



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Aki Törne

LOISTEHON KOMPENSOINNIN TOIMIVUUS

Turku Energia Sähköverkot Oy:ssä

Tekniikka ja liikenne
2013

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Aki Törne
Opinnäytetyön nimi	Loistehon kompensoinnin toimivuus
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	41+6 liitettä
Ohjaaja	Kari Jokinen

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Turku Energian Sähköverkkojen loistehon kompensoinnin toimivuutta ja siinä esiintyviä ongelmakohtia. Tarkoitus oli saada selvitettyä ongelmakohdat kantaverkon kannalta sekä ettei omassa verkossa siirrettäisi turhaan loistehoa.

Työ eteni ensin taustadatan keruulla ja sen analysoinnilla. Data oli helposti saatavissa Spectrum ohjelmistosta, mutta sen analysointi oli vaikeaa, johtuen verkon erilaisista käyttötilanteista. Datan perusteella pystyi tarkastelemaan oliko verkossa mahdollisia ongelmakohtia, ja miten verkon kompensointia voisi tehostaa. Työn teoria osuuteen löytyi helppoiten tietoa alan kirjallisuudesta.

Pääpiirteittäin Turku Energian Sähköverkkojen kompensointi on riittävä ja uusien yksiköiden hankintaan ei tehon puolesta jouduta. Alueen kondensaattoreiden ikä pakottaa investoimaan uusiin kondensaattoreihin käyttövarmuuden takaamiseksi. Nykytilannetta voitaisiin parantaa seuranta tehostamalla ja laitetekniikkaa kehittämällä niin, että kondensaattoreiden käyttöä rajoittavat haittatekijät poistetaan.

ABSTRACT

Author	Aki Törne
Title	Functionality of Reactive Power Compensation
Year	2013
Language	Finnish
Pages	41 + 6 Appendices
Name of Supervisor	Kari Jokinen

The purpose of this thesis was to find out how well the reactive power compensation works in the electricity grid of Turku Energia and also to find possible problems in the compensation. The main objectives were to study the problems in the purchase of energy from Fingrid and to minimize the reactive power flow in the Turku Energia grid.

The thesis was started with gathering basic data and analyzing it. Data was easy to obtain from software called Spectrum, but analyzing it was difficult, due to different operation situations of the grid. Based on the gathered data possible problems could be examined and how to make the compensation better.

The reactive power compensation in the Turku Energia grid is working well enough and there is no need to buy new units. New capacitors should be bought because they are ageing. The biggest problem that should be focused on is the monitoring of the grid and developing it to make the compensation more effective.

Keywords Reactive power, compensation, grid, capacitor

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	LOISTEHO.....	10
	2.1 Loisteho yleisesti	10
	2.2 Loistehon kompensointi.....	13
	2.2.1 Rinnakkaiskondensaattorit	13
	2.2.2 Sarjakondensaattorit.....	17
	2.2.3 Kaapeleiden vaikutus kompensoinnissa.....	17
	2.2.4 Muut kompensointi tavat.....	19
3	LOISTEHON TARKASTELU TURKU ENERGIAN SÄHKÖVERKOSSA ..	
	21
	3.1 Upalingon verkkoliityntäpiste.....	22
	3.1.1 Upalinko.....	23
	3.1.2 Artukainen.....	23
	3.1.3 Ruohonpää.....	24
	3.1.4 Kemppilä.....	25
	3.1.5 Pakkari.....	25
	3.1.6 Myllyahde 1-kisko	26
	3.2 Koroisten kantaverkkoliityntäpiste	26
	3.2.1 Koroinen.....	27
	3.2.2 Munttismäki	27
	3.2.3 Saramäki sekä Maaria	28
	3.2.4 Raunistula.....	28
	3.3 Pääskyvuoren kantaverkkoliityntäpiste	28
	3.3.1 Pääskyvuori	29
	3.3.2 Itäharju	29
	3.3.3 Myllyahde 2-kisko	30
	3.3.4 Hirvensalo	30
	3.4 Huhkolan kantaverkkoliityntäpiste	30
	3.4.1 Ilpoinen	31
4	TESV:N VERKON KOMPENSOINNIN KEHITYSEHDOTUKSET.....	32

4.1	Upalinko.....	32
4.2	Koroinen	34
4.3	Pääskyvuori.....	35
4.4	Huhkola.....	36
5	VERKON KÄYTÖN JA VALVONNAN TEHOSTAMINEN	38
5.1	Loisteho valvonnan tehostaminen.....	38
5.2	Kompensoinnin tila lähellä antorajaa.....	38
6	YHTEENVETO	40
7	LÄHDELUETTELO	41

KUVA JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Pätöteho kun virta ja jännite samassa vaiheessa.	11
Kuva 2. Pätöteho kun virran ja jännitteen välillä vaihe-eroa.	11
Kuva 3. Tehokolmio (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cmplxpower.svg).....	12
Kuva 4. Kondensaattoripakettien sisäinen kytkentä. (Väisänen 2012).....	14
Kuva 5. Jännite käytettäessä nollapistekatkaisijaa, kapasitiivista kuormaa kytkettäessä. (ABB 2013)	15
Kuva 6. Jännite normaalilla katkaisijalla, kapasitiivista kuormaa kytkettäessä. (ABB 2013).....	16
Kuva 7. Kompensointi rinnakkaiskondensaattorilla (ABB TTT kirja s. 425)	17
Kuva 8. 1200 mm ² kaapelin mitoitusarvot. (Prysmian 2013)	18
Kuva 9. 110 kV:n kaapelit tuottama loisteho/km kuormitusvirran funktiona.....	19
Kuva 10. TESV:n alueverkon normaali kytkentätilanne.....	22
Kuva 11. Upalingon verkonosa ja siihen kuuluvien kondensaattoreiden ja kaapelien loistehokapasiteetit.....	23
Kuva 12. Spectrum näkymä Ruohonpään asemalta.	24
Kuva 13. Pakkarin loistehotiedot vuosilta 2011–2012.....	26
Kuva 14. Koroisten verkonosa, kuvaan merkitty kondensaattoreiden ja kaapelin loistehokapasiteetit.....	27
Kuva 15. Pääskyvuoren verkonosa, kuvaan merkitty kondensaattoreiden ja kaapelin loistehokapasiteetit.	29
Kuva 16. Huhkolan liityntäpisteen verkonosa, kuvaan merkitty kondensaattoreiden ja kaapelin loistehokapasiteetit.	31
Kuva 17. Myllylahteen 1-kiskon loistehotiedot.	33
Kuva 18. Hirvensalon loistehot.	36
Kuva 19. Fingridin mittaukset Huhkolan asemalta 1.1.201–30.6.2011	37
Kuva 20. Fingridin mittaukset Huhkolan asemalta ajalta 1.1.2012–30.6.2012 ...	37
Kuva 21. Fingridin Koroisten pisteen loisteho mittaus 15.10.2012 klo. 21–23 (Fingrid 2013)	39

LIITELUETTELO

LIITE 1.....	42
LIITE 2.....	43
LIITE 3.....	44
LIITE 4.....	45
LIITE 5.....	46
LIITE 6.....	47

1 JOHDANTO

Insinööriyön tarkoituksena on toteuttaa tarkastelu Turku Energian Sähköverkoille loistehonkompensoinnin nykytilasta ja järkevyydestä, sekä miten kompensointia tulisi kehittää jatkossa. Loistehoa on kannattamaton siirtää verkossa, sillä se kasvattaa siirrettävää kokonaisvirtaa ja virran aiheuttamia tehohäviöitä kaapeleissa ja muuntajissa. Siirrettäessä loistehoa läpi muuntajien niin loisteho näkyy myös jännite häviöinä. Loisteho syntyy kun verkon jännitteen ja virran välille syntyy vaihe-eroa. Loisteho ei varsinaisesti saa aikaan mitään näkyvää, kuten pätöteho, mutta loistehoa tarvitsee tuottaa, koska jotkin laitteet kuten loivalaisimet ja oikosulkumoottorit kuluttavat sitä. Loistehon kompensointiin on useita eri tapoja mutta sähköverkkojen osalta käytetään tyypillisimmin kondensaattoriparistoja. Oikein tehdyllä kompensoinnilla voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä mm. kaapelien kuormitukseen liittyen.

TESV:n kompensointilaitteet ovat sijoitettu sähköasemille. Työn tarkoitus on selvittää sijaitsevatko laitteet oikeilla asemilla ja ovatko ne mitoituksiltaan oikean kokoisia. Kompensointilaitteita tullaan uusimaan lähitulevaisuudessa, joten työ selvittää tarvitseeko yksikkökokoja muuttaa tai lisätä joillekin asemille. Aiheeseen liittyen on tarkoitus tarkastella Fingridin rajoja, että kuinka usein ollaan lähellä loistehon antorajaa. Kondensaattoriyksiköiden liittäminen verkkoon tuottaa myös ongelmia, kuten jännitepiikkejä, joiden huomioiminen on tärkeää sähkönlaadun kannalta. Tarkoituksena on tarkastella myös onko joillekin asemille kannattavaa hankkia synkronikatkaisijoita, mahdollisten kytkentähäiriöiden poistamiseksi.

Turku Energia Sähköverkot Oy on osa Turku Energia konsernia ja Sähköverkot on aloittanut toimintansa vasta vuonna 2006. Sähköverkkojen toimialueena ovat TESV:n rakennuttaminen, ylläpito sekä käyttö. TESV:n verkko koostuu 110 kV:n alueverkosta (73 km), 10–30 kV:n keskijänniteverkosta (734 km) ja pienjänniteverkosta 400 V (1621 km). Sähkö- ja kytkinasemia on 17 kpl, joista tällä hetkellä 10:ssä on kompensointi mahdollisuus. Näiden lisäksi on jakelumuuntamoita 1047

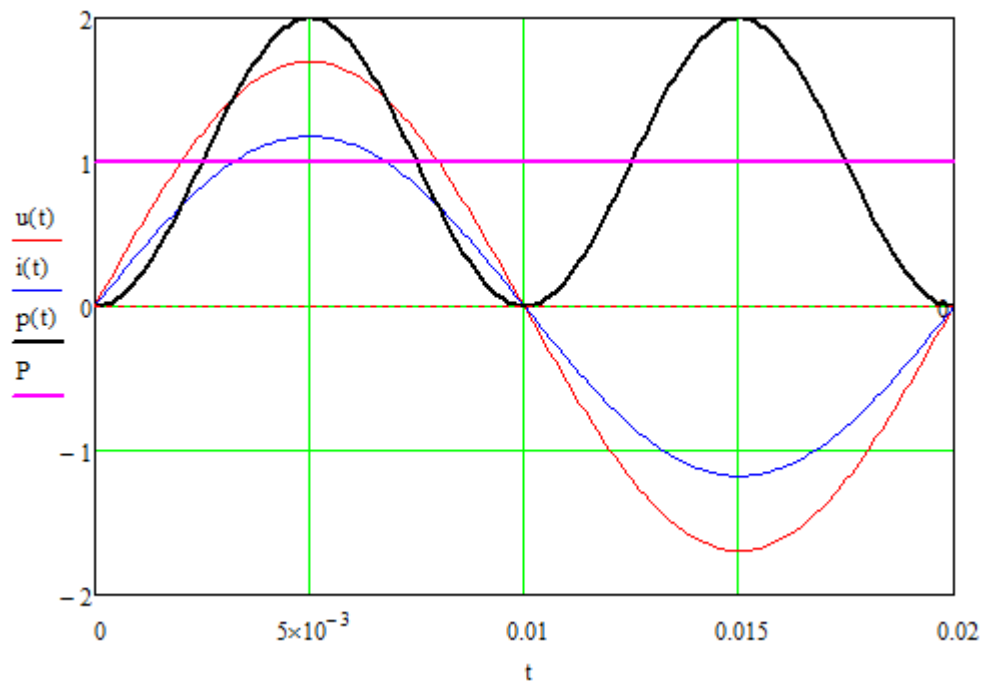
kpl ja jakokaappeja 2675 kpl. TESV:n verkossa on noin 70 000 liittijää ja vuonna 2012 verkossa siirrettiin sähköä yhteensä 1509 GWh.

2 LOISTEHO

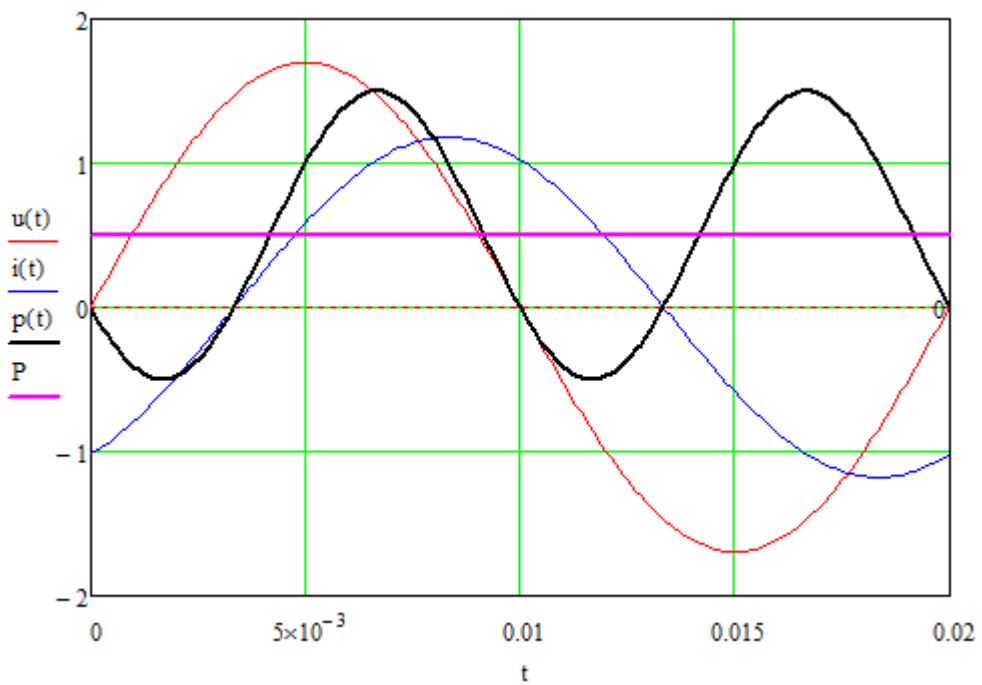
Ennen työn tarkoituksen käsittämistä täytyy tietää mitä tarkoitetaan loisteholla. Tässä luvussa käsitellään sitä mitä loisteho on, sekä sitä miten se syntyy. Lisäksi luvussa käydään läpi se mihin loistehoa tarvitaan, sekä se mitä haittaa loistehosta on. Loistehon yleisimmät kompensointilaitteet sekä kompensoinnin merkitys selvitetään myös tässä luvussa.

2.1 Loisteho yleisesti

Teoreettisesti loisteho syntyy kun jännitteen u ja virran i välille syntyy vaihesiirtoa, jolla on suora vaikutus tehokertoimeen. Kuvat 1 ja 2 selventävät loistehon syntyä. Kuvassa 1 virta ja jännite ovat samassa vaiheessa, jolloin kaikki siirrettävä teho on pätötehoa. Tehokerroin kuvaa pätötehon ja näennäistehon välistä suhdetta. Ideaalisessa tilanteessa tehokerroin on 1, jolloin kaikki näennäisteho on ainoastaan pätötehoa kuten kuvassa 1 Tehon P kuvaaja näyttää. Tehokerroin poikkeaa 1:stä hyvin usein, sillä moottorien ja muuntajien käämitykset alentavat tehokerrointa, jolloin myös loistehoa alkaa liikkua. Tehokertoimen aleneminen nähdään selvästi kuvassa 2, siinä on vaihe-eroa virralla ja jännitteellä, tällöin pätöteho on pudonnut puoleen. Loistehoa on syntynyt verkkoon puolet kuvan 1 antamasta pätötehosta vain vaihe-eroa muuttamalla. /2/,/4/



Kuva 1. Pätöteho kun virta ja jännite samassa vaiheessa.



Kuva 2. Pätöteho kun virran ja jännitteen välillä vaihe-eroa.

Kuvassa 3 nähdään kuinka näennäistehon, pätötehon ja loistehon suhteet voidaan selvittää helposti tehokolmion avulla. Laskennallisesti loisteho voidaan laskea myös kaavasta 1, jossa on laskettu teho yksivaiheisena. Loisteho on käsite jolla kuvataan vaihtovirtaverkossa liikkuvaa ”turhaa” tehoa, joka ei kykene tekemään työtä. Käytännössä loistehoa syntyy aina kun verkkoon on kytketty induktiivista tai kapasitiivista kuormitusta, sillä puhtaasti resistiivinen laite kuluttaa vain pätötehoa. Tyypillisimpiä laitteita, jotka kuluttavat loistehoa ovat oikosulkumoottorit, loistevalaisimet sekä erilaiset suuntaajat. Induktanssi sekä kapasitanssi aiheuttavaa sen, että loisteho alkaa liikkua verkossa edestakaisin sähkölaitteen ja voimalaitoksen välillä. Vaikka loisteho ei pysty tekemään mitään työtä, se liikuttaa silti ylimääräisiä virtoja, joka näkyy tehohäviöinä johtimissa ja muuntajissa. /1/

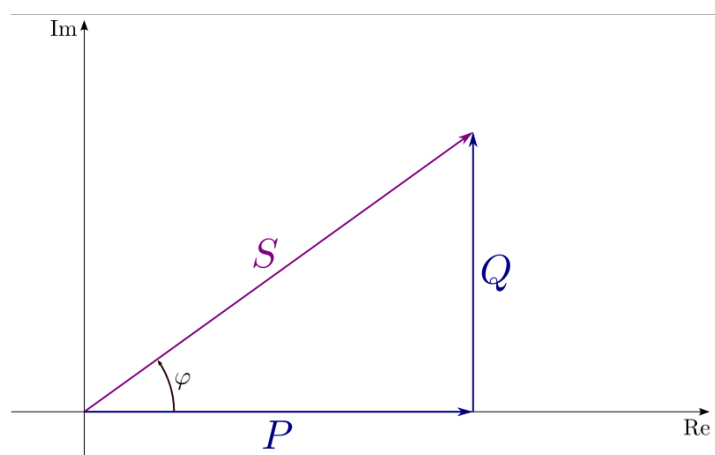
$$Q = UI \sin(\phi). \quad (1)$$

jossa Q=Loisteho

U= Tehollinen jännite

I= Tehollinen virta

Φ = vaihe-ero



Kuva 3. Tehokolmio (<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cmplxpower.svg>)

2.2 Loistehon kompensointi

Kompensoinnilla pyritään saamaan vaihe-erosta syntynyt induktiivinen virta kompensoitua kondensaattoreilla synnytetävällä kapasitiivisella virralla. Kapasitiivinen ja induktiivinen virta kumoavat toisensa, jolloin saadaan vaihesiirto lähele nolaa.

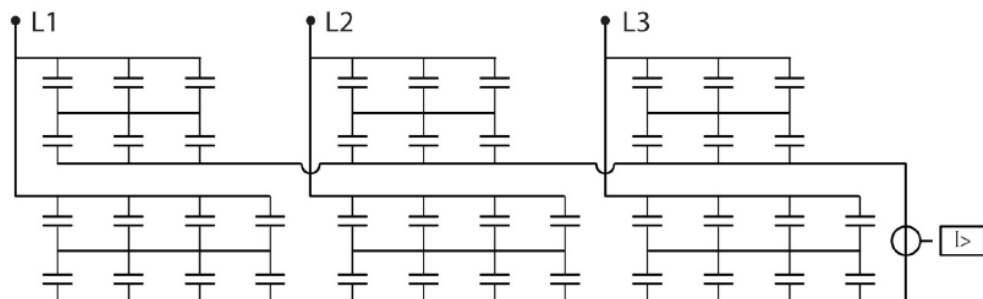
Loistehoa voidaan kompensoida monella eri tavalla, sähköverkkojen kannalta yleisimpiä ovat kuitenkin kondensaattoriparistot. Paristot ovat kytketty joko verkon rinnalle tai sarjaan sen kanssa. Asennuskohde kuitenkin määrittää aina sen millaista kompensointia kohde vaatii. Kompensointi voidaan toteuttaa joko keskitetysti tai hajautetusti, josta jälkimmäinen on järkevämpää, jotta saadaan turha loistehonsiirto verkon sisällä minimoitua. Loistehoa voidaan kompensoida oikeastaan kaikilla jännitealueilla, tässä työssä keskitytään kuitenkin keskijännitteellä tapahtuvaan kompensointiin. Kompensointi kondensaattorit tuovat väärin mitoitettuna verkkoon nähden myös ongelmia. Laitteiden kannalta on vaarana, että verkko joutuu resonanssiin jonkin tietyn yliaallon kohdalla. Silloin resonanssipiiri tulee syöttävän verkon induktanssin ja kondensaattorin kapasitanssin välille. Tällöin yliaaltovirrat saattavat nousta keskijänniteverkossa jopa 10–20 kertaisiksi. Resonanssi tilanne voidaan estää suodattimilla tai estokelaparistolla, jossa kondensaattorin kanssa sarjaan on kytketty kela. Vahvasti yliaaltopitoisessa verkossa ei yleensä voida käyttää kompensointiin pelkkää kondensaattoria, jolloin yleensä verkon yliaalto tilannetta pyritään rajoittamaan esimerkiksi estokelaparistolla. /1/

2.2.1 Rinnakkaiskondensaattorit

Rinnakkaiskondensaattorit muodostuvat useasta rinnan ja sarjaan kytketystä standardikokoisesta kondensaattorista. Siirtoverkoissa nimelliset mitoitusarvot ovat yleisesti n. 6,35 kV ja $Q_R=50 - 250$ kVar. Se, kuinka monta kondensaattoria kytketään kulloinkin sarjaan, riippuu verkon mitoitusjännitteestä sekä yksikön mitoitusjännitteestä. Rinnankytkettyjen määrä muodostuu pariston tehon perusteella,

joka on keskijännite verkossa tyypillisesti 1 – 5 Mvar. Suomessa kondensaattoreissa käytetään kondensaattoreiden sisäisiä sulakkeita, jotta vioittunut kondensaattori saadaan kytkettyä irti verkosta. Tällöin yksikköä voidaan silti käyttää ilman merkittävää tehon menetystä. Kondensaattorikohtaisilla sulakkeilla varustetuissa kondensaattoripaketeissa on etuna niiden vähäinen huollon tarve. Rakenteeltaan kyseiset mallit ovat yksinkertaisia ja halpoja toteuttaa. Vaikka jokaisella sisäisellä yksiköllä on sulakkeet, niin on koko yksikön suojaus varustettava sulakkeella tai muulla vastaavalla.

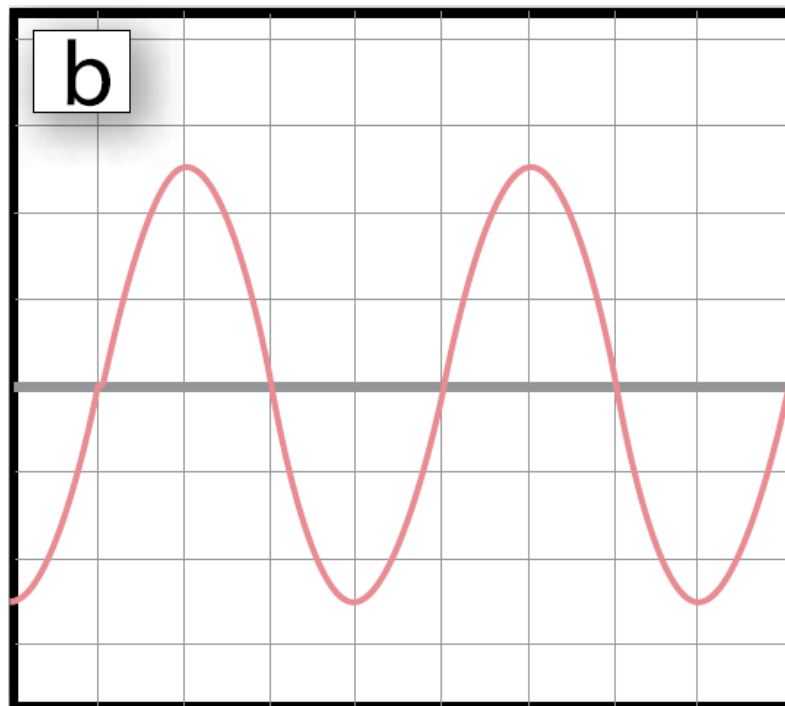
Kantaverkossa rinnakkaisparistojen kytkentä tehdään yleisesti kytkemällä ne kaksoistähteen, tämän avulla saadaan tieto pariston kunnosta yhdysjohtimessa kulkevasta erovirrasta. Kuvasta 4 nähdään pariston periaatteellinen rakenne, sekä se kuinka mittaustieto saadaan suojaareleelle. Kondensaattoreille on asetettu SFS 6001 standardissa ehto, että kondensaattoriyksikkö täytyy varustaa sisäisellä purkausvastuksella. Nykyään standardi ei määrittele aikaa, jolloin varaus tarvitsee olla purettu. Ennen vastuksen piti purkaa yksikkö 50 volttiin alle viidessä minuutissa. SFS 6001 standardi sallii myös sen, että käytetään ulkoista jännitemuuntajaa varauksen purkuun.



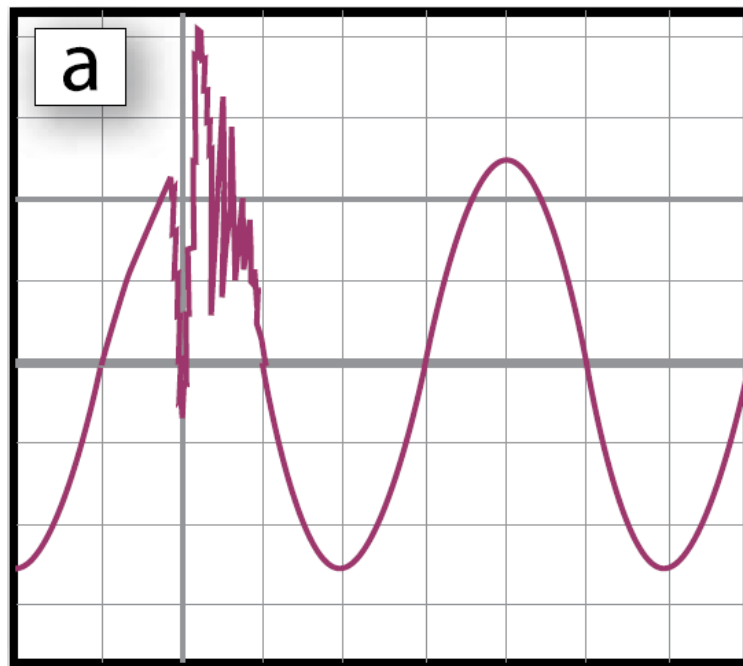
Kuva 4. Kondensaattoripakettien sisäinen kytkentä. (Väisänen 2012)

Rinnakkaiskondensaattoria mitoitettaessa tarvitsee ottaa huomioon muutama verkon toimintaan vaikuttava seikka. Ensinnäkin verkossa saattaa esiintyä yliaaltoja,

jotka voivat nostaa kondensaattorin virtaa, tästä syystä kondensaattori on mitoitettava kestämään 1,3-kertainen mitoitusvirta ilman yksiön lämpenemistä. Verkkoon kytkettäessä kondensaattori aiheuttaa verkkoon jännitepiikin, joka pyritään pitämään kolmessa prosentissa nimellisjännitteestä. Jännitteen nousua pystytään nykyään rajoittamaan asentamalla synkronikatkaisija, joka liittää kunkin vaiheen erikseen verkkoon jännitteen nollassa. Katkaisijan valintaan vaikuttaa kondensaattoripariston sysäysvirran suuruus, yhtälöstä 2 saadaan yksittäisen pariston sysäysvirta. Katkaisijaan kohdistuvaa sysäysvirtaa voidaan kuitenkin rajoittaa käyttämällä vaimennuskuristimia. Kuvasta 5 nähdään kuinka nollassa katkaisija poistaa jännitepiikit, joita taas kuvassa 6 näkyy kun on käytetty normaalia katkaisijaa. /1, 227–232/.



Kuva 5. Jännite käytettäessä nollassa katkaisijaa, kapasitiivista kuormaa kytkettäessä. (ABB 2013)



Kuva 6. Jännite normaalilla katkaisijalla, kapasitiivista kuormaa kytkettäessä.
(ABB 2013)

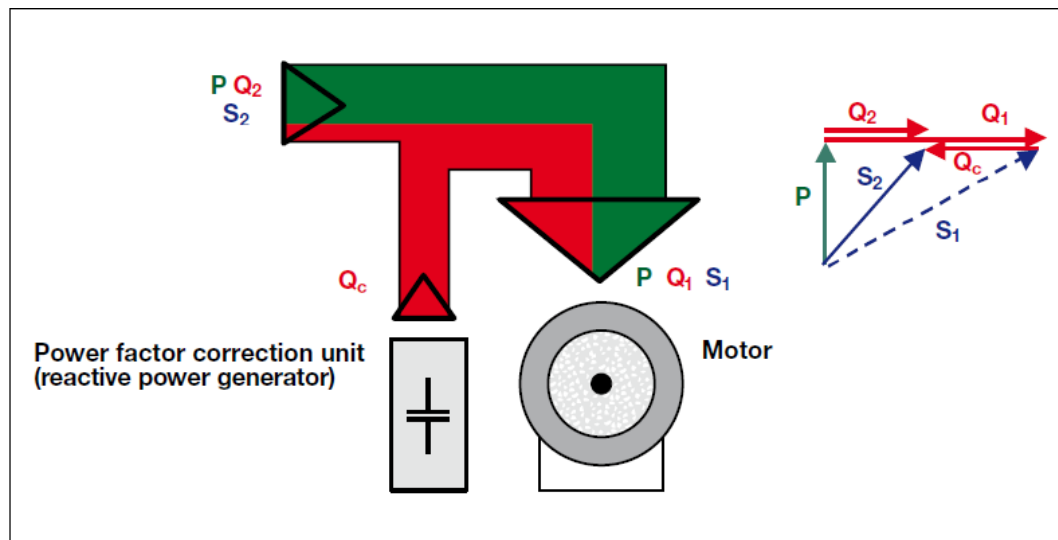
$$i = \sqrt{2} * I_R * \sqrt{(S_k/Q_R)} \quad (2)$$

jossa

I_R = kondensaattorin mitoitusvirta

S_k = Verkon oikosulkuteho kondensaattorin kytkentäpisteessä

Q_R = Pariston mitoitusteho



Kuva 7. Kompensointi rinnakkaiskondensaattorilla (ABB TTT kirja s. 425)

2.2.2 Sarjakondensaattorit

Sarjakondensaattori kytketään siirtojohdon kanssa sarjaan, jolloin johdon päiden välistä induktiivista reaktanssia saadaan pienennettyä. Yksikkö pienentää johdon kuormittuessa ottamaa loistehoa, koska sarjakondensaattorin tuottama loisteho on verrannollinen johdossa kulkevaan kuormitusvirtaan. Sarjakompensoinnin ongelmana on, että sille tarvitsee rakentaa monimutkaiset ylijännitesuojaukset, koska vikatilanteessa myös vikavirrat kulkevat kondensaattorin läpi. Sarjakondensaattoreilla voidaan parantaa myös vaihekulmaeroista ja jännitteen muutoksista aiheutuvia ongelmia. Rakenteeltaan sarjakondensaattori ei eroa rinnakkaiskondensaattorista muuten, kuin sen verkkoon kytkeytymisen ja suojauksen kannalta. Paristoa ei kytketä erikseen verkkoon vaan sillä on erillinen ohituskatkaisija, joka kytketään kiinni vain silloin kun halutaan erottaa kondensaattori verkosta /1, 227–232/.

2.2.3 Kaapeleiden vaikutus kompensoinnissa

Kaapeleiden loistehon vaikutus riippuu kaapelin käyttöjännitteestä, kuten kaavasta 3 nähdään. Turku Energian sähköverkkojen verkossa on yhteensä noin 11 km 110 kV:n kaapelia, jolla on tietynlainen vaikutus loistehon tuotantoon. Kaapelin tuottama loisteho voidaan laskea kaavasta (3). Turku Energian sähköverkoilla on 110

kV:n kaapelityyppinä 1200 mm² Alumiini kaapeli, ja johtimet on asennettu kolmioon sekä suojavaipat on maadoitettu molemmista päistä. Kaapelin mitoitusarvot näkyvät kuvassa 8, tässä tapauksessa sarakkeessa 4. Kuvasta 9 nähdään, että kaapeli tuottaa verkkoon loistehoa karkeasti n. 0,95 Mvar/km. /2/,/4/

SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)								
Vaihejohtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20°C	Ω/km	0,100	0,0605	0,0367	0,0247	0,0113	0,0090
Vaihejohtimen vaihtovirtaresistanssi (1) (4)								
3 kaapelia tasossa	johdin 65°C	Ω/km	0,15	0,10	0,073	0,064	0,048	0,046
	johdin 90°C	Ω/km	0,15	0,11	0,075	0,065	0,048	0,046
3 kaapelia kolmiossa	johdin 65°C	Ω/km	0,13	0,080	0,053	0,041	0,023	0,021
	johdin 90°C	Ω/km	0,14	0,085	0,056	0,043	0,023	0,021
Kosketussuojan tasavirtaresistanssi (1)	kosketussuoja 20°C	Ω/km	0,60	0,52	0,45	0,38	0,33	0,31
Induktanssi vaihetta kohti (1)								
3 kaapelia tasossa		mH/km	0,62	0,60	0,56	0,54	0,52	0,51
3 kaapelia kolmiossa		mH/km	0,44	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33
Käyttökapasitanssi (1)		µF/km	0,15	0,18	0,23	0,26	0,30	0,34
Varausvirta (1)		A/km	3,1	3,6	4,5	5,2	6,1	6,7
Maasulkuvirta (1)		A/km	9,2	10,7	13,6	15,7	18,2	20,0

Kuva 8. 1200 mm² kaapelin mitoitusarvot. (Prysmian 2013)

$$Q_{lt} = \omega CU^2 - 3\omega LI^2 \quad (3)$$

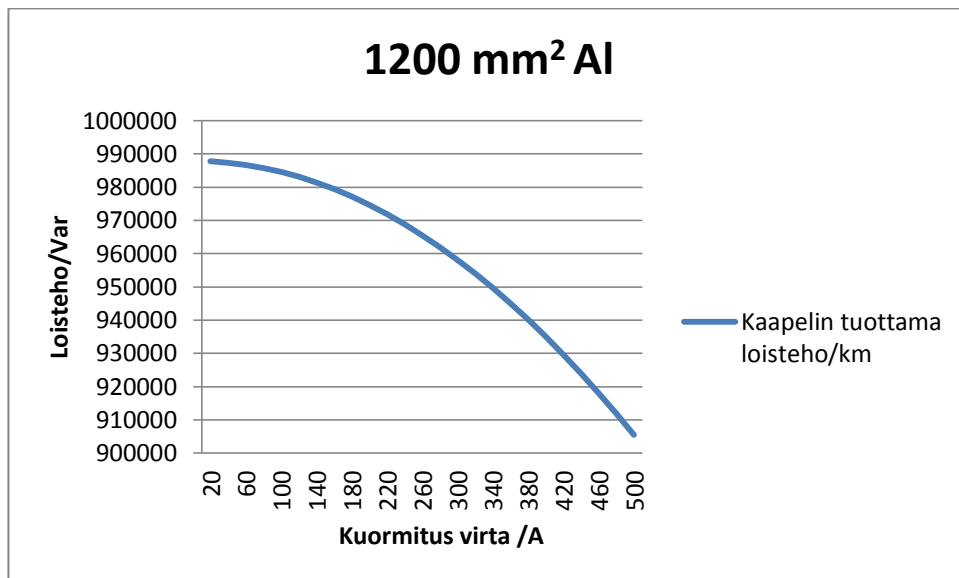
$$\omega = \text{kulmataajuus}$$

$$C = \text{kaapelin käyttökapasitanssi}$$

$$U = \text{kaapelin jännite}$$

$$L = \text{induktanssi vaihetta kohti}$$

$$I = \text{kuormitusvirta}$$



Kuva 9. 110 kV:n kaapelit tuottama loisteho/km kuormitusvirran funktiona

2.2.4 Muut kompensointi tavat

Yliaaltoja ja loistehoa voidaan kompensoida myös monilla muilla tavoilla kuten:

- Estokelaparistoa käytetään verkoissa joissa on korkea yliaaltopitoisuus. Estokelalla estetään haitalliset resonanssitilanteet verkossa. Paristo koostuu kondensaattorin kanssa sarjaan kytketystä käämistä, joiden sarjaresonanssipiirin viritystaajuus on 189 Hz. Estokelaparisto toimii kapasitiivisena vain 50 Hz:n taajuudella. 189 Hz:n viritystaajuuden ylittyessä on estokelaparisto induktiivinen ja ei aiheuta resonanssia verkon induktiivisen reaktanssin kanssa.
- Yliaaltosuodinta käytetään verkoissa, joiden yliaaltopitoisuus tunnetaan, ja ne asetetaan suodattamaan aina jotakin tiettyä yliaaltotaajuutta. Loistehoa yliaaltosuodatin kompensoi siten, että perustaajuudella kondensaattoreiden tuottama kompensointi teho on haluttu ja yliaaltosuodattimessa oleva kurlistin siten, että sen induktanssi yhdessä kondensaattoreiden kanssa muo-

dostaa yliaaltotaajuudella pieni-impedanssisen sarjaresonanssiin. Tällöin saadaan suodatettua suurin osa yliaalloista.

- Reaktoreita käytetään usein rajoittamaan keskijänniteverkon oikosulkuvirtaa sekä vaimentamaan kondensaattoreiden kytkennästä aiheutuvaa ylijännitettä.
- Staattinen kompensattori (SVC) on laite jolla voidaan tuottaa haluttu loisteho. Laite toimii hyvin nopealla vasteajalla ja sen avulla voidaan tasoittaa myös jännite heilahteluita.
- Aktiivisuodin on älykäs yliaaltosuodatin, sillä se mittaa virran yliaalto-komponentteja ja tuottaa niille vastakkaisen virran kumoten alkuperäisen yliaaltovirran. Laiteella voidaan myös kompensoida perustaajusta loistehoa.
-
- Pyörivät kompensointilaitteet. Käytännössä puhuttaessa pyörivistä kompensointilaitteista niin on kyse tahtimoottorista. Moottoria ylimagnetoitaessa saadaan se syöttämään loistehoa verkkoon. Tahtimoottoreita ei ole järkevää käyttää pelkästään loistehon tuotantoon, niiden kustannusten ja häviöiden vuoksi /2/,/3/.

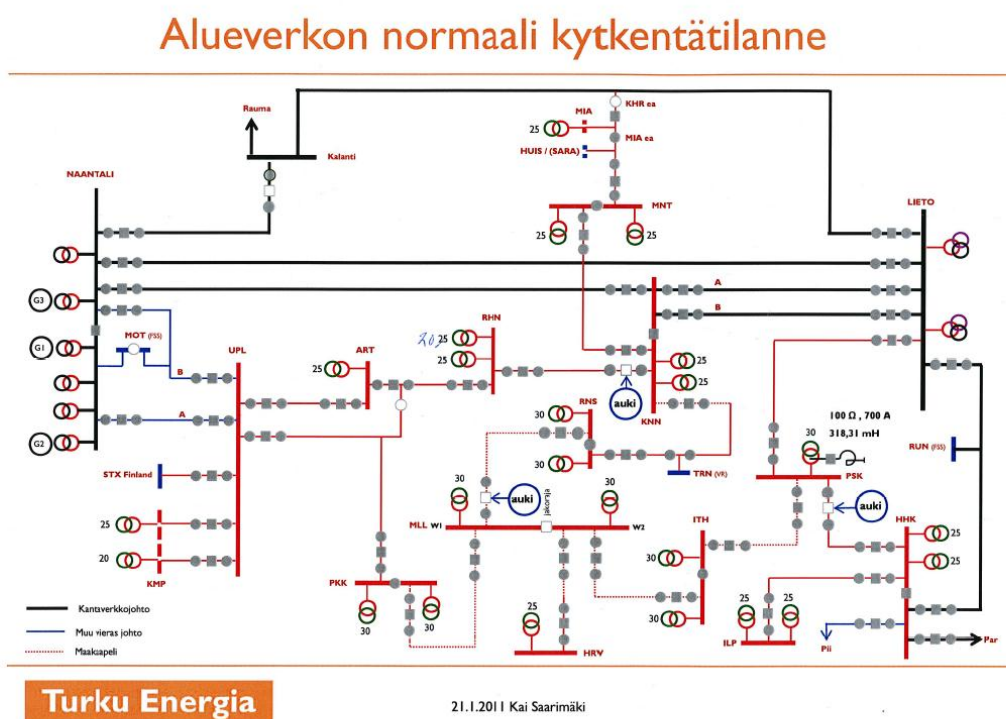
3 LOISTEHON TARKASTELU TURKU ENERGIAN SÄHKÖVERKOSSA

Loistehon kulutusta ja jakaamaa selvitetään, koska Fingrid Oy on siirtynyt liittymispistekohtaiseen loistehon tarkasteluun, jolloin Turku Energian Sähköverkot Oy:n (myöhemmin TESV) tarvitsee myös saada loistehoikkunansa oikeanlaisiksi. Fingrid laskuttaa loistehoikkunan ylityksistä nykyään liittymispistekohtaisesti, joita TESV:n verkossa on yhteensä 3 - 4kpl riippuen tarkastelu tavasta. TESV:n verkkoa tarkastellaan jatkossa kahtena pisteenä, josta toiseen kuuluu Upalington liittymispiste ja toiseen kaikki Liedosta lähtevät (Koroinen, Huhkola sekä Pääskyvuori). Tarkoituksena on kuitenkin saattaa loistahotasapaino sellaiseksi, että jokaisessa liittymispisteessä pysytään itse määritellyssä loistehoikkunassa. Tällä saadaan pienennettyä loistehonsiirrosta syntyviä häviöitä omassa verkossa. Loistehotasapainoa seurataan valvomosta ja sitä ohjaa kulloinkin vuorossa oleva valvomomestari.

TESV:n verkossa on 17 kappaletta sähkö- ja kytkinasemia, joista kymmenellä asemalla on alajännitepuolella loistehonkompensointilaitteet. Tässä luvussa tarkastellaan näiden 17 aseman loistehojakaumia, kompensoinnin järkevyyttä nykyhetkellä sekä mahdollisia asemilla esiintyviä ongelmia. Ensin selvitetään millaisia laitteistoja verkossa on tällä hetkellä ja kuinka hyvin kompensointi toimii niiden avulla. Tarkastelun apuna on käytetty Spectrum ohjelmiston antamia historiatietoja jokaisen aseman loistehoista ja kondensaattorin käyttöajasta viimeisen kahden vuoden ajalta. Mittaukset on otettu aina kuluvan tunnin keskiarvona, joten kahden vuoden aikaiset tapahtumat ovat hyvin kattavia. Loisteho tasapainoa tarkastellaan kuitenkin eri kantilta kun verkon tämänhetkinen tilanne, sillä tällä hetkellä verkkoa käytetään renkaana kahdessakin kohtaa.

Asemakohtaisissa kuvaajissa on otettu huomioon jo mahdollinen kondensaattorin tuoma loisteho asemalle. Kuvaaja antaa siis kokonaiskuvan siitä kuinka paljon asemalla kulutetaan loistehoa, kondensaattorin päällä olon näkee jos kuvaaja on arvossa 1, silloin kondensaattorin läpi mennyt virtaa.

Kuvassa 10 nähdään Turku Energian normaali alueverkon kytkentätilanne, jonka kannalta loistehotasapainoa pyritään optimoimaan. Helmikuussa 2013 suoritettiin kondensaattoreiden kuntotarkastuksia neljällä asemalla: Artukainen, Koroinen, Itäharju sekä Raunistula. Huhtikuussa 2013 tarkastettiin myös muiden asemien kondensaattoreiden kunto.



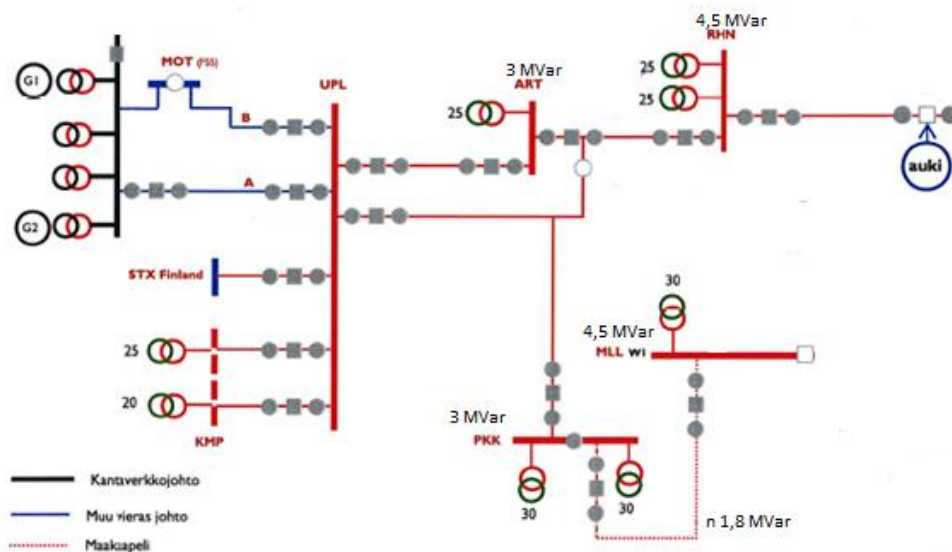
Kuva 10. TESV:n alueverkon normaali kytkentätilanne

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi kunkin kantaverkkopisteen eri aseman tämänhetkiset tilanteet ja käyttötavat.

3.1 Upalingon verkkoliityntäpiste

Luvussa käydään läpi miten TESV:n Upalingon kytkinkenttään liittyvät asemat toimivat tällä hetkellä loistehon suhteen, sekä millaisilla laitteilla tällä hetkellä loistehoa kompensoidaan. Upalingon liityntäpisteen piirissä olevat asemat näkyvät

kuvassa 11. Kuvaan on merkitty myös kompensointitehot kondensaattoreille sekä kaapeleille.



Kuva 11. Upalington verkonosa ja siihen kuuluvien kondensaattoreiden ja kaapeleiden loistehokapasiteetit.

3.1.1 Upalinko

Upalington asema on pelkkä 110kV:n kytkinasema, joten siellä ei ole muuntajalähtöjä, eikä kompensointia. Asema toimii kuitenkin liityntäpisteenä Fingridin asemalta tulevalle Fortumin 110 kV:n johdolle. Loisikkunan kannalta Upalinkoa ei tarkastella Fingridin toimesta, asemalla kuitenkin sovelletaan loisteho rajoja samalla tavalla kuin Fingridin verkkoon päin. Uudessa tarkastelussa Upalington raja tulee olemaan 35 % sallituista anto- ja ottotehoista.

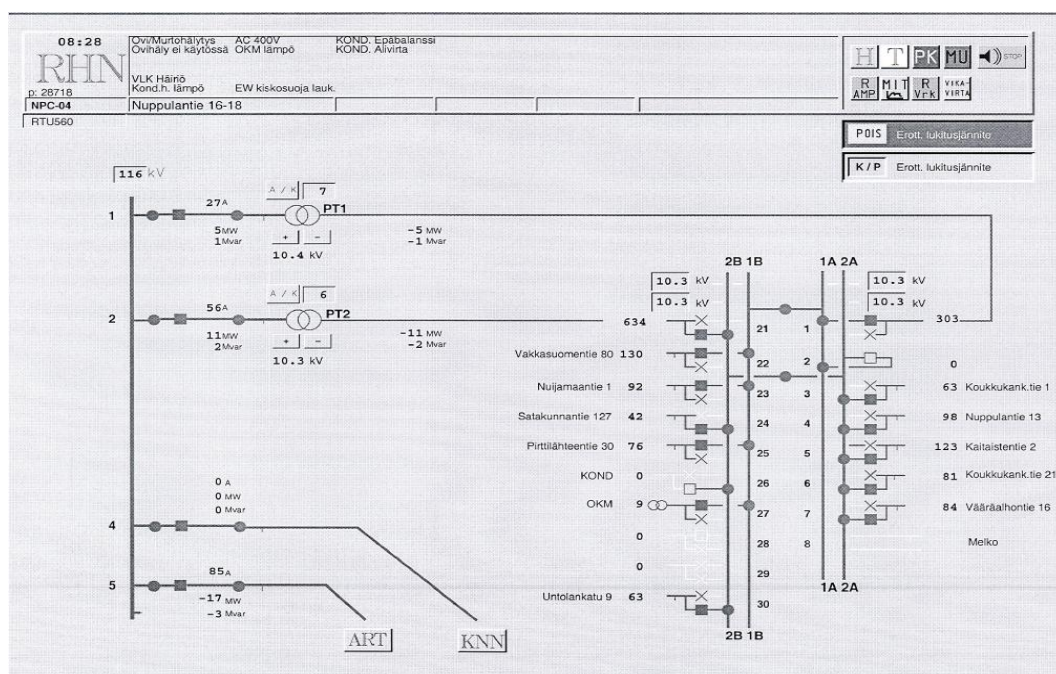
3.1.2 Artukainen

Artukaisten asemalla on asennettu 3 Mvar kondensaattori, joka ikänsä puolesta on suhteellisen uusi. Artukaisten sähköaseman loistehonmittaus on epätarkka, sillä ABB:n kojeisto antaa mittauksen vain 1 Mvar:n tarkkuudella. Aseman loisteho pysyy koko ajan kondensaattorin mitoitusarvoa pienempänä, joten 3 Mvar:n kon-

densaattoripaketti on liian suuri käytettäväksi tehokkaasti. Artukaisten asemalla suoritettiin kondensaattorin kuntotarkastus ja koko paketista löytyi L1.1:stä yksi sulakepalo, joka ei vaikuta kondensaattorin toimintaan.

3.1.3 Ruohonpää

Ruohonpään aseman kondensaattori on asennettu vuonna 1990, ja on kooltaan 4,5 Mvar. Aseman loistehovaihtelut ovat suuria. Päiväsaikaan kondensaattorin ollessa päällä pystytään asemakohtaisesti hyvässä loistahotasapainossa, sillä E02 kentässä tuotettu loisteho saadaan kulutettua kentässä E01. Yöaikaan ollaan ylikompensoinnin puolella ja ilman kompensointia loistehontarve pysyttelee noin 2 Mvar:n luokassa. Kuvassa 12 on esitetty Ruohonpään asemakuva Spectrum ohjelmistosta. Ruohonpään aseman kondensaattorin virranmittauksessa on virheitä runsaasti, joten kondensaattorin päällä olosta ei aina ole täysin luotettavaa tietoa.



Kuva 12. Spectrum näkymä Ruohonpään asemalta.

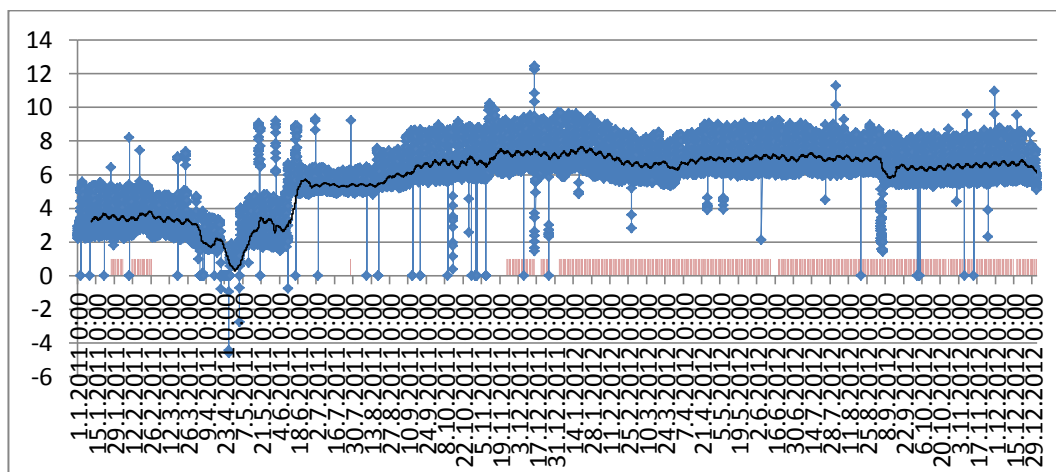
3.1.4 Kemppilä

Kemppilän asemalla ei sijaitse kondensaattoreita lainkaan, loistehot ovat nykykultuksella noin 1-4 Mvar suuruisia. Loistehon kompensoinnissa käytetään hyväksi joko muilta asemilta tulevaa loistehoa tai kantaverkosta otettua loistehoa.

3.1.5 Pakkari

Pakkarin loistehotarve on hyvin suuri tällä hetkellä johtuen siitä, että lämpöpumppulaitoksella ei ole kompensointi käytössä. Tilanteeseen on luultavasti tulossa muutos vuoden 2013 aikana. Pakkarissa on 3 Mvar kondensaattori ja lämpöpumppulla tulee olemaan käytössä n. 3,2 Mvar. Asemalla sijaitseva kondensaattori on asennettu vuonna 1999. Pakkarin loistehon tarve vaihtelee n. 2,5 – 8 Mvar, aseman tarvitsema loisteho muuttuu silloin kun lämpöpumppulaitoksella sijaitsevat kondensaattorit liitetään verkkoon.

Historiatietojen perusteella voidaan todeta, että vaikka molemmat pidettäisiin jatkuvasti verkossa, jäisi silti hieman loistehotarvetta. Kuvassa 13 näkyy Pakkarin loistehotilanne vuosilta 2011–2012. Osa varsinkin Pakkarin ja Myllyhahteen 1-kiskon loistehoista saadaan kompensoitua asemien välissä kulkevalla kaapelilla. Kaapelin pituus on 1,9 km jolloin sen loistehon tuotanto on karkeasti 1,8 Mvar, joten kaapelin tuottama teho voidaan laskea käytettäväksi joko Pakkarissa tai Myllyhahteen 1-kiskolla.



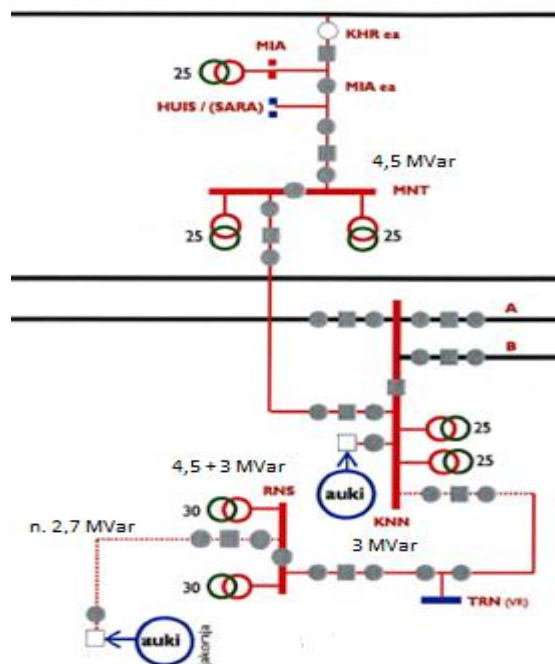
Kuva 13. Pakkarin loistehotiedot vuosilta 2011–2012

3.1.6 Myllyahde 1-kisko

Asemalla on yksi 4,5 Mvar kondensaattori, jonka käyttöaste on hyvin suuri. Kondensaattoria käytetään lähes koko ajan, ongelmana on vain vuorokausi vaihtelut loistehon tarpeessa. Kondensaattorin ollessa käytössä päivisin voi loistehon tarve olla 1 Mvar luokkaa ja öisin tarve taas voi olla 1,5 Mvar ylikompensoinnin puolella. Myllyahteen molemmilla kiskoilla olevat kondensaattorit alkavat olemaan käyttöikänsä päässä jo tällä hetkellä, sillä ne ovat käyttöönotettu vuonna 1982.

3.2 Koroisten kantaverkkoliityntäpiste

Luvussa tarkastellaan verkon loistehotasetta Koroisten kantaverkkoliityntäpisteen kannalta. Koroisten pisteeseen liittyvän verkon osan kompensointiin vaikuttaa kondensaattorien lisäksi yksi kaapeli, jonka loistehon tuotto on noin 2,7 Mvar. Kaapeli sekä kondensaattoreiden tehot on merkitty kuvaan 14. Yhteenlaskettu kompensointiteho Koroisten liityntäpisteessä on noin 15,5 Mvar.



Kuva 14. Koroisten verkonosa, kuvaan merkitty kondensaattoreiden ja kaapelin loistehokapasiteetit.

3.2.1 Koroinen

Koroisilla on 3 Mvar kondensaattori, jossa Ahlstromilta tilatuissa mittauksissa todettiin yhdessä yksikössä (L3.3) sisäinen sulakepalo. Tämä ei kuitenkaan vaikuta kondensaattorin tehoon olennaisesti. Kondensaattori on otettu käyttöön vuonna 1997. Koroisilla loisteho vaihtelee 2 – 6 Mvar välillä.

3.2.2 Munttismäki

Munttismäen asemalla on yksi 4,5 Mvar kondensaattori, joka on käyttöönotettu vuonna 1990. Loistehot vaihtelevat asemalla hyvin paljon 1-6 Mvar välillä. Kondensaattoria käytetään vähän verrattuna asemalla esiintyvään loistehoon.

3.2.3 Saramäki sekä Maaria

Saramäessä ei ole kompensointia, aseman tarvitsema loisteho siirretäänkin asemalle muualta. Käytännössä loisteho tuotetaan joko Munttismäen asemalla, taikka siirretään läpisiirtona oman verkon kautta kantaverkosta.

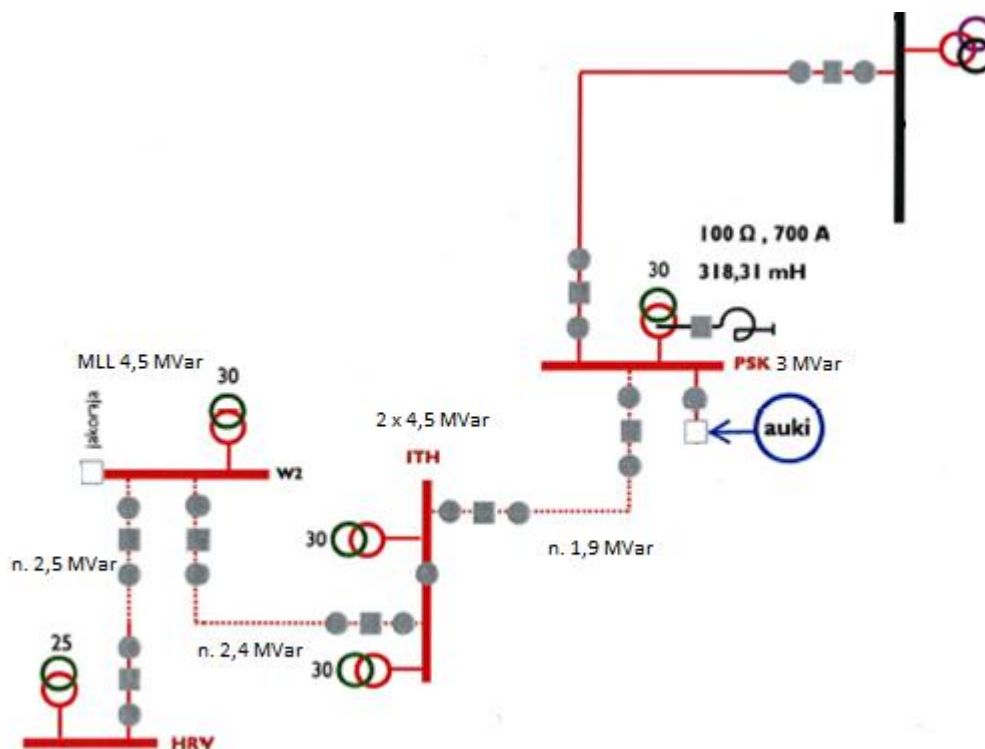
Maarian asemalla ei ole kompensointia ja sen loistehot ovat vain noin 1 Mvar:n luokkaa.

3.2.4 Raunistula

Raunistulan aseman loistehot vaihtelevat 1-6 Mvar välillä. Asemalla on kaksi kondensaattoria, jotka ovat alun perin molemmat olleet 4,5 Mvar:n kokoisia, mutta sisäistensulakepalojen takia toisen teho tällä hetkellä enää 3 Mvar. Aseman molempia kondensaattoreita käytetään hyvin tiuhasti. Normaalisissa kytkentätilassa olisi Raunistulasta - Myllyahteelle menevä kaapeli irti toisesta päästä, jolloin kaapelin tuottama noin 2,7 Mvar loisteho olisi käytettävissä Raunistulan asemalla.

3.3 Pääskyvuoren kantaverkkoliityntäpiste

Loistehotasapainon kannalta Pääskyvuoren asemaa käsitellään tässä omana liittymäpisteensä. Piiriin kuuluu 3 kaapelia, jotka menevät Pääskyvuorelta Itäharjulle, Itäharjulta Myllyahteelle, sekä Myllyahteelta Hirvensaloon. Kaapeleiden yhteispituus on noin 7,3 km ja ne tuottavat noin 6,9 Mvar loistehoa. Kuvaan 15 on merkitty Pääskyvuoren pisteeseen kuuluvien asemien ja kaapeleiden loistehot.



Kuva 15. Pääskyvuoren verkonosa, kuvaan merkitty kondensaattoreiden ja kaape-
lin loistehokapasiteetit.

3.3.1 Pääskyvuori

Pääskyvuorella on yksi vuonna 2006 käyttöönotettu 3 Mvar:n kondensaattori, jonka käyttöaste on suhteellisen alhainen. Aseman loistehot liikkuvat kuitenkin aina 1-4 Mvar:n välissä, koska aseman kondensaattoria ei vain käytetä niin tehokkaasti kuin voitaisiin.

3.3.2 Itäharju

Itäharjulla on asennettu 2 kondensaattoria, joiden alkuperäinen teho on ollut 4,5 Mvar, mutta toisen teho on pudotettu väliaikaisesti hajonneiden yksiköiden takia. Kondensaattoreiden kuntotarkastuksessa löytyi J23A kentässä olevasta kondensaattorista yksi sulakepalo. Korvaava kondensaattori otetaan Raunistulan asemalta, jolloin Itäharjun kondensaattori saadaan takaisin alkuperäiseen tehoonsa. Kondensaattoreita käytetään paljon ja niiden kytkemisestä asemalla ei koidu ongelmia,

koska asemalla on käytössä synkronikatkaisijat. Kondensaattorit on otettu käyttöön vuonna 1995.

3.3.3 Myllyahde 2-kisko

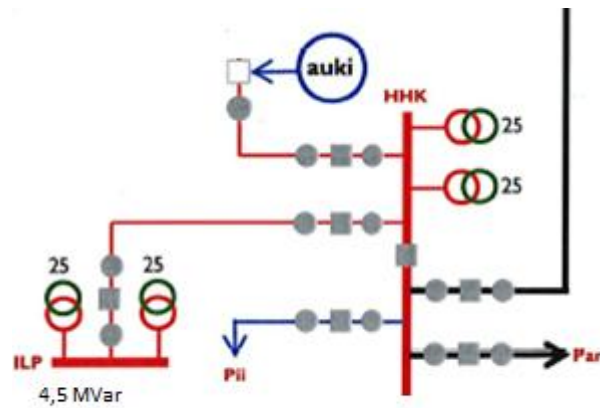
Myllyahteen 2-kiskolle on asennettu 4,5 Mvar kondensaattori, joka 1-kiskon tapaan on vuodelta 1982. Kondensaattori on verkossa hyvin useasti, sillä kiskon loistehokuormat vaihtelevat 2- 7 Mvar välillä.

3.3.4 Hirvensalo

Hirvensalon asemalle menee noin 2,7 km pitkä kaapeli, joka tuottaa loistehoa noin 2,5 Mvar. Hirvensalon aseman kulutus ei kuitenkaan pysty vastaamaan aina edes kaapelin tuottamaan loistehoon, jolloin asema on aika-ajoin jonkin verran ylikompensoitu.

3.4 Huhkolan kantaverkkoliityntäpiste

Huhkolassa ei ole kompensointia lainkaan, mutta asemalta lähtee kaapeli Piispanristinsuuntaan, jonka loistehon tuotanto on noin 0,9 Mvar. Huhkolan asema on nykyisessä verkon tilassa myös renkaassa. Normaalissa verkon kytkentätilassa Huhkolan asema olisi kuitenkin omana asemanaan ja saisi syöttönsä Liedosta samaan tapaan kuin Pääskyvuorikin. Kuvassa 16 on esitetty Huhkolan piirin asemat.



Kuva 16. Huhkolan liityntäpisteen verkonosa, kuvaan merkitty kondensaattoreiden ja kaapelin loistehokapasiteetit.

3.4.1 Ilpoinen

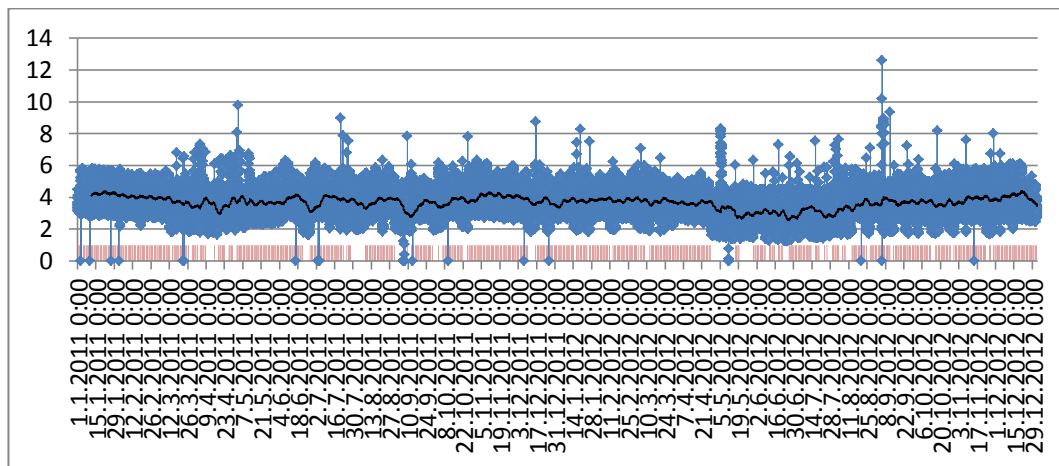
Ilpoisilla on yksi 4,5 Mvar kondensaattori, joka on asennettu vuonna 1989. Aseman loistehot vaihtelevat talvisin 2 – 5 Mvar:n välillä, kun taas kesällä ollaan 1 – 3 Mvar välissä. Kondensaattoria käytetään asemalla hyvin harvoin, joka viittaa siihen, että yksikkökoko on liian suuri.

4 TESV:N VERKON KOMPENSOINNIN KEHITYSEHDOTUKSET

Luvussa käsitellään miten luvussa 3 olleiden asemien kompensointia voitaisiin parantaa. Asemien ongelmia ja kehitysehdotuksia käsitellään ryhminä liityntäpis-teittäin. Pohditaan onko kompensointitarve nykyisellään riittävä vai tarvitaanko uusia kondensaattoriparistoja. Luvussa otetaan kantaa mahdollisiin synkronikat-kaisijoiden hankintoihin joihinkin kohteisiin. Merkittävin ongelmakehoita kaikilla verkon asemilla on loistehon turha siirto oman verkon sisällä.

4.1 Upalinko

Piiriin kuuluu Upalingon, Artukaisten, Ruohonpään, Kemppilän ja Pakkarin ase-mat, sekä lisäksi Myllyhahteen aseman 1- kisko. Myllyhahteen kompensointi on hy- vin aktiivista ja kondensaattori on hyvin paljon verkossa, joten 1- kiskon osalta kompensointi näyttäisi olevan kunnossa. Molemmat Myllyhahteen kondensaattorit ovat jo vanhoja, joten niiden uusiminen on lähitulevaisuudessa edessä. Huhtikuus- sa teetettyjen mittausten perusteella olivat kondensaattorit kunnossa, mutta olisi järkevää aloittaa kondensaattoripakettien uusiminen Myllyhahteesta, jotta säilyte- tään käyttövarmuus. 4,5 Mvar kondensaattori koko on sopiva asemalle ja sitä voi- daan käyttää hyvin tehokkaasti siellä, kuten kuvasta 17 nähdään.



Kuva 17. Myllyhahten 1-kiskon loistehotiedot.

Pakkarin aseman tilanne tulee muuttumaan, kun lämpöpumpun kompensointi otetaan takaisin käyttöön. Yleisesti Pakkarin kompensointi toimii hyvin. Pakkarin ja Myllyhahten 1-kiskon loistasapainoon vaikuttaa asemien välissä oleva kaapeli, joka tasaa mahdollisia loistehotarpeita asemilla.

Ruohonpään kondensaattoria voitaisiin pitää huomattavasti useammin verkossa, jos mahdolliset lämpenemisestä johtuvat laukeamiset saataisiin poistettua asemalla. Lämpöongelmaan tulisi keksiä jokin ratkaisu, sillä Ruohonpään aseman loistehon vaihtelut olisi hyvä saada tehokkaammin kompensoitua, jotta ei tarvitse siirtää loistehoa muilta asemilta Ruohonpäähän.

Artukaisten asemalla tulisi parantaa loistehon mittauksen tarkkuutta, jotta saataisiin tehokkaammin valvottua loistehon kulutusta asemalla. Asemalla on koko ajan jonkin verran loistehoa, jonka vuoksi aseman kondensaattorin tehoa voisi laskea 2 Mvar:iin väliaikaisesti. Toimenpiteellä voitaisiin testata pystyykö Artukaisten loistehoa kompensoimaan tehokkaammin pienemmällä yksiköllä.

Kempilän aseman kompensointi tulisi jatkossakin hoitaa mieluiten Naantalil voimalaitokselta tulevalla loisteholla, mutta loistehon kulutuksen noustessa voisi asemalle olla järkevää investoida sopivan kokoinen kondensaattori.

4.2 Koroinen

Koroisten piiriin kuuluvat Koroisten, Saramäen, Maarian, Raunistulan sekä Munttismäen sähköasemat. Linjalla Koroisilta Raunistulan suuntaan vaikuttaa tyhjäkäyvä kaapeli Raunistulasta Myllyhahteen suuntaa. Normaalisissa kytkentätilanteissa saattaa Raunistulan aseman kondensaattorit olla hieman ylimitoitettuja, koska kaapelin tuottama loisteho on kokonaan käytettävissä Raunistulan asemalla. Kaapeli voitaisiin erottaa myös toisesta päästä, mutta Myllyhahteen 2-kiskon tilanne ei myöskään vaadi lisää kompensointia, joten kaapelin tuottama loisteho voitaisiin pitää Raunistulan asemalla. Koroisten ja Pääskylvuoren aseman ollessa kytkettynä renkaaseen on Raunistulan aseman kompensointi mahdollisesti helpompi hoitaa kun on käytössä kaksi erisuuruista kondensaattoria.

Munttismäen asemalla kondensaattorin käyttöasetetta voitaisiin nostaa sillä Saramäen ja Maarian asemien loistehot, jotka talvisin ovat 1-3 Mvar luokkaa. olisi hyvä kompensoida Munttismäessä. Kesäaikaan on Munttismäen 4,5 Mvar:n kondensaattorin koko on liian suuri aseman loistehon kulutukseen nähden. Pienentämällä kondensaattorin kokoa, voitaisiin päästä parempaan kompensoinnin käyttöasteeseen, mutta loistehoa ei välttämättä saataisi kompensoitua kokonaan, varsinkin talviaikaan. Munttismäen asemalla saattaisikin olla tarvetta toiselle kondensaattorille, joka voisi olla 3 Mvar, jolloin saataisiin tehokkaasti niin kesällä kuin talvella kompensoitua loistehot. Toisen kondensaattoriyksikön sijoittaminen Munttismäkeen toisi mahdollisuuden kompensoida tarvittaessa myös Koroisten aseman loistehoa. Munttismäen asemalla on ajoittain ongelmia kuluttajille aiheutuvista jännitenuosuista kompensoinnin kytkennän yhteydessä. Asemalle voitaisiin tulevaisuudessa hankkia synkronikatkaisjia, jolla saataisiin rajoitettua asemalla tapahtuvia jännitepiikkejä.

Koroisten osalta 3 Mvar kompensointi nykyisellään toimii, jos valvomomestarit käyttävät kondensaattoria tehokkaasti. Koroisten osalta tulee myös hyödyntää kantaverkosta otettavaa ilmaisloistehoa, koska asema liittyy kantaverkkoon, jolloin myös siirtomatka jää lyhyeksi.

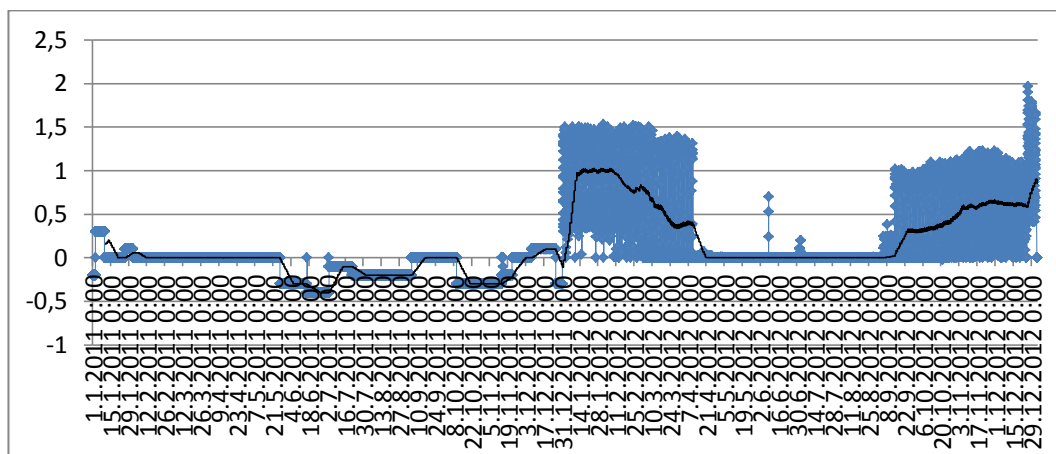
4.3 Pääskyvuori

Pääskyvuori liittyy samaan paikkaan kantaverkkoa kuin Huhkola. Pääskyvuoren asemalta aina Hirvensaloon olevien asemien välillä on kaapelit, joilla on suuri vaikutus kondensaattoreiden käyttöön. Pääskyvuoren aseman kondensaattoria voitaisiin käyttää huomattavasti tehokkaammin. Käyttöön on saattanut vaikuttaa pyrkimys siihen, ettei jouduta tilanteeseen, joissa syötettäisiin loistehoa kantaverkkoon.

Itäharjun aseman toinen kondensaattoriparisto korjattiin ja molemmat ovat jälleen 4,5 Mvar:n tehoisia. Itäharjun kompensointi toimii hyvin, joten aseman suhteen ei tarvitse tehdä parannuksia.

Myllylahteen 2-kiskon osalta tilanne on hyvin samantapainen kuin Itäharjulla ja sen kompensointi toimii hyvin, mutta kondensaattoreiden käyttövarmuuden kannalta aseman kondensaattoreiden uusimista tulee miettiä niiden iän takia.

Hirvensalon aseman loisteho pysyttelee lähes kokoajan 3-4Mvar:n välissä ja kaapelit jotka kulkevat Myllylahteen ja Hirvensalon aseman välissä kompensoivat lähes koko loistehokuorman. Kuvasta 18 voidaan tulkita kuinka kaapeli riittää kesäisin kokonaan kattamaan aseman loistehokuorman. Talviaikaan loistehot ovat noin 1,5 Mvar:n suuruisia, asemalla esiintyvät loistehot on järkevää kompensoida jollain muulla asemalla, koska loistehotarve on niin pientä ja lyhytaikaista.

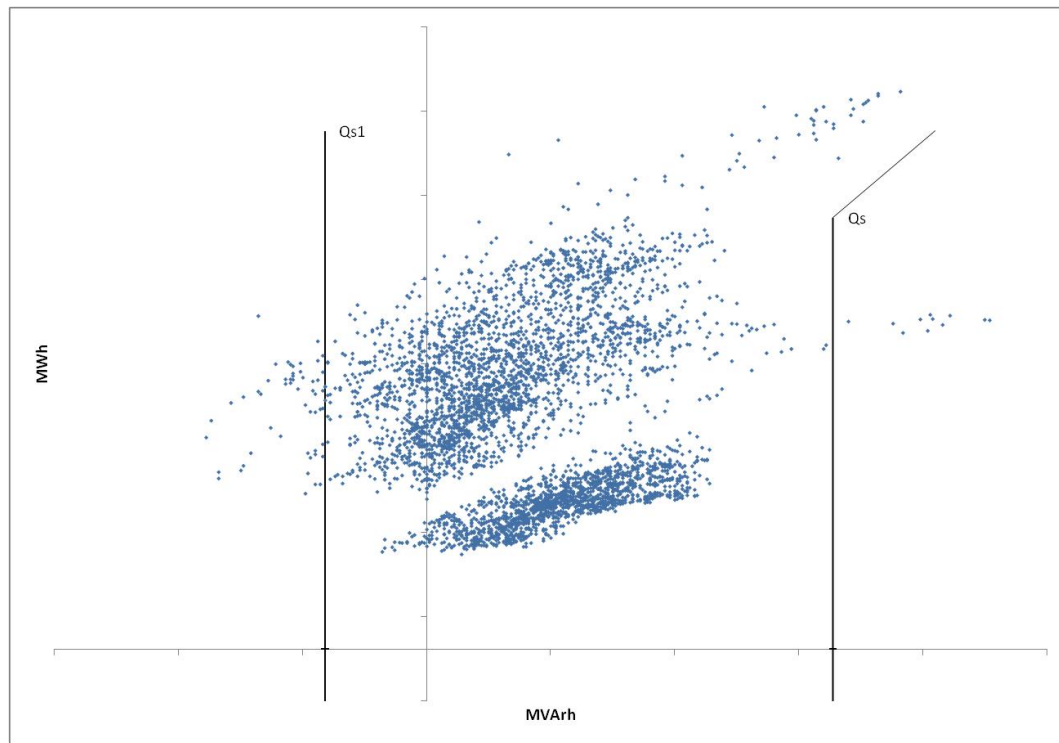


Kuva 18. Hirvensalon loistehot.

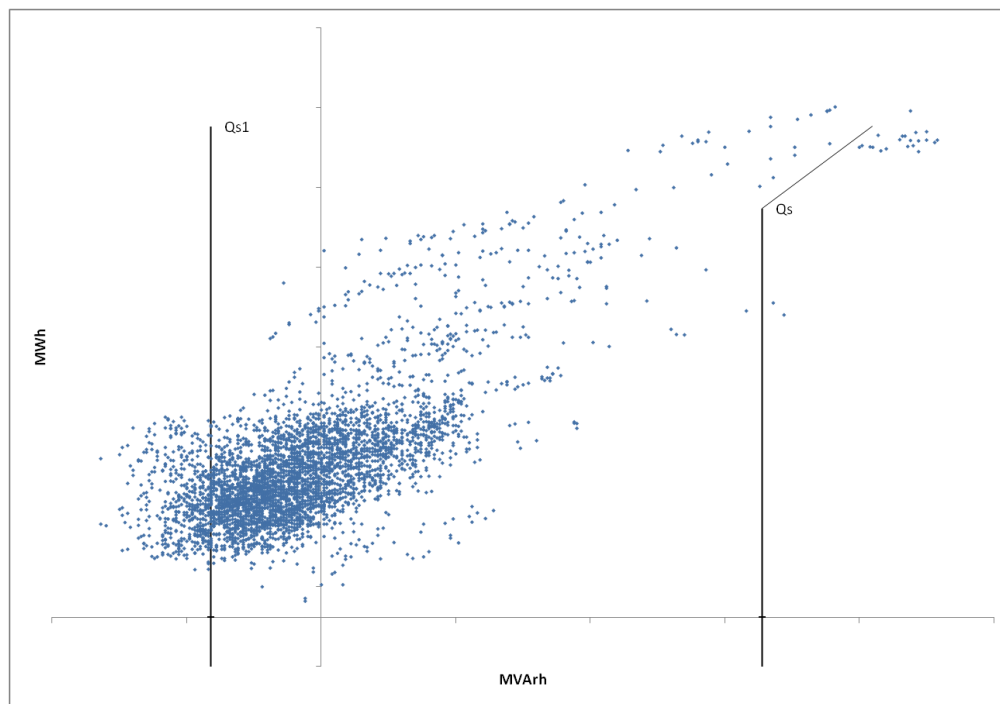
4.4 Huhkola

Piiriin kuuluu vain yksi kondensaattori, joka sijaitsee Ilpoisten asemalla. Ilpoisten kondensaattorin tehoa voisi laskea esimerkiksi 3 Mvar:iin, toimenpiteellä saataisiin asemalla käytettävää loistehoa kompensoitua tehokkaammin. Ilpoisten aseman kondensaattori on suhteellisen iäkäs, ja tulevaisuudessa sen uusimisen yhteydessä olisi järkevää miettiä siirtymistä pienempään yksikkökokoon. Nykyisellään jos kondensaattoria käytettäisiin aktiivisemmin ja ylikompensoitaisiin Ilpoisten asemaa, saataisiin Huhkolassa olevat loistehot kompensoitua. Huonona puolena tällöin on, että tuotettua loistehoa joudutaan siirtämään asemien välillä, joka taas ei ole järkevää.

Kuvasta 19 nähdään kuinka Huhkolan liityntäpiste on pysynyt huomattavasti paremmin annetuissa raja-arvoissa, kun asema ei ole renkaassa Pääskyvuoreen päin. Kuva 20 kuvaa tilannetta kun Huhkolan asema on ollut renkaassa Pääskyvuoreen, joka on aiheuttanut loistehon siirtoa kantaverkkoon päin. Renkaassa aseman loisteho on pysytellyt lähes jatkuvasti ylikompensoituna.



Kuva 19. Fingridin mittaukset Huhkolan asemalta 1.1.201–30.6.2011



Kuva 20. Fingridin mittaukset Huhkolan asemalta ajalta 1.1.2012–30.6.2012

5 VERKON KÄYTÖN JA VALVONNAN TEHOSTAMINEN

Luvussa käydään läpi kuinka koko TESV:n verkon käyttöä voitaisiin parantaa ilman uusien kondensaattoreiden hankintaa. Tarkastellaan tilanteita joissa ollaan koko verkon osalta oltu lähellä Fingridin antamaa loistehon antorajaa kantaverkkoon päin. Lähellä antorajaa olevissa pisteissä tutkitaan paljonko omaa kompensointia kyseisillä hetkillä verkossa.

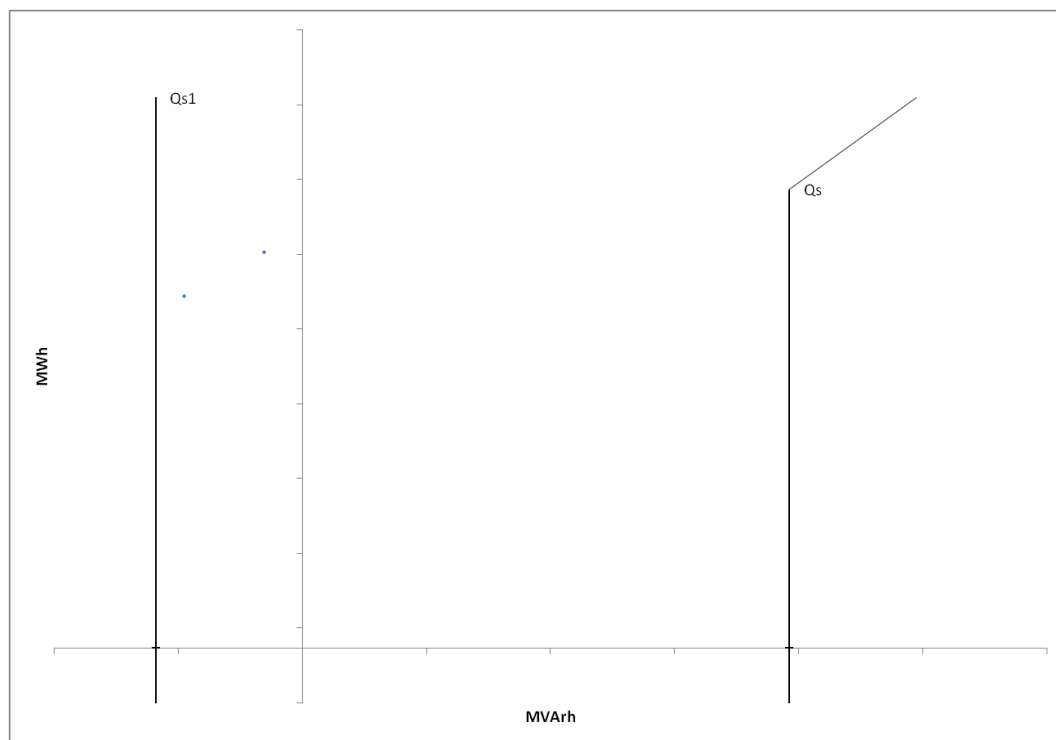
5.1 Loisteho valvonnan tehostaminen

Nykyisellään kun valvomo tarkkailee vain yhtä loistehoikkunaa, jonka Fingrid on määritellyt. Uudessa mallissakin tulee TESV:n alueen verkon pysyä kahdessa kokonaisikkunassa, mutta valvomon osalta tulotaisiin tarkkailemaan kaikkia neljää kantaverkkoon liittyvää pistettä. Omalla valvonnalla valvottaisiin kaikkien liittytäpisteiden loistehotasapainoa, jolla saadaan vähennettyä häviöitä kun ei tuoteta tai kuluteta loistehoa väärissä paikoissa. Käytännössä valvontajärjestelmään asetettaisiin jokaiselle verkkopisteelle tietty osa uusista anto- ja ottorajoista. Tarkempi valvonta loistehon suhteen toisi mahdollisuuden käyttää jokaisen verkkopisteen kondensaattoreita tehokkaammin, jolloin saadaan myös loistehon ottoa kantaverkosta vähennettyä.

5.2 Kompensoinnin tila lähellä antorajaa.

Kuvassa 21 näkyy kaksi mittausta jolloin Koroisten verkon osassa ollaan lähellä annettua loistehon antorajaa. Koroisten pisteelle kyseinen antoraja oli kyseisellä hetkellä -5,91 Mvar. Verkon kokonaisloistehotarve oli kahdella mitatulla tunnilla noin 11 Mvar, ja kompensointia verkonosalla oli samaan aikaan 16,5 Mvar, tämä tarkoittaa että kyseinen antorajan lähestyminen johtui siitä että verkossa oli enemmän kompensointia kuin olisi tarvinnut. Varsinkin Raunistulan asemalla olisi voitu kyseisellä hetkellä ainakin toinen kondensaattori kytkeä irti, jos loistehonvalvonta olisi tarkempaa.

Fingridin mittauksiin saattaa tietyillä verkon osilla syntyä virhettä nykyisellä mittauksella, koska mittauksia ei ole suunniteltu niin, että verkkoa käytettäisiin kahdena renkaana.



Kuva 21. Fingridin Koroisten pisteen loisteho mittaus 15.10.2012 klo. 21–23 (Fingrid 2013)

6 YHTEENVETO

Työn toteutus rakentui eri osa-alueista. Työläin vaihe oli kerätä kaikki loistehon mittauksista ja kondensaattoreiden virroista tiedossa olleet historiatiedot, sekä miettiä miten niistä sai järkevän aineiston työn pohjaksi. Mittaukset sai suoraan Spectrum ohjelmistosta vietyä Excelliin, mutta kaavioiden teko ja niiden tulkinta vei suurimman osan ajasta.

Opinnäytetyö toimii pohjatietona Turku Energian Sähköverkoille loistehon kompensoinnissa tehtävissä investoinneissa. Historiatiedot antoivat pohjan kompensoinnin käytölle, josta kävi ilmi mahdolliset ongelmat verkossa. Kondensaattorit tullaan uusimaan tietyllä aikavälillä niiden iän takia ja kondensaattoreille teetetyissä mittauksissa saatiin tieto kondensaattoreiden tämänhetkisestä kunnosta.

Työn hankaluutena olivat verkon erilaisten käyttötilanteiden huomioiminen, sillä eri käyttötilanteet vaikuttivat historiatiedoista saatuihin tuloksiin. Kompensointi on kuitenkin nykyisellään riittävää ja valvonnan lisäämisellä saadaan nykyisillä laitteilla vielä tehostettua loistehon kompensointia. Tavoitteena oli löytää mahdolliset ongelmakohdat Turku Energian Sähköverkkojen omassa verkossa, suurimmat ongelmat ja kehitys ehdotukset tulevatkin ilmi työssä.

7 LÄHDELUETTELO

/1/ Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 2. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. 1. painos. Helsinki. Otatieto, 225–236.

/2/ Männistö, M., Hietalahti, L., Seesvuori, R., Seesvuori & V., Wilen, T. 2006. Yliaallot ja kompensointi. Espoo. Sähköinfo Oy

/3/ Loistehon kompensointi ja yliaaltojen rajoittaminen. 1999. Helsinki. Sähköenergialiitto ry SENER

/4/ Väisänen, P 2012. Loistehon kompensointi jakeluverkkoyhtiössä. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Sähkötekniikan osasto.

/5/ ABB. 2013. ABB Controlled Switching Buyer's and Application Guide. Viitattu 17.4.2013

[http://www05.abb.com/global/scot/scot245.nsf/veritydisplay/8df0089d326d34ffc1257a00003977fd/\\$file/ABB%20B.G.%20Controlled%20Switching%20Ed3.2.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot245.nsf/veritydisplay/8df0089d326d34ffc1257a00003977fd/$file/ABB%20B.G.%20Controlled%20Switching%20Ed3.2.pdf)

/6/ ABB. 2013. ABB Electrical installation handbook. 6. painos. viitattu 17.4.2013

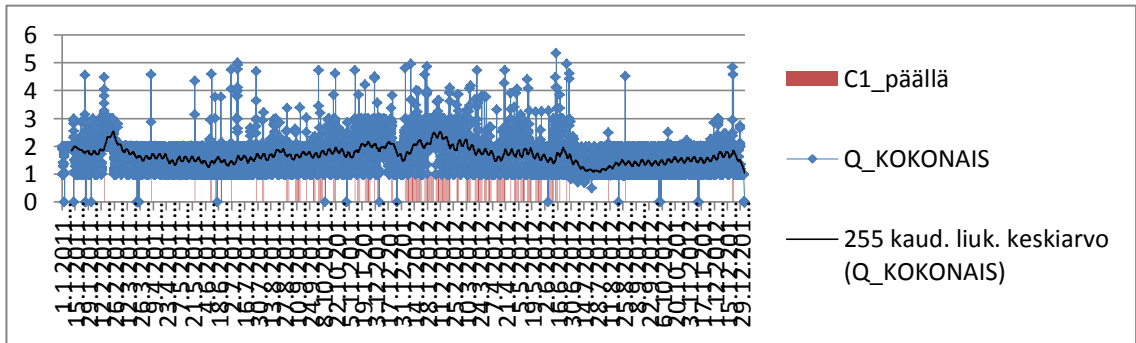
[http://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/8a84de769b6145bdc1257937003efe87/\\$file/håndbog+-+elektriske+installationer+1sdc010002d0206.pdf](http://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/8a84de769b6145bdc1257937003efe87/$file/håndbog+-+elektriske+installationer+1sdc010002d0206.pdf)

/7/ Fingrid LTJ-Extranet. 2013.

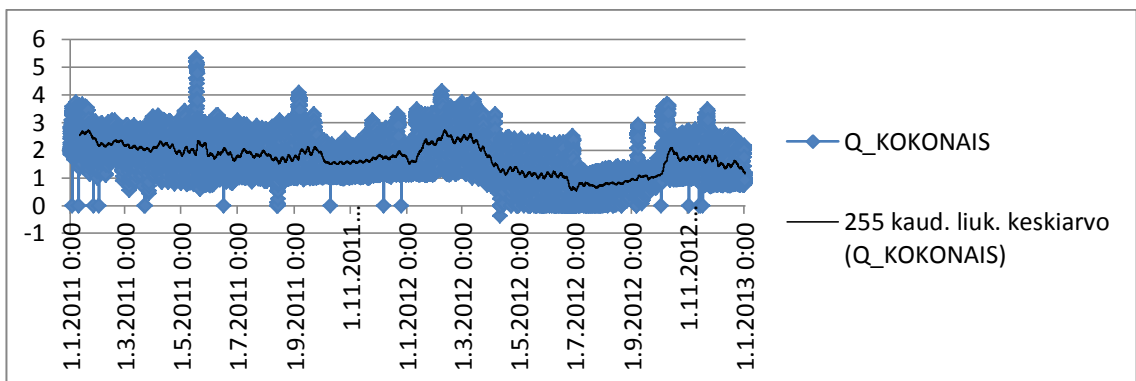
/8/ Prysmian. 2013. Alumiini- tai kuparijohtiminen, PEX-eristeinen 110 kV voimakaapeli. Viitattu 30.4.2013

http://www.prysmian.fi/export/sites/prysmian-fiFI/attach/pdf/Powercables/ahxlmkw110_fi.pdf

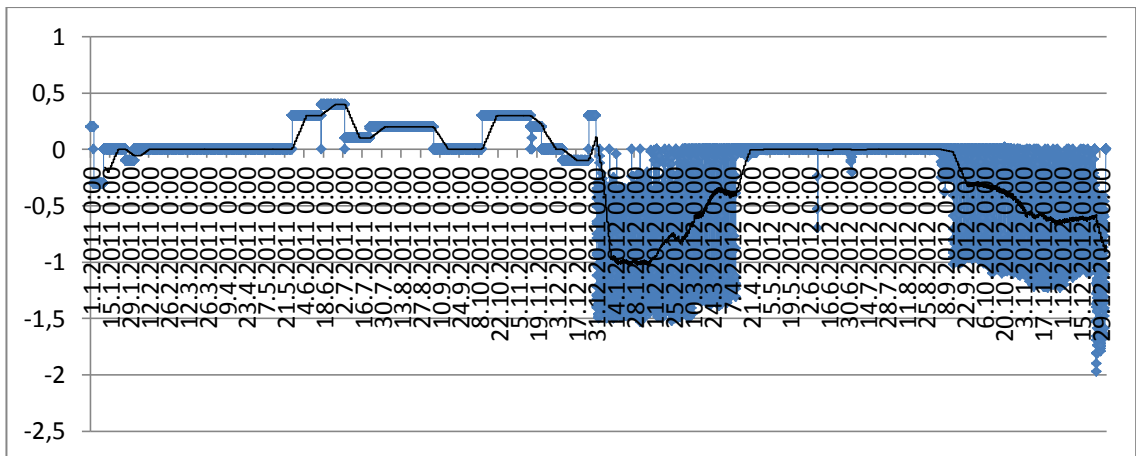
LIITE 1



Artukainen

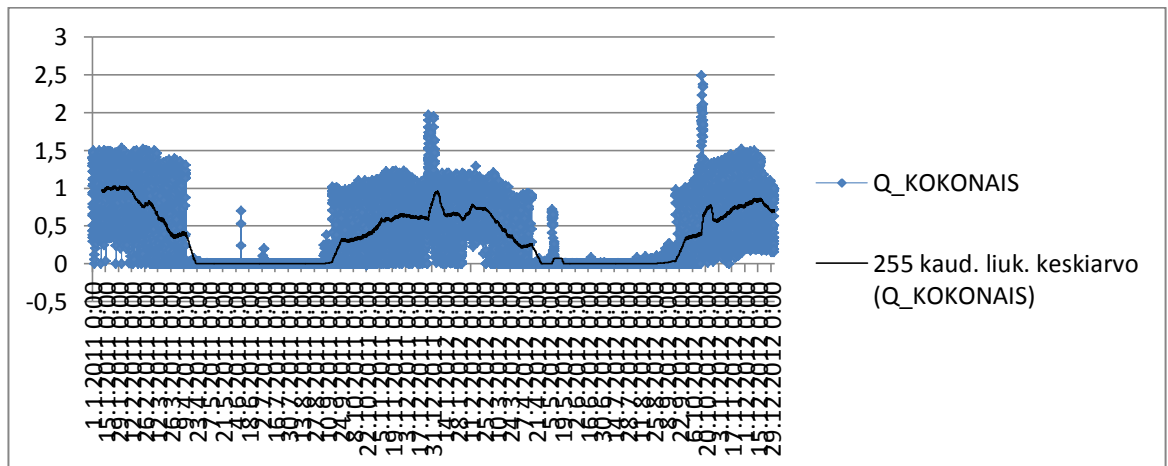


Huhkola

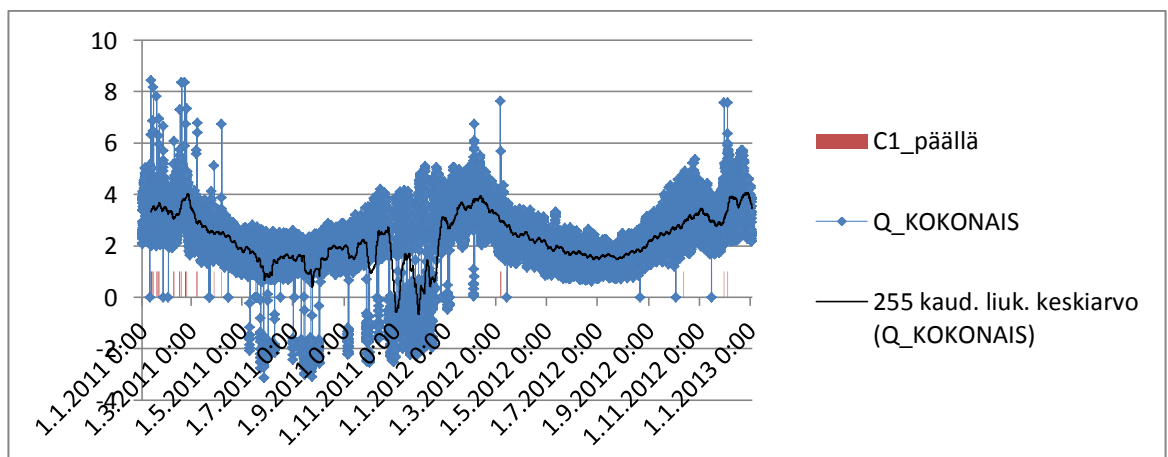


Hirvensalo

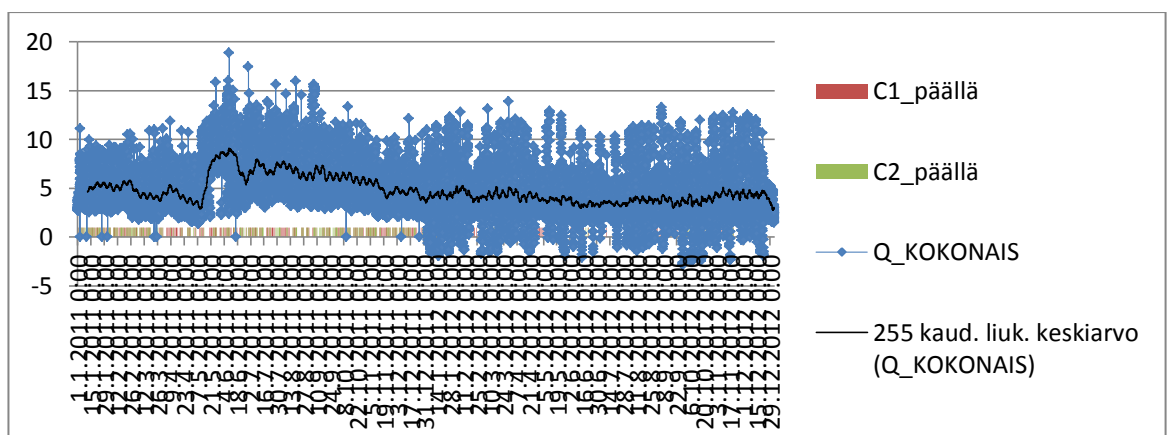
LIITE 2



Saramäki

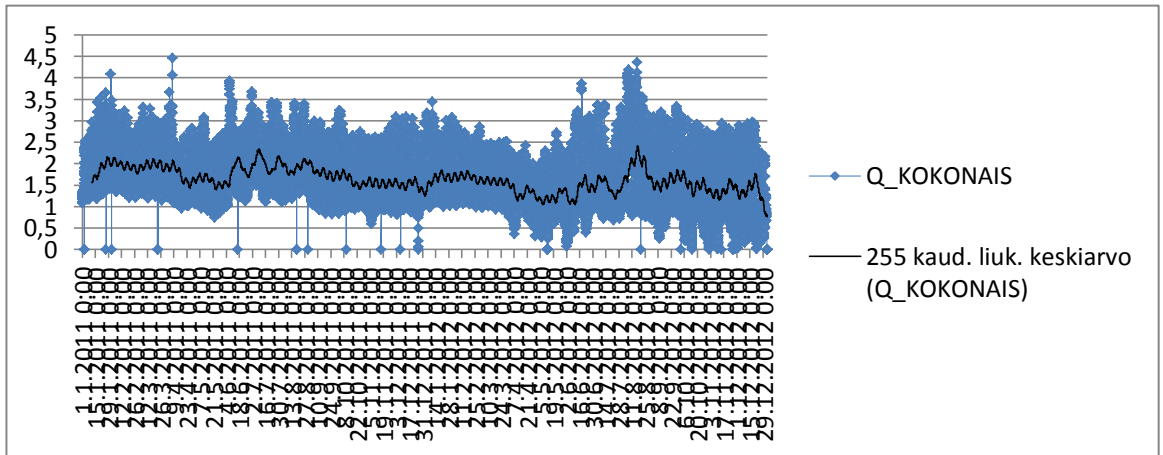


Ilpoinen

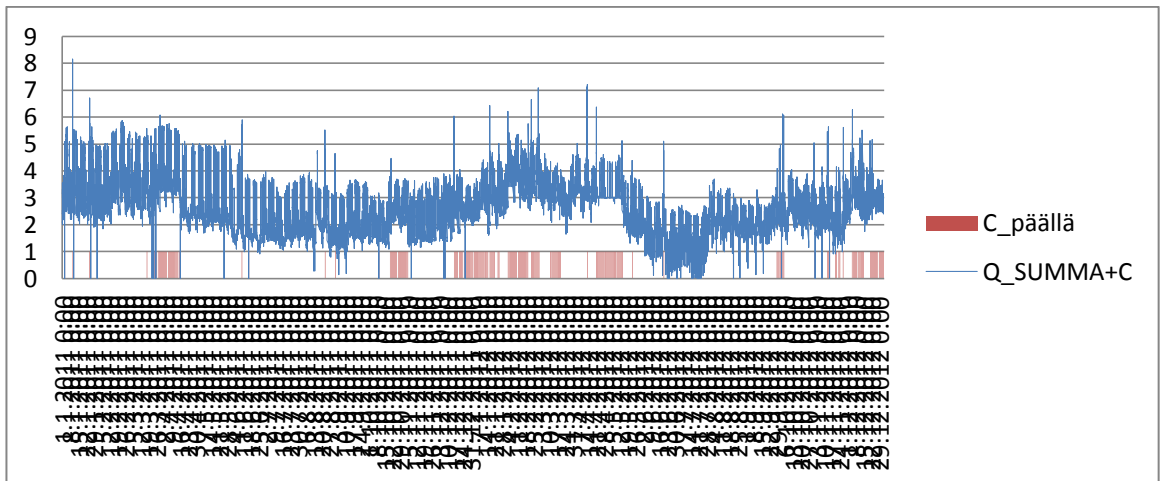


Itäharju

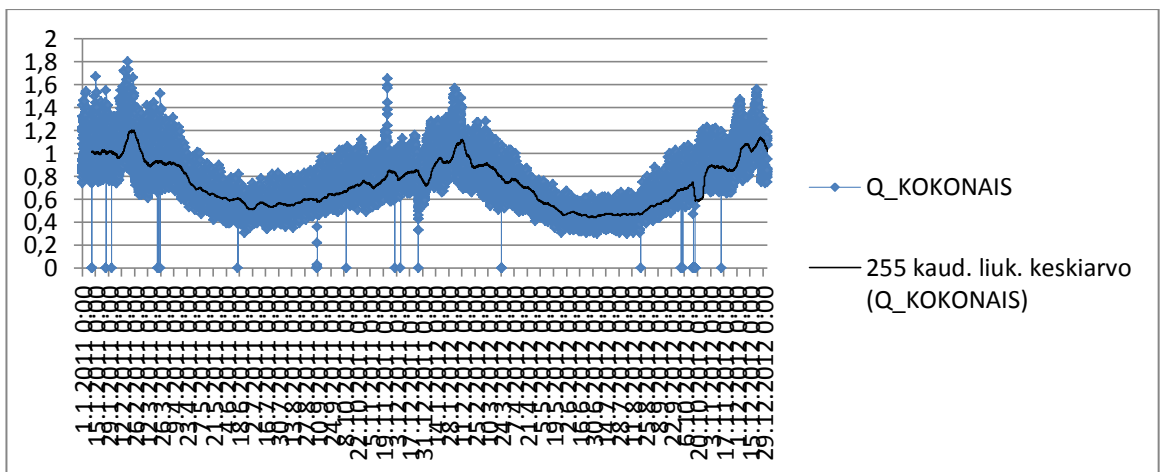
LIITE 3



Kemppilä

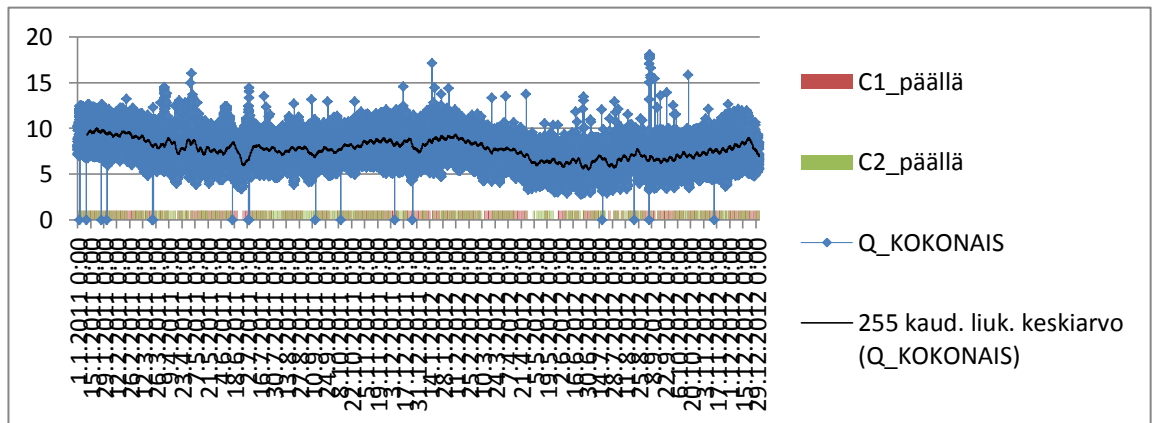


Koroinen

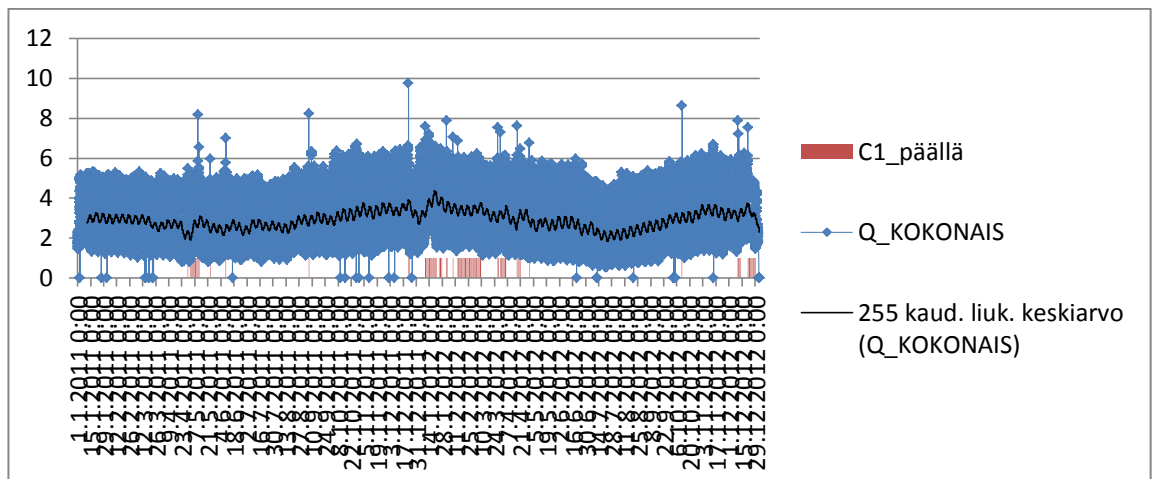


Maaria

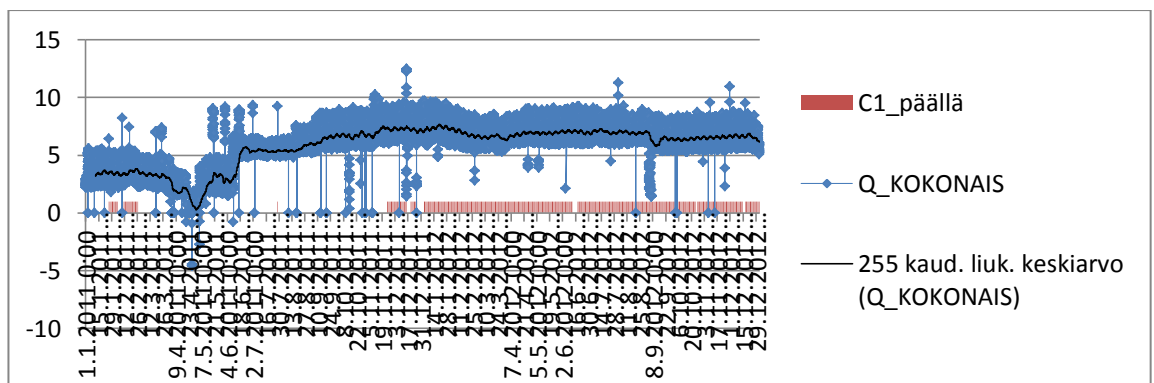
LIITE 4



Myllyyahde 1- ja 2 kisko

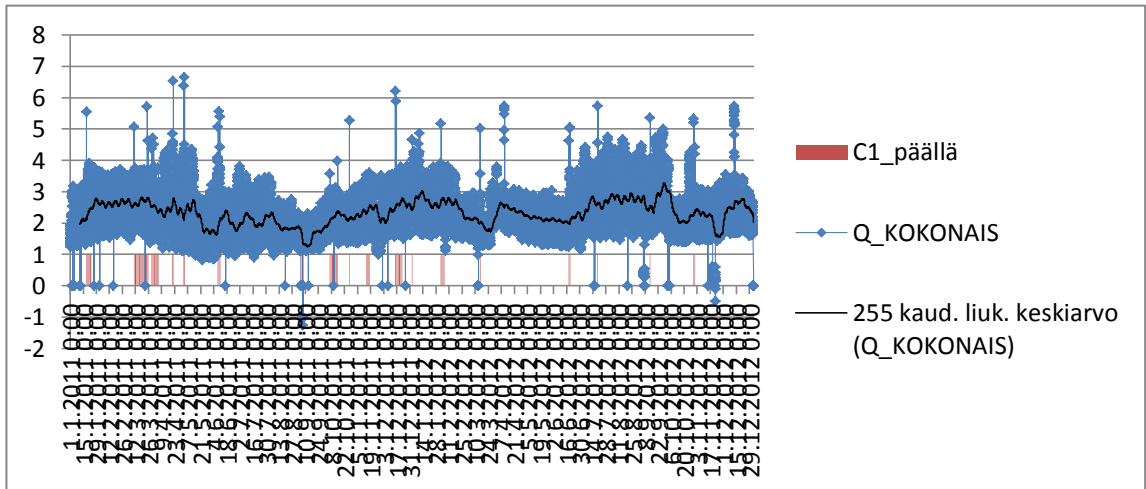


Munttismäki

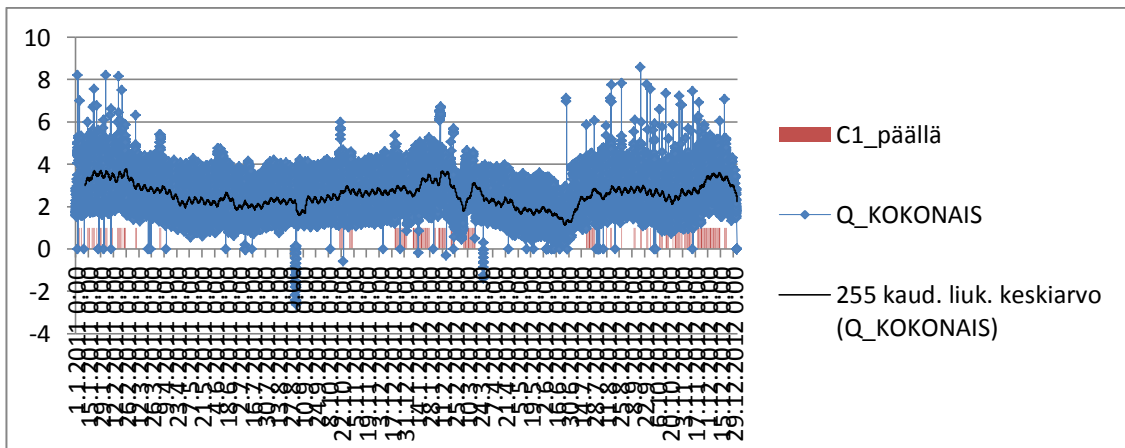


Pakkari

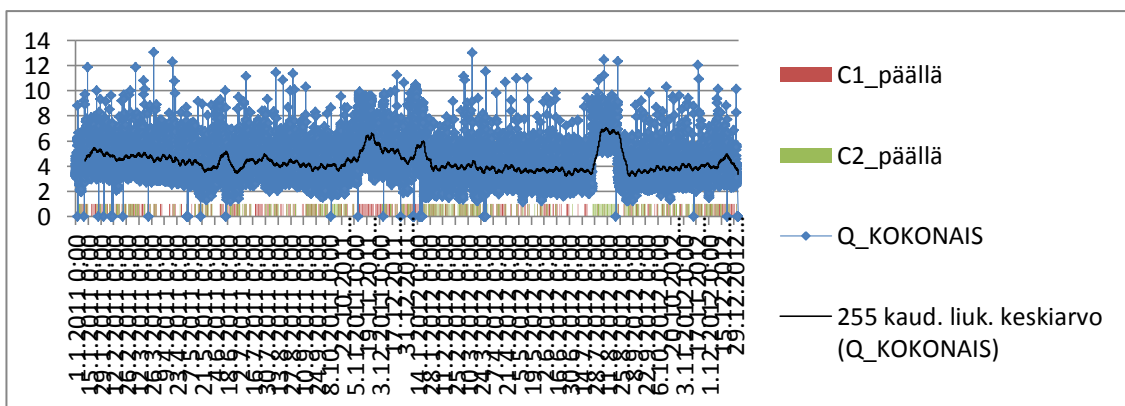
LIITE 5



Pääskyvuori

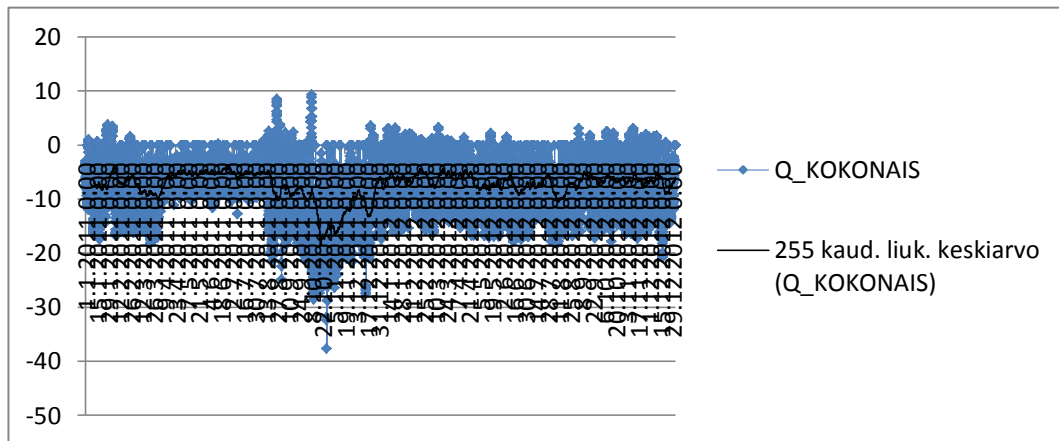


Ruuhonpää



Raunistula

LIITE 6



Upalinko