

Juho Jaatinen

Kiinteistön loistehotasapaino

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan

tutkinto-ohjelma

Insinööriyö

Tekijä Otsikko	Juho Jaatinen Kiinteistön loistehotasapaino
Sivumäärä Aika	35 sivua 24.04.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Tekninen johtaja Pasi Poikonen Lehtori Vesa Sippola
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Granlund Oy:n toimeksiantona. Työssä tutkittiin kiinteistössä olevia loistehojen määriä esimerkkikohteen avulla ja perehdyttiin mahdollisiin loistehojen aiheuttajiin, joita kiinteistössä oli havaittu. Perehtymisen jälkeen käytiin mittaamassa loistehojen määriä eri kuormatyyppien mukaan. Työn tavoitteena oli ymmärtää erilaisten kuormatyyppien aiheuttamaa loistehoa, jotta sähkösuunnittelussa voitaisiin tulevaisuudessa ymmärtää paremmin loistehojen aiheuttajia ja huomioida nämä paremmin suunnittelutyössä.</p> <p>Kohteeseen perehtyessä tutustuttiin kiinteistöön tehtyyn tehokaskelmaan, nousujohtokäivion sekä käytiin paikan päällä tekemässä havaintoja mahdollisista kiinteistön loistehojen aiheuttajista. Havaintojen perusteella kiinteistöstä valittiin erilaisten kuormatyyppien mukaan keskuksia, joita lähdettiin mittaamaan kohteeseen opastajan avustuksella. Mittauksissa hyödynnettiin keskuksissa olevia energiamittareita, joista saatiin loistehojen määrät selville.</p> <p>Työssä todettiin, että kiinteistöissä esiintyvään loistehoon ja sen määrään vaikuttaa monet asiat. Mikäli kiinteistöissä halutaan tulevaisuudessa päästä loistehon kannalta tasapainoiseen tilaan, tulee jo suunnitteluvaiheessa ottaa huomioon siihen vaikuttavat tekijät. Tutkimuksessa havaittiin, että LVI-laitteet saattavat olla yksi mahdollinen kapasitiivisen loistehon aiheuttajista.</p>	
Avainsanat	Loisteho, sähkön laatu

Author Title	Juho Jaatinen The Balance of Buildings reactive power
Number of Pages Date	35 pages 24 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Pasi Poikonen, Technical Leader, Electrical Vesa Sippola, Senior Lecturer
<p>This study was commissioned by Granlund Oy. The aim was to examine the amount of a building's reactive power and reasons behind it. After this the measurements of reactive power were made in the building by using different types of electrical load types. The purpose was to understand the reactive power generated by different load types, so that in the future electrical designers could understand the causes of reactive power better.</p> <p>Before going to the building and making measurements, it was needed to get acquainted with the power calculations and the building's schematic drawings. Based on observations, different types of loads were selected from the building. After this the measurements of loads were started with guidance. The measurements utilized the energy meters in the switchboards that generate the amount of reactive power.</p> <p>It was discovered that many factors affects the amount of reactive power in the buildings. If the properties want to achieve balance in terms of reactive power, the factors affecting it have to be noticed in planning. Study shows, that hvac equipments might be one of the potential causes of capacitive reactive power.</p>	
Keywords	Reactive power, quality of electricity

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Vaihtosähkön tehot ja suureet	2
2.1	Pätöteho ja vaihe-erokulma	2
2.2	Näennäisteho	3
3	Loisteho	5
3.1	Loistehon haitat	6
3.2	Loistehon kompensointi	8
4	Yliaallot	11
4.1	Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot	11
4.2	Yliaaltojen aiheuttajia	12
4.3	Yliaaltojen haitat	12
4.4	Yliaaltojen suodattaminen	13
5	Kiinteistön loistehon tutkiminen	15
5.1	Teholaskenta	15
5.2	Kiinteistön nousujohtokaavio	17
5.3	Kiinteistön loistehon selvittely paikan päällä	19
5.4	Mittaukset kiinteistössä	23
6	Tutkimuksen analysointi	31
7	Yhteenveto	34
	Lähteet	35

1 Johdanto

Puhuttaessa sähkönlaadusta ja siihen vaikuttavista tekijöistä tulee väistämättä törmäämään loistehon ja yliaallon määritelmiin. Loistehot ja yliaallot ovat yksi merkittävimmistä häiriötekijöistä niin sähkönjakelussa kuin kiinteistöjen sähkölaitteissakin. Ne aiheuttavat ylimääräistä kuormaa sähkönjakeluverkkoon, aiheuttavat häiriöitä ja ongelmia sähkölaitteisiin sekä ovat yksi syyllinen kaapeleiden liialliseen lämpenemiseen. On kuitenkin huomioitava, että jotkut laitteet, kuten moottorit ja purkauslamput, tarvitsevat toimiakseen myös loistehoa. Tämän takia olisi tärkeää kiinteistöissä löytää tasapaino tehojen välille, jotta kaikki laitteet toimisivat oikein ja välttyttäisiin ylimääräisiltä häiriöiltä ja kuormilta.

Insinööriyön tavoitteena on tutkia esimerkkikohteena olevan kiinteistön erilaisia sähköisiä kuormia ja kohteessa olevia sähkökeskuksia. Näitä tutkimalla on tarkoitus löytää mahdollisia loistehojen aiheuttajia etenkin kapasitiivisella puolella ja tätä kautta saada ymmärrystä erilaisista kuormista ja niiden huomioon ottamisesta tulevaisuuden sähkösuunnittelussa. Työ on tehty toimeksiantona Granlund Oy:lle.

Vuonna 1960 perustettu Granlund Oy on talotekniikkasuunnittelun, energia-, kiinteistö ja ympäristöasioiden konsultoinnin sekä ohjelmistojen asiantuntijakonserni. Yrityksessä työskentelee noin 800 työntekijää ympäri Suomen, ja sen pääkonttori sijaitsee Helsingissä.

2 Vaihtosähkön tehot ja suureet

Ymmärtääkseen sähkönlaatua ja siihen vaikuttavia tekijöitä tulee ensimmäiseksi perehtyä sen taustalla olevaan teoriaan. Sähkönlaatuun vaikuttaa todella moni asia. Tässä luvussa käsitellään vaihtosähkön kahta eri tehoa eli pätötehoa ja näennäistehoa. Luvussa käydään läpi, mitä ne ovat ja miten ne vaikuttavat toisiinsa, sekä käydään läpi niihin liittyviä laskentatapoja. Perehtymällä pätö- ja näennäistehoon voidaan paremmin ymmärtää kolmatta ja sähkönlaadun kannalta erittäin merkittävää tehoa nimeltään loisteho sekä näiden tehojen välisiä suhteita toisiinsa.

2.1 Pätöteho ja vaihe-erokulma

Pätöteho (tunnus P , yksikkö W) on vaihtosähkön keskimääräistä tehoa, joka liittyy sähköverkon resistansseihin ja jota kuvataan työtä tekeväksi tehoksi. Se on siis se osa vaihtosähkötehosta, joka tulee sähkönkuluttajan hyödyksi. Pätöteho lasketaan kaavan 1 mukaan ja se tuotetaan sähköverkon ulkopuolella. Tämän jälkeen se muunnetaan sähköiseen muotoon, siirretään ja muunnetaan kulutuslaitteella työksi, esimerkiksi liikkeeksi, valoksi tai lämmöksi. Jotta pätötehoa voidaan tuottaa, vaatii se aina sähköverkon ulkoisen prosessin, joita voivat olla mm. höyryturpiini, akku tai tuulivoimala. [1, s. 1–3.]

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (1)$$

P on pätöteho

U on jännite

on virta

$\cos\varphi$ on vaihtosähkön tehokerroin.

Vaihe-eroa, jonka kuormitusimpedanssi on synnyttänyt jännitteen ja virran välille, kuvataan vaihe-erokulmalla φ . Se ilmaistaan yleensä tehokertoimen $\cos\varphi$ avulla, mikä tarkoittaa pätötehon ja näennäistehon välistä kulmaa. Tehokerroin ilmoittaa sen tehon suhteen näennäistehoon verrattuna, joka voidaan muuttaa esimerkiksi moottorista saatavaksi työksi. Tämä tarkoittaa, että mitä huonompi $\cos\varphi$ on, sitä suuremmiksi ja kal-

liimmiksi järjestelmässä olevat komponentit tulevat. Vaihe-erokulma on jännitteen ja virran osoittimien vaihekulmien erotus. [1, s. 1–3.]

2.2 Näennäisteho

Näennäisteho on se tehon muoto, joka pitää sisällään sekä pätötehon, että sähkölähteen ja kulutuskojeen välillä edestakaisin sykkivän tehon eli loistehon. Näennäistehon yksikkö on VA eli voltiampeeri ja sen tunnus on S. Sen yhtälö 2 voidaan kirjoittaa muotoon:

$$S=U \cdot I \quad (2)$$

Näennäisteho saadaan kertomalla jännitteen ja virran tehollisarvot keskenään.

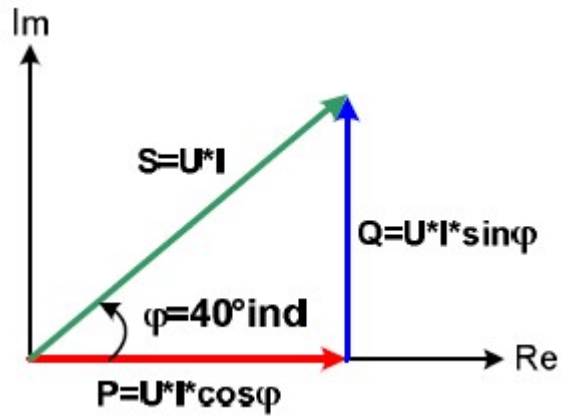
Näennäisteho voidaan esittää myös tehokolmion avulla (ks. kuva 1) ja näin ollen näennäisteho saa yhtälön 3:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

S on pätötehosta ja loistehosta koostuva näennäisteho

P on työtä tekevä teho eli pätöteho

Q on sähkölähteen ja kulutuskojeen välillä edestakaisin sykkivä teho eli loisteho. [2, s.207–212.]



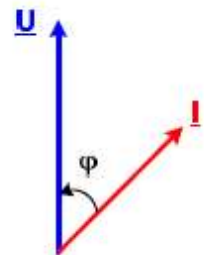
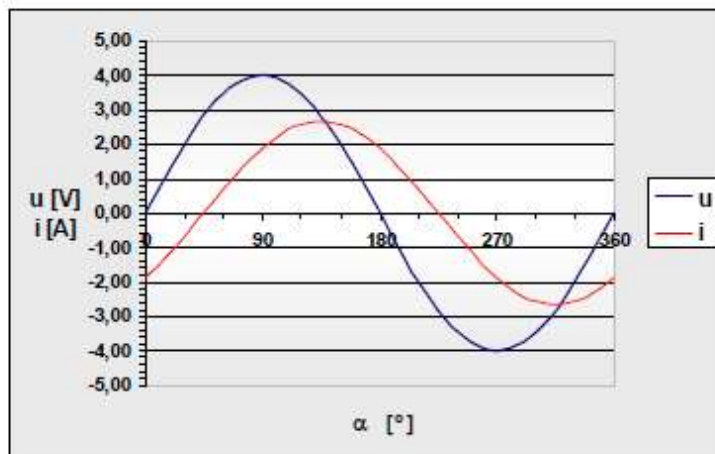
Kuva 1. Tehokolmio [1, s. 1].

Tehokolmiossa nähtävä ja jo aikaisemmassa yhtälössä esiintyvä loisteho on tärkeässä roolissa puhuttaessa kiinteistöissä tapahtuvista sähköverkon häiriöistä ja niiden ehkäisemisestä. Tämän ymmärtääkseen on perehdyttävä loistehoon tarkemmin, jotta pystytään selvittämään sen todelliset vaikutukset kiinteistöissä ja niiden sähköverkoissa.

3 Loisteho

Loisteho (tunnus Q , yksikkö Var) on sähkö- ja magneettikenttiin varautunutta energiaa, joka siirtyy edestakaisin verkon induktiivisten ja kapasitiivisten komponenttien värähtelypiireissä. Tämä tarkoittaa, että loisteho tuotetaan ja kulutetaan sähköverkon komponenteissa ilman ulkoisia prosesseja. Jotkin sähköiset kulutuslaitteet, kuten moottorit, purkauslamput ja muuntajat, tarvitsevat toimiakseen pätötehon ohella myös loistehoa. [1, s. 1; 4, s. 133.]

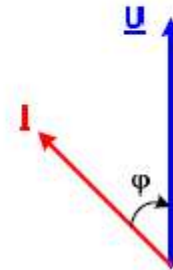
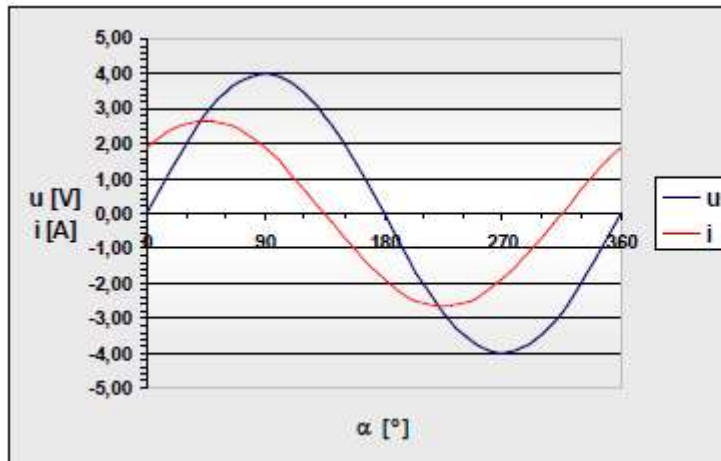
Loistehoa on kahdenlaista: induktiivista ja kapasitiivista loistehoa. Induktiivinen loisteho tarkoittaa sitä, että vaihe-erokulma on positiivinen eli loistehoa kulutetaan ja virta jää tällöin jännitteestä jälkeen (ks. kuva 2).



Kuva 2. Induktiivinen vaihekulma, jännite virran edellä [1, s. 3].

Induktiivista loistehoa on tyypillisesti sähkömagneettisissa laitteissa, kuten sähkömoottoreissa ja muuntajissa. Kyseiset laitteet sisältävät käämityksiä, joilla saadaan aikaan magneettikenttä eli magnetointi. Tällaisissa laitteissa induktiivista loistehoa tarvitaan magnetoinnin ylläpitämiseen.

Kapasitiivisella loisteholla tarkoitetaan, että vaihe-erokulma on negatiivisella puolella. Tämä johtaa siihen, että jännite jää virrasta jälkeen ja loistehoa tuotetaan verkkoon (ks. kuva 3).



Kuva 3. Kapasitiivinen vaihekulma, jännite virtaa jäljessä [1, s. 3].

Kapasitiivista loistehoa tuotetaan mm. kondensaattoriparistoilla ja tyhjä käyville johdoilla ja kaapeleilla. Kondensaattoriparistoihin ja tyhjäkäyvien johtojen sähkökenttiin varastoituu tällöin hetkellisesti energiaa. [3, s. 10; 5, s. 5.]

3.1 Loistehon haitat

Loistehoa käsiteltäessä täytyy ottaa huomioon sen aiheuttamat haitat niin jakeluverkossa kuin kiinteistöjen sisäisessäkin sähköverkossa. Loistehon haittoihin liittyvät olennaisesti sen aiheuttamat kustannukset, kasvavat kuormitukset ja häiriöt. Ylimääräistä kuormitusta ja häiriöitä esiintyy usein, jos loistehon määrä verkossa on suurta. Loisteho pienentää koko sähköverkon pätötehon siirtokykyä, sillä kuormitusvirran loiskomponentin kasvaessa vastaavasti pätötehon määrä verkossa pienenee. Myös sähköverkon jännitteen alenema kasvaa, mikäli loistehon aiheuttamat kuormitusvirrat pääsevät kasvamaan suuriksi. Ongelmia aiheutuu myös sähkönsiirtoon käytettävien kaapeleiden ja kiskostojen kanssa. Mikäli kuormitusvirrat pääsevät kasvamaan, aiheuttaa se ylimääräistä kaapeleiden lämpenemistä. Tämä johtaa turhiin energiahäviöihin kiinteistöissä, sillä johteissa syntyvät tehohäviöt noudattavat kaavaa 4:

$$P = I^2 \cdot R \quad (4)$$

P on työtä tekevä teho eli pätöteho

I on virta

R on vastus eli resistanssi [12, s. 17–20.]

Sähkönsiirron yhteydessä verkkoyhtiöt laskuttavat asiakkaitaan verkosta otetusta loistehosta sekä verkkoon syötetystä loistehosta. Laskutusperiaatteista yhtiöt saavat päättää itse. Loistehon ilmaisosuudet (x % laskutettavasta päätötehosta) sekä hinta/kvar vaihtelee eri sähköyhtiöiden välillä. Taulukosta 1 selviää muutamien verkkoyhtiöiden loistehomaksujen perusteita.

Taulukko 1. Loistehomaksujen perusteita 13.1.2017 [6].

Verkkoyhtiö	Ilmaisosuudet päätötehosta	Ilmaisosuudet päätötehosta	€ / kvar / kk Loisotto	€ / kvar / kk Loisanto
	Loisotto	Loisanto		
Helen Sähköverkko Oy	40 %	10 %	1,99	1,99
Caruna Espoo	20 %	20%	4,05	4,05
Caruna Oy	20 %	–	6,14	0,00
Vantaan Energia Sähköverkot	20 %	10 %	2,02	2,02
Elenia	16 %	–	4,77	0,00
Tampereen Sähkölaitos	20 %	–	1,25	0,00

Jakeluverkkoyhtiöille loistehonotto kantaverkosta ilmaisosuuden ylittävältä osuudelta aiheuttaa tarpeettomia kustannuksia. Tästä syystä loistehon hinnoittelun tavoitteena on vähentää loissähkön ottoa kantaverkosta ja kannustaa asiakkaita investoimaan loistehon kompensointilaitteisiin sen sijaan, että maksettaisiin loistehon käytöstä. Loistehon otto saattaa kasvattaa myös asiakkaan pääsulakkeen kokoa ja lisätä näin ollen liittymismaksua ja pääsulakkeesta riippuvaa perusmaksua. [6; 7, s. 20–21].

3.2 Loistehon kompensointi

Loistehon kompensointitarve tulee aina arvioida kompensoitavan kohteen mukaan. Oikein tehdyllä kompensoinnilla saadaan vähennettyä niin kiinteistöjen kustannuksia kuin häiriöitä sähköverkossa. Loistehon kompensointia suunniteltaessa voidaan se määrittellä joko laskennallisesti, taulukon avulla tai mittaamalla paikan päällä. Loistehon määrittelyyn laskennallisesti tarvitaan pätötehoa P , $\cos \varphi$:tä ja näennäistehoa S . Pätötehon ja $\cos \varphi$:n avulla saadaan kuormituksen tarvitsema näennäisteho S seuraavan tehokerroin yhtälön 5 mukaisesti:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (5)$$

Kun näennäisteho tiedetään, saadaan tehokolmion kaavaa 6 hyödyntämällä muodostettua kuormituksen tarvitsema loisteho:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (6)$$

Tästä lasketusta loistehosta Q vähennetään sähkönjakeluverkkoyhtiön ilmaisosuus (yhtiökohtainen), jonka jälkeen saadaan laskettua kompensoinnilla tuotettavan loistehon määrä. Kolmivaiheisten epätahtimoottoreiden tarvitsema loisteho lasketaan yksinkertaisella erotuslaskulla:

$$Q_m = (Q_1 - Q_2) \quad (7)$$

Q_m = Moottorin tarvitsema loisteho

$\tan \varphi_1$ = tehokulma ennen kompensointia

$\tan \varphi_2$ = tehokulma kompensoinnin jälkeen [8, s. 2.].

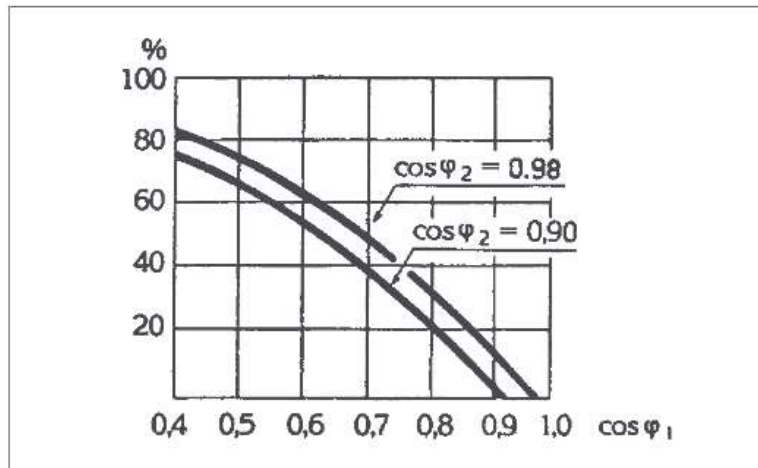
Loistehon kompensointitarve saadaan myös määritettyä taulukon 2 avulla. Taulukosta ilmenee $\cos \varphi_1$, joka on kuormituksen tehokerroin ennen kompensointia. Lisäksi taulukossa esiintyy $\cos \varphi_2$, joka on kuormituksen tehokerroin kompensoinnin jälkeen. Taulukon $\cos \varphi_1$:stä saadaan kerroin. Kun tuolla kertoimella kerrotaan kuormituksen pätöteho halutun $\cos \varphi_2$:n saavuttamiseksi, saadaan tulokseksi kompensoinnin tarve kVar:na. [8, s. 3.]

Taulukko 2. Kompensointitarpeen määrittäminen [8, s. 3].

$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$							
	1	0,99	0,98	0,97	0,95	0,90	0,85	0,80
0,50	1,73	1,59	1,53	1,48	1,40	1,25	1,11	0,98
0,53	1,60	1,46	1,40	1,35	1,27	1,12	0,98	0,85
0,55	1,52	1,38	1,32	1,27	1,19	1,03	0,90	0,77
0,58	1,40	1,26	1,20	1,15	1,08	0,92	0,78	0,65
0,60	1,33	1,19	1,13	1,08	1,00	0,85	0,71	0,58
0,63	1,23	1,09	1,03	0,98	0,90	0,75	0,61	0,48
0,65	1,17	1,03	0,97	0,92	0,84	0,68	0,55	0,42
0,68	1,08	0,94	0,88	0,83	0,75	0,59	0,46	0,33
0,70	1,02	0,88	0,82	0,77	0,69	0,54	0,40	0,27
0,73	0,94	0,79	0,73	0,69	0,61	0,45	0,32	0,19
0,75	0,88	0,74	0,68	0,63	0,55	0,40	0,26	0,13
0,78	0,80	0,66	0,60	0,55	0,47	0,32	0,18	0,05
0,80	0,75	0,61	0,55	0,50	0,42	0,27	0,13	
0,83	0,67	0,53	0,47	0,42	0,34	0,19	0,05	
0,85	0,62	0,48	0,42	0,37	0,29	0,14		
0,86	0,59	0,45	0,39	0,34	0,26	0,11		
0,87	0,57	0,42	0,36	0,32	0,24	0,08		
0,88	0,54	0,40	0,34	0,29	0,21	0,06		
0,89	0,51	0,37	0,31	0,26	0,18	0,03		
0,90	0,48	0,34	0,28	0,23	0,16			
0,91	0,46	0,31	0,25	0,20	0,13			
0,92	0,43	0,28	0,22	0,18	0,10			
0,93	0,40	0,25	0,19	0,14	0,07			
0,94	0,36	0,22	0,16	0,11	0,03			
0,95	0,33	0,19	0,13	0,08				
0,96	0,29	0,15	0,09	0,04				
0,97	0,25	0,11	0,05					
0,98	0,20	0,06						
0,99	0,14							

Kolmas tapa määrittellä loistehon kompensoinnin tarve on mittaaminen. Tätä tapaa käytetään yleensä jo olemassa oleviin kiinteistöihin. Mittauksessa määritellään ajanjakso, jolloin loistehon kulutus oletetaan suurimmaksi. Ennen mittaamista täytyy muistaa ottaa huomioon olemassa olevien laitteiden määrä ja kunto. Mittaukset suoritetaan yleensä sähkönlaadun analysointilaitteilla. Kyseisillä laitteilla on mahdollista tallentaa mittaustuloksia pidemmältä ajanjaksolta ja näin ollen saada tarkempaa kuvaa kuormitusten käyttäytymisestä. [8, s. 3.]

Lisäämällä tai parantamalla jo olemassa olevaa kompensointilaitteistoa saadaan pienennettyä kokonaisvirtaa sekä verkon pätötehoviivoja. Kokonaisvirran vaikutus häviöiden pienentymiseen on osoitettu kuvassa 4.



Kuva 4. Kokonaisvirran vaikutus häviöihin [8, s. 2].

Kompensoinnin avulla saavutettujen häviöiden pienenemisellä on moninkertaiset säästöt verrattuna kondensaattoreiden käytöstä aiheutuviin häviöihin. Kompensoinnilla säästetään myös monia muitakin etuja kiinteistöissä. Oikein tehdyllä kompensoinnilla on mm. jännitteen alenemaa pienentävä vaikutus. Tämä johtuu siitä, että jännitteen alenema on riippuvainen kuormituksen virrasta ja kompensoinnin avulla saadaan pienennettyä kuorman ottamaa loisvirtaa. Suurin hyöty tästä saadaan, kun johtimen poikkipinta-ala on yli 16 mm^2 ja siirtoetäisyydet ovat pitkiä. [8, s. 2–3.]

4 Yliaallot

Aikaisemmin käsitelty loisteho on merkittävä häiriöiden aiheuttaja kaikille sähköverkon käyttäjille, mutta se ei suinkaan ole ainut häiriöiden aiheuttaja. Tässä luvussa käsitellään toista merkittävää häiriöiden aiheuttajaa, joka aiheuttaa ongelmia kiinteistöille ja sähköisille laitteille. Tätä häiriön aiheuttajaa kutsutaan yliaalloiksi. Luvussa käydään läpi, mitä ne ovat ja mitkä niitä aiheuttavat. Ongelmien ehkäisemiseksi on myös tärkeää tietää, minkälaisia haittoja yliaallot aiheuttavat verkkoon ja kuinka niitä pystytään ehkäisemään.

4.1 Harmoniset ja epäharmoniset yliaallot

Vaihtojännitteiden ja -virtojen käyrämuodot ovat normaalitilanteissa sinimuotoisia. Verkossa olevat epälineaariset kuormat aiheuttavat yliaaltoja. Epälineaariset kuormat synnyttävät sinikäyrästä poikkeavia virtoja, jotka aiheuttavat häviöitä ja synnyttävät säröytynyttä jännitettä. Tämä säröytynyt aalto muodostuu, kun perustaajuiseen siniaaltoon summataan eri taajuiset harmoniset yliaallot. Nämä eri taajuudet ovat yleensä siniaalton monikertoja. Yliaaltojen järjestysluku kertoo, mikä monikerta on kyseessä. Esimerkiksi 50 Hz:n järjestelmässä 3. yliaalto on taajuudella 150 Hz. Epälineaariset kuormat, joiden ottama virta ei ole suoraan verrannollinen laitteen käyttöjännitteeseen aiheuttaa harmonisia yliaaltoja. Harmoniset yliaallot voivat voimistua sarja- tai rinnakkaisresonanssi-tiloissa ja aiheuttaa näin monia ongelmia sähköverkkoon. [10, s. 10–11.]

Yliaalloista harmoniset yliaallot ovat ehdottomasti yleisimpiä. Yliaallot voivat kuitenkin olla myös epäharmonisia yliaaltoja. Ne syntyvät erittäin epälineaarisisissa laitteissa, joiden ottama virta vaihtelee jännitejaksoista riippumattomasti. Toisin kuin harmoniset yliaallot, epäharmoniset yliaallot eivät ole perustaajuuden kerrannaisia. Epäharmonisten yliaaltojen summautuessa verkkotaajuuden päälle ne aiheuttavat sinimuotoon joko yli tai alle 50 Hz:n jaksollista vaihtelua. Epäharmonisia yliaaltoja esiintyy paljon vähemmän kuin harmonisia yliaaltoja ja niiden aiheuttamat ongelmat jäävät yleensä hyvin pieniksi. Tästä syystä epäharmonisille yliaalloille ei ole vielä määritelty raja-arvoja kansainvälisiin standardeihin. [10, s. 10–11; 11, s.16.]

4.2 Yliaaltojen aiheuttajia

Kiinteistöissä on monia laitteita, jotka aiheuttavat sähköverkkoon yliaaltoja. Näitä ovat mm. tasa- ja vaihtosuuntaajakäytöt, ns. energiasäästöloistelamput, erilaiset puolijohdekytkimet, muuntajat, purkauslamput sekä kiinteistöjen elektroniikka (televisiot ja tietokoneet). UPS-laitteistot voivat myös aiheuttaa hankaluuksia sähköverkkoon, vaikka niiden pääasiallinen tarkoitus onkin sähkön laadun parantaminen. Ongelmia aiheuttavat erityisesti ne UPS-laitteet, joita ei huolleta säännöllisesti ja joiden akut pääsevät huoltamattomuuden takia kuivumaan. Jakeluverkkoon ja sähkön laatuun aiheutuu ongelmia, jos kiinteistö pitää sisällään suuritehoisia akkulateureita tai muita tasasuuntaajia, jotka välillä ovat tyhjäkäynnillä ja hetken kuluttua taas täydellä teholla. [4, s.140; 7, s. 30.]

4.3 Yliaaltojen haitat

Yliaaltojen haitoissa on havaittavissa samankaltaisia ongelmia kuin loistehon haitoissakin. Yliaallot kasvattavat häviöitä sähköverkossa ja sähkökäyttäjien laitteissa sekä aiheuttavat kuormitettavuuden alentumista erilaisissa laitteissa. Mittareiden virhenäytämät sekä suojarleiden ja automaatiolaitteiden toimintahäiriöt ja virhetoiminnot voivat olla seurausta yliaaltojen aiheuttamista häiriöistä. Eräitä merkittäviä yliaaltojen aiheuttamia haittoja ovat suuritaajuiset häiriöt (ääni-, radio- ja tv-taajuudet), jotka leviävät säteilemällä ja ovat vaikeita selvittää. Näitä häiriöitä esiintyy mm. liike-, teatteri- ja sairaalakiinteistöissä. [7, s. 30–32.]

Magneettikentät joita yliaaltovirrat synnyttävät, voivat joskus aiheuttaa monitorien ja televisioiden välkyntää. Erityisesti tällaista haittaa aiheuttaa 3.yliaalto, sillä se summautuu vaihejohtimista nollajohtimiin ja leviää sitä kautta mahdollisesti rakennusten runkorakenteisiin. Ongelma aiheutuu usein perustaajuisen virran ja kolmannen yliaaltovirran yhteisvaikutuksesta. [7, s. 30–32.]

Muita yliaaltojen aiheuttamia haittoja ovat mm. haitat energianmittauksessa ja nollajohtimen kuormittuminen. Energianmittauksen laskutusmittauksessa aiheutuu muutoksia pätö-, loisteho- ja energialukemissa. Näihin muutoksiin vaikuttaa myös yliaaltojen vaihekulma perusaaltoon nähden. Tämä haitta ei kuitenkaan ole kovin merkittävä, sillä

sen todelliset vaikutukset jäävät melko pieniksi. Sen sijaan nollajohtimen kuormittuminen saattaa aiheuttaa merkittäviäkin ongelmia kiinteistöille. [7, s. 30–32.]

Tiedetään, että perustaajuisella kolmivaihekuormalla nollajohdin ei kuormitu lainkaan ja epäsymmetrisellä korkeintaan saman verran kuin eniten kuormitettu vaihejohdin. Nollajohtimen kuormittumista aiheuttaa yleensä kolmella jaolliset yliaallot, jotka voivat saada aikaan tehollis-arvoltaan vaihejohtimien virtoja suuremman virran nollajohtimeen. Tämä johtuu siitä, että vaihejohtimien virrat summautuvat nollajohtimeen. On olemassa esimerkkitapauksia, joissa kiinteistön käyttötilanteissa on mitattu jopa 2–3-kertaista virtaa nollajohtimessa vaihevirtaan nähden. Koska nollajohdinta ei ole suojattu sulakkeella ja se voi olla pahimmassa tapauksessa puolet vaihejohtimen poikkipinta-alaa pienempi. Tämä voi aiheuttaa tulipaloriskin kiinteistöissä. Näiden häiriöiden ja häviöiden välttämiseksi onkin syytä loistehon kompensoinnin yhteydessä myös keskittyä yliaaltojen suodattamiseen. [7, s. 30–32.]

4.4 Yliaaltojen suodattaminen

Yliaaltopitoisen verkon kompensointi valitaan yleensä seuraavista vaihtoehdoista: kondensaattoriparisto, estokelaparisto, yliaaltosuodatin tai kolmannen yliaallon suodatus. Laitetoimittaja voi suositella oikeanlaista kompensointilaitetta kuhunkin kohteeseen tehdyn yliaaltotarkastelun perusteella. Yhtenä valinta perusteena voidaan käyttää yliaaltoja tuottavan kuorman osuutta kokonaiskuormasta. Mikäli kyseisen yliaaltoja tuottavan kuorman osuus on alle 20 % kokonaiskuormasta, voidaan käyttää kondensaattoriparistoa. Jos kyseinen suhde on yli 20 %, kompensointi toteutetaan estokelaparistolla tai yliaaltosuodattimella, jotta saadaan poistettua yliaaltoja verkosta. [4, s. 141–147; 7, s. 48–58.]

Haitallisten resonanssien syntymistä kondensaattorin kapasitanssin ja syöttävän verkon induktanssin välille voidaan välttää käyttämällä estokelalla varustettua kondensaattoriparistoa. Verkon induktanssit ja kompensointikondensaattorin kapasitanssi voivat muodostaa resonanssipiirin, jossa virkistystaajuuden osuessa yliaaltotaajuuden kohdalle virrat voivat vahvistua jopa 20-kertaisiksi. Estokelaparistojen yliaaltojen suodattava vaikutus perustuu estokelan viritystaajuuden valintaan. Yleensä suodattava vaikutus on 10–30 % viidennestä yliaaltovirran määrästä, silloin kun viritystaajuus on 189 Hz. Täy-

tyy kuitenkin muistaa, että estokelapariston viritystaajuus tulee valita sähköverkossa ilmenevien merkittävimpien yliaaltojen mukaan. [4, s. 141–147; 7, s. 48–58.]

Kuten jo aiemmin mainittua estokelaparistoa niin myös yliaaltosuodattimiakin käytetään silloin, kun sähköverkon yliaaltopitoisuus on suuri. Se koostuu kondensaattoriyksiköistä ja niiden kanssa sarjaan kytketyistä kuristimesta. Jotta saavutetaan haluttu kompensointiaste, tulee kondensaattoreiden perustaajuudella tuottama loisteho mitoittaa oikein. Kuristimen valinnassa tulee ottaa huomioon se, että kuristimen induktanssi muodostaa kondensaattoreiden kanssa yliaaltotaajuudella pieniohmisen sarjaresonanssipiirin, jolloin suurin osa yliaalloista menee suodattimeen. Yliaaltosuodattimia hyödynnetään pien- ja keskijänniteverkoissa yleensä keskitettynä kompensointina. [4, s. 141–147; 7, s. 48–58.]

Yliaaltojen suodattamisessa tulee ottaa huomioon kolmas yliaalto, joka poikkeaa muista yliaalloista, sillä se ei kumoudu 3-vaihejärjestelmän keskipisteessä. Toisin kuin muut eri vaiheissa olevat kolmannen yliaallon virrat summautuvat nollassa johtimeen ja tämä aiheuttaa lisähäviöitä ja ylikuumenemista johtoihin. Tyypillisiä kolmannen yliaallon aiheuttajia ovat tietokoneet ja purkauslamppuvalaisimet. Kolmannen yliaallon suodattamiseen tuleekin käyttää sitä tarkoitusta varten tehtyä THF-suodatinta. THF-suodattimen paras asennuspaikka on muuntajan ja keskuksen nollassa liitinten väliin. Tällöin täytyy kuitenkin huomioida, että muuntajan puolella ei ole käyttömaadoitusta, jota pitkin kolmas yliaalto pääsee kiertämään. THF-suodattimen toiminta perustuu rinnakkaisresonanssipiiriin, joka muuttaa kolmannen yliaaltovirran jännitteeksi muodostamalla suuren impedanssin taajuudella 150 Hz. [4, s. 141–147; 7, s. 48–58.]

Kuten edellä nähtiin, niin yliaaltojen suodattamiseen käytetään monia keinoja, joista tärkeimmät ovat estokelaparistot, ja yliaaltosuodattimet. Monia muitakin keinoja suodattamiseen löytyy, joista uusin tapa suodattaa yliaaltoja on aktiivisuodattimet. Nämä aktiivisuodattimet saavat perinteisiin suodattimiin verrattuna paremman suodatustuloksen ja mahtuvat samalla pienempään tilaan. Verkon kannalta on kuitenkin todella tärkeää, että näitä haitallisia yliaaltoja saadaan suodatettua ja siihen on aina kiinteistöittäin katsottava paras mahdollinen menetelmä. [4, s. 141–147; 7, s. 48–58.]

5 Kiinteistön loistehon tutkiminen

Opinnäytetyössä tutkitaan esimerkkikohteena olevan sairaalakiinteistön loistehojen ja yliaaltojen esiintymistä sekä etsitään ratkaisuja tehojen tasapainon löytämiseksi jo suunnitteluvaiheessa. Työn idea lähti liikkeelle toimeksiantajayrityksen tarpeesta löytää syyt sille, miksi projektikohteina olevissa kiinteistöissä esiintyy loistehoa niin kapasitiivisella kuin induktiivisellakin puolella. Projektikohteeksi valikoitui sairaalakiinteistö, jossa loistehoa on esiintynyt kapasitiivisella puolella eli loistehoa on tuotettu verkkoon enemmän kuin pitäisi. Samassa kohteessa on myös havaittu yliaaltoja, joita sittemmin on suodatettu kohteeseen asennetulla yliaaltosuodattimella.

Tutkimuksessa tutustutaan ensimmäiseksi Granlundin tehokaskennan perusteisiin esimerkkikiinteistön tehokaskentaa hyödyntäen. Tämän jälkeen käydään kiinteistössä esiintyvät sähkölaitteet läpi ja tutustutaan, mitkä tekijät kiinteistössä aiheuttavat häiriöitä ja ylimääräistä loistehoa. Kun kiinteistöstä on omatoimisesti selvitetty sähköverkon rakenne sekä sähköön vaikuttavat tekijät, käydään paikan päällä käytönjohtajan opastuksella selvittämässä loistehojen syitä. Asioiden selvittämiseksi suoritetaan paikan päällä myös mittauksia, erilaisia kuormia syöttävien keskusten osalta. Lopuksi saaduista tiedoista tehdään päätelmiä ja mietitään ratkaisuja, miten sähkösuunnittelussa tulisi ylimääräinen loisteho huomioida.

5.1 Tehokaskenta

Kohteeseen perehtyminen aloitettiin tutustumalla Granlundilla käytössä olevaan tehokaskentaan opastuksen avustuksella. Opastuksessa hyödynnettiin kohteeksi valitulle sairaalakiinteistölle tehtyä tehokaskentaesimerkkiä. Tehokaskentaa läpi käydessä huomattiin, kuinka kiinteistöille tehtävä tehokaskenta on tärkeässä osassa projekteissa. Laskennan avulla saadaan määritettyä, että käyttöön tulevat keskukset, kaapelit, laitteet jne. ovat oikein mitoitettuja ja täyttävät vaadittavat turvallisuusmääräykset. Ennen kuin tehokaskentaa lähdetään tekemään, tulee projektipäällikön tai vastaavan olla määrittänyt kohteena olevalle kiinteistölle laskentaan vaadittavia asioita. Projektipäällikkö hoitaa arvioinnit kiinteistölle vaadittavista tehoista sekä määrittää kohteeseen tulevien muuntajien koot ja pääkeskuksen koon. Kiinteistöistä laaditaan myös nousujohtokaa-
vio, mistä nähdään, mikä keskus syöttää mitäkin keskusta ja kuinka isoja kaapeleita

keskusten välille on ajateltu. Näitä tietoja hyödyntämällä saadaan tarvittavat tiedot syötettyä teholaskentaan.

Kysein kiinteistö on jaettu sähkökuormien osalta kolmeen osaan: eteläiseen siipeen, keskiosaan ja pohjoiseen siipeen. Kiinteistölle on määritetty erikokoisia muuntajia 800 kVA:sta 1250 kVA:han. Tämän lisäksi erikokoisia pää- ja nousukeskuksia on monia. Pistorasiakuormissa on hyödynnetty tasopiirustuksessa olevia pistorasioita ja arvioitu niiden aiheuttamia kuormia. Pistorasioissa täytyy ottaa kuitenkin huomioon se, että ne ovat täysin riippuvaisia siitä, mitä niiden perään kytketään. Lisäksi laskentaan on otettu huomioon kiinteät sairaalalaitteet ja keittölaitteet, LVI-laitteet sekä muita isoja kuormia esim. hissit. Kiinteistölle on myös määritetty erilaisia tasoituskertoimia. Yhteiskäyttökeroin määräytyy kiinteistölle arvioidun samanaikaisen tehonkulutuksen mukaan. Ajatukseen siinä on se, että kaikkia keskuksia ei kuormiteta samaan aikaan täydellä teholla vaan arvioidaan niiden yhteinen kuormitus ”pahimmassa” tapauksessa. Teholaskennassa voidaan käyttää hyödyksi myös muita tasoituskertoimia, kuten kuormitusryhmien tasoituksen arvioimista kuukausitasolla.

Laskennan valmistuttua selviää, ovatko valitut kaapelit olleet oikean kokoisiksi määritettyjä ja täytyykö selektiivisyys sulakkeiden osalta. Laskennan avulla nähdään myös jännitteenaleneman taso kyseisille kiinteistöille. Kokonaisaleneman on katsottu olevan sallituissa rajoissa silloin, kun jännitteenaleneman määrä on 4 %. Tämä prosenttimäärä voidaan jakaa kahteen osioon, eli pääkeskukselta ryhmäkeskukselle menevän jännitteenaleneman määrään, joka saa olla enintään 2 %, ja ryhmäkeskukselta sähköpisteelle menevään osioon, joka saa olla enintään 2 %. Poikkeuksia jännitteenalenemaan sallitaan, mikäli sähköryhmät eivät ole hirvittävän pitkiä, jolloin jännitteenaleneman vaikutus jää vähäiseksi. Mikäli jännitteenalenema laskennassa ylittyy ja sähköryhmien pituudet alkavat kasvaa, tulee alueelle jossa jännitteenalenemat ovat ylittyneet pohtia isompia kaapeleita tai kuormien pilkkomista pienempiin osiin. Toisin sanoen alueelle tulee suunnitella enemmän sähkökeskuksia.

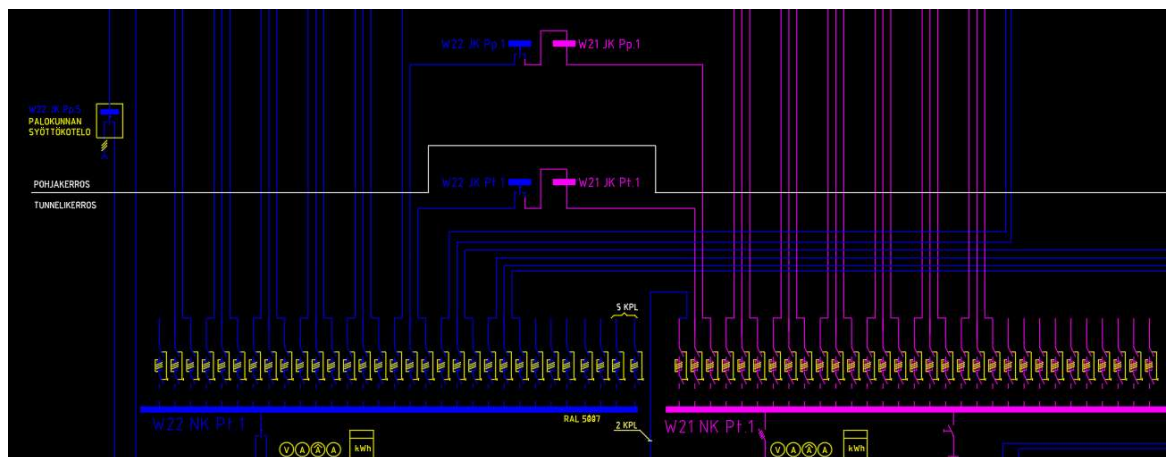
Teholaskenta ei kuitenkaan aina ole absoluuttinen totuus. Teholaskentaan ja sen tuloksiin liittyy todella paljon sellaista, mikä saattaa vääristää tuloksia ja sen takia ne usein ylimitoitetaan virheiden minimoimiseksi. Isoimman osan vääristymistä aiheuttaa, kun tasoitetaan kuormia nousukeskusten ja pääkeskusten osalta. Kuten edellä mainittiin, tasoituskertoimet perustuvat yleensä arviointeihin ja kokemukseen, jonka takia ne saattavat aiheuttaa hankaluuksia ja paljon miettimistä laskentaa tekeville. LVI-laitteiden

kanssa tulee myös olla tarkkana, sillä ne riippuvat paljolti siitä, ohjataan niitä taajuusmuuttajilla vai ei. Jos tätä asiaa ei mitoittaessa oteta huomioon, saattaa tulos muuttua epäedulliseksi laskennassa. Laskennan kannalta huomiota herättävää on myös kuormien tehokertoimien eli $\cos \varphi$ -arvo. Nämäkin kertoimet perustuvat hyvin usein arviointeihin ja kuormien tehokertoimien arvoja muuttamalla voidaan tulokseksi saada hyvinkin erilaisia lukemia.

5.2 Kiinteistön nousujohtokaavio

Teholaskentaan ja sen laskentatapoihin sekä kiinteistölle määritellyn tehokertoimen tutustumisen jälkeen sovittiin käynnistä paikan päällä kohteessa, jotta päästäisiin selvittämään todellista sähkön laatua kohteeksi valitulle kiinteistölle. Ennen paikalle pääsyä oli kuitenkin perehdyttävä kiinteistölle tehtyyn nousujohtokaavioon, jotta paikan päällä käsiteltävät asiat olisivat mahdollisimman selkeitä ja ymmärrystä kiinteistöstä tulisi jo etukäteen.

Nousujohtokaavion merkitys kiinteistön sähköistyksen ymmärtämisen kannalta on merkittävä. Siitä selviävät kiinteistössä käytössä olevat muuntajat, pää- ja nousukeskukset sekä niiden välillä menevät kaapelit ja niiden koot. Kuvasta 5 on nähtävissä osa kiinteistölle tehdystä nousujohtokaaviosta eteläisen siiven osalta.



Kuva 5. Kiinteistön nousujohtokaavio.

Kuvasta nähdään, että kyseisellä osiolla sijaitsee kaksi nousukeskusta tunnelikerroksessa (W22 NK Pt.1 ja W21 NK Pt.1). W21 NK Pt.1 on normaali-jakeluun tarkoitettu keskus, joka syöttää mm. kuvassa nähtäviä jakokeskuksia W21 JK Pt.1 sekä W21 JK Pp.1. Toinen nousukeskus (W22 NK Pt.1) on varavoimajakelua varten tarkoitettu. Se syöttää samoja keskuksia kuin W21 NK Pt.1, mutta se on tarkoitettu käytettäväksi nimensä mukaisesti varavoimaa syöttäväksi keskuksiksi eli silloin, kun sähkökatko mahdollisesti katkaisee sähköt normaali-jakelun osalta. Tämä on erityisen tärkeää etenkin sairaalakiinteistöille, sillä kiinteistöissä, joissa on ihmisen hengestä kysymys, ei saa missään tilanteessa henki vaarantua sen takia, että sähköt eivät toimi. Tutkittavassa kiinteistössä tämä ajatusmalli toteutuu hyvin monen keskuksen osalta. Kiinteistön muut osat on tehty samaa periaatetta noudattaen. Edellä mainitun lisäksi kiinteistöstä löytyy moneen eri tapaan toteutettuja sähkötekniisiä ratkaisuja, jotka ovat tarpeen näin isolle kiinteistölle. Osa laitteista on lääkintäsuojaerotusmuuntajien takana ja osa keskuksista on toteutettu mm. UPS-jakelulla. On tärkeää, että nousujohtokaaviosta käyvät nämä asiat ilmi, jotta tiedetään, mitkä asiat vaikuttavat mihinkin osaan kiinteistöä.

Nousujohtokaaviota tarkemmin tutkittaessa huomio kiinnittyy kaapeleiden pitkiin välimatkoihin, etenkin varasyöttöjen osalta. Teoriaan pohjautuen tiedetään, että tyhjä käyvät kaapelit ovat yksi syy kapasitiiviseen loistehoon. Mikäli välimatkat varasyöttöjen osalta ovat pitkiä, on niihin syytä kiinnittää tarkempaa huomiota. Nousujohtokaaviosta käy ilmi, että monet nousukeskuksista, jotka sijaitsevat ylimmässä kerroksessa saavat varasyöttönsä tunnelikerroksessa olevista keskuksista. Näihin ylimmän kerroksen keskuksiin lukeutuvat osa hissien nousukeskuksista kuin osa LVI-nousukeskuksistakin. Kaapelin välimatkat tulevat hyvin pitkiksi varavoimajakelun osalta, sillä ylin kerros sijaitsee 16. kerroksessa. Näin ollen varavoimajakelun kaapelipituudet saattavat hyvinkin kasvaa jopa 100 metriin. Kyseessä ei myöskään ole mitkään pienet kaapelit, koska esimerkiksi keskusta W22 NK P16.1.LVI syöttää FLAMEREX-FRHF 4x185+95 varavoiman osalta. Nousujohtokaavion tutkimisen perusteella nämä kaapelit nousevat suurimmiksi kysymyksen aiheiksi loistehon osalta. Pelkästään nousujohtokaaviota tutkimalla ei voi päätellä kiinteistön sähkön laadusta mitään, vaan asiaa tulee tutkia tarkemmin paikan päällä, jolloin saadaan parempi käsitys sekä kiinteistöstä että sähkön laadusta.

5.3 Kiinteistön loistehon selvittely paikan päällä

Kiinteistössä käynti sovittiin yhdessä paikan käytönjohtajan kanssa. Käynnin ajankohdaksi valikoitui aamupäivä, mikä mahdollisti sen, että kiinteistöä saatiin tutkia rauhassa ilman ylimääräisiä keskeytyksiä ja häiriötekijöitä. Oppaana vierailulla toimi kyseisen kiinteistön käytönjohtaja, jolla on paras mahdollinen tieto kiinteistön sähkönlaadusta.

Tutkiminen aloitettiin tunnelikerroksesta, jossa yksi pääkeskustiloista sijaitsi. Kyseinen tila valikoitui sen takia, että sinne oli vasta asennettu uudet yliaallon aktiivisuodattimet. Uusien aktiivisuodattimien hankinta johtui siitä, että jo asennetuissa vanhoissa kompensoinneissa tuli hälytys ylikompensoinnista ja asiaa tarkasteltuna huomattiin, että kyseisissä kompensoinneissa ei ollut yhtään estokelaparistoa mukana. Tämä aiheutti sen, että jänniteharmonisista 9. ja 15. oli todettu liian suuriksi, joten niitä ja loistehoa kompensoimaan sekä kuorman epäsymmetriaa balansoimaan hommattiin kaksi kappaletta aktiivisuodatinlaitteita. Kuvassa 6 on nähtävissä paikan päältä otettu kuva yhdestä aktiivisuodatinlaitteesta.



Kuva 6. Aktiivisuodatin B.

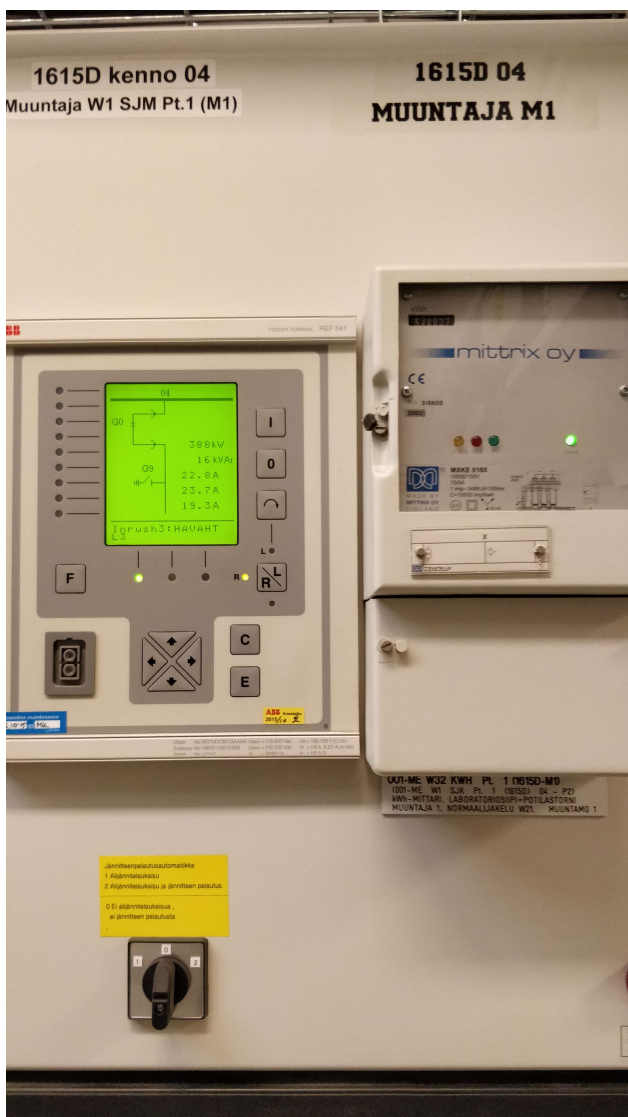
Kuvan 6 aktiivisuodatin sisältää 200 A aktiivisuodatinkapasiteettia kompensoimaan yhtä lähtöä. Kyseinen suodatinlaite sisältää siis kaksi kappaletta 100 A:n suodatinta ja niiden valinta perustuu tehtyihin mittauksiin sähköverkosta. Kuvasta 7 nähdään laitteen sisältämät 100 A:n suodattimet.



Kuva 7. Kaksi kappaletta 100 A:n suodatinta.

Toinen valituista suodattimista on täysin identtinen aktiivisuodattimen B kanssa. Erona niissä on vain se, että aktiivisuodatin A sisältää vain yhden 100 A:n suodattimen. Tämä johtuu siitä, että kyseistä lähtöä suodattamaan tarvitaan vähemmän kapasiteettia, mitä aktiivisuodatin B:n lähtöä. Aktiivisuodattimesta saatujen tietojen perusteella ja kiinteistön sähköverkkoon perehtymällä tiedettiin, että kiinteistössä esiintyy yliaaltoja ja kapasitiivista loistehoa. Tämä ei kuitenkaan selitä tärkeintä kysymystä eli mistä loistehot ja yliaallot aiheutuvat. Asian selvittämiseksi oli tarpeen jatkaa kierrosta eteenpäin ja tutkia muita vaihtoehtoja ja syitä kiinteistön tuottamalle loisteholle ja yliaalloille.

Kierrosta jatkettiin vielä hetken aikaa tunnelikerroksessa, missä katsottiin eri katkaisijoiden antamaa tietoa loistehoista. Kuvasta 8 nähdään muuntajan M1 katkaisijasta saamia tietoja.

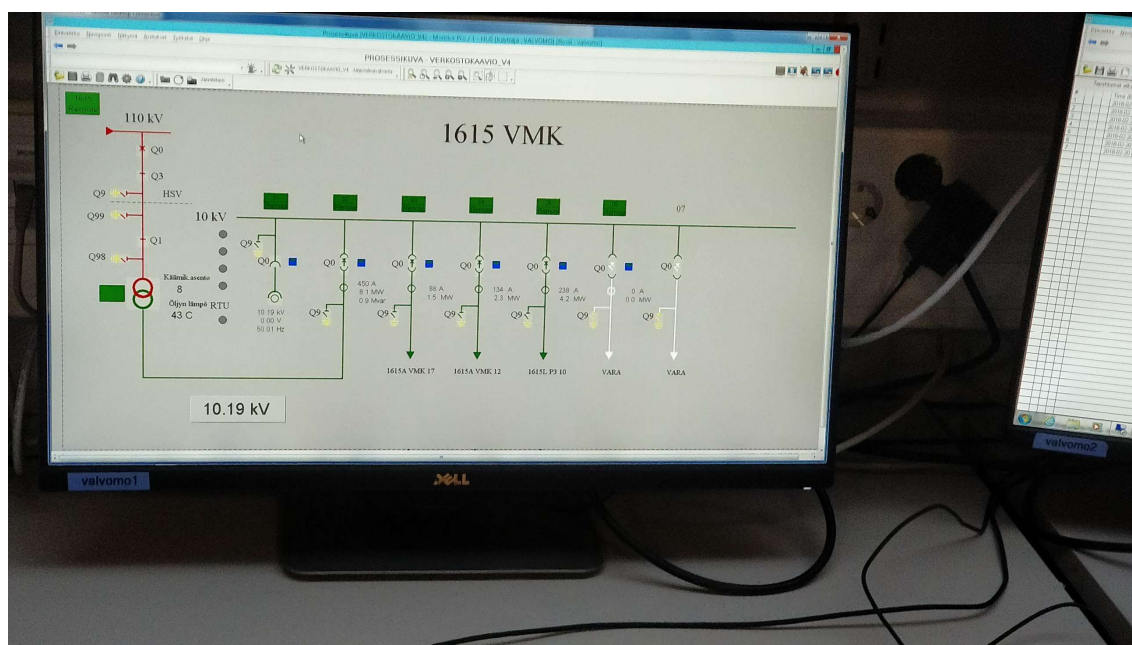


Kuva 8. Muuntajan M1 mittaukset.

Kyseisessä keskustilassa on vastaavanlaisia katkaisijasta saatavia mittaustuloksia muutamia kappaleita. Kiinteistössä vieraillessa nämä näyttivät kuitenkin loistehon osalta toimivan normaalisti, eikä merkittäviä häiriötekijöitä havaittu. Katkaisijoista saatava tieto oli joka tapauksessa hyödyllistä, sillä tällä tavoin saatiin ongelmakohtia rajattua ja pystyttiin keskittämään mielenkiintoa muihin kiinteistössä oleviin tiloihin. Kiinteistökierto jatkui tunnelikerroksesta ylämpään kerrokseen, jossa ajateltiin käydä selvittämässä varasyöttöyhteyksiä mm. hissikeskusten osalta. Näihin ei kuitenkaan täyttä varmuutta

pystytty sanomaan, sillä hissitiloihin pääsy olisi vaatinut avaimen, jota ei ollut mahdollista sillä hetkellä saada. Tästä syystä kierroksen loppu päätettiin keskittää valvomotiilaan, josta saataisiin tarkkaa tietoa kiinteistön eri osien sähkönlaadusta.

Kiinteistön valvomotiila on sähköverkon ja sen toiminnan kannalta erittäin tärkeässä asemassa. Valvomosta voidaan useimmissa tapauksissa saada päivittyvää tietoa sähköverkosta, sen toiminnasta ja mahdollisista häiriöistä. Esimerkkikohteen valvomotiilasta löytyy MicroSCADA-käytönvalvontajärjestelmä. Kyseisessä järjestelmässä jokainen järjestelmään liitettävä toimilaite on yksilöity ja niistä tuleva tieto saadaan tiedonsiirtoverkkoa hyödyntämällä siirrettyä valvomon tietokoneelle. Kuvasta 9 on nähtävissä osa kiinteistön verkostokaaviosta MicroSCADA-järjestelmässä.



Kuva 9. MicroSCADA verkostokaavio.

Järjestelmästä paljastui todella hyödylliseksi menetelmäksi tutkimuksien kannalta. Tämä selittyy sillä, että järjestelmästä näki suoraan loistehot ja niiden "suunnan" sähköverkossa. Tämän avulla päästiin tekemään analyysejä ja pohdintoja loistehoon vaikuttavista tekijöistä. Esimerkkikohteenä olevalle kiinteistölle on tulossa uusi laajennus osa, joka tällä hetkellä on vielä rakennustyömaa-vaiheessa. Tämän laajennusosan tietoja tarkasteltaessa havaittiin, että kyseinen kiinteistön osa itseasiassa tuottaa loistehoa verkkoon, mikä teoriaan pohjautuen on harvinaisempaa kuin sen ottaminen verkosta. Kiinteistön muissakin osissa oli havaittavissa loistehon tuottoa verkkoon, jota haluttiin

lähteä tutkimaan lisää. Jotta tutkimisesta saataisiin hyötyä irti, päädyttiin ratkaisuun, jossa loistehoa lähdetään mittaamaan kiinteistön eri osista.

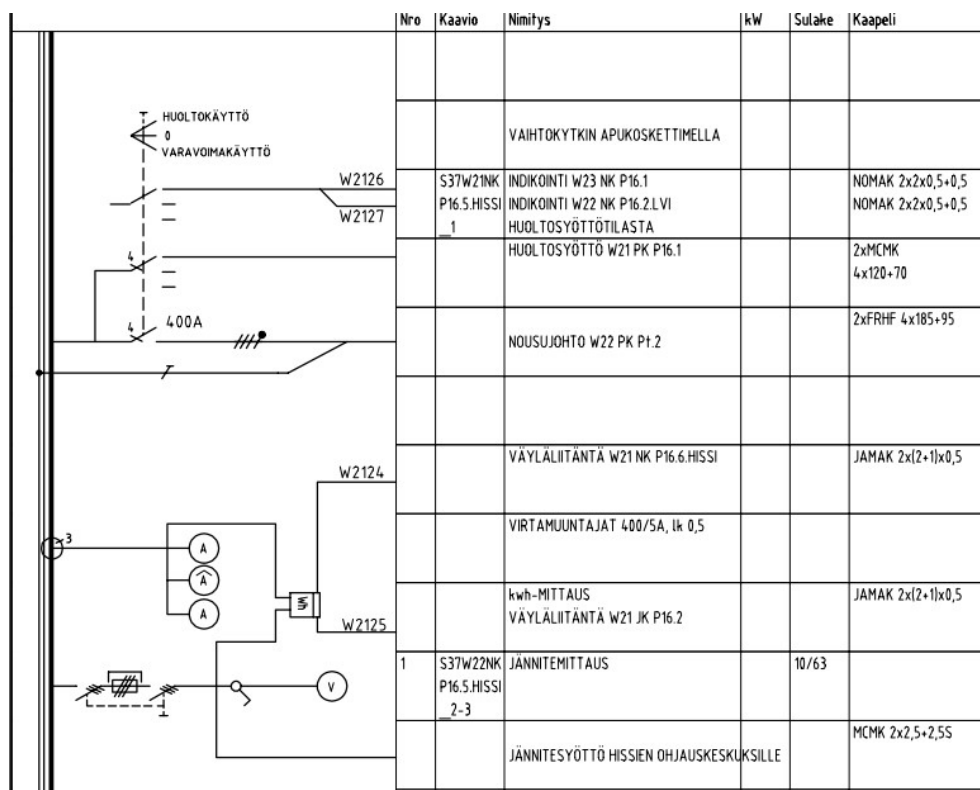
5.4 Mittaukset kiinteistössä

Mittausten tarkoituksena on tutkia kiinteistössä olevien keskusten erilaisia kuormia ja pohtia näiden vaikutusta loistehoon. Päämääränä on saada selville, onko kuormien loistehot kapasitiivista vai induktiivista loistehoa ja näiden perusteella yrittää löytää ratkaisuja, joita voitaisiin myöhemmin huomioida suunnittelutyössä. Mittaukset saattavat myös hyödyttää kiinteistöä, sillä tällä hetkellä aina kun kiinteistössä ilmenee kapasitiivista loistehoa verkossa, verkkoyhtiö lähettää siitä laskun kiinteistölle.

Mittausten valmistelu aloitettiin tutkimalla jo hyödylliseksi koettua nousujohtokaaviota. Nousujohtokaaviosta lähdettiin ensisijaisesti poimimaan sellaisia keskuksia, joissa energiamittarit ovat jo valmiina keskuksissa. Tämä sen takia, että näistä mittareista saataisiin suoraan loistehojen arvoja kirjattua ylös. Toinen syy on se, että kiinteistössä on hankalaa järjestää isoa mittausta sen toiminnan takia. Kyseisessä sairaalakiinteistössä täytyy aina olla opas mukana, kun sairaalan tiloissa liikutaan. Isoja mittauksia ajatellen haasteeksi muodostui rajallinen ajankäytön mahdollisuus. Oppaaksi tarvittiin kiinteistön sähköasentaja, jolla on pääsy sähkökeskustiloihin. Kiinteistön laajuudesta johtuen sähköasentajalla ei olisi ollut aikaa toimia oppaana pidempiaikaisissa mittauksissa.

Mittauksia varten keskuksia valittiin yhteensä kuusi kappaletta. Valituissa keskuksissa on pyritty saamaan mahdollisimman paljon erilaisia kuormatyyppisiä mukaan, jotta loistehoja saataisiin jaettua kuormien mukaan. Sairaalan ylimmästä kerroksesta valittiin mitattaviksi keskuksiksi yksi normaali jakelun LVI:n nousukeskus ja yksi hissien nousukeskuksista. LVI-nousukeskuksesta lähtee yhteensä kahdeksan kappaletta nousujohtoja pienempiin LVI-koneita syöttäviin jakokeskuksiin. Sulakekoot nousujohdoissa vaihtelevat 63 ampeerista aina 125 ampeeriin. Pienin kaapelikoko nousujohto lähdoissä on AMCMK 4x35Al+16CuS ja suurin kaapelikoko AMCMK 4x 70Al+21CuS. Näiden nousujohtojen lisäksi keskus syöttää pienempinä lähtöinä erilaisia poisto- ja tuloilmapuhaltimia, sekä näiden ohjauksia. Toinen ylimmästä kerroksesta valittu keskus (hissinousukeskus) pitää sisällään hissejä syöttävien jakokeskusten lähtöjä. Kyseisessä keskuksessa niitä on yhteensä kahdeksan kappaletta. Kooltaan lähdot ovat 20–25 ampeerisia

ja kaapelit ovat MCMK 4x6+6S tai MCMK 4x10+10S. Keskuksen energiamittaus on toteutettu kuvan 10 mukaisella tavalla.



Kuva 10. Pääkaavion sivu hissinouskeskuksesta.

Seuraavat keskuksat valittiin kerroksia palvelevista jakokeskuksista. Näissäkin pyrittiin valitsemaan erilaisia tiloja palvelevia keskuksia. Esimerkiksi yhdeksännen kerroksen talon keskiosasta valitut kaksi keskuksaa (normaali- ja varavoimajakelu) palvelevat toimistotiloja, kun taas talon eteläisen siiven ensimmäisestä kerroksesta valittu keskuksa palvelee sairaalan toimintaan tarkoitettuja tiloja. Yhdeksännen kerroksen normaali-jakelun jakokeskuksessa on kaksi eri energiamittauskeskusta. Toinen keskuksen energiamittauskeskusta on tarkoitettu alueen valaistusosion energiamittaukseen ja toinen on tarkoitettu erilaisten lämpökojeiden energiamittaukseen (esim. keittiölaitteet). Keskuksen lähtöjä on monta erilaista, useimmat lähdöt palvelevat kuitenkin keskusalueen valaistusta ja pistorasioita. Tästä kyseisestä jakokeskuksesta löytyy myös taukotilassa sijaitsevien laitteiden sähkösyötöt mm. lieden ja astianpesukoneen. Yhdeksännestä kerroksesta valittu varavoimajakelun keskuksa pitää sisällään samankaltaisia valaistus ja pistorasialähtöjä kuin normaali-jakelunkin keskuksa, mutta niitä on huomattavasti vähemmän.

Ensimmäisestä kerroksesta valittu jakokeskus sijaitsee kiinteistön eteläisellä siivellä. Keskus palvelee sairaalan toimintaan liittyviä laitteita mm. pistorasialähdöt erilaisiin toimenpiteisiin tarkoitettuja laitteita varten sekä valaistuslähdet hoitopaikoille. Keskus on varustettu energiamittarilla, joka on laitettu mittaamaan valaistuslähtöjen tehomääriä.

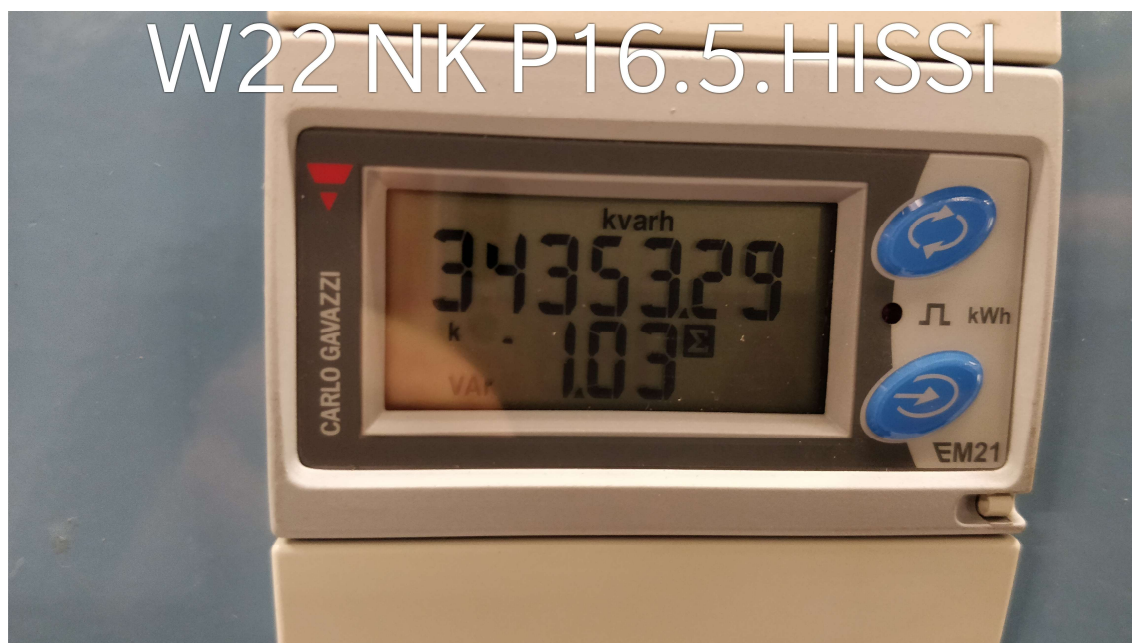
Viimeinen keskus, joka mittausta varten valittiin, sijaitsee tunnelikerroksessa. Kyseessä on eteläisen siiven nousukeskus W22 NK PT.1, joka on varavoimasyöttöjä varten tarkoitettu. Keskus syöttää muiden kerrosten jakokeskusten varavoima osuutta, sekä lääkintäsuojaerotusmuuntajia. Keskuksen energiamittaus on toteutettu niin, että se mittaa koko keskuksen energiamääriä ja näin ollen voi antaa paljonkin informaatiota loistehoja ajatellen. Kun valinnat keskuksien suhteen saatiin päätettyä ja aika mittauskierrokselle sovittua, päästiin näillä lähtötiedoilla aloittamaan mittaukset kohteessa.

Keskusten tutkiminen aloitettiin sairaalan ylimmästä kerroksesta, jossa sijaitsee hissi-keskus W22 NK P16.5.HISSI sekä LVI-laitteita syöttävä keskus W21 NK P16.1.LVI. Ensimmäiseksi lähdettiin tarkastelemaan hissikeskuksen antamia tehomääriä ja otettiin loistehoarvot ylös kuvan 11 mukaisesta energiamittarista.



Kuva 11. Hissinousukeskuksen energiamittari.

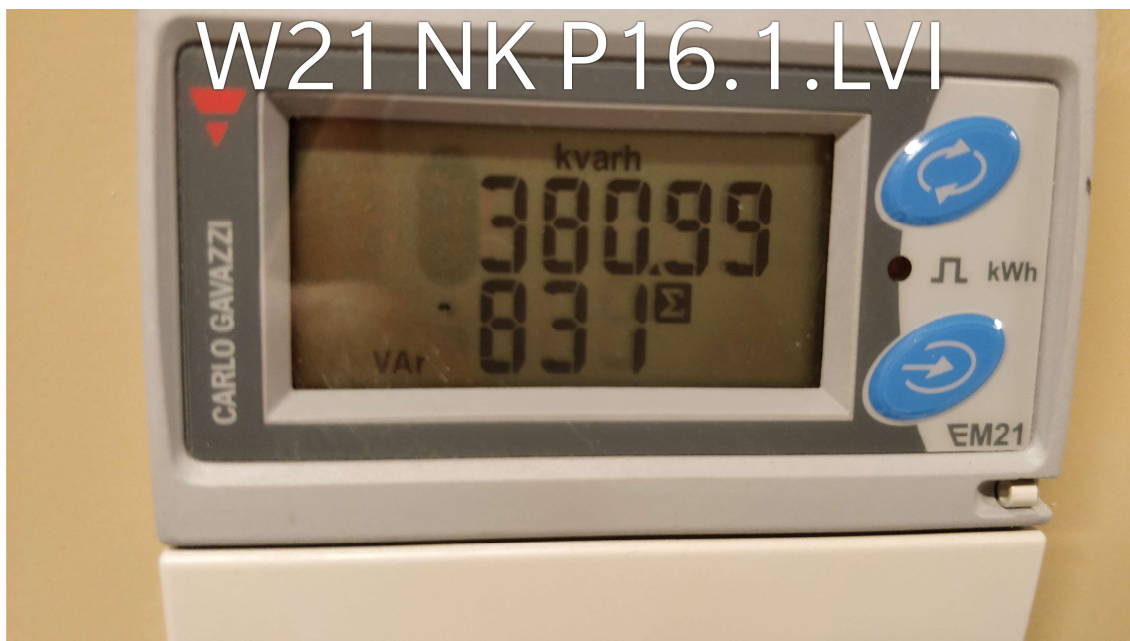
Alempi numero kuvan energiamittarissa osoittaa loistehon määrän kyseisessä keskuk- sessa. siitä nähdään, että se mittaushetkellä oli 910 Varia. Asiaa kirjatessani ylös huomasin, että hissin lähtiessä liikkeelle loistehot kääntyivät negatiiviselle puolelle kuvan 12 osoittamalla tavalla.



Kuva 12. Hissinousukeskuksen loisteho.

Kuvasta nähdään, että loistehon etumerkki vaihtui negatiiviseksi ja pieni k-kirjain mittarin vasemmalla puolella osoittaa sen olevan jo kilovarien puolella. Tätä tapahtui aina hissien lähtiessä liikkeelle ja riippuen siitä menikö hissi ylöspäin vai alaspäin, loistehon etumerkki vaihtui joko positiiviseksi tai negatiiviseksi eli toisin sanoen joko induktiiviseksi tai kapasitiiviseksi loistehoksi.

Hissinousukeskusten tulosten kirjausten jälkeen kierrosta jatkettiin ylimmässä kerroksessa. Seuraavana vuorossa oli LVI-laitteita syöttävä keskus W21 NK P16.1.LVI. Keskuksessa on samanlainen Carlo Gavazzin energiamittari kuin jo aikaisemmassa hissi-keskuksessa, joten ei ollut vaikeaa löytää loistehon määrää kyseisestä mittarista, joka tässä keskuksessa oli mittaus hetkellä kuvan 13 mukainen.



Kuva 13. LVI-keskuksen energiamittari.

Kuvasta käy hyvin ilmi, minkälaista loistehoa kyseinen keskus pitää sisällään. Tässäkin keskuksessa ilmenee negatiivisella puolella olevaa loistehoa melkein yhden kilovarin verran. Mielenkiinto tulosta kohtaan heräsi erittäin paljon, sillä se laittoi pohtimaan ajatusta siitä, mikä kyseisessä keskuksessa aiheuttaa sen, että loisteho kääntyy negatiiviselle puolelle. Tätä hetken pohdittuaan kierrosta jatkettiin mukana olleen sähköasentajan saattamana vauhdikkaasti eteenpäin.

Seuraavana vuorossa oli yhdeksännen kerroksen jakokeskukset W21 JK P09.2 ja W22 JK P09.2. Näiden keskusten löytäminen ei ollut aivan yksinkertaista, sillä kerrokset tuntuivat olevan niin sokkeloisia välillä jopa oppaana olleelle sähköasentajallekin, että tuotti paljon vaivaa ja kiertelyä löytää oikea keskus. Lopulta keskusten löydyttyä päästiin tutkimaan niiden energiamittareita tarkemmin. Kyseisissä keskuksissa oli kaksi energiamittaria, joista toinen oli tarkoitettu valaistusosan mittaukseen ja toinen lämpökojeiden energiamittaukseen. Mittareiden kanssa ilmeni loistehon kannalta ongelmia, sillä kyseiset mittarit olivat vanhempia kuin aikaisemmissa keskuksissa ja vaikka mittareista löytyi kvarh-arvo, itse loistehon määrää ei tuntunut löytyvän millään. Kuvasta 14 on nähtävissä energiamittarin näyttö.



Kuva 14. yhdeksännen kerroksen jakokeskuksen energiamittari.

Ylin numero kuvan 14 näytössä on kvarh-arvo. Sen numeron alapuolella näkyy arvo 964 VA, joka viittaisi siis näennäistehoon eikä loistehon määrään. Alimpana näytössä olevan numeron tarkoitusta etsittiin mittarin käyttöohjeista, mutta tuloksetta. Kuvassa 15 on nähtävissä vastaavanlainen mittari samasta keskuksesta, mutta lämpökojeiden mittaukseen tarkoitettuna.



Kuva 15. Lämpökojeiden energiamittari.

Kohteessa käynnillä oli mukana Granlundilta saatu tehonmittaukseen tarkoitettu mittari, mutta johtuen jakokeskuksien sijainneista ja aikataulun kiireellisyydestä, ei kyseistä mittaria olisi päässyt jakokeskuksiin edes hyödyntämään. Jakokeskukset sijaitsevat käytävien yhteydessä, jossa kulkee koko ajan sairaalan henkilökuntaa ja potilaita edestakaisin, jolloin mittareiden ja johtojen käyttäminen olisi aiheuttanut merkittävää haittaa henkilökunnan toiminnalle. Tämän takia mittarin käyttäminen päätettiin jättää jakokeskusten osalta käyttämättä ja jatkaa matkaa eteenpäin seuraaviin keskuksiin.

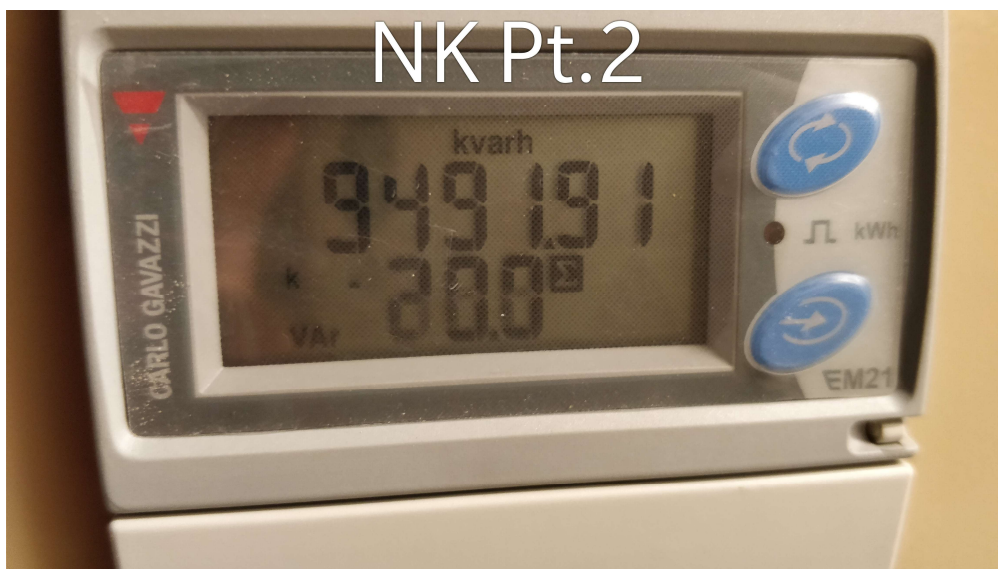
Kierroksen seuraavana kohteena oli jälleen yksi jakokeskuksista, joka tällä kertaa sijaitsi ensimmäisessä kerroksessa. Kyseessä oli W21 JK P01.1 keskus. Heti ensimmäiseen kerrokseen saavuttaessa samat ongelmat alkoivat hämöttämään kuin edellisissäkin jakokeskuksissa. Ensimmäiseksi täytyi selvittää, missä kyseinen keskus ensimmäisessä kerroksessa sijaitsee ja sen paikallistaminen tuotti jälleen kerran päänvaivaa ja ylimääräistä pyörimistä. Kun keskus lopulta löytyi, huomattiin siinä olevan sama ongelma mittareiden kanssa kuin edellisissä jakokeskuksissa. Kuvassa 16 selviää kyseisen jakokeskuksen energiamittarin näyttämät.



Kuva 16. Jakokeskuksen W21 JK P01.1. energiamittari.

Kuvasta on nähtävissä samat arvot kuin aikaisemmin kierretyistä jakokeskuksistakin. Tässä keskuksessa tosin kvarh-arvo on suhteellisen pieni verrattuna muihin jakokeskuksiin. Tämän keskuksen pohdintoihin ei käytetty paljoa aikaa, sillä aikataulu mittausten osalta alkoi käymään vähäiseksi.

Viimeisenä tutkittavana keskuksena oli tunnelikerroksessa sijaitseva nousukeskus W22 NK PT.1. Tämä valittiin sen takia, että haluttiin saada laajemmalla tasolla selville loistehon määrää kiinteistössä. Kyseessä on iso nousukeskus, josta lähtee paljon syöttöjä mm. lääkintäsuojaerotusmuuntajille ja kerrosten jakokeskuksiin, joten tästä ei saada niin yksityiskohtaista tietoa loistehosta. Tämä kuitenkin auttaa hahmottamaan loistehon määrää ja suuntaa yleisesti kyseisillä alueilla ja sen avulla voidaan saada vinkkejä loistehon aiheuttajista. Kuva 17 osoittaa, minkälaista loistehoa nousukeskuksessa on mitaushetkellä.



Kuva 17. Nousukeskuksen energiamittari.

Nousukeskuksen energiamittarin tutkiminen oli erittäin mielenkiintoista ja kuten kuvasta 17 on havaittavissa niin loistehon määrä näyttää kohtuullisen isolta ollessaan negatiivisella puolella tuon 20 kVaria. Tämä laittaa pohtimaan nousukeskuksen lähtöjä ja sitä, mistä tälle tulokselle löytyy mahdolliset syyt. Kierros päättyi nousukeskukselle ja näiden pohjalta lähdetään analysoimaan tuloksia ja mahdollisia ratkaisujen löytämistä tulevaisuutta varten.

6 Tutkimuksen analysointi

Esimerkkikohteena olevan kiinteistön loistehoa tutkittaessa huomattiin sen koostuvan monen eri tekijän summasta. Liiallisen loistehon määrän välttäminen kiinteistöissä lähtee jo projektien alkuvaiheilla saatavilla olevista alkutiedoista. Projektipäällikön tai muun projektista vastaavan tulee olla riittävän perillä kohteesta ja siitä, että projektille laaditut lähtötiedot teholaskentaa varten ovat mahdollisimman hyvät.

Teholaskentaan tutustuessa huomattiin, kuinka useat eri arvot teholaskennassa perustuvat kokemuksiin ja jo tehtyihin samankaltaisiin projekteihin. Näistä esimerkkinä käy mm. tasoituskertoimet ja LVI-laitteet. Mikäli nämä arvioinnit teholaskennassa eivät ole tarpeeksi tarkkaan ja huolella mietitty, saattaa se näkyä lopullisissa tuloksissa esimerkiksi loistehon kasvuna. Granlundilla on kuitenkin jo vuosien kokemus erilaisista projekteista ja kiinteistöistä, joten nykyisin arvioinnit teholaskennassa pystytään tekemään melko tarkkaan kiinteistökohtaisesti. Mikäli muutosta Granlundin teholaskentaan haluttaisiin tehdä, vaatisi se nykyisen teholaskennan muuttamista toisenlaiseksi. Tämä ei kuitenkaan yksin olisi Granlundin käsissä, sillä teholaskennan muuttaminen sellaiseksi, johon saisi kirjattua todelliset arvot projektikohtaisesti ja tarkasti vaatisi toimenpiteitä myös asiakkaalta. Asiakkaan tulisi tässä tapauksessa tietää tarkalleen kiinteistöön tulevat laitteet ja niiden määrät sekä niiltä vaadittavat ohjaukset (mm. taajuusmuuttajat). Tämä ei kuitenkaan kovinkaan usein ole mahdollista, sillä suunnitelmat kiinteistön kannalta muuttuvat usein ja näin ollen kaikista kiinteistöön tulevista laitteista on hyvin vaikeaa olla perillä kuin vasta projektin loppuvaiheilla.

Kohteessa käynti opastuksen avulla ja sen esittely havainnollisti hyvin sen, miksi kiinteistöissä on tärkeää olla käytönvalvontajärjestelmät (tässä tapauksessa MicroScada). Ne antavat kiinteistön eri osista arvokasta tietoa sähkön laatuun liittyen ja voivat osaltaan olla ehkäisemässä kiinteistön loistehoa. Tämä tarkoittaa, että jos järjestelmän avulla havaitaan sähkönlaadussa heikkenemistä tai ylimääräistä loistehoa verkossa, voidaan asialle tehdä jotain sen parantamiseksi. Ideaalitalanne olisi, että tällaista järjestelmää tarvitsisi käyttää mahdollisimman vähän. Siihen voidaan päästä hyvällä ja huolellisella suunnittelemisella, jossa osataan ottaa huomioon erilaisia loistehojen aiheuttajia.

Mittaustulokset, joita kohteeseen tehtiin, antoivat jonkinlaista suuntaa siihen, mistä kiinteistössä havaitut loistehojen määrät saattavat johtua. Alkuperäisenä ajatuksena oli,

että kiinteistössä olevat LED-valaisimet saattaisivat aiheuttaa kapasitiivista loistehoa verkkoon. Tutkimuksen edetessä tästä ajatuksesta kuitenkin luovuttiin, sillä tutkittavalla alueella oli niin vähän LED-valaisimia, että ne eivät yksinään pystyisi kapasitiivista loistehoa aiheuttamaan.

Hissikeskukset näyttivät aiheuttavan loistehoa verkkoon hissien liikkua. Arvot tosin vaihtelivat -1 kVarista aina 1 kVariin asti riippuen siitä, liikkuiko hissi ylöspäin vai alaspäin. Hissien osuudelta näyttäisi myös siltä, että ne eivät loistehon määrää kiinteistössä pystyisi selittämään.

Kiinteistön loistehon kannalta ja mahdolliseksi sen aiheuttajiksi nousivat mittaustulosten myötä LVI-keskukset sekä jakokeskuksia ja lääkintäsuojaerotusmuuntajia syöttävät nousukeskukset. LVI-keskusten osalta mielenkiintoiseksi teki sen, että se oli negatiivisella puolella melkein yhden kVarin verran, vaikka laitteita siinä ei juurikaan ollut. 1 kVarin suurusluokka ei yksinään ole kovinkaan paljon, mutta isossa kiinteistössä vastaavanlaisia keskuksia on useampia ja nämä yhdessä saattavat keskusten jakoalueilla nostaa loistehon määrää. Kiinteistössä on lisäksi myös LVI-keskuksia, jossa laitteita on enemmän kuin valitussa keskuksessa. Mikäli mittareita on uskomisen niin se tarkoittaa sitä, että näissä loistehon määrä on myös suurempi. Laitteiden loistehon suuruuteen vaikuttaa varmasti myös valitut LVI-laitteet ja niiden käyttötarkoitus. Työssä olisi ollut mielenkiintoista tutkia syitä tarkemmin laitteiden loistehosta, mutta se olisi vaatinut laajempia tutkimuksia ja mittauksia, joihin ei mittaushetkellä olisi ollut aikaa. Tulevaisuudessa tulisi suunnittelussa kiinnittää enemmän huomiota näihin laitteisiin ja pohtia syitä sille, mistä laitteiden loistehomäärät saattavat johtua ja mikä on näiden merkitys sähkönlaadun kannalta.

Toinen havaittu loistehon aiheuttaja, joka mittaustulosten perusteella oli nousukeskukset, herättää pohtimaan syitä sille, mikä keskuksen loistehon aiheuttaa. Kyseinen keskus syöttää kerrosten jakokeskuksia sekä lääkintäsuojaerotusmuuntajia. Tässä keskuksessa energiamittari näytti loistehon kannalta -20 kVaria. Toisaalta arvoon vaikuttaa se, että keskus syöttää useaa paikkaa ja laajaa aluetta, jolloin mahdollisuus loistehon kasvuun on suuri. Tämän takia on hankalaa löytää syitä sille, mitä luku tarkalleen pitää sisällään. Kuten jo aikaisemmin todettiin, niin jakokeskuksissa ei havaittu suurta määrää loistehoa, mutta määrällisesti näitä jakokeskuksia on nousukeskuksissa ympäri kiinteistöä todella paljon. Mitattu nousukeskuskin syöttää jo 17 jakokeskusta, joten niiden yhteenlaskettu loistehomäärä saattaa vaikuttaa kyseiseen arvoon. Näiden jako-

keskusten määrä nousukeskuksessa onkin mahdollinen tekijä, minkä takia loistehot nousukeskuksessa nousivat -20 kVariin.

Jakokeskuksia tutkimalla havaittiin, että ne syöttävät erilaisia lääkintälaitteita, tavallisia pistorasioita sekä kerrosten valaistuksia. Saattaa olla mahdollista, että nämä lääkintälaitteet ovat osasyllinen loistehon määrään kiinteistössä. Jotta asiaan saataisiin todellinen varmuus, vaatisi se tarkat mittaukset jakokeskusten lähtöjen osalta, jossa eroteltaisiin erilaiset kuormat toisistaan. Tämän lisäksi täytyisi saada tietää, mitä laitteita pistorasialähtöihin on kytketty, jotta voitaisiin poissulkea niiden aiheuttaman loistehon osuus kiinteistössä. Vaikka tarkkaa syytä loistehoon ei voida jakokeskuksista tai nousukeskuksista osoittaa, kannattaisi tulevaisuudessa ottaa huomioon näiden mahdollinen syy loistehon takana.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin esimerkkikohteen avulla kiinteistöissä esiintyviä loistehoja eri kuormatyyppien mukaan. Tarkoituksena oli selvittää loistehojen aiheuttajia esimerkki-kiinteistöissä tutkimusten ja mittausten avulla, sekä löytää keinoja sähkösuunnittelutyöhön, jotta loistehoa ja sen aiheuttajia pystyttäisiin ymmärtämään tulevaisuudessa paremmin.

Tutkimuksen aikana ongelmia aiheutti etenkin kiinteistön käyttötarkoitus. Kyseessä oli sairaalakohde ja kohteessa vapaasti liikkuminen ei ollut mahdollista ilman opastajaa. Tämä aiheutti hankaluuksia etenkin mittausvaiheessa. Mittauksissa mukana ollut tehoanalyysaattorimittari ei päässyt tällä kerralla käyttöön, sillä ajan puutteen vuoksi, tyydyttiin vain ottamaan keskusten energiamittareista loistehoarvot ylös. Lisäksi mittarin viritäminen niin nopealla aikataululla olisi ollut hankalaa varsinkin kiinteistön jakokeskukseen, johon sitä olisi eniten tarvittu, sillä jakokeskukset sijaitsivat keskellä käytäviä. Käytävillä liikkui koko ajan niin potilaita kuin hoitohenkilökuntaakin ja ilman parempaa mittausten suunnittelua ja sopimista, ei mittaria olisi voinut käyttää käytävillä.

Ongelmista huolimatta tutkimuksessa saatiin tietoa loistehoista ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Erilaisten kuormatyyppien mittaaminen auttoi poissulkemaan vaihtoehtoja loistehon aiheuttajiksi ja tietyiltä osin myös löytämään syitä sille. Nämä havainnot saatavat hyödyttää tulevaisuudessa suunnittelutyötäkin. Täysin niitä tavoitteita, mitä lähdettiin hakemaan ei tässä työssä saavutettu. Tähän vaikuttaa monet eri asiat läpi projektin, mutta työssä saatiin rajattuja vaihtoehtoja loistehojen aiheuttajiksi ja työ laittaa pohtimaan kiinteistöissä olevia loistehoja enemmän jo suunnitteluvaiheessa. Jää nähtäväksi, päästäänkö tulevaisuudessa sekä uusissa että vanhoissa kiinteistöissä lähemmäs kohti ihanteellista loistehotasapainoa.

Lähteet

- 1 Loistehon kompensointi. 2016. Verkkoaineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://oma.metropolia.fi/delegate/download_workspace_attachment/1067114/T_05_2016_Loistehon_kompensointi.pdf>. Luettu 8.1.2018.
- 2 Aura, Lauri. 1986. Sähkämiehen käsikirja 1. Porvoo: WSOY.
- 3 Kujansuu, Janne. 2014. Loistehon ja yliaaltojen kompensointi sähköverkossa. Verkkoaineisto. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/86580/Kujansuu_Janne.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 8.1.2018.
- 4 Tiainen & Vitikka. 2004. Sähköasennustekniikka 3. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 5 Väisänen, Pasi. 2012. Loistehon kompensointi jakeluverkkoyhtiössä. Verkkoaineisto. <<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21284/Vaisanen.pdf>>. Luettu 13.1.2018.
- 6 Loistehomaksut. 2017. Verkkoaineisto. Hämeen Sähkö. <<http://hameensahko.fi/loistehomaksut/>>. Luettu 14.1.2018.
- 7 Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2006. Yliaallot ja kompensointi. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 8 Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. 2016. Verkkoaineisto. <<https://severi-sahkoinfo-fi.ezproxy.metropolia.fi/item/537?search=kompensointi>>. Luettu 15.1.2018.
- 9 Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2017. SFS-käsikirja 600-1-1 pienjännitesähköasennukset osa 1-1. Helsinki. SFS.
- 10 Porsanger, Juuso. 2016. Sähkön laadun mittaaminen. Verkkoaineisto. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/121820/Porsanger_Juuso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 20.1.2018.
- 11 Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta. 2006. Verkkoaineisto. VTT. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/w52.pdf>> Luettu 16.1.2018.
- 12 Mäkinen & Kallio. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy