

Jari Aalto

Kompensointilaitteiston käyttöönotto ja huolto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

5.2.2015

Tekijä Otsikko	Jari Aalto Kompensointilaitteiston käyttöönotto ja huolto
Sivumäärä Aika	39 sivua + 2 liitettä 5.2.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	insinööri Lauri Puustinen yliopettaja Torsti Viilo
<p>Työn tarkoituksena on antaa kompensointilaitteistoja käyttönottavalle ja huoltavalle henkilölle tietoja, joita työssä tarvitaan. Tavoitteena on myös tehdä Are Talotekniikalle raporttipohja, jota voidaan käyttää apuna mittauksissa. Täyttämällä raporttipohja saadaan valmis raportti sekä asiakkaalle huollosta ja sen tuloksista että tarjoustekniset tiedot firman sisäiseen käyttöön mahdollisista uusittavista komponenteista. Työssä käsitellään myös sähköön liittyvää teoriaa, kompensointilaitteistojen rakennetta ja ominaisuuksia sekä mittauksia.</p> <p>Lisäksi työssä käsitellään paikkakunnan vaikutusta kompensoinnin kannattavuuteen esimerkein. Liitteessä 1 on kymmenen suurimman kaupungin verkkoyhtiön loistehotariffit ja liitteessä 2 luetellaan laitteistojen valmistajia.</p> <p>Työn tavoite saavutettiin ja tuloksena saatiin Are Talotekniikan käyttöön raporttipohja sekä opetusmateriaalia firman sisäiseen koulutukseen.</p>	
Avainsanat	loisteho, kompensointi, mittaus, säädin

Author Title	Jari Aalto Installation and maintenance of a capacitor bank
Number of Pages Date	39 pages + 2 appendices 5 February 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electrical Building Services
Instructors	Lauri Puustinen, Engineer Torsti Viilo, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to give the necessary knowledge to a person who installs and maintains capacitor banks. The aim was also to make a template that can be used for maintenance reports in a company. When the template is filled, a complete report is made both for the client and for the company, the latter with internal information that enables quoting for possible broken parts. Furthermore, the theory of electricity, capacitor banks structure and features, as well as measurements was discussed.</p> <p>The project also studied the impact of the place of installation on the cost-effectiveness of compensation.</p> <p>The goal of the work was achieved, and resulted in a template for the internal use of the company, as well as teaching material for in-house training.</p>	
Keywords	reactive power, capacitor, measure, controller

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Teoria	1
2.1	Pätöteho	1
2.2	Loisteho	2
2.3	Näennäisteho	3
2.4	Tehokertoimet	4
2.4.1	DPF	4
2.4.2	PF	4
2.5	Kompensoinnin periaate	5
2.6	Takaisinmaksuaika	6
2.6.1	Takaisinmaksuaika Espoo Fortumin jakeluverkossa	6
2.6.2	Takaisinmaksuaika Helen Sähköverkko Oy:n jakeluverkossa	7
2.7	Rinnakkaisresonanssi	8
2.8	Harmoniset yliaallot	9
2.9	Kompensointilaitteistot	10
2.9.1	Kiinteät paristot	10
2.9.2	Automatiikkaparisto	11
2.9.3	Estokelaparisto	12
2.9.4	Tyristorikytketty kondensaattoriparisto	13
3	Käyttöönotto	14
3.1	Säätimen arvojen asettelu	14
3.2	Havahtumisrajat	15
3.3	Lämpötila	16
3.4	Tavoitetehokerroin	18
4	Huollot	19
4.1	Turvallinen työskentely	19
4.2	Aistinvarainen tarkistus	21
4.3	Virtaliitosten kiristys	22
4.4	Virtamittaus	24
4.5	Kapasitanssimittaus	27
4.6	Säätimen toiminta	29

4.7	Puhdistus	30
4.8	Lämpötila	31
4.9	Kontaktorin vaihto	32
4.10	Pariston kytkeminen irti	34
4.11	Hälytykset	34
4.12	Pumppaus	34
5	Raporttipohjan luonti	35
5.1	Asiakkaan raportti	35
5.2	Yrityksen raportti	36
5.3	Korjaustarjouksen tekeminen raportin pohjalta	36
6	Yhteenveto	36
	Lähteet	38

Liitteet

Liite 1. Kymmenen suurimman kaupungin sähköverkkoyhtiöiden loistehotariffit ja laskutusperusteet pienjänniteverkossa (alkuvuosi 2014).

Liite 2. Kompensointilaitteistojen valmistajia

Lyhenteet

A	ampeeri, virran yksikkö
°C	celsius, lämpötilan yksikkö
C	kapasitanssi
DPF	perustaajuisen jännitteen ja virran välisen vaihe-erokulman cosini
F	faradi, kapasitanssin yksikkö
Hz	hertsi, taajuuden yksikkö
I	virta
IEC	kansainvälinen sähköalan standardisointijärjestö
W	watti
P	pätöteho
PF	kokonaispätötehon ja kokonaisnäennäistehon suhde
Q	loisteho
S	näennäisteho
SFS	Suomen standardisoimisliitto ry
THD	kokonaisharmoninen särö
U	jännite
var	vari

1 Johdanto

Työssä käsitellään sähkön teoriaa, joka liittyy olennaisesti kompensointiin. Työn tavoitteena on antaa tarvittavia tietoja eri valmistajien kompensointilaitteiston käyttöönottoa ja huoltoa suorittavalle henkilölle. Lisäksi tavoitteena on saada luotua raporttipohja, jonka avulla saadaan tuotettua raportti sekä asiakkaalle että yrityksen sisäiseen käyttöön. Asiakkaalle menevä raportti on suppeampi, ja tähän kirjataan vain oleelliset tiedot. Yrityksen raporttikappaleessa näkyvät tarkemmat tekniset tiedot tehdystä huollosta ja laitteiston komponenttien kunnosta.

Tämä työ tehdään yhteistyössä Are Talotekniikan kanssa, jossa olen työskennellyt yli seitsemän vuotta ja työnkuvaani kuuluvat muun muassa kompensointilaitteiston huollot. Työkohteeni sijaitsevat pääsääntöisesti pääkaupunkiseudulla, lisäksi olen käynyt kouluttamassa ihmisiä kompensointilaitteistojen huoltoja koskevista asioista myös pääkaupunkiseudun ulkopuolella. Are Talotekniikka on osa Are-konsernia, ja on yksi Suomen suurimmista talotekniikan asennus-, huolto- ja ylläpitopalveluiden toimittajista. Toimipisteitä on Suomessa 28 paikkakunnalla. Asiakkaina ovat valtio, kaupungit, kunnat, kiinteistöjen rakennuttajat, kiinteistöjen omistajat, isännöitsijät, palvelualat sekä teollisuus. Liikevaihto talotekniikassa vuonna 2013 oli 222 M€, josta urakoinnin osuus oli 70 % ja huolto ja ylläpidon 30 %. Henkilöstöä talotekniikassa vuonna 2013 oli 1523. Vuoden 2015 alusta Are Talotekniikka sulautuu Are Oy:öön. [22]

2 Teoria

2.1 Pätöteho

Pätöteho on tehoa, joka tekee sähköpiirissä varsinaisen työn. Pätöteholla virran ja jännitteen välinen vaihe-erokulma on nolla (kuva 1). Sähkön jakelusta vastaavat verkkoyhtiöt ensisijaisesti laskuttavat asiakkaita tämän tehon kulutuksesta. Yksivaiheinen pätöteho voidaan laskea kaavalla

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

jossa U on vaihejännitteen tehollisarvo

I on virran tehollisarvo

φ on virran ja jännitteen välinen vaihe-erokulma

Kolmivaiheinen pätöteho voidaan laskea kaavalla

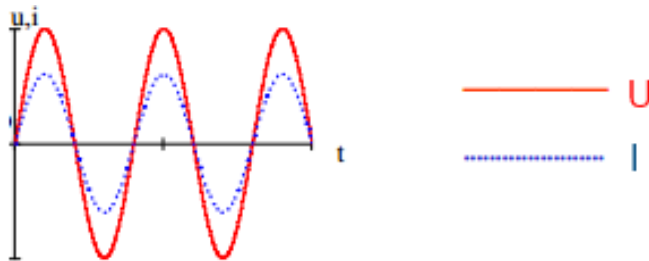
$$P_{3v} = (\sqrt{3}) \times U \times I \times \cos\varphi \quad (2)$$

jossa U on pääjännite

I on yhden vaiheen virta

φ on virran ja jännitteen välinen vaihe-erokulma. [3, s. 29.]

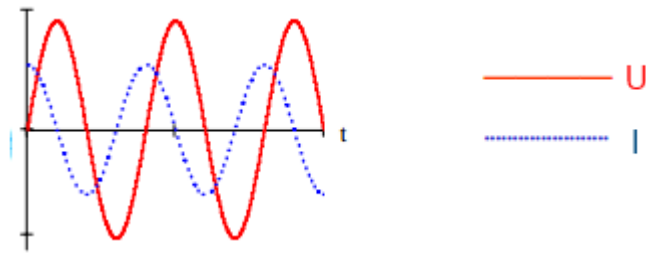
Pätötehon yksikkö on W, watti



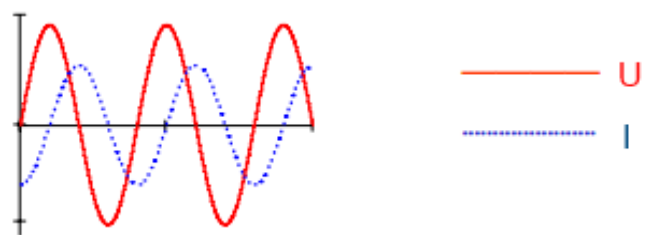
Kuva 1. Jännite ja virta puhtaalla pätöteholla, vaihe-erokulma on 0° [5, s. 2].

2.2 Loisteho

Loisteho on tehoa, joka ei tee työtä mutta kuormittaa verkkoa aivan kuten pätöteho, ja se pitää ottaa huomioon mitoituksessa. Loistehoa tarvitaan kuitenkin verkossa esimerkiksi oikosulkumoottorien magnetointiin. Loistehoa voi olla kapasitiivista (kuva 2) tai induktiivista (kuva 3). Nämä vastakkaiset loistehot kumoavat toisiaan. Kondensaattorit tuottavat kapasitiivista loistehoa, ja kelat vastaavasti kuluttavat sitä, eli ovat induktansseja. Verkkoyhtiöt laskuttavat myös tästä tehosta, jos se ei pysy tiettyjen rajojen sisäpuolella. Induktiivinen raja on normaalisti 20–50 % pätötehosta ja kapasitiivinen raja on noin 4 %. Harvoin joudutaan maksamaan loistehomaksua kapasitiivisesta verkosta, liittymispisteessä verkot tyypillisesti ovat induktiivisia. [1, s. 20.]



Kuva 2. Puhtaasti kapasitiivisella kuormalla virta I on jännitettä U 90° edellä. [5, s. 7.]



Kuva 3. Puhtaasti induktiivisella kuormalla virta I on jännitettä U 90° jäljessä. [5, s. 4.]

Loisteho Q voidaan laskea kaavalla

$$Q = U \times I \times \sin\varphi \quad (3)$$

jossa U on vaihejännitteen tehollisarvo

I on virran tehollisarvo

φ on virran ja jännitteen välinen vaihe-erokulma

Loistehon yksikkö on vari, reaktiivinen voltiampeeri. [23, s. 126.]

2.3 Näennäisteho

Näennäisteholla tarkoitetaan tehoa, jossa on laskettu yhteen pätöteho ja loisteho. Liit-
tymispisteessä ideaali tilanteessa näennäisteho on yhtä suuri kuin pätöteho.

Näennäisteho S voidaan laskea kaavalla

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4)$$

jossa P on pätöteho

Q on loisteho

Näennäistehon yksikkö on VA, voltiampeeri. [1, s. 15.]

2.4 Tehokertoimet

2.4.1 DPF

DPF tulee sanoista *displacement power factor*, ja se tarkoittaa perusaallon pätötehon ja perusaallon näennäistehon suhdetta. Suomessa sähköverkon perusaallon taajuus on 50 Hz.

DPF voidaan laskea kaavalla

$$\text{DPF} = \cos\varphi = P/S \quad (5)$$

jossa $\cos\varphi$ on kosini perustaajuuden jännitteen ja virran vaihe-erokulmasta

P on perusaallon pätöteho

S on perusaallon näennäisteho. [1, s.16]

2.4.2 PF

PF tulee sanoista *power factor*, ja se tarkoittaa pätötehon ja näennäistehon suhdetta, joka ottaa huomioon myös perusaallon ulkopuoliset taajuudet. Toisin sanoen, tähän tehokertoimeen lasketaan mukaan myös yliaallot. PF kuvaa tehokertoimista parhaiten kuormassa olevaa loistehoa. Normaalisti perusaallon loistehokomponentti on paljon

isompi kuin yliaaltojen loistehokomponentti, joten ensisijaisesti pyritään vaikuttamaan siihen. [1, s. 21.]

PF voidaan laskea kaavalla

$$PF = P/S \quad (6)$$

jossa P on kokonaispätöteho

S on kokonaisnäennäisteho

2.5 Kompensoinnin periaate

Loisteho voidaan tuottaa joko paikallisesti kulutuspaikassa tai se voidaan ottaa jakeluverkosta. Verkosta otettu loisteho kuormittaa siirtolinjoja kuten pätötehokin, joten se rajoittaa pätötehon siirtokykyä. Loisteholla on myös vaikutusta jännitteeseen; induktiivinen loisteho laskee jännitettä ja kapasitiivinen loisteho nostaa sitä. Voimalaitosten generaattorit toimivat parhaiten tehokertoimella $\cos\varphi = 0,85-0,90$, tätä huonommalla kertoimella häviöt kasvavat kohtuuttomasti. Kantaverkonkin osalta pätevät samat lainalaisuudet. Tästä johtuen verkkoyhtiöt yrittävät loistehomaksun avulla ohjata kuluttajia pitämään jakeluverkosta otetun loistehon määrän kohtuullisena. [1, s. 20.]

Kompensointilaitteet asennetaan yleensä pääkeskukseen, jolloin kompensointivaikutus on pääkeskuksesta syöttöverkon suuntaan. Kompensointi voidaan asentaa myös yhdelle kuluttavalle laitteelle; tällöin halutaan yleensä tasata jännitettä, suodattaa häiriöitä, pienentää laitteen mitoitusvirtaa ja liittymispisteen sulakekokoa. Oikein mitoitettulla ja oikeantyyppisellä kompensoinnilla loistehomaksulta vältytään. Kompensointilaitteistolla tuotetaan kapasitiivista loistehoa, jota muun muassa moottorit, muuntajat ja induktiivisella kuristimella varustetut loisteputkivalaisimet kuluttavat. Ideaalitapauksessa kompensointilaitteistolla tuotetaan juuri niin paljon kapasitiivista loistehoa kuin induktiiviset laitteet sitä kuluttavat, jolloin verkosta ei oteta kuin pätötehoa. [2]

2.6 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajalla tarkoitetaan aikaa, jonka kuluessa kompensointilaitteistoon investoitu raha maksaa itsensä takaisin pienentyneenä sähkölaskuna. Takaisinmaksuaikaa laskettaessa on tiedettävä kohteen verkkoyhtiön loistehomaksun maksuperusteet. Yleensä loistehomaksu määritellään siten, että kuukausittaisesta pätötehohuipusta otetaan prosenttiosuus, joka vähennetään loistehohuipusta. Tästä jäljelle jäävä osuus on laskutettavaa loistehoa. Kompensointilaitteistoa mitoittaessa tulisi suorittaa verkkomittaus, jotta saadaan selville mahdolliset yliaallot ja varmuus loistehon määrästä. Seuraavissa alajaksoissa 2.6.1 ja 2.6.2 on esimerkkilaskut, joissa käytetään samoja lähtöarvoja. Näistä tuloksista nähdään, että verkkoyhtiön laskutusperusteet saattavat vaikuttaa kompensointilaitteistoinvestoinnin kannattavuuteen [2]. Liitteessä 1 on kymmenen suurimman kaupungin jakeluverkkoyhtiön loistehotariffit ja laskutusperusteet.

2.6.1 Takaisinmaksuaika Espoo Fortumin jakeluverkossa

Jotta takaisinmaksu aikaa voidaan laskea, on annettava kuvitteellisia lähtöarvoja. Laskutettavan loistehon määrä ja hinta muodostuvat verkkoyhtiön hinnaston mukaisesti.

Laskutettava loisteho QI

$$QI = 300kvar - 0,20 \times 800kvar = 140kvar$$

jossa 0,20 vastaa 20 %:n osuutta kuukauden 800 kW:n pätöteholaskutushuipusta

kuukauden laskutusjakson induktiivinen loistehohuippu on 300 kvar

Loistehotariffi on 3,87 €/kvar,kk. [6]

Loistehomaksun laskutoimitus:

$$\text{loistehomaksu} = 3,87 \text{ €/kvar,kk} \times 140 \text{ kvar} = 542\text{€/kk}$$

Arvioitu kompensointilaitteiston investointikustannus asennettuna on 8 000 €.

Takaisinmaksuaika, kun oletetaan kaikkien kuukausien tehot samanlaisiksi:

$$\text{takaisinmaksuaika} = 8\,000 \text{ €} / 542 \text{ €/kk} = 15 \text{ kk}$$

15 kuukauden takaisinmaksuaikaa voidaan pitää erittäin hyvänä, eli kompensointilaitteiston asennus on suositeltavaa. Laskelma on suoritettu yksinkertaisena, rahan arvon muuttumista ei ole otettu huomioon.

2.6.2 Takaisinmaksuaika Helen Sähköverkko Oy:n jakeluverkossa

Laskutettava loisteho QI

$$QI = 300 \text{ kvar} - (800\text{kvar} \cdot 0,4) = -20 \text{ kvar}$$

jossa 0,40 vastaa 40 %:n osuutta kuukauden 800 kW:n päätöteholaskutushuipusta

kuukauden laskutusjakson induktiivinen loistehohuippu on 300 kvar.

Loistehotariffi on 2,47 €/kvar,kk. [7]

Loistehomaksun laskutoimitus:

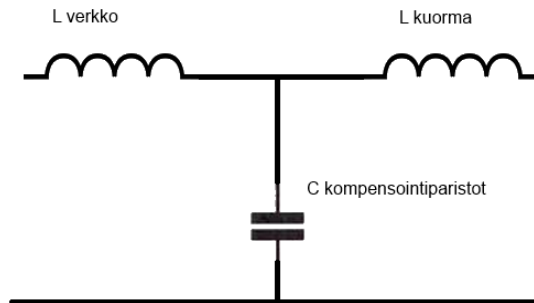
$$\text{Loistehomaksu} = 2,47 \text{ €/kvar,kk} \times 0\text{kvar} = 0\text{€/kk}$$

Arvioitu kompensointilaitteiston investointikustannus asennettuna on 8 000 €.

Yllä annettujen arvojen perusteella kompensoinnin asennus ei ole kannattavaa.

2.7 Rinnakkaisresonanssi

Pienjänniteverkossa kondensaattorit kytketään Suomessa aina rinnan verkon kuormien kanssa (kuva 4).



Kuva 4. Kompensointiparistojen kytkentäpiirros.

Tällöin muodostuu resonanssipiiri verkon induktanssin ja kondensaattorin kapasitanssin kanssa.

Resonanssipiirin taajuus f_r voidaan laskea kaavalla

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \quad (7)$$

jossa L on verkon induktanssi

C on kondensaattorin kapasitanssi

Mikäli verkossa on yliaaltovirtoja lähellä resonanssipiirin taajuutta, nämä saattavat vahvistua yli 10-kertaisiksi. Sarjaresonanssissa on havaittu vieläkin suurempia vahvistuksia, mutta tämä on mahdollista vain suurjännitteellä, koska kondensaattoreita ei pienjännitteellä kytketä sarjaan. [2]

2.8 Harmoniset yliaallot

Aina kun laitteet ottavat verkosta virtoja, joiden käyrä ei ole sinimuotoista, ne ovat yliaaltolähteitä. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi purkauslamput, tasasuuntaajat, vaihtosuuntaajat, hakkuriteholähteet, tietokoneet, elektroniset liitännälaitteet, led-valaisimet ja vialliset laitteet. Epälineaariset kuormat säröyttävät virtaa ja säröytynyt virta puolestaan aiheuttaa jännitteen säröytymistä. Yliaaltoja tuottava laite ei välttämättä itse häiriinny yliaalloista, mutta samassa verkossa olevat muut laitteet saattavat häiriintyä. Yliaallot voidaan jakaa harmonisiin ja epäharmonisiin yliaaltoihin. Harmoniset yliaallot ovat perustajuuden kerrannaisia, esimerkiksi kolmas yliaalto on 150 Hz, joka syntyy kerrottaessa perustajuus 50 Hz kolmella. Epäharmonisia yliaaltoja ei juuri esiinny verkoissa, eikä niille ole missään standardeissa annettu raja-arvoja. [1, s. 30.]

Koska yliaallot aiheuttavat verkossa toimintahäiriöitä sekä ylikuormittavat moottoreita, muuntajia ja kaapeleita, SFS-EN 50160 -standardilla rajataan kuluttajan aiheuttamaa yliaaltotuottoa. Standardissa annetaan raja-arvot jännitteen harmonisille yliaalloille, jotka saavat mennä liittymispisteestä jakeluverkkoon päin. Jännitteen kokonaissärökerroimen THD arvo ei saa ylittää 8 %:n arvoa. Taulukossa 1 on yksittäisten yliaaltojen raja-arvot.

Taulukko 1. Standardin SFS-EN 50160 mukaan raja-arvot jännitteen särölle liittymiskohdassa.

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset			
Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

HUOM. Järjestysluvultaan yli 25 harmonisille ei anneta arvoja, koska ne ovat tavallisesti pieniä ja hyvin arvaamattomia resonanssilanteiden vuoksi.

Standardin mukaan jännitesärömittaus tulee olla viikon pituinen. 10 minuutin tehollisarvon keskiarvon jaksoista tulee 95 % olla taulukon 1 raja-arvoja pienempiä. [19, s. 22.]

Yliaalloilla on aina tietty suunta, kun yliaaltoa verrataan perustajuuteen.

Taulukko 2. Yliaaltojen suunnat. [1, s.35]

yliaalto	1	2	3	4	5	6	7
taajuus	50Hz	100Hz	150Hz	200Hz	250Hz	300Hz	350Hz
sekvenssi	+	-	0	+	-	0	+

Taulukon 2 mukaisesti yliaallot yrittävät pyörittää induktiivisia moottoreita, kuten oikosulkumoottoreita, sekvenssin suuntaan. Positiiviset verkon mukaiseen oikeaan suuntaan, negatiiviset puolestaan yrittävät jarruttaa moottoreita. 0-sekvensseilla ei ole suuntaa eikä vaiheiden välillä ole 120°:n kulmaa, joten ne summautuvat nollajohtimeen. [3, s. 6.] Tämä saattaa olla ongelma varsinkin kaapeleilla, joissa PEN-johtimen resistanssi on kaksinkertainen verrattuna vaihejohtimiin, toisin sanoen PEN-johtimen poikkipinta on vaihejohtimia huomattavasti ohuempi. Siksi mitoituksissa tulee ottaa huomioon mahdolliset nollajohdinta kuormittavat yliaallot.

2.9 Kompensointilaitteistot

Kompensointilaitteistoja on useita erilaisia, niillä kaikilla on tietty käyttötarkoitus ja etu toisiinsa nähden. Tässä työssä käsitellään neljää yleisintä tapaa kompensoida verkko pienjännitteellä kulutusasteessa.

2.9.1 Kiinteät paristot

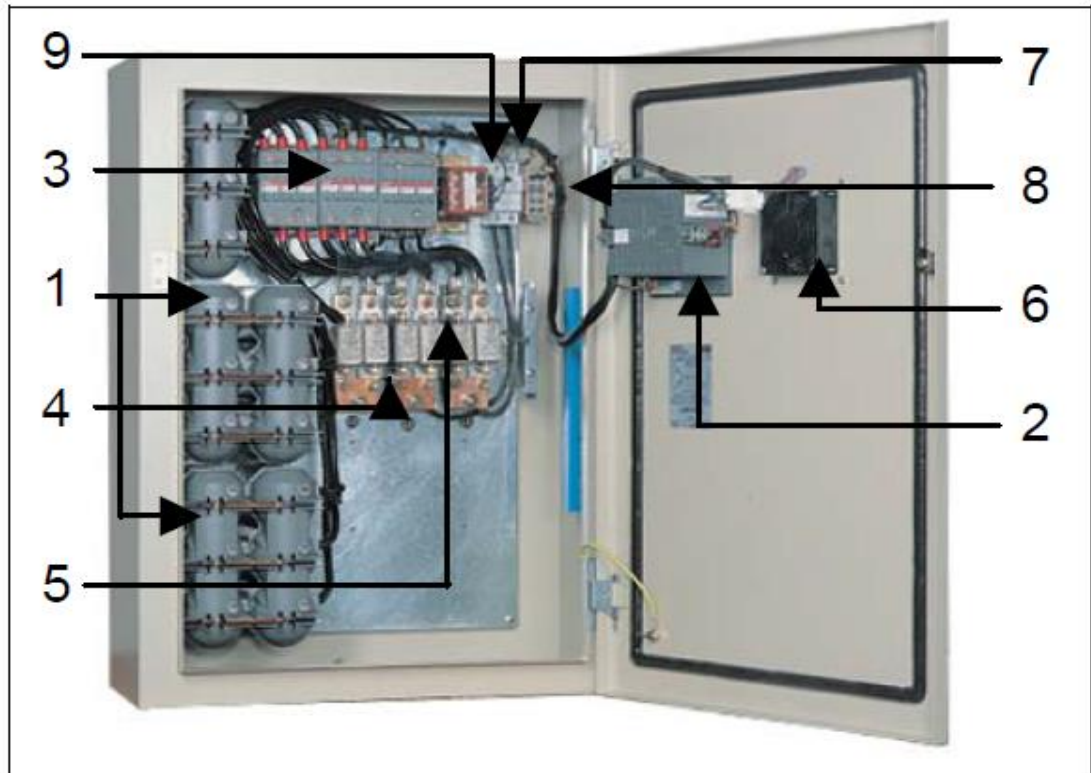
Kiinteät kompensointiparistot (kuva 5) ovat halvin tapa kompensoida verkko. Yleensä ne asennetaan jonkun laitteen rinnalle, kuten moottorin, jolloin paristo kytkeytyy verkkoon aina kun moottorikin. Kiinteitä paristoja on aiemmin asennettu myös pääkeskukseen, mutta nykyään niitä harvemmin enää asennetaan. Tähän syynä on se, ettei niitä voida säätää kuormituksen mukana, vaan vain lisätä tai ottaa pois. Uudet moottorit useimmiten asennetaan taajuusmuuttajan perään, jolloin kompensointiparistoja ei käytetä.



Kuva 5. Ryhmäkeskuksessa kiinteitä kompensointiparistoja, jotka oli asennettu purkauslampuvalaistuksen rinnalle. Valaistuksen uusimisen jälkeen paristot eivät olleet enää tarpeen paremman hyötysuhteen vuoksi, jolloin niiden kytkentä purettiin.

2.9.2 Automatiikkaparisto

Yleisin kompensointilaitteistotyyppi Suomessa pienjännitepuolella on automatiikkaparisto (kuva 6). Yksinkertaistetusti voidaan sanoa, että automatiikkapariston ja kiinteän pariston ero on automaattinen säädin, joka kytkee ja irrottaa paristoja verkosta aina tarpeen mukaan. Paristot kytketään verkkoon portaittain. Yhdessä portaassa on aina vähintään yksi paristo ja kontaktori. Isoissa kohteissa voi yhdessä portaassa olla enemmänkin paristoja ja kontaktoreita kytketty rinnan. Tämä johtuu yleensä siitä, ettei säätimessä ole tarpeeksi porraslähtöjä, jotta kaikille paristoille saataisiin oma lähtö.



Kuva 6. ABB:n APCL2 kompensointilaitteisto. 1. Paristot 2. Säädin 3. Kontaktorit 4. Syötön kytkentäpaikka 5. Varokkeet 6. Tuuletin 7. Ohjauspiirin varoke 8. Virtamuuntajan liitântä 9. Tuulettimen syöttö. [20, s. 3.]

2.9.3 Estokelaparisto

Estokelaparistossa on hyvin samanlainen rakenne kuin automatiikkaparistossa, erona on kuristin, joka on sijoitettu sarjaan pariston kanssa. Käytännössä asennetaan vain estokelallisia paristoja, kun kuluttajan verkossa on yliaaltoja. Kelan tarkoitus on laskea pariston kapasitanssin ja verkon muodostama resonanssipiirin taajuus niin alas, ettei osiossa 2.7 selostettua yliaaltovirtojen vahvistusta tapahdu. Yleisimmät estokelanparistojen viritystaajuudet suomessa ovat 141 Hz ja 189 Hz [1, s. 52–53].

Estokelaparistot (kuva 7) pystyvät myös suodattamaan yliaaltovirtoja. Tämä perustuu siihen, että viritystaajuuden yläpuolella pariston ja kelan muodostama sarjakytkentä on induktiivinen, toisin sanoen se kuluttaa loistehoa, jota yliaaltovirrat ovat. Mitä lähempä-

nä viritystaajuutta yliaaltovirrat ovat, sitä voimakkaampaa on suodatusvaikutus [1, s. 52–53.]

Useimmat verkkoyhtiöt antavat suosituksen, millä jännitteen harmonisella kokonaissäröllä tulee asentaa estokelaparisto, kun suunnitellaan kompensointilaitteiston asennusta. Yleisin suositus estokelapariston asennukselle ovat 1 %:n kokonaisjännitesärön ylittävät kuormitukset. Verkkoyhtiöt antavat myös viritystaajuuden hankittaville esto-keiloille. Tämä johtuu siitä, että liian lähellä oleva estokelan taajuus saattaa häiritä verkkokäskysignaalia.



Kuva 7. Kuvassa Nokian Capacitors D225 -estokelaparisto, jossa näkyy portaiden kelan ja pariston muodostama sarjakytkentä.

2.9.4 Tyristorikytketty kondensaattoriparisto

Tyristorikytkettyjä kondensaattoriparistoja käytetään kohteissa, joissa kuormitus muuttuu nopeasti eikä tavanomaisella estokelaparistolla voida saavuttaa tarvittavaa nopeutta kytkeä portaita verkkoon. Tyristorikytketyn ja estokelapariston erona ovat tyristorit,

jotka korvaavat kontaktorit. Parhaimmillaan yhden jakson aikana kaikki portaot saadaan kytkettyä verkkoon, joten nopeusero estokelaparistoon on huomattava. Yleensä verkkoyhtiöiden loistehomaksun perusteena on hetkittäinen loistehohuippu, jolloin verkosta nopeasti otettu suuri induktiivinen loisteho saattaa aiheuttaa huomattavia loistehomaksuja. Tällaisessa tapauksessa tyristorikytketty kondensaattoriparisto on oikea valinta tuottamaan tarvittava loisteho nopeasti. Tyristorikytketyn laitteiston ohjaus voidaan toteuttaa suoraan halutulle laitteelle tai keskitetysti [1, s. 60]. Tyristoreilla ei ole samanlaista mekaanista kulumista kuin kontaktoreilla, joten niiden elinkaari on paljon pidempi kuin kontaktoreilla. Tyristorit eivät myöskään aiheuta kytkentätransientteja kuten vaimentamattomat kontaktorit. [2]

3 Käyttöönotto

Käyttöönotossa tulee aina noudattaa valmistajan ohjeita. Yleensä valmistajat suosittelevat laitteistolle liitântäkaapeleita ja päävarokkeiden kokoa, nämä tulee kuitenkin mitoittaa asennustavan ja korjauskertoimien määritysten perusteella. On huomioitava, että kompensointilaitteistolle mitoitetaan syöttökaapelit 1,5-kertaisesti nimellisvirran mukaan. Tämä johtuu siitä, että paristo saa standardin mukaan ottaa virtaa verkosta 1,3-kertaisesti nimellisvirtansa määrän. Lisäksi kapasitanssitoleranssi on 15 %. Näiden summasta muodostuu kerroin 1,5. [4, s. 57.]

3.1 Säätimen arvojen asettelu

Valmistajat ovat usein asettaneet lähtöarvoja säätimeen jo tehtaalla. Kuitenkaan ohjauvan virtamuuntajan arvoa valmistaja ei voi tietää etukäteen, joten se tulee aina asettaa otettaessa laitteistoa käyttöön. Säätimissä usein sitä merkitään tunnuksella CT, joka tulee sanoista *current transformer*. Arvojen ilmoitustapa vaihtelee valmistajilla. Yksi tapa on ilmoittaa ensiöpuoli/toisiopuoli eli esimerkiksi 800/5A. Toinen tapa on ilmoittaa ensiöpuolen ja toisiopuolen suhde, eli tässä tapauksessa 160, joka muodostuu jakamalla ensiöpuoli toisiopuolen arvolla. Tulee myös varmistaa, että toisiopuolen virta-arvo on oikea säätimelle, eli käytännössä 5 A. [8]

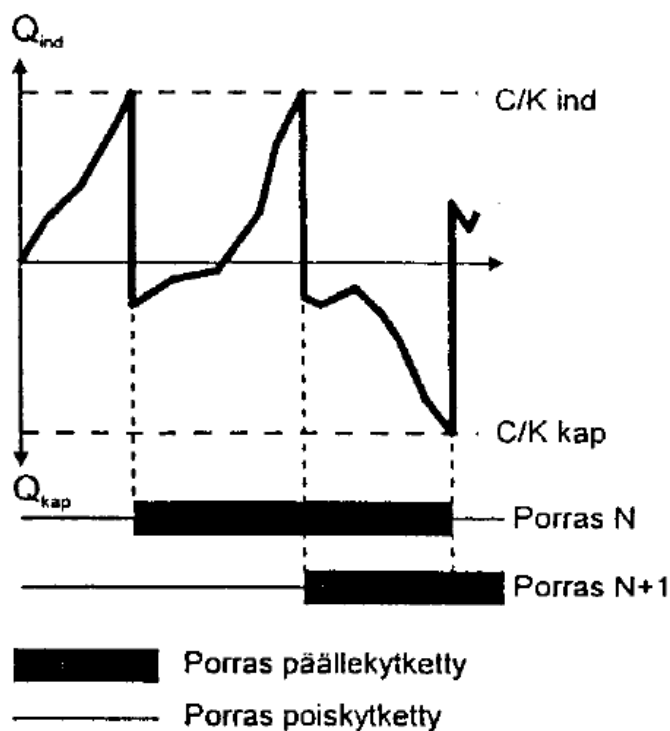
3.2 Havahtumisrajat

Havahtumisrajoja on kaksi, induktiivinen ja kapasitiivinen. Havahtumisrajalla tarkoitetaan raja-arvoa, jonka yli mentäessä porras kytketään päälle tai vastaavasti alitettaessa porras kytketään pois päältä. Toisin sanoen, säädin pyrkii pitämään loistehon rajojen sisällä. Havahtumisraja säätimissä yleensä tunnetaan C/K-arvona. [1, s. 102.]

Oikea C/K -arvo lasketaan seuraavasta kaavasta:

$$C/K = \frac{Q_1}{I_1 / 5A \times U_{LL} \times \sqrt{3}}$$

jossa Q_1 = ensimmäisen portaan koko väreina
 U_{LL} = pääjännite voltteina
 $I_1 / 5A$ = virtamuuntajan muuntosuhde



Kuva 8. Kuvassa Nokian Capacitors A12 -loistehosäätimen laskentakaava ja toimintakuva [8, s. 7].

Suosittelun C/k:n voi laskea kaavasta tai lukea suoraan taulukosta.

3-vaiheinen verkko:

$$C/k = 0.62 \times \frac{Q \times 1000}{\sqrt{3} \times U \times k}$$

Q: reaktiivinen 3-vaiheinen teho/porras (kvar)
 U: järjestelmän jännite (V)
 k: virtamuuntajan muuntosuhde

1-vaiheinen verkko:

$$C/k = 0.62 \times \frac{Q \times 1000}{U \times k}$$

Q: reaktiivinen teho/porras (kvar)
 U: järjestelmän jännite (V)
 k: virtamuuntajan muuntosuhde

C/k- taulukko, 3-vaiheinen 400V järjestelmä.

Virtamuuntaja- suhde	k	Kondensaattorin askelarvo (kvar)															
		5	10	15	20	30	40	50	60	70	90	100	120				
10/1	50/5	10	.45	.90													
20/1	100/5	20	.23	.45	.68	.90											
30/1	150/5	30	.15	.30	.45	.60	.90										
40/1	200/5	40	.11	.23	.34	.45	.68	.90									
60/1	300/5	60	.07	.15	.23	.30	.45	.60	.75	.90							
80/1	400/5	80	.056	.11	.17	.23	.34	.45	.56	.68	.79	.90					
100/1	500/5	100		.09	.14	.18	.27	.36	.45	.54	.63	.81	.90				
120/1	600/5	120		.07	.11	.15	.23	.30	.38	.45	.53	.68	.75	.90			
160/1	800/5	160		.056	.08	.11	.17	.23	.28	.34	.40	.50	.56	.68			
200/1	1000/5	200			.067	.09	.13	.18	.23	.27	.31	.40	.45	.54			
300/1	1500/5	300				.060	.09	.12	.15	.18	.21	.27	.30	.36			
400/1	2000/5	400					.067	.09	.11	.14	.16	.20	.23	.27			
600/1	3000/5	600						.06	.07	.09	.11	.14	.15	.18			

Kuva 9. ABB RVC -loistehosäätimen havahtumisrajan määrittäminen. Laskukaavassa arvo 0,62 on säätimen vakioarvo. [21]

Kuvissa 8 ja 9 on havahtumisrajojen määrittämiä eri säätimille. Jotkut säätimet laskevat automaattisesti havahtumisrajan, kun virtamuuntajan arvo ja pienimmän portaan koko on syötetty säätimeen.

3.3 Lämpötila

Kompensointilaitteiston ympäristön lämpötilalla on suuri merkitys paristoille, koska korkea lämpötila vähentää merkittävästi niiden elinkaarta. Siksi laitteiston sijoituspaikkaan tulee kiinnittää huomiota. Valmistajalta tulisi selvittää, minkälaisia lämpötiloja paristot kestävät. Pariston arvokilvessä yleensä mainitaan minimi- ja maksimilämpötila, mutta harvoin mainitaan keskimääräistä lämpötilaa, jota vuoden aikajaksona ei saisi ylittää.

Taulukko 3. Kondensaattoreiden lämpötilaluokitukset [4, s. 21.]

Tunnus	Ympäristön lämpötila (°C)		
	Maksimi	Jakson korkein keskiarvo	
		24 h	1 vuosi
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

Taulukossa 3 on lämpötilaluokitukset, joista nähdään, että luokan A paristojen yhden vuoden keskiarvo lämpötilan tulisi olla maksimissaan 20 °C, vaikka maksimi on niinkin korkea kuin 40 °C. Käyttöön otossa tuuletuksen asetusarvo, eli raja jossa tuuletin alkaa puhaltamaan, tulisi asettaa maksimissaan pariston luokituksen yhden vuoden mukainen keskiarvo, jotta lämpötila ei lyhennä pariston elinkaarta. Mikäli laitteistossa on tuulettimet, niiden säätö tapahtuu joko säätimestä tai ulkoisen termostaatin avulla (katso kuva 23). On tärkeää testata, että tuuletuksen ohjauspiiri toimii. Tämä testaus tehdään laskemalla asetusarvo niin alas, että tuuletin (kuva 10) alkaa pyörimään.



Kuva 10. Nokian Capacitors Ziehl W2S130 -tuuletin.

3.4 Tavoitetehtokerroin

Tavoitetehtokerroin on arvo, johon loistehosäädin pyrkii kytkemällä paristoja verkkoon ja pois verkosta. Valmistajalta laitteissa yleensä on asetusarvona 1,00. Alueilla, joissa verkkoyhtiö sallii suurehkon määrän induktiivista loistehoa suhteessa pätötehoon, arvo 1,00 tulisi muuttaa arvoon 0,99 induktiivinen, koska tämä vähentää portaiden kytkentämääriä ja pidentää näin laitteiston elinkaarta. Kaikki verkkoyhtiöt sallivat jonkin verran induktiivista loistehoa, joten kuorma tulisi pyrkiä pitämään induktiivisena. Kuorman muuttuessa nopeasti saattaa verkko olla hetken jonkin verran kapasitiivinen, koska säätimessä on viive ennen kuin porrastus putoaa pois verkosta. Teoriassa on mahdollista, että verkkoyhtiö laskuttaa loistehomaksua, jos kapasitiivinen laskutusraja on rikottu.

4 Huollot

Huolloissa tulee kiinnittää huomiota samoihin asioihin kuin käyttöönotoissakin. Usein jokin sähköasennusyritys on tehnyt asennuksen ja käyttöönoton, eikä voida varmuudella tietää, onko kaikki tehty valmistajan ohjeiden mukaan, jotta laite toimii optimaalisesti. Siksi on hyvä tarkistaa esimerkiksi syöttävän kaapelin koko ja sulakkeet turvallisen käytön varmistamiseksi.

4.1 Turvallinen työskentely

Kompensointilaitteistoa huoltavan henkilön on noudatettava SFS 6002-sähkötyöturvallisuusmääräyksiä. Käytännössä tämä tarkoittaa jännitetyövälineitä sekä asianmukaista suojavaatetusta (kuva 11). Kompensointilaitteistoissa syöttö on aina katkaistava keskuksen syöttävästä lähdöstä. Usein myös säätimelle tulee oma syöttö keskukselta. Huoltoa tehdessä tulisi varmistaa, ettei tahatonta laitteiston päälle kytkentää tapahdu, lukitsemalla syöttävä lähtö ja asentamalla siihen varoituskyltti.



Kuva 11. Analysaattorin asennuksessa tulee olla erittäin varovainen, koska usein mittapäätt joudutaan asentamaan paljaisiin jännitteisiin osiin.

On muistettava, että purkautumaton kondensaattori on hengenvaarallinen. Mikäli purkausvastukset ovat vaurioituneet, kondensaattori on varautunut. Ehjät vastuksetkaan eivät pura heti kondensaattoria, vaan on odotettava kolme minuuttia, jotta jäännösvarausta ehtii laskea alle 75 V. [4, s. 43.] Siksi on tärkeää, että paristot aina mitataan ja navat oikosuljetaan, jolloin varmistetaan, että paristoissa ei ole jäännösvarausta. Useissa paristoissa vastukset on sisäänrakennettu, jolloin niiden aistinvaraista tarkastusta ei voida helposti suorittaa. Kuvassa 12 on lämpökuvakuva ulkoisista purkausvastuksista, kun paristo on kuormitettuna.



Kuva 12. Korkea lämpö saattaa vaurioittaa purkausvastuksia, minkä seurauksena paristo ei purkaudu.

4.2 Aistinvarainen tarkistus

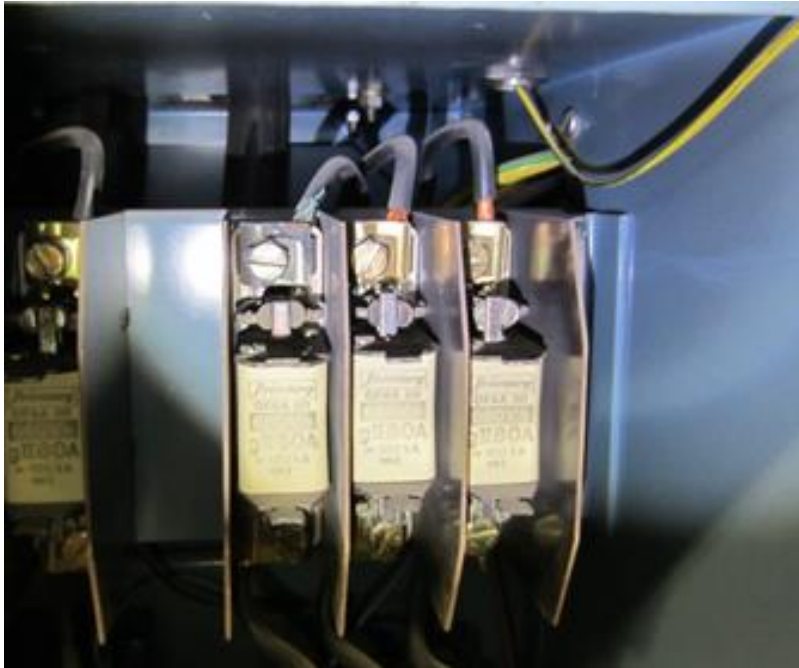
Aistinvaraisessa tarkistuksessa (kuva 13) tulee tarkistaa ulkoisesti havaittavat vauriot tai puutteet laitteistossa, esimerkiksi näkyvillä olevien purkausvastuksien kunto, ilmavälit komponenttien välillä, vauriot kaapeleissa ja paristoissa, kosketussuojien kunto sekä laitteiston varoitusmerkinnät [2].



Kuva 13. Aistinvaraisessa tarkistuksessa tulee kiinnittää huomiota komponenttien kuntoon.

4.3 Virtaliitosten kiristys

Huollon yhteydessä tulee tarkistaa liitokset. Löysät liitokset saattavat aiheuttaa valo-kaaren ja tulipalon. Laitteiston sisällä kaapelointi on usein tehty käyttäen joko MK- tai MKEM-johtimia, jotka valmistajasta riippuen kestävät yleensä 70 °C jatkuvassa käytössä. Löysä liitos saattaa nostaa lämpötilat tätä korkeammalle, jolloin eristeet alkavat vaurioitua (kuva 14). Mikäli käytössä on lämpökamera (kuva 15), tämä auttaa havaitsemaan mahdolliset epätavallisen kuumat kohdat.



Kuva 14. Löysä virtaliitos, jonka seurauksena johtimen eriste on vaurioitunut.

Kontaktorin pääkoskettimissa oleva löysä liitos aiheuttaa usein kontaktoriin ylimenovastusta, minkä vuoksi pelkkä johtimen vaihto ei välttämättä riitä. Porras tulee testata kuormittamalla sitä ja kontaktorin liittimien kunto tulee varmistaa aistinvaraisesti.



Kuva 15. Lämpökamera on hyvä työkalu mahdollisten löysien liitosten etsimiseen.

4.4 Virtamittaus

Tärkein kondensaattorin kunnosta tietoa antava mittaus on virtamittaus. Estokelaparis-
toilla mittaus tehdään ennen estokelaa, koska estokela aiheuttaa virtahäviöitä. Laitteis-
ton valmistajalta tai toimittajalta tulee tiedustella, paljonko virta-arvot saavat poiketa
nimellisvirta-arvoista ennen kuin paristo on vaihdettava. Yleensä valmistajat suosittele-
vat noin 10 %:n poikkeamaa, jolloin pariston katsotaan kuluneen loppuun. Loppuun
kulunut paristo on poistettava käytöstä, koska se aiheuttaa palovaaran. Uudet paristot
ovat yleensä itsekorjaantuvia, jolloin ne ideaalilanteessa itse sulkevat vaurioituneet
kohdat pois käytöstä. Vanhat kondensaattorit saattavat sisältää aineita, jotka tekevät
niistä ongelmajätteitä, jolloin ne on hävitettävä asianmukaisesti.

Kolmioon kytketyn pariston virta voidaan laskea kaavalla 8.

Lasketaan esimerkkinä 50 kvarin pariston virta I:

$$I = \frac{Q}{U\sqrt{3}} = \frac{50000\text{var}}{400\text{V}\sqrt{3}} = 72,2 \text{ A} \quad (8)$$

jossa I on pariston yhden vaiheen virta

Q on pariston loisteho

U on napojen välinen jännite eli pääjännite [23, s. 128]

On huomioitava, että estokelat nostavat paristolta vaadittavaa jännitekestoisuutta.
Usein pariston loisteho ja virta ilmoitetaan maksimijännitteellä. Pitää muistaa, että
Suomessa pienjänniteverkon jännite on 400 V, jolloin maksimijännitteellä ilmoitetut
arvot poikkeavat 400 V:n arvoista (kuva 16).

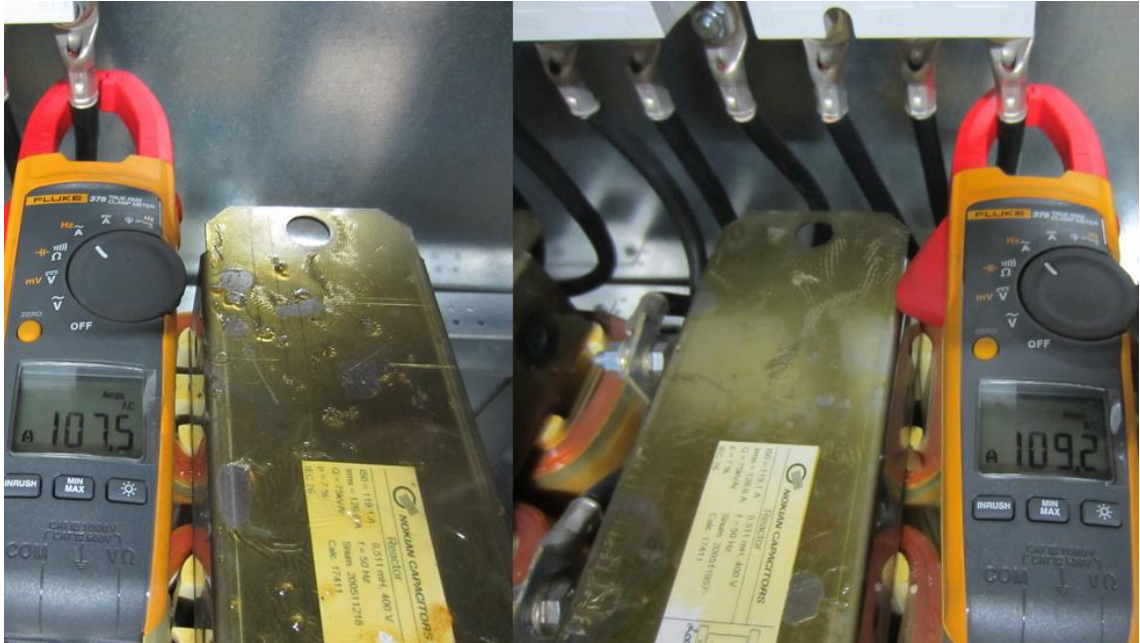


Kuva 16. Frakon kondensaattori, jonka arvoista näkee hyvin, miten jännite vaikuttaa virtaan ja loistehoon.



Kuva 17. Nokian Capacitorsin 75 kvarin pariston virtamittaus vasemmalla pariston ja estokelan välistä ja oikealla kontaktorin ja estokelan välistä.

Kuvassa 17 mitattu porras antaa eri tuloksen ennen ja jälkeen estokelan. Tämä johtuu estokelan virtahäviöistä. Porras tulee aina mitata ennen estokelaa, jotta saadaan oikea tulos [2].



Kuva 18. Nokian Capacitorsin 75 kvarin pariston virtamittaus. Vasemmalla PF arvo on 1,00, oikealla verkko on ylikompensoitu, mikä vaikuttaa virtamittauksen tulokseen.

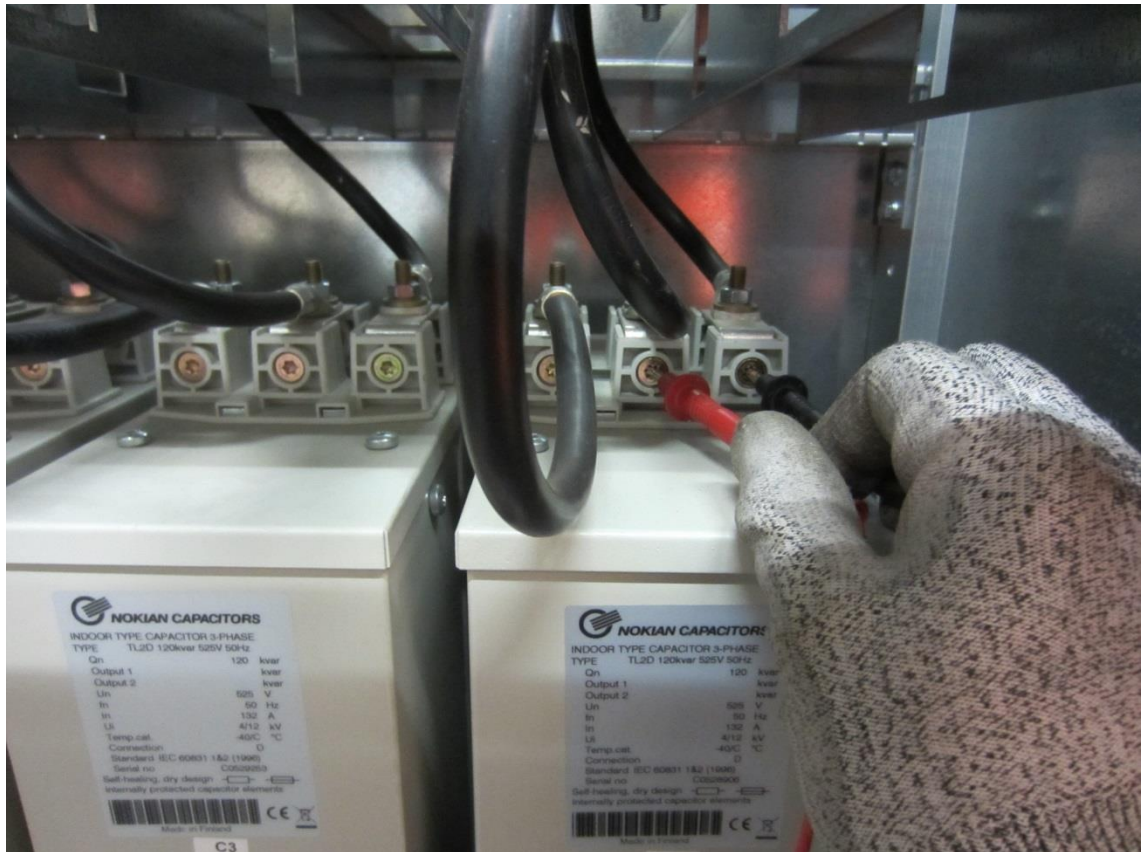
Ylikompensoidussa verkossa mitatut virta-arvot ovat virheellisesti liian korkeita. Tämän pystyy usein välttämään kytkemällä ja mittaamalla portaat yksitellen (kuva 19). Joillakin säätimillä tämä voi olla hankalaa, koska manuaalisesti ei voida valita portaiden kytkentäjärjestystä. Tällöin voidaan testatuista portaista ottaa syöttävät sulakkeet pois tai vaihtoehtoisesti kytkeä irti säätimeltä portaan ohjaus, jolloin ne eivät syötä kapasitiivista tehoa verkkoon.



Kuva 19. Nokian Capacitorsin NC-12-säätimellä pystyy testaamaan manuaalisesti yhden halutun portaan kerrallaan.

4.5 Kapasitanssimittaus

Joidenkin valmistajien paristoissa on kapasitanssi ilmoitettu arvokilvessä. Karkeasti arvioiden kolmiokytketyn kapasitanssiarvo on $100 \mu\text{F} / 10 \text{ kV}$ arvojen välistä mitattuna. Mikäli nimellisarvoja ei ole saatavilla, eikä valmistaja ole antanut toleranssia kapasitanssille, tulee kapasitanssimittausta käyttää vain virtamittauksen apuna.



Kuva 20. Kapasitanssimittaus suoritetaan jännitteettömänä pariston navoista.

Kuten kuvassa 20, mittaus tulee suorittaa suoraan kondensaattorin navoista, koska estokela saattaa vääristää mittaustulosta. Nokian Capacitors antaa 400 voltin 50 kvarin paristolle 497,4 μF kapasitanssin napojen välistä mitattuna [11].

Tämä voidaan laskea kaavalla 9 ja 10.

$$C = \frac{I^2}{2 * f * \pi * Q} = \frac{(72,2A)^2}{2 * 50 \frac{1}{s} * \pi * 50000 \text{var}} = 332 \mu\text{F} \quad (9)$$

jossa C on yhden kondensaattorin kapasitanssi

I on yhden vaiheen virta, joka saatu kaavalla 8.

f on taajuus

Q on loisteho eli pariston koko vareina

Navoilta mitattuna kolmioon kytketyn kondensaattorin kaksi sarjassa olevaa kapasitanssia on rinnan napojen välissä olevan kapasitanssin kanssa.

Näiden kapasitanssi C_s voidaan laskea kaavalla 10

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{1}{332\mu\text{F}} + \frac{1}{332\mu\text{F}}, \text{ josta } C_s = 166 \mu\text{F} \quad (10)$$

jossa C_s on kahden sarjassa olevan kondensaattorin kapasitanssi

Tämä pitää laskea yhteen kahden navan välissä olevan rinnan kytketyn kapasitanssin kanssa, jotta saadaan napojen välinen kapasitanssi, jossa kaikki kolme kondensaattoria ovat vaikuttamassa mittaustilanteessa.

$$C_V = C + C_s = 332\mu\text{F} + 166\mu\text{F} = 498 \mu\text{F}$$

jossa C_V on napojen välinen kapasitanssi

Tulos täsmää Nokia Capacitorsin ilmoittaman arvon kanssa.

4.6 Säätimen toiminta

Säätimen tehokertoimen oikeellisuus voidaan parhaiten tarkistaa kytkemällä verkko-analysointilaite säätimen kanssa samaan vaiheeseen. Yleensä säätimen virtamuuntaja on L1 -vaiheessa. Tehokerroin muuttuu kytkettäessä portaita päälle ja pois. Mikäli molemmat laitteet näyttävät samaa arvoa, tiedetään säätimen käyttävän oikeaa tehokerrointa verkon optimointiin. Jos arvot eivät laitteissa täsmää, on usein virtamuuntajan arvo väärin. Väärä arvo saattaa johtua esimerkiksi siitä, että keskus on uusittu, mutta uuden virtamuuntajan muuntosuhdetta ei ole päivitetty säätimeen. Virhemarginaali on suoraan verrannollinen virtamuuntajan muuntosuhteeseen, esimerkiksi jos keskuksessa on 1000/5A ja asetusarvo on laitettu 1200/5A muuntosuhteen mukaan, virhe on 20 %, eli huomattavan suuri.



Kuva 21. Nokian Capacitors NC-12 -säätimen tehokerroin on varmistettu analysaattorilla. Ylempänä 37,5 kvarin paristo ja 3 kpl 75 kvarin paristoja on kytketty verkkoon, alempana verkkoon ei ole kytketty paristoja.

4.7 Puhdistus

Useissa kompensointilaitteissa on ilmansuodattimet, jotka tulee vaihtaa ainakin kerran vuodessa (kuva 22). Mikäli suodatin menee tukkoon, laitteisto ei ota tuulettimen pyöriessä korvausilmaa suodattimen läpi vaan ilmaraoista, jolloin pölyä tulee laitteistoon. Puutteellinen ilmanvaihto nostaa myös laitteiston sisällä lämpötilaa, mikä taas vaikuttaa paristojen elinkaareen, kuten luvussa 3.3 Lämpötila selitettiin. Lisäksi pöly lisää tulipaloriskiä.



Kuva 22. Nokian Capacitorsin uusimmissa kompensointilaitteistoissa suodattimen vaihto onnistuu ilman kannen avausta, jolloin jännitteiset osat eivät tule näkyviin.

4.8 Lämpötila

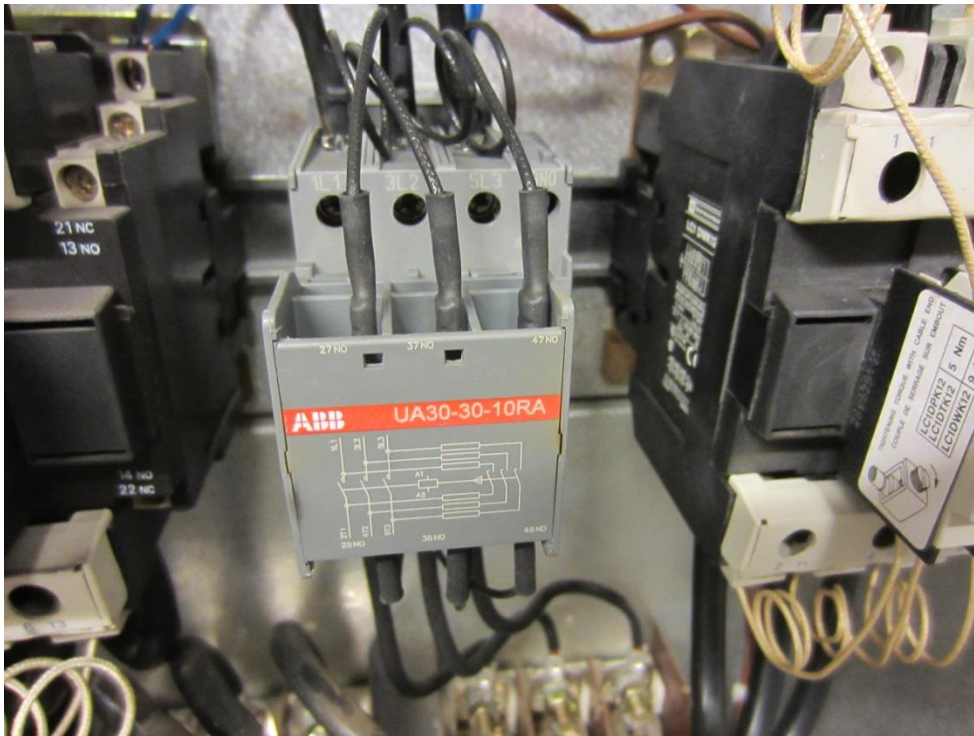
Huolloissa tulee kiinnittää huomiota lämpötilaan, kuten kohdassa 3.3 selitettiin. Ajan mittaan tuulettimet saattavat mennä epäkuntoon. On hyvä visuaalisesti tarkistaa, että flektin siivet pyörivät. Mikäli tuuletin pitää epätavallisen kovaa ääntä, voi laakeri olla kulunut ja tuuletin pitää vaihtaa.



Kuva 23. Nokian Capacitors -kompensointilaitteistojen lämpötilan säätö. Kuvassa vasemmalla on sisäinen ja oikealla ulkoinen termostaatti.

4.9 Kontaktorin vaihto

Kompensointilaitteistoissa kontaktoreita joudutaan vaihtamaan eri syistä. Kontaktori voi olla mennyt epäkuntoon tai laitteistossa voi olla laskuri, joka antaa hälytyksen kytkentöjen maksimimäärän tullessa täyteen. Mikäli kontaktorissa ei ole vaimennusvastuksia (kuva 24), suuri kytkentävirta kuluttaa kontaktoria. Kontaktorin on kestävä 1,5-kertaisesti portaan pariston nimellisvirta, johtuen standardin sallimasta 30 %:n ylivirrasta ja +15 %:n kapasitanssitoleranssista.



Kuva 24. ABB:n ja Telemecaniqueen vaimennusvastuksilla varustettuja kontaktoreita.

Taulukko 4. Kontaktoreiden käyttöluokat [10, s. 16].

Käyttöluokat	Tyypilliset sovellukset
AC- 1	Ei-induktiiviset tai lievästi induktiiviset kuormitukset, vastusuunit, sähkölämmitykset ja vedenlämmittimet
AC- 2	Liukurengasmootorit: käynnistys, pysäytys
AC- 3	Oikosulkumootorin käynnistys, pyörivän moottorin pysäytys
AC- 4	Oikosulkumootorin tippakäynnistys, suunnanvaihto ja vastavirtajarrutus
AC- 5 a	Purkauslamppujen kytkentä
AC- 5 b	Hehkulamppujen kytkentä
AC- 6 a	Muuntajien kytkentä
AC- 6 b	Kondensaattoriparistojen kytkentä
AC- 7 a	Lievästi induktiiviset kuormitukset kotitaloussähkölaitteissa
AC- 7 b	Moottorikuormitukset kotitalousovellutuksissa
AC- 8 a	Hermeettisten jäähdytysmoottorikompressorien ohjaus, palautus käsikäyttöinen
AC- 8 b	Hermeettisten jäähdytysmoottorikompressorien ohjaus, palautus automaattinen

Yleensä kontaktoreille nimellisarvot ilmoitetaan luokassa AC-3, joka ei vastaa rasitukseltaan kompensointipariston kytkentää (taulukko 4). Siksi on varmistettava, että kontaktori soveltuu pariston kytkentään. Oikea käyttöluokka on AC-6b. Vaimennusvastuksilla varustetut kontaktorit on suunniteltu kontaktoreiden kytkentään ja niiden kestävyys yleensä ilmoitetaan kvareina. Toiminta perustuu siihen, että kondensaattori varautuu

sarjavastuksien kautta ennen kuin kontaktorin kärjet sulkeutuvat, ja näin vältetään lähes kokonaan kytkentätransienteilta. [9, s. 36.]

4.10 Pariston kytkeminen irti

Tilanne, jossa yhden portaan paristo on kulunut loppuun ja se halutaan poistaa käytöstä, voidaan toteuttaa monella eri tapaa. Uusissa säätimissä saattaa olla mahdollista ottaa porras pois käytöstä, jolloin säädin ei kytke sitä verkkoon automaattiohjauksella. Mikäli tämä ei ole mahdollista, voidaan kytkeä kontaktorin ohjaus fyysisesti irti ja/tai poistaa portaan syöttävät sulakkeet. Ongelmaksi saattaa muodostua säädin, joka olettaa portaassa olevan vikaa, koska verkon loisteho ei muutu. Toisin sanoen riippuu valmistajasta ja säätimestä, mikä vaihtoehto on paras.

4.11 Hälytykset

Säätimissä on valmistajasta riippuen paljon eri hälytyksiä, joista osa on jo tehtaalla deaktivoitu. Loistehosäätimissä on yleensä hälytysloki, josta voi tarkistaa, mitä hälytyksiä on tai on ollut aktiivisina. Huollon yhteydessä on myös hyvä tarkastaa, että halutut hälytykset on säädetty aktiivisiksi. Tärkeänä hälytyksenä voidaan pitää esimerkiksi poikkeavaa $\cos\phi$ -arvoa. Säätimen hälytystoiminnan pitää olla ehdottomasti kunnossa. Tämän voi testata luomalla keinotekoisesti jonkun hälytyksen, esimerkiksi kytkemällä portaita syöttävän lähdön irti, jolloin säädin kytkee kaikki portaat verkkoon eikä saavuta tavoitetehokerrointa, jolloin säätimestä riippuen tulee alikompensointi- tai portaat loppu-hälytys.

4.12 Pumppaus

Pumppauksella tarkoitetaan tilannetta, jossa tehokerroin menee yli tavoitetehokertoimen portaan kytkemisen seurauksena. Tavoitetehokertoimen ylittyessä kyseinen porras kytketään heti irti verkosta. Sama tapahtumasarja toistuu jatkuvasti. Se aiheutuu väärin määritetystä havahtumisrajasta. On tullut vastaan myös tilanteita, jossa ensimmäinen porras on kulunut loppuun ja se on otettu pois käytöstä, mutta ei muutettu havahtumisrajaa. Mikäli seuraava porras on isompi, säädin alkaa pumppaamaan (kuva 25). Havahtumisraja pitää aina olla laskettu pienimmän portaan mukaan. Pumppaus

aiheuttaa transientteja verkkoon liian usein verrattuna normaalisti toimivaan laitteistoon. Lisäksi kontaktori kuluu loppuun lyhyessä ajassa, koska kytkentöjä tapahtuu jatkuvasti säädetyn viiveen mukaan, joka on yleensä 30–60 sekuntia.



Kuva 25. Nokian Capacitors NC-12 -loistehosäädin, jossa on aktiivinen pumppaushälytys. Syyinä oli liian pieni induktiivinen havahtumisraja.

5 Raporttipohjan luonti

5.1 Asiakkaan raportti

Tavoite oli saada asiakkaan raportista yksinkertainen, tiivis ja helposti luettava kokonaisuus, jossa heti selviää, onko laitteistossa korjattavaa vai toimiiko laite normaalisti. Kun ajatellaan asiakasta, hän ei välttämättä ole sähköalan ammattihenkilö eivätkä häntä kiinnosta mittausarvot, joten mahdolliset korjaustoimenpiteet tulee saada raportin alkuun. Tällöin tilaaja voi jättää lukematta teknisen osuuden. Koska huolloissa kirjattavia arvoja on paljon, on pohjan tekeminen taulukkolaskentaohjelmalla järkevää.

5.2 Yrityksen raportti

Yrityksen raporttipohjaa luotaessa ajatuksena oli, että kaikki tieto korjauslaskelman tekemiseen saadaan raportista. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi portaan kontaktori, portaan johdotus, liittimet jne. Näitä tietoja ei ole syytä laittaa asiakkaan kappaleeseen. Asiakkaan ja yrityksen raporttien tullessa samasta pohjasta on raportin teko helppoa ja nopeaa.

5.3 Korjaustarjouksen tekeminen raportin pohjalta

Kun tiedetään, mitä laitteistossa on vialla, korjaustarjouksen tekemiseen tarvitaan osien hinnat. Paristot, säätimet ja tuulettimet saadaan helpoiten suoraan valmistajalta. Liitteessä 2 on luettelo tunnetuimmista kompensointilaitteistojen valmistajista ja toimittajista. Niin sanotut yleiset sähkötarvikkeet ja komponentit, kuten kontaktorit, johtimet sekä liittimet, voi hyvin hankkia lähimmästä sähkötukusta.

6 Yhteenveto

Kompensointilaitteiston huollon voi tehdä haastavaksi valmistajien laaja kirjo, toimittajilla ei aina ole laitteistoista tarkkoja tietoja, jolloin esimerkiksi mittauksien tulkinta on haasteellista. Myös loistehosäätimen manuaalien puuttuminen vaikeuttaa työtä. Laitteistoissa saattaa olla myös erityispiirteitä, joita ei ole mainittu manuaalissa, ja ne selviävät vain tiedusteltaessa valmistajalta. Käyttöön otosta saa valmistajalta yleensä myös hyvin apua, mikäli vastaan tulee ongelmia. Lisäksi laitteen toimituksessa yhteydessä tulee ohjeita käyttöönottoon.

Suurimmilla valmistajilla, kuten Alstom Grid (entinen Nokian Capacitors) ja ABB, laitteistot ovat laadukkaita ja helposti huollettavissa. Myös varaosien saanti on hyvin hoidettu ja mikäli kohteessa ei jostain syystä ole säätimen manuaalia, saa sen joko suoraan internetistä tai pyytämällä valmistajalta vielä suomenkielisenäkin.

Olen myös törmännyt ongelmaan, että raportin korjauskehotuksiin ei ole asiakkaan puolelta reagoitu. Tämä on käynyt ilmi tapauksissa, joissa olen mennyt huoltamaan samaa kompensointilaitetta toista kertaa ja edellisessä huollossa havaitut viat ovat

edelleen korjaamatta. Siksi on hyvin tärkeää, että lähellä elinkaarensa loppua olevat paristot otetaan pois käytöstä ja näin vältetään palovaara ainakin näiden paristojen osalta. Myös tästä syystä on mielestäni tärkeää, että raportti on helposti luettava, jolloin korjauskehotuksiin on helpompi reagoida.

Tässä työssä käsiteltiin kompensoinnin peruseriaatteita, jotka laitteistoa käyttönottavan ja huoltavan henkilön tulisi osata. Työelämässä saattaa eteen tulla kompensointiin liittyen erilaisia ongelmia, joiden ratkaiseminen edellyttää syvällistä sähkön tuntemusta. Esimerkiksi sähkönlaadussa saattaa olla poikkeamia, jotka vaikuttavat kompensointiin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että työn kannalta optimaaliseen tulokseen pyrittäessä tulisi työtä suorittavan henkilön olla hyvin tehtävään koulutettu ja osata hyvin sähkönlaadun perusteet.

Lähteet

- 1 Männistö ym. 2006. Yliaallot ja kompensointi. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- 2 Sähkön laadun ja häiriöiden mittaukset sekä loistehon kompensointi. 2012. Luentomateriaali. Adato Energia Oy.
- 3 Korpinen ym. 2012. Yliaalto-opus. Verkkodokumentti.
<http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/ylialto-opus.pdf>. Luettu 9.2.2014.
- 4 IEC 60831-1 standardi. 2014. International Electrotechnical Commission.
- 5 Hurri Jussi. Passiiviset komponentit vaihtosähköpiirissä. Verkkodokumentti. Turun ammattikorkeakoulu.
<http://staff.turkuamk.fi/jhurri/stp/komponentit%20vaihtosahkopiirissa.pdf>. Luettu 10.2.2014.
- 6 Verkkopalveluhinnasto. 2013. Verkkodokumentti. Fortum Espoo Distribution Oy.
https://www.fortum.fi/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Sahkon-siirto-ja-liittymat/FED_Verkkopalveluhinnasto_1.6.2013_fi.pdf. Luettu 10.2.2014.
- 7 Sähkön siirtohinasto. 2014. Verkkodokumentti. Helen Sähköverkko Oy.
<http://www.helen.fi/Documents/Hinnasto%20-%20HSV/S%C3%A4hk%C3%B6n%20siirto.pdf>. Luettu 10.2.2014.
- 8 A12 loistehosäädin manuaali. 1997. Nokian Capacitors.
- 9 Pienjännitetuotteet, käynnistimet. 2011. Verkkodokumentti. ABB Oy.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/a684927c8d8b98fac125794f0047e71a/\\$file/ESite%20KaynnistimetF111_09.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/a684927c8d8b98fac125794f0047e71a/$file/ESite%20KaynnistimetF111_09.pdf). Luettu 14.2.2014.
- 10 TTT-käsikirja 2000-7. 2000. ABB Oy.
- 11 Sähkön verkkopalveluhinnasto. 2014. Verkkodokumentti. Tampereen Sähkölaitos.
<https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/hinnastotjasopimusehdot/Documents/S%C3%A4hk%C3%B6n%20siirtotariffit%2001-01-2014.pdf>. Luettu 18.2.2014.
- 12 Hinnastot. 2014. Verkkodokumentti. Oulun energia.
http://www.ouluenergia.fi/sahkonsiirto/hinnastot/sahkon_siirtoehdot. Luettu 18.2.2014.

- 13 Sähkönmyyntihinnasto. 2014. Verkkodokumentti. Turku Energia.
http://www.turkuenergia.fi/files/1713/7034/5259/Sahkonmyyntihinnasto_01012013.pdf. Luettu 18.2.2014.
- 14 Sähköhinnasto. 2014. Verkkodokumentti. Jyväskylän Energia.
http://www.jyvaskylanenergia.fi/filebank/650-sahkohinnasto_2014_web.pdf. Luettu 18.2.2014.
- 15 Sähkönsiirtohinnot. 2014. Verkkodokumentti. Kuopion Energia.
<http://www.kuopionenergia.fi/sahkoverkko/sahkohinnastot/siirto-1.1.2014>. Luettu 18.2.2014.
- 16 Palvelut ja hinnastot. 2014. Verkkodokumentti. Lahti Energia.
<http://www.lahtienergia.fi/sahkon-siirto/palvelut-ja-hinnastot/502>. Luettu 18.2.2014.
- 17 Sähkön siirtohinnot. 2014. Verkkodokumentti. Kymenlaakson Sähkö.
<http://www.ksoy.fi/kotitalouksille/sopimukset-ja-hinnat/hinnat-ja-ehdot/sahkon-siirtohinnot>. Luettu 18.2.2014.
- 18 Verkkopalveluhinnasto. 2014. Verkkodokumentti. Vantaan Energia Sähköverkot.
http://www.vantaanenergia.fi/fi/Sahkoverkko/hinnastot/Documents/Verkkopalveluhinnasto_010114.pdf. Luettu 19.2.2014.
- 19 SFS-EN 50160 Standardi. 2010. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 20 Pienjännitekompensointiparistot APC. 2005. Verkkodokumentti. ABB Oy.
[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT209.nsf/VerityDisplay/77365993746F55F5C125702D004F7750/\\$File/2GCS201102A0040.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/SCOT209.nsf/VerityDisplay/77365993746F55F5C125702D004F7750/$File/2GCS201102A0040.pdf). Luettu 13.8.2014.
- 21 Kesäläinen Ilkka. Huoltoinsinööri. ABB Oy. Puhelinkeskustelu 7.4.2014
- 22 Vuosikertomus 2013. 2014. Lemminkäinen talotekniikka.
- 23 Mäkelä ym. 2010. Tekniikan kaavasto. Tammertekniikka.

Kymmenen suurimman kaupungin sähköverkkoyhtiöiden loistehotariffit ja laskutusperusteet pienjänniteverkossa (alkuvuosi 2014)

Yhtiö	Induktiivisen loistehon laskutusperusteet	loistehomaksu €/kvar
Helsingin Energia	<i>Loistehon laskutusteho on kuukauden suurin mitattu loisteho, josta on vähennetty joko 40% saman kuukauden suurimmasta mitatusta pätötehosta tai vähintään 50 kvar [7].</i>	2,47
Fortum Espoo distribution	<i>Loistehomaksun perusteena on kuukausittainen loistehohuippu, josta on vähennetty 20 % saman kuukauden pätötehohipun määrästä [6].</i>	3,87
Tampereen sähkölaitos	<i>Laskutettava loisteho on kuukauden suurin mitattu induktiivinen loisteho, josta on vähennetty 20% laskutuspätötehon määrästä tai vähintään 50 kvar [11].</i>	1,55
Vantaa Energia	<i>Kuukausittain mitatusta loissähköstä laskutetaan verkkopalvelun yhteydessä se osa, mikä ylittää puolet asiakkaan kulloisestakin laskutustehosta [18].</i>	2,5
Oulun Energia	<i>Loistehoveloitus määräytyy laskutuskauden aikana esiintyneen suurimman 60 minuutin loishuipun mukaan. Loistehohuipusta jätetään veloittamatta 0,16 kvar kutakin samalta laskutuskaudelta veloitetun pätötehohipun kilowattia kohti [12].</i>	1,23
Turku Energia	<i>Loistehomaksun perusteena on kuukausittainen loistehohuippu, josta on vähennetty 20 % saman kuukauden pätötehohipun määrästä [13].</i>	0,00
Jyväskylän Energia	<i>Tehosähköjen loistehosta on ilmaista 0,25 kvar jokaista kuukausittaisen pätötehohipun yhtä kilowattia kohti [14].</i>	5,11
Kuopion Sähkö	<i>Loistehomaksu laskutetaan kalenterikuukausittain loistehosta, joka ylittää 20 % pätötehon arvosta [15].</i>	2,92
Lahti Energia	<i>Loistehon ilmaisosuus on 20 % kunkin kuukauden mitatusta pätötehosta [16].</i>	3,03
Kymenlaakson Sähkö (Kouvola)	<i>Loistehomaksun perustana on kuukausittain mitattu loisteho, josta vähennetään 20 % laskutettavan pätötehon lukuarvosta. Huipun mittausjakso on 1tunti [17].</i>	8,48

Yksikään listan sähköyhtiöistä ei laskuta kapasitiivisesta loistehosta, osa kylläkin rajaa, että kuluttajan verkko ei saa olla kapasitiivinen. Ainakin Tampereen sähkölaitos alkaa laskuttamaan myös kapasitiivisesta loistehosta vuoden 2015 alusta [11].

Kompensointilaitteistojen valmistajia ja toimittajia pienjänniteverkkoon

Kompensointilaitteistojen valmistajia ja toimittajia	Automatiikka paristo	Estokelaparisto	Huoltopalvelut
Alstom Grid	kyllä	kyllä	kyllä
Falico Oy	kyllä	kyllä	kyllä
Norelco Oy	kyllä	kyllä	kyllä
Tampereen kondesaattoritehdas	kyllä	kyllä	*
ABB	kyllä	kyllä	kyllä
UTU	ei	kyllä	kyllä

*koulutus käyttöön ja kunnossapitoon