



Satakunnan ammattikorkeakoulu

Olli Björkqvist

PORI ENERGIA OY AITTALUODON VOIMALAITOKSEN 20 kV:n
VERKON LOISTEHON HALLINTA

Tekniikka Pori

Konetekniikan koulutusohjelma

Automaatio- ja kunnossapito suuntautumisvaihtoehto

2011

PORI ENERGIA OY AITTALUODON VOIMALAITOKSEN 20 kV:n VERKON LOISTEHON HALLINTA

Björkqvist Olli
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Konetekniikan koulutusohjelma
Maaliskuu 2011
Lehtio Ari
Sivumäärä: 27 + 11 liitesivua

Asiasanat: Loisteho, kompensointi, generaattori, kondensaattoriparisto, optimointi.

Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää Pori Energia Oy:n omistaman Aittaluodon voimalaitoksen loistehotase. Selvityksessä keskityttiin lähinnä voimalaitoksen omaankäyttöön tarvittavan loistehon määrään ja sen tuottamiseen vaadittavien eri vaihtoehtojen pohdintaan. Selvityksessä tutkittiin voimalaitoksen 20 kV:n verkon ja sitä syöttävän kojeiston AJ01 eri lähtöihin.

Selvitys tehtiin, koska tähän asti tarvittava loisteho on lähes yksinomaan tuotettu generaattori G4:lla. Vuonna 2009 käyttöön otettu Kaanaan uusi voimalaitos on muuttanut Aittaluodon voimalaitoksen ajotapaa huomattavasti ja esimerkiksi vuonna 2009 G4 oli yli sata päivää pois tuotannosta. Tällöin tarvittava loisteho on siirretty muuntajan AT03 kautta 110 kV:n verkosta. Työn valmistumisen aikana on selvinnyt, että generaattorin G4:n ajotapaa tullaan muuttamaan. T5:sen väliotot avataan, joten tulevaisuudessa laitoksen kaukolämpöteho määrittää laitoksen sähkötehon. G4 jää lähinnä kesäkäyttöön. Tämä tietää sitä, että kaikki tarvittava omakäyttö ja muun kulutuksen sähköenergia tullaan siirtämään PM AT03:sen kautta.

SISÄLLYS

PORI ENERGIA OY AITTALUODON VOIMALAITOKSEN 20 kV:n VERKON LOISTEHON HALLINTA

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Työn tavoite	5
1.2	Aittaluodon voimalaitos.....	6
1.3	Nykyinen loistehon säätöstrategia	8
2	TEOREETTISET PERUSTEET	8
2.1	Yleistä/1/	8
2.2	Tehokerroin.....	8
2.3	Loistehon tarve/1/	9
2.4	Generaattorin magnetointisäätö	10
2.4.1	PQ-diagrammi	10
2.4.2	Magnetoinnin säädön vaikutukset.....	11
2.4.2.1	Vakiotehokerroinsäätö.....	11
2.4.2.2	Vakioloistehosäätö.....	11
2.4.2.3	Vakiojännitesäätö	11
3	VOIMALAITOKSEN SÄHKÖNJAKELU	12
3.1	Pääsähkönjakelu.....	12
3.2	Tarkasteltava verkko.....	13
4	LOISTEHON TALOUDELLISET VAIKUTUKSET	14
4.1	Loistehon hankintakustannukset.....	14
4.2	Loistehon tuotto pyörivillä koneilla/1/	15
4.3	Kondensaattorien hankinta- ja käyttökustannukset/1/	15
4.4	Loistehon vaikutus siirtohäviöihin/1/	16
4.4.1	Pätötehohäviöt.....	16
4.4.2	Loistehohäviöt.....	17
5	KOMPENSOINTIMENETELMIEN VERTAILU	18
5.1	Yksittäiskompensointi	18
5.2	Kojeryhmien kompensointi.....	18
5.3	Keskitetty kompensointi	19
5.4	Suurjännitekompensointi	19
6	MITTAUKSET	19
6.1	Mittaukset	19

6.2	Mittausten suoritus.....	20
6.3	Mittaustulokset ja kustannusvertailu	20
6.3.1	Kenno B04 AQ203	20
6.3.2	Kenno B05 CT69	21
6.3.3	Kenno B06 CT40/syöttövesipumppu 2.....	21
6.3.4	Kenno B07	21
6.3.5	Kenno B09	22
6.3.6	Kenno B11 Kartonki 1	22
6.3.7	Kenno B12 Voimalaitos oma kulutus yhteensä.....	22
6.3.8	Kenno B13 G4	23
6.3.9	Kenno B14 PM AT03	23
6.3.10	Kenno B15 Puolisellu/sakeamassa.....	24
6.3.11	Kenno B17 Kartonki 2	24
6.3.12	Kenno B21 Seikku KJ 2010 Vanha saha	24
6.3.13	Kustannusvertailu.....	25
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET.....	25
	LÄHTEET.....	27
	LIITTEET	28

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoite

Työn tavoitteena on selvittää voimalaitoksen 20 kV:n verkon loistehotase ja sitä syöttävän generaattorin G4:n loistehon käyttö. Nykyisin generaattorilla kehitetään voimalaitoksen omaan käyttöön tarvittava pätö- ja loisteho, sekä osittain UPM Seikun sahan ja Corenso United Oy Ltd hylsykartonkitehtaan sähkön tarve. Generaattorista saatava teho on riippuvainen laitoksen ajotavasta, lähinnä kattilan rakennusasteesta. Loistehon kehitys generaattorilla G4 syö generaattorin pätötehokapasiteettia ja lisäksi se aiheuttaa turhaa lämpörasitusta. Kaanaan uusi voimalaitos tulee vaikuttamaan Aittaluodon voimalaitoksen käyttöön. Turbiinin TG5 väliotot avataan ja TG4 jää kesäkäyttöön, tällöin ulkopuolisen kompensoinnin tarve saattaa tulla kysymykseen.

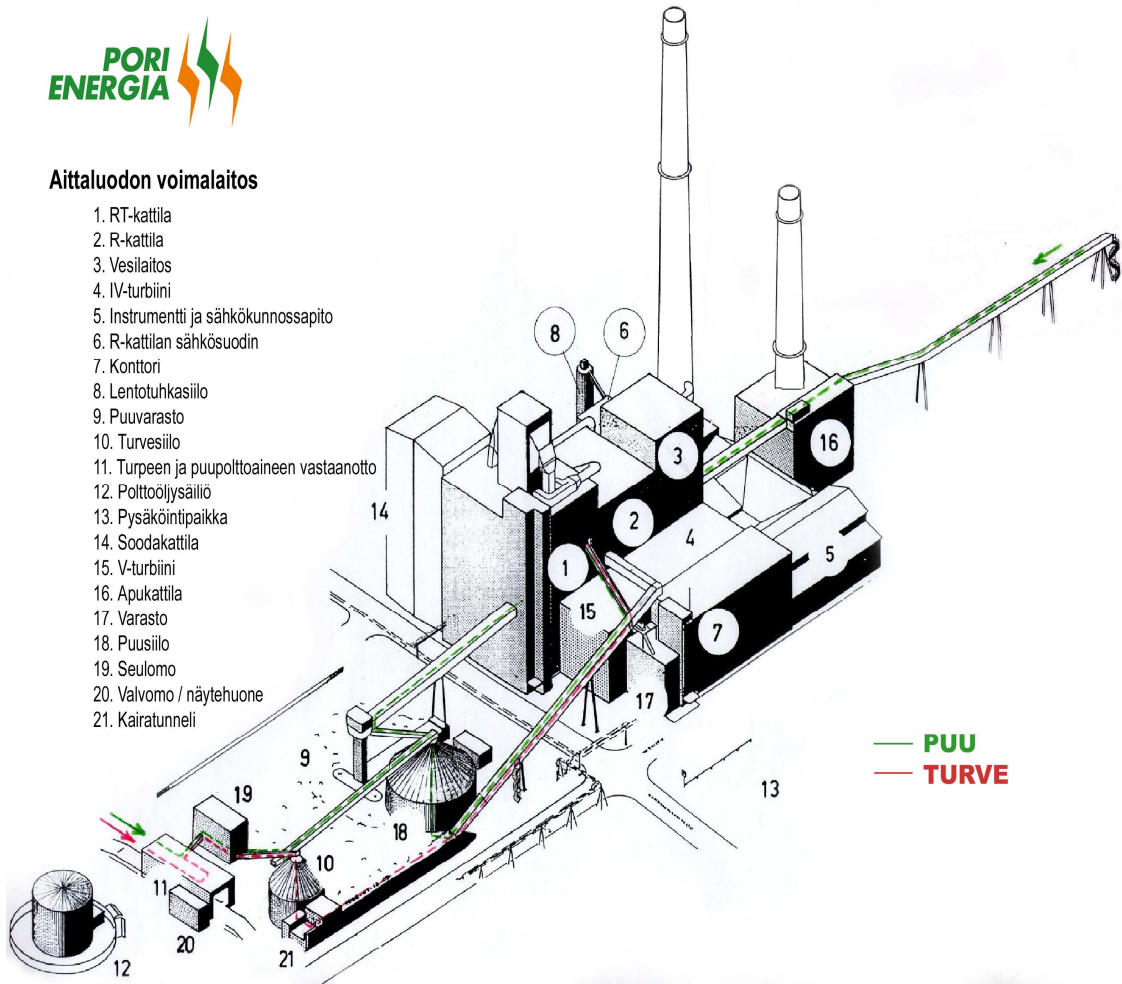
1.2 Aittaluodon voimalaitos

Pori energia Oy:n omistama voimalaitos Porissa Aittaluodon teollisuusalueella



Aittaluodon voimalaitos

1. RT-kattila
2. R-kattila
3. Vesilaitos
4. IV-turbiini
5. Instrumentti ja sähkökunnossapito
6. R-kattilan sähkösuodin
7. Konttori
8. Lentotuhasilo
9. Puuvarasto
10. Turvesilo
11. Turpeen ja puupolttaineen vastaanotto
12. Polttoöljysäiliö
13. Pysäköintipaikka
14. Soodakattila
15. V-turbiini
16. Apukattila
17. Varasto
18. Puusiilo
19. Seulomo
20. Valvomo / näytehuone
21. Kairatunneli



KATTILAT

Aitta 1 (R)

rakennettu 1968

saneerattu 1994

teho 90 MW

höyry 32 kg/s,

115 bar, 525 °C

Aitta 2 (RT)

rakennettu 1981

saneerattu 1996

teho 116 MW

höyry 44 kg/s

115 bar, 525 °C

TURBIINIT

Turbiini 1 (TG4)

hankittu 1968

sähkö 17,5 MW

15 bar höyry 3,5 MW

3,5 bar höyry 57 MW

Turbiini 2 (TG5)

hankittu 1991

sähkö 37,5 MW

kaukolämpö

75 MW

GENERAATTORIT

Generaattori G4

AEG

20900 kVA

10500 V

1150 A

cos φ 0,8

50 Hz

3000 1/min

Generaattori G5

GANZ ANSALDO

46600 kVA

10500 V

2562 A

cos φ 0,8

50 Hz

3000 1/min

1.3 Nykyinen loistehon säätöstrategia

Nykyisin voimalaitoksen omaankäyttöön tarvittava loisteho tuotetaan aina generaattorilla G4, silloin kun se on ajossa. Generaattorin G4 tuotanto on suuresti riippuvainen laitoksen kaukolämpötehon tarpeesta, generaattoria ajetaan vakiojännitesäädöllä, joten loistehoa tuotetaan kulloinkin tarvittava määrä ja pätötehoa tuotetaan rakennusasteen mukaan. Muutoin tarvittava loisteho siirretään muuntajan AT03:n kautta valtakunnan verkosta. Voimalaitoksella itsellään ei ole käytössä kiinteitä kompensointilaitteistoja, mutta UPM Kymmene Seikun sahalla ja Corenso Oy Ltd:llä on käytössä kiinteitä kompensointilaitteita.

2 TEOREETTISET PERUSTEET

2.1 Yleistä/1/

Lähes kaikki sähkölaitteet tarvitsevat pätötehon lisäksi myös loistehoa. Mikäli tarvittavaa loistehoa ei kehitetä laitteen välittömään läheisyyteen sijoitetulla kondensaattorilla, joudutaan loistehoa siirtämään jakelujärjestelmän kautta. Tällöin on verkon mitoituksessa otettava huomioon loistehon vaikutus kuormitusvirtaan, mistä seuraa suurempien muuntajien, sekä poikki-pinnaltaan suurempien johtimien hankintaan. Lisäksi loistehon siirrosta aiheutuu myös siirtohäviötä, jotka ovat ylimääräistä energiahukkaa.

2.2 Tehokerroin

Pätö- ja loisteho muodostavat yhdessä näennäistehon

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

jossa S on näennäisteho (kVA),

P on pätöteho (kW) ja

Q on loisteho (kVAr)

Kuorman ottama virta lasketaan näennäistehosta

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U}$$

Näin kokonaisvirtaan vaikuttaa myös loisteho. Sähköverkko eli kaapelit, muuntajat, sulakkeet, kytkinlaitteet jne. mitoitetaan kokonaisvirran tai näennäistehon perusteella. Kuormituksen loistehontarvetta kuvataan pätötehon ja näennäistehon suhteella; tehokerroin $\cos \varphi$.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Vastaavasti

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

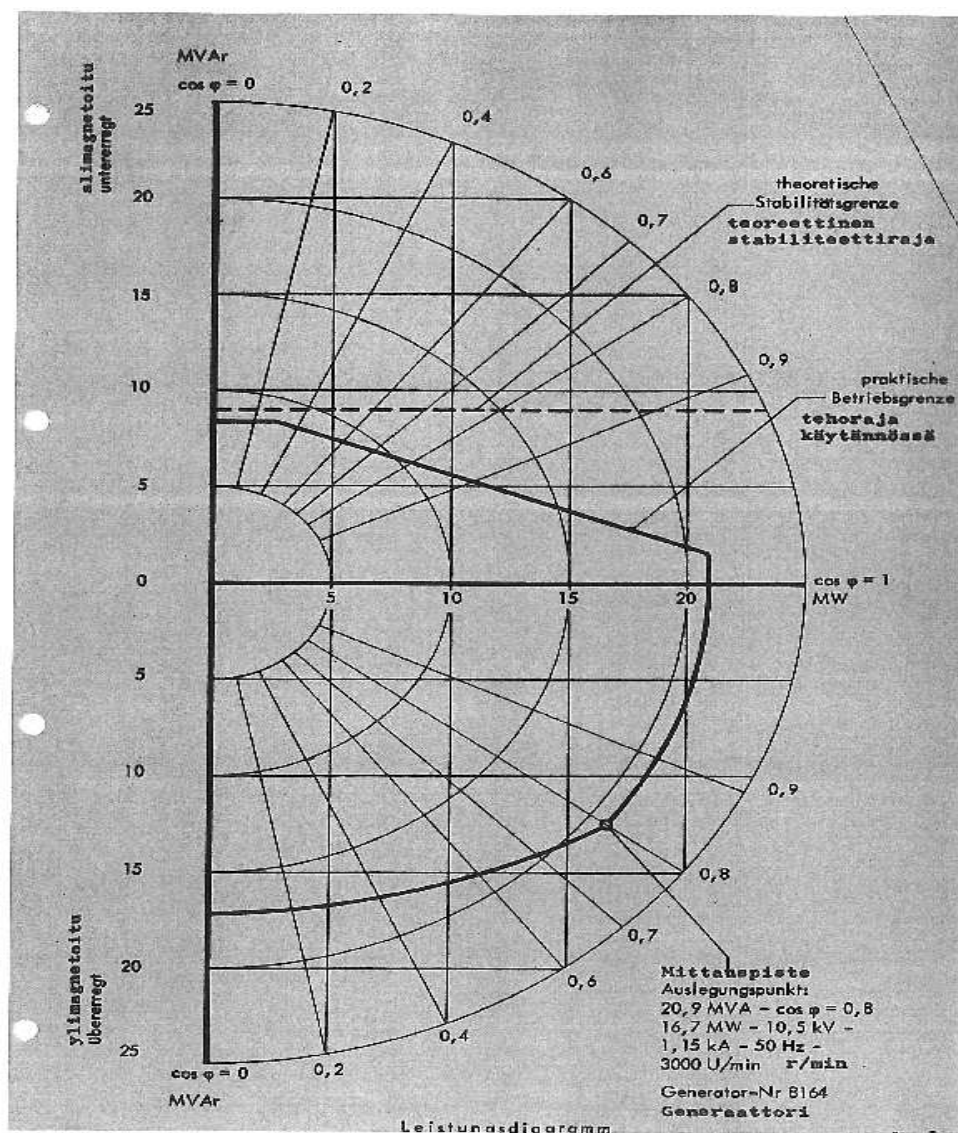
2.3 Loistehon tarve/1/

Oikosulkumoottoreissa loistehoa tarvitaan pyörimisliikkeen aikaansaavan magneettikentän ylläpitämiseen. Verkosta ottamallaan pätöteholla moottori tekee työtä. Epätahtimoottoreiden keskimääräinen loistehotarve on n. 1 kVAr pätötehon 1 kW:a kohti, suhteen suuruus vaihtelee moottorin suuruuden ja kuormituksen mukaan. Purkauslamppuvalaisimen kuristimen, hajakenttämuuntajan tai muun liitännälaitteen tarvitsema loisteho on suuruusluokkaa 2kVAr pätötehon 1 kW:a kohti. Tyristorikäytöt ottavat verkosta loistehoa n. 1 kVAr pätötehon 1 kW:a kohti sekä synnyttävät haitallisia yliaaltoja, jotka pyrkivät mm. ylikuormittamaan kondensaattoreita. Edellä mainittujen lisäksi myös muuntajat ja kuormitetut kaapelit sekä avojohdot tarvitsevat jossain määrin loistehoa. Koska loistehoa tarvitaan magneettikentän ylläpitämiseen, sitä nimitetään monesti magnetoimistehoksi.

2.4 Generaattorin magnetointisäätö

2.4.1 PQ-diagrammi

Generaattorin päto- ja loistehotasetta voidaan tarkastella diagrammista, jonka pysty-akselilla generaattorin tuottama/kuluttama loisteho ja vaaka-akselilla generaattorin tuottama pätoheho. Generaattorin toimintapiste liikkuu diagrammin eri alueilla ja sitä rajoittavat diagrammiin piirretyt lämpenemis- ja stabiilisuusrajat.



Kuva 2.1 Generaattorin G4 PQ-diagrammi

2.4.2 Magnetoinnin säädön vaikutukset

Verkkoon kytketyn generaattorin magnetointivirtaa säätämällä voidaan generaattorin tehokerrointa muuttaa. Suurentamalla magnetointia nimellisestä eli ylimagnetoimalla, generaattori tuottaa induktiivista loistehoa verkkoon eli toimii loistehon kompensoijana. Vastaavasti alimagnetoimalla, generaattori kuluttaa induktiivista loistehoa.

2.4.2.1 Vakiotehokerroinsäätö

Vakiotehokerroinsäädöllä generaattorin verkosta ottaman tehon tehokerroin pidetään vakiona riippumatta syöttöpisteen jännitevaihteluista ja vaaditusta akselitehosta. Kone tuottaa tai kuluttaa valitun loistehokertoimen osoittaman määrän loistehoa kaikissa kuormituspisteissä. Loistehoa tuotetaan tai kulutetaan aina tietyllä suhteella kulutettuun pätötehoon nähden. Täten vaikutukset ympäröivään sähköverkkoon ovat vähäisiä ja yllätyksettömiä käytettäessä tehokertoimen arvoja $\cos \approx 1$. /2/

2.4.2.2 Vakiloistehosäätö

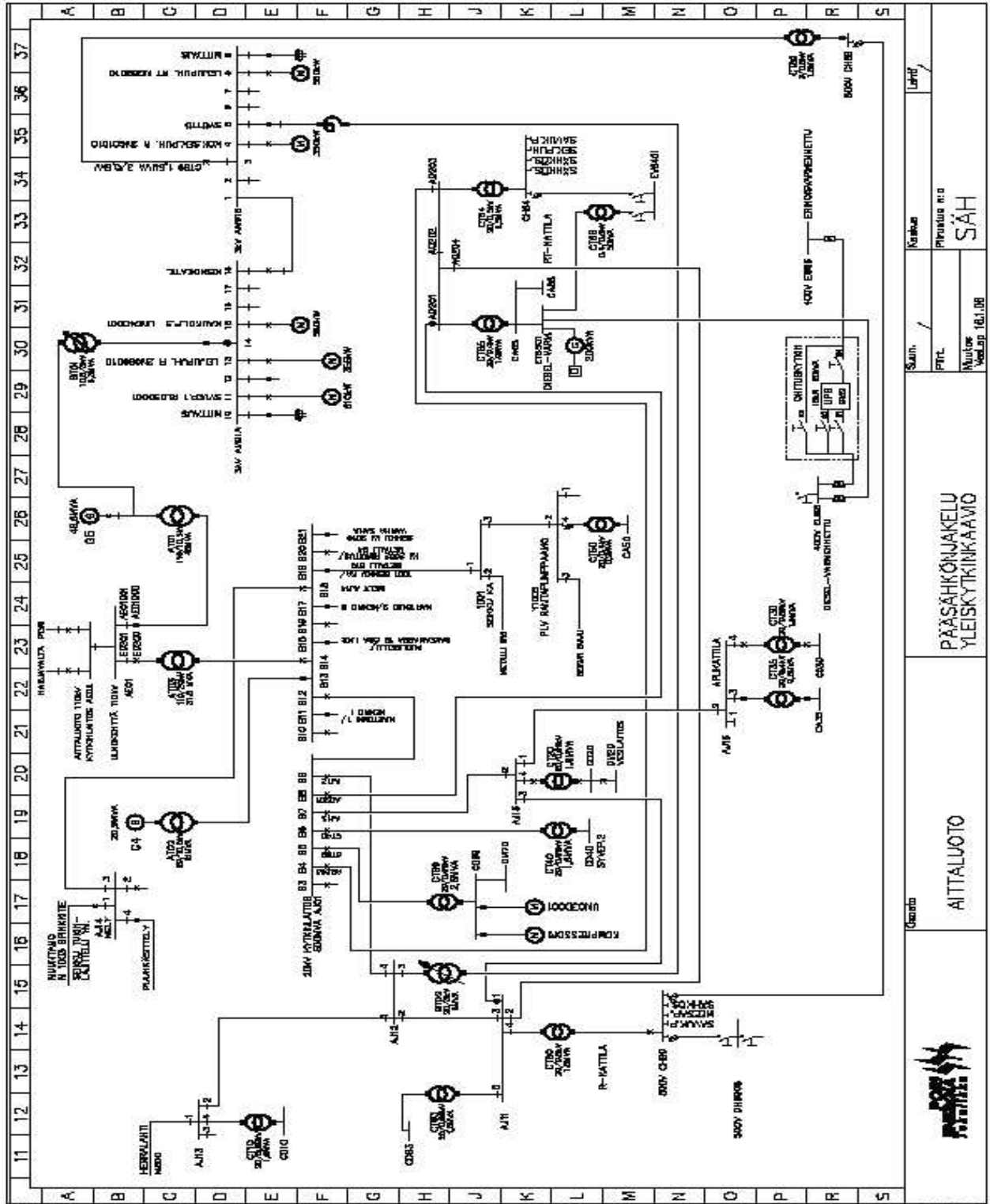
Vakiloistehosäätöä käytettäessä kone tuottaa tai kuluttaa tietyn, vakiona pidettävän määrän loistehoa riippumatta akselitehosta. Vakiloistehosäätö sopii tilanteisiin, joissa akselitehon vaihtelut ovat pieniä. /2/

2.4.2.3 Vakiojännitesäätö

Vakiojännitesäätöä käytettäessä generaattorin liitäntäjännite pidetään vakiona. Jos syöttöjännite laskee alle asetellun, magnetointia lisätään ja päinvastoin. Säätö kykenee pitämään jännitteen vakiona niin kauan kuin ei ole saavutettu roottorin tai staattorin lämpenemärajoja. /2/

3 VOIMALAITOKSEN SÄHKÖNJAKELU

3.1 Pääsähköjaku



Kuva 3.1 PÄÄSÄHKÖNJAKELU YLEISKYTKINKAAVIO

Voimalaitoksen omakäyttötarve tuotetaan pääsääntöisesti G4 generaattorilla, jonka tuottama sähkö johdetaan 21 MVA:n muuntajan AT02 kautta 20 kV:n AJ01 kytkinlaitokseen. Kytkinlaitoksen kautta syötetään UPM Kymmenen Seikun Sahan ja Corenso Oy Ltd hylsykartonkitehtaan sähköntarve, lisäksi syötetään BT02:n 5 MVA:n muuntajan kautta AM91A 3 kV:n kojeisto. Loput tarvittavasta tehosta otetaan muuntajan AT03 kautta, joka on Aittaluodon 110 kV:n AE02 kytkinlaitoksella. Kytkinlaitos on yhteydessä valtakunnanverkkoon, sekä generaattori G5:een.

3.2 Tarkasteltava verkko

Työssä tarkastellaan voimalaitoksen 20 kV:n keskijänniteverkkoa, verkon pääkomponentti on vuonna 2003 uusittu 500 MVA:n kytkinlaitos, jossa on 19 katkaisijalla varustettua kennoa (kuva 3.1). UPM Kymmene Seikun sahan ja Corenso Oy Ltd:n hylsykartonkitehtaan lisäksi syötetään yhteensä 12:sta muuntajaa yhteisnimellisteholtaan 21,1 MVA. Nykyisellään ei ole varsinaista loistehon kompensointia ollenkaan, vaan vaadittava loisteho tuotetaan generaattori G4:llä, tai otetaan muuntajan AT03 kautta 110 kV:n verkosta, silloin kun generaattori G4 ei käy. Tarkoituksena oli tutkia loistehon lisäkompensoinnin tarvetta taloudellisesta näkökulmasta, toisin sanoen kannattaako hankkia kondensaattoriparistoja ja mihin ne olisi järkevintä sijoittaa.



20 kV:n kytkinlaitos AJ01 (Malmö)

4 LOISTEHON TALOUDELLISET VAIKUTUKSET

4.1 Loistehon hankintakustannukset

Loistehon kompensoinnin taloudellisuutta arvioitaessa ei voida kiinnittää huomiota vain johonkin kompensoinnilla saatavaan säästöön, vaan kompensoinnilla saavutettavat kaikki laitoksen kokonaiskustannuksia vähentävät tekijät on otettava huomioon. Tällöin tulee kysymykseen myös eri kompensointimenetelmiä käyttämällä saavutettavat lisäsäästöt. Näin ollen kompensoinnin kannattavuudesta ei voida esittää mitään yleispätevää lukuarvoa, vaan taloudellisuusvertailu joudutaan suorittamaan tapauskohtaisesti.

4.2 Loistehon tuotto pyörivillä koneilla/1/

Loistehoa on mahdollista kehittää omilla pyörivillä koneilla, kondensaattoreilla tai ostaa sähköverkosta, joka tässä tapauksessa voidaan ajatella lähinnä teoreettiseksi, koska voimalaitos on loistehon suhteen omavarainen.

Pyörivillä koneilla loistehoa kehitettäessä aiheutuu lisähäviöitä, jotka riippuvat koneen koosta, rakenteesta ja kehitettävän loistehon määrästä. Lisäksi koneet maksavat sitä enemmän, mitä enemmän niihin on varattu loistehon kehitysmahdollisuutta.

Yleisenä periaatteena voidaan pitää, että generaattoreita ei kannata hankkia varustettuina suurella loistehon kehitysmahdollisuudella eikä jo hankituilla generaattoreilla kannata loistehoa kehittää.

4.3 Kondensaattorien hankinta- ja käyttökustannukset/1/

Kondensaattoreiden hankinnasta aiheutuneet vuosikustannukset voidaan kustannusvertailua varten muuttaa vuosikustannukseksi seuraavasti:

$$K = \frac{p}{100 * \left(1 - \frac{1}{\alpha^T}\right)} * H$$

jossa K on kondensaattorin hankinnasta aiheutuva vuosikustannus,

p on laskentakorko,

$\alpha = 1 + p/100$,

T on kondensaattorin pitoaika ja

H on kondensaattoreiden hankintahinta asennettuna.

Korkokantana käytetään yleensä 8...14 %. Kondensaattorien pitoaikana voidaan kondensaattoreilla käyttää 15...20 vuotta.

Kondensaattorien vuotuiset käyttökustannukset muodostuvat häviöistä sekä huolto- ja käyttökustannuksista, jotka ovat noin 1...2 % hankintahinnasta. Kondensaattoriyksikössä ei ole kulumia eikä liikkuvia osia. Automatiikkaparistojen kontaktorit ja säätäjät sekä suurjänniteparistojen katkaisijat ovat enemmän huoltoa vaativia osia.

4.4 Loistehon vaikutus siirtohäviöihin/1/

Loistehon siirrosta aiheutuu verkon resistansseissa pätötehohäviöitä (loisvirtalämpöhäviöt) ja reaktansseissa loistehohäviöitä. Pätötehohäviöiden johdosta muuntajat ja kaapelit ym. siirtoverkon osat lämpenevät, mikä vaikuttaa verkon osien käyttöikään. Sekä pätö- että loistehohäviöistä aiheutuu myös ylimääräisiä kustannuksia, mitkä pitää ottaa huomioon kompensointia suunnitellessa.

4.4.1 Pätötehohäviöt

3-vaiheverkon pätötehohäviöt voidaan laskea kaavasta:

$$P_h = 3 * I^2 * R = 3 * I_p^2 * R + 3 * I_q^2 * R$$

jossa P_h on pätötehohäviö,

I on verkon kuormitus virta,

I_p on pätehon siirrosta aiheutuva virtakomponentti,

I_q on loistehon siirrosta aiheutuva virtakomponentti ja

R on verkon resistanssi.

Kuten edellisestä kaavasta huomataan, niin loisvirran aiheuttamia häviöitä voidaan tarkastella erikseen riippumatta kuormituksen pätötehosta, joten loistehon siirrosta aiheutuvat lisähäviöt ovat:

$$P_{hq} = 3 * I_q^2 * R$$

Kaavasta huomataan, että tehohäviö on verrannollinen loisvirraan toiseen potenssiin, eli loisvirran kasvaessa kaksinkertaiseksi, tulevat häviöt nelinkertaisiksi.

Verkon resistansseissa on otettava huomioon kaapeleiden ja muuntajien resistanssit. Kaapeleiden resistanssit voidaan laskea valmistajien taulukoista. Toisaalta kaapeleiden resistanssi saadaan laskettua myös kaavasta:

$$R = \rho * \frac{l}{A}$$

jossa ρ on johtimen ominaisvastus,

l on kaapelin pituus ja

A on kaapelin poikkipinta-ala.

Muuntajien resistanssit lasketaan kaavoista:

$$R_k = r_k * \frac{U^2}{S_N} \quad \text{ja} \quad r_k = \frac{P_k}{S_N}$$

jossa P_k on kuormitushäviöt nimellisvirralla,

U on pääjännite,

S_N on nimellisteho ja

r_k on suhteellinen oikosulkuresistanssi.

4.4.2 Loistehohäviöt

Myös loistehon siirrosta aiheutuvat loistehohäviöt ovat riippumattomia päätötehon siirrosta, joten niitä voidaan tarkastella erikseen. loistehohäviöt voidaan laskea kaavasta:

$$Q_{hq} = 3 * I_q^2 * X$$

jossa Q_{hq} on loisvirran aiheuttamat loistehohäviöt,

I_q on loisvirta ja

X on verkon reaktanssi.

Siirtoverkon loistehohäviöt merkitsevät käytännössä sitä, että loistehoa on hankittava loistehohäviöiden verran enemmän kuin kuormituslaitteet tarvitsevat. Esimerkiksi jos loisteho kehitetään kondensaattoreilla suurjänniteverkossa ja siirretään jakelumuuntajan läpi pienjännitepuolelle. Tällöin syntyy esim. 100 kVAR:n suuruinen loistehohäviö. Tällöin suurjännitepuolelle joudutaan hankkimaan muuntajan pienjännitepuolella tarvittavan loistehon lisäksi 100 kVAR:a kondensaattoriparistoja.

Verkon reaktanssi koostuu kaapeleiden ja muuntajien induktiivisista reaktansseista.

Kaapeleiden reaktanssi lasketaan kaavasta:

$$X = \omega * L = \omega * \lambda * l = 2\pi * f * \lambda * l$$

jossa f on taajuus,

λ on kaapelin induktanssi (H/m) ja

l on kaapelin pituus.

Kaapeleiden induktanssit ovat hyvin pieniä, joten niiden reaktanssit voi normaali tapauksissa jättää huomioimatta, kun lasketaan verkon reaktanssia. Ainoastaan, kun

kyse hyvin paksuista ja pitkistä kaapeleista, täytyy ne ottaa huomioon. Sen sijaan muuntajien reaktanssit ovat hyvin merkittäviä. Ne lasketaan kaavoista:

$$X = x_k * \frac{U^2}{S_N}, \text{ jolloin } x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}$$

jossa X on muuntajan reaktanssi,

U on muuntajan pääjännite,

S_N on muuntajan nimellisteho,

x_k on suhteellinen oikosulkureaktanssi,

z_k on suhteellinen oikosulkuimpedanssi ja

r_k on suhteellinen oikosulkureaktanssi.

5 KOMPENSOINTIMENETELMIEN VERTAILU

5.1 Yksittäiskompensointi

Yksittäiskompensointia sovelletaan tavallisesti moottoreille, joskus myös purkauslamputteille. Hyvä tapa toteuttaa moottorikohtainen kompensointi on käyttää kondensaattoriyksiköllä varustettua turvakytintä. Edellytyksenä on, että loistehon vaihtelu käyttöolosuhteissa on pienehkö. Säästö teho- ja jännitehäviöissä tai kaapelimitoituksessa on suurin pitkillä syöttöjohdoilla./3/

Yksittäiskompensointi tulee kysymykseen, kun kojeen loistehon vaihtelu on käyttötilanteesta riippumatta pientä.

5.2 Kojeryhmien kompensointi

Kojeryhmien kompensointi kiinteillä paristoilla sopii parhaiten kojeryhmille, joissa loistehon vaihtelut ovat pienehköt ja kojeiden etäisyydet keskuksesta pienet verrattuna keskusta syöttävään johtoon. Paristo sijoitetaan ryhmäkeskuksen luo, joskus itse keskukseen, ja varustetaan kytkimellä ja sulakkeilla. Moottoriryhmän kondensaattorin

tulee kytkeytyä automaattisesti irti ryhmää syöttävän katkaisijan avautuessa, koska itseherätys voi aiheuttaa ylijännitteen, jos osa moottoreista seisoo./3/

5.3 Keskitetty kompensointi

Keskitetyssä kompensoinnissa kompensointiparistot sijoitetaan pääkeskukseen, josta niille varataan sulakkeelliset lähdöt. Keskitetty kompensointi hoidetaan nykyään pääasiassa automatiikkaparistoilla. Automatiikkaparistossa loistehonsäädin ohjaa tarvittavan määrän kondensaattoriportaita päälle aina kulloisenkin tarpeen mukaan. Tämä estää myös ylikompensoinnin. Mikäli verkossa on yliaaltoja tuottavaa kuormaa, hoidetaan kompensointi joko estokelaparistoilla tai yliaaltosuodattimilla. /3/

5.4 Suurjännitekompensointi

Suurjännitekompensoinnissa kondensaattorit asennetaan pääsääntöisesti keskijännite puolelle. Keskijännitekiskoon asennetut kondensaattorit eivät tuo kustannussäästöjä jakelumuutajien ja pienjänniteverkon suhteen vaan niillä pyritään pääsääntöisesti huolehtimaan loistehon määrän pitämisestä sopimusten ja tariffien edellyttämällä tasolla.

6 MITTAUKSET

6.1 Mittaukset

Voimalaitoksen sähköjakelun loistehotasapainon määrittämiseksi suoritettiin mittauksia, joissa määritettiin generaattorin G4, muuntajien AT02, AT03 ja AJ01 (Malmö) 20 kV:n kytkinlaitoksen lähtöjen näennäis-, pätö- ja loisteho. Generaattorien G4:n ja G5:n vuoden 2009 tehot saatiin suoraan Metson DNA-järjestelmästä.

6.2 Mittausten suoritus

Mittaukset tehtiin kennokohtaisesti, mutta käytännön syistä mitattiin yksi kenno päivässä. Mittaukseen sisältyi eri lähtöjen yliaallot 1-9, $\cos \varphi$, jännitteiden ja virtojen tehollisarvot. Lisäksi mitattiin minimi, maksimi ja keskiarvo päto-, lois- ja näennäis-tehon osalta. Mittauksessa käytettiin Chauvin Arnoux C.A 8334 analysaattoria, nauhoituksen kesto oli yksi vuorokausi ja näytteenotto taajuus oli 5 sekuntia. Lisäksi mittasin kennosta B14 kaksi viikon mittaista jaksoa selvittääkseni päämuuntaja AT03:n loistehotaseen. Toisella jaksolla mittauksesta näkee selvästi, miten G4 oli-pois ajosta.

6.3 Mittaustulokset ja kustannusvertailu

6.3.1 Kenno B04 AQ203

Lähtö syöttää kahta 1 MVA:n ja 2,5 MVA:n muuntajaa, jotka puolestaan syöttävät mm. RT-kattilan sähkösuodattimia, sekundääripuhallinta ja savukaasupuhallinta.

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	$\cos \varphi$
TEHOT	kVA	kVAr	kW	
KESKIARVO	1142	212	933	0,817
MINIMI	945	176	777	0,822
MAKSIMI	1314	266	1093	0,832

6.3.2 Kenno B05 CT69

Lähtö syöttää yhtä 2,5 MVA:n muuntajaa, mittaustulosten perusteella kuormitus, vaikkakaan ei ole suurta niin se on ongelmallista. Keskimääräinen loistehon kulutus on suurempaa, kuin pätötehon kulutus ja tehokeroin jää vain n. 0,6:een.

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	cos φ
TEHOT	kVA	kVAr	Kw	
KESKIARVO	131	104	79	0,603
MINIMI	115	95	59	0,513
MAKSIMI	195	126	150	0,769

6.3.3 Kenno B06 CT40/syöttövesipumppu 2

Lähtö syöttää 1,6 MVA:n muuntajaa tämän puolestaan syöttövesipumppu 2:sta.

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	cos φ
TEHOT	kVA	kVAr	Kw	
KESKIARVO	1574	558	1472	0,935
MINIMI	1183	439	1100	0,930
MAKSIMI	1950	673	1829	0,938

6.3.4 Kenno B07

Lähtö syöttää vesilaitoksen 1,6 MVA:n muuntajaa.

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	cos φ
TEHOT	kVA	kVAr	kW	
KESKIARVO	824	252	713	0,865
MINIMI	729	210	617	0,846
MAKSIMI	1579	556	1414	0,896

6.3.5 Kenno B09

Lähtö syöttää 5 MVA:n 20/3 kV:n muuntajaa, joka puolestaan syöttää voimalaitoksen 3 kV:n verkkoa. Kuormitus koostuu useista isoista sähkömoottoreista.

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	cos φ
TEHOT	kVA	kVAr	kW	
KESKIARVO	1203	558	1065	0,885
MINIMI	916	434	806	0,880
MAKSIMI	1550	693	1396	0,900

6.3.6 Kenno B11 Kartonki 1

Lähtö on yksi kolmesta lähdöstä, joka syöttää Corenso Oy Ltd:n hylsykartonkitehdasta.

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	cos φ
TEHOT	kVA	kVAr	kW	
KESKIARVO	864	303	808	0,935
MINIMI	726	250	675	0,930
MAKSIMI	971	374	916	0,943

6.3.7 Kenno B12 Voimalaitos oma kulutus yhteensä

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	cos φ
TEHOT	kVA	kVAr	kW	
KESKIARVO	2260	1277	1863	0,824
MINIMI	1613	976	1283	0,795
MAKSIMI	2664	1490	2246	0,843

6.3.8 Kenno B13 G4

Lähtö on generaattorin G4 syöttökenno, jonka välissä on 21 MVA:n muuntaja AT02. Generaattorilla ei ajotavasta johtuen voida tuottaa kaikkea kojeiston vaatimaa pätötehoa, mutta tarvittavan loistehon tuotanto riittää.

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	cos φ
TEHOT	kVA	kVAr	kW	
KESKIARVO	7194	2742	6618	0,920
MINIMI	4243	1637	3116	0,734
MAKSIMI	10547	3876	10235	0,970

6.3.9 Kenno B14 PM AT03

Lähdössä on päämuuntaja AT03, jonka kautta saadaan loput tarvittavasta pätötehosta. Taulukossa yhden viikon mittausjakso, generaattori koko ajan ajossa.

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	cos φ
TEHOT	kVA	kVAr	kW	
KESKIARVO	5647	34	5567	0,986
MINIMI	1037	- 2245	638	0,615 kap
MAKSIMI	10574	1370	10524	0,995

Taulukossa yhden viikon mittausjakso, generaattori osan aikaa ajossa.

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	cos φ
TEHOT	kVA	kVAr	kW	
KESKIARVO	6005	- 655	5845	0,973 kap
MINIMI	1286	- 2881	867	0,674 kap
MAKSIMI	13759	2631	13486	0,980

6.3.10 Kenno B15 Puolisellu/sakeamassa

Lähtö syöttää kojeistoa, jossa on mm. kaksi 1,2 MVAR:n kondensaattoriparistoa.

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	cos φ
TEHOT	kVA	kVAr	kW	
KESKIARVO	3154	- 419	3123	0,990 kap
MINIMI	2358	- 859	2200	0,933 kap
MAKSIMI	3398	- 206	3380	0,994 kap

6.3.11 Kenno B17 Kartonki 2

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	cos φ
TEHOT	kVA	kVAr	kW	
KESKIARVO	3135	506	3084	0,984
MINIMI	2511	- 564	2453	0,977 kap
MAKSIMI	4410	2302	3581	0,812

6.3.12 Kenno B21 Seikku KJ 2010 Vanha saha

SUMMA	NÄENNÄIS	LOIS	PÄTÖ	cos φ
TEHOT	kVA	kVAr	kW	
KESKIARVO	2418	329	2395	0,990
MINIMI	2069	- 67	2048	0,990 kap
MAKSIMI	3130	961	3108	0,993

6.3.13 Kustannusvertailu

Olen laskenut muutamia esimerkkejä loistehon kulutuksesta, sekä tehnyt kustannusvertailuja kompensoimattomasta ja kompensoidusta verkosta. Kun verrataan PM AT02:sen tai AT03:sen läpi menevän loistehon aiheuttamia kustannuksia 2,4 Mvar:n kondensaattorin hankinta ja käyttökustannuksiin (LIITE 3). Tuloksista on nähtävissä, että silloin kun generaattori G4 on ajossa (LIITE 2.1), niin olisi saatavissa selvää kustannussäästöä. Jos generaattori G4 on pois ajosta ja sähköenergia otetaan ainoastaan AT03:sen kautta (LIITE 2.2) niin kondensaattoripariston hankinta ei ole kannattavaa. Tulevaisuudessa generaattoria G4 tullaan ajamaan vain silloin, kun kaukolämpöteho on pieni (kesäkäyttö), joten investointi suurjännitekompensointiin ei ole kannattavaa.

Pienjännitepuolella tapahtuva yksittäis- tai ryhmäkompensointi näyttäisi olevan kannattavaa, laskenta esimerkin (LIITTEET 4.1 ja 4.2) mukaan kustannussäästö on noin puolet kompensoimattomasta.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Voimalaitoksen ja koko teollisuusalueen sähkönjakeluverkko on varsin monimutkainen, johtuen paljolti alueen historiasta, jolla aikoinaan oli vain yksi omistaja. Nykyään alueen laitosten omistussuhteet ovat melkoisesti muuttuneet. Jos olisi vain yksi omistaja, voitaisiin ajatella suurjännitekompensointia.

Kankaansivun Reijolta saamani monimutkaisen selvityksen mukaan voimalaitoksen loistehon ilmaisosuuden raja on 5 Mvar:ia, joten nykykulutuksella ollaan vasta noin puolivälissä. Turha loistehon siirto muuntajien läpi ei silti ole kannattavaa, koska loisvirran kuluttamasta pätoenergiasta muuntajien resistansseissa joudutaan maksamaan kulloinkin olemassa olevan tariffin mukaan. Laskemani arvion mukaan voimalaitoksen omasta käytöstä johtuvan loistehon siirron aiheuttamat keskimääräiset päto-tehohäviöt muuntajissa ovat n. 3-4 kW:n luokkaa, mikä nykyhinnoilla vastaa n. 3500-5000 €:n vuosikustannuksia. Loistehon omakulutuksen keskiarvo on 1490

kVAr vähennettynä pätötehohuipusta lasketulla 20 %:n ilmaisosuudella (mittaus B09). Loistehomaksu nykyhinnoilla olisi n. 54000 €/v, jos loisteho otettaisiin suoraan verkosta. Tällä hetkellä tarvittava loisteho tuotetaan generaattorilla G4.

Mittauksista on nähtävissä se, silloin kun generaattori G4 on ajosssa, syötetään loistehoa AT03:n kautta verkkoon päin. Ei kannata syöttää loistehoa verkkoon päin, koska siitä ei ole mitään hyötyä.. Ehdottaisin, että generaattoria G4 ajettaisiin vakio-
tehokerroinsäädöllä. Vaikka generaattorilla ei tuotettaisikaan loistehoa ja tarvittava loisteho otettaisiin muuntajan AT03:n kautta, niin sen määrä ei ylitä veloitus rajaa. Lisäksi generaattorin G4 keskimääräinen nimellisvirta laskee n. 5 %, kun $\cos\varphi \sim 1$.

Generaattori G5:n ajotapaa ($\cos\varphi \sim 1$) ei kannata lähteä muuttaamaan, koska se on PM AT01:sen kautta suoraan kiinni 110 kV:n verkossa.

Corenso United Oy Ltd hylsykartonkitehtaalla ja UPM Kymmene Seikun sahalla on omat kompensointilaitteet, joten niiden kompensointi tarpeesta ei tarvitse huolehtia. Corenson lähtö B15 puoliselu/sakeamassa on jopa ylikompensoinnin puolella. Mittauksista on nähtävissä, että Seikun saha toimii loisikkunan rajoissa. Tulevaisuudessa voisi edellyttää, mikäli päädytään kompensointilaitteiden hankintaan, että pitäisivät oman loistehon kulutuksensa lähellä nollaa.

Saatujen tulosten perusteella, mielestäni voisi tutkia keskitetyn kompensoinnin käyttöönottoa. Loistehon suuren vaihtelun vuoksi suurjännitekompensointi ei ole tule kysymykseen huonon säädettävyytensä vuoksi. Olisi järkevää teettää, vaikka opinnäytetyö ko. aiheesta, tutkimalla voimalaitoksen omakäyttöverkon keskuksia 0,4 kV:n ja 0,69 kV:n puolella, sekä 3 kV:n AM91A ja AM91B kojeistoja. Mitata loistehot, yliaallot ym. ja vertailla eri kompensointitapoja. Selvittää mahdollisten kompensointilaitteiden sijoituspaikkoja, sekä hankinta- ja käyttökustannuksia.

LÄHTEET

/1/ Huotari Hannu, 6,3 kV:n verkon loistehon kompensointi ja yliaaltojen suodatus, Insinööriyö, Porin teknillinen oppilaitos 1994

/2/ Hämäläinen Petri, Loistehon tuotanto painehiomon tahtimoottoreilla, Kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2008

/3/ ABB:n TTT-käsikirja 2000-7, Luku 9: Loistehon kompensointi ja yliaaltosuojaus. [verkkodokumentti].

/4/ Sähköposti raimo.naskali@areva-td.com, Kondensattorien hinta-arvio €/kVAr,

/5/ Pori Energia Oy:n sähkönmyyntihinnastot

/6/ Keskustelu Eero Niemitalo/Kehitysinsinööri/Energiayksikkö/Pori Energia Oy, Aittaluodon voimalaitoksen ajotapamallista.

/7/ Sähköposti Tiia Niemi/Käyttötalousinsinööri/Energiayksikkö/Pori Energia Oy, Excel-taulukko generaattoreiden G4 ja G5 vuoden 2009 tehot.

LIITTEET

- LIITE 1 PÄÄMUUNTAJIEN AT02 JA AT03 LOISTEHOT
- LIITE 2.1 LOISTEHON VUOTUISET SIIRTOKUSTANNUKSET AT02
- LIITE 2.2 LOISTEHON VUOTUISET SIIRTOKUSTANNUKSET AT03
- LIITE 3 KONDENSAATTORIPARISTON HANKINTA- JA KÄYTTÖ-KUSTANNUKSET
20 kV:n KOJEISTO
- LIITE 4.1 LOISTEHON VUOTUISET SIIRTOKUSTANNUKSET KENNO B06
- LIITE 4.2 KONDENSAATTORIPARISTON HANKINTA- JA KÄYTTÖ-KUSTANNUKSET
KENNO B06
- LIITE 5 AITTALUODON VOIMALAITOKSEN JA PORI PROSESSI-VOIMAN
KAUKOLÄMMÖNYHTEISTUOTANNON OPTIMOINTI JA AJO-OHJEET

LIITE 1

Loistehon arvot eri verkon pisteissä ja päämuuntajien loistehohäviöt

Generaattorin G4 ollessa käytössä

PM AT03:n Kilpiarvot:

Nimellinen näennäisteho, MVA	31,5
Pääjännite, V	110000
Suhteellinen oikosulkuresistanssi, %	9,9
Suhteellinen tyhjäkäyntivirta, %	0,08 ka.

PM AT02:n Kilpiarvot:

Nimellinen näennäisteho, MVA	20
Pääjännite, V	21000
Suhteellinen oikosulkuresistanssi, %	11
Suhteellinen tyhjäkäyntivirta, %	0,34 mitt.pk

Kaavat, joita on käytetty: $Q_0 = \frac{P_{i0}}{100} * S_N$

Tyhjäkäyntiloistehohäviö:

jossa P_{i0} on suhteellinen tyhjäkäyntivirta

Kuormitusloistehohäviö: $Q_{ku} = \frac{S_1^2}{S_N} * x_k$

jossa X_k = on suhteellinen oikosulkuresistanssi S_1 = on kuormitettu näennäisteho**Kuormitus- ja tyhjäkäyntiloistehohäviöt sekä loistehon arvot eri pisteissä**

(Kaapeleiden loistehohäviöitä ei ole otettu huomioon)

Loisteho AT02:ssa 20 kV:n puolella (mittaus ka.), Mvar	2,74
Pätöteho AT02:ssa 20 kV:n puolella (mittaus ka), MW	6,62
Näennäisteho AT02:ssa 20 kV:n puolella, MVA	7,16464
AT02:n tyhjäkäyntiloistehohäviö, Mvar	0,068
AT02:n kuormitusloistehohäviö, Mvar	0,28233
Loisteho AT02:ssa 10,5 kV:n puolella	2,38967

Generaattori ajossa

Pätöteho AT03:ssa 20 kV: puolella (mittaus ka.)	6,68
Loisteho AT03:ssa 20 kV: puolella (mittaus ka.)	0,643
Näennäisteho AT03:ssa 20 kV:n puolella, MVA	6,71088

AT03:n tyhjäkäyntiloistehohäviö, Mvar	0,0252
AT03:n kuormitusloistehohäviö, Mvar	0,14154

Loisteho AT03:ssä 110 kV:n puolella, Mvar	0,47626
---	---------

Generaattori pois ajosta

Pätöteho AT03:ssa 20 kV: puolella (mittaus ka.)	13,13
Loisteho AT03:ssa 20 kV: puolella (mittaus ka.)	2,45
Näennäisteho AT03:ssä 20 kV:n puolella, MVA	13,3566

AT03:n tyhjäkäyntiloistehohäviö, Mvar	0,0252
AT03:n kuormitusloistehohäviö, Mvar	0,56068

Loisteho AT03:ssä 110 kV:n puolella, Mvar	1,86412
---	---------

LIITE 2.1

LOISTEHON VUOTUISET SIIRTOKUSTANNUKSET AT02

Loistehon siirto 10,5 kilovoltista keskijännitepuolelle TG4

Muuntajan resistanssi 20 kilovoltin puolella

Muuntajan nimellisteho, kVA		20000
Kuormitushäviöt P_k , kW		87
Oikosulkuresistanssi $R_k = P_k / S_n$		0,00435
Pääjännite, V	$R = R_k * \frac{U^2}{S_n}$	21000
Muuntajan resistanssi,		0,09592

Loistehon siirrosta aiheutuvat pätötehohäviöt

20 kV:n puolella kulkeva loisteho, Kvar	2390
Loisvirta ,A	65,708
Resistanssit,	0,09592

Loisvirran aiheuttama pätötehohäviö lasketaan kaavasta:

$$P_h = 3 * I_q^2 * R$$

Pätötehohäviö , W	1242,38
-------------------	---------

Pätötehohäviöiden vuotuiset kustannukset

Vuotuiset kustannukset saadaan kaavasta:

$$K_p = P_h * a + P_h * t_h * b$$

- jossa: K_p = vuotuiset kustannukset, €
 P_h = pätötehohäviöt
 t_h = pätötehohäviöiden käyttöaika
 a = tehomaksu €/kW
 b = energiamaksu €/kWh

Tehomaksu, €/kW a	24,84
Energiamaksu Klo.7.00-22.00, €/kWh	0,06783
Energiamaksu Klo.22.00-7.00, €/kWh	0,05673
Pätötehohäviöt, kW	1,24238
Pätötehohäviöiden vuotuinen käyttöaika, %	95
Pätötehohäviöiden vuotuinen käyttöaika, h	8322
Pätötehohäviöiden vuotuiset kustannukset, €	909,077

Loistehon siirrosta aiheutuvat loistehohäviöt

Loisvirran aiheuttama loistehohäviö lasketaan kaavasta:

$$Q_h = 3 * I_q^2 * X$$

20 kV:n puolella kulkeva loisteho, kvar	2390
Loisvirta , A	65,708

Reaktanssit:

Kaapelin reaktanssi on niin pieni, että se voidaan jättää huomioimatta.

Muuntajan reaktanssi saadaan kaavasta:

$$X = x_k * \frac{U^2}{S_n}$$

Muuntajan suhteellinen oikosulkureaktanssi, %	11
Muuntajan pääjännite, V	21000
Muuntajan nimellisteho, kVA	20000
Muuntajan reaktanssi, ohm	2,4255

Loistehohäviö, kvar	31,4166
---------------------	---------

Loistehohäviöiden vuotuiset kustannukset

Vuotuiset kustannukset saadaan kaavasta:

$$K_p = Q_h * a$$

jossa: K_p = vuotuiset kustannukset, €

Q_h = Loistehohäviö

a = loistehomaksu €/kvar/a

Loistehomaksu, €/kvar a	42,36
Loistehohäviöt, kvar	31,4166
Loistehohäviöiden vuotuiset kustannukset, €	1330,81

Loistehon vuotuiset siirtokustannukset

(Loistehon siirto 10,5 kV:sta keskijännitepuolelle)

Loistehohäviöiden vuotuiset kustannukset, €	1330,81
Pätötehohäviöiden vuotuiset kustannukset, €	909,077

Yhteensä 2239,88

LIITE 2.2

LOISTEHON VUOTUISET SIIRTOKUSTANNUKSET AT03

Loistehon siirto 110 kV:sta keskijännitepuolelle AT03, generaattori TG4 pois ajosta

Muuntajan resistanssi 110 kilovoltin puolella

Muuntajan nimellisteho, kVA	31500
Kuormitushäviöt P _k , kW	122
Oikosulkuresistanssi R _k = P _k / S _n	0,00387
Pääjännite, V	110000
Muuntajan resistanssi, $R = R_k * \frac{U^2}{S_n}$	1,48773

Loistehon siirrosta aiheutuvat pätötehohäviöt

110 kV:n puolella kulkeva loisteho, kvar	1864
Loisvirta ,A	9,78346
Resistanssit,	1,48773

Loisvirran aiheuttama pätötehohäviö lasketaan kaavasta:

$$P_h = 3 * I_q^2 * R$$

Pätötehohäviö , W	427,199
-------------------	---------

Pätötehohäviöiden vuotuiset kustannukset

Vuotuiset kustannukset saadaan kaavasta:

$$K_p = P_h * a + P_h * t_h * b$$

jossa: K_p = vuotuiset kustannukset, €

- P_h = pätötehohäviöt
- t_h = pätötehohäviöiden käyttöaika
- a = tehomaksu €/kW
- b = energiamaksu €/kWh

Tehomaksu, €/kW a	24,84
Energiamaksu Klo.7.00-22.00, €/kWh	0,06783
Energiamaksu Klo.22.00-7.00, €/kWh	0,05673
Pätötehohäviöt, kW	0,4272
Pätötehohäviöiden vuotuinen käyttöaika, %	95
Pätötehohäviöiden vuotuinen käyttöaika, h	8322
Pätötehohäviöiden vuotuiset kustannukset, €	312,591

Loistehon siirrosta aiheutuvat loistehohäviöt

Loisvirran aiheuttama loistehohäviö lasketaan kaavasta:

$$Q_h = 3 * I_q^2 * X$$

20 kV:n puolella kulkeva loisteho, kvar	2190
Loisvirta, A	9,78346

Reaktanssit:

Kaapelin reaktanssi on niin pieni, että se voidaan jättää huomioimatta.

Muuntajan reaktanssi saadaan kaavasta:

$$X = x_k * \frac{U^2}{S_n}$$

Muuntajan suhteellinen oikosulkureaktanssi, %	10
Muuntajan pääjännite, V	110000
Muuntajan nimellisteho, kVA	31500
Muuntajan reaktanssi, ohm	38,4127
Loistehohäviö, kvar	11,0301

Loistehohäviöiden vuotuiset kustannukset

Vuotuiset kustannukset saadaan kaavasta:

$$K_p = Q_h * a$$

jossa: K_p = vuotuiset kustannukset, €

Q_h = loistehohäviöt

a = loistehomaksu €/kvar/a

Loistehomaksu, €/kvar/a	42,36
Loistehohäviöt, kvar	11,0301
Loistehohäviöiden vuotuiset kustannukset, €	467,237

Loistehon vuotuiset siirtokustannukset

(Loistehon siirto 110 kV:sta keskijännitepuolelle)

Loistehohäviöiden vuotuiset kustannukset, €	467,237
Pätötehohäviöiden vuotuiset kustannukset, €	312,591
Yhteensä	779,828

LIITE 3

Kondensaattoripariston hankinta- ja käyttökustannukset 20 kV kojeisto

Kondensaattoripariston koko Mvar 2,4

Hankintakustannukset

Kondensaattorin hankinnasta aiheutuvat vuosikustannukset lasketaan kaavasta:

$$K = \frac{P}{H} * H + \frac{\frac{P}{100}}{(1 + \frac{P}{100})^n - 1}$$

jossa: K = vuosikustannus
 p = korkoprosentti
 n = kondensaattorin pitoaika
 H = hankintahinta asennettuna

Kondensaattorin hankintahinta, €	7200
Korkoprosentti, %	10
Kondensaattorin pitoaika, a	20
Hankintakustannuksista aiheutuvat vuosikustannukset, €	845,709

Käyttökustannukset

Huollosta ja korjauksista aiheutuvat vuosikustannukset ovat yleensä noin 1 .. 2 % hankintahinnasta

Kondensaattorin hankintahinta, €	7200
Käyttökustannusten prosenttiluku, %	2
Käyttökustannuksista aiheutuvat vuosikustannukset, €	144
Kondensaattorin vuotuinen käyttöaika, h	8760
Kondensaattorin vuotuiset tehohäviöt, W / kvar	0,22
Kondensaattorin vuotuiset tehohäviöt, W	880
Tehohäviöiden vuotuiset kustannukset, €	492,385

Vuotuiset käyttökustannukset, €	636,385
---------------------------------	---------

Kondensaattoripariston vuotuiset kustannukset, €	Yhteensä 1482,09
--	-------------------------

LIITE 4.1

LOISTEHON VUOTUISET SIIRTOKUSTANNUKSET KENNO B06

Loistehon siirto 20 kV:sta pienjännitepuolelle, kenno B6 CT40/syvepumppu

Muuntajan resistanssi 20 kilovoltin puolella

Muuntajan nimellisteho, kVA		1600
Kuormitushäviöt P _k , kW		14,1
Oikosulkuresistanssi R _k = P _k / S _n		0,00881
Pääjännite, V	$R = R_k * \frac{U^2}{S_n}$	21000
Muuntajan resistanssi,		2,42895

Loistehon siirrosta aiheutuvat pätötehohäviöt

20 kV:n puolella kulkeva loisteho, Kvar	558
Loisvirta ,A	15,341
Resistanssit,	2,42895

Loisvirran aiheuttama pätötehohäviö lasketaan kaavasta:

$$P_h = 3 * I_q^2 * R$$

Pätötehohäviö , W	1714,93
-------------------	---------

Pätötehohäviöiden vuotuiset kustannukset

Vuotuiset kustannukset saadaan kaavasta:

$$K_p = P_h * a + P_h * t_h * b$$

jossa: K_p = vuotuiset kustannukset, €P_h = pätötehohäviött_h = pätötehohäviöiden käyttöaika

a = tehomaksu €/kW

b = energiamaksu €/kWh

Tehomaksu, €/kW a	24,48
Energiamaksu Klo.7.00-22.00, €/kWh	0,06783
Energiamaksu Klo.22.00-7.00, €/kWh	0,05673
Pätötehohäviöt, kW	1,71493
Pätötehohäviöiden vuotuinen käyttöaika, %	95
Pätötehohäviöiden vuotuinen käyttöaika, h	8322

Pätötehohäviöiden vuotuiset kustannukset, € 1254,24

Loistehon siirrosta aiheutuvat loistehohäviöt

Loisvirran aiheuttama loistehohäviö lasketaan kaavasta:

$$P_h = 3 * I_q^2 * R$$

20 kV:n puolella kulkeva loisteho, kvar 558
Loisvirta, A 15,341

Reaktanssit:

Kaapelin reaktanssi on niin piene, että se voidaan jättää huomioimatta.

Muuntajan reaktanssi saadaan kaavasta:

$$X = x_k * \frac{U^2}{S_n}$$

Muuntajan suhteellinen oikosulkureaktanssi, % 5,5
Muuntajan pääjännite, V 21000
Muuntajan nimellisteho, kVA 1600
Muuntajan reaktanssi, ohm 15,1594

Loistehohäviö, kvar 10,7031

Loistehohäviöiden vuotuiset kustannukset

Vuotuiset kustannukset saadaan kaavasta:

$$K_p = Q_h * a$$

jossa: K_p = vuotuiset kustannukset, €

Q_h = loistehohäviöt

a = loistehomaksu €/kvar a

Loistehomaksu, €/kvar a 42,36
Loistehohäviöt, kvar 10,7031
Loistehohäviöiden vuotuiset kustannukset, € 453,385

Loistehon vuotuiset siirtokustannukset

(Loistehon siirto 20 kV:sta pienjännitepuolelle)

Loistehohäviöiden vuotuiset kustannukset, € 453,385
Pätötehohäviöiden vuotuiset kustannukset, € 1254,24

Yhteensä 1707,62

LIITE 4.2

Kondensaattoripariston hankinta- ja käyttökustannukset

(Kondensaattorin hankinta pienjännitepuolen pääkeskukselle CT40 syvepumppu)

20 kV:n puolella kulkeva loisteho	558
Näennäistehon siirrosta aiheutuvat loistehäviöt, kvar	10,70
Pienjännitepuolella tarvittava loistehon määrä, kvar	547

Hankintakustannukset

Kondensaattorin hankinnasta aiheutuvat vuosikustannukset lasketaan kaavasta:

$$K = \frac{P}{H} * H + \frac{\frac{P}{100}}{\left(1 + \frac{P}{100}\right)^n - 1}$$

jossa: K = vuosikustannus
 p = korkoprosentti
 n = kondensaattorin pitoaika
 H = hankintahinta asennettuna

Kondensaattorin hankintahinta, €/ kvar	10
Kondensaattorin koko, kvar	547
Kondensaattorin hankintahinta, €/ kvar	5473
Korkoprosentti, %	10
Kondensaattorin pitoaika, a	20
Hankintakustannuksista aiheutuvat vuosikustannukset, €	642,857

Käyttökustannukset

Huollosta ja korjauksista aiheutuvat vuosikustannukset ovat yleensä noin 1 .. 2 % hankintahinnasta

Kondensaattorin hankintahinta, €	5473
Huoltokustannusten prosenttiluku, %	2
Huoltokustannuksista aiheutuvat vuosikustannukset, €	109,46

Kondensaattorien vuotuiset tehohäviöt, W / kvar	0,5
Kondensaattorien vuotuiset tehohäviöt, W	273,65
Tehohäviöiden vuotuiset kustannukset, €	145,788
Vuotuiset käyttökustannukset, €	255,248

Vuosikustannukset, €	Yhteensä	898,105
----------------------	-----------------	----------------

AITTALUODON VOIMALAITOKSEN JA PORI PROSESSIVOIMAN
KAUKOLÄMMÖNYHTEISTUOTANNON OPTIMOINTI JA AJO-OHJEET

12.5.2010

Taulukko 1. Kaukolämmön matalakulutusjakso

Kaukolämpökuorma	0 - 70 MW	
Ajojakso 1)	Aittaluodon voimalaitoksella käytössä TG4	
Kaukolämmön siirto Ulvilaan	Maksimoidaan	
Aittaluodon 3,5 bar prosessihöyrykuorma	2)	
Aittaluodon 15 bar prosessihöyrykuorma	< raja-arvo liitteen 1 käyrältä	> raja-arvo liitteen 1 käyrältä
Kaukolämmöntuotanto PPV	Paine-erosäädöllä: tuottaa lähtökohtaisesti kaiken tarvittavan kaukolämmön.	Paine-erosäädöllä: : tuottaa lähtökohtaisesti kaiken tarvittavan kaukolämmön.
Kaukolämmöntuotanto Aittaluoto	Tehosäädöllä: kaukolämpöä tuotetaan myös LV7:lla siten, että prosessihöyry voidaan tuottaa alla olevien ohjeiden mukaisesti ja kiinteän pöltoaineen kattila voidaan ajaa turvallisesti.	Tehosäädöllä: kaukolämpöä tuotetaan myös LV7:lla siten, että prosessihöyry voidaan tuottaa alla olevien ohjeiden mukaisesti ja kiinteän pöltoaineen kattila voidaan ajaa turvallisesti.
15 bar prosessihöyryn tuotanto	Reduktio	TG4-väliotto
3,5 bar prosessihöyryn tuotanto	TG4-vastapaine	TG4-vastapaine
Apujäähdytys Aittaluoto	Käytetään, jos PPV:n TG4:n tekninen minimiteho (~14 MW) alittuu johtuen kaukolämmöntuotannosta LV7:lla, sekä erillisen ohjeen mukaisesti.	Käytetään, jos PPV:n TG4:n tekninen minimiteho (~14 MW) alittuu johtuen kaukolämmöntuotannosta LV7:lla, sekä erillisen ohjeen mukaisesti.
Apujäähdytys PPV	Erillisen ohjeen mukaisesti	Erillisen ohjeen mukaisesti
Huippulämpökeskusten käyttö	Erillisen ohjeen mukaisesti	Erillisen ohjeen mukaisesti

1) Turbiinien ja kattiloiden käyttöönotosta ja alasaajoista sovitaan erikseen.

2) Raja-arvoa ei ole määritetty TG4:n pätkäajon välttämiseksi, tuotantokustannusten ja sähköhinnan muuttuessa tarkistetaan koko taulukon ohje.

AITTALUODON VOIMALAITOKSEN JA PORI PROSESSIVOIMAN
KAUKOLÄMMÖNYHTEISTUOTANNON OPTIMOINTI JA AJO-OHJEET 12.5.2010

Taulukko 2. Kaukolämmön huippukulutusjakso

Kaukolämpökuorma	> 70 MW
Ajojakso 1)	Aittaluodon voimalaitoksella käytössä TG5
Kaukolämmön siirto Ulvilaan	Lähtökohtaisesti siirto maksimoidaan mutta Aittaluodon ja PPV:n kiinteän polttoaineen kapasiteetin loppuessa siirtoa rajoitetaan. Ennen huippukuor- malaitosten käyttöä siirto lopetetaan.
Aittaluodon 3,5 bar prosessihöyry- kuorma	-
Aittaluodon 15 bar prosessihöyry- kuorma	-
Kaukolämmöntuotanto PPV	Paine-erosäädöllä, jos Aittaluodon TG5 ajaa minimikuormalla 2). Tuottaa lähtökohtaisesti kaiken tarvittavan kaukolämmön lämmönvaihti- millä KLV1&2, joiden tuotantoa rajoitetaan tarvittaessa siten, että Aitta- luodon voimalaitoksen TG5:n tekninen minimikuorma ei alitu. Tehosäädöllä, kun KLV1&2 lämmöntuotanto on maksimoitu. Paine-erosäädöllä, kun Aittaluodon voimalaitoksen TG5:n kaukolämpöte- hoa ei voida kasvattaa ja kaukolämpö tuotetaan myös KLV3:lla vapaan kattilakapasiteetin rajoissa (PorE:n vapaan kapasiteetin käyttö tai vapaan kapasiteetin vuokraus). Tehosäädöllä, kun KLV1&2&3 täytetty kiinteän polttoaineen kattilakapa- siteetilla.
Kaukolämmöntuotanto Aittaluoto	Tehosäädöllä TG5:n minimikuorman mukaisesti, jos PPV:n kaukoläm- mönvaihtimet KLV1 & 2 eivät ole täynnä. Paine-erosäädöllä, kun PPV:n KLV1 & 2 lämmöntuotanto on suurimmil- laan. Kaukolämpö tuotetaan TG5:n lämmönvaihtimilla LV5 & 6. Tehosäädöllä, kun TG5:n kaukolämmöntuotanto on maksimoitu ts. RT- kattilan kapasiteetti käytetty täysin TG5:n kaukolämmön tuotantoon.
15 bar prosessihöyryn tuotanto	Tuotetaan lähtökohtaisesti reduktiolla. Höyry tuotetaan apukattilalla, kun Aittaluodon ja PPV:n kiinteän polttoai- neen kapasiteetti on käytetty ja kaukolämmön siirto Ulvilaan lopetettu.
3,5 bar prosessihöyryn tuotanto	Tuotetaan lähtökohtaisesti reduktiolla. Höyry tuotetaan apukattilalla, kun Aittaluodon ja PPV:n kiinteän polttoai- neen kapasiteetti on käytetty ja kaukolämmön siirto Ulvilaan lopetettu sekä 15 bar prosessihöyry tuotetaan apukattilalla.
Apujäähdytys Aittaluoto	Erillisen ohjeen mukaisesti
Apujäähdytys PPV	Erillisen ohjeen mukaisesti
Huippulämpökeskusten käyttö	Käytetään, kun Aittaluodon ja PPV:n kiinteän polttoaineen kapasiteetti on käytetty ja Aittaluodon teollisuusalueen prosessihöyry tuotetaan apukatti- lalla sekä erillisen ohjeen mukaisesti.

1) Turbiinien ja kattiloiden käyttöönotosta ja alasajosta sovitaan erikseen.

2) TG5:n minimikuormalla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä kaukolämpökuormaa, jolla prosessihöyry voi-
daan tuottaa turbiinib väliottojen kautta.