

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sähkövoimatekniikka

Tutkintotyö

Miika Kiminki

Sähkön käytön ja käyttäjien analyysit ja ennusteet sähköyhtiön tulevaa toimintaa varten

Työn ohjaaja DI Seppo Järvi

Työn teettäjä Koillis-Satakunnan Sähkö Oy, valvojana verkostopäällikkö DI Markku Pouttu

Tampere 2006

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkövoimatekniikka

Kiminki, Miika Sähkön käytön ja käyttäjien analyysit ja ennusteet sähköyhtiön tulevaa toimintaa varten

Tutkintotyö 53 sivua + 3 liitesivua

Työn ohjaaja DI Seppo Järvi

Työn teettävä Koillis-Satakunnan Sähkö Oy, valvojana verkostopäällikkö DI Markku Pouttu

Huhtikuu 2006

Hakusanat Sähkönkulutus, asiakasanalyysi, ennusteet, sähköasema

TIIVISTELMÄ

Työn tavoitteena oli tutkia Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n jakeluverkon tilaa nykytilanteessa ja laatia sähkön kulutusennuste aina vuoteen 2015 asti. Sähkönkulutusta ja sen kehitystä tutkittiin kunnittain, käyttäjäryhmittäin ja yleisesti kokonaisuudessaan KSS:n jakeluverkon alueella. Asiakastietojen täydentämiseen keräsin pinta-alatietoja kerros- ja rivitaloista ja myös tietoja kiukaista ja lämmitystavoista.

Tulevaisuuden käyttöennusteita laadittaessa hyödynnettiin edellisvuosien kulutuksia. Niistä laskettiin kehitysprosentteja käyttäen liukuvan viiden vuoden kasvua. Kehitykselle laadittiin kolme eri skenaariota.

Sähköasemien tarkasteluissa kriteereiksi asetettiin jännitteen alenema, oikosulkusuojaus ja maasulkusuojaus. Kyseiset arvot pyrittiin pitämään sallituissa rajoissa joka tilanteessa. Lisäksi tutkittiin verkon kapasiteetin ja jännitetason riittämistä ja tietyissä standardeissa pysymistä sähköaseman päämuuntajavaurion tai 20 kV:n kiskostovian sattuessa nykytilanteessa ja tulevaisuudessa.

Työ ohjaa verkon suunnittelua ja rakentamista ja näin ollen pystytään varautumaan tulevaisuuden verkoston investointeihin. Pitkän aikavälin ennusteita on vaikea tehdä, joten kulutusta on seurattava. Jos huomattavia poikkeamia havaitaan, on investointeja aikaistettava tai siirrettävä entistä myöhemmäksi.

TAMPEREENPOLYTECHNIC

Powerelectrical Engineering

Kiminki Miika	Analyses and prognosis of electricity customer and exploitation for coming function of Electricity Company
Engineering Thesis	53 pages + 3 appendices
Thesis Supervisor	DI Seppo Järvi
Commissioning Company	Koillis-Satakunnan Sähkö Oy, supervisor DI Markku Pouttu
Hakusanat	Consumption of electricity, prognosis, substation of power system

ABSTRACT

The aim of this works was to examine distribution networks of Koillis-Satakunnan Sähkö Oy and formulate electrics consumption prognosis to year 2015. Consumption of electricity and how its will be development by municipalities, user groups and in the aggregate in KSS area. I stocked up customer information regarding apartment, row house, sauna stoves and heating style.

In the futures prognosis exploited consumptions of previous years. Those prognoses were calculated development percents using floating five year growth. For the development, were drawn up three different scenarios.

Voltage reduction, short-circuit protection and ground fault protection were criterions are used, when examine substation of power systems. Those values tried to keep in allowable limits in every situation. Also examined how capacity and stability of network will be sufficient if there take place fault in generator transformer or there will take place fault in 20 kV busbar systems now and in the future.

This works will guide to network planning and building and also can be prepare to futures investigation of network. A long time prognosis is hard to do so it has to follow how the consumption will be developed. If there saw huge disparities, then investigation has to move earlier or farther off.

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty Tampereen ammattikorkeakoulussa sähkövoimatekniikan opintolinjan tutkintotyönä lukuvuonna 2006. Työn aiheen esitti minulle Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n verkostopäällikkö DI Markku Pouttu.

Tampereen ammattikorkeakoulusta työn valvojana on toiminut DI Seppo Järvi ja Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n puolesta verkostopäällikkö DI Markku Pouttu. Esitän heille parhaimmat kiitokseni saamistani ohjeista ja neuvoista, joita olen saanut työni eri vaiheissa. Samalla kiitän koko sähkölaitoksen Virtain ja Ähtärin Konttorin henkilökuntaa kannustavasta ja myönteisestä suhtautumisesta työtäni kohtaan.

Tampereella 4. huhtikuuta 2006

Miika Kiminki
Kinnarinkatu 9 A 2
33530 Tampere
040 5396889

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT.....	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO.....	5
SYMBOLILUETTELO	7
1 JOHDANTO	8
2 KOILLIS-SATAKUNNAN SÄHKÖ OY.....	9
2.1 Yleistä	9
2.2 Sähkön hankinta.....	10
2.3 Sähkökäyttö	11
2.4 Verkosto.....	11
2.5 Sähköasemat.....	12
3 JAKELUVERKON VAATIMUKSIA.....	13
3.1 Sähkön laatu	13
3.2 Jännitteenalenema.....	14
3.2 Oikosulkusuojaus	14
3.3 Maasulkusuojaus.....	14
3.4 Keskeytykset.....	15
4 ASIAKASANALYYSSIT.....	16
4.1 Sähkökäytön kokonaiskulutus.....	16
4.2 Sähkökäytön kulutus kunnittain	17
4.2 Sähkökäytön kulutus käyttäjäryhmittäin	18
4.3 Sähkökäytön kulutus pinta-alan mukaan.....	20
4.3.1 Rivitalo.....	20
4.3.2 Kerrostaloasunto	22
5 SÄHKÖNKULUTUKSEN ENNUSTEET	24
5.1 Kehitysnäkymät	24
5.1.1 Yksityinen	27
5.1.2 Maatalous.....	27
5.1.3 Jalostus	28
5.1.4 Palvelu.....	28
5.1.5 Julkinen talous	28
5.2 Vapaa-ajan asunnot.....	29

5.3 Kokonaiskulutuksen ennusteet	30
6 ABB Open++ Integra	32
7 SÄHKÖASEMIEN NYKYTILANNE	33
7.1 Sähköasemien tehot ja jännitteenalenemat	34
7.1.1 Virtain sähköasema	35
7.1.2 Heinäahon sähköasema	35
7.1.3 Ähtärin sähköasema	35
7.1.4 Inhan sähköasema	36
7.1.5 Killinkosken sähköasema	36
7.1.6 Ritarin sähköasema	36
7.1.7 Toopakan sähköasema	37
7.1.8 Kotalan jakoasema	37
7.2 Oikosulkusuojaus	37
7.3 Maasulkusuojaus	38
8 SÄHKÖASEMIEN TULEVAISUUDEN TILANNE	38
8.1 Kasvuprosentti 1,5 %	39
8.2 Kasvuprosentti 2,5 %	40
8.3 Kasvuprosentti 3,5 %	41
8.4 Muutostoimenpiteet	42
8.4.1 Johto-osuuksien vahventaminen	42
8.4.1 Kondensaattorin lisääminen	44
9 SÄHKÖASEMIEN VARASYÖTTÖTILANTEET	45
9.1 Virtain sähköasema	46
9.2 Heinäahon sähköasema	46
9.3 Ähtärin sähköasema	47
9.4 Inhan sähköasema	47
9.5 Toopakan sähköasema	48
9.6 Killinkosken sähköasema	48
9.7 Ritarin sähköasema	49
10 YHTEENVETO	50
LÄHDELUETTELO	53
LIITTEET	

SYMBOLILUETTELO

KSS	Koillis-Satakunnan Sähkö Oy
KV	Killin Voima Oy
kV	Kilovoltti
V	Voltti
kj	Keskijännite
pj	Pienjännite
W	Watti
GWh	Gigawattitunti
MWh	Megawattitunti
kWh	Kilowattitunti
U_n	Nimellisjännite
A	Ampeeri
P_h	Häviöitten pätöteho
W_h	Energia häviö
K_h	Häviökustannus
U_h	Jännitehäviö
I_k	Kuormitusvirta
P_k	Kuormitusteho
mp	Muuntopiiri
SA.	Sähköasema
Er. As.	Erotinasema
PM	Päämuuntaja

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena oli tutkia Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n jakeluverkon tilaa nykytilanteessa ja laatia sähkön kulutusennuste aina vuoteen 2015 asti. Sähkönkulutusta ja sen kehitystä tutkittiin kunnittain, käyttäjäryhmittäin ja yleisesti kokonaisuudessaan KSS:n jakeluverkon alueella.

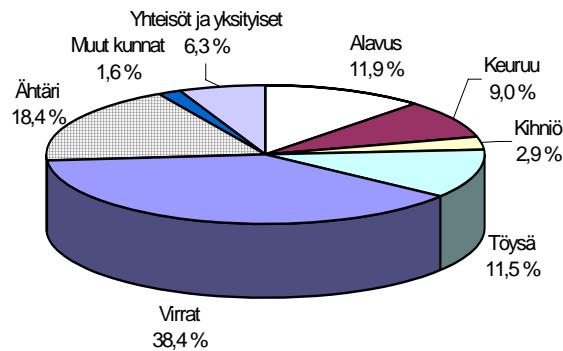
Suunnittelun kannalta erittäin tärkeä kehitystekijä on alueen sähköntarpeenmuutosnopeus. Kehitysnäkymien huomioon otto voi aiheuttaa säästöjä myös myöhemmin ajankohtaisiksi tulevissa täydennyksissä. Kasvun perusteellinen arviointi yleissuunnittelutulosten kannalta on välttämätöntä. Luotettavan lähtökohdan ennustamiselle antavat toki nykyinen tunnettu rakennuskanta ja asiakkaiden edellisvuosien sähkökäyttötilastot.

Sähköasemien tarkasteluissa kriteereiksi asetettiin jännitteen alenema, oikosulkusuojaus ja maasulkusuojaus. Lisäksi tutkittiin verkon kapasiteetin riittämistä ja tietyissä standardeissa pysymistä sähköaseman päämuuntajavaurion tai 20 kV:n kiskostovian sattuessa nykytilanteessa ja tulevaisuudessa.

2 KOILLIS-SATAKUNNAN SÄHKÖ OY /1/

2.1 Yleistä

Koillis-Satakunnan Sähkö Oy on vuonna 1946 perustettu kuntien omistama maa-seutu sähkölaitos. Yhtiön omistavat jakelualueen kunnat Virrat, Ähtäri, Alavus, Töysä, Keuruu, Kihniö, Kuortane, Peräseinäjoki, Kuru ja Ruovesi 93,7 % sekä yhteisöt 6,0 % ja yksityiset 0,6 %. Suurin omistaja on Virrat missä sijaitsee myös yhtiön pääkonttori. Jakelualueen laajuuden vuoksi Ähtärissä sijaitsee aluetoimisto.

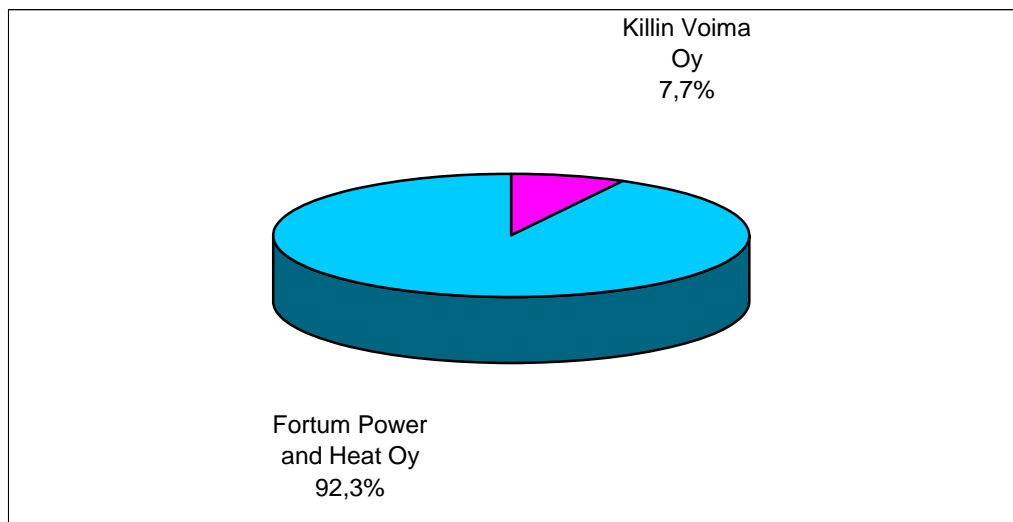


Kuva 1. Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n omistusjakauma.

Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n konserniin kuuluu emoyhtiön lisäksi alueverkko-toimintaa harjoittava tytäryhtiö Sähkö-Verkeät Oy. Yhtiö on osakkaana 40 % osuudella Killin Voima Oy:ssä, joka tuottaa sähköä vesivoimalaitoksilla. Konsernin liikevaihto oli vuonna 2005 10,0 milj. euroa ja emoyhtiön liikevaihto 9,4 milj. euroa. Henkilökuntaa oli tuona vuonna 47 kpl.

2.2 Sähkön hankinta

Tukkusähkö hankittiin lähes kokonaan Fortum Power and Heat Oy:ltä, jonka osuus koko hankinnasta oli 92,3 %. Loput 7,7 % hankittiin Killin Voima Oy:ltä, joka tuotti paikallisilla voimalaitoksilla yhteensä 28,4 milj. kWh, yhtiön tuotanto-osuus tästä 40 %. Kesän ja syksyn sateista johtuen Killin Voiman tuotantomäärä oli toimintavuonna 7,4 % korkeampi kuin kymmenen vuoden keskiarvomäärä.

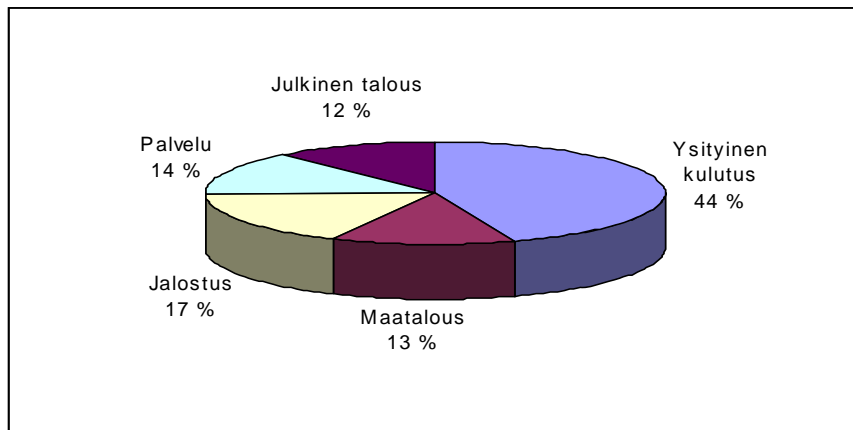


Kuva 2. Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n sähkönhankinta lähteet

Yhtiön myymän sähkön tuottamiseen käytettiin 52 % uusiutuvia energialähteitä, 24 % ydinvoima ja 17 % fossiilisia energialähteitä. Lisäksi paikallista vesivoimaa oli 7 %, joka tuotettiin Virroilla ja Parkanossa. Toimintavuoden aikana sähkötaseeseen kirjattiin paikallisen vesivoiman osuudeksi 7,7 %.

2.3 Sähkönkäyttö

Vuoden 2005 yhtiöllä oli kuluttajia 14 969 kpl. Sähkönkäyttö pysyi suhteellisen samana kuin edellisvuotena ollen 177,178 GWh. Sähkönkulutus verkkoalueella jakaantui kuvan 3 mukaisesti käyttäjäryhmittäin vuonna 2005. Määrä on 1,7 % suurempi kuin edellisenä vuonna. Leudon talven vuoksi alkuvuoden sähkönkäyttö jäi hieman tavanomaista alhaisemmaksi. Loppuvuodesta sähkönkäyttö ei kasvanut leudon jatkuneiden säiden vuoksi.



Kuva 3. Sähkönkäytön jakautuminen käyttäjäryhmittäin

2.4 Verkosto

Kantaverkosta on KSS:n toimialueelle yhteys 110 kV:n sähköasemalle Alajärveltä ja Petäjävedeltä. Yhteydet muodostavat renkaan jonka avulla voidaan sähkönsyöttöä keskeyttämättä suorittaa huolto- ja kunnossapitotehtäviä. Näin ollen viatkaan eivät aiheuta pidempiaikaisia keskeytyksiä, kuin korkeintaan kytkentäajan mittaisia keskeytyksiä.

Jakelualan keskijänniteverkon 20 kV:n pituus oli 1506 km ja sekä 45 kV:n johtoa 37 km vuoden 2005 lopussa. 20/0.4 kV:n jakelumuuntamoita on 1188 kpl ja pienjännitejohtoja 2157 km, josta AMKA-johtojen osuus on 77 %.

Verkostossa kauko-ohjattavia erotinasemia on 33 kpl, joissa erottimia 110 kpl. Kokonaisuutena ilmastollisista syistä aiheutuneiden häiriöiden määrä oli 75 % ja rakenne- ja materiaalivikoja 11 %.

2.5 Sähköasemat

Koillis-Satakunnan Sähkö Oy omistaa viisi 110/20 kV:n sähköasemaa. Kaksi niistä sijaitsee Virtain taajamassa, Virrat ja Heinäaho. Virrat on rakennettu 1968, uusittu 1990 ja Heinäaho on otettu käyttöön 1986. Myös Ähtärin taajamassa sijaitsee kaksi sähköasemaa, Ähtäri ja Inha. Ähtäri on rakennettu 1975 ja Inha 1988. Töysässä sijaitseva Toopakka on uusin sähköasema ja se on rakennettu vuonna 1999. 20 kV:n johtolähtöjä asemilta on yhteensä 35 kpl.

KSS:llä on käytössä kaksi sähköasemaa. Alavudella sijaitsevan aseman Ritari joka on rakennettu 1972, omistaa KSS ja Killinkoskella sijaitsevan Killinkosken omistaa Killin Voima Oy. Siirtoverkkona käytettävä 45 kV:n verkko muodostuu Virtain ja Killinkosken sekä Killinkosken ja Ritarin välisistä johto-osuuksista. Verkkoon liittyy KV:n omistama vesivoimalaitos joka on 45 kV:n verkkoa. Se liittyy kantaverkkoon Virtain sähköasemalla olevan päämuuntajan välityksellä.

KSS:llä on käytössä myös kaksi kytkin asemaa, joissa on yhteensä 9 johtolähtöä. 20 kV:n jakeluverkkoon liittyy myös Soininkosken vesivoimalaitos jonka omistaa KV. KV:lla on myös Parkanossa Käenkoskella vesivoimalaitos, joka liittyy 20 kV:n jakeluverkkoon, mutta pääasiallisesti syöttää Leppäkosken sähkö Oy:tä.

Taulukko 1. Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n sähköasemat

Sähköasema	Päämuuntajat			Lähtevät johdot	
	Lukumäärä kpl	Jännitteet kV	Teho MW	45 kV kpl	20 kV kpl
Virrat	1	110 / 45 / 20	10 / 7 / 7	1	
	1	110 / 20	16 / 16		8
Ähtäri	1	110 / 20	16 / 16		7
Heinäaho	1	110 / 20	16 / 16		6
Inha	1	110 / 20	16 / 16		8
Toopakka	1	110 / 20	16 / 16		6
Killinkoski	1	45 / 20	5 / 5	2	6
Ritari	1	45 / 20	10 / 10	1	4
Kotala					6
Yhteensä	8		105	4	51

3 JAKELUVERKON VAATIMUKSIA

3.1 Sähkön laatu

Sähkönjakelun katkokset ja jännitteen poikkeamat ovat entistä suurempi ongelma myös kotitalouksissa, sillä elektroniset laitteet ovat yleistyneet ja tietotekniset laitteet vaativat usein melko häiriötöntä jännitettä. Sähkön laadun merkitys korostuu tulevaisuudessa, koska sähkön laatua heikentävien laitteiden määrä lisääntyy koko ajan ja laitteet tulevat yhä herkemmiksi laadun häiriöille. Tämän vuoksi sähkön laadun hinnoittelu ja seuranta ovat erityisen tärkeitä. Suomessa sähkön laadusta vastaa verkkoyhtiö.

Sähkön laatua heikentäviä tekijöitä on useita, muun muassa lisääntymässä oleva epälineaarinen kuormitus, kuten taajuusmuuttajat, tasavirtakäytöt ja UPS-laitteet. Verkon tapahtumiin vaikuttavat ympäristöolot, asiakkaiden laitteet ja toimet sekä verkon käyttö. Mitä paremmin sähkölaitos pitää huolta jakeluverkostaan, sitä vähemmän verkossa todennäköisesti esiintyy vikoja. Myös kantaverkon tapahtumat vaikuttavat jakeluverkkoon. Kantaverkon häiriötapauksilla tarkoitetaan usein suuria porrasmaisia tehon muutoksia, jotka johtuvat esim. generaattorin irrottamisesta verkosta. Nämä aiheuttavat verkkoon hetkellisen epätasapainon, jolloin verkon taajuuden ja jännitteen arvot voivat hetkellisesti laskea, kunnes tehoa säättävät voimalliset ovat kompensoineet tehon epätasapainon. /2/

”Sähkölaitoksen on huolehdittava siitä, että sähkön tarvitsijoilla on mahdollisuus, poikkeuksellisia tai vaikeita olosuhteita lukuun ottamatta, saada sähköä tavanomaisiksi katsottavia käyttötarpeitaan varten.” /3/

Tavoitteena on mitoittaa sähköverkko siten, että asetetut jännitteet ja muut vaatimukset saavutetaan mahdollisimman taloudellisesti. Verkon rakenteen valinnalla voidaan vaikuttaa myös sähkön siirron luotettavuuteen. Turvallisuuden lisäksi on jakelujärjestelmä suunniteltava niin, että esiintyvät viat eivät aiheuta tarpeettomia käyttökeskeytyksiä. Suunnittelussa otetaan jo ennakolta huomioon mahdolliset viatilanteet ja eri tyypeille soveltuvat suojalaitteet. /4/

3.2 Jännitteenalenema

Standardin SFS-EN 50160:n mukaan on pyrittävä siihen, että jännitteen poikkeamaa saa olla enintään $+10\ldots-10\%$ U_n :stä liittymispisteessä. Jännitteen aleneman ja kuormituskohdissa esiintyvän jännitteen heilahtelun tulee pysyä sallituissa rajoissa. Tämä vaatimus on välttämätön, jotta kuormituskojeet saisivat niin oikean ja muuttumattoman jännitteen kuin niiden moitteeton toiminta vaatii. Syötöaseman ja kuluttajan välistä jännitteenalenemaa voidaan osittain kompensoida jakelumuuntajien väliottokytkimillä. /4/

3.2 Oikosulkusuojaus

Verkon laitteiden mitoittamisessa, oikosulkusuojausten suunnittelussa ja turvallisen käytön suunnittelussa on tunnettava oikosulkuvirrat eri tilanteissa ja eri osissa verkkoa. Verkon komponenttien on kestävä oikosulun aikaiset dynaamiset ja termiset rasitukset. Vakaa jännite ja siten hyvä sähkön laatu edellyttävät riittävän suurta oikosulkuvirtaa.

Sähköverkkoa eniten rasittava vika, joka on aina kytkettävä mahdollisimman nopeasti pois, on 3-vaiheinen oikosulku. Oikosulkuvirta voi vioittaa johtimia ja kojeita. Johdon mitoitukselle ja suojaukselle annetaan vaatimukset Sähköturvallisuusmääräysten 25. §:ssä. /4/ Oikosulkusuojaus on aina tehtävä laukaisevaksi, eli vikapaikka on kytkettävä välittömästi jännitteettömäksi. Korvaustilanteissa 2-vaiheinen oikosulku tulee kysymykseen useammin kuin 3-vaiheinen oikosulku. Tämä siitä syystä, että johto-osuudet pitenevät, joten suojauskojeiston on havaittava myös nämä viat./10/

3.3 Maasulkusuojaus

Verkossa tapahtuvia epäsymmetrisiä vikoja voivat olla yksivaiheinen maasulku ja kaksivaiheinen oikosulku, joka voi myös samanaikaisesti olla maasulku. Yksivaiheinen maasulku voi myös aiheuttaa verkkoon vaarallisen suurien vikajännitteitä ja

siten huonontaa sähkönjakelun turvallisuutta. Maasulusta, sen ilmaisusta ja poiskytkemisestä, onkin seikkaperäisiä määräyksiä Sähköturvallisuusmääräysten 8. §:ssä. Yli 1000 V:n järjestelmien kosketusjännitesuojauksesta on määräyksiä 10. §:ssä ja ne liittyvät läheisesti yksivaiheiseen maasulkuun. Maasulkusuojaus voi olla maadoitusresistanssissa syntyvän maadoitusjännitteen suuruuden mukaan joko hälyttävä tai laukaiseva. /4/

3.4 Keskeytykset

Sähkönjakelun keskeytymisen aiheuttaa joko ennalta ohjelmoitu korjaus tai huolto-työ tai yllättävä vika. Keskeytysten lukumäärä ja kestoaika vaikuttavat paikallisen sähkön laatuun. Keskeytyksellä tarkoitetaan tilannetta, jossa jännite asiakkaalla on alle 1 % nimellisjännitteestä. Yli 80 % asiakkaiden sähkönjakelun keskeytyksistä aiheutuu keskijänniteverkosta. Keskeytykset ovat joko vikakeskeytyksiä tai suunniteltuja korjaus-, huolto- tai rakentamiskeskeytyksiä. Häiriökeskeytykset luokitellaan pitkiin (yli kolme minuuttia, pysyvä vika) ja lyhyisiin keskeytyksiin (enintään kolme minuuttia, ohimenevä vika). Vikakeskeytyksiä aiheuttavat ilmastollisten tekijöiden lisäksi rakenne- tai materiaalivirheet sekä ulkopuoliset tekijät, kuten maankaivu ja eläimet. Pääosan jakeluverkkojen lyhytaikaisista sähkökatkoista aiheuttavat avojohdoilla ohimenevien vikojen selvittämiseen käytettävät pika- ja aikajälleenkytkennät. Elektroniikkalaitteiden lisääntyessä sähkön laadun merkitys korostuu, mikä lisää jälleenkytkentöjen aiheuttamia haittoja. Vaikka keskeytys olisi hetkellinen, esimerkiksi pikajälleenkytkentä, aiheutuu siitä tietotekniikan kaatumista, sähkökellojen nollaantumista sekä muita haittoja.

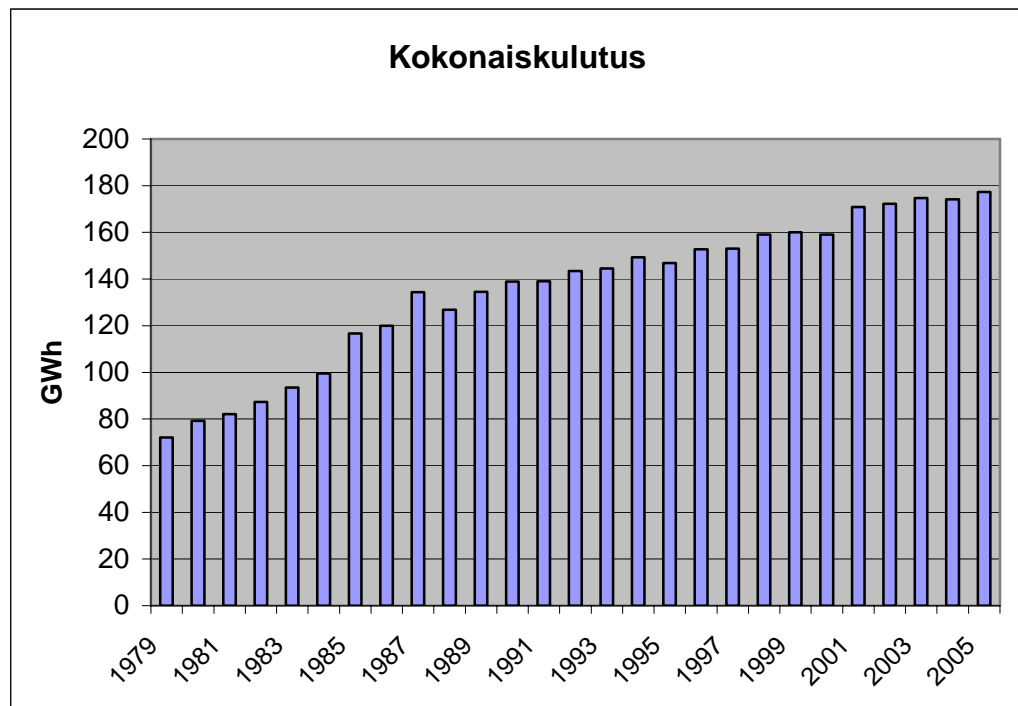
Keskeytystilastointia pitää Energiamarkkinavirasto, jolle jakeluverkkoyhtiöt toimittavat vuosittain tiedot keskeytysten aiheuttajista ja niiden määrästä. Keskeytystilastointi palvelee niin jakeluyhtiöitä kuin asiakkaitakin ja sen perusteella pystytään kohdistamaan verkon huolto- ja korjaustoimet verkoston oikeisiin osiin. Sen jälkeen, kun sähkömarkkinat vapautuivat, ovat jakeluyhtiöt tuoneet markkinoille erilaisia sähkön toimitustakuita. Monet jakeluyhtiöt uskovat toimitustakuiden olevan

tärkeä kilpailuvaltti pyrittäessä minimoimaan asiakkaiden kokemia keskeytyksien aiheuttamia haittoja ja niistä aiheutuneita kustannuksia ja tappioita. /4/, /8/

4 ASIAKASANALYYSIT

4.1 Sähkönkäytön kokonaiskulutus

KSS:n jakeluverkon alueella sähkönkulutus on kasvanut vuodesta 1980 vuoteen 2005 yli kaksinkertaiseksi. 80-luvun alkupuoliskolla kasvu on ollut jyrkintä, kun teknologia on lähtenyt suuresti kehittymään ja sähköntarve on kasvanut myös koko Suomessa. Nyt 2000-luvun aikana kulutus on hieman tasaantunut ja kasvu on vaihdellut 1 %:n molemmin puolin. Kuvan 5 pylväsdiagrammista on nähtävissä, että 20 vuoden aikana on tasaisin välein selviä jaksoja joissa kulutuksen kasvu on ollut runsasta ja sitten taasen kasvu on pienentynyt. Historiasta voidaan poimia muutama vuosiluku, jolloin sähkönkulutus on merkittävästi laskenut. Vuonna 1988 ja 1995 on tapahtunut pieniä laskuja, mutta näiden notkahduksien jälkeen kasvu on ollut siten suurempaa kuin edellisinä vuosina.

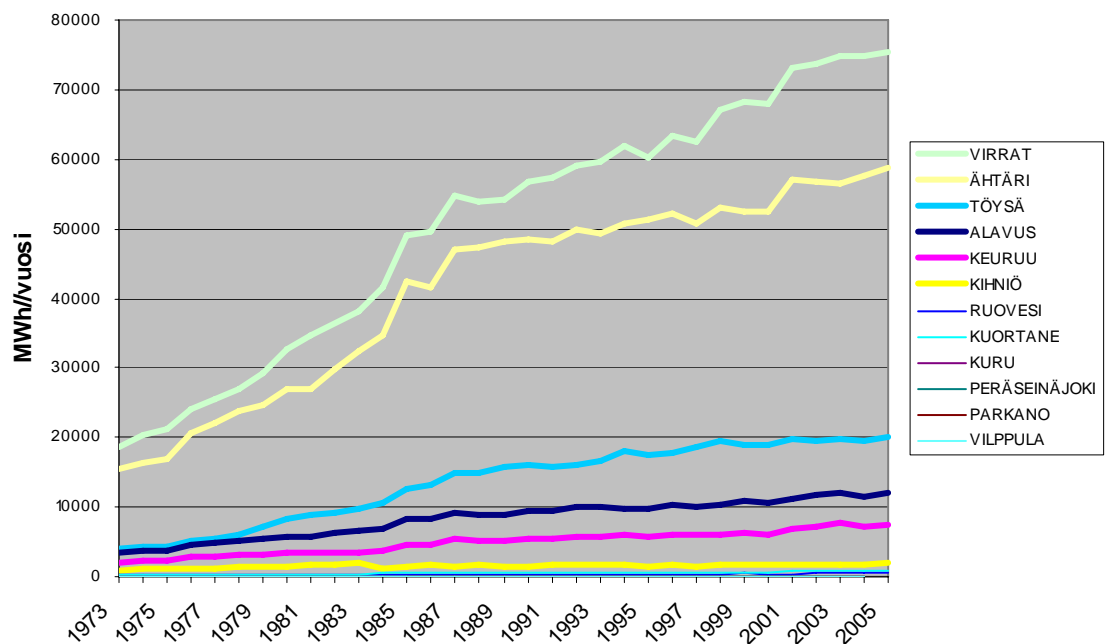


Kuva 4. Sähkökokonaiskulutus Koillis-Satakunnan sähkö Oy:ssä vuosina 1979–2005

4.2 Sähkönkäytön kulutus kunnittain

Jos otetaan tarkasteluun sähkönkulutus kunnittain, niin suurin osa sähköstä on toimitettu ja toimitetaan Virroille ja Ähtäriin, missä on eniten asiakkaita. Näissä kahdessa kunnassa kasvukehitys on ollut myös suurinta ja jyrkintä jakeluverkon alueella. Pienemmillä paikkakunnilla kulutuksen nousu on ollut hidasta. Yhtenä syynä tähän voidaan pitää poismuuttoa maalaiskunnista isompiin kuntiin ja lähemmäksi palveluja.

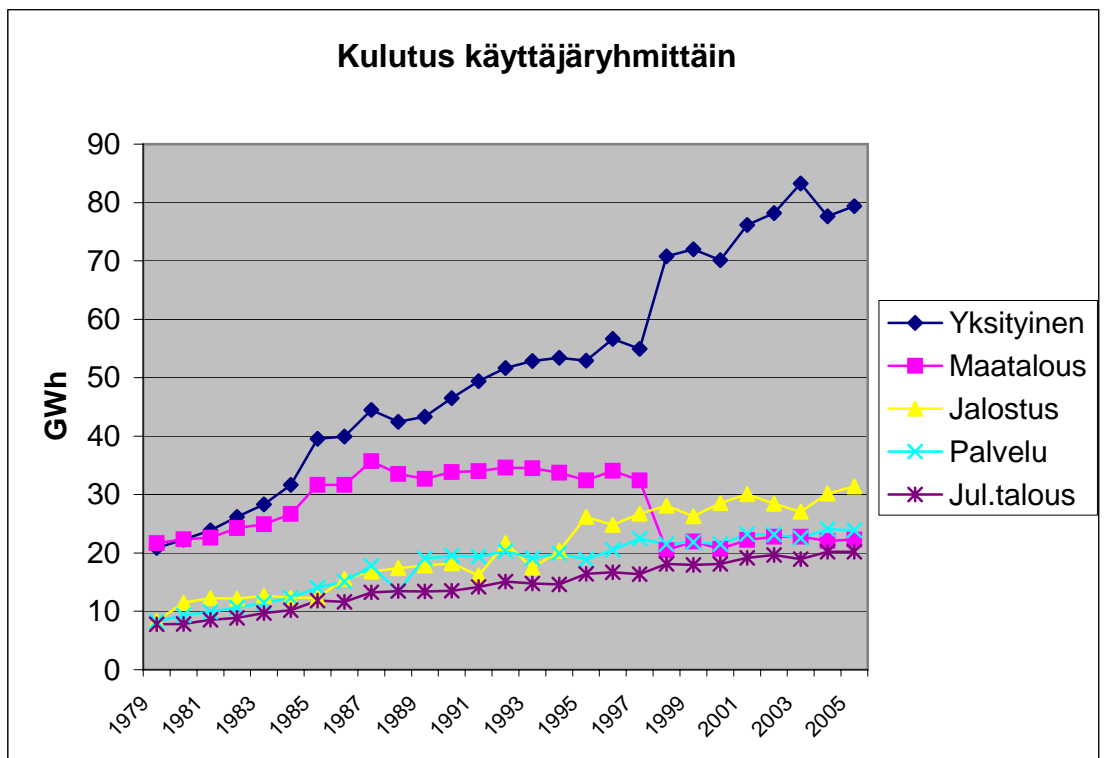
Virtain alueella poismuutto on viime vuosina ollut noin 100 henkeä vuodessa ja muistakin kunnista väki on vähenemässä vuosittain. Tästä huolimatta sähkönkulutuksen kasvu on ollut nousujohteista KSS:n alueella. Yksi huomattava tekijä on alueen vapaa-ajan asuntojen lisääntyminen ja niiden varustelutason parantuminen. Sähkönkulutuksen kehitys on ollut nousujohteista vuodesta 1973 asti. Tänä aikana on muutama selvä jakso, jossa kuvaajat osoittavat kasvunopeuden jyrkkää muutosta. Vuodesta 1983 kulutus on lähtenyt jyrkkään nousuun ja sitten taas tasoittunut vuoden 1987 jälkeen, jolloin oli kova pakkastalvi. Sen jälkeen kasvu on ollut melko lineaarista.



Kuva 5. Sähkönkulutus kunnittain 1973–2005

4.2 Sähkönkäytön kulutus käyttäjäryhmittäin

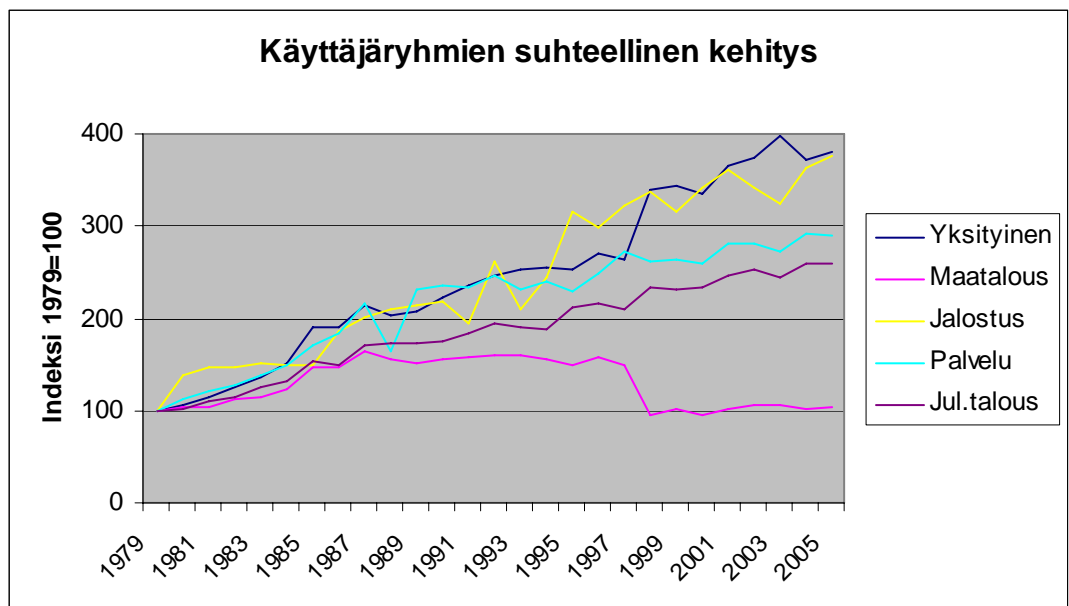
Käyttäjäryhmittäisestä kulutuksesta nähdään, että suurimman osan sähköstä kuluttavat yksityiset, ja määrä on ollut vuonna 2005 noin 78 GWh ja se on noin 45 % koko kulutuksesta. Kasvunopeus on myös ollut jyrkintä 25 vuoden aikana yksityisellä puolella ja kehitys on ollut melko lineaarista, kun jätetään tarkastelusta pois vuosi 1998. Suuri muutos tässä ryhmässä on vuodella 1998, jolloin KSS teki maatalouksien kartoituksen jakeluverkon alueella ja siinä tarkastettiin ryhmien paikkansa pitävyys. Ilmeni, että moni maatalouden harjoittaja oli vähentänyt toimintaansa niin karja- kuin viljelystaloudessakin. Näin ollen nämä asiakkaat siirrettiin yksityisen puolelle maatalouden tariffista. Tämä osoitti myös sen, mikä on nähtävissä edelleenkin, että maataloudet vähentävät tuotantoansa tai sitten lopettavat toimintansa kokonaan. Muissa käyttäjäryhmissä, kuten palveluissa ja jalostuksessa, kasvu on ollut hidasta ja melko lineaarista. Näiden ryhmien asiakasmäärät ovat pysyneet vuosien aikana miltei samoina. Laajennuksia on tapahtunut ja näin ollen energiantarve on lisääntynyt. Jalostusryhmässä oli asiakkaita vuonna 1980 130 kpl ja vuonna 2005 niitä oli yhtä paljon.



Kuva 6. Sähkönkulutus käyttäjäryhmittäin

Alla olevassa kuvassa 7 on esitetty käyttäjäryhmien suhteellinen kehitys vuosina 1979–2005. Indeksiksi on pantu vuodelle 1979 sata, jolloin pystytään seuraamaan prosentuaalista muutosta kulutuksessa. Suhteellisesta kehityskäyrästä nähdään, että yksityisenpuolen tähänastinen vuosittainen kasvu on ollut 4 % ja suuria heilahduksia alaspäin ei ole tapahtunut muuta kuin parina viime vuotena. Maatalouden suhteellisen kehityksen osalta kuvaaja antaa hieman liian negatiivisen kuvan. Kehitys on ollut vähäistä ja jää alle 1 %:n. Kuvaajassa hämää vuonna 1998 tapahtuva jyrkkä lasku maatalouden osalta, mutta todellisuudessa se on loivempi ja kulutus on lähtenyt laskuun jo vuoden 1993 aikoihin.

Jalostuksen puolella kulutuksen kasvu on ollut samaa luokkaa kuin yksityisen eli noin 4 %. Tässä käyttäjäryhmässä on heilahtelua tapahtunut suuresti 90-luvun alkupuolella ja voidaan olettaa, että tähän on vaikuttanut silloinen Suomessa ollut lama-aika. Palvelu ja julkinen talous ovat kehittyneet suhteellisen lineaarisesti, noin 1,5 % vuosittain. Suurin kasvu on tapahtunut 80-luvun lopussa, jolloin kuntien alueella on tapahtunut huomattavaa kehitystä niin julkisissa kuin yksityisissäkin palveluissa.



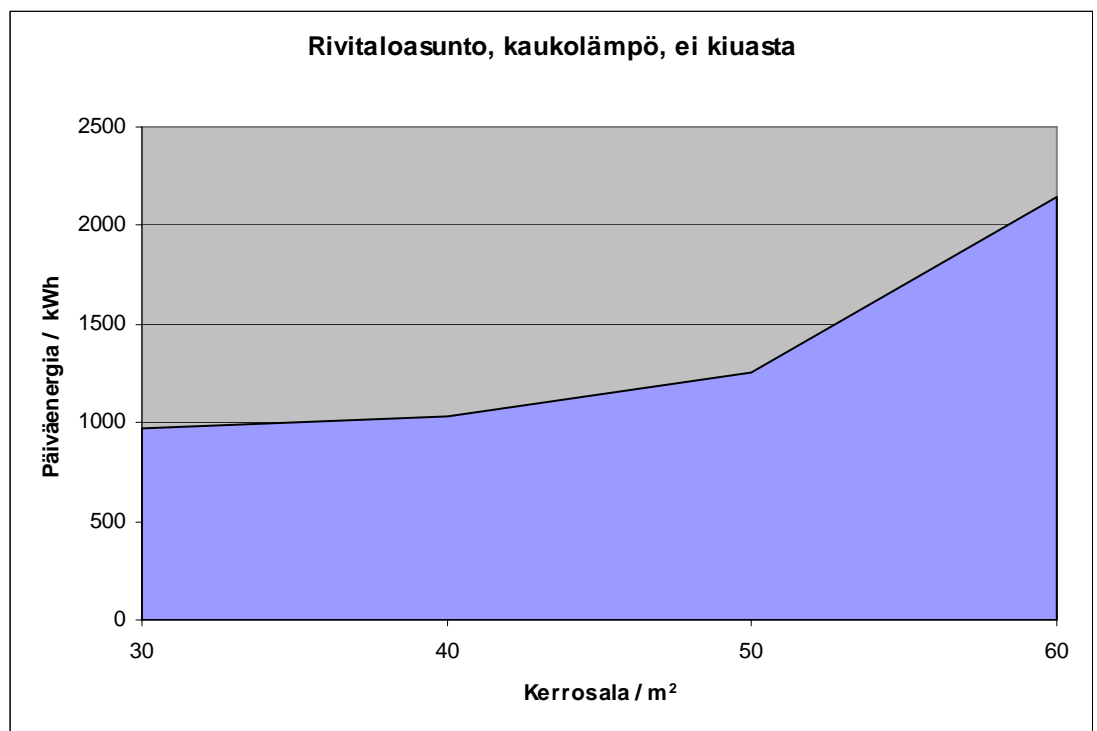
Kuva 7. Käyttäjäryhmien kulutuksen suhteellinen kehitys

4.3 Sähkönkäytön kulutus pinta-alan mukaan

4.3.1 Rivitalo

Keräsin tietoja rivi- ja kerrostaloasuntojen pinta-aloista, jotta pääsisin tutkimaan, kuinka sähköenergian kulutus riippuu asunnon pinta-alasta. Päiväenergiat on saatu edelliseen laskutukseen perustuvista ennusteista. Näin saadaan suuntaa antavat tilastot. Suurimmat kolme tekijää, jotka vaikuttavat energiankulutukseen, ovat asukkaiden lukumäärä, lämmitystapa ja kiuas. Tärkeä vaikuttava tekijä on myös se henkilö, joka kyseisessä asunnossa asuu. Merkitystä on sillä, kuinka paljon hän käyttää sähkölaitteita.

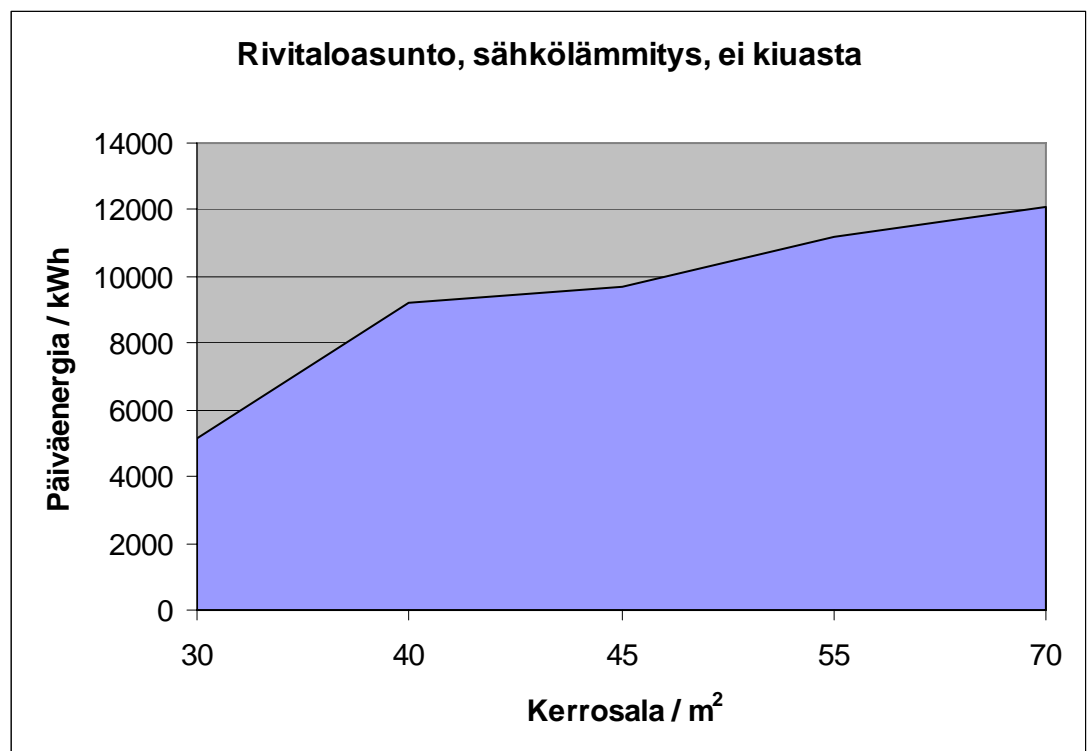
Kuten kuvasta 8 nähdään, rivitaloasunnossa, jossa lämmitysmuotona on kaukolämpö eikä asunnoissa ole kiuasta, niin 50 m²:iin asti kulutus on tasaista, n. 1000–1200 kWh. Suuri kasvu kulutuksessa tulee kun tarkastellaan suurempaa kuin 50 m²:n asuntoa. 60 m²:n asunnossa energiantarve nousee 2000 kWh:n suuruiseksi. Tähän vaikuttaa se, että isommissa asunnoissa asuu yleensä useahko henkilö, ja sillä on suuri vaikutus kyseisen asunnon sähkönkulutukseen.



Kuva 8. Rivitaloasunnon kulutus (kaukolämpö, ei kiuasta) kerrosalan funktiona

Kuvassa 9 on esitetty sähköenergian kulutus pinta-alan mukaan rivitaloasunnosta, jossa on sähkölämmitys mutta ei kiuasta. Tarkastelun piirissä oli 50 kappaletta rivitaloja, joissa oli sähkölämmitys. Määrä on vähäinen mutta siihen on syynä se, että tietoja on kerätty Virtain taajamasta, missä miltei kaikissa rivi- ja kerrostaloissa on jokin muu lämmitysmuoto kuin sähkölämmitys, esimerkiksi kaukolämpö.

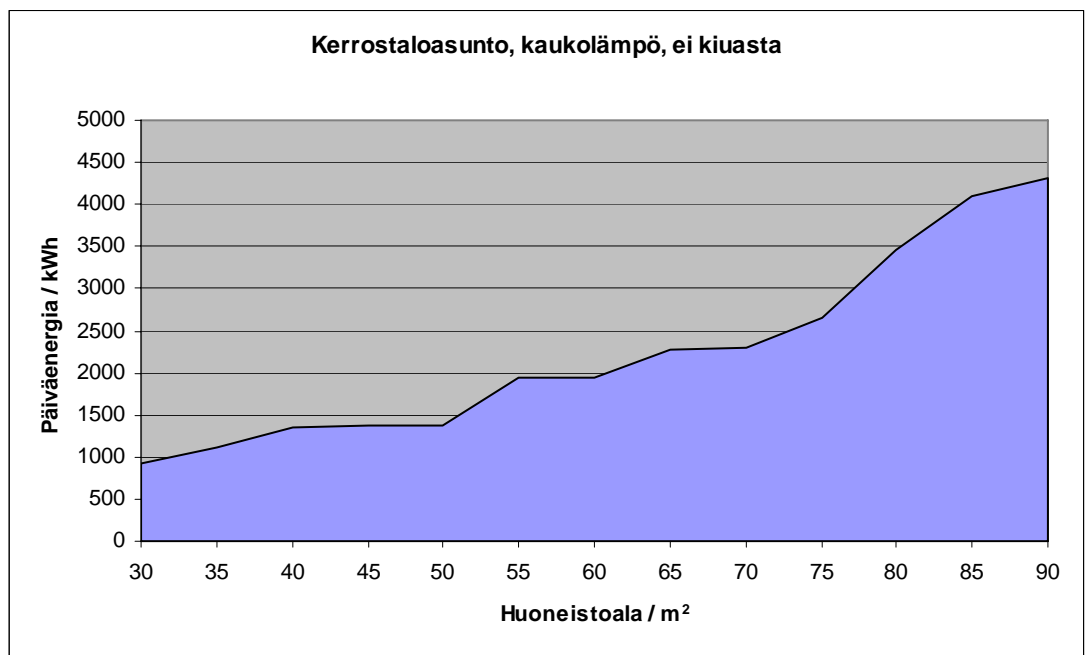
Sähkölämmitys lisää energiankulutusta huomattavasti, ja pienimmilläänkin neliömäärillä kulutusennuste on noin 4500 kWh, mikä on noin neljä kertaa suurempi kuin kaukolämmityksen piirissä olevassa rivitaloasunnossa. Energiankulutus kasvaa jyrkästi 40 m²:iin asti, jolloin se on noin 9000 kWh ja tasoittuu sen jälkeen. Pinta-alan kasvaessa suuremmaksi kasvu on loivaa ja 70 m²:n asunnon kulutus eroaa 40 m²:n asunnosta vain noin 3000 kWh.



Kuva 9. Rivitaloasunnon (sähkölämmitys, ei kiuasta) energiankulutus kerrosalan funktiona

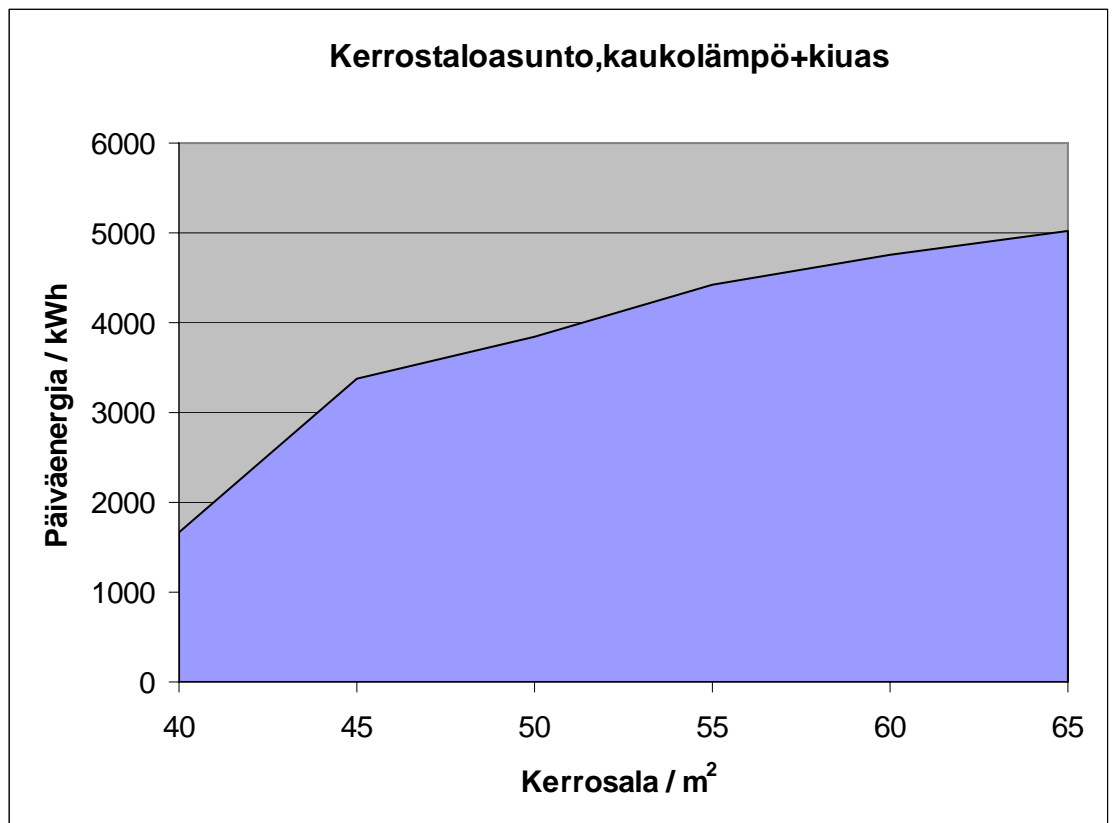
4.3.2 Kerrostaloasunto

Suurin osa asunnoista, joista keräsin pinta-alatietoja, oli kerrostaloasuntoja. Kuvassa 10 on esitetty kerrostaloasuntojen energiankulutus huoneistoalan funktiona, joi-
sa on kaukolämpö mutta ei kiuasta. Kuvasta näemme, että kulutus 30 m²:n kerrostaloasunnossa on yhtä suurta kuin kuvan 10 samankokoisessa rivitaloasunnossa. Kulutus nousee melko loivasti, kun pinta-ala kasvaa aina 65 m²:iin asti. Sen jälkeen suuremmissa asunnoissa kulutuksen kasvu on jyrkkää. 70 m²:n ja 90 m²:n asuntojen kulutusero on noin 2000 kWh, kun taas 30 m²:n ja 50 m²:n huoneistojen ero on vain noin 500 kWh. Muuten kerrostaloasuntojen kulutus kasvaa neliömäärän kasvaessa yhtä jyrkästi kuin saman lämmitysmuodon omaavassa rivitaloasunnossa.



Kuva 10. Kerrostaloasunnon kulutus (kaukolämpö, ei kiuasta) huoneistoalan funktiona

Kiukaalla varustettuja kerrostaloasuntoja oli tiedoissa 20 kappaletta. Kuvasta 11 nähdään selvästi, kuinka paljon kiuas vaikuttaa energiankulutukseen pienessä kerrostaloasunnossa. Kun vertaa kulutusta edellisen kuvan 11 käyrään, niin huomaa että kulutus on parhaimmillaan yli kaksinkertainen. Kiukaallinen 50 neliön asunnon kulutus on noin 3800 kWh ja kiukaattoman 1800 kWh. Kiukaallisissa asunnoissa vaikuttaa olennaisesti se, onko asukas ahkera saunoja vai ei, eli kuinka kauan kiuas on päällä ja montako kertaa viikossa.



Kuva 11. Kerrostaloasunnon (kaukolämpö + kiuas) energiankulutus huoneistoalan funktiona

5 SÄHKÖNKULUTUKSEN ENNUSTEET

5.1 Kehitysnäkymät

Sähkökulutuksen lisääntyminen vaikuttaa voimakkaasti verkoston kehittämistarpeeseen. Kulutusennusteiden laadinta liittyy siten olennaisena osana keskijänniteverkon yleissuunnitteluun. Kuten kaikkeen tulevaisuuteen liittyvään toimintaan niin myös verkostosuunnitteluun liittyy runsaasti epävarmuustekijöitä ja sitä enemmän, mitä pidemmälle tulevaisuuteen tähdätään. Ennusteet on pyrittävä tekemään mahdollisimman huolellisesti ja tarkkaan lopputulokseen pyrkien, sillä virheellinen kuormitusennuste voi aiheuttaa huomattavia lisäkustannuksia väärin investointien vuoksi./9/

Ennusteita on olemassa monenlaisia ja monien tekijöiden tekemiä. Kauppa- ja teollisuusministeriön mukaan Suomessa sähkökulutus kasvaa vuoteen 2025 asti 2,5 % vuosittaisella kasvulla. Energia-alan keskusliitto Finergyn mukaan sähkökulutus Suomessa kasvaisi vuosittain n. 1,4 % aina vuoteen 2020. Kokonaisuutena näitä arvioita voidaan pitää melko varovaisina, sillä sähkökulutuksen kasvun on arvioitu kehittyvän hitaammin kuin aiemmin on ennustettu. Teollisuuden ja työnantajain keskusliitto TT kumoo edellisen väitteen, sillä se arvelee sähkökulutuksen maassamme kasvavan aikaisempia ennusteita nopeammin. /11/

Energiankulutukseen vaikuttaa moni tekijä jota ei voi ottaa huomioon ennusteita tehtäessä. Niitä ovat mm. taloudellinen kehitys, valtiolliset toimenpiteet, uusi tekniikka, muut energiamuodot ja markkinoitten kyllästymisen. Samaan aikaan Euroopan avautuvien sähkömarkkinoiden ennustetaan joka tapauksessa väijäämättä nostavan sähkön kuluttajahintaa Suomessa, kun Pohjoismaat pääsevät samalle tasolle Euroopan kanssa. Hinnan noustessa riittävästi asiakkaat voivat aloittaa sähkön säännöstelyn omissa talouksissaan. Koko Suomen sähkökulutuksen kehitysenusteet antavat hieman suuntaa, kun katsoessa kehitystä Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n sähköjakelualueella.

Jotta saadaan entistä tarkempia ennusteita, niin eri käyttäjäryhmät on otettava huomioon ja laskettava erikseen jokaiselle ryhmälle oma kehitysprosentti. Näistä tuloksista on laskettava painotettu keskiarvo edellisvuosien tilastollisten kulutuksien mukaan. Yksi tapa laskea kehitysprosentteja on käyttää eksponentiaalista menetelmää. Toinen tapa on käyttää viiden vuoden liukuvan kasvun laskentaa. Taulukossa 2 on esitetty sähkönkulutus käyttäjäryhmittäin vuosina 1985–2005. Taulukon 2 tilastot näkyvät graafisessa muodossa kuvassa 6.

Taulukko 2. Sähkönkulutus käyttäjäryhmittäin vuosina 1985–2005

Vuosi	Yksityinen	Maatalous	Jalostus	Palvelu	Jul. Talous	Yht.
	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh
1985	39,54	31,64	12,34	14,09	11,86	109,46
1986	39,93	31,68	15,54	15,14	11,59	113,88
1987	44,49	35,74	16,79	17,82	13,28	128,12
1988	42,44	33,51	17,43	13,49	13,49	120,36
1989	43,31	32,71	17,88	19,08	13,44	126,41
1990	46,53	33,83	18,22	19,54	13,54	131,66
1991	49,42	34,01	16,18	19,38	14,21	133,20
1992	51,64	34,61	21,71	20,32	15,09	143,36
1993	52,87	34,53	17,45	19,09	14,81	138,75
1994	53,44	33,77	20,35	19,91	14,62	142,08
1995	52,92	32,41	26,19	18,87	16,46	146,85
1996	56,65	34,05	24,83	20,54	16,71	152,77
1997	54,96	32,43	26,75	22,48	16,36	152,97
1998	70,77	20,51	28,10	21,55	18,13	159,05
1999	71,96	21,94	26,29	21,83	17,99	160,02
2000	70,12	20,68	28,51	21,51	18,15	158,98
2001	76,14	22,22	30,07	23,21	19,16	170,80
2002	78,16	22,80	28,41	23,15	19,67	172,19
2003	83,27	22,79	27,05	22,57	18,94	174,61
2004	77,60	22,08	30,18	24,08	20,19	174,12
2005	79,38	22,30	31,38	23,91	20,21	177,18

Käytetään luvussa 4.2 esitettyä sähkönkulutuksen suhteellista kehitystä hyödyksi, kun lasketaan viiden vuoden liukuvan kasvun kehitysprosenttia. Näin ollen saadaan alla olevan taulukon mukaiset kulutuksen kehitysprosentit./9/

Taulukossa 3 on esitetty käyttäjärhmittäinen suhteellinen kasvu. Taulukon 3 tilastot on esitetty graafisessa muodossa kuvassa 7.

Taulukko 3. Viiden vuoden liukuvan kasvun kehitysprosentit taulukoituna vuodesta 1985 alkaen

Vuodet	Yksityinen Kasvu %	Maatalous Kasvu %	Jalostus Kasvu %	Palvelu Kasvu %	Jul. Talous Kasvu %	Yht. Kasvu %
1985–1990	3,31	1,35	8,11	6,77	2,69	3,53
1986–1991	4,36	1,43	0,81	5,07	4,15	2,99
1987–1992	3,02	-0,64	5,27	2,65	2,60	1,31
1988–1993	4,49	0,60	0,03	7,19	1,88	2,54
1989–1994	4,29	0,64	2,63	0,85	1,70	2,11
1990–1995	2,61	-0,85	7,53	-0,70	3,98	1,13
1991–1996	2,77	0,02	8,94	1,17	3,30	1,90
1992–1997	1,25	-1,29	4,27	2,04	1,63	1,31
1993–1998	6,01	-9,90	9,99	2,45	4,13	1,94
1994–1999	6,13	-8,26	5,26	1,86	4,24	1,39
1995–2000	5,79	-8,59	1,71	2,65	1,98	1,60
1996–2001	6,09	-8,19	3,90	2,48	2,78	2,26
1997–2002	7,30	-6,80	1,21	0,59	3,75	2,40
1998–2003	3,31	2,13	-0,76	0,93	0,88	1,88
1999–2004	1,52	0,12	2,79	1,98	2,34	1,70
2000–2005	2,51	1,51	1,94	2,13	2,17	2,19

Seuraavalla kaavalla saadaan laskettua liukuva viiden vuoden kasvu vuosina 1999–2004

$$r = \left(\sqrt[t]{\frac{W}{W_0}} - 1 \right) \cdot 100 \%$$

$$r = \left(\sqrt[5]{\frac{77,60 \text{ GWh}}{71,96 \text{ GWh}}} - 1 \right) \cdot 100 \%$$

$$r = 1,52 \%$$

- r = Kasvuprosentti
- t = Laskettava ajanjakso vuosina
- W = Energia jakson lopussa
- W₀ = Energia jakson alussa

5.1.1 Yksityinen

Yksityisellä puolella sähkönkulutuksen vuosittainen kasvu on ollut vuoteen 2005 asti 2,5 %:n luokkaa. 90-luvun loppupuolella kasvun syyn suurena tekijänä on ollut maatalouksien vähentyminen ja tuotannon loppuminen. Tämä on vaikuttanut yksityisen kasvuun, kun käyttäjäryhmät on muutettu. Vapaa-ajan asuntojen lisääntyminen on ollut myös suurena vaikuttajana kasvussa ja sitä on käsitelty myöhemmin omassa luvussaan. Laskiessa ennusteita vuoteen 2015 saakka yksityisen osalta on käytetty 2,5 %:n vuosittaista kehitystä. Jos tarkastellaan pidempää aikaväliä, ei saada niin tarkkoja ennusteita. On otettava huomioon myös se, että siirtyminen maaseudulta taajamiin ja kaupunkeihin vaikuttaa yksityiseen kulutukseen. Yksityisen kulutuksen muutokset ovat näkyneet selvästi maatalouden puolella ja toisinpäin. Yksityisen ryhmän asiakasmäärä on lisääntynyt kymmenen vuoden aikana 3334 kappaletta. Tähän sisältyy myös maatalouden puolelta siirtyneet asiakkaat joita on ollut noin 1100 kappaletta.

5.1.2 Maatalous

Maatalous on yksi epävarmuustekijä, kun tarkastellaan KSS:n sähkönkulutuksen kehitystä. Uusien EU-säännösten myötä maatalous on vähentynyt seudulta ja tuotto pienentynyt. Maaseudulta muutetaan taajamiin, kun ihmiset vanhenevat ja on tarve päästä entistä lähemmäksi palveluja ja terveydenhuoltoa. Näiden asioiden vuoksi maaseudulta häviää omakotitaloja, joissa mahdollisesti on ollut sähkölämmitys ja muuta suurta energiankulutusta. Siirrytään taajamiin, joissa on kaukolämpö asunnoissa, ja näin ollen se aiheuttaa merkittävän vähennyksen sähkönkulutukseen. Nuoret muuttavat opiskelemaan ja lähtevät työn perässä maaseudulta taajamiin tai isohkoihin kaupunkeihin. Ei ole enää ketään, joka jäisi jatkamaan tilanhoitoa. Tutkittaessa käyttäjäryhmäennusteita, maatalouden osuus on selvästi vähentynyt 80-luvun alkupuolen nousun jälkeen. Vuonna 1998 tehdyn kartoituksen mukaan lasku on kuvaajassa liian jyrkkä, mutta voidaan sanoa, että maatalous on vähentynyt hiltalleen vuodesta 1993 vuoteen 2000 asti. Sen jälkeen kehitys on ollut alle 1 %:n. Maatalouden osuus on kehityksessä vähiten merkitsevä kasvun osalta.

5.1.3 Jalostus

Jalostuksen kasvu on ollut melko lineaarista aina vuodesta 1979 asti. Kehityksen kasvu vuosittain on ollut noin 1,5 %. Asiakkaiden määrä jalostuksen puolella on pysynyt vuosien varrella ennallaan noin 130 kpl:ssa, mutta silti on huomattavissa, että kehityksen myötä myös sähköntarve on lisääntynyt. Muutamalle asiakkaalle on tulossa isompi laajennus tehtailla lähivuosina.

5.1.4 Palvelu

Palvelun osalta sähkönkulutuksen kasvu on ollut lineaarista tähän asti aina vuodesta 1980. Sen osalta ei ole suuria kehitysmuutoksia näkyvässä tulevaisuudessa. Vuonna 1995 asiakkaita oli palveluryhmässä 798 kappaletta ja vuonna 2005 niitä oli 843 kappaletta. Kasvua on tapahtunut 45 asiakkaan verran. Palvelujen kehitys ja kasvu on loivaa, noin 1,5 prosenttia vuosittain. Palveluiden tarve taajamissa lisääntyy lähivuosina. Suuret ikäluokat väistyvät työtehtävistä ja siirtyvät palveluiden lähelle taajamiin ja kaupunkeihin. Vaikuttavana osapuolena tässä on kunta, joka tekee päätökset julkisten palveluiden lisäämisestä. Suurta kasvukehitystä ei tässäkään ryhmässä ole tiedossa, kun tutkitaan sähkönkulutusta kymmenen vuotta eteenpäin.

5.1.5 Julkinen talous

Julkisella puolella ei ole odotettavissa isoja muutoksia lähivuosina, joten ennustaminen on helpompaa. Kasvu tulee noudattamaan samaa linjaa palvelun kanssa, mutta tässäkin on kyllästymistä näkyvässä. Julkisen talouden ryhmän osalta asiakasmäärissä ei ole ollut suurta vaihtelua tai kehitystä. Asiakkaita on tullut kymmenen vuoden aikana lisää viisi kappaletta, joten tässäkin tapauksessa voidaan todeta, että kulutuksen kasvuun vaikuttavat vanhat asiakkaat ja heidän energiantarpeensa tulevina vuosina. Näin ollen suurta kehitystä ei ole tiedossa.

5.2 Vapaa-ajan asunnot

Virroilla väkiluku on 8100 ja loma-asuntoja on 2300. Suurimman osan loma-asunnoista omistavat Pirkanmaalla ja Etelä-Pohjanmaalla asuvat. Vapaa-ajan asunnoilla on suuri merkitys sille, kuinka sähkönkulutus kehittyy KSS:n jakelualueella. Lähivuosina vaikuttava tekijä on, kuinka paljon pystytään vielä rakentamaan uusia mökkejä ja vapaa-ajan asuntoja. Sukupolvenvaihdoksissa usein kunnostetaan mökkejä kun on totuttu siihen, että nykyinen viihde-elektroniikka on käytettävissä. Voi olla että vanhahkot ihmiset ovat halunneet mökkielämän olevan jonkinlaista luontoon palaamista ja samoin on haluttu päästä irti nykyteknologian kiireisestä arjesta.

Nykyään kuitenkin näkee mökkejä, joissa varustelutaso on luksusluokkaa, ja ne tuskin eroavat omakotitaloista. Tämän vuoksi niissä pidetään peruslämpöä yllä ja yleensä kyseessä on sähkölämmitys. Mökkien varustelutason lisääntyessä mökkeilyajat lisääntyvät ja tällöin myös vietetään talvipäiviä luonnon keskellä. Tämä vaikuttaa myös siihen, että lämmitystarve lisääntyy ja energiankulutus kasvaa. Tutkimuksien mukaan Suomessa noin 33 % mökeistä on sähköistetty ja Virroilla luku on noin 80 %. Näihin lukuihin sisältyvät myös ne mökit, joilla on muu energianlähde tuuli, aggregaatti tai aurinko. Sähkönsaanti mökkikylien ja järvien rannoille on nykyään helppoa ja melko edullista, varsinkin siinä tapauksessa, että mukana on useahko hankkija. KSS:n jakelualueella useimmat suositut mökkikohteet ovat hyvin sähkönjakelun ulottuvilla. Näin ollen saadaan tarvitseville uusille asiakkaille tuotua sähkö. Mutta tätä suurta ryhmää uhkaa myös kyllästyminen, ja silloin voidaan olettaa, että sähkönkulutuksen kehitys saattaa kääntyä laskuun.

5.3 Kokonaiskulutuksen ennusteet

Kokonaiskulutuksen kehityksestä voidaan todeta, että se on kasvussa muutaman vuoden ajan, ja näin on realistista ennustaa kasvua vuoteen 2015 saakka. Suurin vaikuttaja tässä on juuri vapaa-ajan asuntojen tilanne eli se kuinka paljon niitä voidaan rakentaa ja sähköistää vielä lisää. Teollisuuden puolella on muutamia laajennushankkeita tulossa isohkoille asiakkaille, mutta teollisuussektorikin näyttää rauhoittuvan. Vaikka yksityisellä puolella kasvu on ollut suurinta, se ei ole silti vaikuttanut kokonaiskulutukseen niin paljoa, sillä maatalouden osuuden vähentyminen on kompensoinut tilannetta.

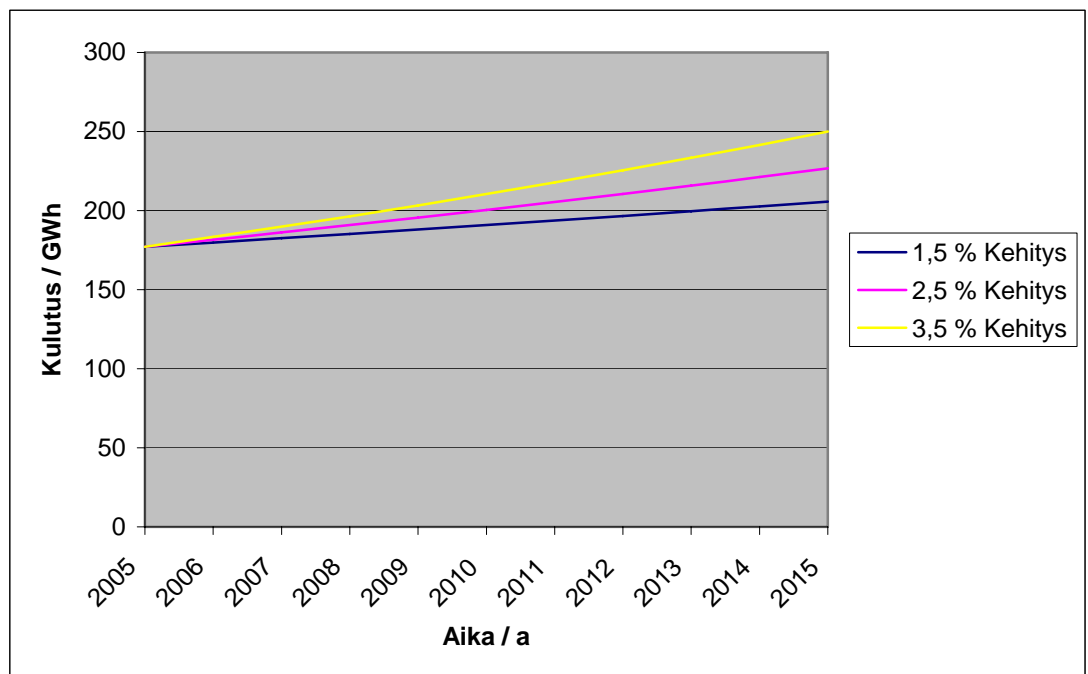
Koskaan ei voi olla täysin varma, kuinka lopullinen kehitys tapahtuu, kun vaikuttavia tekijöitä on monta. Sähkön hinta on ollut nousujohteinen jo pari viime vuotta ja edelleen hinta pörssissä nousee. On vaikea ennustaa, kuinka kalliiksi sähköenergian hinta saa nousta, ennen kuin asiakkaat alkavat säännöstellä omaa sähkönkulutustaan.

Jakeluverkko ei kehity niin tasaisesti kuin verkkomallit laskennassa antavat ymmärtää. Kulutus ei jokaisessa liittymispisteessä kasva vuosittain, vaikka kehitystä tapahtuu. Todennäköisintä on, että kulutus kasvaa taajamälähdöissä muita enemmän. Myös maaseutulähtöjen, joiden haarojen perällä on runsaasti vapaa-ajanasuntoja, kasvun kehitys on jyrkempää kuin muissa tapauksissa. Integra-ohjelmalla tehdyt verkon kehitysnäkymät lisäävät kulutusta vuosittaisen kasvuprosentin verran aina tarkasteluvuotta kohden jokaiselle kulutuspisteelle.

Tilastokeskuksen tutkimusten mukaan Etelä-Pohjanmaan kunnissa väkiluvun on ennustettu vähenevän runsaasti tulevien vuosien aikana. KSS:n jakeluverkon alueella, Alavudella ja Ähtärissä, väkiluku vähenisi 10 vuoden aikana noin 700 hengellä. Väestön ennakoitua lisääntyvän Töysässä noin 200 ihmisellä, mikä hieman tasoittaa tilannetta. Asiakkaita on tullut KSS:lle lisää viime vuodesta yli sata ja vuodesta 1995 1539 kappaletta. Parin viime vuoden aikana kasvu on kehittynyt 1,0 %:n vuosittain.

Kokonaiskulutuksen ennusteissa on käytetty hyödyksi edellisissä kohdissa laskettuja vuosittaisia kasvukehityksiä. Käyttäjärhymille on laskettu vuosikulutukset aina vuoteen 2015 asti, käyttäen viiden vuoden liukuvaa keskiarvoa ja valittu niistä sopivat kasvuprosentit. Käyttäjärhymäkeskeiset energian kulutukset on laskettu yhteen ja näin on määrätynyt kokonaiskulutuksen kasvu. Näistä tuloksista on laskettu kokonaiskulutuksen kehitys liukuvan viiden vuoden menetelmällä ja saatu kokonaiskulutuksen kasvun kehitysprosentit.

Asiakasryhmäkohtaisien analyysien ja ennusteitten pohjalta voidaan olettaa, sähkönkulutuksen kasvavan KSS:n jakeluverkon alueella vuoteen 2015 saakka. Yhden ennusteen tekeminen on vaikeaa, joten on tehty kolme skenaariota sähkönkulutuksen kehitykselle. Sähkönkokonaiskulutus kehittyy kuvan 12 mukaisesti KSS:n jakeluverkoston alueella vuoteen 2015 mennessä.. 1,5 % kasvulla, joka on todennäköisin näin pitkällä aikavälillä, KSS ylittää 200 GWh rajan kulutuksessa vuosina 2013–2014.



Kuva 12. Sähkönkäytön kehitys eri kasvuprosenteilla vuosina 2005–2015

6 ABB Open++ Integra

KSS:llä on käytössä ABB:n verkoston valvontatyökalu Open++ Integra. Open++ Integra on graafinen sähköjakeluverkkojen verkkotietojärjestelmä, joka on tarkoitettu sähköyhtiöiden keski- ja pienjänniteverkkotietojen hallintaan, verkkojen sähköisen tilan seurantaan ja verkostosuunnitteluun. Järjestelmä voidaan integroida sähköyhtiön muihin tietojärjestelmiin mm. Open++ Opera -käyttötukijärjestelmään tai Open++ Profila -ilmajohtojen suunnittelujärjestelmään.

Integra on graafinen ohjelma, missä voidaan käyttää maantieteellisiä karttoja jakeluverkon alueelta. Käytettävät taustakarttamateriaalit voivat olla sekä rasteri- että vektorikarttoja. Ohjelmisto toimii mikrotietokoneissa MS Windows NT[®] -käyttöjärjestelmässä, joko yksittäisenä työasemana tai tiedostopalvelimeen tietoverkon välityksellä liitettynä työasemana. Integraa käytetään rinnakkain MS Access[®] -tietokannan kanssa.

Integra tarjoaa tehokkaat menetelmät säteittäisesti käytettävien sähköverkkojen laskentaan ja laskentatulosten esittämiseen. Integran sisältämä verkkoanalyysipaketti sisältää tavanomaisen seurantalaskennan lisäksi suojausanalyysin, optiona liitettävän sekä suunnittelulaskennan. Sähköyhtiön suorittaman seurantalaskennan tarkoituksena on tarkastella verkon sähköteknistä tilaa muuttuvissa olosuhteissa ja varmistaa jakeluverkon tekninen toimivuus myös uudessa tilanteessa. Seurantalaskennassa tarkastellaan vuoden huippukuormitustilannetta.

Seurantalaskennalla tarkoitetaan olemassa olevan verkon tehonjako- ja vikavirtalaskentoja, joihin kuuluvat tavanomaiset sähkötekniset arvot kuten virrat, jännitteet, häviöt, jännitteenalenemat ja vikavirrat. Tehonjakolaskenta perustuu verkon kuormitustietoihin ja asiakasryhmäkohtaisiin kuormituskäyriin (kuormitustopografioihin). Laskennassa käytetään syöttävänä jännitteenä (kiskojännitteenä) päämuuntajalle annettua arvoa. Verkostoanalyysissä huomioidaan sekä generaattorit että moottorit. Vakioloistehoa tuottavana mallinnetut hajautetut generaattorit ja kondensaattorit huomioidaan erikseen tehonjakolaskennoissa. /7/

Sähköasemien oikosulkuvirtoja laskettaessa tarvitaan taustaverkon ja päämuuntajien resistanssit ja reaktanssit. Fingrid on ilmoittanut kantaverkon, joka toimii taustaverkkona, lähtöarvot kutakin sähköasemaa kohti ja päämuuntajien arvokilvistä on saatu valmistajien ilmoittamat arvot. Näin ollen on voitu laskea taustaverkon ja päämuuntajien aiheuttama kokonaisimpedanssi ja siitä sähköasemakohtainen oikosulkuvirta. Kyseiset arvot on syötetty Integraan. Integra - ohjelmalla saadaan laskettua tehojako-, oikosulku ja maasulkulistaus.

7 SÄHKÖASEMIEN NYKYTILANNE

Sähköasemien nykytilanteessa tarkastelun kohteena on aseman kapasiteetin riittävyys. Tärkeimpinä asioina on tutkia jännitteenaleneman, oikosulkuvirran suuruutta ja maasulkusuojauksen toteutumista. Laskennassa on käytetty vuoden 2005 laskutuksesta saatuja arvoja ja kuormituskäyriä.

Integrassa laskenta perustu kuormituskäyriin ja on todettu, että ne pitävät suurimmilta osin paikkaansa. Vuonna 2006 tammikuun loppupuolella oli kovat pakkaset, jolloin kylmimmillään oli -30°C . Tuolloin testattiin mitattujen ja laskettujen kuormitusvirtojen eroa lähtökohtaisesti. Muutamalla taajamalähdöllä mitattu arvo oli reilusti suurempi kuin laskettu, noin 20 A. Tämä johtuu siitä, että näissä lähdoissä on paljon teollisuuskuormia. Täysin samoihin kuormitusvirta-arvoihin päästiin 12 lähdöllä. Laskettujen ja mitattujen kuormitusvirtaerot näkyvät alla olevassa taulukossa 4. Tämä vertailu osoittaa sen, että verkostolaskenta on luotettava muutamaa poikkeustapausta lukuun ottamatta. Nykytilanteen ja tulevaisuuden tarkastelu antaa siis paikkaansa pitäviä tuloksia.

Taulukko 4. Mitattujen ja laskettujen kuormitusvirtojen ero

Lähtö/kpl	Mitattu-laskettu / A
4	17...19
6	6...10
7	2...5
7	1
12	0
1	-1
6	-2...-5
2	-6...-10

7.1 Sähköasemien tehot ja jännitteenalenemat

KSS:llä jännitteenaleneman kohdalla suurin sallittu arvo keskijänniteverkon puolella on 5 %. Tätä suurempaa arvoa ei saisi ilmentyä. Jos laskennoissa raja ylittyy, niin silloin täytyy tehdä muutostoimenpiteitä. Laskennasta saadaan myös lähtökohtaiset kuormitustehot ja – virrat sekä tehohäviöt.

Taulukoissa esiintyvät laskennasta saadut suureet ovat seuraavat

P_h	=	Häviöitten pätöteho
W_h	=	Energia häviö
K_h	=	Häviökustannus
U_h	=	Jännitehäviö
I_k	=	Kuormitusvirta
P_k	=	Kuormitusteho

7.1.1 Virtain sähköasema

Taulukko 5. Virtain sähköaseman nykytilanne

Lähtö	$\overline{P_h}$ [kW]	$\overline{W_h}$ [MWh]	$\overline{K_h}$ [€]	$\overline{U_h}$ [%]	$\overline{U_{min}}$ [kV]	$\overline{I_k}$ [A]	$\overline{P_k}$ [MW]
Ahjola	4	14	797	0,32	20,52	44	1,53
Heinäaho	2	5	325	0,35	20,53	53	1,84
Jäähdys	2	5	347	0,61	20,47	18	0,64
Killi	15	28	1937	3,01	19,98	29	1,03
Kotala	64	111	7983	5,01	19,57	62	2,19
Purula	3	10	606	0,33	20,53	46	1,57
Tapiola	3	7	467	0,43	20,51	41	1,41
Vaskivesi	18	42	2708	3,15	19,95	31	1,10

Kotalan johtolähdöllä jännitteenalenema ylittää sallitun 5 % rajan. Tälle lähdölle on tehtävä muutostoimenpiteitä, jotka on esitetty myöhemmin omassa luvussaan

7.1.2 Heinäahon sähköasema

Taulukko 6. Heinäahon sähköaseman nykytilanne

Lähtö	$\overline{P_h}$ [kW]	$\overline{W_h}$ [MWh]	$\overline{K_h}$ [€]	$\overline{U_h}$ [%]	$\overline{U_{min}}$ [kV]	$\overline{I_k}$ [A]	$\overline{P_k}$ [MW]
Autio	10	27	1657	0,58	20,48	75	2,57
Kihniö	44	79	5566	4,25	19,72	50	1,73
Kurjenkylä	12	21	1509	2,29	20,13	23	0,82
Ritari	6	18	1049	1,43	20,30	23	0,80
Äijänneva	9	16	1131	2,32	20,12	19	0,68

7.1.3 Ähtärin sähköasema

Taulukko 7. Ähtärin sähköaseman nykytilanne

Lähtö	$\overline{P_h}$ [kW]	$\overline{W_h}$ [MWh]	$\overline{K_h}$ [€]	$\overline{U_h}$ [%]	$\overline{U_{min}}$ [kV]	$\overline{I_k}$ [A]	$\overline{P_k}$ [MW]
Kitula	3	6	402	0,99	20,40	21	0,71
Myllymäki	10	29	1757	1,30	20,33	53	1,81
Tankki	7	21	1268	0,61	20,47	78	2,65
Töysä	0	0	1	0,01	20,60	4	0,13
Ähtäri-Etelä	3	9	550	0,41	20,52	36	1,26
Ähtäri-Pohjoinen	3	6	439	0,33	20,53	56	1,90

7.1.4 Inhan sähköasema

Taulukko 8. Inhan sähköaseman nykytilanne

Lähtö	$\frac{P_h}{[kW]}$	$\frac{W_h}{[MWh]}$	$\frac{K_h}{[€]}$	$\frac{U_h}{[%]}$	$\frac{U_{min}}{[kV]}$	$\frac{I_k}{[A]}$	$\frac{P_k}{[MW]}$
Fiskars	0,35	0,71	48	0,03	20,59	60	2,03
Killi	1,55	2,67	192	0,57	20,48	14	0,49
Myllymäki	13,53	24,47	1729	2,71	20,04	38	1,35
Pihlajavesi	23,57	57,83	3665	3,89	19,80	28	0,98
Tuomarniemi	0,06	0,22	13	0,07	20,58	9	0,29
Töysä	16,51	34,95	2328	1,59	20,27	52	1,78
Vääräkoski	0	0	0	0	20,60	0	0

7.1.5 Killinkosken sähköasema

Taulukko 9. Killinkosken sähköaseman nykytilanne

Lähtö	$\frac{P_h}{[kW]}$	$\frac{W_h}{[MWh]}$	$\frac{K_h}{[€]}$	$\frac{U_h}{[%]}$	$\frac{U_{min}}{[kV]}$	$\frac{I_k}{[A]}$	$\frac{P_k}{[MW]}$
Alavus	3	5	371	1,00	20,39	16	0,56
Inka	1	6	317	0,19	20,56	29	1,00
Soininkoski	0	0	0	0	20,60	0	0
Virrat	0	0	23	0,09	20,58	12	0,43
Ähtäri	7	16	1045	1,56	20,28	27	0,93

7.1.6 Ritarin sähköasema

Taulukko 10. Ritarin sähköaseman nykytilanne

Lähtö	$\frac{P_h}{[kW]}$	$\frac{W_h}{[MWh]}$	$\frac{K_h}{[€]}$	$\frac{U_h}{[%]}$	$\frac{U_{min}}{[kV]}$	$\frac{I_k}{[A]}$	$\frac{P_k}{[MW]}$
Heinäaho	2	4	263	0,56	20,46	15	0,55
Killinkoski	1	2	119	0,31	20,54	13	0,45
Kontianen	10	28	1717	2,09	20,17	23	0,80
Sulkava	3	9	539	1,44	20,30	15	0,52

7.1.7 Toopakan sähköasema

Taulukko 11. Toopakan sähköaseman nykytilanne

Lähtö	$\frac{P_h}{[kW]}$	$\frac{W_h}{[MWh]}$	$\frac{K_h}{[€]}$	$\frac{U_h}{[%]}$	$\frac{U_{min}}{[kV]}$	$\frac{I_k}{[A]}$	$\frac{P_k}{[MW]}$
Inha	4,23	7,90	551	1,18	20,36	21	0,74
Kitula	3,97	13,76	790	0,97	20,40	25	0,84
Pollari	1,29	2,86	188	0,59	20,48	12	0,44
Töysä KK	10,33	37,53	2130	0,98	20,40	67	2,24
Virtala	4,25	9,16	606	1,20	20,35	20	0,70
Ähtäri	0,47	0,82	59	0,23	20,55	14	0,49

7.1.8 Kotalan jakoasema

Virtain sähköaseman lähtö Kotala syöttää kyseistä jakoasemaa, eli tehonjakolistan tulokset ovat samat kuin taulukon 4 Kotala lähtö.

7.2 Oikosulkusuojaus

Seuraavaksi on esitetty oikosulkusuojauslaskennan tulokset, joista ilmenee kolmi- ja kaksivaiheiset oikosulkuvirtojen minimi- ja maksimiarvot sähköasemilta lähdöittäin. Taulukot on esitetty asemilta, joissa oikosulkusuojaus ei tällä hetkellä toteudu. Oikosulkusuojaus on kunnossa seuraavilla asemilla Virrat, Heinäaho, Ähtäri, Inha, Killinkoski, Ritari ja Kotala.

Toopakan sähköasemalla muutamalla lähdöllä ilmenee ongelmia oikosulkusuojauksen kanssa jotka on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Toopakka sähköaseman oikosulkuvirrat

Lähtö	$\frac{3 \sim_{max}}{[kA]}$	$\frac{3 \sim_{min}}{[kA]}$	$\frac{2 \sim_{max}}{[kA]}$	$\frac{2 \sim_{min}}{[kA]}$
Inha	3,16	0,59	2,73	0,46
Kitula	3,16	0,86	2,73	0,74
Pollari	3,16	0,63	2,73	0,55
Töysä KK	3,16	1,35	2,73	1,17
Virtala	3,16	0,61	2,73	0,52
Ähtäri	3,16	1,07	2,73	0,85

Kitulan lähdössä mp 8044 ja mp 8109 haarat ovat oikosulkukestottomia. Samoin myös Virtalan lähdössä mp 8041 haara on oikosulkukestoton. Nämä haarat vaativat muutostoimenpiteitä joita on käsitelty omassa luvussaan.

7.3 Maasulkusuojaus

Maasulkulaskennan tulokset osoittivat, että KSS:n jakeluverkossa maasulkusuojaus on jokaisella asemalla kunnossa tämän hetkiselällä verkon tilalla. Tämä asia ei vaadi syvempiä tarkasteluita.

8 SÄHKÖASEMIEN TULEVAISUUDEN TILANNE

Sähköasemien kapasiteetin riittävyttä vuonna 2015 on tarkasteltu tässä luvussa. Laskelmissa on käytetty hyväksi edellisissä luvuissa tekemiä ennusteita KSS:n verkon kehitykselle. Tulevaisuuden tilanteen ennustaminen 10 vuoden aikajaksolla ei ole välttämättä riittävän tarkka, vaan enemmänkin se on suuntaa antava. Kasvu ja kehitys eivät ole lineaarista, vaan siihen vaikuttaa monet asiat.

Tässä laskennassa on muutettu parametreja Integra- ohjelmaan aikaisempien ennusteitten perusteella. Parametri, jolla on eniten vaikutusta, on kuormituksen kasvuprosentti. Tätä arvoa muutettiin jokaisen eri tilanteen mukaan, muuten käytettiin samoja kuormituskäyriä. Kasvuprosentteina käytetään 1,5 %, 2,5 %, 3,5 %. Sähköasemien eri lähdöt on otettu huomioon siinä, minkä tyyppinen kulutus suurimmalta osin vaikuttaa lähdössä, eli taajamassa on korkeampi prosentti kuin maaseudulla.

Lähdöille ei voinut yksistään antaa eri kuorman kasvuprosentteja, joten ne otettiin huomioon niin, että tarkasteltiin tilannetta kolmella eri skenaariolla. Jokaisella näillä lasketaan verkon tilanne kymmenen vuoden päähän, eli vuoteen 2015. Taajamälähdöt näkyvät taulukossa 18.

Taulukko 13. Taajamalähdöt sähköasemilta

Asema	Lähtö
Virrat	Ahjola
Virrat	Purula
Virrat	Tapiola
Heinäaho	Autio
Heinäaho	Virrat
Ähtäri	Ähtäri-pohjoinen
Ähtäri	Ähtäri-etelä
Ähtäri	Tankki
Inha	Fiskars
Inha	Vääräkoski
Killinkoski	Inka
Toopakka	Töysä kk

Muut lähdöt ovat saaneet maaseutu parametrit

8.1 Kasvuprosentti 1,5 %

Vuosittaisen kasvuprosentin ollessa 1,5 % tilanne näyttää hyvältä sähköasemien osalta. Ainoastaan Virtain sähköaseman Kotalan lähdön Yltiän perällä jännitteenalenema kasvaa liian suureksi vuoteen 2015 mennessä, kuten taulukossa 14 on esitetty. Kotalan lähdön jännitteenaleneman suuruus oli jo selvillä kun tarkasteltiin luvussa 7.1 sähköasemien nykytilannetta. Johdon vahventaminen ja muutostoimenpiteet tulevat kyseeseen jo vuoden sisällä ja sitä on alettu KSS:llä suunnittelemaan. Muutostoimenpiteet on esitetty myöhemmässä luvussa.

Taulukko 14. 1,5 % kasvulla jännitteenalenemat ja tehot vuonna 2015 Virtain sähköasemalla

Lähtö	$\frac{P_h}{[kW]}$	$\frac{W_h}{[MWh]}$	$\frac{K_h}{[€]}$	$\frac{U_h}{[%]}$	$\frac{U_{min}}{[kV]}$	$\frac{I_k}{[A]}$	$\frac{P_k}{[MW]}$
Ahjola	6	18	827	0,32	20,52	44	1,53
Heinäaho	3	8	391	0,35	20,53	53	1,84
Jäähdytys	3	7	375	0,61	20,47	18	0,64
Killi	20	38	2133	3,01	19,98	29	1,03
Kotala	87	151	8880	5,78	19,41	73	2,54
Purula	5	14	640	0,33	20,53	46	1,57
Tapiola	25	9	467	0,43	20,51	41	1,41
Vaskivesi	18	60	2937	3,15	19,95	31	1,10

8.2 Kasvuprosentti 2,5 %

Kasvuprosentin ollessa 2,5 %, niin silloin Virtain sähköaseman Kotalan lähdön ja Kotalan jakoasemalta Pihlajaveden suunnan Yltiän perällä jännitteenalenema kasvaa liian suureksi. Jännitteenalenema on 6,43 % jo viidentenä tarkasteluvuotena eli 2010. Samalla myös Heinäahon sähköasemalta Kihniön lähdön jännitteenalenema nousee yli KSS:n asettaman rajan. Tulokset on esitetty taulukoissa 15 ja 16. KSS pyrkii pitämään jännitteenaleneman keskijänniteverkossa maksimissaan 5 %:ssa.

Kotalan lähdön jännitteenalenema on jo nykytilanteessa 5,01 %. Kuten edellä on todettu, niin tälle johtolähdölle ollaan suunnittelemassa muutoksia ja vahvennuksia. Tarkastelujakson loppupuolella Heinäahon sähköasemalta Kihniön lähdön jännitteenalenema on johto-osuuden loppupuolella 5,53 %. Kahdeksantena tarkasteluvuotena eli 2013 jännitteenalenema nousee yli 5 %. Johto-osuutta on suunniteltu siirrettäväksi tien varteen ja samalla tarkastetaan muut mahdolliset muutokset kuten johdintyyppi ja paksuus.

Taulukko 15. 2,5 % kasvulla jännitteenalenemat ja tehot vuonna 2015 Virtain sähköasemalla

Lähtö	$\frac{P_h}{[kW]}$	$\frac{W_h}{[MWh]}$	$\frac{K_h}{[€]}$	$\frac{U_h}{[%]}$	$\frac{U_{min}}{[kV]}$	$\frac{I_k}{[A]}$	$\frac{P_k}{[MW]}$
Ahjola	7	22	1005	0,43	20,51	56	1,96
Heinäaho	3	10	477	0,43	20,51	70	2,36
Jäähdys	4	9	457	0,79	20,44	24	0,82
Killi	24	46	2604	3,89	19,80	38	1,32
Kotala	107	185	10866	6,43	19,28	80	5,80
Purula	6	17	780	0,43	20,51	59	2,01
Tapiola	6	11	621	0,56	20,49	53	1,81
Vaskivesi	30	69	3585	4,08	19,76	41	1,41

Taulukko 16. 2,5 % kasvulla jännitteenalenemat ja tehot vuonna 2015 Heinäähön sähköasemalla

Lähtö	$\frac{P_h}{[kW]}$	$\frac{W_h}{[MWh]}$	$\frac{K_h}{[€]}$	$\frac{U_h}{[%]}$	$\frac{U_{min}}{[kV]}$	$\frac{I_k}{[A]}$	$\frac{P_k}{[MW]}$
Autio	16	45	2147	0,75	20,45	96	3,29
Kihniö	73	131	7543	5,53	19,46	64	2,22
Kurjenkylä	20	35	2044	2,97	19,99	30	1,05
Ritari	10	29	1354	1,85	20,22	29	1,02
Äijänneva	15	27	1531	3,01	19,98	25	0,87

8.3 Kasvuprosentti 3,5 %

Kuorman kasvuprosentin ollessa 3,5 %, myös Kotalan jakoaseman Killinkosken suunnan jännitteen alenema ylittää sallitun rajan. Muita ovat edellisissä luvuissa mainitut Pihlajaveden ja Kihniön suunta.

Taulukko 17. 3,5 % kasvulla jännitteenalenemat ja tehot vuonna 2015 Virtain sähköasemalla

Lähtö	$\frac{P_h}{[kW]}$	$\frac{W_h}{[MWh]}$	$\frac{K_h}{[€]}$	$\frac{U_h}{[%]}$	$\frac{U_{min}}{[kV]}$	$\frac{I_k}{[A]}$	$\frac{P_k}{[MW]}$
Ahjola	8	27	1222	0,49	20,50	62	2,16
Heinäaho	4	12	580	0,46	20,50	77	2,60
Jäähdytys	4	11	557	0,88	20,42	26	0,91
Killinki	30	56	3174	4,30	19,72	42	1,45
Kotala	130	225	13256	7,12	19,13	89	3,09
Purula	7	20	949	0,48	20,50	65	2,22
Tapiola	7	14	755	0,61	20,47	58	1,99
Vaskivesi	37	84	4371	4,51	19,67	45	1,55

Taulukko 18. 3,5 % kasvulla jännitteenalenemat ja tehot vuonna 2015 Heinäähön sähköasemalla

Lähtö	$\frac{P_h}{[kW]}$	$\frac{W_h}{[MWh]}$	$\frac{K_h}{[€]}$	$\frac{U_h}{[%]}$	$\frac{U_{min}}{[kV]}$	$\frac{I_k}{[A]}$	$\frac{P_k}{[MW]}$
Autio	19	55	2614	0,76	20,44	106	3,62
Kihniö	88	159	9193	6,13	19,34	71	2,45
Kurjenkylä	24	43	2492	3,28	19,92	33	1,16
Ritari	12	35	1867	2,05	20,18	3	1,12
Äijänneva	18	32	1867	3,34	19,91	27	0,95

8.4 Muutostoimenpiteet

8.4.1 Johto-osuuksien vahventaminen

Ennusteitten perusteella todennäköisin kehitys sähkökäytölle tulevaisuudessa aina vuoteen 2015 on maaseudulla 1,5...2 % ja taajamissa 3 % vuosittain. Tämän mukaan tehdyt muutokset verkon tietyille johto-osuuksille parantavat verkon kuvaa ja jännitetasoa tulevaisuudessa. Pahimmat tapaukset tarkasteluajanjakson 10 vuoden aikana jännitteenaleneman perusteella syntyvät Kotalan jakoaseman Pihlajaveden lähdön loppuhaaralla ja Heinäahon sähköaseman Kihniön lähdön loppuosalla.

Pihlajaveden suunnan vahventaminen tulee kyseeseen jo vuoden sisällä. Tarkoituksena on vahventaa Virtain sähköasemalta Kotalan jakoaseman suuntaan lähtevää runkojohtoa. Taulukossa 19 on esitetty muutostoimenpiteet kyseiselle johto-osuudelle. Ensimmäisen kahden vuoden sisällä pitää vahventaa Virtain sähköasemalta Kotalan lähtöä muuntajalle M3013 asti. Kyseinen matka on noin 2,4 km. Nykyinen AS62 vaihdetaan AA132. Viidentenä vuonna vahvennetaan muuntajalta 3013 Talasjärven erottimelle 3713 saakka ja vaihdon pituus on noin 1,6 km.

Taulukko 19. Muutostoimenpiteet jakeluverkolle

Tarkasteluvuosi	Vanha johto	Uusi johto	Mistä	Minne
0-2	AS62	AA132	Virrat SA.	M3013
5	AF62	AA132	M3013	Erotin 3713 Talasjärvi

Heinäahon sähköasemalta Kihniön suuntaan ollaan tekemässä verkostoon muutoksia. Typpylän muuntajalta 4105 rakennetaan uutta 20 kV linjaa (Pigeon-johto) tien viereen aina muuntajalle 4129 saakka. Matka lyhentyy ja johdinaine vaihtuu johtavuusominaisuuksiltaan parempaan. Kyseiselle paikalle rakennetaan myös uusi kauko-ohjattava erotinasema. Näillä toimenpiteillä saadaan sekin suunta pidettyä KSS:n hyväksymissä rajoissa jännitteenaleneman kohdalla.

Näillä toimenpiteillä varmennetaan KSS:n jakeluverkon toimivuus normaalitilanteissa koko jakeluverkon alueella aina vuoteen 2015 asti. Jos sähkönkulutus kasvaa 2,5 % tai 3,5 % vuosittaisella kehityksellä, tällöin tulee kyseeseen taulukoitten 20 ja 21 mukaiset muutostoimenpiteet.

Taulukko 20. Muutostoimenpiteet kun kasvu 3,5 %

Tarkasteluvuosi	Vanha johto	Uusi johto	Mistä	Minne
0-2	AS62	AA132	Virrat SA.	M3013
5	AF62	AA132	M3013	3178 Simosen Er. As.

Taulukko 21. Muutostoimenpiteet kun kasvu 3,5 %

Tarkasteluvuosi	Vanha johto	Uusi johto	Mistä	Minne
0-2	AS62	AA132	Virrat SA.	M3013
5	AF62	AA132	M3013	3178 Simosen Er. As
8	AF62	AA132	3178	Kotalan jakoasema

Sähköasemien muuntajien kuormitukset vuonna 2015 on esitetty alla olevassa taulukossa 22. Muuntajien kuormituskapasiteetti riittää hyvin tulevaisuudessa.

Taulukko 22. Muuntajien kuormitus tarkastelujakson lopussa

Sähköasema	Kuormitus		
	MW	MW	MW
Ritari	2,7	3,0	3,3
Heinäaho	7,7	8,4	9,3
Virrat	13,1	14,5	22,0
Toopakka	6,3	7,0	7,7
Killinkoski	3,4	3,7	4,1
Ähtäri	9,8	10,5	11,9
Inha	6,0	8,9	9,8
Kasvuprosentti	1,50 %	2,50 %	3,50 %

8.4.1 Kondensaattorin lisääminen

Pihlajaveden suunnan jännitteenalenema saataisiin pidettyä sallituissa rajoissa, vaikka kulutuksen kehitys olisi 1,5...3,5 %, lisäämällä Ahtaansalmen erotinasemalle 1 Mvar kondensaattori. Tällä toimenpiteellä voitaisiin lykätä johto-osuuksien vahventamista muutamalla vuodella. Kyseessä on rinnakkaiskondensaattori jolla kompensoitaisiin verkon loistehoa ja samalla saataisiin nostettua jännitettä.

KSS:llä on yksi 600 Kvar kondensaattori käyttämättömänä. Ottamalla tämä hyötykäyttöön ja lisäämällä se Ahtaansalmen erotinasemalle, voidaan edellä mainittuja johto-osuuksien vahventamista siirtää myöhemmälle ajankohdalle.

Kasvukehityksen ollessa 1,5 % ei vahvennuksia tarvitse verkkoon investoida. Kehityksen ollessa suurempaa, joudutaan suunnittelemaan vahvennuksia. Alla olevissa taulukoissa 23 ja 24 on esitetty ajankohdat ja toimenpiteet, kun verkkoon on lisätty 600 Kvar kondensaattori.

Taulukko 23. Toimenpiteet kun kehityksen kasvu on 2,5 %

Tarkasteluvuosi	Vanha johto	Uusi johto	Mistä	Minne
0-1	-	Kondensaattori 600 kVar	-	Ahtaansalmen Er. As
8	AS62	AA132	Virrat SA.	M3013

Taulukko 24. Toimenpiteet kun kehityksen kasvu on 3,5 %

Tarkasteluvuosi	Vanha johto	Uusi johto	Mistä	Minne
0-1	-	Kondensaattori 600 kVar	-	Ahtaansalmen Er. As
6	AS62	AA132	Virrat SA.	M3013
8	AF62	AA132	M3013	3178 Simosen Er. As
9	AF62	AA132	3178	Kotalan jakoasema

9 SÄHKÖASEMIEN VARASYÖTTÖTILANTEEET

KSS:llä on sähköasemien varasyöttötilanteeseen tehty jo ennalta varasyöttösuunnitelmat ja kuinka toimitaan tilanteen tapahtuessa. Päämuuntajavaurion sattuessa, ohjaukset voidaan suorittaa kaukokäyttö erottimilla ja vioittunutta sähköasemaa voidaan syöttää toisella asemalla. Myös muuntajan kuormituksia voidaan jakaa käyttämällä kauko-ohjattavia erottimia.

20 kV:n kiskostovian sattuessa, mikä on pahin mahdollinen tilanne, joudutaan tekemään huomattavia muutoksia verkon kytkentätilanteeseen. Vain osa tarvittavista muutoksista pystytään suorittamaan kauko-ohjattavilla erottimilla. Kiskostovian tapahtuessa täytyy kyseinen sähköasema erottaa kokonaan verkosta. Tarkoitukseni on tarkastaa kyseiset varasyöttötilanteet ja sähköasemien kapasiteetin riittävyys ja verkon jännitetason säilyminen nykytilanteella ja tulevaisuudessa päämuuntajavaurion tai 20 kV:n kiskostovian sattuessa.

Varasyöttö tilanteissa tarkastelun kohteena on lähinnä jännitteenalenema, joka on pidettävä asetetuissa rajoissa. Näissä tilanteissa on miltei mahdotonta päätyä tilanteisiin, joissa jännitteenalenema pysyisi normaalitilanteen sallimissa rajoissa eli alle 5 % jokaisen lähdön latvalla. Vikatapauksissa on pääasia, että tärkeimmille kohteille saadaan pidettyä sähkönsyöttö mahdollisimman vakaana. Pitkillä johtosuoksilla saattaa varasyöttötilanteissa jännitteen laatu olla heikkoa verkon latvoilla, mutta kyseiset tilanteet eivät ole jatkuvia ja ne pyritään mahdollisimman nopeasti korjaamaan. Oikosulku- ja maasulkusuojaus eivät kaikilta osin täytä määräysten edellyttämiä vaatimuksia. Tietenkin pyritään siihen, että koko verkko olisi toimintakykyinen ja kaikki asiakkaat saisivat sähkönsä.

Vikatapauksissa tapahtuvia jännitetason notkahduksia voidaan välttää ja ennalta ehkäistä, kun tehdään tarvittavia toimenpidemuutoksia. Seuraavissa luvuissa on käsitelty kuinka eri sähköasemat korvataan 20 kV:n kiskostovian tapahtuessa.

9.1 Virtain sähköasema

Virtain sähköaseman korvauskytkennässä kuormat kytketään Heinäahon ja Killinkosken sähköasemien sekä Kotalan jakoaseman perään. Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Sipilän perällä ja Jäähdyksessä ollen 7,5 %. Heinäahon sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 12,2/(16) MW ja Killinkosken sähköaseman päämuuntajan kuormitus 4,7/(5) MW.

2 % kasvulla vuonna 2015

Edellä mainitut korvauskytkennät toimivat vielä tässäkin tilanteessa tarkastelujakson lopussa. Suurimmat jännitehäviöt syntyvät Sipilän perällä ja Jäähdyksessä ollen 8,5 %. Heinäahon sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 14,2/(16) MW ja Killinkosken sähköaseman päämuuntajan kuormitus 5,5/(5) MW.

9.2 Heinäahon sähköasema

Heinäahon sähköaseman korvauskytkennässä kuormat kytketään Virtain ja Ritarin sähköasemien perään. Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Vermaalla ja Kurjenkylässä ollen 6 %. Virtain sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 15,1/(16) MW ja Ritarin sähköaseman päämuuntajan kuormitus 3,3/(10) MW.

Virtain sähköasemalla on kaksi muuntajaa PM1 ja PM2. PM1 on kolmikäämimuuntaja ja normaalitilanteessa se syöttää 45 kV verkkoa. Normaalitilanteessa 20 kV kytkinlaitoksen kiskoston pitkittäiserotin on kiinni-asennossa ja päämuuntajalta PM1 tulevan syötön katkaisija on auki-asennossa. Varasyöttötilanteessa kiskoston pitkittäiserotin avataan ja päämuuntajalta PM1 tulevan syötön katkaisija suljetaan. Näiden toimenpiteiden jälkeen PM1 syöttää kytkinlaitoksen kiskoston toista puolikasta (=käytävän eri puolia) ja PM2 toista puolikasta.

2 % kasvulla vuonna 2015

Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Vermaalla ja Kurjenkylässä ollen 7,1 % luokkaa. Virtain sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 17,5/(16) MW ja Ritarin sähköaseman päämuuntajan kuormitus 3,9/(10) MW

9.3 Ähtärin sähköasema

Ähtärin sähköaseman korvauskytkennässä kuormat kytketään Inhan ja Toopakan sähköasemien perään. Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Lavikossa 3,5 %. Inhan sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 13,6/(16) MW ja Toopakan sähköaseman päämuuntajan kuormitus 6,1/(10) MW.

2 % kasvulla vuonna 2015

Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Lavikossa 4,5 %. Inhan sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 15,8/(16) MW ja Toopakan sähköaseman päämuuntajan kuormitus 7,1/(10) MW.

9.4 Inhan sähköasema

Ähtärin sähköaseman korvauskytkennässä kuormat kytketään Ähtärin, Killinkosken ja Toopakan sähköasemien perään. Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Inhan-tehtailla ja Lavikossa 6,0 %. Ähtärin sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 11,3/(16) MW, Killinkosken 3,9/(5) MW ja Toopakan sähköaseman päämuuntajan kuormitus 5,7/(10) MW. Väliaikaisesti voidaan Fiskars lähdön perään siirtää muitakin kuluttajia.

2 % kasvulla vuonna 2015

Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Inhan-tehtailla 7,7 % ja Lavikossa 7,3 %. Ähtärin sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 13,2/(16) MW, Killinkosken 4,5/(5) MW ja Toopakan sähköaseman päämuuntajan kuormitus 9,0/(10) MW.

9.5 Toopakan sähköasema

Toopakan sähköaseman korvauskytkennässä kuormat kytketään Ähtärin, Inhan ja Ritarin sähköasemien perään. Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Virtalan ja Ritolan suunnalla 3,3 %. Ähtärin sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 13,0/(16) MW, Inha 6,6/(16) MW ja Ritari 2,3/(10) MW.

2 % kasvulla vuonna 2015

Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Virtalan ja Ritolan suunnalla 3,8 %. Ähtärin sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 15,1/(16) MW, Inha 7,7/(16) MW ja Ritari 2,7/(10) MW.

9.6 Killinkosken sähköasema

Killinkosken sähköaseman korvauskytkennässä kuormat kytketään Virtain, Inhan ja Ritarin sähköasemien perään. Killinkosken tuotanto pystytään syöttämään 45 kV verkkoon normaalisti, ellei kojeiston vaurio riko myös voimalaitoksen laitteita. Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Inkalla ja Simsiön suunnalla 5,7 %. Virtain sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 11,5/(16) MW, Inha 7,6/(16) MW ja Ritari 2,3/(10) MW.

2 % kasvulla vuonna 2015

Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Inkalla ja Simsiön suunnalla 6,6 %. Virtain sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 13,4/(16) MW, Inha 8,8/(16) MW ja Ritari 2,7/(10) MW.

9.7 Ritarin sähköasema

Ritarin sähköaseman korvauskytkennässä kuormat kytketään Heinäahon ja Killinkosken sähköasemien perään. Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Timanttimaalla 7,9 % ja Taipaleenjärvellä 8,4 %. Heinäahon sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 7,9/(16) MW, Kilinkoski 3/(5) MW.

2 % kasvulla vuonna 2015

Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Timanttimaalla 9,2 % ja Taipaleenjärvellä 9,9 %. Heinäahon sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 9,2/(16) MW ja Kilinkoski 3,4/(5) MW.

9.7 Kotalan jakoasema

Kotalan jakoaseman korvauskytkennässä kuormat kytketään Virtain, Killinkosken ja Inhan sähköasemien perään. Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Simsiön perällä 5,7 %. Virtain sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 10,1/(16) MW, Kilinkoski 3,5/(5) MW ja Inha 7,6/(16)MW.

2 % kasvulla vuonna 2015

Suurimmat jännitehäviöt syntyvät tällöin Simsiön perällä 6,7 %. Virtain sähköaseman päämuuntajan kuormitus on korvaustilanteessa 11,6/(16) MW, Kilinkoski 4,1/(5) MW ja Inha 8,8/(16)MW.

Varasyöttö tilanteissa pystytään tällä hetkellä ja tulevaisuudessa, jos vuosittainen kasvuprosentti on 1,5-2 %, suorittamaan edellä mainitut korvauskytkennät. Muuntajien kapasiteetit riittävät ja jännitteenalenemat pysyvät sallituissa rajoissa. Joillain asiakkailta saattaa hetkellisesti pj-verkon loppupäässä, jännitteenalenema kasvaa yli 10 %:n. Kasvuprosentin ollessa suurempi kuin 2 %, niin tällöin tulee tilanteita jolloin muuntajien kapasiteetit eivät riitä ja näin ollen joudutaan verkon kuvaa muuttamaan aikaisemmista ohjeista.

10 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n kulutuksen jakautumista eri osaluueille, selvitettiin jakeluverkon nykytila ja laadittiin vuoteen 2015 ulottuva sähkön kulutusennuste jakelualueella. Samalla tutkittiin verkon kapasiteetin riittävyys sähköasemalla päämuuntajavaurion tai 20 kV:n kiskostovian sattuessa.

Nykytilanteessa jakeluverkko täyttää nykyisten kuormitusten asettamat vaatimukset. Ennusteita ja analyysejä tehtäessä käytettiin hyväksi 25 vuoden aikaisia sähkön kulutuksen tilastoja. Kulutuksen kehityksestä tehtiin kolme eri skenaariota, joiden mukaan kehitystä tapahtuu vuoteen 2015. Koskaan ei voi olla täysin varma, kuinka lopullinen kehitys tapahtuu, kun vaikuttavia tekijöitä on monta. Jakeluverkko ei kehity tasaisesti niin, että jokaisessa kulutuskohteessa tehot kasvaisivat vuosien varrella. Todennäköisintä on, että kulutus kasvaa taajamalähdöissä runsaammin. Myös maaseutulähdöillä, joiden haarojen perällä on runsaasti vapaa-ajanasuntoja, kasvun kehitys on jyrkempää kuin muissa tapauksissa.

Tehtiin kolme ennusteskenaariota ja tutkittiin, kuinka sähkönkulutus kehittyy KSS:n jakeluverkossa vuoteen 2015. Kaikilla skenaarioilla tarkasteltiin jakeluverkon tilaa ja sähköasemien päämuuntajien kuormituskapasiteetin riittävyttä vuosittain.

Verkossa joudutaan tekemään muutamille johto-osuuksille vahvennuksia tarkastelukauden aikana. Jokaisessa tapauksessa esille tuli kaksi kohdetta, joissa jännitteenalenema kasvoi liian suureksi. Kyseiset kohteet olivat Pihlajaveden loppuosa ja Kihniön perä. Esitetyillä toimenpiteillä saadaan verkon tila pidettyä kunnossa tulevaisuudessakin normaalissa syöttötilanteessa. KSS:llä on yksi 600 kvar kondensaattori ylimääräisenä tällä hetkellä. Kondensaattorin siirtäminen Ahtaansalmen erotinasemalle ja kytkeminen verkkoon pienentää jännitteenalenemaa Pihlajaveden suunnalla. Kyseisen toimenpiteen ansiosta voitaisiin lykätä muutamalla vuodella myöhemmäksi johto-osuuksien vahvennuksia.

Sähköasemalla päämuuntajavaurion sattuessa, voidaan varasyöttö kyseiselle asemalle järjestää nopeasti. Varasyöttö saadaan tekemällä tarvittavat muutokset verkkoon kaukokäyttöerottimilla. Sähköasemien muuntajat kuormitukset ovat tällä hetkellä mitoitettu niin, että edellä mainitut toimenpiteet voidaan suorittaa ylikuormittamatta varasyöttöön osallistuvien asemien muuntajia. Myös tulevaisuudessa, verkon kasvaessa, päämuuntajavaurion sattuessa pystytään suorittamaan korvauskytkennät varasyöttötilanteessa.

20 kV:n kiskostovian sattuessa tilanne on hankalampi. Vian sattuessa joudutaan verkon kuvaa nykyisestä muokkaamaan enemmän. KSS:llä on ohjeet valvomossa kiskostovikatapauksiin. Vioittuneiden sähköasemien kuormia ei siirretä yhden sähköaseman perään, vaan jaetaan kuormat useamman terveen aseman kesken. Kaukokäyttöerottimilla saadaan osa kuormista jaettua, mutta loput täytyy suorittaa manuaalisesti käsin. Jännitteenalenemat näissä tilanteissa kasvavat joissakin paikoissa yli 5 %:n joka on KKS:n asettama raja.

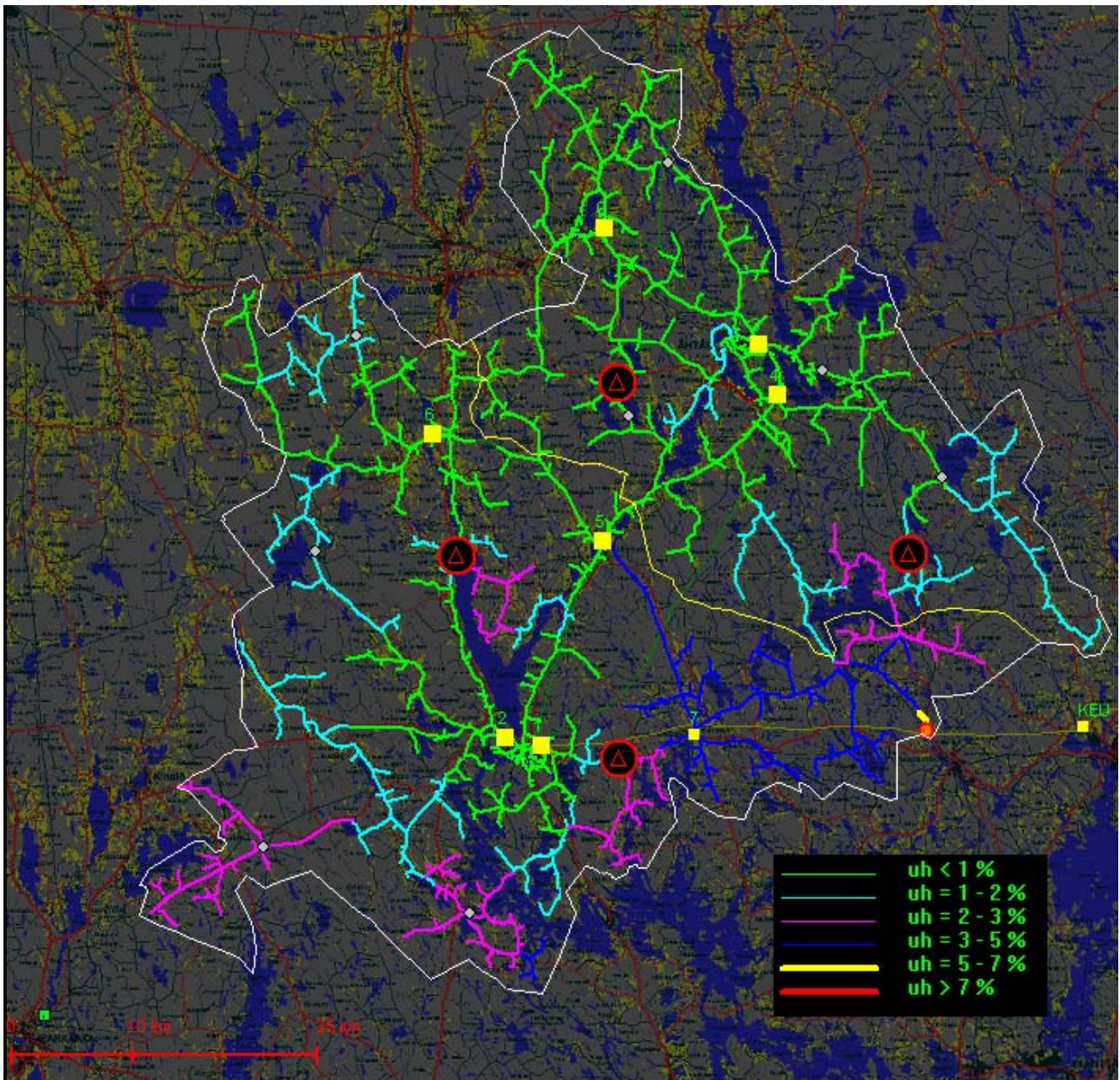
Kyseiset korvauskytkennät toimivat myös tulevaisuudessa, aina 2,5 % prosentin vuosittaisella kasvulla vuoteen 2015 saakka. Tämä edellyttää sitä, että verkkoon tehdään ehdotetut muutostoimenpiteet ajallaan. Sähköasemien päämuuntajien kuormitukset eivät kasva liian suuriksi lukuun ottamatta yhtä sähköasemaa.

Virtain asemalla muuntajan kuormitus ylittyy. Sähköasemalla on kaksi muuntajaa, toinen niistä on kolmikäämimuuntaja, joka syöttää 45 kV verkkoa. Vikatilanteen sattuessa tilanne saadaan korjattua, kun osa PM2 kuormituksesta jaetaan PM1 yhden käämin perään.

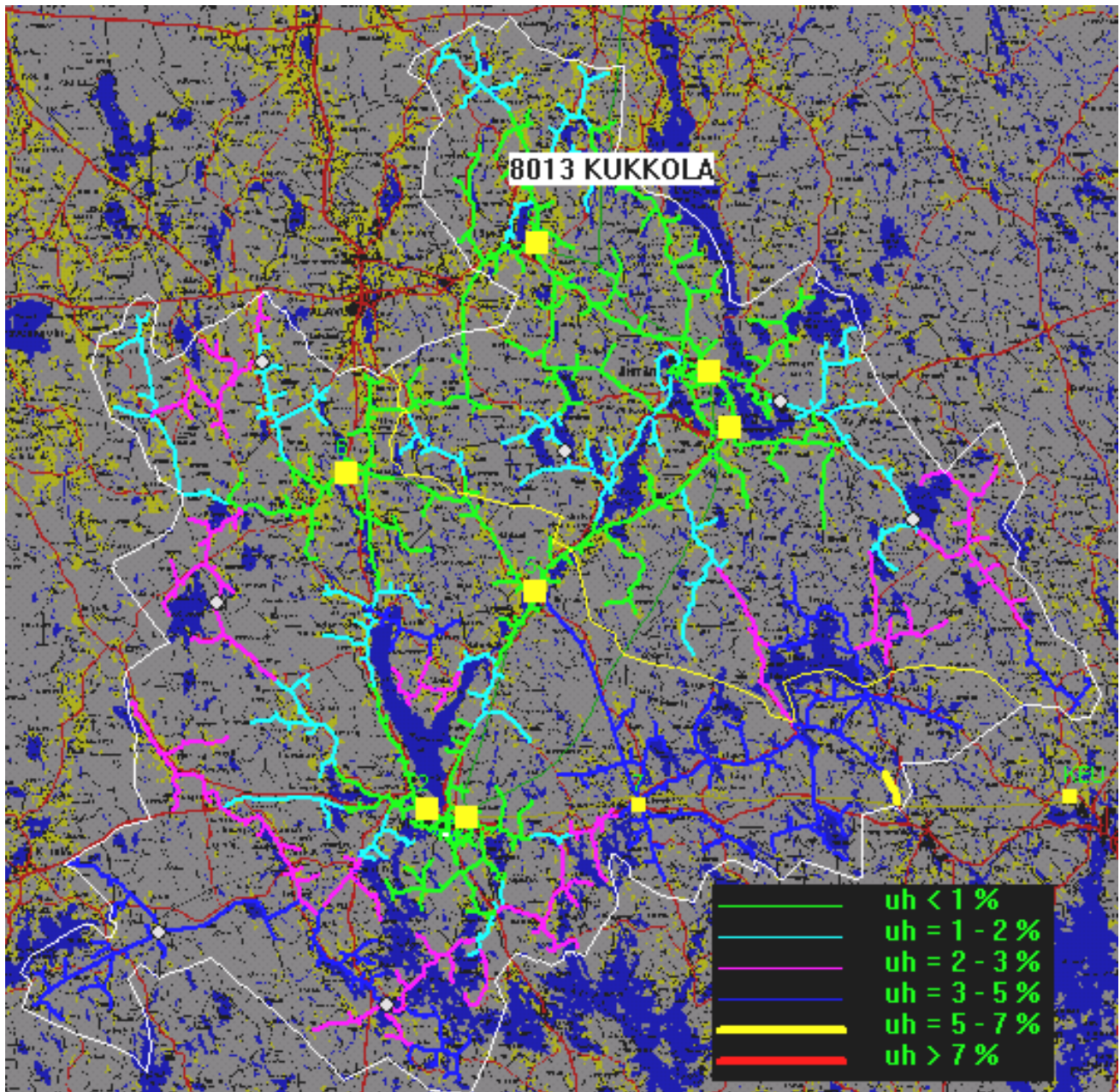
Verkossa on muutama kyseenalainen kohta joilla on huomattava vaikutus verkon kuormitukseen. Pihlajaveden lähdön loppupäässä olevan kyllästyksen toiminta, on huomattava tekijä sillä suunnalla. Tulevaisuus tulee osoittamaan, näiden tehtaitten kehitys suunnan.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Koillis-Satakunnan Sähkö Oy vuosikertomus 2005.
- /2/ ABB TTT- käsikirja 2000-07
- /3/ Sähkömarkkinalaki
- /4/ Aura Lauri – Tonteri Antti J., Sähkölaitostekniikka, WSOY, Porvoo 1993.
- /5/ A4-1993, Vahvavirtailmajohdomääräykset, Sähkötarkastuskeskus 1993, 102 s.
- /6/ SFS 6001, Suurjännitesähköasennukset, Suomen standardoimisliitto ry 2001, 118 s.
- /7/ ABB Open++ Integra manuaali
- /8/ Elovaara Jarmo – Laiho Yrjö, Sähkölaitostekniikan perusteet, Otatiето Oy, Helsinki 1988.
- /9/ Lakervi Erkki, Sähkönjakeluverkon suunnittelu, Otatiето Oy, Helsinki 1996.
- /10/ Aura Lauri – Tonteri Antti J., Sähkölaitostekniikka, WSOY, Porvoo 1993.



Kuva 13.20 kV jakeluverkon nykytilanne ja jännitteenalenemat



Kuva 14. Jakeluverkon tila ja jännitteenalenemat vuonna 2015, tehtyjen muutostoimenpiteitten jälkeen.