta tarpeelliset laskutavat, käsitteet ja määrittäykset. (Sähkötieto Ry, 2015; Sähkötieto Ry, 2016; Sähkötieto Ry, 2014; Sähkötieto Ry, 2013)

Yhtenä lähteenä käytettiin myös Suomen standardisoimisliitto SFS ry:n SFS-käsikirjaa 600-1, Pienjännitesähköasennukset, joka kertoo pienjännitesähkölaitteistoon liittyvistä vaatimuksista standarditasolla. (Suomen standardisoimisliitto SFS Ry, SESKO Ry, 2012)

Opinnäytetyön lähteenä käytettiin myös Sähköinfo Oy:n Esa Tiaisen kirjoittamaa kirjaa Pienjännitesähkölaitteiston mitoituksesta, josta löytyy paljon samoja tietoja kuin edellä mainitussa ST-kortissa ja lisäksi kirjassa käsitellään sähköverkon suojausta ja johdon kuormitettavuutta. (Tiainen, Pienjännitesähkölaitteiston mitoittaminen, 2015)

4.3 Tehon mitoituksen käsitteet ja määrittäykset

Kiinteistön mitoittavientehojen määrittämiseen käytetään seuraavia pääkuormatyypppejä ja kertoimia:

P_M = Mitoittavateho, mitoitusarvo liittymälle, sisältää tasoitetut tyyppikuormat ja laajennusvaran

P_{LVIA} = Yhteenlaskettu ja tasattu LVIA-laitteiden sähköteho

$P_{VALAISTUS}$ = Yhteenlaskettu ja tasattu valaisimien sähköteho

$P_{LAITTEET}$ = Yhteenlaskettu ja tasattu laitteiden sähköteho

P_{SLK} = Yhteenlaskettu ja tasattu sähkölämmityksen sähköteho

P_{MUUT} = Yhteenlasketut ja tasatut muut mahdolliset suuren tehon omaavat kuormat

k_2 = Huipputehon aikainen samanaikaisuuskerroin

k_1 = Laiteryhmän sisäinen tasauserroin

$1,3$ = Laajennusvarakerroin

Rakennuksen mitoittava teho saadaan laskettua esimerkiksi käyttämällä alla olevaa kaavaa. Kaavassa käytettävissä tehoarvoissa on jo otettu huomioon häviöt ja samanaikaisuuskertoimet, mitkä määritellään aina tapauksittain. Kaavan mukaisesti kiinteistön mitoittava teho on laajennusvarakertojen tyyppikuormien summa. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015)

$$P_M = 1,3 \times (P_{LVIA} + P_{VALAISTUS} + P_{LAITTEET} + P_{SLK} + P_{MUUT}) \quad (1)$$

4.4 Tasoituskertoimet

Tasauskertoimet sähköisessä tehon mitoituksessa tarkoittavat kertoimia, joilla arvioidaan huipputehojen eriaikaisuutta laiteryhmiä sisällä, sekä laiteryhmiä välillä. Tasauskertoimien käyttö perustuu tietoon siitä, että kyseessä olevan kohteen sähkölaitteiden käytössä on aina eriaikaisuutta tapauksellisesti ja että sähkölaitteet eivät saavuta huippukuormitusta yhtäaikaaisesti. Tehon mitoitus ilman minkäänlaisia tasauskertoimia johtaa varmuudella tapauksesta riippuen jonkintasoiseen ylimitoitukseen. (Sähkötieto Ry, 2015)

ST-kortissa 13.31 on määritelty kaksi pääryhmää tasauskertoimille, jotka ovat k1 ja k2. Kertoimella k1 tarkoitetaan laiteryhmiä sisäisiä eriaikaisuuksia ja arvioidaan, kuinka paljon kyseisen laiteryhmän laitteita käytetään samanaikaisesti. Esimerkiksi valaistuksen käytössä voidaan odottaa useimmiten eriaikaisuutta, ellei kaikkia kohteen valaisimia ohjata yhdellä ohjauksella. Kertoimella k2 arvioidaan laiteryhmiä k1-kertoimella tasattujen laitetyyppikohtaisten huippukuormien samanaikaisuutta laiteryhmiä välillä. Kertoimella k2 arvioidaan siis laiteryhmiä huippukuormien ajoittumista toisiinsa nähden. Esimerkiksi lämmitysten ja jäähdytysten huippukuormitukset eivät useimmiten ole samanaikaisia. (Sähkötieto Ry, 2015)

4.5 Kuormatyyppit

Edellä esitetyn kaavan mukaisesti kiinteistön mitoitus-tehoa määritettäessä sähköiset kuormitukset jaetaan kuormatyypeittäin pääryhmiin, joiden summasta saadaan mitoitus-teho. Kuormitusten lajittelu omiin ryhmiinsä helpottaa muun muassa kokonaiskuormituksen, laiteryhmiä sisäisten tasauskertoimien ja laiteryhmiä välisten samanaikaisuuskertoimien määrittelyä. (Sähkötieto Ry, 2015)

4.5.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon tehomitoitukseen käytetään yleensä nimellistehopohjaista tehon mitoitus-ta, jossa mitoit-tava teho selvitetään LVI-sähkölaiteluettelosta. Koska sähkölaiteluetteloihin merkitään yleensä vain sähkömoottorien nimellistehot, täytyy luetteloista saataviin nimellistehoarvoihin ottaa huomioon arvioidut samanaikaisuuskertoimet ja järjestelmässä syntyvät häviöt. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015)

Nimellisarvoihin perustuvassa mitoituksessa kerätään ilmanvaihtolaitteiston laiteluettelosta laitteiden nimellistehojen arvot ja lasketaan yhteen niistä kertyvä kokonaistehontarve. Nimellistehoarvoja käytettäessä tulee kuitenkin huomioida laitteistolle ominaiset häviöt, joita syntyy taajuusmuuttajissa, moottoreissa, voimansiirrossa ja puhaltimilla. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015)

Ilmanvaihdon säätö- ja ohjaustavalla on vaikutusta sähköverkon kuormitukseen. Ohjaustavan aiheuttamaan kuormitukseen vaikuttaa, onko kyseessä ilmanvaihdon aikaohjaus, läsnäolo-ohjaus, hiilidioksidiohjaus, lämpötilaohjaus vai edellämainittujen ohjausten yhdistelmä. Ohjauksella vaikutetaan ilmanvaihtokoneiden käyttöaikaan ja hyvällä ohjauksella koneiden turha käyttö voidaan minimoida. Sääötapa vaikuttaa myös ilmanvaihdon häviöihin, sillä kukin säätötapa vaatii ominaisen sähköisen energiansa. Puhaltimen säätötapoja ovat muun muassa pyörimisnopeuden säätö, johtosiipisäätö, siipikulmasäätö, kuristussäätö ja kaksinopeuskäyttö. Nykyisin puhaltimien ohjaukseen käytetään pääsääntöisesti pyörimisnopeussäätöä. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015)

4.5.2 Pumput

Pumppujen sähköisessä tehon mitoituksessa käytetään nimellistehoarvoja, samoin kuten ilmanvaihtokoneidenkin tehoa mitoittaessa. Sairaaloikohteissa on tyypillistä, että sairaalan toiminnan kannalta kriittisten järjestelmien, kuten esimerkiksi jäähdytysten pumput kahdennetaan. Pumppujen kahdennuksella pyritään varmistamaan järjestelmän toimintavarmuus esimerkiksi vikatilanteissa. Kahdennus toteutetaan asentamalla kaksi pumppua toimimaan rinnakkain ja normaalitilanteessa rakennusautomaatio vuorottelee pumppujen käyttöä, niin että yhtä pumppua käytetään kerrallaan. Vian aikana ehjää pumppua käytetään jatkuvasti, kunnes viallinen saadaan korjattua tai vaihdettua. Kahdennetuissa pumppujärjestelmissä tehon mitoitus on syytä tehdä molempien pumppujen sijaan vain yhdelle pumpulle, koska kahdennettuja pumppuja ei käytetä samanaikaisesti. (Koukku, 2017)

4.5.3 Valaistus

Valaistuksen tehon mitoitus tehdään yleensä valaisinluetteloissa ilmoitettujen nimellistehojen mukaisesti, mitkä yleensä ovat vain polttimoiden nimellisiä tehoja. Valaistuksen tehon mitoittamisessa tulee ottaa huomioon valaisimien liitälaitteet, valaistuksen ohjaustapa, lampputyyppi ja valaistuksen perusratkaisu. Lisäksi valaistuksen mitoituksessa tulee ottaa huomioon samanaikaisuuskertoimet. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015)

Valaisimen liitälaitte voi olla esimerkiksi perinteinen kuristin tai elektroninen liitälaitte. Mikäli valaisimet tarvitsevat toista edellä mainituista liitälaitteista, syntyy valaistuksen yhteydessä enemmän sähköverkkoa kuormittavia häviöitä, loistehoa ja/tai yliaaltoja, jotka tulee ottaa mitoituksessa huomioon. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015)

Valaistuksen ohjaustavalla on merkittävä vaikutus sähkön kulutukseen. Hyvin suunnitellulla ohjauksella rakennuksen valaistus voi olla hyvinkin energiatehokasta. Esimerkiksi säätämällä valotehoa mukautumaan luonnonvalon voimakkuuteen ja käyttämällä valaistusta valontarpeen mukaisesti, voidaan verkon ylimääräinen kuormitus minimoida. Yleensä käytettävä valaistuksen tasoituskerroin on

0,85. Päivänvalon huomioiva ohjaus voi laskea tasoituskertoimen alueelle 0,6 – 0,8. Valaistusohjauksien tyypillisiä tasoituskertoimia ovat esimerkiksi läsnäolotunnistimelle ja päivänvalosäätimelle 0,7; päivänvalosäätimelle 0,8; läsnäolotunnistimelle 0,75; huonekohtaiselle kytkimelle 0,9 ja keskitetylle päälle/pois -ohjaukselle 1. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015; Sähkötieto Ry, 2015)

Lampun polttimon tyyppillä on oma vaikutuksensa valaistuksen sähkötehon tarpeeseen. Tämä johtuu kunkin polttimotyyppin ominaisesta energiatehokkuudesta valaistukseen suhteutettuna, mistä voidaan käyttää yksikköä lm/W, joka tarkoittaa lumenia wattia kohden. Esimerkiksi hehkulampun lm/W-arvo on yleensä välillä 10 – 20 lm/W ja loistelampun lm/W-arvo on yleensä välillä 20 – 90 lm/W. Tämä tarkoittaa, että loistelampusta voidaan saada mahdollisesti enemmän valoa verrattuna hehkulamppuun, käyttämällä sama määrä energiaa. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015)

Valaistuksen kuormitus sähköverkossa riippuu myös valaistuksen perusratkaisusta, joka tarkoittaa suoraa tai epäsuoraa valaistusta. Epäsuoravalistus voi nostaa sähkötehoa jopa 1,5 kertaiseksi suoraan valaistukseen verrattuna. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015)

Valaistuksen mitoitukseen voidaan nimellistehon perusteella tehtävän mitoituksen sijaan käyttää vaihtoehtona sähkötehokkuuteen perustuvaa mitoitusta, jossa nimellisarvojen sijaan käytetään rakennuksille tyypillisiä neliötehon (W/m^2) maksimiarvoja. Taulukossa 1 on esitetty ST-kortista 13.31 kerättyjä valaistuksen maksimineliötehoarvoja, jotka perustuvat EU-säädösten perusvaatimuksiin. (Sähkötieto Ry, 2015)

TAULUKKO 1. Eri rakennusten perusvaatimusten mukaisia valaistuksen enimmäisneliötehoja (Sähkötieto Ry, 2015)

Autopaikoituslaitos	2,5
Oikeustalo	14
Näyttelytila, museo	9
Paloasema	12
Jatkokoulutuslaitos	13
Sairaala	12
Kirjasto	12
Toimisto (avo)	11
Toimisto (osastot)	13
Poliisiasema	14
Postitoimisto	14
Vankila	9
Julkinen sali	9
Asuinrakennus	11
Asuinrakennus (vain yhteiset tilat)	6
Koulu	8
Urheilukeskus	9
Kaupungintalo	13

4.5.4 Jäähdytykset

Jäähdytyksen tehomitoituksessa on arvioitava vuodenajasta riippuvaa huippukuormituksen aikaa ja huipputehoa, jonka jäähdytys huippuaikana vaatii. Vaikka keskimääräisesti jäähdytyksen tehokuormitus olisi huomattavasti huippukuormitusta alhaisempi, tulee mitoitus tehdä huippukuormituksen mukaisesti. Jäähdytyksen huippukuormituksen teho ja ajanjakso tulee aina selvittää tapausittain. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015)

4.5.5 Kojee ja laitteet

Kojeisiin ja laitteisiin luetaan muun muassa keittiö- ja toimistolaitteet, joiden tehonmitoituksessa käytetään laiteluettelon mukaisia nimellistehoarvoja ja huomioidaan laitteiden tapauksittaiset samanaikaisuuskertoimet. Lisäksi mitoituksessa on huomioitava laitteiden kuormitusten tyypit, esimerkiksi yliaaltojen ja loistehon kannalta. Keittiölaitteiden samanaikaisuuskertoimien määrittely tehdään tapausittain, mutta yleensä tasauseroin on luokkaa alle 0,5. Toimistolaitteille tulee myös arvioida tapauksittaiset samanaikaisuuskertoimet, mutta yleensä niille käytettävät kertoimet ovat alueella 0,4 – 0,6. Toimistolaitteiden kertoimet voivat kuitenkin asettua edellä mainitun alueen ylä- tai alapuolelle. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015; Sähkötieto Ry, 2015)

4.5.6 Sähkölämmitykset

Tehon mitoituksessa sähkölämmityksen osalta huomioidaan rakennuksen sähkölämmityksen tehomääräistä lämmitystarvetta ja arvioidaan mihin vuodenaikaan lämmitysteho on suurimmillaan. Rakennuksen vaatimaan sähkötehon tarpeeseen vaikuttaa muun muassa rakennuksen koko, lämpöeristys, ilmanvaihtotapa ja keskimääräinen tavoitelämpötila. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015)

Lämmityksen mitoittamiseen voidaan vaikuttaa esimerkiksi rajoittamalla lämmityksen tehokuormaa huippukuormitusajana käyttämällä varaavaa lämmitystä. Varaava lämmitys tarkoittaa lämmön talteenottoa pidemmän aikajakson aikana pienemmällä tehon hetkellisarvolla; varattua lämpöä voidaan ottaa käyttöön huippukuormituksen aikana. Tällöin huippukuormituksen aikainen huipputeho sähköverkossa saadaan alennettua. (Tiainen, Mitoitusarvojen selvittäminen, 2015)

4.5.7 Sairaaloille tyypilliset kuormat

Sairaaloiden tasauskertoimia arvioitaessa on perehdyttävä kunkin mitoittettavan alueen laitteisiin ja osaston toimintatapoihin. Osastolla voi olla laitteita, joilla on hyvinkin korkeat nimellistehot, mutta joiden yhtäaikainen käyttö riippuu osaston toiminnasta. Toisaalta osaston toiminta voi myös aiheuttaa korkeatehoisten laitteiden yhtäaikaisen käytön, mikä tulee ennakoida alueen tehon mitoituksen tasoituskertoimia arvioitaessa.

Sairaaloille tyypillisiä korkeata kuormitusta aiheuttavia kiinteitä sairaalalaitteita ovat muun muassa erilaiset välinehuoltoon liittyvät pesu- ja huoltolaitteet, kuten skooppien pesukoneet, vaunujen pesukoneet, tunnelipesu- ja kuivauskoneet, desinfioivat huuhtelulaitteet, lämpödesinfiointijärjestelmät, kuivauskaapit, pesukoneet ja eri liitännäislaitteet kuten tyhjiöpumput. Kyseisiä pesukoneita käytetään esimerkiksi leikkausvälineiden sterilointiin ja kaikkien muiden uudelleenkäytettävien sairaalavälineiden puhtaanapitoon. Yksittäisten laitteiden nimellistehot vaihtelevat noin 5 kW:sta 50 kW:iin.

Sairaaloille tyypillistä kuormitusta aiheuttavat myös höyrynykehitinlaitteet, joilla tuotetaan höyryä edellä mainituille puhdistuslaitteille. Yksittäisten höyrynykehitinlaitteiden nimellistehot vaihtelevat Kaarisairaalassa 350 kW:sta 420 kW:iin.

Ajoittain hyvinkin korkeaa tehoa kuluttaviin sairaalalaitteisiin kuuluvat myös dialyysilaitteiden veden puhdistuskoneet. Dialyysilaitteita käytetään munuaisten vajaatoiminnasta kärsivien potilaiden veren puhdistamiseen. Yksittäisten veden puhdistuskoneiden nimellistehot olivat Kaarisairaalassa 27 kW. (Munuais- ja maksaliitto Ry, 2017)

4.5.8 Loisteho ja yliaallot tehon mitoituksessa

Sähköverkko kuluttaa pätötehoa aina kun sähköenergiaa muutetaan lämpö- tai mekaaniseksi energiaksi. Monet laitteet joilla tehdään mekaanista työtä tarvitsevat toimiakseen loistehoa pätötehon rinnalle. Loisteho on kuormituksen magneettikentän ylläpitoon tarvittava tehokomponentti, joka yhdessä pätötehon kanssa määrittää sähköverkon kokonaisenergian kulutuksen. Loistehoa toimiakseen tarvitsevia laitteita ovat muun muassa sähkömoottorit, purkauslamput ja muuntajat. Loistehoa ilmenee laitteissa, jotka sisältävät vahvasti magneettikenttää luovia käämejä. Liiallista loistehoa tulee välttää, sillä se kuormittaa sähköverkkoa, lisää energiankulutusta ja lyhentää verkon osien käyttöikää. Liiallista loistehoa voidaan vähentää kompensoinnilla. On olemassa induktiivista ja kapasitiiv-

vista loistehoa, joiden osoitinsuureet ovat toistensa vastakohtia. Täten induktiivista loistehoa voidaan kompensoida lisäämällä verkkoon kapasitiivista kuormaa ja kapasitiivista loistehoa voidaan kompensoida lisäämällä verkkoon induktiivista kuormaa. Kompensointilaitteita ovat esimerkiksi kondensaattoriparistot ja reaktorit. Kompensointi voidaan tehdä tilanteen mukaan laitekohtaisesti, ryhmäkohtaisesti tai keskitetysti. (Sähkötieto Ry, 2016)

Loistehon yhteydessä ilmenee usein yliaaltoja, jotka myös kuormittavat sähköverkkoa ja heikentävät sähkön laatua. Yliaaltoja aiheuttavat erityisesti laitteet, jotka sisältävät puolijohdeteknologiaa, kuten esimerkiksi tietokoneet. Yliaallot ovat kuormituksen epälineaarisuudesta syntyviä, esimerkiksi siniaallon taajuuden monikertoja, jotka säröyttävät aallon muodon. Kolmas yliaalto aiheuttaa lisäkuormituksen ja sähkön laadun heikkenemisen lisäksi nollajohtimen kuormittumista. Normaalitytilanteessa nollajohtimen ei pidä kuormittua. Ellei mitoitusvaiheessa ole huomioitu nollajohtimen kuormitusta, voi tästä seurata lämpenemistä alimitoitettussa nollajohtimisessa. 5., 7. ja 11. yliaalto yleensä kuormittuvat tähtipisteessä, eivätkä kuormita nollajohdinta 3. yliaallon tavoin. Yliaaltoja voidaan lieventää lisäämällä verkon kompensointikondensaattoreiden rinnalle estokeloja, jotka vähentävät yliaaltojen syntyä. Toinen kalliimpi vaihtoehto yliaaltojen vähentämiseksi on lisätä sähköverkkoon yliaaltosuodattimia. Estokelasuodatus sopii rakennuksiin, joissa esiintyy vähäisiä määriä yliaaltoja, kuten julkisissa rakennuksissa. Yliaaltosuodattimia käytetään yleensä kohteissa, joissa esiintyy runsaasti yliaaltoja, kuten esimerkiksi teollisuusrakennuksissa. (Sähkötieto Ry, 2014)

4.6 Varmennettu sähköjakelu

Varavoimalaitokset tulee suunnitella niin, että ehdot syötettävän verkon kokonaistehon tarpeesta ja verkon sähköteknisistä vaatimuksista täyttyvät. Sähkötekniisiin vaatimuksiin kuuluvat muun muassa sähkön laatu, oikosulkukestoisuus ja suojausten toiminta. Varavoiman on siis kyettävä tuottamaan verkon vaatima sähköenergia, jännitetaso, jänniteläatu ja suojauksien vaatimat oikosulkuvirrat. (Sähkötieto Ry, 2013)

4.6.1 Varmennettu sähköjakelu sairaaloissa

Tarvetta varmennetun sähköjakelun käyttöön lääkintätiloissa määrittelevät standardissa SFS 6000-7-710: erikoistilojen ja asennusten vaatimuksissa mainitut tilaluokat G0, G1 ja G2. Kyseisillä tilaluokilla määritellään kunkin sairaalatilankäyttötarkoituksen mukainen vaarallisuus vian aiheuttaman sähkökatkon aikana. G0-luokan tiloissa ei ole tarkoitus käyttää mitään sähkökäyttöisten lääkintälaitteiden liityntäosia, eikä sähkösyötön katkeaminen aiheuta välitöntä hengenvaaraa. G1-luokan tiloissa on tarkoitus käyttää sähkökäyttöisten lääkintälaitteiden liityntäosia, mutta sähkösyötön katkeaminen ei aiheuta potilaalle välitöntä vaaraa. G2-luokan tiloissa on tarkoitus käyttää sähkökäyttöisten lääkintälaitteiden liityntäosia sovelluksiin kuten sydänlähäisiin-, leikkaus- ja tehohoitotoimintoihin ja vian aiheuttama sähkösyötön keskeytyminen voi aiheuttaa potilaalle välitöntä vaaraa. Standardin SFS 6000-7-710 mukaan liityntäosalla tarkoitetaan sähkökäyttöisen laitteen osaa, jota käytetään kosketuksessa potilaaseen lääkintälaitteen tai lääkintäjärjestelmän toiminnassa. Standardin SFS 6000-7-710 mukaan G2-luokan tilojen sähkösyöttö tulee toteuttaa niin, että sähkösyötön täydellinen katkeaminen voidaan ehkäistä. (Suomen standardisoimisliitto SFS, 2012)

Standardissa SFS 6000-7-710 on määritelty enimmäisajat sairaalalaitteiden sähkönsyötön katkoille ja keskeytysajat jaetaan kolmeen ryhmään: $\leq 0,5$ s, ≤ 15 s ja > 15 s. Standardissa on lisäksi taulukoitu esimerkkejä kunkin tilatyypin vaatimuksista sähkökatkoajoille. (Suomen standardisoimisliitto SFS, 2012)

Alle 0,5 sekunnin katkon edellyttäviä laitteita ovat esimerkiksi valaisimet ja elintoimintoja ylläpitävät laitteet synnytyssaleissa, anestesiatioissa, leikkaussaleissa, valmisteluhuoneissa, kipsaussaleissa, heräämöissä, sydänkatetrointihuoneissa, tehohoitoahuoneissa, angiografihuoneissa ja keskoloissa. Alle 0,5 sekunnin katkon edellyttäviä tiloja ovat esimerkiksi tähytys-, urologia-, magneettikuvaus- ja tarkkailuhuoneet. Edellä mainituissa huoneissa sallitaan enimmillään 15 sekunnin sähkökatko, jos kyseessä ei ole leikkaussali. (Suomen standardisoimisliitto SFS, 2012)

4.6.2 DRUPS

Kaarisairaalassa on kaupungin sähköjakeluverkon sähkönsyötön rinnalla varmennettu sähkönsyöttö, joka on toteutettu kolmella DRUPS-varavoimakoneilla ja kahdella tavallisella varavoimakoneella. DRUPS (Diesel Rotary Uninterruptible Power Source) on katkoton varavoimalähde, jota käytetään kriittisten sairaalajärjestelmien varmennettuun syöttöön. DRUPS:n viiveettömyydellä maksimoidaan muun muassa potilaiden turvallisuus, mikäli sähkökatko voisi aiheuttaa vaaraa. (EURO-DIESEL SA, 2017)

Normaalitilanteessa DRUPS-laitteiston generaattori toimii moottorina, joka pyörittää vauhtipyörää suurella nopeudella. Sähkökatkon sattuessa energian suunta muuttuu, jolloin vauhtipyörä pyörittääkin generaattoria pyörimisliike-energiallaan. Vauhtipyörään varastoitunut pyörimisliike-energia riittää siksi aikaa, että samalle akselille kytketty dieselmoottori ehtii käynnistyä. Dieselmoottorin käynnistyttyä DRUPS-laitteisto tuottaa sähköenergiaa kuten dieselgeneraattori. (EURO-DIESEL SA, 2017)

Sähköjakelun palautuessa DRUPS-järjestelmä synkronoituu jakeluverkon kanssa ja lopulta DRUPS-järjestelmä lakkaa syöttämästä sähköä kiinteistölle. Järjestelmä alkaa taas toimia sähkömoottorina, joka pyörittää vauhtipyörää keräten jälleen liike-energiaa seuraavaan sähkökatkon varalle. (EURO-DIESEL SA, 2017)

4.6.3 Varavoima

Kaarisairaalassa on DRUPS-laitteiston lisäksi kaksi dieselpolttoaineella toimivaa varavoimageneraattoria, joista toinen tai molemmat käynnistyvät sähkökatkon alkaessa. Varavoimakoneen käyttöön liittyy yleensä viivettä, sillä käynnistysvaiheessa generaattori ei syötä sähköverkkoon sähköä. Varavoimakonetta käytetään syöttämään energiaa esimerkiksi höyrynkehitin-, välinehuolto- ja LVI-laitteille, joiden hetkellinen seisahtuminen sähkökatkon takia ei aiheuta potilaille tai sairaalan henkilökunnalle vaaraa. Varavoimakoneen käynnistämiseen tarvittava energia saadaan akustolta.

5 MITTAUSTIEDON KERÄÄMINEN

5.1 Schneider Electric Power Monitoring Expert 7

Power Monitoring Expert 7 -ohjelma (PME 7) on selainpohjainen energianhallinnointiohjelma, joka kerää ja tallentaa reaaliaikaisesti kiinteistön sähköverkon toiminta- ja energiankulutustietoja. Ohjelmaa käytetään sähköverkon tilastointiin, hallinnointiin ja energiankulutuksen optimointiin. Ohjelma tarkkailee sähkönkulutusta, sähkönlaatua ja hälyttää sähköverkossa ilmenevistä vioista. (Schneider Electric, StruxureWare, 2014)

PME 7 näyttää sähköverkon runkorakenteen keskijännitesyötöstä kiinteistön muuntajille ja edelleen pääkeskuksille. Ohjelma esittää edellämainittujen verkon osien väliset pääkomponentit, kuten erottimet ja katkaisijat. Ohjelma näyttää myös kunkin komponentin silloisen tilatiedon. (Schneider Electric, StruxureWare, 2014)

Ohjelmalla voidaan laatia monipuolisesti raportteja eri verkon osista ja mittaussuureista. Raportteja voidaan laatia energiankulutuksesta, sähkön laadusta, jännitteistä, tehoista, virroista, tehokertoimista ja sähköverkon kustannuksista. Kuvassa 2 on esitetty, miltä ohjelmalla laadittu taulukkora-portti näyttää. PME 7 tallentaa energiamittareiden ilmaisemat tehotiedot järjestelmän SQL-tietokantaan 15 minuutin välein: kyseiset tehon arvot ovat mittaushetken arvoja. (Schneider Electric, StruxureWare, 2014)



There are 5 unlisted warnings for: P2-Anestesia-_ja_leikkaustoiminta_4630#.P2-PK_T2_MITT16#P2-JK3_

	DRUPS JK 3.1	DRUPS JK 3.2	DRUPS JK 3.3
	Maksimi, keskiarvo ja mediaani	Maksimi, keskiarvo ja mediaani	Maksimi, keskiarvo ja mediaani
	1,26	1,02	1,34
	0,88	0,64	1,01
	0,89	0,66	1,12

Timestamp	P2-Anestesia-_ja_leikkaustoiminta_4630#.P2-DRUPS_JK3_1 Real Power (kW)	P2-Anestesia-_ja_leikkaustoiminta_4630#.P2-DRUPS_JK3_2 Real Power (kW)	P2-Anestesia-_ja_leikkaustoiminta_4630#.P2-DRUPS_JK3_3 Real Power (kW)
1.1.2016 0:00:01	0,62	0,32	0,90
1.1.2016 0:15:00	0,77	0,72	0,79
1.1.2016 0:30:00	0,74	0,49	0,76
1.1.2016 0:45:00	0,62	0,32	0,81
1.1.2016 1:00:00	0,62	0,31	0,53
1.1.2016 1:15:00	0,68	0,50	0,70
1.1.2016 1:30:00	0,69	0,49	0,70
1.1.2016 1:45:00	0,69	0,31	0,69
1.1.2016 2:00:00	0,62	0,32	0,79
1.1.2016 2:15:00	0,62	0,32	0,53
1.1.2016 2:30:00	0,62	0,32	0,70
1.1.2016 2:45:00	0,62	0,32	0,74
1.1.2016 3:00:00	0,62	0,49	0,85
1.1.2016 3:15:00	0,81	0,61	0,93
1.1.2016 3:30:00	0,62	0,57	0,95

KUVA 2. Ote Power Monitoring Expert -raportista

5.2 Mittaustiedon keräämismenetelmät

Mittaustietoa kerättiin Kuopion yliopistollisen sairaalan hallintorakennuksen työpisteiltä käyttämällä PME 7:ää. Tiedot kerättiin ohjelman Report-toiminnolla, jonka avulla voidaan luoda raportti halutuista mittauksista ja halutuista mittauslähteistä. Raporttiin valittiin ohjelman mittauslähdevalikosta tarkasteltavat keskuksat ja halutut mittauksiedot, kuten esimerkiksi virta-, pätö- ja loistehoarvot. Lopuksi ohjelmaan syötettiin aikaväli, jolta mittauksietoa kerättiin. Tämän opinnäytetyön kaikki mittauksiedot kerättiin 1.1.2016 – 31.12.2016. Lähtötietojen syöttämisen jälkeen käynnistettiin raportin laatiminen ja laaditut taulukkoraportit tallennettiin Excel-taulukkomuotoon.

PME 7 esittää mittauslähteet sähkökeskusten tunnuksien mukaan ja jokaisesta keskuksista voitiin kerätä keskuksen pääenergiankulutusmittarin ilmaisemat keskuksen kokonaistehokuormitustiedot.

Keskuksista voitiin myös kerätä keskuksen omalla energiankulutusmittarilla varustettujen valaistuksien mittaustiedot omaan taulukkoon. Kaarisairaalan valaistukset olivat pääosin kaikki oman mittauksensa takana.

Raportti ilmaisee halutut mittaustiedot 15 minuutin välein koko vuoden ajalta ja mittaustietoja voidaan tarkastella päivämäärän ja kellonajan mukaisesti. Raportista selviävät myös katkokset mittaustiedon vastaanottamisessa. Taulukon pystysarakkeissa oli kunkin mittauslähteen mittaustulokset ja vaakariveillä oli kyseiseltä 15 minuutilta saatu mittaustulos. Kustakin mittauslähteestä kerättiin koko vuoden korkein pätötehon arvo, jonka perusteella voidaan päätellä kuinka paljon kyseisen alueen sähköverkkoa kuormitetaan enimmillään. Lisäksi vuoden mittaustuloksista kerättiin keskiarvo ja mediaani, joiden perusteella voidaan päätellä kyseisen alueen sähköverkon tyypillistä kuormitusta ja huippuarvojen hetkellisyyttä. Keskuksista kerättiin myös loistehotiedot niiltä osin kuin ne olivat saatavilla ja loistehoista kerättiin samat tiedot kuin pätötehoistakin. Loisteho- ja virta-arvot olivat saatavilla vain kokonaiskuormitusta mittaavilta mittareilta.

Tässä opinnäytetyössä kerätyt tehon mittaustiedot on kerätty vuoden 2016 jokaiselta 15 minuutilta ja tulokset ovat kunkin mittaushetken arvoja. Tämä tarkoittaa, että 15 minuutin sisällä tapahtuvat hetkelliset muutokset eivät ilmene mittaustuloksista, mutta tuloksista saa selvän yleiskuvan sähköverkon kuormituksen tasosta. Tuloksien luotettavuutta lisää mittaustuloksien runsaus, sillä ne lisäävät kuormituksessa esiintyvien huippujen näkyvyyttä.

PME 7 on asetettu maksimiarvot muuttujien lukumäärälle, minkä vuoksi kaikkia mittaustietoja ei saatu yhteen taulukkoon. Sen sijaan yhteen raporttiin sisällytettiin enimmäismäärä tietoa ja raportteja laadittiin riittävän monta, jotta kaikkien tarkasteltavien mittauslähtöjen tulokset saatiin kerättyä. Raportteja oli laadittava noin 30 kappaletta.

Tätä työtä varten raportit luotiin pääasiassa taulukkomuotoon ja niihin kerättiin tiedot pätö- ja loistehoista. Joistakin mittauslähteistä laaditiin myös viivadiagrammiraportit tehohuippujen tiheyden selkeämpää tarkastelua varten. Raporttien laatiminen viivadiagrammimuotoon osoittautui kuitenkin hyvin raskaaksi PME 7:lle ja yksittäisen mittauslähden raportin laatiminen vei aikaa noin 10 minuuttia. Muun muassa tästä syystä viivadiagrammiraporttien laatimisesta luovuttiin. Lisäksi taulukkomuotoisten raporttien käsittely oli tässä työssä viivadiagrammiraportteja tehokkaampaa. Joiltakin keskuksilta kerättiin myös vaihekohtaiset virtatiedot. Kaikki mittarit eivät kyenneet antamaan raporttiin loisteho- ja virtatietoja, mutta pätötehotiedot olivat saatavilla kaikilta käytössä olleilta mittareilta.

Pinta-alapohjaisen mitoituksen tarkastelussa mittaustiedot kerättiin kaikkien käsiteltävien alueiden energiamittareilta. Mittaustiedot kerättiin DRUPS- ja normaalijakelun jakokeskuksilta ja jakokeskusten syöttämiltä ohjauskeskuksilta. Kullekin jakokeskukselle on asennettu energiamittari jakokeskusta syöttävällä pääkeskuksella ja pääkeskuksella sijaitsevat energiamittarit ilmaisevat jakokeskusten kokonaiskuormitusta. Jako- ja ohjauskeskuksissa sijaitsevat energiamittarit mittaavat valaistuk-

sien osuutta kokonaiskuormituksesta. Mittauslähtöjen muut kuormitukset voitiin selvittää mittauslähtöjen kokonaiskuormitusten ja valaistuskuormitusten erotuksesta. Muulla kuormituksella tarkoitetaan tässä tapauksessa pääasiassa pistorasiakuormitusta.

Pinta-alapohjaisen mitoituksen tarkastelussa kaikista mittauslähdöistä kerättiin tiedot keskuksien syöttämistä kokonaistehoista ja valaistuksista. Aluekohtaisen kokonaiskuormituksen selvittäminen edellytti mittautietojen yhdistämistä normaalin ja varmennetun sähkönjakelun kesken. Mittautietojen yhdistäminen tarkoitti normaalin ja varmennetun mittauslähdon mittautietojen liittämistä samaan taulukkoon ja sen jälkeen yhteenlaskemista molempien keskuksien mittautuloksista vuoden jokaiselta mittaushetkeltä. Mittautietojen yhdistäminen mahdollisti vuoden kokonaiskuormituksen yhdistetyn huipun selvittämisen hakemalla mittausarvojen summasarakkeen maksimiarvon. Valaistuskuorman erottelu kokonaiskuormituksesta oli mahdollista Kaarisairaalan sähkökeskuksiin asennettujen valaistuksien alamittareiden ansiosta. Valaistuksen kuormitushuippujen selvittämiseksi oli yhdistettävä eri raporteissa olevat mittautiedot yhteen taulukkoon samalla tavalla kuin kokonaiskuormituksessakin.

Valaistuksien yhteiskuormituksen vaatima taulukoiden yhdistely osoittautui haasteelliseksi, sillä kunkin rinnakkaisen mittautuloksen oli oltava samaa kellonaikaa vastaava mittautulos. Tämän vuoksi yhdistettävissä taulukoissa oli oltava yhtä suuri lukumäärä rivejä, eli eri kellonaikoja vastaavia mittautuloksia. PME 7:llä tehtävien raporttien sisällössä ilmeni suurta vaihtelua mittauspisteiden lukumäärien välillä. Raporttien rivimäärissä oli enimmillään jopa 200 mittauspisteen ero. Erot raporteissa johtuvat PME 7:n mittautiedon keruussa tapahtuvista yleensä sekunnin kestävästä viiveistä, joiden seurauksena jotkin mittautiedoista olivat ajankohdaltaan sekunnin yli tavallisen 15 minuutin mittausjakson. Viive mittautiedon keruussa merkitsee aina yhtä lisärivä raportin mittautuloksissa ja siksi joillekin mittautuloksista oli kaksi tulosta mittaushetkeä kohden. Tästä syystä taulukoiden suora yhdistäminen toisiinsa aiheutti vähitellen kasvavan mittausajankohtien erkanemisen toisistaan ja teki tulokset valheellisiksi. Ratkaisu tähän ongelmaan oli suodattaa kaikista yhdistettävistä mittausraporteista kaikkien kaksinkertaisten mittausajanjaksojen ylimääräiset mittautulokset, minkä jälkeen yhdistettävien raporttien rivimäärät ja kellonajat vastasivat toisiaan. Kuvassa 3 on esitetty esimerkki mittautuloksissa esiintyneistä liikamittausajoista. Kuvasta 3 näkyy, kuinka kahden mittarin mittautulos ajoittuu ajalle 13:45:00 ja yhden mittarin tulos ajoittuu yhtä sekuntia myöhemmäksi. Kaikilla mittauslähdöillä toinen mittausajoista on ilman mittautulosta.

2.1.2016 12:45:00	0,63	0,91	-0,43
2.1.2016 13:00:00	0,51	0,90	-0,43
2.1.2016 13:15:00	0,51	0,90	-0,43
2.1.2016 13:30:00	0,51	0,90	-0,43
2.1.2016 13:45:00	0,51	0,90	
2.1.2016 13:45:01			-0,44
2.1.2016 14:00:00	0,61	0,90	-0,45
2.1.2016 14:15:00	0,51	0,90	-0,42
2.1.2016 14:30:00	0,62	0,89	-0,48
2.1.2016 14:45:00	0,26	0,90	-0,41
2.1.2016 15:00:00	0,51	0,83	-0,43

KUVA 3. Ote Power Monitoring Expert –raportin kaksikertaisesta mittausajasta

6 MITTAUSTIEDON TULKINTA

6.1 Lähtötiedot ja havainnot

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltavat tehon mitoitusjakaantumat jakautuvat kahteen pääryhmään, jotka ovat pinta-alaan ja laitteiden nimellistehoon perustuvat mitoitusmenetelmät.

Pinta-alapohjaisen mitoituksen piiriin kuuluivat kaikki keskuksat, jotka syöttävät kokonaisten alueiden sähkölaitteita, minkä vuoksi syötettävän alueen kuormituksen laatu on monimuotoista. Esimerkkinä pinta-alapohjaisesti mitoitetuista keskuksista ovat tilojen valaistusta, käyttölaitteita ja pistorasioita syöttävät jakokeskuksat. Nimellistehopohjaisen mitoituksen piiriin kuuluivat ne keskuksat, joihin oli kytketty yksittäisiä laitteita tai kuormituksen laatu oli hyvin yksipuolista. Esimerkkinä nimellistehopohjaisesti mitoitetuista keskuksista olivat ilmanvaihtokoneiden jakokeskuksat.

Pinta-alapohjaisen mitoituksen tarkastelua varten tasopiirustuksista taulukoitiin kunkin tarkasteltavan jakokeskuksen syötettävän alueen pinta-ala ja tehokalkelmista taulukoitiin kunkin keskuksen mitoittavat tehot. Tällä tavoin voitiin selvittää kunkin keskuksen vaikutusalueen tehoa neliömetriä kohden (W/m^2) mittauksuloksiin vertailua varten.

Pinta-alapohjaisen mitoituksen piirissä korkeinta keskimääräistä neliöllistä tehon kulutusta aiheuttivat leikkausosastot ja vastasyntyneiden teho-osastot. Yksittäisistä keskuksa-alueista korkeinta neliöllistä tehon kulutusta aiheutti leikkausosaston toimistoalue ja dialyysiosasto. Korkeinta keskimääräistä valaistuksen neliöllistä tehon kulutusta aiheuttivat leikkausosastot. Taulukossa 2 on esitetty mittauksuloksiin perustuvat neliötehot aluetyypeittäin.

Nimellistehopohjaisen mitoituksen tarkastelussa kerättiin tarkasteltavien laiteryhmiön nimellistehotiedot laiteluetteloista ja laitteiden arvokilvistä. Näitä nimellistehotietoja verrattiin vuoden 2016 mitattuihin tehohuippuihin.

TAULUKKO 2. Kaarisairaalan toteutuneet neliötehot aluetyypeittäin

	KESKIMÄÄRÄINEN MITATTU NELIÖTEHO (W/m ²)		
	KOKONAISNELIÖTEHO	VALAISTUS	MUUT (ESIM. PISTORASIAT)
TUKI- JA LIIKUNTAELINSAIRAUKSIEN POLIKLINIKKA	31,48	12,65	21,33
-Vastaanotto- ja toimistotiloja			
-Käytävätiloja			
-Liikuntasalitiloja			
-Laboratoriotiloja			
LEIKKAUSOSASTOT	47,06	15,33	35,85
-Leikkaussaleja			
-Käytävätiloja			
-työhuone- ja toimistotiloja			
-Heräämötiloja			
-Taukotiloja			
-Varastoja			
KIRURGIAN POLIKLINIKKA	36,43	10,44	28,73
-Vastaanotto- ja toimistotiloja			
-Käytävätiloja			
-Endoskopiatiiloja			
-Keuhkoscopiatiiloja			
-Opetustiloja			
TEHO-OSASTO	36,69	11,71	30,39
-Tehohoitotiloja			
-Tehovalvontatiloja			
-Käytävätiloja			
-Toimisto- ja työpistetiloja			
VASTASYNTYNEIDEN TEHO-OSASTO	45,26	8,83	39,38
-Perhehuonetiloja			
-Perhehuone-eristystiloja			
-Vastaanotto- ja toimistotiloja			
-Käytävätiloja			
-Varastotiloja			
DIALYYSIOSASTO	64,34	11,85	58,80
-Hemodialyysitiloja			
-Vastaanotto-, toimisto- ja kansliatiloja			
-Käytävätiloja			

6.2 Mittaus- ja laskentatulosten vertailu

Mittaustietojen tulkinnassa mitattuja tehon arvoja verrataan laskettuihin arvoihin ilman laajennusvara, koska tarkastelulla pyritään näkemään kuinka paljon toteutunut kuormitus eroaa olemassa olevien laitteiden odotetusta kuormituksesta. Pinta-alapohjaisen mitoituksen mittaustulokset osoittavat, että vuoden 2016 huipputehot ovat useilla sairaalaalueilla ennakoituja tehoja alhaisempia. Ylimmillään mitattu neliöteho oli 59,1 % mitoitusasteesta ja alimmillaan 13,7 % mitoitusasteesta. Mitattujen neliötehojen suhteesta mitoitusasteeseen on pääteltävissä, että tasoituskertoimissa on optimoinnin varaa tulevaisuudessa.

Nimellistehopohjaisen mitoituksen mittaustuloksien mukaan kyseisissä mitoituksissa on vähemmän optimointivaraa kuin pinta-alapohjaisessa mitoituksessa. Mitattujen huippujen keskiarvo suhteessa

mitoitusarvoon oli 73 %. Suhteesta voidaan päätellä, että ero todellisen kuormituksen ja mitoituksen välillä on vähäinen.

7 TEHON MITOITUSOHJE

Tämän opinnäytön tuotoksena laadittu tehon mitoitusohje on rakenteeltaan taulukkomuodossa ja ohjeessa on esitetty tilatyypeittäin keskimääräiset neliötehot vuodelta 2016, sekä kiinteiden laitteiden toteutuneet huippuarvot. Ohjeessa esitettyjä tehoarvoja on tarkoitus käyttää alustavien mitoitusarvojen vertailuarvoina lopullista tehon mitoitusta määritettäessä. Vertailulla voidaan havaita, jos alustava laskettu mitoitusarvo on huomattavasti korkeampi kuin Kaarisairaalan vuoden 2016 toteutunut kuormitus vastaavalla alueella ja tällöin esimerkiksi tehon mitoituksen tasoituskertoimia voidaan harkita uudelleen.

Ohjeen ensimmäisiltä sivuilta löytyvät yksinkertaistetut neliöteho- ja huippuarvotaulukot, joista suunnittelijat voivat vaivattomasti tarkistaa Kaarisairaalassa vuonna 2016 toteutuneita tehoarvoja mitoittaessaan vastaavia kohteita tulevaisuudessa. Ohjeen loppupuolella on esitetty tarkemmin kaikki tiedot, joiden pohjalta ohjeen tehoarvot ovat laadittu. Tarkemmassa tarkastelussa on esitetty kaikkien alueiden pinta-alat, huonetyypit, huonetunnukset, mitoitusarvot ja toteutuneet arvot. Ohjeessa esitettyjä tutkittuja nykyaikaisia mittaustietoja ei ole ollut aiemmin käytettävissä ja tähän ongelmaan tutkitut mittaustulokset auttavat.

Ohjetta käytettäessä tulee ottaa huomioon tehon mitoitukselle tarpeellinen laajennusvara ja ettei ohjeen käyttö johda alimitoitukseen.

8 YHTEENVETO

Työn aiheena oli perehtyä Kuopion yliopistollisen sairaalan Kaarisairaalan toteutuneisiin tehokuormituksiin vuonna 2016 ja vertailla toteutuneita kuormituksia tehon mitoitusarvoihin. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Kaarisairaalan taloteknisestä suunnittelusta vastannut Granlund Kuopio Oy ja työ tehtiin yhteistyössä Kuopion yliopistollisen sairaalan kanssa. Mittaustulokset kerättiin Kuopion yliopistollisen sairaalan hallintorakennuksessa sijaitsevilta työasemilta käyttämällä Schneider Electric:n Power Monitoring Expert 7 -energianhallintaohjelmaa. Vertailun pohjalta oli tarkoitus arvioida Kaarisairaalan tehon mitoituksen optimointivaraa ja laatia mitoitusohje, jonka avulla sairaaloiden tehon mitoitusta voitaisiin optimoida tulevaisuuden suunnitteluprojekteissa.

Aihe oli ajankohtainen, koska Kaarisairaala on kerennyt olemaan valmistumisensa jälkeen käytössä noin puolitoista vuotta ja tehon kulutusta olisi mahdollista tarkastella kokonaiselta kalenterivuodelta. Mittaustietojen kerääminen kokonaiselta vuodelta merkitsi runsasta mittausotantojen määrää ja kuormituksessa esiintyvien vuodenaikavaihteluiden ilmenemistä tuloksissa. Otantojen määrällä ja vuodenaikojen huomioinnilla pyrittiin parantamaan mittaustietojen luotettavuutta. Ajankohtaiseksi aiheen teki myös Kaarisairaalan nykyaikainen varustelu, jonka ansiosta Kaarisairaalan toteutunutta tehon kuormitusta voidaan pitää vertailukelpoisena lähitulevaisuuden suunnitteluprojekteissa. Opinnäytetyössä tutkittuja mittaustuloksia ei ole ollut aiemmin käytettävissä, koska vasta hiljattain on yleistynyt tapa mitata sähkön kulutusta yhtä kattavasti eri kiinteistöjen eri alueilla ja laitteilla.

Mittaustiedot saatiin kerättyä kaikilta suunnitelman mukaisilta alueilta ja laitteilta, mutta pieni osa mittaustiedosta oli käyttökelvotonta. Osa energiamittareista oli lakannut mittaamasta kesäkuusta 2016 eteenpäin ja siksi puolet vuoden mittaustuloksista jäi puutteellisiksi ja täten käyttökelvottomiksi. Muiden mittaustietojen tiedon saanti onnistui hyvin ja vaivattomasti.

Mittaustietojen tulkintaa varten oli yhdisteltävä eri mittausraporttien mittaustietoja yhteen. Taulukoiden yhdisteleminen onnistui lopulta hyvin, mutta siihen liittyi alussa haasteita. Mittaustuloksien yhdistely onnistui ja mittaustuloksista saatiin tehtyä tarvittavat päättelyt. Mittaustuloksien päättely osoitti, että mitoituksessa on optimoinnin varaa ja siksi mitoitusohjeesta voi olla käytännön hyötyä. Nimellistehopohjaisen mitoituksen piirissä vuotuiset huippukuormitukset olivat lähempänä laitteiden nimellisiä arvoja.

Mittaustuloksien vertailusta suunnitteluvaiheen mitoitusarvoihin kävi hyvin ilmi eri mitoituksen osa-alueet, joilla on selvästi optimoinnin varaa jatkossa. Vertailusta ilmeni myös ne mitoituksen osa-alueet, joiden tehon mitoitus on tarkasti vastannut toteutunutta kuormitusta.

Opinnäytetyön tuotoksena laadittiin tehon mitoitusohje, joka sisältää Kaarisairaalan toteutuneet tehokuormitukset aluetyypeittäin ja alueiden pinta-alatiedot. Ohjetta on tarkoitus käyttää jatkossa laskeutuvien mitoitusohjeiden vertailuun ja suunnittelijan on mahdollista harkita laskelmiensa tehon tasoi-

tuskertoimia uudelleen, mikäli vastaavan aluetyypin alustava mitoitusarvo on huomattavasti Kaari-sairaalan toteutumaa suurempi. Kuitenkin ohjeen käytössä on huomioitava tulevaisuuden laajennusvara ja ohjetta tulee käyttää niin, ettei alimitoitusta pääse tapahtumaan.

9 LÄHDELUETTELO

- EURO-DIESEL SA. (2017). *Operation description*. (EURO-DIESEL SA) Haettu 13. 3 2017 osoitteesta euro-diesel:
<http://www.euro-diesel.com/english/operation-description/94/2>
- Granlund Oy. (2015). *Kaarisairaala*. (Granlund oy) Haettu 13. 3 2017 osoitteesta Referenssit:
<http://www.granlund.fi/referenssit/projektit/kuopion-yliopistollinen-sairaala/>
- Granlund Oy. (2017a). *Yhtiöstä*. Haettu 6. 3 2017 osoitteesta <http://www.granlund.fi/yhtiosta/>
- Granlund Oy. (2017b). *Yhteystiedot*. Haettu 6. 3 2017 osoitteesta Kuopio:
<http://www.granlund.fi/yhteystiedot/kuopio/>
- Granlund Oy. (2017c). *Referenssit*. Haettu 6. 3 2017 osoitteesta Kaarisairaala:
<http://www.granlund.fi/referenssit/projektit/kuopion-yliopistollinen-sairaala/>
- Koukku, A. (19. 4 2017). Pumppujen kahdennus (haastattelu). (T. Pokkinen, Haastattelija)
- Kuopion Energia Oy. (2017). *sähköverkon liittymismaksut*. Noudettu osoitteesta tietoa sähköverkostamme:
<https://www.kuopionenergia.fi/sahkoverkko/tietoa-sahkoverkostamme/sahkoverkon-liittymismaksut/>
- Munuais- ja maksaliitto Ry. (2017). *Dialyysihoito*. Noudettu osoitteesta
http://www.muma.fi/sairaudet_ja_elinsiirrot/munuaissairaudet/dialyysihoito
- Schneider Electric. (2017). *Power Monitoring Expert*. (Schneider Electric) Haettu 13. 3 2017 osoitteesta Products-Services: <http://www2.schneider-electric.com/sites/corporate/en/products-services/product-launch/struxureware/power-monitoring-expert.page>
- Schneider Electric, StruxureWare. (2014). User guide. *Power Monitoring Expert 7.2*. Pariisi: Schneider Electric.
- Suomen standardisoimisliitto SFS. (13. 8 2012). Pienjännitesähköasennukset. OSA 7-710: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Lääkintätilat. *Standardi*. Helsinki, Suomi: SESKO ry.
- Suomen standardisoimisliitto SFS Ry. (2012). 132 Suunnittelu. Teoksessa S. Ry, *SFS-Käsikirja 600-1*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS Ry. Haettu 15. 3 2017
- Suomen standardisoimisliitto SFS Ry, SESKO Ry. (2012). 132 Suunnittelu. Teoksessa S. Ry, *SFS-Käsikirja 600-1*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS Ry. Haettu 15. 3 2017
- Suomen standardisoimisliitto SFS Ry, SESKO Ry. (2012). *Pienjännitesähköasennukset*. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.
- Sähkötieto Ry. (2013). ST-käsikirja 31 Varavoimailaitokset. *ST-kortisto*. Espoo: Sähkötieto ry.
- Sähkötieto Ry. (2014). ST-52.16 Yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. *ST-kortisto*. Espoo: Sähkötieto Ry.
- Sähkötieto Ry. (2015). ST 13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. *ST-kortisto*. Espoo: Sähkötieto Ry.
- Sähkötieto Ry. (2016). ST-52.15 Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. *ST-kortisto*. Espoo: Sähkötieto Ry.
- Tiainen, E. (2015). Mitoitusarvojen selvittäminen. Teoksessa E. Tiainen, *Pienjännitesähkölaitteiston mitoittaminen*. Espoo: STUL ry.
- Tiainen, E. (2015). *Pienjännitesähkölaitteiston mitoittaminen*. Espoo: STUL ry.