

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Pesonen Niko

SÄHKÖVERKON SÄHKÖN LAATU PANKAKOSKEN KARTONKI-
TEHTAALLA

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2012



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2012
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä
Niko Pesonen

Nimeke
Sähköverkon sähkön laatu Pankakosken kartonkitehtaalla

Toimeksiantaja
Empower Oy Pankakosken kartonkitehdas

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tutkittiin sähköverkon sähkön laatua Pankakosken kartonkitehtaalla. Tarkoituksena oli saada selvitys loistehon kompensointitilanteesta ja kompensointivaihtoehdoista. Selvitys tarvittiin tehtaan ja Kemijoki Oy:n välisiin neuvotteluihin loissähkön kompensoinnista.

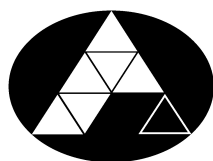
Sähkön laatua koskevia mittauksia, arviointeja ja tutkimuksia oli tehty monena vuonna. Yliaaltomittaukset tehtiin tehtaan tärkeimmissä sähköverkon osissa. Mittaukset eivät noudattaneet täysin jännitestandardin mukaisia vaatimuksia.

Sähkön laatu oli pääosin hyvä. Z-pääkeskuksen sähkön laatu oli standardi-tasoista. Mittausten perusteella esiteltiin vaihtoehto oman loistehon kompensoinnista, josta esitettiin suuntaa antava kustannusarvio. Loistehon kompensointi kannattaisi pyrkiä jatkossakin toteuttamaan voimalaitoksilla. Loissähkösopimus Enocell Oy:n kanssa mahdollistaa suurimman ilmaisen loissähköikkunan.

Kieli
Suomi

Sivuja	51
Liitteet	7
Liitesivumäärä	13

Asiasanat
sähkön laatu, tahtikone, generaattori, yliaallot, loistehon kompensointi



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
April 2012
Degree Programme in
Electrical Engineering
Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358-13-260 6800

Author
Niko Pesonen

Title
Electrical Network Power Quality at Pankakoski Board Mill

Commissioned by
Empower Oy Pankakoski

Abstract

The aim of this thesis was to study and analyze quality of power in the electrical network of the board mill in Pankakoski. The purpose was to get a report of the reactive power compensation and options for compensation. Empower Oy needed the report for the forthcoming negotiations over reactive power compensation with Kemijoki Oy.

Measurements, evaluations and analyses concerning the quality of power were made during several years. Harmonic measurements were made on the most important parts of the electrical network of factory. The measurements did not fully meet the regulations of the voltage standard.

Power quality was generally on a good level. The power quality of Z-switchboard was on standard level. An alternative for reactive power compensation and an approximate estimate of costs were proposed based on the measurements. The compensation of reactive power should be made at hydroelectric power plants in future. Written agreement of reactive power with Enocell Oy enables the largest window to take or give reactive power.

Language
Finnish

Pages 51
Appendices 7
Pages of Appendices 13

Keywords
power quality, synchronous machine, generator, harmonics, compensation of reactive power

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Loisteho.....	6
2.1	Kompensoinnin tarve.....	9
2.2	Loistehoa kuluttavat ja tuottavat laitteet teollisuuden sähköverkossa.....	9
3	Yliaallot.....	10
3.1	Yliaaltoja koskevat säädökset ja suositukset	10
3.2	Yliaaltojen lähteet.....	12
3.3	Yliaaltojen haittavaikutukset.....	13
4	Kompensoinnin toteutus	14
4.1	Kompensointitavat ja laitteistot.....	15
4.2	Kompensointitavan valinta	17
5	Säröteho	18
6	Pankaboard Oy	18
6.1	Sähköverkko.....	19
6.2	Loissähkön toimituspisteryhmä	21
6.3	Loistehon omavaraisuus	23
6.3.1	Hiomon loistehon kompensointi	25
6.3.2	Loistehomaksut ainoastaan oman kompensoinnin tilanteessa	26
7	Mittaukset.....	27
8	Johtopäätökset mittaustuloksista	43
9	Mahdollinen kompensointi ja yliaaltojen suodatuslaitteisto	44
10	Johtopäätökset	47
11	Pohdinta	48
	Lähteet.....	50

Liitteet

- Liite 1 Toimituspisteryhmän loissähkösopimuksen liite 1
- Liite 2 Huhtikuun 2011 kuukausikulutus
- Liite 3 Vanhojen kaapeleiden kuormitettavuuksia
- Liite 4 AHXAMK-W-kaapelin kuormitettavuustaulukko
- Liite 5 Oikosulkusimulaation tulokset
- Liite 6 Oikosulkuvirtojen arvoja
- Liite 7 Kompensointilaitetarjoukset

Lyhenteet

AHXAMK-W	Muovieristeinen alumiinivoimakaapeli
APYAKMM	Öljypaperieristeinen alumiinivoimakaapeli
EN	European Standard, eurooppalainen standardi
kV	Kilovoltti
kvar	Kiloreaktiivinen voltiampeeri
Mvar	Megareaktiivinen voltiampeeri
MW	Megawatti
MWh	Megawattituntia
SFS	Suomen standardoimisliitto SFS ry
THD	Total Harmonic Distortion, harmoninen kokonaissärö
THD-F	Harmonisten yliaaltojen määrä suhteessa perustaajuiseen komponenttiin
THD-R	Harmonisten yliaaltojen määrä suhteessa tehollisarvoiseen komponenttiin

1 Johdanto

Työn tarkoituksena oli tehdä Pankakosken kartonkitehtaan sähkön laadusta johtopäätökset tulevaisuuden kompensointia koskevia neuvotteluja varten Kemijoki Oy:n kanssa. Johtopäätöksien lisäksi työssä esitetään kompensointi ratkaisu ja sen kustannusarvio. Johtopäätökset sähkönlaadusta tehtiin viimeisimpien asiantuntijoiden tutkimusten, arviointien ja mittausten perusteella. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Empower Oy ja toimeksiantajan edustaja Juha Anttonen toimi työn valvojana. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun puolesta työn valvojana toimi sähkötekniikan lehtori Jorma Pekkanen.

Tehtaan sähköverkossa sähkön laatuun vaikuttavia kuormia on paljon. Molemmat tuotantolinjat on toteutettu tasavirtakäyttöillä. Tehtaalla on myös taajuusmuuttajilla toteutettuja moottoreiden syöttöjä. Valaisinkeskuksissa on runsaasti loisteputkia kuormana. Hiomakoneiden avulla pystytään vaikuttamaan parantavasti sähkönlaatuun.

Työssä esitetään tehtaan 10 kilovoltin kojeiston syötön ylikuormaan ratkaisuvaihtoehdot. Lisäksi esitetään johtopäätökset loistehon kompensointia koskeviin neuvotteluihin Kemijoki Oy:n kanssa.

2 Loisteho

Perustaajuinen vaihtosähköteho eli vaihtojännitteen ja vaihtovirran tehollisarvojen tulo on nimeltään perustaajuinen näennäisteho, jonka suureen tunnus on S .

$$S_1 = U_1 I_1 \tag{1}$$

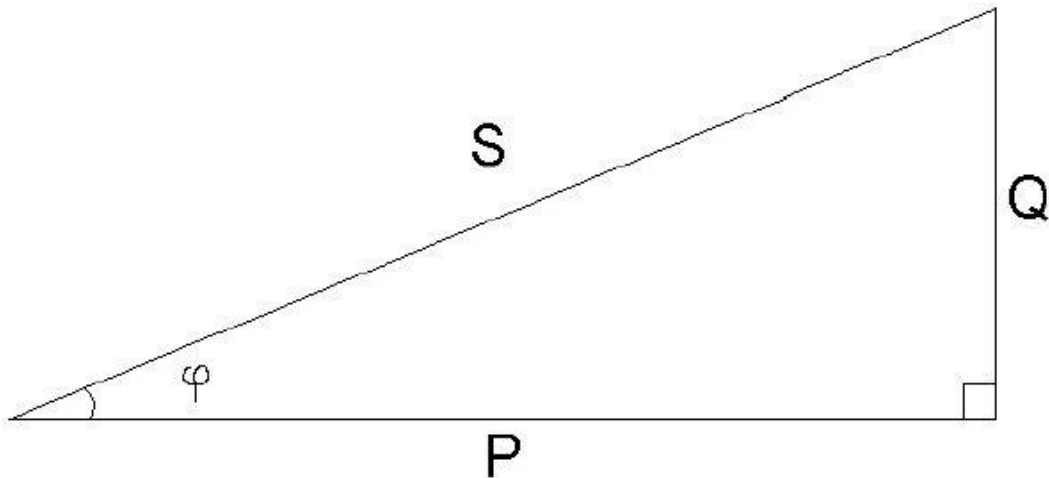
jossa

I_1 on perustaajuinen virta

U_1 on perustaajuinen jännite

S_1 on perustaajuinen näennäisteho

Kokonaisnäennäisteho koostuu kokonaispätötehosta ja kokonaisloistehosta[1, s. 16].
Kuvassa 1 esitetty tehokolmio kuvaa suureiden suhdetta toisiinsa.



Kuva 1. Tehokolmio[3].

Suorakulmaisesta tehokolmiosta saadaan Pythagoraan lauseen ja trigonometrian avulla johdettua kaavoja perustaajusten tehojen sekä perusaallon tehokerroimen laskemiseen[1, s. 16; 2]. Yliaaltotaajuuksia sisältävät tehosuureet on määritelty vastaavasti, mutta kaavoissa käytetään kokonaistehojen suureita.

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (2)$$

jossa

S on kokonaisnäennäisteho[VA]

P on kokonaispätöteho[W]

Q on kokonaisloisteho[VAr on reaktiivinen VA].

Perustaajuisista sähkösuureista voidaan laskea perustaajuinen tehokerroin, pätöteho ja loisteho.

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} = DPF \quad (3)$$

jossa

$\cos \varphi$ on perusaallon tehokerroin

DPF on Displacement Power Factor

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi \quad (4)$$

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi \quad (5)$$

Yliaaltotehoja sisältävistä tehosuureista voidaan laskea kokonaistehoilla tehokerroin.

$$PF = \frac{P}{S} \quad (6)$$

jossa

P on kokonaispätöteho

S on kokonaisnäennäisteho

PF on Power Factor [5, s. 126; 1, s. 16].

Pätöteho on varsinaisen työn tekevää tehoa, joka ei saa negatiivisia arvoja. Pätötehoa kuluttaa resistiivinen komponentti vaihtosähköverkossa. Loisteho voi olla negatiivista tai positiivista. Positiivisella loisteholla tarkoitetaan induktiivista loistehoa ja negatiivisella vastaavasti kapasitiivista loistehoa. Kapasitiivinen loisteho varastoituu sähkökenttään ja induktiivinen loisteho magneettikenttään. Loisteho ei tee työtä kulutuslaitteessa vaan varastoituu sähkö- tai magneettikenttään. Kapasitiivisessa piirissä virta on jännitetä edellä ja induktiivisessa piirissä jännite on virtaa edellä. Komponentti, joka muuttaa piirin reaktanssia induktiivisempaan suuntaan, kuluttaa loistehoa. Vastaavasti komponentti, joka muuttaa piirin reaktanssia kapasitiivisempaan suuntaan, tuottaa loistehoa. Puhtaasti induktiivisessa piirissä

$$\varphi = 90^\circ$$

ja puhtaasti kapasitiivisessa piirissä

$$\varphi = -90^\circ. [4, s. 198; 3.]$$

2.1 Kompensoinnin tarve

Seuraavassa luettelossa on loistehon aiheuttamia haittoja sähköverkossa:

- sähköverkon siirtokyvyn pienentyminen
- johtojen jännite-, teho- ja energiahäviöt
- muuntajien jännite-, teho- ja energiahäviöt.

Tuottamalla loissähkö mahdollisimman lähellä kulutusta pystytään vaikuttamaan lisäksi sähköverkon siirtokykyyn. Samalla voidaan vaikuttaa myös loistehon aiheuttamiin johtojen ja muuntajien jännite-, teho- ja energiahäviöihin, koska loisteho sykkii tuottajan ja kuluttavan laitteen välillä vaihtovirtapiirissä. Kantaverkkoyhtiö (Fingrid Oy) pyrkii ohjaamaan 16 prosenttia pätötehosta yli menevän loistehon kompensoinnin asiakkaalle. Fingrid Oy rajoittaa myös loistehon tuotannon neljään prosenttiin pätötehosta kantaverkkoon. [4, s.198; 6; 1, s. 20.]

2.2 Loistehoa kuluttavat ja tuottavat laitteet teollisuuden sähköverkossa

Sähköverkossa puhtaasti resistiivinen kuorma ei muuta tehokerrointa, mikä tarkoittaa että se ei kuluta tai tuota loistehoa. Tyypillisimpiä resistiivisiä kuormia ovat hehkulamput sekä lämmitykset.

Teollisuuden sähköverkossa yleisimmät loistehoa tuottavat laitteet ovat erilaiset kompensointilaitteistot sekä tahtikoneet [4, s. 355].

Tavallisimpia teollisuuden sähköverkossa loistehoa kuluttavia laitteita ovat loisteputki-valaisimet, oikosulkumoottorit sekä tasavirtakäytöt. Taulukossa 1 on esitetty yleisimpien loistehoa käyttävien laitteiden tehokerroin sekä loistehon ja pätötehon käyttösuhde.

Taulukko 1. Tavallisimpia loistehoa kuluttavia laitteita sähköverkossa. [7.]

Kuorma	$\cos \varphi$ tehokerroin (W / VA)	$\cos \varphi$ loistehon tarve (Var/W)
Moottorit	0,7 ...0,85	1,0 ...0,62
Loisteputkivalaisimet		
-kompensoimattomat	0,5	2
-kompensoidut	0,9	0,5
Tyristorikäytöt	0 ...0,75	2,3 ... 0,9
Resistiivinen kuorma	1	0

3 Yliaallot

Yliaallot jaetaan harmonisiin ja epäharmonisiin yliaaltoihin. Harmonisten yliaaltojen taajuus on perustaajuuden (50 Hz) kokonaislukumonikertoja ja epäharmoniset yliaallot saavat taajuudeksi perustaajuuden reaalilukumonikertoja. Yliaallot aiheuttavat vaihtojännitteen ja vaihtovirran sinimuotoisen käyrämuodon säröytymisen[1 s. 26-29]. Epäharmonisille yliaalloille ei ole asetettu säädöksiä tai suosituksia standardeihin, koska ne ovat huomattavasti pienemmät kuin harmoniset yliaallot. Tavallisimpia epäharmonisten yliaaltojen lähteitä ovat

- valokaariuunit
- hitsauskoneet
- nopeasti vaihtelevat suuntaajakäytöt [9].

Jännitteen tai virran kokonaissärö (THD = total harmonic distortion) saadaan laskemalla harmonisten yliaaltojen komponentit yhteen ja verrataan kaikkien yliaaltojen määrää suhteessa perustaajuiseen virtaan tai jännitteeseen (THD-F) tai niiden tehollisarvoihin (THD-R). [1 s. 29.]

3.1 Yliaaltoja koskevat säädökset ja suositukset

Standardi SFS-EN 50160 määrittelee sallitun tason yliaaltojännitteille yleisessä jakeluverkossa. Standardin mukaan harmonisia yliaaltojännitteitä mitataan normaali käyttöolosuhteissa viikon ajan 10 minuutin keskiarvoina [1 s.21]. Keskiarvo voidaan laskea

vähintään 10:stä 10 minuutin aikana tehdystä mittauksesta. Mitatuista yliaaltojännitteistä 95 prosenttia tulee olla pienempiä tai samansuuruisia kuin taulukossa 2 esitetyt arvot ovat kyseisille jänniteyliaalloille. Jakelujännitteen harmoninen kokonaissärö saa olla enintään 8 prosenttia. Standardissa jännitteen kokonaissäröön lasketaan kaikki harmoniset yliaaltojännitteet järjestysluvultaan 40:een saakka. [1. s. 21, 46.]

Taulukko 2. Yliaaltokohtaiset jännitteen raja-arvot sallitulle säröytymiselle. [1 s. 22.]

Parittomat yliaallot		Parilliset yliaallot		Parilliset yliaallot	
kolmella jaottomat		kolmella jaolliset			
Järjestysluku	Yliaaltojännite %	Järjestysluku	Yliaaltojännite %	Järjestysluku	Yliaaltojännite %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6	0,5
13	3	21	0,5	8	0,5
17	2			10	0,5
19	1,5			12	0,5
23	1,5			14	0,5
25	1,5			16	0,5
				18	0,5
				20	0,5
				22	0,5
				24	0,5
Kokonaissärö THD 8%					

Yliaaltovirroille on annettu suositusarvoja liittämiskohdassa pienjänniteverkossa ja keskijänniteverkossa. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty suositellut rajat yliaaltovirroille sähkökäyttäjälle liittämiskohdassa. Sulakepohjaisessa sähköliittymässä referenssivirta on pääsulakkeen nimellisvirta. Seuraavassa tehopohjaisen sähköliittymän referenssivirran I_{ref} laskentakaava:

$$I_{ref} = \frac{P}{\sqrt{3}U_N} \quad (7)$$

jossa

P on liittämösopimuksen pätöteho

U_N on verkon nimellisjännite.

Jos sähköliittymässä ei ole määritelty tilaustehoa, käytetään referenssivirran laskentakaavassa 1,25-kertaista laskutustehoa. [1 s. 43-45.]

Taulukko 3. Suositellut arvot harmonisille yliaaltovirroille pienjänniteverkossa. [1 s. 44.]

Referenssivirta	Suositeltava raja	
25 A tai alle	Laitestandardien mukaiset laitteet.	
yli 25 A - 200 A	Virran harmoninen kokonaissärö enintään 10% referenssivirrasta.	
Yli 200 A	Virran THD enintään 8% referenssivirrasta, kuitenkin vähintään 20 A on sallittu. Yksittäisten aaltojen osalta:	
	Järjestysluku n	Sallittu arvo referenssivirrasta:
	< 11	7,0 %
	11...16	3,5 %
	17...22	2,5 %
	23...34	1,0 %
> 34	0,5 %	

Taulukko 4. Suositellut arvot harmonisille yliaaltovirroille keskijänniteverkossa. [1 s.45.]

Referenssivirta	Suositeltava raja	
Kaikki	Virran THD enintään 8% referenssivirrasta, kuitenkin vähintään 20 A on sallittu. Yksittäisten aaltojen osalta:	
	Järjestysluku n	Sallittu arvo referenssivirrasta:
	< 11	7,0 %
	11...16	3,5 %
	17...22	2,5 %
	23...34	1,0 %
> 34	0,5 %	

Sähkönlaatustandardien noudattamisesta on vastuussa liittämiskohdassa jakeluverkon haltija. Liittämiskohdalla tarkoitetaan käyttäjän sähköverkon liittymäkohtaa yleiseen sähköverkkoon [1]. Virtasäröä koskevien suositusten ylittyessä vastuussa on sähkönkäyttäjä, jos sallitut jännitesäröä koskevat arvot eivät ylity. Jännitesäröä koskevien sallittujen arvojen ylittyessä, mutta virtasärön arvojen ollessa alle suositusten, on jakeluverkonhaltija yleensä vastuussa. [1 s. 47.]

3.2 Yliaaltojen lähteet

Sähköverkkoon kytketty epälineaarinen kuorma ottaa verkosta epälineaarisen virran. Epälineaariset virrat aiheuttavat verkon kulutuslaitteissa jännitehäviön, joka aiheuttaa jännitteen säröytymisen. Säröjännite aiheuttaa yliaaltoja lineaarisillakin kuormilla säh-

köverkossa. Epälineaariset kuormat ovat yliaaltojen lähteitä. Seuraavassa lista yleisistä yliaaltojen lähteistä teollisuuden sähköverkossa [1, s. 26]:

- suuntaajat; tasa- ja vaihtosuuntaajakäytöt
- tyristorisäätimet
- hakkuritehotähteet
- UPS-laitteistot
- puolijohdekytkimet
- hitsauslaitteet
- valokaariuunit
- purkaus- ja energiansäästölamput.

Myös generaattori, muuntajat ja moottorit aiheuttavat vähäistä jännitteen säröytymistä epälineaarisuuden vuoksi. [1, s. 30; 8.]

3.3 Yliaaltojen haittavaikutukset

Yliaallot aiheuttavat käyttölaitteissa ja verkossa häviöiden kasvua sekä osassa laitteista kuormitettavuuden alenemista. Mittarit, suoja releet ja automaatiolaitteet toimivat usein virheellisesti yliaaltoja sisältävässä sähköverkossa. Pienet yliaaltotaajuudet aiheuttavat komponenteissa ja laitteissa lämpenemistä. Suuret taajuudet aiheuttavat äänitaajuisia ja radiotaajuisia häiriöjännitteitä. Kolmella jaolliset harmoniset yliaallot summautuvat nollajohtimeen. Nollajohtimeen summautunut virta voi olla suurempi kuin tehollisarvoltaan vaihejohtimen virta ja nollajohtimeen summautunut virta voi levitä nollausten kautta rakennusten runkorakenteisiin. Seuraavaksi luetteloissa esitetään tavallisimpia yliaaltojen haittavaikutuksia sähköverkossa. [1, s.30-33.] Yliaaltojen haittavaikutukset moottoreihin:

- epätahti- ja tahtimoottoreiden lisälämpeneminen
- moottoreiden mekaaninen värähtely.

Yliaaltojen haittavaikutukset kaapeleissa:

- kolmansien yliaaltovirtojen summautuminen nolla johtimeen

- lisää lämpeneminen.

Yliaaltojen haittavaikutukset muuntajissa:

- yliaaltovirtojen aiheuttamat lisähäviöt hajakenttien aiheuttamissa häviöissä sekä kuparihäviöt
- yliaaltojännitteet lisäävät rautahäviöitä
- nostavat mahdollisesti muuntajan äänitasoa.

Ohjaus- ja tele-laitteissa:

- mahdolliset virhetoiminnot elektroniikkalaitteissa
- tietoliikenne häiriöt
- virhetoiminnot tietokoneissa ja ohjelmoitavissa logiikoissa
- kytkinlaitteiden lämpeäminen ja kuormitettavuuden alentuminen
- virhetoiminnot suoja- ja mittalaitteissa. [1;10;8.]

4 Kompensoinnin toteutus

Värähtelypiirinä on olemassa sarja- ja rinnakkaisresonanssipiirejä. Kondensaattoriparisto, jossa ei ole kuristinta, voi sähköverkkoon liitettäessä synnyttää edellä mainittuja resonanssi piirejä kompensointilaitteen kapasitanssin ja sähköverkon induktanssin välille. Kondensaattoriparisto muodostaa rinnakkaisresonanssipiirin muuntajan alapuolella (pienjännite), jossa syntyvät yliaaltovirrat vahvistuvat. Muuntajan yläpuolella (suurjännite) kondensaattoripariston kapasitanssi muodostaa sarjaresonanssin muuntajan induktanssin kanssa. Nyt mahdollisesti yläpuolella resonanssitaajuuden läheisyydessä esiintyvä keskijänniteverkon jännitesärökomponentti aiheuttaa muuntajan kautta lähelle resonanssitaajuisen yliaaltovirran. Muuntajan yli resonoinut yliaaltovirta säröyttää pienjännite puolen jännitettä. Rinnakkaisresonanssissa yliaaltovirrat vahvistuvat mahdollisesti pienjänniteverkossa 1 - 5 kertaisiksi ja keskijänniteverkossa jopa 10 - 20 kertaisiksi. [8; 1, s. 65.]

4.1 Kompensointitavat ja laitteistot

Loistehon kompensointi ja yliaaltojen suodatus voidaan tehdä sähköverkon eri osissa. Kompensointia valittaessa tulee ottaa huomioon teknisesti sekä taloudellisesti kannattavat ratkaisut. Taulukossa 5 esitetään erilaisia pienjänniteverkossa käytettäviä kompensointitapoja:

Taulukko 5. Erilaisia kompensointitapoja pienjänniteverkossa. [11.]

	Valaisimet	Moottorit	Valaisinryhmät	Moottoriyhmät	Ryhmäkeskukset	Pääkeskukset	Yksittäiset kuormitukset
Laitekohtainen kompensointi	X	X					X
Ryhmäkompensointi			X	X			
Keskitetty kompensointi					X	X	
Keskitetty kompensointi yliaaltopitoisessa verkossa					X	X	
Keskitetty kompensointi ja yliaaltojen suodatus					X	X	
Keskitetty, nopea kompensointi tyristoriketyllä paristolla					X	X	X
Kompensointi ja suodatus aktiivisuodattimella					X	X	X

Sähköasemalle sijoitettavan kompensoinnin etuna on kompensoinnin hyödyntäminen varasyöttötilanteissa, kuten huolto- tai vaurio-tilanteissa. Muuntamoissa kompensointi pyritään toteuttamaan pienjännitepuolella. Sijoittaessa kompensointilaitteita kylmiin tiloihin tulee ottaa huomioon kompensoinnin komponenttien lämpötilojen kestävyys. Keskitettyllä kompensoinnilla tarkoitetaan kompensointia, jossa kompensointilaitteita sijoitetaan pääkeskukseen, ryhmäkeskuksiin tai molempiin. Keskitettyssä kompensoinnissa rinnakkaisparistoa voidaan käyttää sähköverkossa, jossa yliaaltoja ei esiinny. Resonanssi tilanteessa yliaallot voivat pahimmassa tapauksessa vahvistua 20-kertaisiksi. Tavallisesti teollisuusverkossa keskitettyssä kompensoinnissa käytetään yliaaltosuodattimia tai estokelaparistoja, joissa on loistehonsäädin. Ryhmäkohtaisella kompensoinnilla

voidaan kompensoida valaisin- tai moottoriryhmiä ryhmäkeskuksissa tai ryhmä joi-
tojen varrella. Ryhmäkohtaisessa kompensoinnissa täytyy ottaa huomioon että kompen-
sointi kytkeytyy verkkoon käyttölaitteiden kanssa. Laitekohtaista kompensointia käyte-
tään moottoreiden ja valaisimien kompensoinnissa. Moottoreiden ottamaa loistehoa
kompensoidaessa täytyy sähköverkon tehokerroin huomioida, sillä se ei saa nousta yli
0,98-0,99. Tällä tavoin välttyään itseherätykseltä. Kompensointilaitteiden suuruuden ja
niissä olevien loistehoportaiden suuruuden huomiointi suhteessa sähköverkon loistehon
tarpeeseen auttaa välttymään itseherätys ongelmalta. Loistehoa tarvitsevien laitteiden
välittömässä läheisyydessä tapahtuvaa kompensointia pidetään ideaalisena kompensoin-
titapana, koska tällöin verkossa ei jouduta siirtämään työtä tekemätöntä loistehoa. Täl-
löin loisteho ja yliaallot eivät aiheuta haittoja muualla verkossa. Kuitenkin tavallisesti
teollisuuslaitosten sähköverkoissa kaikkea kompensointia ei ole taloudellisesti miele-
käästä toteuttaa laitekohtaisena kompensointia. [10; 1, S. 81-104.]

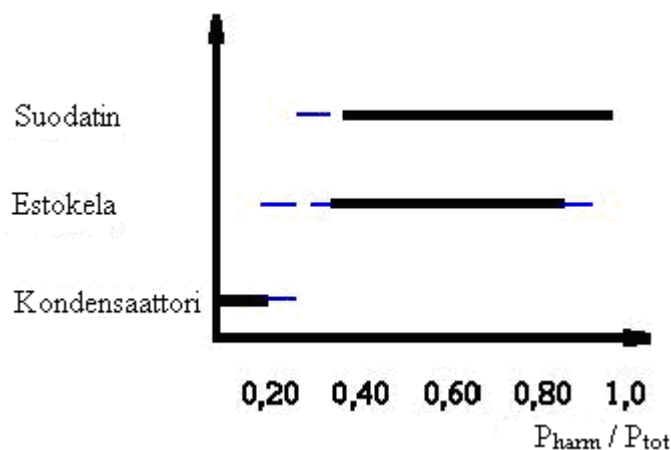
Sähköverkoissa, joissa ei ole juuri yliaaltoja, voidaan käyttää kondensaattoriyksikköä.
Tavallisimpia käyttötapoja on laite- ja ryhmäkohtainen kompensointi, jonka loistehon
tuotto on tietty, vaikka on olemassa säädettäviä paristoja. Rinnakkaiskondensaattori-
paristoa voidaan käyttää sähköverkoissa, joissa ei ole merkittäviä määriä yliaaltoja. Säa-
dettäviä rinnakkaiskondensaattori paristoja kutsutaan automatiikka paristoiksi. Rinnak-
kaiskondensaattoreita käytetään pienjännitteellä keskitettynä kompensointina ryhmä- ja
pääkeskuksissa sekä lisäksi laitekohtaisena kompensointina. Keski-jänniteverkossa voi-
daan kompensointi tehdä sähköasemalla rinnakkaiskondensaattoriparistolla. [1 s.48-51.]

Yliaaltopitoisissa verkoissa käytetään kondensaattoreiden sijaan estokelalla varustettuja
kondensaattoriparistoja tai yliaaltosuodattimia. Estokelaparistoa käytetään, kun jännit-
teen THD on yli 3 % [1, s. 52]. Estokelapariston portaiden muodostama sarjaresonans-
sipiiri viritetään alemman taajuudelle kuin alin yliaaltotaajuus, jolloin tämän viritystaa-
juuden alapuolella paristo tuottaa loistehoa ja yläpuolella ottaa loistehoa. Tällä tavalla
viritetty paristo ei vahvista yliaaltotaajuuksia. Yliaaltosuodattimia käytetään erityisen
säröisissä sähköverkoissa. Suodattimet tuottavat loistehoa ja poistavat säröisyyttä, jol-
loin sähkön laatu paranee. Passiiviset yliaaltosuodattimet on mitoitettu poistamaan tietyt
yliaaltotaajuudet ja tuottamaan myös tarvittava loisteho. Puolijohde tekniikalla toteute-
tut aktiivisuodattimet mittaavat verkon yliaallot ja suodattavat ne. Passiivisia suodatti-
mia käytetään yleensä keski-jännite- ja pienjänniteverkossa keskitettynä kompensointina

ja aktiivisuodatin voidaan liittää mihin tahansa sähköverkkossa. Kolmannelle yliaal-
lolle on oma suodattimensa, joka pienentää 150 Hz:n säröä ja tuottaa myös loistehoa.
Nopeisiin kuormien muutoksiin käytetään tyristorikytkettyjä kondensaattori paristoja ja
suurjänniteelle kompensointia. Nopean jännitteen ja loistehon muutoksen kompen-
sointiin ja suodatukseen käytetään staattista kompensointia. [1, s.52-63; 10.]

4.2 Kompensointitavan valinta

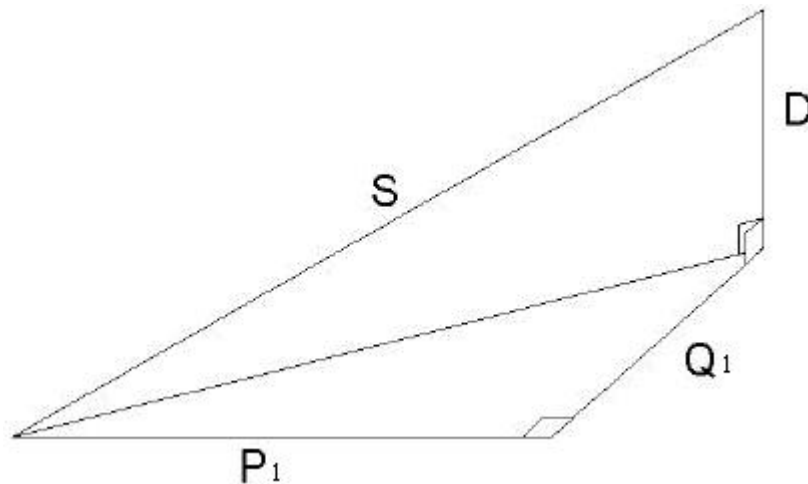
Pienjännitteellä yliaaltoja tuottavan kuorman osuuden ollessa alle 15 - 20 prosenttia
voidaan kompensointi todennäköisesti toteuttaa rinnakkaiskondensaattoriparistoilla ha-
jautetusti tai keskitetysti. Samaa ohjesääntöä ei voida käyttää keski- ja suurjännitteellä,
joiden tilanteessa on yliaaltopitoisuus selvitettävä mittaamalla. Yliaaltotehoja sisältävät
sähköverkot tulee suodattaa estokelaparistolla, yliaaltosuodattimella tai aktiivisuodatti-
mella ja kompensointiparistolla. Aktiivisuodattimen yhteydessä loistehon tuottoon käy-
tetään joko rinnakkaiskondensaattori-, suodatin- tai estokelaparistoa. Sähköverkolle on
mahdollista tehdä yliaaltoanalyysi. Yliaaltoanalyysissä syötetään tietokone ohjelmaan
verkon eri komponenttien resistiiviset ja reaktiiviset arvot joista ohjelma simuloi koko-
naiskuvan sähkön laadusta. Kuvasta 1 nähdään yliaaltojen harmonisen näennäistehon
suhde kokonaisnäennäistehoon laitteiden valinnan kannalta.[1, S. 98.]



Kuva 1. Yliaaltopitoisuudet laitevalintojen perusteena. [8.]

5 Säröteho

Säröteho D koostuu harmonisten yliaaltotaajuuksien vaikutuksesta. Säröteho on määritelty eri tavoin lähteestä riippuen. Seuraava särötehon laskukaava ei sisällytä särötehoon yliaaltopätötehoja. Kuva 2 helpottaa yliaaltotehoja sisältävien tehosuureiden tarkastelua.



Kuva 2. Särötehon summautuminen. [1, s. 17]

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_1^2} \quad (8)$$

jossa

D on säröteho

S on kokonaisnäennäisteho

P on kokonaispätöteho

Q_1 on perustaajuinen loisteho [1, s.17, s. 36.]

6 Pankaboard Oy

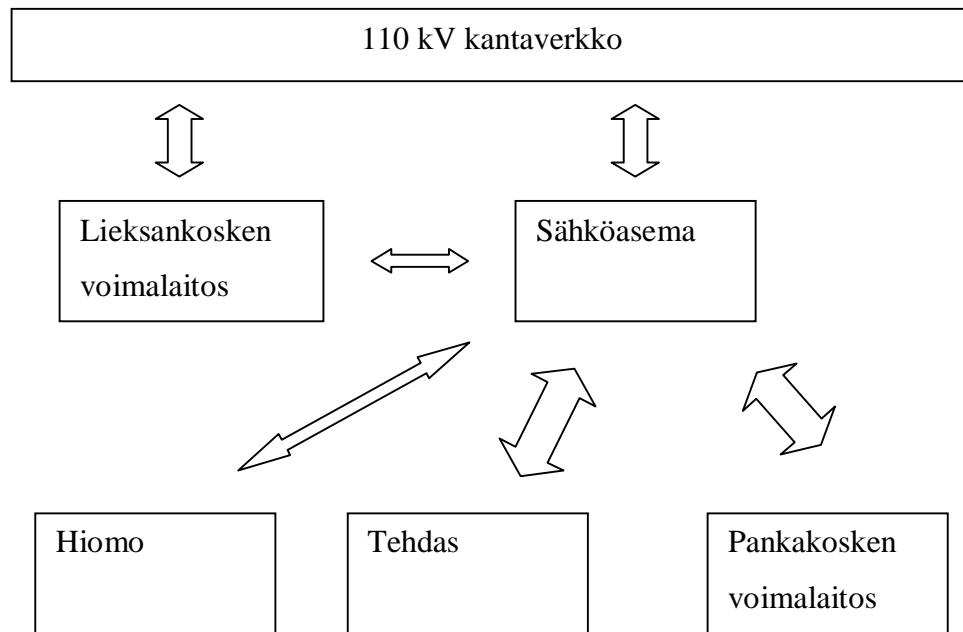
Pankaboard Oy:n tehtaot valmistavat erikoiskartonkeja, joiden paksuudet vaihtelevat 170 grammasta neliometrillä 760 grammaan neliometrillä. Tehdas sijaitsee Lieksan Pankakoskella ja on merkittävimpiä työnantajia Lieksan kunnassa. Pankakosken kar-

tonkitechdas työllistää 160 henkilöä tuotantopuolella sekä lisäksi noin 40 henkilöä ulkoistetun kunnossa- pidon puolella. Kunnossapidosta vastaa Empower Oy, jolla on aiempaa kokemusta teollisuuden kunnossapidosta. [13.]

Hiokkeen valmistus aloitettiin vuonna 1903 ja kartongin valmistus vuonna 1914. Ensimmäisen kartonkikoneen vuotuinen kartongin tuotantokapasiteetti oli 18000 tonnia kartonkia vuodessa. Nykyään Pankaboard Oy:n kahden kartonkikoneen yhteenlaskettu vuotuinen tuotantokapasiteetti on 100000 tonnia. Kartongin valmistuksessa tarvittava vesihöyry tuotetaan omassa biovoimalaitoksessa, jossa poltetaan nykyisin luvanvaraisesti myös yhdyskuntajätettä. Yhtiön liikevaihto kasvoi 63 miljoonaan euroon vuonna 2010 ja yhtiö teki voittoa 420 tuhatta euroa. [12; 13.]

6.1 Sähköverkko

Pankaboard Oy on liitetty loissähkösopimuksella Enocell Oy:n kanssa Finngrid Oy:n 110 kV:n kantaverkkoon samaan toimituspisteryhmään. Loissähkösopimuksen numero on 6514/2004 ja sen toimituspisteryhmässä on kolme liittymispistettä Uimaharjussa ja yksi liittymispiste Lieksassa. [14.] Pankakosken kartonkitehtaan sähköverkko on maasta erotettu.



Kuvio 1. Sähkön jakelu sähköverkossa. Panka- ja Lieksankosken voimalaitokset ovat Kemijoki Oy:n omistuksessa. Lieksankosken voimalaitoksen oman käytön varasyöttö on otettu sähköasemalta.

Tehtaan pääkytkemössä (10 kV) kojeistojen välinen katkaisija on laitettu kiinni, koska sähköasemalta tulevien tehdas 1 ja tehdas 2 -syöttöjen virtoja on jouduttu tasaamaan toisen johtimen ylikuormittumisen vuoksi. Kojeistojen syötöt ovat 2 x APYAKMM 3x300 mm² -kaapelia. Kyseessä olevien kahden kaapelin jatkuvan kuormituksen rajat ovat 720 - 750 ampeeria, mutta asennustapa laskee kuormitettavuutta (liite 3). Tehdas 2 -syötössä on jatkettu AHXAMK-W -kaapelia. Olettaen, että asennustapa vaikuttaa samassa suhteessa kuormitettavuuteen kaapelin tyypistä riippumatta, voidaan tehdas 2 -syötön kaapeleista päätellä seuraavaa. Kaapeleista APYAKMM -kaapelin kuormitettavuus on pienempi, joten sen kuormitettavuuden mukaan syötetään tehtaalle (liite 4). Pöyryn 7.5.2001 valmistuneessa raportissa on tehdas 2 -kojeiston syöttökaapeleiden siirtokyvyksi määritelty 450-540 ampeeria kyseisellä asennustavalla. Ennen tehdas 1- ja tehdas 2- kojeistojen välisen katkaisijan kiinni laittamista tehdas 2 -kojeistossa oli 600-640 ampeerin kuorma. Katkaisijan ollessa kiinni tehdas 1 ja tehdas 2 -kaapeleiden kuormat jakautuvat impedanssien mukaan niin että molemmissa kaapeleissa on normaalitilanteessa noin 400 ampeerin kuorma.

Kompensointi pyritään tällä hetkellä toteuttamaan Kemijoki Oy:n kanssa tehdyn sopimuksen mukaan Lieksanjoen generaattoreilla sekä lisäksi hiomon tahtikoneilla. Generaattoreiden tehokerroin on 0,8 ja niillä voidaan tuottaa sopimuksen mukaan 4 Mvar loistehoa generaattoria kohden. Pankakoskella on kaksi generaattoria ja noin 5 kilometrin päässä Lieksankoskella on myös kaksi generaattoria. Voimalaitoksissa olevien tahtikoneiden sopimuksen mukainen yhteenlaskettu loistehontuotto on 16 Mvar. Kirjallinen sopimus Kemijoki Oy:n kanssa loistehon kompensoinnista ei ole enää voimassa. Kemijoki Oy on kuitenkin kompensoinut tehtaan loistehon ottoa edeltävän sopimuksen mukaisesti, mutta on vaatinut neuvotteluja mahdollisesta kompensoinnin korvauksesta. Voimalaitosten lisäksi hiomolla on kolme tahtikonetta, joista uusimman $\cos \varphi$ on 0,9 ja kahden vanhemman $\cos \varphi$ on 0,8. Uusimmalla hiomakoneella voidaan tuottaa maksimissaan noin 1,5 Mvar ja molemmilla vanhemmista hiomakoneistata voidaan lisäksi tuottaa vajaa 1 Mvar loistehoa. Yhteenlaskettuna teoreettinen maksimi hiomon hiomakoneiden loistehon tuotanto on noin 3 Mvar. Kyseessä olevat loistehontuotot todettiin 1995 suoritettussa magnetointi kokeessa. [16.] Myöhemmin on arvioitu että normaali tilanteessa hiomakoneiden yhteenlaskettu kapasitiivisen loistehon tuotanto on noin 1500 kvar. [15.]

6.2 Loissähkön toimituspisteryhmä

Fingrid Oy on määritellyt laskentakaavat sallitulle loistehon otolle (Q_S) ja annolle (Q_{S1}) kantaverkkoon. Toimituspisteryhmälle määritellyt Q_S - ja Q_{S1} - arvot, joiden avulla voidaan laskea loistehon otto ja anto kustannukset seuraavasti [6]:

$$Q_S = \frac{W_{Otto} \cdot 0,16}{t_k} + \frac{0,025 \cdot W_{Tuot}}{7000h} \quad (9)$$

$$Q_S = \frac{W_{Otto} \cdot 0,16}{t_k} + 0,1 \cdot S_N \quad (10)$$

$$Q_S = \frac{W_{Otto} \cdot 0,16}{t_k} \quad (11)$$

ja

$$Q_{S1} = -0,25 \cdot Q_S \quad (12)$$

missä

W_{Otto} = toimituspisteryhmän ottoenergia vuodessa(MWh)

W_{Tuot} = toimituspisteryhmän nettotuotanto vuodessa(MWh).

t_k = vuotuinen käyttö, 7000 h prosessiteollisuudessa

S_N = ryhmän suurin generaattori(MVA).

Ryhmissä joissa ei ole yli 10 MVA generaattoria niin W_{Tuot} on 0. Jos ryhmässä ei ole yli 10 MVA:n generaattoria niin S_N on 0. Lisäksi termi $0,1 \cdot S_N$ saa olla enintään 30 Mvar sekä huippu- ja varavoimakäytössä olevia generaattoreita ei oteta huomioon. Tilanteessa jolloin ei haluta loistehoreservistä taloudellista korvausta käytetään kaavoja 10 ja 11, joiden tuloksesta valitaan suurempi. Jos halutaan rahallista korvausta loistehoreservistä käytetään kaavaa 11. [6.]

Loissähkö sopimuksen(numero 6514/2004) mukaan toimituspisteryhmän vuotuinen ottoenergia on 6143 MWh. Ottoenergian mittausta on toteutettu 1.10.2002 - 30.9.2003. Toimituspisteryhmään liittyneiden yli 1 MVA generaattoreiden vuotuinen nettotuotanto on 586 099 MWh ja ryhmässä on yli 10 MVA generaattori. Suurin ryhmään kytketty generaattori on 117,5 MVA. Loissähkö sopimuksen liite 1 on dokumentin lopussa liitteenä 1. Seuraavassa on laskettu Enocell Oy:n loissähkö sopimuksen toimituspisteryhmälle otto- ja anto loistehoarvot. [14.]

$$Q_S = \frac{6143 \cdot 0,16}{7000} = 0,14M \text{ var (loistehoreserveistä rahallinen korvaus)}$$

$$Q_S = \frac{6143 \cdot 0,16}{7000} + 0,1 \cdot 117,5 = 11,89M \text{ var}$$

$$Q_S = \frac{6143 \cdot 0,16}{7000} + \frac{0,025 \cdot 586099}{7000} = 2,23M \text{ var}$$

Lasketuista Q_S -arvoista valitaan isoin arvo, jonka mukaan määritellään Q_{S1} -arvo seuraavasti [14]:

$$Q_{S1} = -0,25 \cdot 11,89 = -2,97M \text{ var}$$

Toimituspisteryhmälle lasketut Q_S - ja Q_{S1} - arvot ovat raja-arvoja, joiden ylittyessä kymmenenä tuntina laskutuskaudella loisteho on maksullista. Ryhmän loistehorajojen ylittymisen syyt selvitetään ryhmään liittyneiden liitännäispisteiden osalta ja maksut jaetaan niiden mukaan. Jos toimituspisteryhmässä on yli 30 MVA generaattori, kuten Enocell Oy:n ryhmässä, ei Q_{S1} - arvon ylittävästä loistehon tuotosta peritä maksua jos tuotto ei ole pysyväisluontaista. Loistehon tuotanto määritellään pysyväisluontaiseksi kun ylitys tapahtuu yli 30 tuntina kalenterikuukaudessa. [6.]

Seppo Turusen (käytönjohtaja) mukaan Pankakosken loistehoikkunan ryhmä on 4. Tämä tarkoittaa että toimituspisteryhmälle lasketuista loistehon otto- ja antoarvoista Pankakosken kartonkitehtaan sähköverkon liittymäpisteessä voidaan ilmaiseksi ottaa 2 Mvar loistehoa tai antaa 0,5 Mvar loistehoa. [16.] Loistehoikkunan tunnin keskiarvon ylityksiä saa tapahtua enintään kymmenenä tuntina kuukaudessa, jos ylityksien määrä on suurempi noudatetaan loissähkö sopimuksessa määriteltyjen loistehomaksujen laskenta kaavoja. Lisäksi yhden tunnin keskiarvo ei saa ylittää loissähköikkunan kaksinkertaisia rajoja. [6.] Erikoistilanteissa voidaan kuitenkin loistehoikkunan ylittävissä tapauksissa ottaa verkosta loistehoa ilman maksuja, jos siihen on painavia perusteita ja kantaverkossa ei synny merkittäviä kustannuksia. Hiomon ja voimalaitosgeneraattoreiden kompensoinnista huolimatta tilanteissa, joissa kompensointi ei riitä voidaan loisteho ottaa toimituspisteryhmälle laskettujen arvojen rajoissa. Pankakosken tilanteessa loisteho pyritään pitämään 2 Mvar ottorajassa ja 0,5 Mvar antorajassa. Q-arvojen lisäksi loistehon ottoa ohjaa Fingridin laatima sääntö että loisteho saa olla enintään 16 prosenttia pätötehosta. [16.] Loistehon oton täytyy noudattaa joko laskettuja Q-arvoja tai edellä mainittua prosentuaalista osuutta pätötehosta. [6.]

6.3 Loistehon omavaraisuus

Neuvottelut Kemijoki Oy:n kanssa loistehon kompensoinnista ovat kesken ja mahdollinen loissähkö sopimus Enocell Oy:n kanssa voi päättyä erinäisistä syistä. Näiden tilanteiden varalle on hyvä tarkastella omaa loistehon tuotantoa.

Tarkastellaan tilannetta, jossa on jouduttu tekemään oma loissähkösojimus ja voimaitoksilla ei voida kompensoida loistehoa. Huhtikuussa 2011 ei ollut seisokkeja tehtaassa ja huhtikuun kulutuksesta laskettu tunnin keskikulutus on noin 15 MW. Huhtikuun raportti on liitteenä 2. Vuoden 2011 huhtikuun tehtaan yhden tunnin keskikulutus on laskettu seuraavasti:

$$P_{1h} = \frac{\textit{kokonaisku lutus (kk)}}{\textit{päävienmää rä \cdot tunnit}} \quad (13)$$

$$P_{1h} = \frac{10823}{30 \cdot 24} = 15,032 \textit{MW}$$

Asiantuntijoiden arvioiden, tutkimusten ja mittausten perusteella on tehtaan ja hiomon keskimääräinen kokonaispätöteho kulutus 15 MW ja loistehon otto 12 Mvar. Loistehon otto huiput ovat noin 16 Mvar ja pätötehon arvot vaihtelevat 13 MW:n ja 18MW:n välillä. [16.] Prosessiteollisuudessa tehtaan vuotuinen käyttö on kulutuslaskennassa 7000 tuntia. Vuotuisesta käytöstä ja tunnin keskikulutuksesta voidaan laskea suuntaa antava arvo vuotuisesta kulutuksesta kantaverkon liitännäpisteessä.

$$k\textit{ulutus}_a = 7000 \cdot 15,032 = 105224 \textit{ MWh}$$

Tällöin voidaan laskea tehtaan liittämispisteelle omat Q_S - ja Q_{S1} -arvot seuraavasti:

$$Q_S = \frac{105224 \cdot 0,16}{7000} = 2,405 \textit{ M var}$$

$$Q_{S1} = -0,25 \cdot 2,405 = -0,601 \textit{ M var}$$

Fingrid Oy:n sopimusohjeen mukaan riittää kun noudattaa Q - arvojen rajoja tai vaihtoehtoista loistehon ottoa säännöstelevää rajaa, joka on 16% pätötehosta. Vaihtoehtoinen loistehon ottoa rajoittava arvo on vastaava kuin Q_S -arvo koska liitännäpisteessä ei ole generaattoreita.

$$Q_S = 0,16 \cdot 15,032 = 2,405 \textit{ M var}$$

Loistehon antoa ei ole järkevä tarkastella, sillä sähköverkko on induktiivinen liitännäpisteessä koska verkossa ei ole generaattoreita tai tarvittavan suurta kompensointilaitteistoja. Loistehon kompensointia on ainoastaan hiomolla noin 1,5 Mvar.

6.3.1 Hiomon loistehon kompensointi

Hiomon syöttö 1-kaapelin (3x185 mm² PLKVJ) kuormitettavuus on ilmassa 340 ampeeria (liite 3), jos asennustapa ei laske enemmän kuormitettavuutta. Hiomo syöttö 1:n huhtikuun kokonaispätötehosta voidaan laskea yhden tunnin keskiarvo pätöteho seuraavasti (liite 2).

$$P_{1h-hiomo1} = \frac{2108}{30 \cdot 24} = 2,93 \text{ MW}$$

Loistehotilanteen tarkastelussa hiomo 1-syötön pätötehoksi on saatu 3,8 MW. Hiomo syöttö 1:n kuormana on hiomakoneet joiden erilaiset käyttötilanteet johtavat eroaviin kuormituksiin. Kuormien avulla voidaan laskea hiomon syöttö 1:n kaapeleiden virrat seuraavasti [5, s. 126-128]:

$$S = \sqrt{3,8^2 + 3^2} = 4,8 \text{ MVA}$$

$$I = \frac{4,8}{\sqrt{3} \cdot 0,01} = 279,5 \text{ A}$$

Virraksi laskettiin noin 280 ampeeria joka tarkoittaa että hiomo syöttö 1:n kaapeleissa on vielä 60 ampeeria varalla lisäkuormaa varten siinäkin tapauksessa että tahtikoneilla kompensoitaisiin mahdollisimman paljon eli 3 Mvar. Kuormitettavuus laskenta vastaa kyseisen kaapelin kuormitettavuutta ilmassa, joten asennustapa voi mahdollisesti laskea sitä.

6.3.2 Loistehomaksut ainoastaan oman kompensoinnin tilanteessa

Oman kompensoinnin tilanteessa ei tarvitse huomioida loistehonantomaksuja, koska sähköverkkoa ei pyritä ylikompensoimaan. Tilanteessa riittää pelkän ottomaksun tarkastelu.

Seuraavassa on suora lainaus loistehon sopimusohjeesta ottomaksun määritelmästä.[6]

Jos $P \leq Q_S / 0,16$ ja $Q > Q_S$ niin loistehomaksu on $(Q - Q_S) \cdot 3\,000 \text{ €/Mvar}$

Jos $P > Q_S / 0,16$ ja $Q/P > 0,16$ niin loistehomaksu on $(Q - 0,16 \cdot P) \cdot 3\,000 \text{ €/Mvar}$

Loistehomaksu määräytyy kuukauden suurimman ylityksen mukaan.

Loisenergiamaksu = loissähköikkunan ylittävällä alueella laskutuskauden aikana toimitettu loisenergia (Mvarh) $\cdot 10 \text{ €/Mvarh}$.

Tehtaan ja hiomon tunnin pätötehon keskikulutus on 15,032 MW ja $Q_S / 0,16$ - arvo on yhtä suuri kuin pätötehon arvo. Toinen ehdoista täyttyy myös, koska $Q > Q_S$. Loistehon huippuarvot ovat noin 14,5 Mvar ja keskimääräinen arvo noin 10,5 Mvar. Kuukausittainen loistehomaksu lasketaan seuraavasti, jos häviöitä ei huomioida ja hiomon 1,5 Mvar kompensointi huomioidaan:

$$Maksu_Q = (14,5 - 2,405) \cdot 3000 = 36285 \text{ €}$$

Loisenergia maksu lasketaan laskutuskauden aikana toimitetusta loisenergiasta. Kolmenkymmenen päivän loistehon kulutus on 5828 Mvarh, jos kulutuksen laskennassa käytetään 12 Mvar keskimääräistä loistehon kulutusta sekä huomioidaan ilmainen loisteho(2.405 Mvar) sekä hiomon kompensointi(1,5 Mvar).

$$Maksu_{EQ} = 5828,4 \cdot 10 = 58284 \text{ €}$$

Kuukausikustannukset, kun loistehoa kompensoitaisiin vain hiomolla, olisivat 94 tuhatta euroa ja vuosikustannukset 1,1 miljoonaa euroa.

7 Mittaukset

Kartonkitehtaan sähköverkossa loistehoselvityksiä oli tehty 27.12.1985 – 14.1.1986, 24.11.1995, 13. – 14.2.1996 ja 19.4.2000. Loisteho ja yliaalto mittauksia tehtiin 16.2.2000, 21.2.2000, 22.2.2000, 24.4.2002 ja 2.9.2002. Mittaukset pyrittiin tekemään normaaleissa käyttötilanteissa. Loistehon ja yliaaltojen mittauksessa käytettiin Gossen Metrawatt Mavowatt -verkkoanalysointia ja mittaukset tehtiin tehtaan kytkemöille. Mittauksien jälkeen tehtaan puolelle ainoastaan K-kytkemöön on tullut merkittävä uusi kuorma, joka on vuonna 2008 tullut arkkileikkuri. K-kytkemöstä ei mitattu yliaaltoja vaan pelkästään tehoarvot.

Vuonna 2000 loistehon ja yliaaltojen mittauksia tehtiin tehtaalla S-, U-, H-, T-, Z-, M-, X-, P-, N-, L - keskuksissa sekä 10 kV:n tehdas 1 ja tehdas 2 syöttöjen kojeistoissa. Taulukossa 18 määritellään sanallisesti sähkönlaatu laatuluokitusten mukaan.

Taulukko 18. Jännitteen säröytymiselle määritellyt sähkön laatuluokitukset.[11]

Laatuluokka	Harmoninen jännitesärö [%]
Hyvä	≤ 3
Normaali	≤ 6
Standardi	≤ 8 (95 % arvoista)

Mittaustulokset esitetään keskuskohtaisesti taulukoissa. Taulukoihin on säröisyysarvojen lisäksi jätetty muitakin sähkösuureita kuvaamaan kyseisen keskuksen kuormaa ja sähköverkon tilannetta. Mittauksissa ei tarvitse käsitellä standardin mukaisia 40. yliaaltoon asti eroteltuja yliaaltokohtaisia arvoja, koska kokonaissäröisyys antaa riittävän kuvan sähkön laadusta sekä kompensointia ja suodatusta varten. Mittauksia verrataan laatuluokitusten lisäksi jännitteen laatua määrittelevän standardin sallittuihin säröisyysarvoihin sekä virran säröisyyttä koskeviin suositeltuihin arvoihin.

Taulukko 6. S-keskuksen mittaustulokset.

mittauspvm	helmikuu 16, 2000	
syöttö	10 kV tehdas 1	
keskus	S	
lähtö	3	
U 1-3	680	V
U 1-2	701	V
U 2-3	690	V
I 1	1951	A
I 2	2010	A
I 3	1922	A
P	1772	kW
Q	1538	kvar
THD U 1	0,7	%
THD U 2	0,7	%
THD U 3	0,7	%
THD I 1	2,6	%
THD I 2	2,4	%
THD I 3	2,4	%
muuntaja	3150	kVA
kuormitus	74	%
cosphi	0,76	

Taulukossa kuusi S -keskuksen jännitteen ja virran kokonaissäröisyydet alittavat suurimmat sallitut ja suositellut rajat. Sähkön laatu on hyvä.

Taulukko 7. U- keskuksen mittaustulokset.

mittauspvm	helmikuu 16, 2000	
syöttö	10 kV tehdas 1	
keskus	U	
lähtö	3	
U 1-3	708,5	V
U 1-2	707,6	V
U 2-3	708,2	V
I 1	577,3	A
I 2	530,8	A
I 3	521,9	A
P	461,2	kW
Q	480,4	kvar
THD U 1	0,5	%
THD U 2	0,5	%
THD U 3	0,5	%
THD I 1	5,9	%
THD I 2	6,7	%
THD I 3	1,7	%
muuntaja	3150	kVA
kuormitus	21	%
cosphi	0,69	

Taulukossa seitsemän U-keskuksen jännitteen kokonaissäröisyys täyttää sallitun rajan ja sähkön laatu on hyvä. Virran kokonaissäröisyys täyttää suositellut rajat, mutta tulevaisuudessa mahdollinen yliaaltolähteen lisääminen kuormaksi alhaisesti kuormitetussa keskuksessa voi aiheuttaa suositeltujen arvojen ylittymisen.

Taulukko 8. H- keskuksen mittaustulokset.

mittauspvm	helmikuu 22, 2000	
syöttö	10 kV tehdas 1	
keskus	H	
lähtö	3	
U 1-3	405,7	V
U 1-2	412,6	V
U 2-3	400,2	V
I 1	827,4	A
I 2	829,8	A
I 3	840,8	A
P	471,5	kW
Q	347,2	kvar
THD U 1	100	%
THD U 2	3,3	%
THD U 3	100	%
THD I 1	100	%
THD I 2	27,8	%
THD I 3	100	%
muuntaja	2000	kVA
kuormitus	29	%
cosphi	0,81	

Taulukossa kahdeksan on todennäköisesti tapahtunut mittaushäiriö. Toisen vaiheen kokonaissäröisyydet antavat suuntaa normaalista sähkönlaadusta, mutta virransäröisyys ylittää suositellun arvon. Tarkistusmittaus olisi tarpeellinen, jotta voitaisiin varmistua sähkönlaadusta ennen kompensoinnin ja yliaaltojen suodatuksen toteutusta. Kompensoinnissa täytyy käyttää kuitenkin yliaallot suodattavaa kompensointia, koska kuormana on tasavirtakäyttöjä. Tasavirtakäytöt ovat yliaaltolähteitä. Jos mittauksissa on verrattu virran kokonaissärön summaa perustajuiseen virtaan(THD-F), on mahdollista että kuormien kondensaattorit ovat muodostaneet yliaaltoja vahvistavan resonanssipiirin. Se on mahdollisesti vahvistanut yliaaltoja.

Taulukko 9. T- keskuksen mittaustulokset.

mittauspvm	helmikuu 16, 2000	
syöttö	10 kV tehdas 2	
keskus	T	
lähtö		
U 1-3	706,6	V
U 1-2	706,7	V
U 2-3	706	V
I 1	761,2	A
I 2	702,1	A
I 3	708,9	A
P	646,4	kW
Q	604	kvar
THD U 1	1,74	%
THD U 2	1,54	%
THD U 3	1,73	%
THD I 1	15,1	%
THD I 2	14,51	%
THD I 3	15,8	%
muuntaja	3150	kVA
kuormitus	28	%
cosphi	0,73	

Taulukossa yhdeksän jännitteen kokonaissäröisyys alittaa sallitun rajan ja sähkön laatu on hyvä. Virran säröisyydet kuitenkin ylittävät suositellut rajat. Kondensaattori kuormia lisättäessä täytyy huomioida resonanssi tilanteet, jotka johtavat virransäröisyyden moninkertaistumiseen. [1 s. 44-45.]

Taulukko 10. Z- keskuksen mittaustulokset.

mittauspvm	helmikuu 21, 2000	
syöttö	10 kV tehdas 2	
keskus	Z	
lähtö	3	
U 1-3	396,4	V
U 1-2	382,4	V
U 2-3	390,3	V
I 1	908,8	A
I 2	833,2	A
I 3	901,6	A
P	300,9	kW
Q	513,2	kvar
THD U 1	4,3	%
THD U 2	3,6	%
THD U 3	7,4	%
THD I 1	35	%
THD I 2	30,7	%
THD I 3	32,6	%
muuntaja	2000	kVA
kuormitus	30	%
cosphi	0,51	

Taulukossa 10 jännitteen kokonaissäröisyys alittaa sallitut arvot, mutta yliaaltojen lähteen lisääminen kuormaksi tulevaisuudessa voi muuttaa jännitteen kokonaissäröisyyden liian suureksi. Kompensoitaessa yliaallot kannattaisi suodattaa. Virran kokonaissäröisyyden suositellut arvot ylittyvät. Sähkön laatu on standardi tasoista.

Taulukko 11. M- keskuksen mittaustulokset.

mittauspvm	helmikuu 21, 2000	
syöttö	10 kV tehdas 2	
keskus	M	
lähtö	3	
U 1-3	682,5	V
U 1-2	689,4	V
U 2-3	675,3	V
I 1	2113	A
I 2	2091	A
I 3	2094	A
P	2110	kW
Q	1305	kvar
THD U 1	0,4	%
THD U 2	0,4	%
THD U 3	0,4	%
THD I 1	0,7	%
THD I 2	0,7	%
THD I 3	0,7	%
muuntaja	3150	kVA
kuormitus	79	%
cosphi	0,85	

Taulukossa 11 jännitteen ja virran kokonaissäröisyydet alittavat suurimmat sallitut ja suositellut rajat. Sähkön laatu on hyvä.

Taulukko 12. X- keskuksen mittaustulokset.

mittauspvm	helmikuu 21, 2000	
syöttö	10 kV tehdas 2	
keskus	X	
lähtö		
U 1-3	685,8	V
U 1-2	695,7	V
U 2-3	676	V
I 1	1620	A
I 2	1606	A
I 3	1614	A
P	1482	kW
Q	1214	kvar
THD U 1	0,4	%
THD U 2	0,4	%
THD U 3	0,4	%
THD I 1	0,9	%
THD I 2	0,9	%
THD I 3	0,9	%
muuntaja	3150	kVA
kuormitus	61	%
cosphi	0,77	

Taulukossa 12 jännitteen ja virran kokonaissäröisyydet alittavat suurimmat sallitut ja suositellut rajat. Sähkön laatu on hyvä.

Taulukko 13. P- keskuksen mittaustulokset.

mittauspvm	helmikuu 21, 2000	
syöttö	10 kV tehdas 2	
keskus	P	
lähtö	4	
U 1-3	663,9	V
U 1-2	673,3	V
U 2-3	674,6	V
I 1	1575	A
I 2	1363	A
I 3	1520	A
P	1370	kW
Q	1043	kvar
THD U 1	0,8	%
THD U 2	1,1	%
THD U 3	1,4	%
THD I 1	2,9	%
THD I 2	2,8	%
THD I 3	3	%
muuntaja	3150	kVA
kuormitus	55	%
cosphi	0,80	

Taulukossa 13 jännitteen ja virran kokonaissäröisyydet alittavat suurimmat sallitut ja suositellut rajat. Sähkön laatu on hyvä.

Taulukko 14. N- keskuksen mittaustulokset.

mittauspvm	helmikuu 21, 2000	
syöttö	10 kV tehdas 2	
keskus	N	
lähtö	4	
U 1-3	684,2	V
U 1-2	706,1	V
U 2-3	696,5	V
I 1	1072	A
I 2	1120	A
I 3	1094	A
P	1045	kW
Q	805,6	kvar
THD U 1	0,4	%
THD U 2	0,4	%
THD U 3	0,4	%
THD I 1	1,1	%
THD I 2	1	%
THD I 3	1,1	%
muuntaja	3150	kVA
kuormitus	42	%
cosphi	0,79	

Taulukossa 14 jännitteen ja virran kokonaissäröisyydet alittavat suurimmat sallitut ja suositellut rajat. Sähkön laatu on hyvä.

Taulukko 15. L- keskuksen mittaustulokset.

mittauspvm	helmikuu 22, 2000	
syöttö	10 kV tehdas 2	
keskus	L	
lähtö	3	
U 1-3	714,3	V
U 1-2	702,4	V
U 2-3	692,2	V
I 1	858,8	A
I 2	830,7	A
I 3	853,9	A
P	730,4	kW
Q	729,7	kvar
THD U 1	0,4	%
THD U 2	0,4	%
THD U 3	0,4	%
THD I 1	1,9	%
THD I 2	1,8	%
THD I 3	2,1	%
muuntaja	3150	kVA
kuormitus	33	%
cosphi	0,71	

Taulukossa 15 jännitteen ja virran kokonaissäröisyydet alittavat suurimmat sallitut ja suositellut rajat. Sähkön laatu on hyvä.

Taulukko 16. Tehdas 1- kojeiston mittaustulokset.

mittauspvm	helmikuu 16, 2000	
syöttö	10 kV	
keskus	Tehdas 1	
lähtö	7	
U 1-3	10390	V
U 1-2	10370	V
U 2-3	10370	V
I 1	228,9	A
I 2	225,1	A
I 3	229,8	A
P	2940	kW
Q	2865	kvar
THD U 1	0,6	%
THD U 2	0,4	%
THD U 3	0,6	%
THD I 1	4	%
THD I 2		%
THD I 3	3,8	%
muuntaja		kVA
kuormitus		%
cosphi	0,72	

Taulukko 17. Tehdas 2- kojeiston mittaustulokset.

mittauspvm	helmikuu 21, 2000	
syöttö	10 kV	
keskus	Tehdas 2	
lähtö	8	
U 1-3	10410	V
U 1-2	10330	V
U 2-3	9990	V
I 1	620,8	A
I 2	592,3	A
I 3	619,7	A
P	8222	kW
Q	7066	kvar
THD U 1	0,6	%
THD U 2	0,4	%
THD U 3	0,6	%
THD I 1	2,1	%
THD I 2		%
THD I 3	2,1	%
muuntaja		kVA
kuormitus		%
cosphi	0,76	

Tehdas 1 ja 2 kojeistojen toisen vaiheen virran mittaustuloksissa on häiriö. Kyseessä olevat kojeistot ovat mittausten aikana olleet erotettuna toisistaan. Kojestot kytkettiin

katkaisijalla yhteen tehdas 2 kaapeleiden ylikuorman vähentämiseksi. Lisäksi 2002 vuonna tehtyjen mittausten perusteella kartonkitehtaan tehojen suuruudet selvitettiin seuraavasti. Onnistuneiden mittausten perusteella kojeistoissa jännitteen ja virran kokonaissäröisyydet täyttävät suurimmat sallitut ja suositellut rajat. Sähkön laatu on molemmissa kojeistoissa hyvä. Jännitteen säröisyys antaa suuntaa liittymäpisteen säröisyydestä, jonka kantaverkkoyhtiö voi tulla mittaamaan mikäli epäilee tehtaan sähköverkon olevan yliaaltolähde.

Taulukko 17. Vuonna 2002 mitatut tehot sähköverkossa.

TEHDAS

KOJEISTO	P/kW	Q/kvar
P	1370	1040
Z	460	780
M	2110	1300
V3	290	600
L	730	730
X	1480	1210
T	710	600
N	1050	810
TEHDAS 2	8200	7070

V1	100	200
K	40	100
H	470	350
S	1770	1540
V2	100	200
U	1230	1280
TEHDAS 1	3710	3670

**TEHDAS
YHTEENSÄ 11910 10740**

HIOMO

HIOMO 1	3800	2300
----------------	-------------	-------------

HIOMO 2	2000	1600
----------------	-------------	-------------

**HIOMO
YHTEENSÄ 5800 3900**

TEHDAS JA HIOMO YHTEENSÄ	17710	14640
-------------------------------------	--------------	--------------

Tehoselvityksen jälkeen kuormista ainoastaan K -keskuksen kuorma on muuttunut merkittävästi. Mittausten jälkeen lisäkuormaksi tuli uusi arkkileikkurin tasavirtakäyttö, joka syöttää noin 100 kW:n tehoisia tasavirtakoneita. Sähköverkon kokonaistehojen suhteen muutos on merkityksetön, mutta K-keskuksen tehojen suhteen muutos on merkittävä. Muita merkittäviä muutoksia ei ole mittausten jälkeen tullut. Tehomittauksessa hiomo 1 - kojeiston loistehotilanteessa ei ole todennäköisesti huomioitu että tahtikoneilla tuotetaan kapasitiivista loistehoa induktiivisen loistehon sijaan. Tämä tarkoittaa että hiomon loistehot olisi yhteensä 700 kvar kapasitiivista loistehoa jolloin tehtaan ja hiomon loisteho olisi yhteensä 10040 kvar. Myöhemmin vuonna 2010 Seppo Turunen on arvioinut mittausten perusteella tehoja seuraavasti.

LOISTEHOTILANNE		
TEHDAS		
KOJEISTO	P/kW	Q/kvar
P	1370	1040
Z	460	780
M	2110	1300
V3	290	600
L	730	730
X	1480	1210
T	710	600
N	1050	810
TEHDAS 2	8200	7070
V1	100	200
K	40	100
H	470	350
S	1770	1540
V2	100	200
U	1230	1280
TEHDAS 1	3710	3670
TEHDAS		
YHTEENSA	11910	10740
HIOMO		
HIOMO 1	3800	
HIOMO 2	2000	1600
HIOMO		
YHTEENSA	5800	1600
TEHDAS JA HIOMO		
YHTEENSÄ	17710	12340

Kuva 3. Tehotilanne vuonna 2010. [15.]

K -keskuksen tehot ovat samat kuin aiemmassa vuoden 2002 mittauksessa, kummassakaan ei ole huomioitu uutta kartonkikone kolmen arkkileikkuria. Lisäksi hiomon 1 -kojeistossa on mahdollista tuottaa hiomakoneilla 1500 kvar kapasitiivista loistehoa, jolloin tehtaan ja hiomon loisteho yhteensä olisi 10840 kvar.

8 Johtopäätökset mittaustuloksista

Esiteltyt mittaukset eivät täytä SFS EN-50160 -standardia, jossa määritetään jännitteen laadulliset ominaisuudet. Mittauksien perusteella pystytään tekemään johtopäätökset loistehon tarpeesta ja yliaalloista. Yliaaltojen liiallinen syöttäminen kantaverkkoon johtaa tilanteeseen, jossa kantaverkkoyhtiö tekee standardin määräysten mukaiset mittaukset asiakkaan puolella mahdollisimman lähellä solmupistettä. Solmupiste on sähköasemalla heti päämuuntajan (110/10,5 kV) jälkeen toisiopuolen kiskoissa. Yhtiö jättää mittaustuloksensa perusteella aikarajan johon mennessä verkkoon heijastuvat yliaallot on korjattava standardien mukaisiksi. Yliaaltoja koskevia säädöksiä käsitellään "Yliaaltoja koskevat säädökset ja suositukset" -osiossa.

10 kV:n jännitetasolla mitatuista tuloksista kojeistojen toisen vaiheen virrankokonaissärön tulokset ovat virheelliset mittausrvirheestä johtuen. Jännitteen kokonaissärön arvot ovat tehdas 1 ja tehdas 2 kojeistoissa hyvät. Jännitteen THD - arvot heijastuvat kaikista 10 kV:n jännitetasolta syötettävistä yliaalloista syntyneistä kuormista. Tehtaan 10 kV:n mittaukset tehtiin kojeistoja yhdistävän katkaisijan ollessa auki, joten mittauksista on mahdollista päätellä tehdas 2 -kojeistoon tarvittavat kapasitiivinen loisteho. Kapasitiivisen loistehon syöttämisellä verkkoon voidaan pienentää kokonaisvirtaa tehdas 2 kaapelista. Tehdas 1 ja tehdas 2 mittaustulosten laskennallisesti yhdistämistä vastaamaan nykyistä kytkentä tilannetta on mahdoton toteuttaa, koska se vaatisi THD - suureiden kulmien tuntemista. Jännitteen THD - arvot ovat kuitenkin suuntaa antavat nykyistä tilannetta arvioitaessa, joka johtuu jännitteen enemmän staattisesta luonteesta suhteessa virran THD - arvoihin. Jännitteen THD - arvot heijastuvat kaikkialta verkosta, hiomolta, voimalaitoksilta ja kantaverkosta, samaan jännitetasoon ja arvot vaihtelevat impedanssierojen (jännite häviöt) mukaan riippuen jännitemittauksen sijainnista. Toisaalta katkaisijan ollessa kiinni virtasäröjen vektoreiden summautuminen vaikuttaa jännitesäröön.

Jos nykyisestä kytkentätilanteesta halutaan tarkat yliaaltomittaukset kompensointia varten tulisi mittaukset 10 kV:n tasossa suorittaa uudestaan. Lähtökohtaisesti katkaisija täytyisi saada auki vika- ja huoltotilanteiden varalle, jolloin erillään suoritettavat mittaukset palvelevat tarkoitusta paremmin. Seuraavassa tutkitaan tilannetta, jossa loistehon kompensoinnin avulla pyritään pienentämään tehdas 2 -kaapelin kokonaisvirtaa riittävästi mahdollistaen kojeistojen välisen katkaisijan avauksen vika- ja huoltotilanteiden

varalle. Tutkitaan tilannetta, jossa Tehdas 2 - kojeiston loistehosta kompensoitaisiin 6 Mvar (taulukko 20).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{8,2^2 + 1,07^2} = 8,27MVA$$

Nyt voidaan laskea kompensoinnin jälkeinen kokonaisvirta.

$$I = \frac{8,27}{\sqrt{3} \cdot 0,01} = 477,4A$$

Kojeistojen katkaisijan ollessa auki tehdas 2 syöttö on toteutettu 2 x APYAKMM 3x300 mm² -kaapeleilla, joiden siirtokyky on 450-540 ampeeria kyseisellä asennustavalla. Kyseessä olevalla kompensoinnilla toteutettuna kaapeleiden kuorma olisi noin 480 ampeeria. Tulevaisuudessa joka tapauksessa mahdollisia lisäkuormia kytkettäessä ylikuormitettaisiin tehdas 2 -johtimia.

K-keskuksen kuormat ovat muuttuneet mittauksien aikaisista merkittävästi, koska kuormaksi on lisätty kartonkikone kolmen arkkileikkuri. Arkkileikkurissa on tasavirtakäyttö, joka ohjaa noin 100 kilowatin edestä tasavirtakoneita. Mittaukset eivät ole standardin mukaisesti toteutettu, mutta tuloksista voidaan tehdä johtopäätöksiä kompensointi tarpeesta ja yliaaltojen suodatuksista.

Kompensointia laadittaessa rinnan- tai sarjaresonanssi tilanteissa yliaallot voivat kerääntyä moninkertaiseksi. Kyseessä olevissa tilanteissa täytyy yliaallot ottaa huomioon kompensointitapaa valittaessa. Suositeltujen virransäeroisyyksien ylittyessä täytyy resonanssi tilanteet huomioida kompensointilaitteissa. Mahdollista kompensointia toteutettaessa on suositeltavaa tehdä tarkastusmittaukset ennen laitteiden tilausta.

9 Mahdollinen kompensointi ja yliaaltojen suodatuslaitteisto

Työn osassa seitsemän esitellyistä mittauksista käy ilmi loistehon tarpeet keskus - ja 10 kV:n kojeistokohtaisesti. Loistehon kompensoinnin loppuessa voimalaitoksilta toimuspisteryhmäkohtaisen loissähkö sopimuksen ylläpitäminen Enocell Oy:n kanssa on

heidän kannaltaan vähemmän mielekästä. Kyseessä olevassa tilanteessa ilmaista loistehoa voidaan enimmillään syöttää kantaverkkoon 600 kvar tai ottaa 2400 kvar. Lois-
sähkösopimuksen maksukaudella on mahdollista ylittää enintään kymmenenä tuntina loistehon laskettu ilmainen arvo. Loistehohuippu on asiantuntijoiden mukaan 16 Mvar ja keskimääräinen loistehon tarve on 12 Mvar, joista hiomo 1 pystyy kompensoimaan noin 1,5 Mvar.[15, 16] Kantaverkosta on mahdollista ottaa 2,405 Mvar ilmaista loistehoa. Hiomakoneiden lisäksi tarvitaan loistehohuippujen kompensointiin vielä 12,1 Mvar kapasitiivista loistehoa, jos verkkoon ei haluta antaa tai ottaa loistehoa. Taulukossa 19 esitetään vuonna 2010 tehtyjen tarjouspyyntöjen perusteella kompensointi vaihtoehto.

Taulukko 19. Kompensointi ehdotus.

Mahdollinen kompensointilaitteisto		
Kojeisto/keskus	Jännite/ KV	Laitteisto
Tehdas 1	10	3 Mvar estokelaparisto
Tehdas 2	10	6 Mvar estokelaparisto
Hiomo 2	10	3 Mvar estokelaparisto
Tehdas 2 / Z - keskus	0,4	500 Kvar yliaaltosuodatin
Yhteensä:		12,5 Mvar

Kyseisellä kompensoinnilla pystyttäisiin kompensoimaan 16 Mvar loistehohuipusta 14 Mvar ja kantaverkosta otettaisiin 2 Mvar. Loistehohuippuja kompensoitaessa ilmaisesta loistehosta jäisi 400 kvar varalle. Oikosulkusimulaation virta-arvot ja oikosulkuvirrat löytyvät liitteistä 5 sekä 6.

Mahdollisen kompensointilaitteiston pienjännite kompensointiportaiden suuruuteen tulee kiinnittää huomiota, jotta portaat ja säädin tai suodatin ottaa huomioon kompensoitujen moottoreiden itseherätys ongelman. Seuraavassa taulukossa arvioidaan kompensointilaitteistojen hintaa arviointien(28.9.2010) ja tarjousten(15.11.2010) tarjousten perusteella. Tarjoukset löytyvät liitteestä seitsemän.

Taulukko 20. Kustannusarvio kompensointilaitteista.

Kompensointilaitteisto	Hinta
6 Mvar estokelaparisto(10 kV)	47 000
3 Mvar estokelaparisto(10 kV)	33 000
3 Mvar estokelaparisto(10 kV)	33 000
450 kvar estokelaparisto(400 V)	8 500
Yhteensä:	121 500 €

Pienjännite puolen kompensointilaitteiston hinta on laskettu kolmen 450 kvar estokelapariston(500 V) tarjouksesta. Laitekustannusten lisäksi oman kompensoinnin kustannukset koostuvat asennustöistä, kaapeleista, laitteiden sijoituksesta, laitteille tehdyistä perustuksista sekä sähkönsyötöstä koituvat laitekustannukset lisäkustannukset. Vuoden 2011 helmikuussa Seppo Turunen arvioi noin 9,5 Mvar kompensoinnista koituvien asennustöiden ja muiden kustannusten hinnaksi yhteensä noin 100000 € Isommassa 12,45 Mvar kompensoinnissa lisäkustannukset olisivat enemmän, joten kokonaiskustannukset tulisivat olemaan vähintään 230 - 260 tuhatta euroa. Muuttujien määrästä johtuen tarkempaan kustannusarvioon tarvitaan tarkat suunnitelmat kompensointilaitteistosta. Kustannuksien suuruuteen voidaan vaikuttaa alentavasti lisäämällä oman työn osuutta asennuksissa. Loistehonsäätimet nostavat kustannuksia, mutta poistavat käsisäädön tarpeen.

Kompensointia toteutettaessa samalla kannattaisi ottaa harkintaan Tehdas 2 - kaapeleiden rinnalle yhden vastaavan lisäkaapelin asennusta. Tehdas 2 - kaapeleita on jatkettu tehtaan päädyssä huonomman kuormitusvirran omaavilla kaapeleilla. Jatkoksen APY-AKMM - kaapeleiden korvaaminen vastaavalla AHXAMK-W kaapelilla, jota on alussa syötössä 420 metriä, nostaisi kuormitettavuutta. AHXAMK-W kaapelin kuormitus kyseessä olevalla asennustavalla tarkastettava ennen jatkoksen vaihtamista. Jos asennustavan vaikutus jatkoksen kuormitettavuuteen on vastaava kuin APYAKMM kaapeleissa arvioitu kuormitettavuuden lisäys on noin 50 ampeeria.

Kompensointilaitteistojen sijoitus on ongelmallinen niiden tilantarpeen ja asennustilan olosuhdevaatimusten vuoksi, jotka nostavat kaapelointien ja töiden määrän kautta kustannuksia. Esitetyn mahdollisen kompensointi laitteistojen olosuhdevaatimukset saattavat nousta niin suuriksi että laitteiston toimittajaa kannatta vaihtaa tai sopia laitteistojen

suojauksesta siten että ne voidaan sijoittaa ulkokatokseen. Lopuksi taulukko vapaista lähdöistä pääkeskuksissa.

Taulukko 21. Vapaat lähdöt pääkeskuksissa.

Vapaat lähdöt	
Keskus	Tilanne
H	1KPL OESA 630A
J	VAIN TYHJIÄ TILOJA, OESA ASENNETTAVA
K	2KPL UUNILUUKKULÄHTÖJÄ 630A + TYHJIÄ TILOJA
L	EI VAPAATA
M	2KPL OESA 630A
N	2KPL OESA 630A
P	1KPL OESA 630A
S	1KPL TYHJÄ KATKAISIJALÄHTÖ
T	1KPL OESA 630A
U	EI VAPAATA
X	EI VAPAATA
Z	1KPL TYHJÄ KATKAISIJALÄHTÖ

10 Johtopäätökset

Loissähkön kompensointineuvotteluissa Kemijoki Oy:n kanssa kannattaa pyrkiä pitämään kiinni sopimuksesta, joka mahdollistaa 4 Mvar kompensoinnin generaattoria kohden. Mahdolliset loistehonkompensointi korvaukset sopimuksesta kannattaa suhteuttaa oman kompensoinnin kustannuksiin tilanteessa jolloin on oma loissähkösoyimus. Todennäköisintä on että, jos kompensointia ei pystytä hoitamaan generaattoreilla, Enocell Oy sekä kantaverkkoyhtiö ei näe mielekkääksi yhteistä toimituspisteryhmän loissähkösoyimusta. Lisäksi tahtikoneilla toteutettu kompensointi reagoi nopeasti sähköverkon loistehotilanteeseen suhteessa estokelapariostoilla toteutettuun kompensointiin. Oman kompensoinnin tilanteessa tahtikoneilla pystyttäisiin toteuttamaan 1,5 Mvar kompensoinnista, mutta arvioiden mukaan keskimääräisen ja huippu loistehon erotus on 4 Mvar. Loistehon kompensoinnin päästäminen tilanteeseen, jossa ei ole omaa tai voimalaitosten kompensointia on taloudellisesti mahdoton. Tällaisessa tilanteessa kantaverkkoyhtiöön täytyy ottaa yhteyttä ennakkoon ja sopia jatkotoimenpiteistä ja kustannuksista.

Mittauksia tehtäessä tehtaan 10 kV:n kojeistot olivat erillään ja tällä hetkellä ne ovat yhdessä ja niissä virtaa noin 400 ampeerin virta. Mittauksien perusteella yliaaltojen summautumisesta, tämän hetken kytkentätilanteessa, on mahdoton laskea kokonaissärö arvoja, koska laskennassa tarvittavat suureet ovat vektorisuureita. Toisaalta tehdyt mitaukset mahdollistavat kompensoinnin suunnittelun tilanteessa jolloin kojeistot ovat erillisinä ja tehdas 2 kaapelin ylikuorma saadaan hallintaan mahdollisella kompensoinnilla. Kyseessä oleva tilanne palvelee huoltoa ja vaurioiden korjaamista paremmin. Kaapelin rinnalle lisääminen tai jatko-osan vaihto tehdas 2 syötössä kannattaa hoitaa mahdollisen kompensoinnin toteutuksen yhteydessä.

Oman kompensoinnin tilanteessa tehtaan ja hiomon kuormien käynnistykseen täytyy laatia järjestys, jotta kaikkia loistehoa synnyttäviä laitteita ei kytketä yhtä aikaa ja ylitetä tunnin sallittua keskiarvo loistehoa. Usein loistehoa synnyttävät laitteet käynnistyessään vaativat suuremman määrän loistehoa normaaliin jatkuvaan käyttöön verrattuna. Seisokit ja vikatilanteet aiheuttavat mahdollisesti laskutuskauden loistehoikkunan ylityksen kymmenenä tuntina, jos kuormat kytketään verkkoon satunnaisesti.

Pienjännite puolella toteutetut liialliset kompensoinnit voivat aiheuttaa moottoreita syöttävissä keskuksissa itseherätys ongelmaa moottoreissa. Tehokerroin ei saa nousta yli 0,98-0,99. Pöyryn mittaustulosten taulukoinneissa oli laskettu kompensoitavaksi 0,99 tehokertoimella. Tällaisissa moottoreita syöttävien keskusten kompensoinneissa täytyy huomioida että viimeistä kompensointiporrasta ei kytketä kompensointiin tai että tehokerroin ei ylitä 0,98 arvoa.

11 Pohdinta

Sähkön laatu oli suurimmassa osassa tehtaan sähköverkkoa hyvä. Jännitteen salittuja kokonaissäröisyyden rajoja ei ylitetty yhdessäkään keskuksessa. Pääkeskuksissa sähkön laatu oli standardi -tasoista Z -keskuksessa ja normaali tasoista H -keskuksessa.

Yliaaltomittauksia tehneeseen yritykseen otettiin yhteyttä ja vaadittiin harmonisten yliaaltojen kerrannaiskohtaisia mittaustuloksia pääkeskuksista. Yrityksen mukaan työnt-

kijät eivät olleet enää palveluksessa ja tarkempia mittauksia ei saatu. Kompensoinnin toteutus vaiheessa kannattaa tarkastusmittaukset tehdä ennen laitteiden tilausta.

Jatkotyön aiheita on työtä tehdessä tullut runsaasti. Jatkotyö jossa tehtäisiin tarvittavat tarkistusmittaukset ja joka kävisi kaikki kompensointimahdollisuudet lävitse. Hiomon sähkönlaadun mittaukset antaisivat tarkemman tiedon kompensointi mahdollisuuksista normaali käytössä hiomakoneilla ja hiomon syöttö kahden loistehon tarpeesta. Tehdas 2 kaapeleiden uusinnan tai jatkoksen vaihdon voisi toteuttaa oppilastyönä. Lisäksi automaatio puolen työnä voisi toteuttaa liittymäpisteen loistehojen arkistoinnin siirtämisen tehtaalte voimalaitokselta. Tunnin keskiarvoina mitatut loistehot antavat tarkan kuvan loistehohuipuista ja kompensoinnin tarpeesta. Arkistoinnin siirtäminen ja siihen tehtävät muutokset kannattaa ajoittaa tehtäväksi ennen oman kompensoinnin toteutusta. Olisi tärkeää että omasta arkistoinnista saisi tarkan kuvan tuntikohtaisista loistehohuipuista. Toimituspisteryhmän loistehoikkunan oton ylärajaksi on suositeltu 2 Mvar kartonkitehtaan liittymispisteessä. Tarkastelin tunnin loistehonotto keskiarvoja vuoden 2011 huhtikuussa neljänä peräkkäisenä päivänä(8.-11.) voimalaitoksella. Arvot eivät ylittäneet 2 Mvar suositeltua arvoa.

Lähteet

1. Yliaallot ja kompensointi, Sähkö ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, Tammer-Paino Oy, 2006, ISBN 952-5600-19-X
2. Sähköinfo Oy, Loistehon kompensointi pienjänniteverkossa (UN < 1000 V), ST-kortti 52.15, verkkodokumentti 5215.pdf, 01.01.2012
3. Sähkömagnetismi, luento 10, Tampereen teknillinen yliopisto, 01.01.2012, verkkodokumentti, <http://webhotel2.tut.fi/units/smg/tp/kurssit/SMG-2100/luento10.pdf>
4. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet, Lauri Aura ja Antti Tonteri, WSOY, 1996, ISBN 951-021385-3
5. Tekniikan kaavasto, Mikko Mäkelä, Lauri Soininen, Seppo Tuomola, Juhani Öistämö, Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka, ISBN 952-5491-08-0
6. Loissähkösovimusten laatimisperusteet ja soveltamisohje, Fingrid Oy, 15.3.2012, verkkodokumentti, http://www.fingrid.fi/attachments/fi/palvelut/kantaverkkopalvelut/kantaverkkopalvelu2012/liite_4_loissahkon_sovellusohje.pdf,
7. Loistehon kompensointi ja yliaalto suojaus, Heikki Laakso, Valkeakosken ammatti- ja aikuisopisto, 15.03.2012, ABB:n TTT-käsikirja, http://heikki.pp.fi/abb/090_0007.pdf
8. Yliaalto-opus, Korpinen, Mikkola, Keikko ja Falck, Tampereen teknillinen yliopisto, 16.03.2012, verkkodokumentti, <http://leenakorpinen.fi/archive/opukset/ylialto-opus.pdf>
9. Fingrid:n 100 kV verkon sähkönlaatu, 3.1.2007, verkkodokumentti, http://www.fingrid.fi/attachments/fi/palvelut/kantaverkkopalvelut/liittyminen/sahkonlaatu_110kv.pdf
10. Sähkötekniikan luennot, yliaalto kurssi, Jorma Pekkanen, Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, luentomateriaali, syksy 2010
11. Sähköinfo Oy, Kompensointi- ja yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus pienjänniteverkossa (UN < 1000 V), 01.01.2012, ST-kortti 52.16, verkkodokumentti
12. Pankaboard Oy taloustiedot, Fonecta finder yritystieto, 1.01.2011, <http://www.finder.fi/Paperia,%20paperituotteita,%20kartonkeja/Pankaboard%20Oy/HELSINKI/taloustiedot/2132179>
13. Pankaboard Oy, kotisivu, <http://www.pankaboard.com/>, 02.01.2012

14. Enocell Oy:n loissähkö sopimus nro 6514/2004, Fingrid Oy
15. Loistehon kompensointitarkastelua, Seppo Turunen, word - dokumentti, 29.09.2010
16. Loistehotarkastelu tehtaalla ja hiomolla, Seppo Turunen, word - dokumentti, 10.09.2002

ENOCCELL OY:N LOISSÄHKÖN TOIMITUSPISTERYHMÄT (1 KPL)

Ryhmä 1, $Q_s = 11,9$ Mvar (110 kV puolella)

$Q_{s1} = - 3,0$ Mvar (110 kV puolella)

Liittymispiste	Mittauspiste	Mittausjännite
Lieksa	Lieksa 3.7	110 kV 1)
Uimaharju	Uimaharju 3.2	110 kV
	Uimaharju 3.6	110 kV
	Uimaharju 3.7	110 kV

1) Enso Alueverkko Oy:n verkkoon liittynyt Stora Enso Pankakoski Oy on liitetty Enocell Oy:n sopimukseen

Ryhmän ottoenergia kantaverkosta 1.10.2002 - 30.9.2003 = 6 143 MWh

Ryhmään liittyneiden yli 1 MVA generaattoreiden nettotuotanto ko. ajanjaksona = 586 099 MWh (ryhmässä yli 10 MVA generaattori)

Ryhmään liittyvät generaattorit (yli 10 MVA):

Voimalaitos / Generaattori	Nimellisteho S_N	Jänniteporras
Uimaharju 1 vp	15,0 MVA	110 kV
Uimaharju 2 vp/lv	117,5 MVA	110 kV

$Q_s = 6 143 \cdot 0,16 / 7000 = 0,1$ Mvar (loisreserveistä rahakorvaus)

Toimituspisteryhmän sisältäessä useita mittauksia lasketaan saman tunnin päto- ja loisenergiat erikseen yhteen.

Mittauksen ollessa alajännitepuolella lasketaan muuntajien loissähköhäviöt seuraavan kaavan mukaan ja lisätään mittauslukemiin:

$$Q_h = \frac{u_k \times P^2}{100 \times S_N}$$

Q_h = muuntajan loistehohäviöt, Mvar

u_k = muuntajan suhteellinen oikosulkuimpedanssi, %

P = muuntajan kuormittuminen, tuntikeskiteho, MW

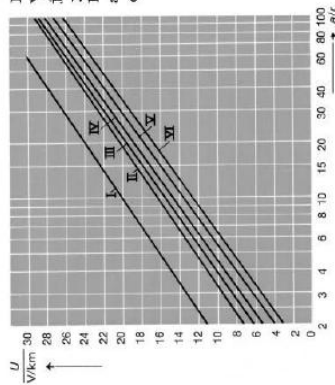
S_N = muuntajan nimellisteho, MVA

Huhtikuun kulutuksen kuukausiraportti

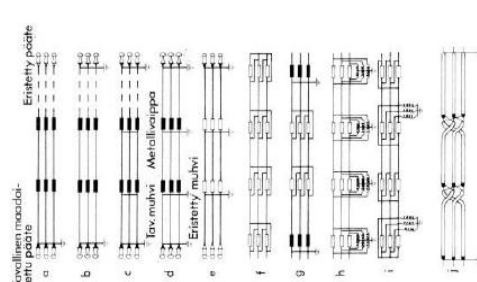
Liite 2

STORA ENSO		+S[HK\N KULUTUS/MWH		+2011-05-11+		+KUUKAUSIRAPORTTI+		+H[L+			
PANKAKOSKI OY						HUHTIKUU					
TEH	TEH	HIOMO	HIOMO	S[HK\	PKS	PATO	KULU	PRII	LOIS	LOIS	
DAS	DAS	1	2	KAT			TUS	MA	TEHO	TEHO	
1	2	P[APU	TILA			YHT	KULU	ANTO	OTTO	
1	2						TUS				
+ 1	+ 126.3	128.8	63.1	42.4	0.0	0.0	0.0	360.6	360.6	0.0	54.0
+ 2	+ 128.2	130.3	84.2	44.2	0.0	0.0	0.0	386.9	386.9	0.0	58.3
+ 3	+ 127.0	129.3	88.1	44.2	0.0	0.0	0.0	388.7	388.7	0.0	48.2
+ 4	+ 126.8	128.6	86.2	41.3	0.0	0.0	0.0	382.9	382.9	0.0	60.8
+ 5	+ 98.9	102.5	53.1	36.7	0.0	0.0	0.0	291.2	291.2	2.1	21.3
+ 6	+ 94.4	98.4	51.4	37.5	0.0	0.0	0.0	281.7	281.7	0.2	38.8
+ 7	+ 119.2	121.3	41.9	30.1	0.0	0.0	0.0	312.5	312.5	0.0	60.7
+ 8	+ 120.4	122.3	42.0	34.6	0.0	0.0	0.0	319.2	319.2	0.0	65.6
+ 9	+ 124.8	126.2	42.3	34.6	0.0	0.0	0.0	327.8	327.8	0.0	66.4
+ 10	+ 133.1	134.3	41.7	34.2	0.0	0.0	0.0	343.4	343.4	0.0	79.1
+ 11	+ 134.0	135.3	46.3	34.9	0.0	0.0	0.0	350.5	350.5	0.0	78.9
+ 12	+ 88.5	87.7	28.6	23.6	0.0	0.0	0.0	228.4	228.4	1.9	30.3
+ 13	+ 134.4	136.3	72.2	40.1	0.0	0.0	0.0	383.1	383.1	0.0	67.0
+ 14	+ 131.2	133.0	73.7	40.5	0.0	0.0	0.0	378.4	378.4	0.0	62.2
+ 15	+ 136.0	138.2	79.6	41.1	0.0	0.0	0.0	394.9	394.9	1.6	38.7
+ 16	+ 135.9	138.0	80.2	41.0	0.0	0.0	0.0	395.0	395.0	2.3	17.6
+ 17	+ 134.3	136.5	89.7	41.4	0.0	0.0	0.0	401.8	401.8	0.2	26.7
+ 18	+ 134.6	136.4	96.5	41.6	0.0	0.0	0.0	409.1	409.1	1.6	14.6
+ 19	+ 130.9	132.4	89.0	40.0	0.0	0.0	0.0	392.4	392.4	1.8	19.7
+ 20	+ 133.0	134.4	95.7	40.8	0.0	0.0	0.0	404.0	404.0	2.9	14.5
+ 21	+ 132.8	134.4	65.9	36.6	0.0	0.0	0.0	369.7	369.7	4.9	16.7
+ 22	+ 137.5	139.4	57.3	35.1	0.0	0.0	0.0	369.3	369.3	5.4	4.8
+ 23	+ 133.0	134.9	46.5	32.0	0.0	0.0	0.0	346.4	346.4	2.0	15.8
+ 24	+ 129.1	130.7	72.1	37.5	0.0	0.0	0.0	369.3	369.3	5.5	11.9
+ 25	+ 124.1	125.4	79.7	38.1	0.0	0.0	0.0	367.3	367.3	4.6	8.9
+ 26	+ 121.8	123.1	87.9	39.4	0.0	0.0	0.0	372.3	372.3	0.7	29.6
+ 27	+ 122.0	123.1	104.3	41.6	0.0	0.0	0.0	391.0	391.0	3.3	23.4
+ 28	+ 118.1	119.6	83.5	41.6	0.0	0.0	0.0	362.7	362.7	3.3	25.2
+ 29	+ 123.0	124.5	81.2	42.5	0.0	0.0	0.0	371.3	371.3	2.5	24.7
+ 30	+ 121.4	123.1	84.2	43.4	0.0	0.0	0.0	372.1	372.1	7.4	3.0
+ 31											
+ 1-15+	1823	1852	894.4	559.9	0.0	0.0	0.0	5130	5130	5.8	830.3
+ 1-31+	3754	3808	2108	1152	0.0	0.0	0.0	10824	10824	54.2	1087
+KOPIO++EDELL++ KULUVA +											
					07-22	0.0	MAKSIMI TUNTI-	0.9	3.7		
					22-07	0.0	KESKIJARVO/LOIS	11-04-29	11-04-12		

kuormitettavuus / 7



Kuva 21
Vaipan ja maan välille indusoitunut jännite 100 A kohti tavallisimmilla yksijohdinkaapelin sijoituskuviolla. r on metallivaipan keskiakseli ja a kaapeleiden keskipisteiden välinen etäisyys.



Kuva 22
Yksijohdinkaapelin metallivaippojen erilaisia yhdistämis- ja eristämistapoja.

Kuvan 21 käyriin kuuluvat kaapelien suojuskuviot

Kaapelien sijoitus	Vaihe, johon kuvien 21 käyriä kuuluu	Käyriä kuvassa 21
	1, 2	V
	1, 2, 3	V
	1, 3 2	IV V
	1, 3 2	II V
	1, 3 2	I III
	1, 3 2	VI III

7.4 Kuormitustaulukot

Kuormitustaulukot 17, 18 ja 21...26 jέρstuvat taulukon 20 mukaisiin olettuksiin. Virta-arvot pátэvat kolmelle kuormitettulle johtimelle samassa kaapelissa tai asennusputkessa sekä 50 Hz vaihtovirralla ettá tasavirralla. Jos neijällä johtimella samassa kaapelissa tai put-

kessa (esim. tasavirtakáytössä) on sama kuormitus ja polkkipinta, saadaan joh-toa kuormittaa 87 %:lla kuormitustaulukoissa 21...26 ilmoitetusta virrasta. Johtimittain ollessa alumiinia johdinta saadaan kuormittaa enintään 78 % siitä arvosta, joka sallitaan samapoikkipintaiselle kuparijohtimelle.

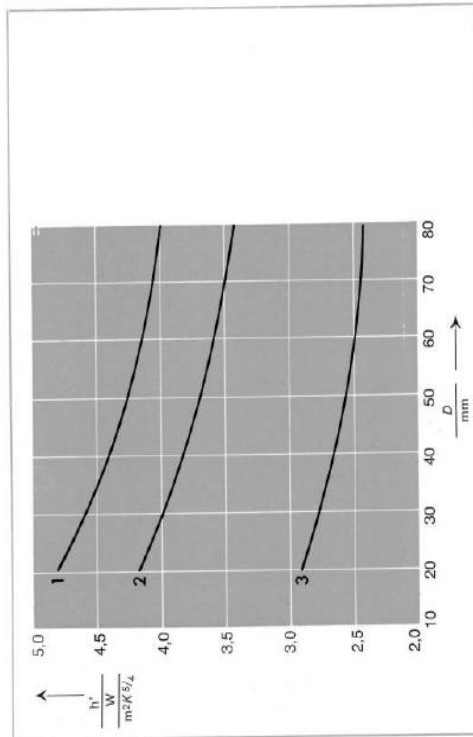
Taulukko 20 Voimakaapelin yhteisjohtimaisien kuormitustaulukoiden perusteet

Eriyso-aine	Nimallijännite U, kV	Suurin sallittu lämmönsiirto U_{m} , kV	Lajimerkintä-ohjelmerkki	Johdintämpötilä normaali-käytössä, °C	Käikele-tessä oik-euluvirra, °C _a
PVC	...1 ...10	...1,2 ...12	MK, MMJ, MSK, (A)MCMK, (A)MMK	70 65	150 135
Luonnon-kumi	...1	...1,2	VSK, VSE, VSV(N)	60	(150)
Paperi	...1 10...20	...1,2 12...24	APAKM, PLK(VJ) APYAKMM, HPLK, PYLK(VJ) PYLK(VU)	80 65	250 "
"	30 30...110	36 36...123	OHPLKM	65 85	" 160
PEX	1...69	1,2...72,5	(H)XLMK	90	250
PE	...1	...1,2	AMKA	70	130
PE	10...69	12...72,5	HMCMK, SAMKA AHMDMK	65	150
Silkoni	...1	...1,2	VSST	170	—

Kaapelimateriaalien lämpökestävyyksiä kyllästetty paperi juutti PVC PE ja PEX luonnonkumi Ilman lämpötilä Maaperän lämpötilä Asennussyvyys maassa 0,7 m Maaperän lämpökestävyys 1 Km/W Lämmönvälitykerroin ilmaan kuvan 20 mukaan

* Jatkokset ja päätteet on rakennettava ja asennettava siten, että ne kestävät samat virrat kuin kaapelit.

kuormitusluku / 7



Kuva 20
Kaapelin pinnan lämmönvälitykerroin h' kaapelin halkaisijan d funktiona. 1 kolmi-ohdintaapeli, 2 yksiohditkaapeli samassa ta- sossa vapaa etäisyys 70 mm, 3 yksiohdi- kaapelit kolmiossa koskettaen toisiaan.

Taulukon 21 kuormitusvirta-arvot koskevat mm. seuraavia kaapelitajeja:

- (1) MMK, MCMK, MLJRM
- (2) PLKM, PLKVJ, PLKPJJ
- (3) HMCMMK
- (4) HPLKM, HPLKVJ, HPLKPJJ, PVLKVJ, PLKVJ, PLKPJJ
- (5) AMMK, AMCMK
- (6) APAKM
- (7) AHMCMK, AHMDMK
- (8) APYAKMM. Arvot pätevät myös 5,8/10 kV APAKM-kaapeleille poikkipintaan 95 mm² asti.

Lasketaperusteet ks. taulukko 20
Korjauskertoimet ks. taulukot 26 ... 34

Taulukko 21
Kaksi- tai useampi-ohjittimisen kaapelin sallittu jatkuva kuormitusvirta ampeereina.

Johti- men poikki- pinta mm ² Cu	0,6/1 kV				5,8/10 ... 26/45 kV			
	Ilmassa *)		Maassa		Ilmassa *)		Maassa	
	PVC (1)	Paperi (2)	PVC (1)	Paperi (2)	PE (3)	Paperi (4)	PE (3)	Paperi (4)
1,5	17	23	26	29				
2,5	24	31	35	39				
4	33	41	46	52				
6	43	51	57	63				
10	59	70	77	86	63	60	72	70
16	83	94	100	115	82	82	95	93
25	110	120	130	145	105	105	120	120
35	135	150	160	175	130	135	150	150
50	160	180	190	210	155	160	180	175
70	210	230	240	260	190	200	220	220
95	250	275	285	310	225	240	255	260
120	290	315	325	350	260	275	290	300
150	330	365	370	400	300	315	330	335
185	380	410	420	450	340	360	370	380
240	450	480	480	525	385	415	425	440
300	510	560	550	595	450	470	485	495
mm ² Al	(5)	(6)	(5)	(6)	(7)	(8)	(7)	(8)
2,5	19		27					
4	26		36					
6	33	40	44	49				
10	46	55	60	67				
16	65	74	78	90	64	64	70	72
25	85	95	100	115	83	85	93	94
35	105	115	125	135	100	105	115	115
50	125	140	150	165	120	125	140	140
70	160	180	185	205	150	155	170	170
95	195	215	220	240	175	190	200	205
120	225	245	255	275	200	210	225	225
150	260	285	290	310	230	240	255	255
185	295	320	330	350	265	270	285	290
240	350	375	375	410	305	315	330	335
300	400	430	430	465	350	360	375	375

* Jäähdytysolosuhteet samat kuin jos kaapeli olisi vapaasti ilmassa

REKA
K A A P E L I

DRYREX



Alumiinivoimakaapeli AHXAMK-W

6/10 (12) kV
SFS 5636; HD 620=5F
Kiinteään ulkoasennukseen

Johdin	Vesitiivis, pyöreä alumiiniköysi
Erikoisominaisuus	Pitkittäin ja poikittain vesitiivis
Paloluokka	F1 »
Johdinsuoja	Puolijohtava muovi
Eristys	PEX-muovi
Hohtosuoja	Puolijohtava muovi
Vesitiivistys	Puolijohtava nauha, joka paisuu veden vaikutuksesta ja muodostaa esteen veden pitkittäiselle etenemiselle.
Kosketussuoja	Alumiini-muovilaminaatti, joka toimii myös vesitiivistyksenä poikittaissuunnassa
Vaihevaippa	Musta säänkestävä PE-muovi
Keskusköysi	Pyöreä kupariköysi
Kertaus	Kolme vaipattua vaihejohdinta on kerrattu keskusköyden ympärille
Käsittely °C	-20
Käyttö °C	+90
Oikosulku °C	+250

Tuotenumero	Tunnus	Halkaisija [mm]	Paino [kg/km]	Pienin taivutussäde [cm]	Pienin taivutussäde, kertataivutus [cm]
06 226 02	3x70+35	55	2150	44	33
06 226 04	3x95+35	59	2510	47	35
06 226 06	3x120+35	62	2810	50	37
06 226 08	3x150+35	66	3190	53	40
06 226 10	3x185+35	71	3620	57	43
06 226 12	3x240+35	76	4350	61	46
06 226 55	3x300+35	81	5030	65	49

Tunnus	Pienin taivutussäde, vaihejohdin [cm]	Pienin taivutussäde, vaihejohdin, kertataivutus [cm]	Suurin vetovoima vetopäällä [kN]	Suurin vetovoima vetosukalla [kN]	Vaihejohtimen maks. tasavirtaresistanssi, +20 °C [ohm/km]
3x70+35	27	19	10.50	3.2	0.443
3x95+35	30	21	14.30	4.3	0.32
3x120+35	32	23	18.00	5.4	0.253
3x150+35	35	24	20.00	6.8	0.206
3x185+35	38	26	20.00	8.3	0.164
3x240+35	41	29	20.00	8.5	0.125
3x300+35	44	31	20.00	8.5	0.1

Tunnus	Vaihejohtimen vaihtovirtaresistanssi, +65 °C [ohm/km]	Induktanssi, kolmioasennus [mH]	Käyttökapasitanssi [µF/km]	Kuormitettavuus maassa, johdin +65 °C [A]	Kuormitettavuus ilmassa, johdin +90 °C [A]
3x70+35	0.52	0.39	0.26	200	235

3x95+35	0.38	0.37	0.29	235	280
3x120+35	0.30	0.35	0.32	265	325
3x150+35	0.24	0.34	0.35	300	370
3x185+35	0.19	0.34	0.38	330	425
3x240+35	0.15	0.32	0.43	385	490
3x300+35	0.12	0.31	0.47	435	565
Tunnus	Johtimen suurin termien oikosulkuvirta, 1 s [kA]		Kosketussuojan suurin termien oikosulkuvirta, 1 s [kA]		Pakkaustiedot [m]
3x70+35	6.6		5		500 K24
3x95+35	8.9		5		500 K24
3x120+35	11.3		5		500 K24
3x150+35	14.1		5		500 K24
3x185+35	17.4		5		500 K26
3x240+35	22.6		5		500 K26
3x300+35	28.3		5		500 K26

Empower Oy / Siirtoverkkoprojektit									
ik"	alkuikokusulkuvirta								
ip	huippuikokusulkuvirta								
1. Tehtaiden syötöt erillään									
	Vika kojeistossa	ik"	ip	Simuoitu oikokusulkuvirta (kA)	ik"	ip	Pöynyn simuloima oikokusulkuvirta (kA)	ik"	Oikosulkuvirtojen kasvu verrattuna Pöynyn simulaatioihin (%)
	Pankakoski 110 kV syöttö		4,5	9,4					
	Pankakoski 10 kV		27,1	63,6		26,4	62,2		2,7
	Hiomo 1		22,3	45,7		21,8	44,8		2,3
	Hiomo 2		22,2	44,8		21,7	44,0		2,3
	D		19,7	47,5		20,1	48,3		-2,0
	J		74,5	164,9		67,9	151,1		9,7
	V4		10,1	21,1		8,9	18,8		13,5
	R		13,9	30,5		13,0	28,4		6,9
	Tehtas 2		25,1	54,2		19,8	43,2		26,8
	Tehtas 1		24,4	52,3		24,0	51,7		1,7
	P		54,5	122,1		50,5	113,0		7,9
	Z		47,6	112,4		39,4	93,4		20,8
	M		57,8	129,3		53,5	119,4		8,0
	V3		15,9	33,6		13,7	29,2		16,1
	L		48,7	111,0		44,7	102,0		8,9
	X		58,3	130,4		53,6	119,5		8,8
	T		52,7	118,0		48,4	108,4		8,9
	N		51,5	115,9		47,3	106,4		8,9
	V1		16,1	33,7		14,4	29,5		11,9
	K		45,2	104,8		34,5	80,8		31,0
	H		47,3	110,4		39,2	92,0		20,7
	S		58,4	129,9		54,1	120,3		7,9
	V2		16,2	34,0		13,9	29,6		16,5
	U		54,8	121,7		50,6	112,4		8,3

2. Tehtaiden syötöt rinnan	Simuoitu oikosulkuvirta (kA)		Ero oikosulkuvirtaan tehtaat erillään (%)		Ero Pöyrin laskemaan oikosulkuvirtaan tehtaat erillään (%)	
	ik"	ip	ik"	ip	ik"	ip
Vika kojeistossa	4,5	9,4	0,0	0,0		
Pankakoski 110 kV syöttö	27,1	63,6	0,0	0,0	2,7	2,3
Pankakoski 10 kV	22,3	45,7	0,0	0,0	2,3	2,0
Hiomo 1	22,2	44,8	0,0	0,0	2,3	1,8
Hiomo 2	19,7	47,5	0,0	0,0	-2,0	-1,7
D	74,5	164,9	0,0	0,0	9,7	9,1
J	10,1	21,1	0,0	0,0	13,5	12,2
V4	13,9	30,5	0,0	0,0	6,9	7,4
R	26,3	59,3	4,8	9,4	32,8	37,3
Tehdas 2	26,3	59,3	7,8	13,4	9,6	14,7
Tehdas 1	54,7	123,2	0,4	0,9	8,3	9,0
P	47,8	113,2	0,4	0,7	21,3	21,2
Z	58,0	130,4	0,3	0,9	8,4	9,2
M	15,9	33,6	0,0	0,0	16,1	15,1
V3	48,9	112,0	0,4	0,9	9,4	9,8
L	58,5	131,5	0,3	0,8	9,1	10,0
X	52,9	119,0	0,4	0,8	9,3	9,8
T	51,7	116,9	0,4	0,9	9,3	9,9
N	16,1	33,8	-0,1	0,3	11,8	14,6
V1	45,4	105,8	0,4	1,0	31,6	30,9
K	47,5	111,5	0,4	1,0	21,2	21,2
H	58,7	131,4	0,5	1,2	8,5	9,2
S	16,2	34,1	0,0	0,3	16,5	15,2
V2	55,1	123,1	0,5	1,2	8,9	9,5
U						

	Tehdas 1	Tehdas 2
max I_k^{**} , c=1,1	20,63 kA	23,46 kA
min I_k^{**} , c=0,6	2,77 kA	2,84 kA

Kantaverkko päämuuntaja	10,14 kA	175,6 MVA
Generaattori 1	3,96 kA	68,7 MVA
Generaattori 2	3,96 kA	68,7 MVA
Hiomo 1	0,94 kA	16,3 MVA
Hiomo 2	0,69 kA	11,9 MVA
Tehdas 1	1,27 kA	22 MVA
Tehdas 2	4,18 kA	72,4 MVA

Kompensointilaite rajoukset

Liite 7 1(4)

Asiakirja on salainen ja se ei ole saatavilla julkisessa versiossa.

Asiakirja on salainen ja se ei ole saatavilla julkisessa versiossa.

Asiakirja on salainen ja se ei ole saatavilla julkisessa versiossa.

Asiakirja on salainen ja se ei ole saatavilla julkisessa versiossa.