

Tornionlaakson Sähkö Oy:n 20 kV keskijänniteverkon kauko-
ohjattavien erottimien ja maastokatkaisijoiden toimivuus sekä
johtolähtöjen vika-alttiuden selvittäminen

Mikko Rautio

Sähkötekniikan opinnäytetyö
Tuotantopainotteinen sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2013

ALKUSANAT

Haluaisin kiittää hyvistä neuvoista opinnäytetyöni ohjaajaa Antero Martimoa sekä Tornionlaakson Sähkö Oy:n toimitusjohtajaa Heikki Hukkasta, käyttöpäällikkö Kauko Sitomaniemeä ja verkostosuunnittelija Hannu Koskea.

Rovaniemellä 15.8.2013

Mikko Rautio

TIIVISTELMÄ

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikka

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyön tekijä:	Mikko Rautio
Opinnäytetyön nimi:	Tornionlaakson Sähkö Oy:n 20 kV keskijänniteverkon kauko-ohjattavien erottimien ja maastokatkaisijoiden toimivuus sekä johtolähtöjen vika-alttiuden selvittäminen
Sivuja:	77
Päiväys:	15.8.2013
Opinnäytetyön ohjaaja:	Ins. Antero Martimo
<p>Opinnäytetyössä käsiteltiin Tornionlaakson Sähkö Oy:n 20 kV keskijänniteverkon kauko-ohjattavia erottimia ja maastokatkaisijoita. Tavoitteena oli selvittää olemassa olevien laitteiden kannattavuutta niiden sijaintikohteissa.</p> <p>Keskeisiä käsitteitä olivat luotettavuuslaskennan, taloudellisuuslaskennan ja sähköverkon teknisen laskennan periaatteet. Johtolähtöjen keskimääräinen vuotuinen teho ja vikataajuus liittyivät olennaisesti opinnäytetyön tehtävään.</p> <p>Työn tekemiseen tarvittavat teoriatiedot hankittiin alan kirjallisuudesta. Verkkoyhtiön jakeluverkon tiedot olivat verkkotietojärjestelmästä. Luotettavuuslaskennan edellyttämät vikatiedot olivat verkkoyhtiön keskeytystilastoista. Työssä käytiin aluksi läpi jakeluverkkoyhtiön toiminnassa vaadittavia teoreettisia tietoja. Seuraavaksi käsiteltiin jakeluverkkoyhtiön verkkotietoja ja lopuksi laskettiin toimittamatta jääneen sähköön avulla laitteiston vuotuista kannattavuutta.</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin vika-alttiit johtolähdöt ja olemassa olevien kauko-ohjattavien erottimien ja verkkokatkaisijoiden toimivuus. Varsinainen teknistaloudellinen vertailu jäi puuttumaan ohjeistuksen vuoksi. Kuitenkin tätä opinnäytetyötä voidaan hyödyntää jatkossa arvioidessa keskijänniteverkkoon sijoitettavia kauko-ohjattavia erottimia ja verkkokatkaisijoita.</p>	
Asiasanat: sähkökatko, vikataajuus, taloudellisuus.	

ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Engineering

Degree programme:	Electrical Engineering
Author:	Mikko Rautio
Thesis title:	Functionality of the remote controlled disconnectors and circuit breakers of the 20kV medium voltage power grids and the failure rate of the substation power outlets in Tornionlaakson Sähkö Oy.
Pages:	77
Date:	15 August 2013
Thesis instructor:	Antero Martimo Eng.
<p>In the thesis, the remote controlled disconnectors and circuit breakers of the 20kV medium voltage grid in Tornionlaakson Sähkö Oy were processed. The priority was to clarify the cost-effectiveness of the existent appliances in their locations.</p> <p>Crucial terms were the principles of the reliability-, cost-effectiveness- and technical calculations. The average yearly power and fault frequency of the medium voltage lines were a substantial part of the thesis work.</p> <p>The theory of the thesis was acquired from the literature in the professional field. The power line information was found in the grid information system of the distribution company. The fault information demanded in the reliability calculation is from the interruption statistics of the distribution company. At the beginning, the theory needed in the operation of the distribution company was studied in the thesis. After that, the power line information of the distribution company was processed and finally the yearly profitability of the equipment was calculated using the amount of the undelivered electricity as the basis.</p> <p>In the thesis, the fault exposed medium voltage lines and functionality of the existent remote controlled disconnectors and circuit breakers were examined. Because of the missing instructions, the work does not include any essential technical cost-effectiveness comparison. However, this thesis can be utilized in the future when evaluating disconnectors and circuit breakers placed to the medium voltage grid.</p>	
Keywords: power failure, fault frequency, economy.	

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO.....	7
2 SÄHKÖNJAKELUVERKOT SUOMESSA.....	8
2.1 Jakeluverkkoliiketoiminta	8
2.2 Jakeluverkkoyhtiön talous	10
2.3 Jakeluverkosto-omaisuuden hallinta.....	11
2.4 Jakeluverkon käyttöprosessi	14
2.5 Käyttöprosessin työvälineet.....	16
2.6 Jakeluverkkojen tekninen laskeminen	19
2.7 Jakeluverkon taloudellinen laskeminen.....	27
2.8 Sähköverkon luotettavuuden laskeminen	29
2.9 Jakeluverkon automaatio ja kauko-ohjaus.....	32
3 TORNIONLAAKSON SÄHKÖ OY	35
3.1 Yritystoiminta.....	35
3.2 Jakeluverkoston rakenne.....	35
3.3 Isohaaran sähköasema	38
3.4 Kuusimaan sähköasema.....	39
3.4.1 Johtolähtö 01	40
3.4.2 Johtolähtö 03	41
3.4.3 Johtolähtö 05	42
3.4.4 Johtolähtö 06	43
3.5 Ylitornion sähköasema	45
3.5.1 Johtolähtö 05	46
3.5.2 Johtolähtö 06	48
3.5.3 Johtolähtö 07	50
3.5.4 Johtolähtö 08	51
3.5.5 Johtolähtö 09	52
3.5.6 Johtolähtö 11	53

3.6 Kaaranneskosken sähköasema.....	54
3.6.1 Johtolähtö 02	55
3.6.2 Johtolähtö 03	56
3.7 Pellon sähköasema.....	58
3.7.1 Johtolähtö 03	59
3.7.2 Johtolähtö 04	59
3.7.3 Johtolähtö 05	59
3.7.4 Johtolähtö 06	60
3.7.5 Johtolähtö 07	61
3.7.6 Johtolähtö 08	63
3.8 Kolarin sähköasema.....	65
3.8.1 Johtolähtö 07	66
3.8.2 Johtolähtö 08	66
3.8.3 Johtolähtö 09	68
3.8.4 Johtolähtö 10	69
3.8.5 Johtolähtö 11	71
3.8.6 Johtolähtö 12	71
3.9 Kauko-ohjattavat erottimet ja katkaisijat.....	72
4 POHDINTA.....	76
LÄHTEET	77

1 JOHDANTO

Aiheen tälle opinnäytetyölle sain Tornionlaakson Sähkö Oy:n ehdotuksesta. Myös oma kiinnostus kyseiseen aiheeseen oli myötävaikuttamassa tämän työn valitsemiseen, sillä jakeluverkkoyhtiön käyttövarmuus asioita on käsitelty jo koulun kursseilla. Käyttövarmuuden kasvava merkitys sähkönjakelussa on puolestaan vaikuttanut yhtiön puolelta tämän aiheen ehdottamisessa.

Tavoitteena tässä opinnäytetyössä on tarkastella Tornionlaakson Sähkö Oy:n 20 kV keskijänniteverkkoa ja sen keskeytystilastoja vuosilta 2005 – 2011. Näiden tietojen pohjalta tarkoituksena on laatia jokaiselle johtolähdölle keskeytystiedot ja oleellisia teknisiä tietoja. Keskijänniteverkossa jo olevien kauko-ohjattavien erottimien ja verkkokatkaisijoiden tuottavuutta on myös tarkoitus arvioida.

Opinnäytetyö rajataan koskemaan Tornionlaakson Sähkö Oy:n jakelualueen 20 kV keskijänniteverkkoa mukaan lukien kaikki sähköasemat paitsi Ylläksen aseman lähdöt. Rajaus koskee myös kaikkia kyseisten johtolähtöjen kauko-ohjattavia erottimia ja verkkokatkaisijoita.

2 SÄHKÖNJAKELUVERKOT SUOMESSA

2.1 Jakeluverkkoliiketoiminta

Suomessa sähkönjakelu on luontaista monopolitoimintaa. Sähkönjakeluverkon haltijoita on noin sata eri puolilla Suomea. Jakeluverkon haltijoista valta osa on osakeyhtiöitä ja muut ovat kunnallisia liikelaitoksia. Energiamarkkinavirasto on vahvistanut jokaiselle jakeluverkkoyhtiölle oman jakelualueen, jolla se voi harjoittaa liiketoimintaansa yksinoikeudella. (Lakervi & Partanen 2008, 19.)

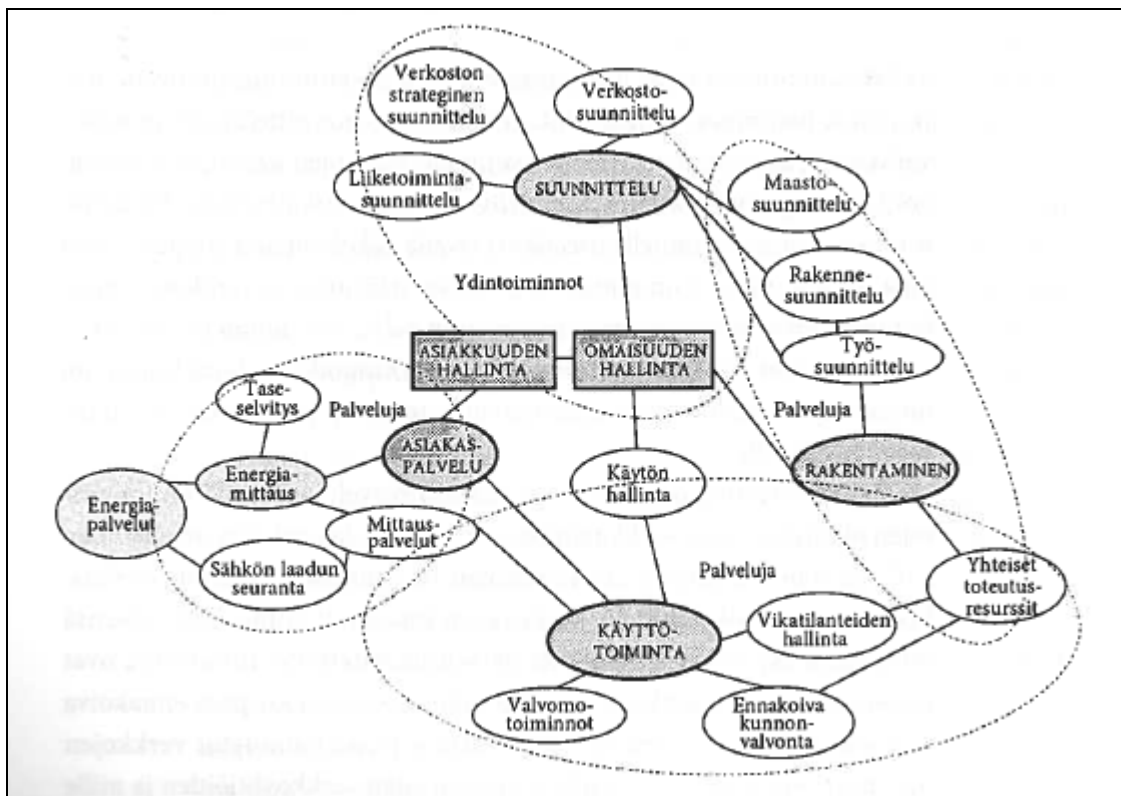
Työ- ja elinkeinoministeriön alaisena sähkönjakeluverkkoyhtiöiden valvontaa Suomessa hoitaa Energiamarkkinavirasto. Jakeluverkkoyhtiöiden taloudelliseen valvontaan liittyy jokaiselle verkkoyhtiölle määritelty suurin sallittu voiton maksimitaso. Jos verkkoyhtiö ylittää pysyvästi maksimitason, se joutuu palauttamaan yli menevän osuuden asiakkaille. Voiton maksimitason määrittämisessä vaikuttaa suurelta osin sähköverkkoon sidotun pääoman taso. (Lakervi & Partanen 2008, 19-20.)

Energiamarkkinaviraston valvontaan kuuluu myös sähkön laadun valvonta, mikä tarkoittaa ensisijaisesti käyttövarmuuden valvontaa. Verkkoyhtiöille asetetaan velvoitteita taloudellisten toimintojen tehostamiseen. Tehokkuusmittauksessa sähkön laatu on yhtenä tekijänä jakeluverkkoyhtiöiden talouden valvonnassa. Tehokkuusmittausten tulokset vaikuttavat niihin kustannuksiin ja voittoihin, mitkä verkkoyhtiölle sallitaan. (Lakervi & Partanen 2008, 20.)

Sähkön laatua kuvaa keskeytyskustannus, mikä huomioidaan määritettäessä verkkoyhtiölle liikevaihtoa. Laadun tason muuttumisella on suora liiketaloudellinen vaikutus jakeluverkkoyhtiössä. Suomessa jakeluverkkoyhtiöiden käyttövarmuuden taloudellisuusvalvonnassa on ns. vakiokorvausmenettely. Mikäli jakeluverkkoyhtiön asiakkaan kokema keskeytys on yli 12 tuntia, tulee verkkoyhtiön suorittaa asiakkaalle korvaus. Suoritettava korvaus määritellään keskeytyksen pituuden ja asiakkaan vuotuisen siirtomaksun suuruuden perusteella. (Lakervi & Partanen 2008, 20.)

Energiamarkkinavirasto valvoo sähkönjakeluverkkoyhtiöiden toimintaa epäsuorasti sähkömarkkina-alueissa todettavan jakeluverkkoyhtiöiden kehittämisvelvoitteen kannalta. Energiamarkkinavirasto voi tarvittaessa määrätä verkkoyhtiön toimenpiteisiin kehittämisvelvoitteen saavuttamiseksi, mikäli yritys toistuvasti laiminlyö verkkonsa kehittämisen. (Lakervi & Partanen 2008, 20.)

Kehittämisstrategioilla sähkönjakeluverkossa on merkittävät taloudelliset vaikutukset jakeluverkkoyhtiön salliin tulokseen. Nämä erilaiset kehittämissuunnitelmat tulee huomioida eri investointivaihtoehtoja punnittaessa. Esimerkiksi käyttövarmuuden kehittämisen suunta muodostuu investointitoimenpiteiden perusteella ja siten vaikuttaa verkkoyhtiön talouteen. Jakeluverkkoyhtiön liiketaloudellisten ja kehittämissuunnittelun tavoitteiden (kuva 1) tulisivatkin olla toisiaan tukevia. (Lakervi & Partanen 2008, 21.)



Kuva 1. Jakeluverkkoyhtiön pää- ja sivutoiminnot. (Lakervi & Partanen 2008, 22.)

2.2 Jakeluverkkoyhtiön talous

Sähkömarkkinalaki toteaa, että jakeluverkkoliiketoiminta tulee eriyttää muusta sähköliiketoiminnasta. Eriyttämismäärä on vain sellaisilla jakeluverkkoyhtiöillä, joissa pienjänniteverkon kautta siirretty sähköenergiamäärä on 200 GWh tai enemmän. Pieniin, eli alle 200 GWh pienjänniteverkon kautta siirtäviin jakeluverkkoyhtiöihin pätee laskennallinen eriyttämiskäytäntö. (Lakervi & Partanen 2008, 273.)

Energiamarkkinavirasto on myöntänyt jokaiselle sähköjakeluverkkoyhtiölle sähköverkkoluvan, missä on määritelty maantieteellinen alue. Tällä maantieteellisellä alueella verkkoyhtiön on liitettävä verkkoon kaikki tuotantolaitokset ja käyttöpaikat, jotka täyttävät tekniset vaatimukset. Verkkoyhtiöllä on velvollisuus järjestää asiallinen sähkönkulutuspaikkojen mittaus ja oman jakeluverkon kehittäminen alueen tarpeita vastaavaksi. (Lakervi & Partanen 2008, 273.)

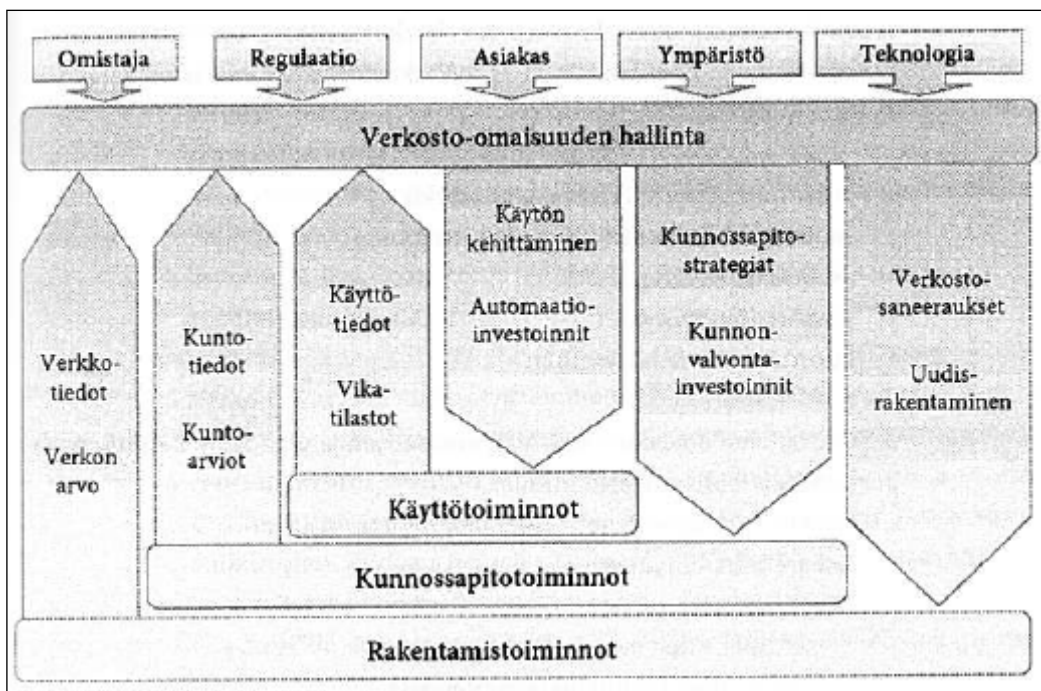
Jakeluverkon haltija toimii alueellaan monopoliasemassa, joten Energiamarkkinavirasto sääntelee toimintaa valvomalla siirtohintojen kohtuullisuutta ja toiminnan tehokkuutta neljän vuoden jaksoissa. Joka vuoden toukokuussa Energiamarkkinavirasto säättää sallitun tuoton, jonka jakeluverkkoyhtiö saa sijoitettua pääomaa vastaan. Jos jakeluverkkoyhtiön tuotto ylittyy, voi Energiamarkkinavirasto säättää siirtohinnoittelua seuraavan valvontajakson ajalle. Mikäli verkkoyhtiön tuotto on ollut alituottoista, voi jakeluverkonhaltija kattaa alituoton seuraavan valvontajakson aikana. Jokaiselle valvontajaksolle määritellään yhtiökohtainen ja yleinen tehostamistavoite Energiamarkkinaviraston toimesta. (Lakervi & Partanen 2008, 273.)

Jakeluverkkoyhtiön toiminnalle ominaista on suuri pääomavaltaisuus, sillä vuotuiset investoinnit ovat suuria. Sähkönkäytön kasvuun liittyvät investoinnit ovat pakkotahtisia, koska verkkoyhtiö ei voi vaikuttaa siihen. Suunnitelman mukaiset investointien poistoaajat vaihtelevat kymmenen ja kolmenkymmenen vuoden välillä. Korvausinvestointeja aiheuttavat ikääntyvät verkostot, jotka lisäävät verkkoyhtiön kustannuksia tulevaisuudessa. (Lakervi & Partanen 2008, 274.)

Jakeluverkkoyhtiö perii liittymismaksun liittäessään uuden sähkökäyttöpaikan verkkoonsa. Liittymismaksulla katetaan uuden liittymän aiheuttamat kustannukset. Koska liittyminen usein voidaan liittymissopimuksen mukaan siirtää kolmannelle osapuolelle, tulkitaan liittymismaksu korottomaksi lainaksi verkkoyhtiölle. Sähkökäyttöpaikan lakkauttaessa, palautetaan liittymismaksun ja liittymän purkukustannuksen erotus liittymän omistajalle. (Lakervi & Partanen 2008, 274.)

2.3 Jakeluverkosto-omaisuuden hallinta

Jakeluverkkoyhtiön sähköverkolle on ominaista pitkä käyttöikä ja suuri arvo. Omaisuuden hallinta sisältää toimintamallit ja periaatteet, joita sovelletaan jakeluverkon kehittämiseen, ylläpitoon ja käyttöön. Omaisuuden hallinnan (kuva 2) kolme päätoimintoa ovat: kunnossapito, verkon käyttö ja kehittämissuunnittelu. (Lakervi & Partanen 2008, 215.)



Kuva 2. Jakeluverkosto-omaisuuden hallinnointi. (Lakervi & Partanen 2008, 215.)

Kehittämissuunnittelussa pyritään minimoimaan kokonaiskustannuksia pitkällä aikavälillä ja maksimoimaan verkostoon sijoitetun pääoman tuotto. Kunnossapidossa tavoite on jakeluverkoston pitäminen käyttökunnossa ja sillä on myös vaikutus verkon komponenttien teknis-taloudelliseen pitoaikaan. Kunnossapidossa on eri toteutusvaihtoehtoja, painotus voi olla esimerkiksi ennakoivassa tai korjaavassa kunnossapidossa. Verkon käytössä tavoite on maksimoida käyttövarmuutta ja minimoida häviöitä. Käyttötoimissa hyödynnetään huomattavasti tietojärjestelmiä ja tiedonsiirtoa. (Lakervi & Partanen 2008, 215, 216.)

Pitkän aikavälin kehittämisessä ulkoisilla kehitystekijöillä on suuri merkitys, koska jakeluverkoston käyttöikä on kymmeniä vuosia. Kuormitusten kasvu on eräs seikka, joka vaikuttaa verkoston kehittämiseen. Kuormituksia ennustetaan 15 - 30 vuoden jänteellä ja jakeluverkkoyhtiöllä tulee olla käsitys muutoksista vähintään sähköasemittain. Käyttökeskeytysten reunaehdot ja taloudelliset sanktiot vaikuttavat myös osaltaan kehitystarpeisiin. Käyttövarmuusvaatimukset sähkönjakelussa kasvavat jatkuvasti, joten jakeluverkkoyhtiön kannattaa luoda erilaisia kehittämissuunnitelmia vaatimusten pohjalta. (Lakervi & Partanen 2008, 216, 217.)

Nykyisen verkon toimintatilan selvittäminen edistää kehittämissuunnitelmien laatimista. Hyödyntämällä todellisiin tilastoihin perustuvia numeerisia tuloksia, saadaan investointilaskelmille lähtökohta. Esimerkiksi johtojen vikataajuudet alueittain voidaan määrittää käyttövarmuutta kuvaavista tilastoista. (Lakervi & Partanen 2008, 217.)

Keskeisimpiä nykyisen verkon toimintatilaa kuvaavia suureita ovat:

- jännitteenalenemat
- jännitejousto
- johtojen kuormitukset
- teho- ja energiahäviöt
- oikosulkuvirrat
- maasulkuvirrat
- keskeytyskustannukset.

(Lakervi & Partanen 2008, 217, 218.)

Nykyisen verkon teknisen toimintatilan tarkastamisen perusteella voidaan suunnitella eri kehittämissisioita. Eri kehittämissisioiden keskinäinen taloudellisuusvertailu osoittaa, mikä visioista olisi taloudellisin. Tämä taloudellisin visio voidaan ottaa toimenpideohjelman pohjaksi. Ennen tarkempien kehittämissisioiden laatimista tulee päättää ne tekniikat ja menetelmät, joilla verkkoa kehitetään. (Lakervi & Partanen 2008, 218, 219.)

Punnittaessa yksittäisiä investointeja on verkon taloudellisuus rakenteellisesti ja aika-
taulullisesti avainasemassa. Tämä edellyttää, että esimerkiksi sähkön turvallisuus- ja
laatutaso on riittävä. Myös yksittäisten investointien riittävän suuret kokonaisuudet ovat
tärkeitä seikkoja investointiohjelmaa pohdittaessa. Teknisen käyttöajan lopussa olevat
johdot olisi huomioitava ja pyrittävä uusimaan. Selkeän näkemyksen hahmottaminen
tulevaisuuden kehityssisioista on tärkeää, jotta vuosittaisten investointiohjelmien laati-
minen onnistuu hyvin. (Lakervi & Partanen 2008, 223.)

Rajalliset resurssit asettavat pohdittavaksi, missä järjestyksessä verkoston kehitys-
investoinnit kannattaa toteuttaa. Investointien kiireellisyysjärjestys on hyvä pohja, jota voi-
daan tarvittaessa muokata olosuhteiden edellyttämällä tavalla. Kiireettömimmät työt
kannattaa siirtää ajankohtiin, jolloin alan yleinen työvoiman kysyntä ei ole suurimmil-
laan. (Lakervi & Partanen 2008, 223, 224.)

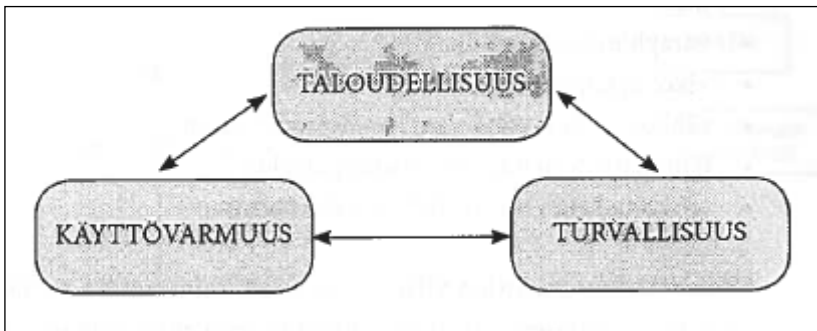
Suunnitteluprosesseissa kannattaa huomioida niiden yksilöllisyys ja monimuotoisuus,
koska esimerkiksi pitkän aikavälin tavoitteen saavuttaminen ei aina onnistu samaa peri-
aateratkaisua toistettaessa. Jakeluverkoston suunnittelun kehittäminen on tärkeää, koska
suunnittelu on osana yhtiön toimintaketjua. Kehitettäessä laatu- ja järjestelmää voidaan
ohessa miettiä myös toimintojen rationaalisuutta. (Lakervi & Partanen 2008, 226, 227.)

Jakeluverkoston suunnittelulla on vahva side jakeluyhtiön eräisiin keskeisiin toimialuei-
siin: talouteen, rakentamiseen ja käyttöön. Verkostosuunnittelu on myös eräs yhdyskun-
tasuunnitteluun liittyvä osa-alue. Hyödyntämällä osaavaa konsulttia tai verkkoyhtiöiden
välistä yhteistyötä, voidaan kasvattaa verkostosuunnittelun tasoa. Tehokas yhteydenpito

muihin instansseihin mahdollistaa parempaa työn tuottavuutta. (Lakervi & Partanen 2008, 227.)

2.4 Jakeluverkon käyttöprosessi

Taloudellisuus, turvallisuus, sähkön laatu ja asiakaspalvelu ovat avainasemassa sähkön-jakeluverkon käyttötoiminnassa. Erityisen tärkeitä vastuunalaisia seikkoja ovat turvallisuus ja käyttövarmuus. Investointien ja resursointien ehdot määrittelee suurimmaksi osaksi taloudellisuus. Verkon käyttö (kuva 3) on monitahoinen prosessi, missä tavoite on optimaalinen taloudellisuus. (Lakervi & Partanen 2008, 231.)



Kuva 3. Käyttöprosessin tavoitteet. (Lakervi & Partanen 2008, 231.)

Valvomo toimii käyttötoiminnassa joko kiinteänä tai liikkuvana ohjauspaikkana. Käytönjohtaja vastaa verkkoyhtiön käyttötoiminnasta ja toimintoihin liittyy vastuu sähkö- ja työturvallisuudesta. Valvomosta tulee aina saada lupa jakeluverkostossa tehtäviin kytkentätoimenpiteisiin. Kunnossapito- ja kehittämistoiminnot liittyvät oleellisesti käyttötoimintaan, sillä useat eri kehittämisinvestoinnit edesauttavat huomattavasti verkon käyttöä. (Lakervi & Partanen 2008, 231.)

Resursointi, apuvälineet, vikavirtasuojauksen toteutus ja työkeskeytykset kuuluvat oleellisesti käyttötoiminnan suunnitteluun. Käyttötoiminnan henkilöresurssit eri ajan-kohtina tulisi pystyä päättämään mahdollisuuksien mukaan ennakkoon. Kuormitustilan sekä kytkin- ja suojauskomponenttien valvonta kuuluu myös käyttötoimintaan. Valvo-

mosta kyetään ohjaamaan verkon eri kytkinlaitteita kauko-ohjauksella tai käsi-ohjauksella kentällä. (Lakervi & Partanen 2008, 232.)

Keskijänniteverkossa ja sähköasemilla hyödynnyttävät kauko-ohjaukset ja monet muut automaatiotoiminnot edesauttavat käyttötoimintaa ja seuranta- ja valvomossa. Sähkönjakelun pienjänniteverkon erilaisista vioista ja häiriöistä saadaan tieto asiakasilmoitusten kautta, koska automaatiota hyödynnetään vähemmän pienjänniteverkossa. Automaattinen mittarinluku muuttaa kuitenkin tilannetta tulevaisuudessa, sillä se sisältää useita hyödyllisiä toimintoja pienjänniteverkon seurantaan. (Lakervi & Partanen 2008, 232.)

Käyttöprosessi vaatii runsaasti ajantasaista informaatiota eri verkkokomponenttien tilasta. Toiminnan haasteet liittyvät resurssien ja verkkojen laajaan maantieteelliseen sijaintiin, siksi siinä hyödynnetäänkin tietoteknisiä apuvälineitä. Apuvälineitä kutsutaan yhteisesti sähkönjakeluautomaatioksi ja se jakaantuu asiakas-, verkosto-, sähköasema-, valvomo- ja yhtiöautomaatioon. (Lakervi & Partanen 2008, 232, 233.)

Jakeluverkkoyhtiön tietotekniikkajärjestelmien sovellusten ja tietojen käyttö on lähtökohdaksi yhtiöautomaatiotoiminnoille. Eri tietojärjestelmiä ovat:

- asiakastietojärjestelmä (ATJ)
- käytöntukijärjestelmä (KTJ)
- verkkotietojärjestelmä (VTJ tai AM/FM-GIS)
- käytönvalvontajärjestelmä (SCADA).

Näiden em. järjestelmien yleisiä hyödyntämiskohteita on esimerkiksi energiamittaustietokantojen hallitseminen, työkeskeytyksiin sitoutuvien kytkentätoimenpiteiden suunnitteleminen sekä suojaukseen ja varayhteyksien käyttöön liittyvä suunnittelu. (Lakervi & Partanen 2008, 234)

Häiriötilanteiden hallinta sekä jakeluverkon ohjaus ja seuranta mahdollistetaan valvomossa käytettävissä olevilla käytöntuki- ja käytönvalvontajärjestelmillä. Sähköasemata-son automaatioon liittyvät kytkinlaitteiden ohjaus, jännite- ja virtamittaus, jännitte-

säätö käämikytkimellä, suojuareleiden toiminta sekä mahdolliset valmiit kytkentäsekvenssit. Vianilmaisimien tiedonsiirto, jakeluverkossa sijaitsevien jännite- ja virtamittausten toteutus sekä erottimien kauko-ohjaus kuuluvat verkostoautomaatioon. Kuormitusten kytkentä ja ohjaus, energiatiedon kaukoluku sekä tariffiohjaus sisältyvät asiakasautomaatioon. (Lakervi & Partanen 2008, 234, 235)

2.5 Käyttöprosessin työvälineet

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) on järjestelmä, jolla valvotaan jakeluverkkoa reaaliajassa. Järjestelmään kuuluvat:

- korkeatasoiset käyttöliittymät
- sovellusohjelmat
- liitynnät muihin tiedonsiirtojärjestelmiin
- varmennetut tietokoneet.

Sähkönjakelussa SCADA on prosessitietokone, jolla voidaan tarkastella reaaliajassa verkon tilaa. SCADAn kautta kyetään myös toteuttamaan useita kriittisiä toimintoja. Järjestelmän käyttötarkoitus asettaa luotettavuudelle erikoisvaatimukset, sillä sen pitää kyetä toimimaan muiden toimintojen häiriintyessä. Häiriöitä ovat esimerkiksi pitkäkestoiset sähkönjakelukeskeytykset ja niihin liittyvät yleisten tietoliikenneyhteyksien häiriöt. (Lakervi & Partanen 2008, 235)

Kahdennetut prosessitietokoneet varmistavat, että järjestelmä toimii myös toisen koneen vikaantuessa. Laitteistoissa käytetään pitkän toiminta-ajan mahdollistavia UPS-laitteita. SCADA sisältää tarkat tiedot sähköasemista laitteistoihin, kun taas jakeluverkon tiedot ovat yleistietoa pien- ja keskijänniteverkosta. Verkon kytkentätila kyetään tuntemaan SCADAn tapahtuma- ja jakeluverkkotietojen kautta. Kauko-ohjattavien kytkinlaitteistojen tilatiedot näkyvät automaattisesti SCADAn toiminnoista, kun puolestaan käsin ohjattavien kytkinlaitteiden tilatiedot tulee tallettaa järjestelmään manuaalisesti. Turvallisuusnäkökulmasta verkon kytkentätilan tunteminen on kriittistä, sillä kytkentätilatieto-

jen menetys olisi uhkaavaa laajojen jakeluhäiriöiden aikana. (Lakervi & Partanen 2008, 236)

Jakeluverkossa ja sähköasemilla olevia kauko-ohjattavia kytkinlaitteita sekä sähkönkäyttäjien kuormia pystytään ohjaamaan kauko-ohjaustoimintojen avulla. Mikroprosessorisuojausareleiden asetusarvot ja niiden mitaamat virrat kyetään siirtämään valvomoon, kuten myös sähköaseman keskijännitelähdön virtamittaus ja kiskojännitemittaus. Valvomosta voidaan kaukoasettelulla muuttaa releiden asetusarvoja. (Lakervi & Partanen 2008, 236)

KTJ (käyttötukijärjestelmä) on ohjelmistopaketti, joka käsittää käyttötoiminnan ohjausta helpottavia sovelluksia. KTJ eroaa SCADAn järjestelmästä siinä, että KTJ kykenee suorittamaan erilaisia päättely- ja analysointitoimia. SCADA puolestaan poimii ja lähettää eri ohjauksia ja tietoja prosessista. KTJ:n toiminta perustuu jakeluverkkoyhtiön muiden tietojärjestelmien hyväksikäyttöön. Tällaisia järjestelmiä ovat:

- asiakastieto
- karttatieto
- verkkotieto
- käytönvalvonta.

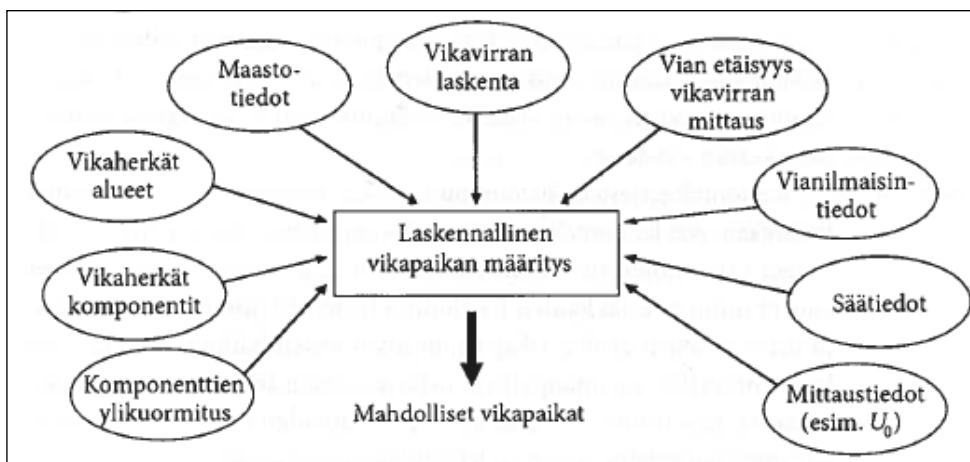
(Lakervi & Partanen 2008, 236)

Sähkönjakelun häiriötilan hallintaan käytettäviä pääsovelluksia ovat varasyöttöjen suunnittelu, vikojen paikantaminen, tapahtuma-analyysi, asiakaspalvelu ja raportointi. Hallinnassa tarvitaan topologia-analyysia, verkkomallia, keskeytyskustannusten, tehonjaon ja vikavirtojen laskenta-algoritmeja sekä kuormituksen mallinnusta. Sovelluksissa on mahdollista käyttää useampaa ominaisuutta samanaikaisesti. Verkon oikosulkukestoisuus ja tieto suojausareleiden toiminnoista saadaan suorittamalla vikavirtalaskenta. Hälytystieto annetaan seikoista, jotka aiheuttavat toimenpiteitä. (Lakervi & Partanen 2008, 237, 239)

KTJ:n tehtäviin keskijänniteverkon vikatilanteen ratkaisemisessa liittyvät keskeytysraportointi, salamanpaikannusjärjestelmän käyttö, vikapartion opastaminen GPS:n avulla, automaattisen puhelinvastaajan hyödyntäminen asiakkaiden häiriöilmoituksissa, vikapaikan määrittäminen laskennallisesti ja vikaselvityksessä vaadittava kytkentöjen suunnittelemine. Oma tehtäväkokonaisuus KTJ:ssa muodostuu pienjänniteverkon vikatilanteen ratkaisemisessa. (Lakervi & Partanen 2008, 241)

Hyväksikäyttämällä verkostolaskentaa, verkkomallia ja suojuareleiden mittaustietoja saadaan määritettyä oikosulun etäisyys. Käytöntukijärjestelmä laskee kaikille solmuilleleille vikavirrat ja vertaa saatuja arvoja suojuareleen mittaamaan todelliseen vikavirtaan. Ilmeisin vikakohta on siinä, missä sekä KTJ:n laskema että suojuareleen havaitsema todellinen vikavirta kohtaavat. Mikäli vikavirta mitataan ainoastaan sähköaseman kiskoon liittyvästä syöttökennosta, tulisi havainnollistaa myös oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttava sen hetkinen kuormitusvirta. (Lakervi & Partanen 2008, 241)

Laskettu vikakohta (kuva 4) näyttää tavallisesti moneen eri johto-osaan, sillä keskijänniteverkon rakenne on haarainen. Vikakohtaa selvitetessä voidaan käyttää apuna mittaustietoja, johtojen ympäristön tietoja, säätiedotuksia, verkkotietoja ja muita vastaavia. Vian paikannuksessa määritetään jokaiselle erotinvyöhykkeelle todennäköisyys, millä se käsittää etsittävän vian. Esimerkiksi suuntaamatonta maasulkua indikoitaessa, selvitetään myös vianilmaisimien oikea toiminta. (Lakervi & Partanen 2008, 241)



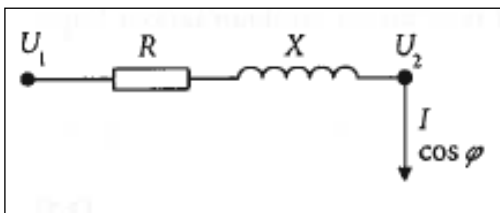
Kuva 4. Vikakohtien arvioinnissa käytettävät parametrit. (Lakervi & Partanen 2008, 242)

Oikosulkuvikoja selvittäessä on laskennallinen paikannus hyväksi havaittu käyttötoiminnan menetelmä. Vikaresistanssi, kuormitusvirran kompensointi ja oikosulkulaskennan tarkkuus vaikuttavat vian paikannuksen tarkkuuteen. Käyttötukijärjestelmä palvelee päivystäjää vikakohdan selvittämisessä, erottamisessa ja vian jälkeisen jakelun saattamisessa ennalleen. (Lakervi & Partanen 2008, 241, 242)

Vikapaikan selvityksessä suoritettavat kytkentätoimenpiteet tallentuvat KTT:n tietokantaan automaattisesti ja tämän perusteella käyttötukijärjestelmä laatii tarkan raportin eri asiakkaille aiheutuneista keskeytyksistä. Vikaraporttiin pystytään liittämään tietoja vika-kohteista, viallisista komponenteista ja vian aiheuttajasta. (Lakervi & Partanen 2008, 244)

2.6 Jakeluverkkojen tekninen laskeminen

Virtapiirilaskelmissa sähköverkon komponentteja havainnollistetaan reaktansseista ja resistansseista muodostuvilla sijaiskytkennöillä. Jakeluverkon sijaiskytkentä riippuu siitä, mitä komponentteja verkko sisältää. Käytettävä sijaiskytkentä määrittyy sillä, millaisesta laskentatehtävästä on kyse. (Lakervi & Partanen 2008, 25)



Kuva 5. Jakeluverkon johdon sijaiskytkentä. (Lakervi & Partanen 2008, 25)

Johdon pitkittäinen impedanssi on riittävä (kuva 5) havainnollistettaessa pätötehohäviöitä ja oikosulkuvirtaa. Johdon resistanssi riippuu johdinmateriaalista, pituudesta ja poikkipinta-alasta. Magneettikenttään liittyvään reaktanssiin vaikuttaa suurimmaksi osaksi vaihejohtimien väliset etäisyydet. Suurjännitevoimansiirrossa resistanssin osuus on yleensä varsin pieni, joten sitä ei usein tarvitse ottaa huomioon. Jakeluverkoissa ja

niiden teknisissä laskuissa resistanssin osuus tulee silti huomioida. (Lakervi & Partanen 2008, 25)

Keskijänniteverkko on tähtipisteestä maasta erotettu tai kompensoitu. Maakapasitanssi on oleellinen tekijä keskijänniteverkon maasulkulaskuissa. Myös maakaapeleissa ja pitkissä ilmajohdoissa maakapasitanssilla on hieman vaikutusta jännitteeseen. (Lakervi & Partanen 2008, 26)

Muuntajissa mainitaan yleensä suhteellinen oikosulkuimpedanssi u_z , nimellisteho S_N , tyhjäkäyntihäviöt P_0 sekä kuormitushäviöt P_k . Muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi u_r pystytään määrittelemään nimelliskuormitushäviöiden perusteella. Suhteellisen oikosulkuresistanssin ja -impedanssin avulla kyetään puolestaan määrittämään suhteellinen oikosulkureaktanssi. Muuntajan resistanssi määritetään (kaava 1) muuntajan suhteellisen oikosulkuresistanssin u_r , muuntajan nimellisjännitteen U_N ja muuntajan nimellistehon S_N avulla. Vastaavasti muuntajan reaktanssi määritetään (kaava 2) muuntajan suhteellisen oikosulkureaktanssin u_x , muuntajan nimellisjännitteen U_N ja muuntajan nimellistehon S_N perusteella. (Lakervi & Partanen 2008, 27)

$$R_k = u_r * (U_N^2 / S_N), \quad (1)$$

jossa R_k = muuntajan resistanssi
 u_r = muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi
 U_N = muuntajan nimellisjännite
 S_N = muuntajan nimellisteho

$$X_k = u_x * (U_N^2 / S_N), \quad (2)$$

jossa X_k = muuntajan reaktanssi
 u_x = muuntajan suhteellinen oikosulkureaktanssi
 U_N = muuntajan nimellisjännite
 S_N = muuntajan nimellisteho

Sähköverkon teknisissä laskuissa käsitellään yleensä monta jänniteporrasta kerrallaan. Käsiteltävän jänniteportaan nimellisarvoista määritellään muuntajan impedanssi. Käsiteltävään jänniteportaaseen tulee redusoida toisen jänniteportaan impedanssi-, jännite- ja virta-arvot. Impedanssi muunnetaan muuntosuhteeseen verrattuna neliöllisesti, esimerkiksi ylemmän jänniteportaan impedanssi pienenee alemman portaan tarkastelussa. Virta-arvot muunnetaan kääntäen muuntosuhteeseen nähden ja jännitearvot muuntosuhteen mukaan. (Lakervi & Partanen 2008, 27)

Sähköverkon virtajohtimet voivat sulkeutua valokaaren, suoraan tai jonkun vikaimpedanssin välityksellä. Oikosululle on ominaista huomattavasti kuormitusvirtaa isompi virta ja se voi olla kaksi- tai kolmivaiheinen. Käytetystä maadoitustavasta riippuu, kuinka suuri on vaihejohtimen ja maan välillä olevan maasulun vikavirran suuruus. Verkon vikojen seurauksena voi aiheutua jakelukeskeytyksiä, komponenttien ylikuumentumista sekä henkilövahinkoja. Vikaantuneen jakeluverkon osa erotetaan voimansyötöstä joko suojareleen tai sulakkeen avustuksella. (Lakervi & Partanen 2008, 28)

$$I = U_V / (Z_f + Z_i), \quad (3)$$

jossa

- I = virta
- Z_f = vikaimpedanssi
- U_V = vikakohdan vaihejännite ennen vikaa
- Z_i = verkon impedanssi vikakohdasta laskettuna

Vikakohdasta näkyvä (kaava 3) verkon impedanssi ja jännite vaaditaan, jotta voidaan määrittää oikosulkuvirta. Vian alkuhetkillä vaikuttaa jännitteen hetkellisarvo ja pieni impedanssi pyörivissä koneissa. Kohta oikosulun alkuhetken jälkeen virta vaihtuu symmetriseksi nolla-arvonsa suhteen ja jää siirtymävaiheen jälkeen pysyvän tilan arvoon. Sähköverkon teknisissä oikosulkulaskuissa on määritettävä jatkuvan- ja muutostilan arvot. Pidemmille laukaisuajoille (yli 0,5s) kiinnostavin on pysyvän tilan vikavirta-arvo ja lyhyille ajoille muutostilan virta-arvo. Laskennan perusteella kyetään arvioimaan komponenttien mekaanista kestäkykyä, oikosulkuvirran johdoille ja muille kom-

ponenteille aikaansaamia lämpövaikutuksia sekä eri katkaisijoiden katkaisukykyä. (Lakervi & Partanen 2008, 28, 29)

Kolmivaiheinen vikavirta (kaava 4) voidaan määrittää yksivaiheisen sijaiskytkennän avulla, jakamalla vaiheen ja maan välinen jännite piirin kokonaisimpedanssilla. Kokonaisimpedanssi muodostuu säteittäisessä verkossa vian ja syöttävän verkon impedansseista. Määrittelyssä tulee huomioida myös muuntaja ja sitä syöttävä verkko. Näitä keskijänniteverkon, muuntajan ja suurjänniteverkon impedansseja tulee tarkastella osoitin-arvoina. (Lakervi & Partanen 2008, 29)

$$I_{k3} = U_V / \sqrt{((R_{110} + R_m + R_j)^2 + (X_{110} + X_m + X_j)^2)}, \quad (4)$$

jossa R_{110}, X_{110} = 110kV:n verkon oikosulkuresistanssi ja -reaktanssi 20 kV:n tasolla,
 R_m, X_m = 110/20kV:n päämuuntajan oikosulkuresistanssi ja -reaktanssi 20kV:n tasolla,
 R_j, X_j = sähköaseman ja vikapaikan välisten 20kV:n johtojen resistanssi ja reaktanssi

Vikavirtalaskentaa tarvitaan tarkasteltaessa jakeluverkon komponenttien oikosulkuvaiikutuksia ja suojauksen asetteluarvoja. Vikavirran suuruus on laskennassa kiinnostavin tarkasteltava asia, eikä virran vaihekulma ole usein merkityksellinen. Osoitinlaskennan sijaan voidaan vikavirtalaskut suorittaa itseisarvolaskentana. Oikosulkulaskuissa keskijänniteverkon johtojen resistansseina käytetään +40 °C:n lämpötilaan verrattavia arvoja. (Lakervi & Partanen 2008, 30)

Oikosulkuvirta on riippuvainen 110 kV verkon oikosulkuvirrasta sekä päämuuntajan koosta. Keskijänniteverkon oikosulkuvirtojen arvot riippuvat vikakohdan ja sähköaseman välillä olevien johtojen poikkipinnoista ja pituudesta. Keskijänniteverkon maasulkuvirta on huomattavasti pienempi muihin vikavirtoihin tai kuormitusvirtaan verrattuna, erityisesti maasta erotetussa verkossa. Vähäinen maasulkuvirta aiheuttaa omat haasteensa vikavirtasuojan toteutukselle. (Lakervi & Partanen 2008, 30)

Oikosulkuvikojen vaikutuksiin kuuluu myös jännitekuopat, kun esimerkiksi vikavastukseton kolmivaiheinen oikosulkuvirta saa aikaan vikakohtassa jännitteen putoamisen nollaan. Vian vaikutus ulottuu myös muualle verkkoon, missä se saa aikaan jännitteen putoamisen. Jännitepudotuksen suuruus riippuu vikakohteen ja tarkasteltavan paikan etäisyydestä. Erityisesti sähköaseman läheisyydessä sattuvat viat ovat ongelmallisia, sillä silloin kaikki sähköaseman syöttämät sähkökäyttäjät ovat suuren jännitekuopan alaisena. Jännitekuopat vaikuttavat yleensä paljon suuremmalla alueella kuin itse jakelukeytytys. (Lakervi & Partanen 2008, 31)

Jännitekuopan keston vaikuttaa verkon suojauksen toiminta-aika. Jännitekuoppa jää sitä lyhytkestoisemmaksi, mitä nopeammin lähdön suojaus toimii. Erityisesti sähköaseman läheisyydessä sattuvissa oikosulkuvioissa nopea poiskytkentä on tähdellistä. Vikavirtasuojauksen pikalaukaisulla lähinnä sähköasemaa olevat viat on mahdollista kytkeä nopeasti pois. Jakeluyhtiön mahdollisuudet vaikuttaa jännitekuoppien keston ovat marginaaliset, koska suojauksen selektiivisyysvaatimukset aiheuttavat tiukat reunaehdot. Jännitekuopan aikainen jäljelle jäävän jännitteen suuruus voidaan määrittää kaavan 5 avulla. (Lakervi & Partanen 2008, 33)

$$\underline{U}_{\text{kuoppa}} = (\underline{Z}_L + \underline{Z}_F) / (\underline{Z}_S + \underline{Z}_T + \underline{Z}_L + \underline{Z}_F) * \underline{U}_v = (\underline{Z}_L + \underline{Z}_F) * \underline{I}_F, (5)$$

jossa

- $\underline{U}_{\text{kuoppa}}$ = jäljelle jäävä jännite kuopan aikana
- \underline{U}_v = vaihejännite
- \underline{Z}_L = vikareitillä olevan keskijännitelähdön impedanssi
- \underline{Z}_F = vikaimpedanssi
- \underline{Z}_S = syöttävän verkon impedanssi
- \underline{Z}_T = syöttävän muuntajan impedanssi
- \underline{I}_F = vikavirta

Asiakkaille jännitekuoppien aiheuttamat haitat ovat pienempiä, mikäli jäännösjännitekuopan vaikutusaikana on mahdollisimman suuri ja kuoppien vuosittainen määrä on mahdollisimman vähäinen. Jännitekuoppien määrään vaikuttavat myös päämuuntajien määrä ja sähköaseman kiskojärjestelyt. Mikäli aseman syöttö kohdennetaan eri pää-

muuntajien kesken ja lähdöt jaotellaan eri päämuuntajille, pienenee jakeluverkossa esiintyvien jännitekuoppien määrä. (Lakervi & Partanen 2008, 33)

Energia- ja tehohäviöillä on erityinen merkitys jakeluverkon taloudellisuudessa. Jakelumuuntajan tai siirtojohdon häviöt voivat aiheuttaa niitä vaurioittavia lämpötiloja. Verrattuna tavanomaisiin vikavirtalaskelmiin, tarvitaan häviölaskelmissa myös kuormitusvirran arvoja. Johdon tai muuntajan kokonaisvirta aiheuttaa resistanssissa pätötehohäviön ja johdon reaktanssissa loistehohäviön. Poikittaiskapasitanssi aiheuttaa johdolla loistehon, mikä ei jakeluverkossa usein ole suurta. (Lakervi & Partanen 2008, 33, 34)

Muuntajan rautasydämessä magneettivuon vaihtelu aiheuttaa hystereesi- ja pyörrevirtahäviöitä. Näitä häviöitä nimitetään tyhjäkäyntihäviöiksi P_0 , eikä niillä ole juurikaan yhteyttä muuntajan kuormitukseen. Sijaiskytkennän rautahäviöresistanssilla R_{Fe} kuvataan muuntajan tyhjäkäyntihäviöitä ja magnetoimisreaktanssilla X_m tyhjäkäyvän muuntajan aiheuttamaa loistehoa. Hystereesi-ilmiön ja magneettisen kyllästymisen johdosta edellä mainitut arvot riippuvat epälineaarisesti muuntajan jännitteestä. (Lakervi & Partanen 2008, 34)

Häviökustannuksia määritettäessä on muuntajissa tai johdoissa muodostuvien häviöenergioiden laskeminen oleellista. Häviöenergiaa määritettäessä on tunnettava muuntajan tai johdon häviöteho tietynä aikana. Vuoden aikana syntyvä häviöenergiämäärä voidaan laskea huomioimalla häviötehon ajallinen vaihtelu. Häviöenergian käsin laskennassa (kaava 6) voidaan häviöiden huipputeho kertoa kuvitellulla huipunkäyttöajalla t_h . Huipunkäyttöaika häviöillä on riippuvainen kuormitusvirran muutoksista. Huipunkäyttöaika häviöillä on lyhyempi, jos kuormitusvirran vaihtelu on ajallisesti äkillistä. (Lakervi & Partanen 2008, 34, 35)

$$W_h \approx P_{hmax} * t_h, \quad (6)$$

jossa	W_h	= vuoden energiahäviöt
	P_{hmax}	= huippuhäviöteho
	t_h	= häviöiden huipunkäyttöaika

Sähköenergian siirtämisessä paikasta toiseen muodostuu myös häviöenergiaa. Jakelumuuntajien ja siirtojohtojen häviöissä sähköenergia muuttuu melkein kokonaan lämmöksi. Johdon tai muun komponentin lähiympäristön lämpötila kasvaa, lämmöksi muuttuvan häviötehon myötä. Lämpötekniset ominaisuudet ja häviötehon suuruus vaikuttavat ympäristön lämpötilan kasvunopeuteen. Liiallinen lämpötila kiihdyttää eristeiden vanhentumista ja voi mahdollisesti hetkessä tuhota komponentin tai kaapelin. Liian suuri lämpötila voi heikentää käytettävän johdinmetallin ominaisuuksia tai pahimmassa tapauksessa sulaa liiallisesta virrasta. Eri jakeluverkkokomponenttien lämpenemismallit ovat erilaiset ja esimerkiksi muuntajilla se rakentuu useiden kerrosten malleista. (Lakervi & Partanen 2008, 35)

Avojohton lämpeneminen voidaan määrittää johdinta lämmittävän ja siitä poisjohtuvan tehon perusteella. Nämä kaksi tehoa erottamalla saadaan johtimen massaan siirtyvä lämpöteho. Johtimen ulkopinnan ala ja sen lämpenemä on verrannollinen poisjohtuvaan johdinta jäädyttävään tehoon. Johdon lämpenemä nousee eksponentiaalisesti vaimentuen, kun kuormitusta kasvatetaan porrasmaisesti. Viimein tavoitetaan vakaa tilanne, missä lämmittävä ja poistuva teho ovat samansuuruiset. Lämpenemän määrä ja hetkellinen käyttäytyminen ovat riippuvaisia:

- johdon resistanssista
- pinnan lämmönsiirtymiskertoimesta
- johdon geometriasta
- ominaislämpökapasiteetista
- massasta.

Lämpenemä kuvaa johdon ja sen ympäristön lämpötilojen poikkeavuutta. (Lakervi & Partanen 2008, 35, 36)

Kuormitusta alennettaessa jäähtyy johdin samalla tavalla kuin se lämpeneekin, eli eksponentiaalisesti saavuttaen lopulta uuden alemman lämpötilansa. Jokaisella johtimella on oma aikavakionsa τ lämpenemiselle ja jäähtymiselle. Jäähtymisaikavakio on riippuvainen johdon lajista ja massiivisuudesta. Esimerkiksi ohuella Raven avojohdolla τ on 6

minuuttia, kun esimerkiksi 185 mm²:n maakaapelilla τ on noin 53 minuuttia. (Lakervi & Partanen 2008, 36, 37)

Kuormitusvirran lämpövaikutuksen ohella on huomioitava myös oikosulkuvirran aiheuttama lämpenemä. Koska oikosulkuvirta on kuormitusvirtaan nähden huomattava ja kestoaltaan erittäin lyhytaikainen, voidaan lämpenemän kuvaamiseen soveltaa lineaarista approksimaatiota. Oikosulkuvirrasta johtuva lämpenemä on lähestulkoon suoraan verrattavissa sen kesto aikaan ja virta-arvon neliöön. Tiedosta on hyötyä silloin, mikäli halutaan varmistua johtimen oikosulkukestoisuudesta suojareleen laukaisuajalla. Johtimen suurimmat kuormitus- ja oikosulkuvirrat määräytyvät johtimelle sallittujen jatkuvan (usein +80 °C) ja hetkellisen lämpötilan (noin +160 – 180 °C) mukaan. (Lakervi & Partanen 2008, 37)

Oleellinen tekijä sähkötoimituksessa asiakkaalle on jakelujännitteen taso. Liian suuren tai pienen jännitteen vuoksi laitteiden toiminta voi häiriintyä. Jännitetasolla on sitä suurempi painoarvo, mitä lähempänä sähkönkulutuspaikkaa ollaan. Koko sähkönjakeluverkon jännitteenalenema on keskijänniteverkon, muuntajan ja pienjänniteverkon jännitteenalenemien yhteisvaikutus. Suurjänniteverkon jännitemuutokset eivät ulotu jakeluverkkoon, päämuuntajissa sijaitsevien automaattisesti toimivien käämikytöntien vuoksi. Tästä johtuen 400 kV:n voimansiirtoverkon käyttöjännitteet optimoidaan taloudellisuuden ja käyttövarmuuden pohjalta. (Lakervi & Partanen 2008, 38)

Jännitteenalenemaa (kaava 7) tarkasteltaessa, kiinnitetään usein suurinta huomiota johdon lopussa maksimikuorman aikaiseen jännitteen arvoon. Johdon jännitteenalenema saadaan alku- ja loppupään jännitteiden itseisarvojen erotuksena. Virran ja impedanssin osoittimien tuloa ei voida hyödyntää jännitteenaleneman määrittämisessä, sillä sen suunta vaihtelee. Alku- ja loppupään välinen jännitteiden kulma on pieni, mikäli johdon kuormitus on kovin vähäinen. (Lakervi & Partanen 2008, 38)

$$U_h = | \underline{U}_1 | - | \underline{U}_2 | \approx I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi = I_p \cdot R + I_q \cdot X, \quad (7)$$

jossa U_h = jännitehäviö vaihesuureina

$ \underline{U}_1 $	= johdon alkupään jännitteen itseisarvo
$ \underline{U}_2 $	= johdon loppupään jännitteen itseisarvo
I	= näennäisvirta
R	= johdon resistanssi
X	= johdon reaktanssi
$\cos \varphi$	= pätötehon tehokerroin
$\sin \varphi$	= loistehon tehokerroin
I_p	= pätövirta
I_q	= loisvirta

Jännitteen vaihtelut ovat myös kiinnostuksen kohteena jännitteenaleneman lisäksi. Jännitteen vaihteluissa yleensä tarkastellaan sitä, kuinka eri kuormitukset muuttavat jännitettä. Kyseeseen tulee jännitejousto lois- tai pätötehon suhteen ja joille johdetaan yhtälöt tarkastelukohdan pääjännitteen sekä jakelureitin kokonaisreaktanssin ja kokonaisresistanssin funktiona. Laskelmissa oletetaan yleensä kuormituksen olevan symmetrisiä ja kolmivaiheisia. (Lakervi & Partanen 2008, 39)

2.7 Jakeluverkon taloudellinen laskeminen

Jakeluverkon suunnittelussa oleellisia ratkaisutekijöitä ovat tekninen kelpoisuus ja kokonaistaloudellisuus koko suunnittelujakson ajalta. Suunnittelutehtävissä tulee siis määrittellä jakeluverkkokomponenteille ja jakelujärjestelmälle elinkaarikustannukset. Jakeluverkon kustannukset koostuvat häviö-, keskeytys-, investointi- ja ylläpitokustannuksista. Investoinnit ovat kertaluonteisia ja muut kustannukset koko käyttöjakson aikana kertyviä. Jotkut jaksolliset kustannukset säilyvät muuttumattomina ja toiset muuttuvat käytön kuluvaan aikana. Pohdittaessa jakeluverkon eri kehitysvaihtoehtoja ja niiden taloudellisuutta, pitää kustannustekijät kyetä muuttamaan toistensa suhteen vertailuun sopiviksi. Vertailua kyetään toteuttamaan kahden pääperiaatteen avulla, joko muokkaamalla investoinnin kustannukset käyttöajanjaksolle jaotelluiksi annuiteeteiksi tai määrittämällä laskennallisesti jaksollisten kustannustekijöiden koko jakson nykyarvo. (Lakervi & Partanen 2008, 40)

$$\text{nykyarvo} = 1/\alpha^t = 1/(1+p/100)^t, \quad (8)$$

jossa t = vuosi t tulevaisuudessa
 p = korkoprosentti

Nykyarvo voidaan laskennallisesti määrittää sille laadittua kaavaa apuna käyttäen. Nykyarvon (kaava 8) määrittelyn tuloksena saadaan rahamäärä, mikä korkoa koron päälle laskemalla kertoo vuonna t sen rahasumman, jolla kyseinen kustannus kyetään sillä maksamaan. Nykyarvo on sitä pienempi, mitä pidempi aikajakso ja suurempi korko on kyseessä. Yhden vuoden sijaan usein mielenkiinto kohdistuu suunnittelujakson vuosina aiheutuvien annuiteettien nykyarvoon. Nykyarvo pystytään laskemaan diskonttaamalla kaikkina vuosina aiheutuvat kustannustekijät nykyaikaan. (Lakervi & Partanen 2008, 41)

Suunnittelujakso on usein 20 – 40 vuotta ja vuosittaiskustannusten vaihdellessa kuormitusten mukaisesti, olisi kaikkien vuotuiserien nykyarvojen määrittäminen haastavaa. Monessa tapauksessa kustannuslaskelmat suoritetaan otaksumalla esimerkiksi kuormitusten nousu vakioksi koko tarkasteluperiodille. Tällöin nykyarvon määrittäminen voidaan suorittaa geometrisen sarjan mallin avulla johdettujen nk. kapitalisointikerrointen kautta. Mikäli ensimmäisen vuoden kustannusten summa K_1 kerrotaan kapitalisointikerroimella κ , tulee tuloksena koko tarkasteluperiodin vuosittaisten kustannussummien nykyarvo K . (Lakervi & Partanen 2008, 41)

Usein eri suunnittelutehtävien ohessa ajaututaan tilanteeseen, jossa täytyy laskea tyhjäkäyntihäviön ja keskeytyskustannuksen nykyarvo. Näissä tilanteissa täytyy muistaa, että tyhjäkäyntihäviöt eivät muutu tarkasteluperiodin aikana. Keskeytyskustannuksia tarkasteltaessa on huomattava niiden suoraan verrannollisuus tehonkasvuun nähden. (Lakervi & Partanen 2008, 42)

Esimerkiksi investoinnin kustannus kyetään muuttamaan vuosittaiskustannuksiksi määrittämällä annuiteetti ε . Annuiteetti (kaava 9) merkitsee tasasuuruista vuosittaista kustannusta, mikä vaaditaan vuotuisten korkokulujen maksuun ja pääoman kuolettamiseen

pitoaikana. Määritettyä investoinnin vuosittaista maksuerää voidaan suunnittelussa verrata esimerkiksi johdinvaihdon tai verkkokatkaisijan kannattavuuteen. Investoinnin tuomia säästöjä häviö- tai keskeytyskustannuksissa verrataan investoinnin vuosikustannukseen. Pitoaikojen ollessa 30 – 40 vuoden mittainen, vaikuttaa korkoprosentti suurimmaksi osaksi annuiteetin suuruuteen. Puolestaan lyhyillä pitoajoilla, annuiteetin määrään vaikuttaa vahvasti vuotuinen pääoman lyhennys. (Lakervi & Partanen 2008, 43)

$$\varepsilon = (p/100)/(1-(1/1+p/100)^t), \quad (9)$$

jossa p = korko
 t = investoinnin tarkastelu-aika vuosina

2.8 Sähköverkon luotettavuuden laskeminen

Keskeytys-, häviö- ja rakentamiskustannukset voidaan mitata rahana jakeluverkostoa suunniteltaessa. Keskeytyskulujen oletusarvolla on oleellista merkitystä kauko-ohjattavien kytkimien ja muiden verkkokomponenttien tuottavuutta pohdittaessa. Tarkasteluissa tulee selvittää eri verkkomallien vaikuttavuus toimittamatta jätetyn sähkön suuruuteen sekä oikean hinnan käyttämiseen tälle. (Lakervi & Partanen 2008, 44)

Toimittamatta jätetyn energian hinnoittelun alaraja määräytyy jakeluyhtiön siirtämälle energiamäärälle määritetyn tuoton mukaan. Jakeluyhtiön asiakkaille keskeytyksestä koitua haitta on oleellisesti mittavampi kuin myydyn energian kokonaissumma. Lyhyestäkin katkoksesta voi sähkönkäyttäjälle koitua tuotannollisia ongelmia. Kyselyiden pohjalta on Suomessa selvitetty, miten suuriksi eri asiakasryhmien keskeytyskustannukset muodostuisivat. (Lakervi & Partanen 2008, 44)

Luotettavuuden käsitteet:

- käyttövarmuus – kohteen kyky hoitaa tehtävänsä tietyssä aikavälissä tai ajanhetkessä
- vika – laite tai komponentti on tilassa, jossa se ei kykene suorittamaan tehtävänsä
- kytkentäaika – aika, mikä vaaditaan viallisen laitteen irrottamiseen verkosta vian tapahduttua ja korjatun laitteen liittämiseen takaisin verkkoon
- korjausaika – aika, mikä kuluu laitteen korjaamiseen ja kytkentään vaadittavan ajan
- vikataajuus – tarkoittaa vikojen keskimääräistä esiintymislukumäärää ajanjakson aikana.

Pysyvän vian aiheuttama suojauksen laukeaminen vaikuttaa toisaalle verkkoon kytkennän mittaisen ja muualle korjauksen mittaisen jakelukatkoksen. Pidemmän keskeytyksen aiheuttava korjaustyö liittyy verkosta irrotettuun erottimien väliin tai rengasyhteyden puuttuessa vikapaikan jälkeiseen verkkoon. Jakeluverkon automaatiolla voidaan vaikuttaa kytkentäaikoihin. Verkon kauko-ohjattavien erotinasemien avulla voidaan merkittävästi pienentää erottimien ohjausaikaa, eli kytkentäaikaa. Jakeluverkon toimituksen varmuutta kuvaillaan myös kansainvälisillä IEEE 1366- standardeilla:

- SAIFI – keskimääräinen vikamäärä/sähkönkäyttäjä, vuosi
- CAIDI – keskimääräinen kesto-aika/sähkönkäyttäjä/vika
- SAIDI – vikojen yhteiskesto-aika/sähkönkäyttäjä, vuosi
- MAIFI – jälleenkytkentöjen keskiarvo/sähkönkäyttäjä, vuosi.

Keskeytykset jaotellaan usein edelleen pysyvien vikojen (kaava 10) ja työkatkokkien mukaisesti. Myös jännitekuopat oikosulkujen yhteydessä luetaan lyhytaikaisiksi katkoiksi. (Lakervi & Partanen 2008, 44, 45)

$$f_k = \sum f_i, \quad (10)$$

jossa	f_k	= pysyvien keskeytysten vikataajuus
	f_i	= keskijännitelähdön komponentin vikataajuus

Valtaosa sähkökäyttöpaikkojen tuntemista sähkökatkoista aiheutuu keskijänniteverkon vioista. Tarkasteltaessa yhdestä suunnasta syötettävää keskijännitejohtoa, kyetään siitä laskemaan syötettävien sähkökuluttajien tuntemien katkojen (kaava 11) kestoai-
 ka, lukumäärä ja keskeytysten kustannukset. Jokaisen sähkökuluttajan tunteman vuosittaisen keskeytysajan laskeminen on katkojen lukumäärän laskemista monimutkaisempi työ. Olisi määriteltävä, montako vikaa jokaiseen jakelukomponenttiin aiheutuu vuosittain ja sen perusteella päätellään jokaisesta viasta kaikille sähkökäyttäjille aiheutuva keskeytysaika. Koska eri komponenteissa sattuva vika vaikuttaa eri tavalla sähkökuluttajien keskeytysaikoihin, on aikojen laskenta monitahoinen työ. Toiset kuluttajat kokevat korjaukseen kuluva, toiset kaukokäytön avulla järjestetyn varasyötön liittämisen ja muut manuaalisesti kytketyn varasyötön liittämisen tarvittavan ajan pituisen keskeytysajan. (Lakervi & Partanen 2008, 45)

$$U_k = \sum f_i * t_{ik}, \quad (11)$$

jossa	U_k	= keskijännitelähdön vuotuinen keskeytysaika
	f_i	= keskijännitelähdön komponentin vikataajuus
	t_{ik}	= vian aiheuttama keskeytysaika

Lähtökohtaisesti kustannuksia laskettaessa, määritellään jokaisen komponentin kaikille sähkökuluttajille johtuva vikojen lukumäärä ja kesto aika. Sähkökuluttajan tuntema keskeytys johtuu vikojen lukumäärästä, niiden (kaava 12) kestoajasta, sähkökuluttajan tehosta ja kuluttajatyypistä. Keskeytystehon arvellaan yleensä olevan vuoden keskimääräinen teho. Keskeytyskustannuksen summaan vaikuttaa se minkälainen sähkökuluttaja on kyseessä. Esimerkiksi kotitalouskuluttajan haitta on kertaluokkaa pienempi teollisuuskuluttajaan verrattaessa. (Lakervi & Partanen 2008, 47, 48)

$$t_k = U_k / f_k, \quad (12)$$

jossa	t_k	= pysyvien keskeytyksen keskipituus
	U_k	= keskijännitelähdön vuotuinen keskeytysaika
	f_k	= pysyvien keskeytysten vikataajuus

Kuluttajien keskeytyshaitoille ja – lukumäärille (kaava 13) yritetään hahmotella arvioita. Tuloksia tarkastellessa tulee huomioida, että ne ovat samassa suhteessa laskennassa käytettävien parametrien kanssa. Jos esimerkiksi komponenttien vikataajuudet ilmaistaan keskiarvoina, niin vastauksetkin tulee tulkita vastaavasti. Sähkökäyttäjät, jotka saavat virran samaa syöttöä myöten, kokevat hyvin erimittaisia keskeytyksiä. Vikatilastoista käy ilmi tapahtuneet keskeytykset, mutta systemaattiseen jakeluverkon kehittämiseen on luotettavuuslaskenta soveliaampi ratkaisu. (Lakervi & Partanen 2008, 48)

$$E_k = f_k * t_k * \Delta P_k, \quad (13)$$

jossa	E_k	= keskijännitelähdön toimittamatta jäänyt energia
	f_k	= pysyvien keskeytysten vikataajuus
	t_k	= pysyvien keskeytyksen keskipituus
	ΔP_k	= keskijännitelähdön keskimääräinen keskeytysteho

2.9 Jakeluverkon automaatio ja kauko-ohjaus

Keskijänniteverkossa on käytössä monia kauko-ohjauksessa olevia kytkimiä ja suurin osa on erotinlaitteita. Kauko-ohjattavalla erottimella pystytään lyhentämään sähkönkuluttajille aiheutuvien keskeytysten kestoajaa, mutta lukumäärään ei pystytä vaikuttamaan. Manuaalisesti ohjatun erottimen käyttöön menevä aika on usein monta kymmentä minuuttia, riippuen erottimen sijainnista ja korjaushenkilöstön paikasta ja valmiudesta. Kauko-ohjatulla erottimella käyttöön kuluva aika on muutamia minuutteja ja sillä lyhennetään varsinkin vikakohteen erotukseen sekä varasyötön liittämiseen menevää aikaa. Kun vikakohta erotetaan muusta jakeluverkosta, putoaa sähköttä jäävien kuluttajien määrä murto-osaan alkutilanteesta, missä jokainen keskijännitelähdön kuluttaja oli sähköttä. (Lakervi & Partanen 2008, 151)

Jakeluverkon siirtokapasiteettia kauko-ohjattava erotin ei kasvata, mutta se auttaa löytämään tehokkaasti toteutettavia varasyöttöjä vakavissa jakeluverkon häiriötilanteissa. Tehokas verkon siirtokyvyn hyödyntäminen pienentää tarvittavia investointeja. Radio-osa, antenni, ohjauselektronikka, moottoroitu jousi, ohjausvarsi ja erotinyksikkö liittyvät kauko-ohjattavaan erotinasemaan. Kauko-ohjauksen sijoituspaikkoina ovat usein jakeluverkon keskeiset haaroituskohdat ja jakorajat. Erotinaseman ohjauksessa on usein 2 - 4 erottimen joukko. (Lakervi & Partanen 2008, 151, 152)

Kauko-ohjauksessa olevia katkaisijoita voidaan myös asentaa keskijännitelähdölle. Silloin sähkökuluttajan kannalta vikojen lukumäärä sekä yhteiskesto vähentyvät. Tavoiteltava etu on riippuvainen katkaisijan takana sijaitsevan verkon määrästä sekä katkaisijan etupuolella olevien kuluttajien tyypistä ja lukumäärästä. Katkaisijan etupuolella sijaitseville kuluttajille ei aiheudu katkosta katkaisijan takana sattuvissa häiriöissä. Verkkokatkaisijan tuottavuutta tarkasteltaessa määritellään, kuinka paljon keskeytyskustannukset vähenevät, jos katkaisija asennetaan tiettyyn kohtaan jakeluverkkoa. (Lakervi & Partanen 2008, 152)

Siirtokapasiteettia ja jakeluverkon toimitusvarmuutta kyetään lisäämään käytöntukijärjestelmän tehokkaalla käytöllä. Järjestelmän laskentatoiminnoilla kyetään selvittämään suurissakin vikatilanteissa varayhteydet siten, että suojauksen ja jännitteen laatuvaatimukset saavutetaan. Laskentatoimintojen ja kauko-ohjauksessa olevien erottimien käytöllä kyetään nostamaan siirron käyttöastetta ja näin ollen pitkän aikavälin investoinnit pienenevät. (Lakervi & Partanen 2008, 153)

Oikosulkuvikojen paikantaminen ja erottaminen nopeutuu käytöntukijärjestelmän vianpaikannusominaisuuksien ansiosta. Monipuolinen häiriöiden paikannusjärjestelmä vaatii, että sähköasemasolla on vähintään pääsyöttökennossa käytettävissä prosessoriperiaatteella toimiva suojarele. Tällöin kyetään mittaamaan vikavirrat sekä taltioimaan niiden suuruudet ja lähettämään tiedot edelleen valvomoon käytöntukijärjestelmään. Häiriöiden paikantamista kyetään kehittämään käyttämällä verkossa vianilmaisimia, joista saadaan lukutieto kaukokäytön avulla. Ilmaisin nimittäin havahtuu, mikäli sen kautta kulkee vikavirta. Mikäli vianilmaisimien havaintotieto lähetetään kaukoluennalla

valvomoon, pystytään vikakohde paikallistamaan ripeästi maasuluissakin. (Lakervi & Partanen 2008, 153)

3 TORNIONLAAKSON SÄHKÖ OY

3.1 Yritystoiminta

Tornionlaakson Sähkö Oy kuuluu tytäryrityksen yhtymään, jossa emoyhtiönä toimii Pellon Sähkö Oy. Yhtiön omistus pohja jakaantuu seuraavasti: Pellon Sähkö Oy 53,7 %, jakelualueen kunnat ja kuntien omistamat yritykset 23,6 %, yksityishenkilöt 20,3 % ja muut yritykset/yhteisöt 2,4 %. (Tornionlaakson Sähkö Oy 2012, hakupäivä 9.5.2013)

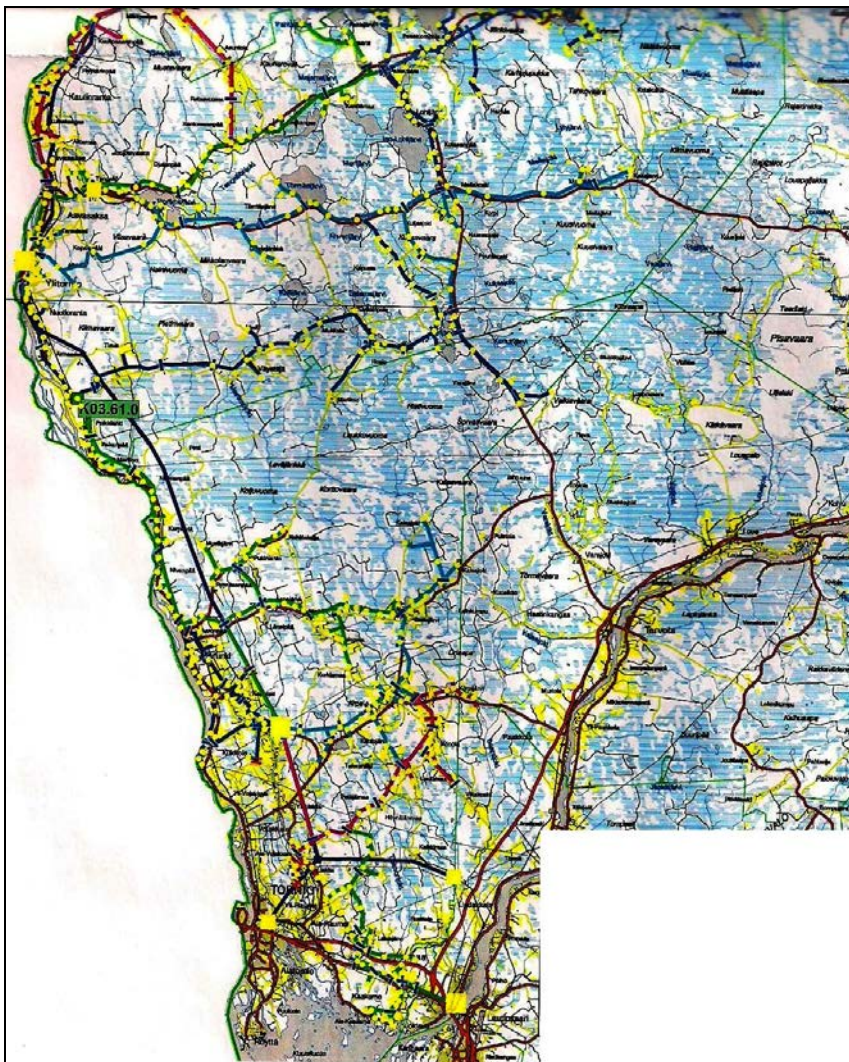
Yrityksen verkkoliiketoiminta-alue ulottuu Länsi-Lapissa neljään kuntaan. Asiakkaita yhtiöllä on noin 15000 ja koko jakelualueen sähkönkulutus noin 250 GWh vuosittain. Yhtiön sähkönjakeluverkosto on kokonaislaajuudeltaan noin 3300 km pituinen. Henkilökuntaa yrityksessä on noin 30. Yhtiö hoitaa Energiapolar Oy:n asiakaspalvelun ja sähkölaskutuksen jakelualueellaan. Pellon Sähkö Oy:n verkostotyöt ja asiakaspalvelu kuuluvat myös Tornionlaakson Sähkö Oy:n tehtäviin. (Tornionlaakson Sähkö Oy 2012, hakupäivä 9.5.2013)

3.2 Jakeluverkoston rakenne

Tornionlaakson Sähkö Oy:n keskijänniteverkko jakaantuu neljän kunnan alueelle ensimmäisen johto-osan lähtiessä Isohaaran sähköasemalta. Keskijänniteverkko päättyy Ylläksen alueella sijaitsevalle pohjoisimmalle sähköasemalle. Keskijänniteverkko on pääosin ilmajohtoverkkoa ja valtaosa verkostosta sijaitsee taajamien ulkopuolisella alueella. Kaapeliverkkoa on käytetty erityisesti Ylläksen alueella, missä alueen luonteen vuoksi kaapelointi on lähes ainut toteutettavissa oleva vaihtoehto jakeluverkoksi.

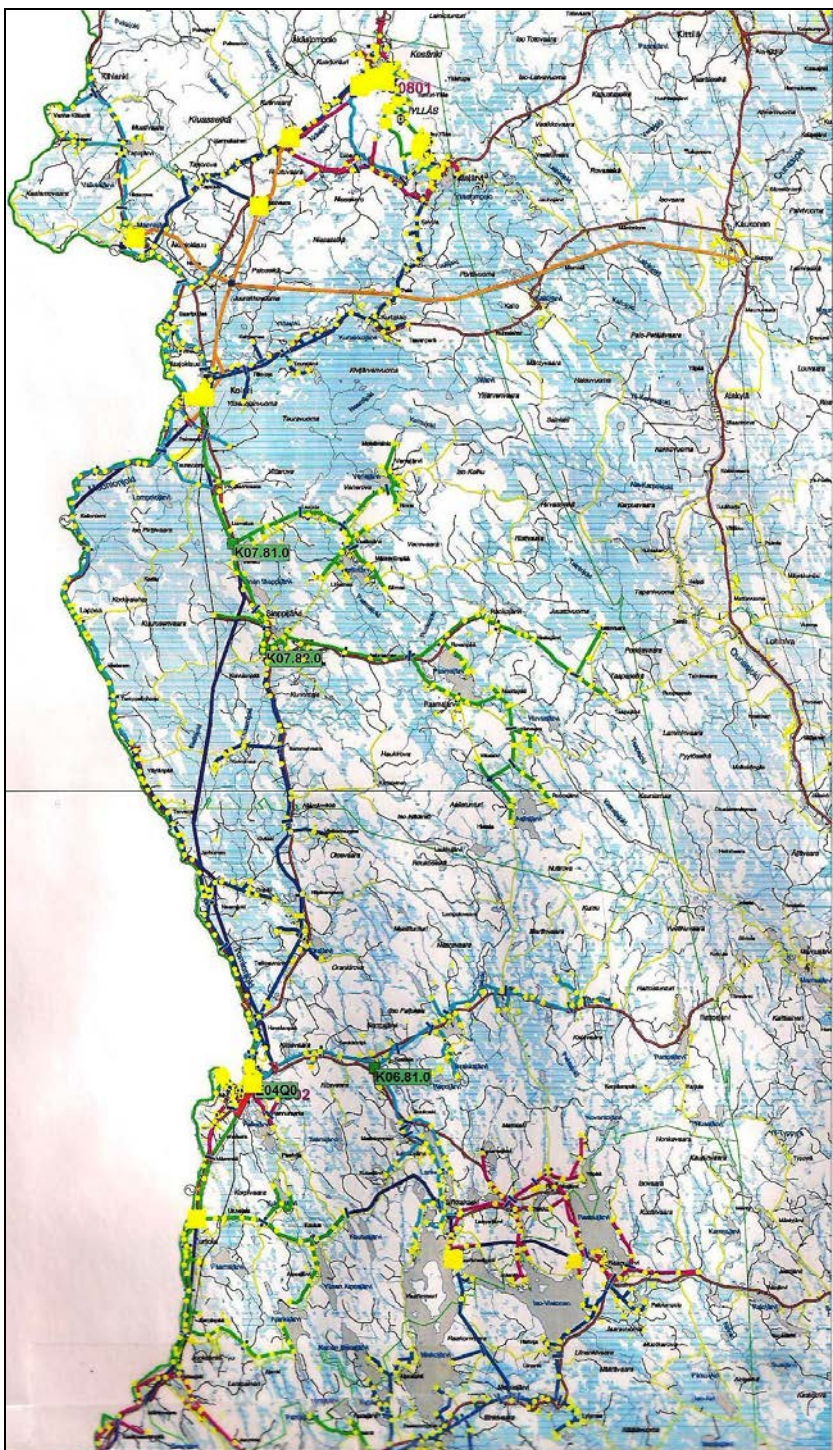
Sähköasemia jakeluverkkoyhtiöllä on käytössään kaikkiaan 8 kappaletta, joista yksi ei ole aktiivisessa käytössä. Tämä yksi asema toimii varakäyttöasemana, mistä voidaan tarvittaessa ohjata syöttöjä sen kautta kulkeviin keskijännitejohtoihin. Sähköasemat sijaitsevat melko tasaisin välimatkoin sähkönjakelualueella. Sähköasemien syöttö tulee

110 kV alueverkon kautta. 110 kV alueverkko kulkee pääosin Tornionjokilaaksoa myöten, sähköasemien mukaisesti.



Kuva 6. Tornionlaakson Sähkö Oy:n jakeluverkon eteläosio. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Jakelualueen eteläosassa aivan alueen etelälaidassa (kuva 6) sijaitsee Isohaaran voimalaitos ja sähköasema, mistä lähtee yksi keskijännitelähtö pohjoiseen. Jakeluverkosto lähtee rakentumaan pääosin länsirajan myötäisesti. Eteläosion (kuva 6) sähköasemat (keltaiset isot neliöt) sijaitsevat myös samansuuntaisesti länsirajaa pitkin. Osa sähköasemien johtolähdöistä etenee tiestöä myöten länsi-itä suunnassa, koska käyttöpaikkoja on myös suurten taajamien ulkopuolella.



Kuva 7. Tornionlaakson Sähkö Oy:n jakeluverkon pohjoisosio. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Jakeluverkon pohjoisosassa sijaitsee Ylläksen sähköasema, joka on verkoston pohjoisin asema. Siitä lähtevät johtolähdöt syöttävät Yllästä ja sen lähialueita. Pohjoisosiossa kulkee myös vanha 45 kV-linja, joka näkyy yläosassa (kuva 7) oranssin värisellä viivalla.

Pohjoisosion eteläosassa (kuva 7) itään vievällä johtolähdöllä on käytössä verkkokatkaisija johto-osan haarakohdassa. Kolarin sähköasemalta lähtevällä johtolähdöllä sijaitsee myös verkkokatkaisijoita 2 kappaletta eri haarakohdissa.

3.3 Isohaaran sähköasema



Kuva 8. Isohaaran sähköaseman johtolähtö. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 1. Johtolähdön tiedot

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
1,17	0,14	0,6	53,163

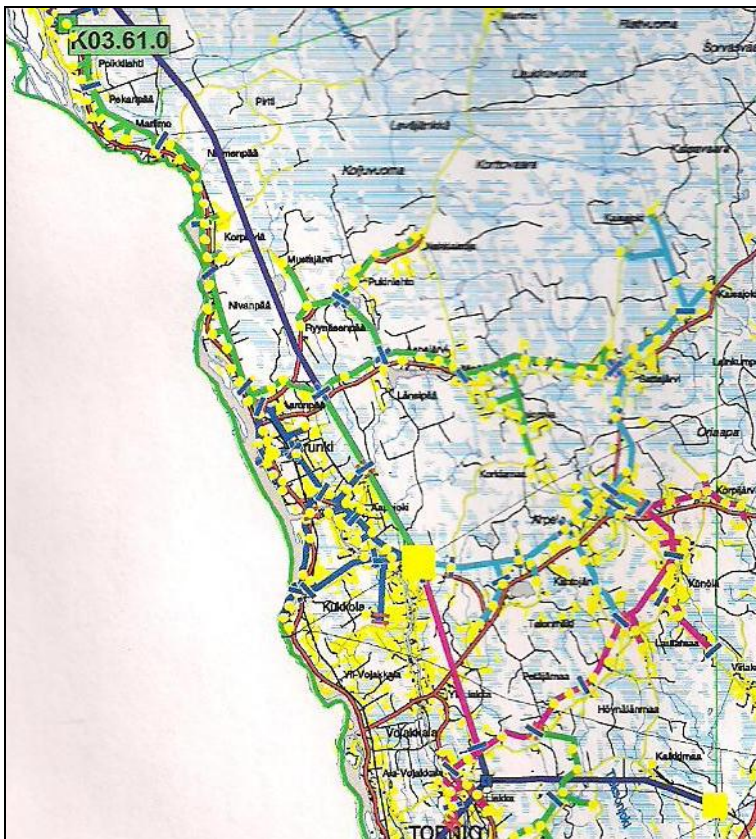
Sähköasema syöttää yhtä johtolähtöä, joka näkyy (kuva 8) vihreällä värillä. Johtolähdön keskimääräinen vuositeho (taulukko 1) on 1,2 MW ja kokonaispituus noin 53 km. Keskeytystaajuus pysyville keskeytyksille on 0,14 1/km,a ja jälleenkytkennöille 0,6 1/km,a.

Johtolähdön ensimmäinen haarakohta on Kaakamoon johtavan tien kohdalla. Tässä haarakohdassa käytössä olevat erottimet E1122-E1123-E1124-E1125 ovat kaukokäyttöisiä. Kaakamon suuntaa syöttää näistä erottimista E1122. Haaran keskivuositeho on 0,52 MW ja se käsittää 14 muuntajaa.

Eroin E1124 syöttää itäsuuntaa ja sen keskimääräinen vuositeho on 0,16 MW. Muuntajia tällä haaralla on 7 kappaletta ja niistä lähes kaikki ovat samansuuruisia muuntajia. Muuntajien sähkökuluttajat ovat kotitalousasiakkaita.

Johtolähdön loppuosalla sijaitsevat erottimet ovat manuaalisesti ohjattavia ja niiden takana olevat haarajohdot ovat lyhyitä suhteessa muuhun runkojohtoon. Loppuosan muuntajat ovat Kaakamon haaran muuntajiin verrattuna pieniä, vaikka runkojohtosuus onkin merkittävä.

3.4 Kuusimaan sähköasema



Kuva 9. Kuusimaan sähköasema ja johtolähdöt. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Sähköasemalta (kuva 9) lähtee yhteensä 4 johtolähtöä, joista lähtö 01 on yhteydessä Isohaaran sähköasemalta syötettävään lähtöön. Nämä lähdöt on erotettu toisistaan jako-

rajaerottimella E1136 ja se kuuluu kauko-ohjattavien erotinlaitteiden joukkoon. Sähköaseman vuotuinen keskiteho on lähes 3 MW.

3.4.1 Johtolähtö 01



Kuva 10. Kuusimaan aseman lähtö 01. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 2. Lähdön 01 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,46	0,15	0,6	54,685

Ilmajohto etenee etelänsuuntaan 110 kV-linjan mukana melkein Liakkaan saakka. Vaaleanpunaisesta viivasta (kuva 10) huomataan, ettei lähdön alussa sijaitse jakelumuuntajia. Ensimmäinen erotin E1225 sijaitsee noin 10 kilometrin etäisyydellä asemalta. Erotin jälkeen ilmajohto haarautuu idän- ja lännen suuntaisesti. Länteen matkaava johtosa haarautuu edelleen Ala-Vojakkalan ja Liakan suuntaan. Tämän suunnan keski-voositeho on 0,22 MW. Lähdön 01 vuotuinen keskiteho (taulukko 2) on 0,46 MW.

Itään menevän ilmajohdon seuraava haara on kauko-ohjattavalla erotinasemalla E1134-E1135-E1136. Erottimet E1134 ja E1135 ovat lähdön 01 ja E1136 toimii jakorajaerot-

timena Isohaaran asemalta tulevalle ilmajohdolle. Erottimelta E1135 ilmajohto jatkaa noin 7,5 kilometriä, missä se tulee seuraavalle erotinasemalle E1271-E1272-E1273. E1273 on jakorajaerotin Arpelan suunnalta tulevan lähdön 06 haarajohdon kanssa.

Erottimen E1272 jälkeen noin 2,5 kilometrin päässä on seuraava haarautumiskohta. Lähtö haarautuu etelään, Lautamaan suuntaan. Tämän haaran keskiteho on 0,02 MW ja pituus 4,5 kilometriä. Runkojohto jatkuu edelleen Korpijärvelle saakka. Ennen Korpijärveä on vielä yksi jakorajaerotin E1263, joka erottaa lähdön 06 haarajohdon.

3.4.2 Johtolähtö 03



Kuva 11. Kuusimaan aseman lähtö 03. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

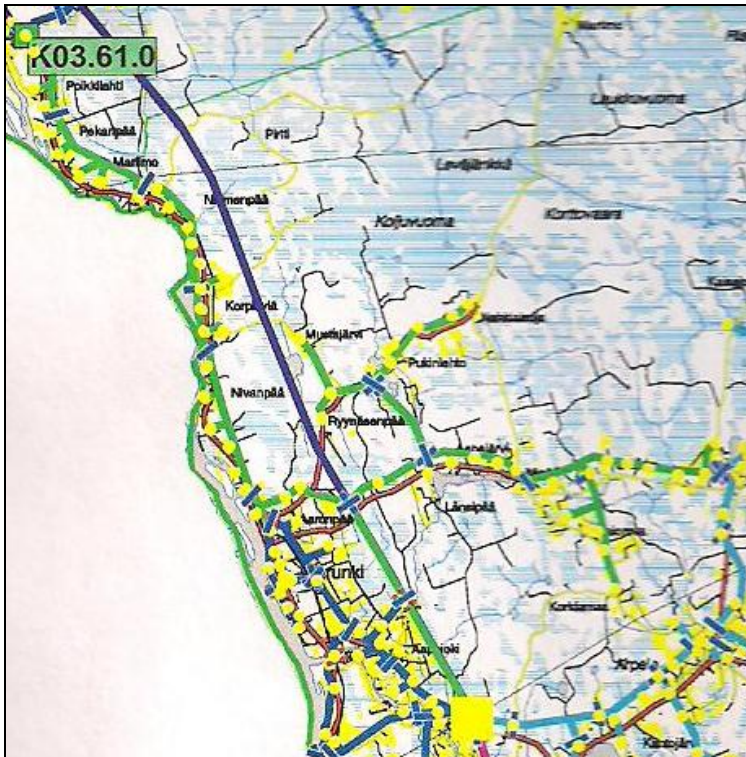
Taulukko 3. Lähdön 03 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
1,13	0,19	0,5	45,781

Lähtö 03 haarautuu heti sähköasemalta lähdettyään länteen ja pohjoiseen, kuten sinisestä viivasta (kuva 11) havaitaan. Länteen menevä johto kulkee Kukkolan kautta 5 kilometriä jokirantaan saakka. Siitä johto kääntyy kulkemaan jokirannan suuntaisesti kohti pohjoista 4,5 kilometrin matkan, jolloin se saapuu jakorajaerottimelle. Tämä jakorajaerotin erottaa tämän saman lähdön kaksi eri haaraa, eli länteen ja pohjoiseen menevät.

Pohjoiseen matkaava johto kulkee lähes 5 kilometriä, kunnes se saapuu haarakohtaan. Tästä haarasta erkaantuu 2,5 kilometrin pituinen osa, joka päättyy jakorajaerottimelle lähdön 05 kanssa. Tästä haarasta pohjoiseen eli Karunkiin jatkava johto kulkee reilut 5 kilometriä, kunnes se kohtaa jakorajaerottimen lähdön 05 kanssa. Tästä kohtaa johto kääntyy kulkemaan jokivarren suuntaisesti etelän suuntaan noin 4 kilometrin matkan, päättyen viimeiseen jakelumuuntajaan Karungin eteläpuolella. Lähdön 03 vikataajuus (taulukko 3) on 0,19 1/km,a.

3.4.3 Johtolähtö 05



Kuva 12. Kuusimaan aseman lähtö 05. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

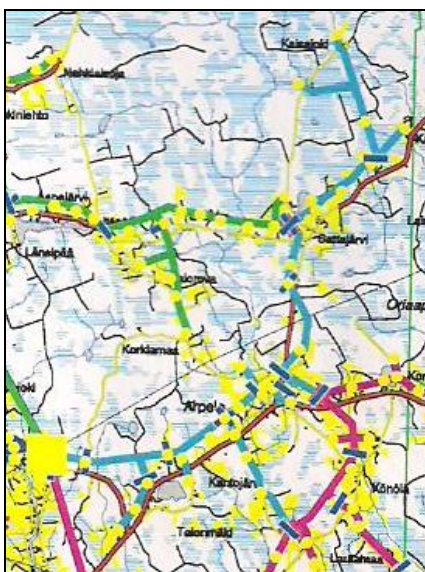
Taulukko 4. Lähdön 05 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,68	0,12	0,36	88,305

Johtolähtö 05 etenee 110 kV-linjan mukana 10 kilometrin matkan Aaronpäälle, kunnes se haarautuu lännen ja idän suuntaan. Idän suuntaan lähtevä johtohaara etenee 3,5 kilometriä Aapajärvelle, missä lähtee seuraava haarajohto pohjoiseen Ryynäsenpää-Pukinlehto suuntaan. Tämän Ryynäsenpää-Pukinlehto haaran keskivuositeho on 0,06 MW. Idän suuntaan jatkava haara kulkee Aapajärven kautta Sattajärvelle 11,5 kilometrin matkan. Sattajärven kohdalla haara erotetaan jakorajaerottimella lähdön 06 johdosta.

Länteen suuntaava johtohaara kulkee 3,5 kilometrin matkan jokirantaan saakka (kuva 12) ja jatkaa siitä edelleen pohjoiseen. Tämän suunnan vuotuinen keskiteho on 0,43 MW. Jokirannan kohdalla on jakorajaerotin lähdön 03 kanssa. Johto kulkee noin 14 kilometriä jokirannan suuntaisesti pohjoiseen Martimoon saakka päättyen lopulta jakorajaerottimelle E2300. Lähtö 05 on kokonaispituudeltaan (taulukko 4) noin 88 km.

3.4.4 Johtolähtö 06



Kuva 13. Kuusimaan aseman lähtö 06. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 5. Lähdön 06 tiedot.

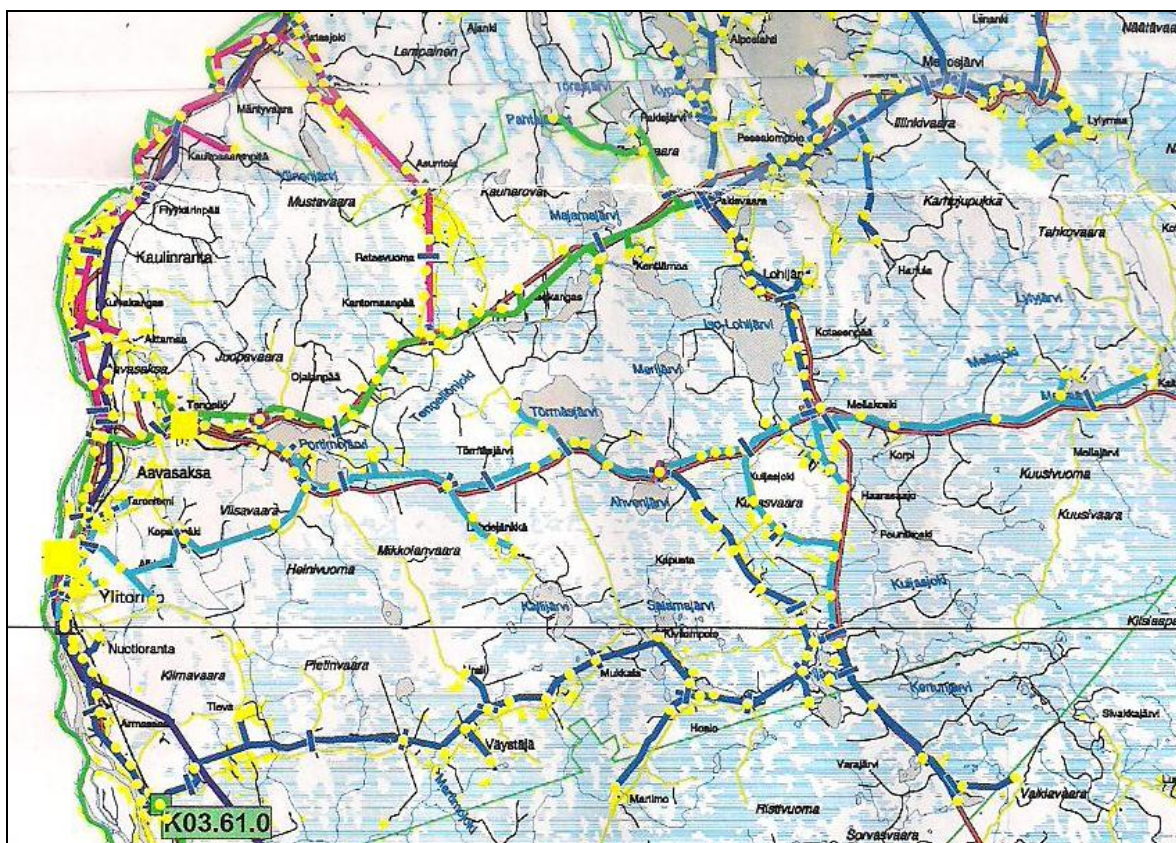
MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,68	0,11	0,46	48,311

Ilmajohto lähtee Kuusimaan sähköasemalta kohti itää. Kokonaispituutta lähdöllä on reilut 48 kilometriä ja lähdön keskimääräinen vuositeho (taulukko 5) on 0,68 MW. Pysyvien keskeytysten vuotuinen keskeytystaajuus on 0,11 1/km,a ja jälleenkytkentöjen 0,46 1/km,a. Johtolähtö 06 näkyy (kuva 13) vaaleansinisellä värillä.

Ilmajohto etenee 7,5 kilometriä Arpelaan, jossa ensimmäinen johtohaara erkaantuu kohti etelää. Tämä haara kulkee Kantojärven kautta noin 5 kilometriä päättyen jakorajaerottimelle E1273. Arpelasta runkojohto matkaa noin 3 kilometrin matkan seuraavaan haarakohtaan, mistä haarajohto etenee jakorajaerottimelle E1263. Runkojohto puolestaan jatkaa 7,5 kilometriä Sattajärvelle, missä jakorajaerotin lähdön 05 kesken sijaitsee. Sattajärveltä ilmajohto menee 5 kilometrin päähän erottimelle E1289. Erottimelta E1289 lähtö jakaantuu vielä 7,5 kilometrin ja 2 kilometrin johto-osiin.

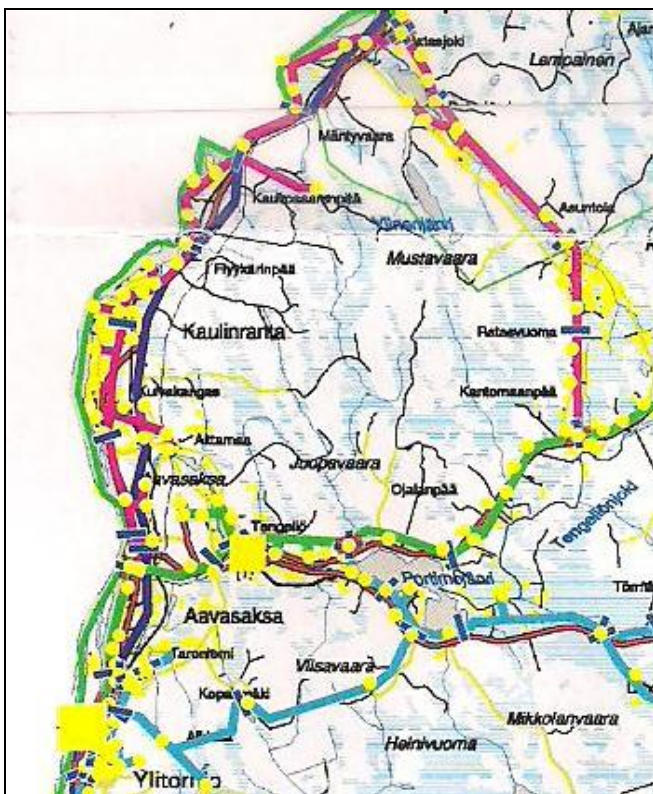
3.5 Ylitornion sähköasema

Ylitornion asemalla johtolähtöjä on yhteensä 6 kappaletta (kuva 14) ja aseman vuotuinen keskiteho on lähes 4,3 MW.



Kuva 14. Ylitornion sähköasema ja johtolähdöt. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

3.5.1 Johtolähtö 05



Kuva 15. Ylitornion aseman lähtö 05. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 6. Lähdön 05 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,8	0,13	0,49	68,7

Lähdön 05 ilmajohto on havainnollistettuna (kuva 15) violetilla viivalla. Pysyvien keskeytysten vuotuinen taajuus (taulukko 6) on 0,13 1/km ja jälleenkytkentöjen vuotuinen taajuus 0,49 1/km. Johtolähdön vuotuinen keskiteho on 0,8 MW ja kokonaispituus melkein 69 kilometriä.

Ylitornion asema näkyy (kuva 15) isona keltaisena neliönä. Asemalta lähtevä ilmajohto etenee jokivarren suuntaisesti pohjoiseen lähes 5 kilometrin matkan Aavasaksan kohdalle. Tässä kohtaa samansuuntaisesti kulkenut Portimojärvelle suuntaava lähtö kääntyy itään.

Ilmajohto 05 jatkaa Aavasaksan kohdalta pohjoiseen 5,5 kilometrin matkan, kunnes saapuu ensimmäisen merkittävään haarakohtaan. Tämä haarajohto lähtee kohti itää Aittamaan suuntaan ja sillä on pituutta lähes 3 kilometriä. Hieman ennen Aittamaan haaraa kulkee runkojohto erottimen E2350 kautta.

Erottimelta E2350 jatkaa ilmajohto matkaansa jokivartta myöten pohjoiseen 4 kilometriä Kaulinrannan seudulle, kun se tulee erottimelle E2351. Heti erottimen E2351 jälkeen lähtee noin kilometrin pituinen haarajohto länteen ja se päättyy jokirantaan. Runkojohto jatkaa jokivarren suuntaisesti pohjoiseen noin 8 kilometriä saapuen haarakohtaan.

Haarakohdasta lähtee johto itään ja haarajohdon alussa sijaitsee erotin E2354. Haarajohto kulkee 5,5 kilometriä itään Kaukosaarenpähän, missä se syöttää Koijuvaaran jakelumuntajaa. Runkojohto jatkaa haarakohdasta 2,5 kilometriä pohjoiseen, jossa sijaitsee erotin E2353.

Erottimelta E2353 runkojohto matkaa 5,5 kilometriä Juoksenkiin, jossa se saapuu erottimelle E3619. Samassa kohdassa sijaitsee myös jakorajaerotin E3617, joka erottaa lähdön 05 Pellon asemalta syötettävältä lähdöltä. Erottimelta E3619 lähtö 05 kääntyy kohti etelää ja jatkaa lähes 16 kilometrin matkan. Johto kulkee erottimien E3662, E3618 ja E2611 kautta päättyen jakorajaerottimelle E2610.

3.5.2 Johtolähtö 06



Kuva 16. Ylitornion aseman lähtö 06. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 7. Lähdön 06 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,51	0,23	0,4	94,267

Lähdön 06 ilmajohto lähtee asemalta jokivarren myötäisesti kohti etelää. Johto kulkee noin viiden kilometrin matkan 110 kV-linjan kanssa, kunnes 110 kV-linja sekä lähtö 06 erkaantuvat omiksi linjoikseen. Tämän kohdan jälkeen ilmajohto 06 saapuu erottimelle E2305. Lähtö 06 näkyy (kuva 16) tummansinisellä viivalla. Lähdön 06 vuotuinen vika-
taajuus on (taulukko 7) 0,23 1/km,a.

Erotimeilta E2305 ilmajohto jatkaa edelleen jokivarren mukaisesti kohti etelää noin viisi kilometriä, missä se kääntyy kohti itää. Tässä kohtaa sijaitsee verkkokatkaisija K03.61.0, kuten kuvasta (kuva 16) huomataan. Katkaisijalta K03.61.0 ilmajohto jatkaa itään 2,5 kilometriä, kunnes se risteää 110 kV linjan kanssa.

110 kV linjan kohdalta johto jatkaa 2,5 kilometriä itään, mistä lähtee haarajohto pohjoiseen. Haaran kulkee noin 1,5 kilometriä Tievaan saakka, jossa se syöttää yhtä jakelumuuntajaa. Runkojohto puolestaan jatkaa itään kolme kilometriä saapuen erottimelle E2311. Erotimeilta E2311 ilmajohto matkaa 4,5 kilometriä, kunnes saapuu seuraavalle

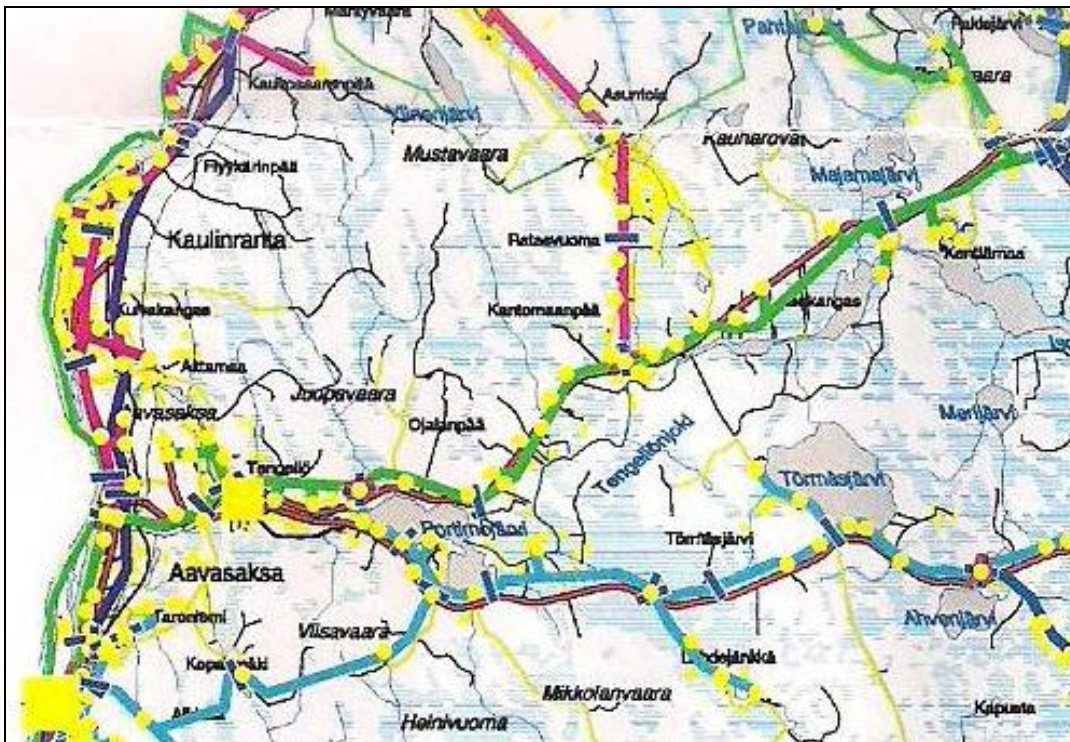
erottimelle E2312. Erottimien E2311 ja E2312 välillä ei sijaitse yhtään jakelumuuntajaa.

Erottimelta E2312 lähtö kulkee melkein 3,5 kilometriä saavuttaen seuraavan haarakohdan. Haarakohdasta lähtee ilmajohto etelän suuntaan ja se kulkee noin 2 kilometriä päättyen Väystäjäan. Runkojohto jatkaa haarakohdasta puolestaan itään 1,5 kilometriä erottimelle E2313. Erottimen jälkeen lähtee kahden kilometrin pituinen haarajohto pohjoiseen päättyen Uralin jakelumuuntamolle.

Runkojohto jatkaa idän suuntaan 5,5 kilometriä Mukkalaan, missä sijaitsee erotin E2314. Erottimelta E2314 ilmajohto jatkaa lähes kuusi kilometriä Hosioon saakka. Hosiossa sijaitsevat erottimet E2315 ja E2316. Erottimelta E2315 lähtee noin viiden kilometrin pituinen haara etelän suuntaan ja se päättyy Martimon jakelumuuntajalle. Erottimelta E2316 ilmajohto jatkaa 5,5 kilometriä itään, ohittaen erottimen E2317 ja saapuen erottimelle E2318.

Lähes 1,5 kilometrin päässä erottimelta E2318, haarautuu ilmajohto Ahvenjärven ja Valkiavaaraan suuntiin. Ahvenjärven suuntaava johto kulkee erottimen E2379 kautta melkein 11 kilometrin matkan pohjoiseen päätyen jakorajaerottimelle E2378. Valkiavaaraan suuntaava ilmajohto kulkee puolestaan ensin reilun kilometrin itään, jossa se saapuu kauko-ohjatulle erotinasemalle E2515-E2516-E2517. Näistä E2515 on jakorajakerotin ja E2516 sekä E2517 ovat puolestaan lähden 06 erottimia. Erottimelta E2517 johto suuntaa etelään noin 9 kilometriä erottimelle E1501 ja siitä 3 kilometriä itään päättyen Valkolan jakelumuuntajalle Valkiavaaraan.

3.5.3 Johtolähtö 07



Kuva 17. Ylitornion aseman lähtö 07. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 8. Lähdön 07 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,58	0,29	0,59	64,288

Lähdön 07 ilmajohto alkaa Ylitornion sähköasemalta ja kulkee aluksi noin viiden kilometrin matkan jokivarren suuntaisesti pohjoiseen lähdön 05 kanssa. Sitten lähtö 07 kääntyy kohti itää Tengeliön suuntaan ja etenee 2,5 kilometrin matkan saapuen erottimelle E2369. Lähtö 07 näkyy (kuva 17) vihreällä viivalla. Lähdön 07 vuotuinen keskiteho (taulukko 8) on 0,58 MW.

Erottimelta E2369 noin kilometrin päässä runkojohtosta Tengeliön kohdalla haarautuu johto pohjoiseen. Haarajohtoon erotin E2367 sijaitsee haarakohdassa ja haaran pituus on lähes kolme kilometriä. Haara syöttää muun muassa Aavasaksan aluetta ja hiihtokeskusta.

Runkojohto jatkuu haaroituskohdasta idän suuntaan 3,5 kilometriä Portimojärvelle, kunnes se tulee kauko-ohjatuille erotinasemalle E2363-E2364-E2370. Erotin E2370 on jakorajaerottimena Törmäsjärvelle suuntaavan lähdön kanssa ja erottimet E2363 ja E2364 ovat lähdön 07 erottimia.

Erotimeilta E2364 ilmajohto jatkaa idän suuntaan lähes neljä kilometriä ja saapuu Portimojärven itäpuolella sijaitsevalle erottimeille E2368. Tästä lähtö 07 jatkaa melkein 6,5 kilometriä Kantomaanpään alueella sijaitsevalle kauko-ohjatuille erotinasemalle E2365-E2500-E2610. E2610 on jakorajaerottimena Kaulinrannan suunnalta tulevan lähdön kanssa ja E2500 sekä E2365 ovat lähdön 07 erottimia.

Erotimeilta E2500 ilmajohto jatkaa lähes yhdeksän kilometriä idän suuntaan Majamaajärvelle saapuen seuraavalle erottimeille E2501. Tästä noin 1,5 kilometrin päässä sijaitsee etelään, Kenttämaalle suuntaava johtohaara. Runkojohto jatkuu tästä 3,5 kilometrin päähän Paldovaaraan, jonka kohdalla on jakorajaerotin E2503 Kaaranneskoskelta tulevan johtolähdön kanssa.

Ilmajohto haarautuu vielä pohjoisen suuntaan noin kilometri ennen jakorajaerotinta E2503. Melkein haarakohdassa noin 500 metriä pohjoiseen, sijaitsee erotin E2502. Erotimeilta E2502 reilut kaksi kilometriä pohjoiseen, haarautuu lähtö vielä kahteen osaan. Toinen johto kulkee lähes viisi kilometriä päättyen Pahtajärven jakelumuuntajalle ja toinen noin kilometrin päättyen Torasjärven jakelumuuntajalle.

3.5.4 Johtolähtö 08

Taulukko 9. Lähdön 08 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
1,03	0,15	0,74	15,354

Johtolähdön alkupäässä ennen erottimia E2348, E2324 ja E2323 on Pappilan jakelumuuntaja. Erotimeilla E2323 lähtee haarajohto etelään Nuotiorannan suuntaan. Haarassa

ensimmäisinä jakelumuuntajina tulevat vastaan Myllyojan, Viinamäen ja Nuotiorannan koulun muuntamot. Näiden jälkeen tulevat erottimet E2322-E2321-E2309 ja sitten Meijerin jakelumuuntaja.

Erottimen E2324 jälkeen on Suntiontien muuntaja, mistä seuraavana tulee erotin E2380. E2380 erottimesta seuraavana on Siulan muuntamo ja erotin E2381. E2381 jälkeen tulevat Mäkeläntien, Karemajantien, Hiihtäjätien, Lomakeskuksen ja Hiihtokeskuksen muuntajat. Edellisten muuntajien jälkeen tulee erotin E2382 ja sen jälkeisen jakeluverkon keskimääräinen vuositheho on 0,49 MW. Lähdön 08 vikataajuus (taulukko 9) on 0,15 1/km,a.

3.5.5 Johtolähtö 09

Taulukko 10. Lähdön 09 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,96	0,07	0	3,999

Lähdöllä 09 on yhteensä 477 sähkökäyttäjää ja 7 jakelumuuntajaa. Lähdön kokonaispii-tuus on lähes neljä kilometriä ja vuotuinen keskiteho (taulukko 10) on 0,96 MW. Pysyvien keskeytysten vuotuinen taajuus on 0,07 1/km ja jälleenkytkentöjen taajuus 0 1/km. Lähdön alussa sijaitsevan erottimen E2344 jälkeen tulee Kunnan muuntamo, jonka jäl-keen lähtö jakaantuu E2345/E2346 erottimien kesken. Erottimen E2346 jälkeisen ver-kon vuotuinen keskiteho on 0,4 MW ja erottimen E2345 perässä olevan verkon vuoden keskiteho on 0,44 MW.

3.5.6 Johtolähtö 11



Kuva 18. Ylitornion aseman johtolähtö 11. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 11. Lähdön 11 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,4	0,1	0,74	94,099

Lähdön 11 ilmajohto (kuva 18) suuntaa itään 2,5 kilometriä, mistä erkaantuu 1,5 kilometrin johtohaara etelään. Johtohaara syöttää yhtä jakelumuuntajaa, mikä sijaitsee haaran lopussa. Runkojohto puolestaan jatkaa noin kolme kilometriä itään tavoittaen erottimen E2391. Tästä ilmajohto jatkaa itään seitsemän kilometrin matkan Viisavaaran kautta päätyen Portimojärven eteläpuolella sijaitsevalle erottimelle E2373. Lähdön 11 yhteispituus (taulukko 11) on 94 km.

Erottimelta E2373 haarautuu johto, joka kulkee Portimojärven länsipuolelta päättyen jakorajaerottimelle E2370. Runkojohto jatkaa puolestaan lähes 1,5 kilometriä itään, Portimojärven eteläpuolella sijaitsevalle erottimelle E2390. Tästä ilmajohto suuntaa edelleen itään viisi kilometriä erottimelle E2374, mistä lähtee 4,5 kilometrin haarajohto etelään Lähdejängän suuntaan.

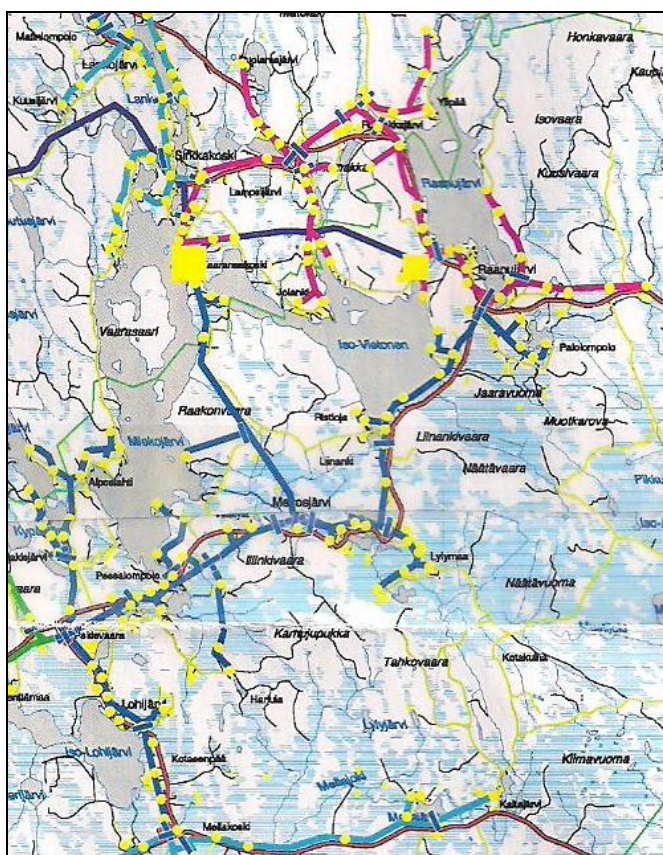
Lähdön 11 runkojohto jatkaa puolestaan melkein kuusi kilometriä itään Törmäsjärvelle erottimelle E2375, josta lähtee kolmen kilometrin pituinen johtohaara pohjoiseen. Erottimelta E2375 runkojohto jatkaa jälleen idän suuntaan viiden kilometrin matkan saapu-

en kauko-ohjatulle erotinasemalle E2376-E2377-E2378. E2378 on jakorajaerotin ja E2376 ja E2377 ovat lähdön 11 erottimia.

Erottimesta E2377 jatkaa runkojohto neljä kilometriä idän suuntaan, mistä lähtee 11 kilometrin mittainen haarajohto. Haarajohto kiertää Kuijasvaaran länsipuolelta kääntyen sitten etelän suuntaan ja päättyen jakorajaerottimelle E2515. Runkoilmajohto jatkaa haarakohdasta melkein 3,5 kilometriä itään, jossa sijaitsee jakorajaerotin E2524.

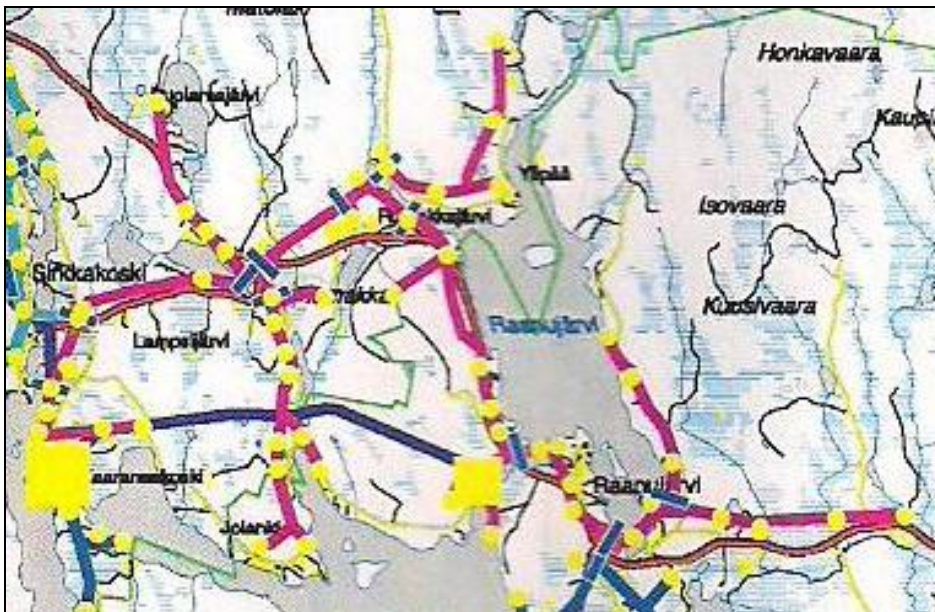
Jakorajaerottimelta ilmajohto kääntyy etelään ja kulkee noin kilometrin matkan, josta lähtee reilun kolmen kilometrin mittainen haarajohto etelän suuntaan. Runkoilmajohto jatkaa puolestaan haarakohdasta idän suuntaan reilun 16 kilometrin matkan päättyen lopulta Kaitajärven muuntamolle.

3.6 Kaaranneskosken sähköasema



Kuva 19. Kaaranneskosken sähköasema. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

3.6.1 Johtolähtö 02



Kuva 20. Kaaranneskosken aseman lähtö 02. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 12. Lähdön 02 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,41	0,14	0,63	75,12

Lähdön 02 ilmajohto haarautuu heti Kaaranneskosken aseman kohdalla ja 2,5 kilometrin mittainen haarajohto menee idän suuntaan 110 kV-linjan mukana. Runkojohto jatkaa puolestaan pohjoiseen päin reilun kolmen kilometrin matkan saapuen kauko-ohjattavalle erotinasemalle E3540-E3558-E3551. Näistä E3551 on jakorajaerotin Pellon asemalta tulevan lähdön kanssa. Lähtö 02 näkyy (kuva 19) ja (kuva 20) vaaleanpunaisella viivalla. Lähdön 02 vuotuinen keskiteho (taulukko 12) on 0,41 MW.

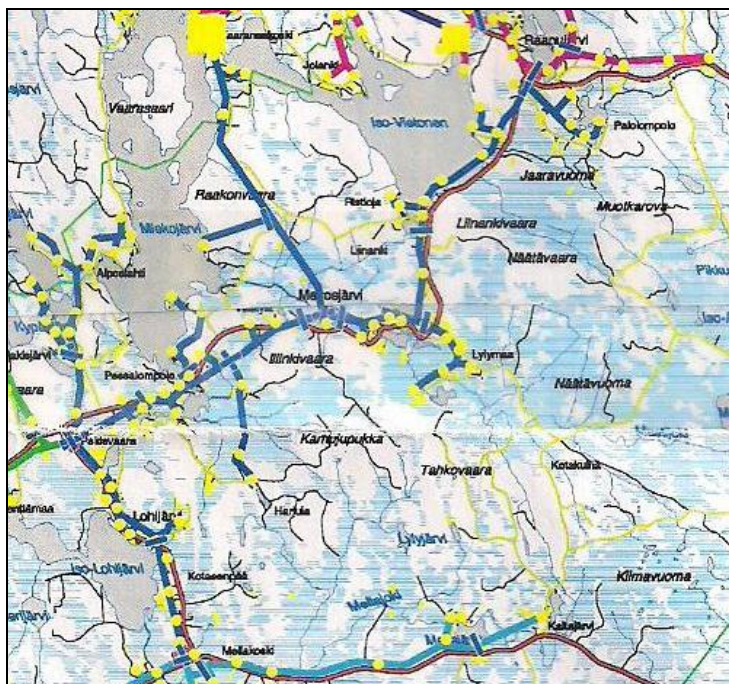
Erotimeilta E3540 ilmajohto jatkaa kääntyen idän suuntaan lähes viiden kilometrin matkan seuraavaan haaroituskohtaan. Haaroituskohdasta lähtee 5 kilometrin pituinen ilmajohto pohjoisen, Puolamajärven suuntaan. Toinen yhteispituudeltaan 10,5 kilometrin haarajohto lähtee etelän suuntaan ja se päättyy Jolankiin.

Tästä haarakohdasta runkoilmajohto jatkaa itään 4 kilometriä ohittaen erottimen E3545, kunnes se tulee jälleen haarakohtaan. Haarasta lähtee yhteispituudeltaan noin 7,5 kilometrin mittainen haarajohto, joka kulkee Raanujärven pohjoispuolella. Runkojohto puolestaan jatkaa Raanujärven länsipuolta 2,5 kilometrin matkan etelään erottimen E3547 läpi saapuen seuraavaan haaraan. Tämä 1,5 kilometrin mittainen haarajohto suuntaa runkojohdosta länteen päättyen jakelumuuntamolle.

Runkojohto jatkaa haarakohdasta reilut 5 kilometriä etelään Raanujärven eteläpuolelle erottimelle E2534. Tästä ilmajohto jatkaa ensin kilometrin itään ja sitten 2,5 kilometriä etelään saapuen kauko-ohjatulle erotinasemalle E2531-E2532-E2533. Näistä E2531 on jakorajaerotin Kaaranneskosken aseman lähdön 03 kanssa.

Erottimelta E2532 runkoilmajohto jatkaa matkaansa 1,5 kilometriä itään haarakohtaan, josta haarautuu 6,5 kilometrin mittainen haarajohto itään. Toinen haara kulkee puolestaan pohjoiseen Raanujärven itäpuolta lähes viisi kilometriä.

3.6.2 Johtolähtö 03



Kuva 21. Kaaranneskosken aseman lähtö 03. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 13. Lähdön 03 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,56	0,15	4,95	119,357

Lähdön ilmajohto kulkee kahdeksan kilometrin matkan etelän suuntaan Raakonvaaran kohdalle, mistä lähtee kolmen kilometrin pituinen haarajohto länteen. Johtohaarakohdassa on erotin E2536 ja se erottaa haarajohdon runkojohdosta. Haara päättyy Miekojärven rannassa sijaitsevalle jakelumuuntamolle. Runkojohto puolestaan jatkuu haarakohdasta melkein viiden kilometrin matkan etelän suuntaan Meltosjärven kohdalle erottimelle E2520, josta lähtö haarautuu idän ja lännen suuntiin. Lähdön 03 vuotuinen keskiteho (taulukko 13) on 0,56 MW.

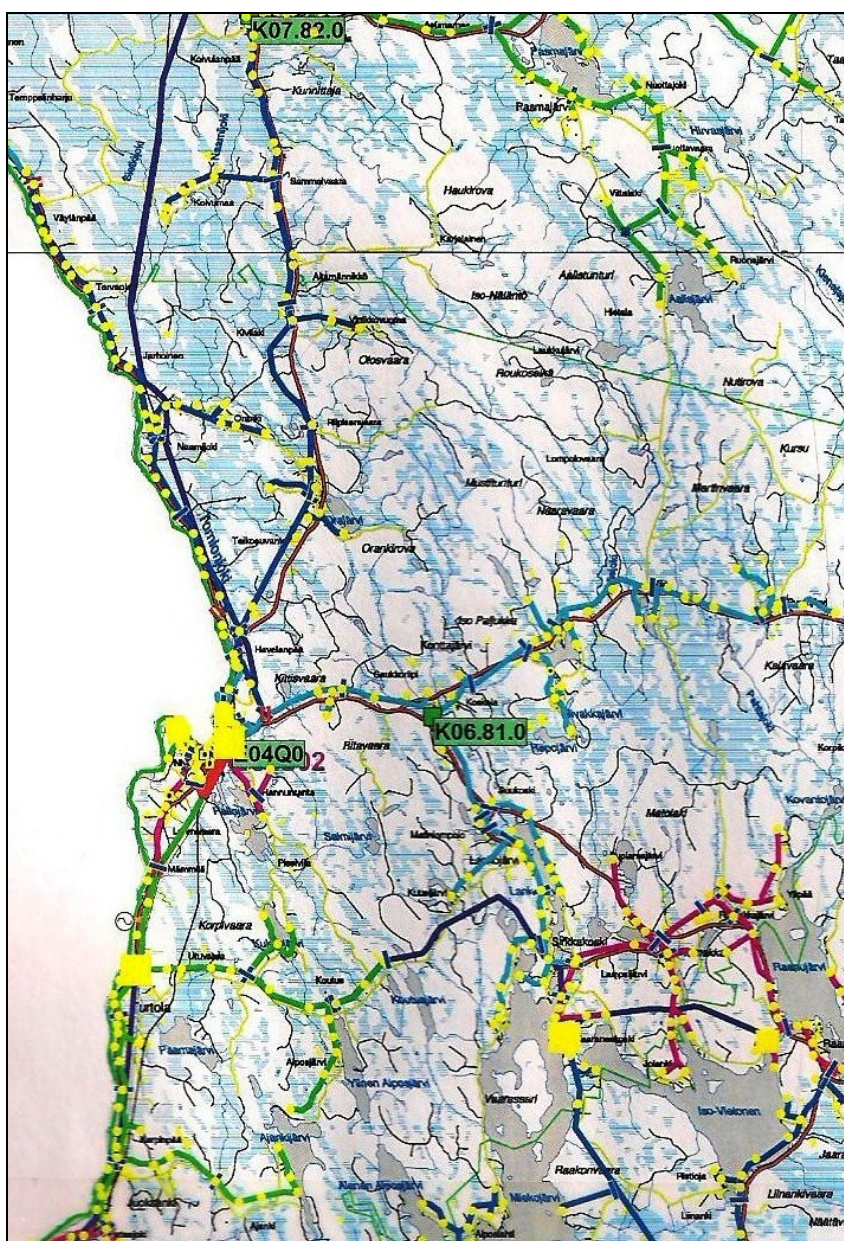
Idän suuntaan menevä johto-osa matkaa noin kahdeksan kilometriä, mistä johto-osa haarautuu idän ja pohjoisen suuntaan. Idän suuntaan menevä noin viiden kilometrin haarajohto kulkee erottimen E2523 läpi Lylymaalle saakka. Pohjoiseen suuntaava johto-osa kulkee erottimen E2530 kautta Iso-Vietosen itäpuolta lähes 12,5 kilometrin matkan saapuen Raanujärven eteläpuolella sijaitsevalle jakorajaerottimelle E2531. Tältä erottimelta ilmajohto jatkaa vielä yhteensä noin 5,5 kilometrin matkan itään.

Meltosjärveltä länteen matkaava johto-osa kulkee 4,5 kilometrin matkan saapuen haarakohtaan, josta lähtevä haarajohto etelään kulkee erottimen E2540 läpi. Haara päättyy 5,5 kilometrin päässä sijaitsevalle jakelumuuntamolle. Haarasta länteen jatkava runkojohto kulkee kahden kilometrin matkan Pessalompoloon seuraavaan haarakohtaan, mistä lähtevä haarailmajohto kulkee pohjoiseen noin 4,5 kilometriä päättyen Miekojärven rannalla sijaitsevalle jakelumuuntajalle.

Pessalompolon haarakohdasta runkojohto jatkaa erottimen E2506 läpi kuusi kilometriä lännen suuntaan saapuen kauko-ohjattavalle erotinasemalle E2503-E2504-E2505-E2510. E2503 erottaa Ylitornion asemalta tulevan johtolähdön ja Kaaranneskosken aseman lähdön 03. Erottimelta E2505 lähtee ilmajohto kulkien 3,5 kilometriä pohjoiseen, kunnes se haarautuu neljän sekä 10,5 kilometrin pituisiksi johto-osiksi. Lähtö 03 näkyy (kuva 21) tummansinisellä viivalla.

Erottimelta E2510 lähtee puolestaan ilmajohto matkaten melkein 5,5 kilometrin matkan etelään Lohijärvelle, erottimelle E2511. Erottimelta E2511 ilmajohto jatkaa vielä noin 5 kilometriä etelän suuntaan Kotasenpään kautta, päättyen lopulta Mellakoskelle jakorajaerottimelle E2524. Tämä jakorajaerotin erottaa ilmajohdon Ylitornion aseman johtolähdöstä.

3.7 Pellon sähköasema



Kuva 22. Pellon sähköasema. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

3.7.1 Johtolähtö 03

Taulukko 14. Lähdön 03 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
1,06	0	0	11,827

Lähdöllä 03 (kuva 22) on yhteispituutta (taulukko 14) lähes 12 kilometriä ja pysyvien keskeytysten taajuus on 0 1/km sekä jälleenkytkentöjen taajuus 0 1/km. Johtolähdön keskimääräinen vuositeho on 1,06 MW. Jakelumuuntajia lähdöllä 03 on 24 kappaletta ja asiakkaita on yhteensä 812.

3.7.2 Johtolähtö 04

Taulukko 15. Lähdön 04 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,69	0	0	13,39

Lähdön 04 keskimääräinen vuositeho (taulukko 15) on 0,69 MW ja jälleenkytkentöjen taajuus on 0 1/km sekä pysyvien keskeytysten taajuus 0 1/km. Lähdöllä on yhteispituutta yhteensä 13,4 kilometriä. Asiakkaita on 334 ja jakelumuuntajia 19 kappaletta.

3.7.3 Johtolähtö 05

Taulukko 16. Lähdön 05 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,35	0	0,14	21,135

Lähdön 05 yhteispituus (taulukko 16) on noin 21 kilometriä ja vuotuinen keskiteho on 0,35 MW. Jälleenkytkentöjen taajuus on 0,14 1/km ja pysyvien keskeytysten taajuus on 0 1/km. Jakelumuuntajien yhteismäärä on 14 ja asiakkaita on yhteensä 325.

3.7.4 Johtolähtö 06



Kuva 23. Pellon aseman lähtö 06. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 17. Lähdön 06 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,6	0,32	0,56	102,665

Lähtö 06 näkyy (kuva 23) tummansinisenä viivana, jossa on keltaisia pilkkuja. 110 kV linja kulkee (kuva 23) violetin viivan mukaisesti. Lähdön 06 ilmajohto suuntaa asemalta pohjoiseen noin 2,5 kilometrin matkan, kunnes saapuu jakorajaerottimelle E3600. E3600 erottaa lähdön 06 toisesta, Pellon asemalta lähtevästä ilmajohdosta. Tästä johto jatkaa edelleen pohjoiseen 4,5 kilometriä saapuen erottimille E3620 ja E3631. Lähdön 06 vuotuinen vikataajuus (taulukko 17) on 0,32 1/km,a.

Erottimelta E3620 lähtee ilmajohto Tornionjokea myöten pohjoisen suuntaan 11,5 kilometriä erottimen E3621 läpi ja saapuen erottimille E3622, E3623 sekä E3624. Erottimelta E3622 lähtee 8 kilometrin pituinen haarajohto Orankiin. Erottimelta E3623 puolestaan jatkaa ilmajohto 7,5 kilometrin matkan jokivartta pitkin pohjoiseen erottimelle E3625. Tästä lähdön 06 johto jatkaa vielä lähes 7,5 kilometrin matkan päättyen jakorajaerottimelle E4766.

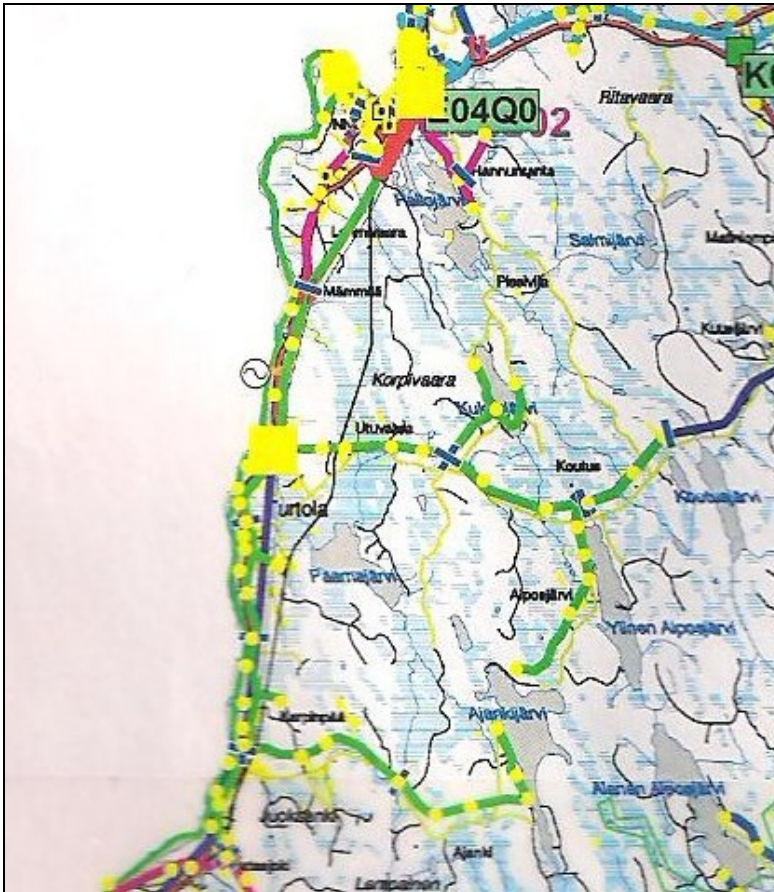
Erottimelta E3631 jatkaa ilmajohto seitsemän kilometriä pohjoiseen saapuen haarakohdan. Haarakohdasta lähtee 2,5 kilometrin pituinen ilmajohto itään Orajärvelle. Runkojohto puolestaan jatkaa noin kilometrin verran pohjoiseen saapuen seuraavaan haaraan. Haarajohto suuntaa länteen ja on pituudeltaan lähes 2,5 kilometriä.

Runkojohto jatkaa 10,5 kilometriä pohjoiseen, kunnes saapuu seuraavaan haaraan. Haarasta lähtevä ilmajohto suuntaa itään 3,5 kilometriä päättyen jakelumuuntajalle Vittikkovuomaan. Tästä haarasta runkojohto matkaa 7,5 kilometriä pohjoiseen Sammalvaaran seudulle. Tästä haarautuu ilmajohto länteen Koivumaan suuntaan. Haaralla on pituutta noin 6,5 kilometriä. Runkojohto jatkaa haarasta puolestaan lähes 8,5 kilometrin matkan pohjoiseen päättyen lopulta jakorajaerottimelle E4637.

3.7.5 Johtolähtö 07

Taulukko 18. Lähdön 07 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,58	0,22	0,54	77,342



Kuva 24. Pellon aseman lähtö 07. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

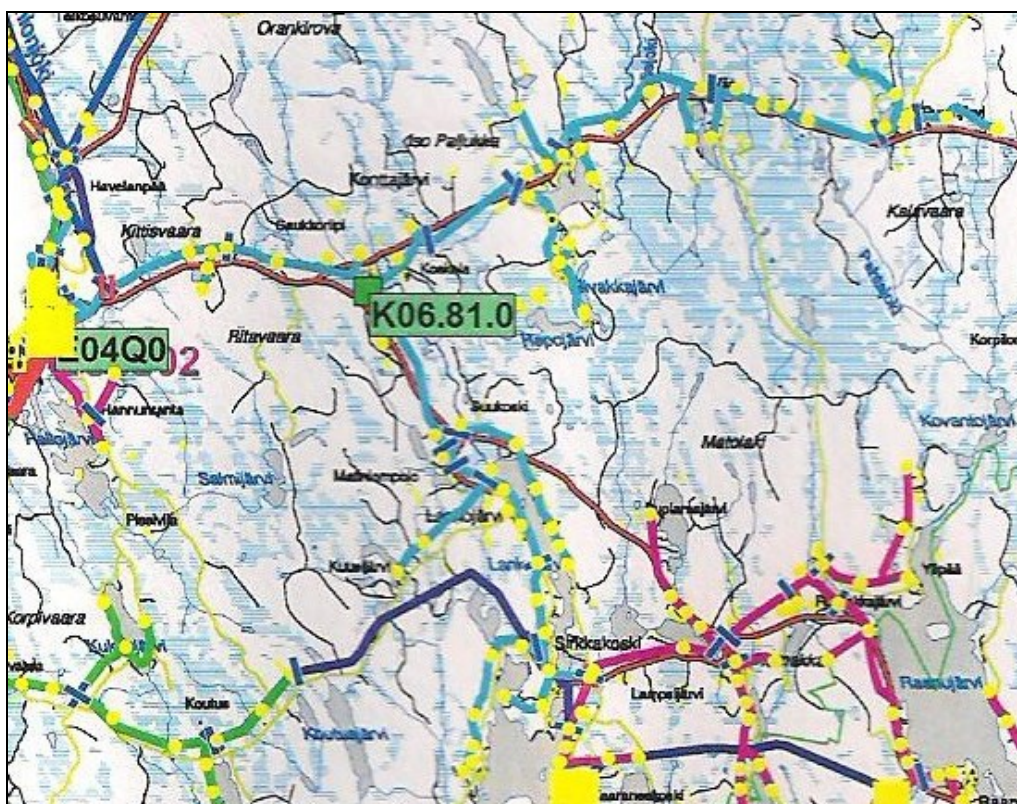
Lähdön 07 ilmajohto näkyy (kuva 24) vihreällä viivalla. Ilmajohto lähtee Pellon asemalta etelän suuntaan, samaa reittiä 110 kV linjan kanssa. Linja matkaa asemalta noin 7,5 kilometrin matkan Mämmilän seudulle, jossa sijaitsee jakorajaerotin toisen Pellon asemalta lähtevän lähdön kanssa. Mämmilästä ilmajohto jatkaa edelleen etelään lähes 5,5 kilometrin matkan saapuen Turtolaan.

Turtolassa lähtö haarautuu idän suuntaan ja ilmajohto kulkee 5,5 kilometrin matkan haarasta saapuen erottimille E3641 ja E3642. Erottimelta E3642 lähtee kokonaispituudeltaan 6,5 kilometrin mittainen ilmajohto Kukasjärvelle. Erottimelta E3641 haarajohto jatkaa puolestaan noin viiden kilometrin matkan itään saapuen Koutukseen. Tästä johto haarautuu vielä idän 3,5 kilometrin sekä etelän 6,5 kilometrin mittaisiin haaroihin.

Turtolan haarasta ilmajohto jatkaa Tornionjokea myöten etelään 10,5 kilometrin matkan kulkien erottimien E3613 ja E3614 läpi, saapuen Juoksengin seudulle. Tästä johto haa-

rautuu itään, Ajankijärven suuntaan. Haarajohto matkaa melkein 6 kilometriä saapuen erottimelle E3663. Erottimelta E3663 ilmajohto jatkaa vielä 7 kilometriä päättyen lopulta Ajankijärven itäpuolelle. Juoksengin haarasta lähdön 07 ilmajohto matkaa lähes 4 kilometriä Tornionjokea myöten etelään ja päättyy lopulta Ratasjoen kohdalle jakorajaerottimelle E3617. Lähdön 07 kokonaispituus (taulukko 18) on noin 77 km.

3.7.6 Johtolähtö 08



Kuva 25. Pellon aseman lähtö 08. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 19. Lähdön 08 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,62	0,21	0,51	101,688

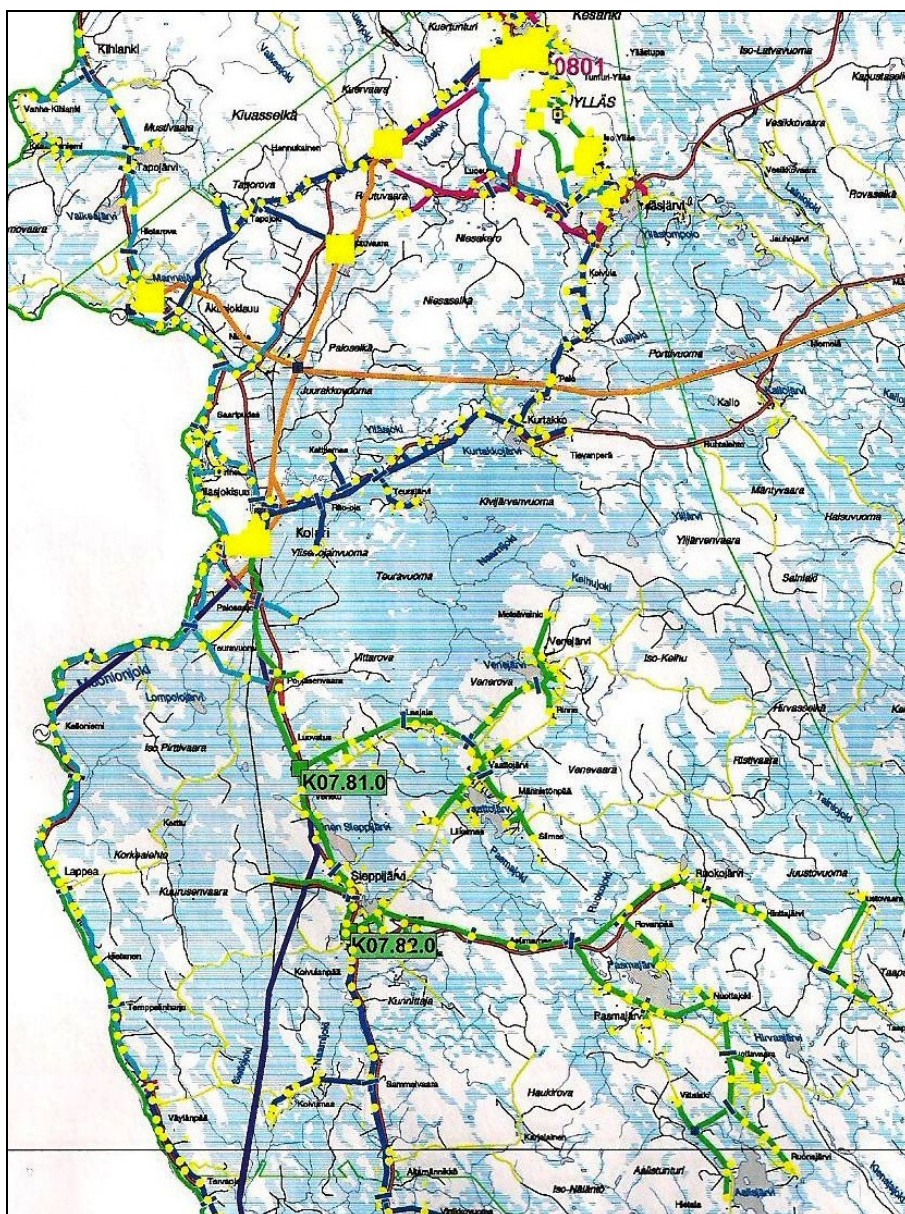
Lähdön 08 ilmajohto lähtee Pellon asemalta (kuva 25) kohti itää ja haarautuu noin kilometrin päässä. Haarajohto matkaa Tornionjokea varten ja sitä myöten pohjoisen suun-

taan. Haarajohdon kokonaispituus on lähes 7,5 kilometriä ja ilmajohto päättyy jakorajaerottimelle. Runkoilmajohto jatkaa haarasta itään melkein viisi kilometriä Kittisvaaran seudulle saapuen erottimelle E3601. Tästä ilmajohto matkaa jälleen idän suuntaan noin viisi kilometriä erottimille E3555 ja E3604. Lähdön 08 jälleenkytkentätaajuus (taulukko 19) on 0,51 jk/km,a.

Erottimelta E3604 lähtee ilmajohto itään, Rattostunturin suuntaan. Ilmajohto matkaa itään 2,5 kilometriä saapuen Koskelan seudulle, jossa sijaitsee erotin E3626. Erottimelta E3626 johto jatkaa edelleen itään 3,5 kilometriä saapuen erottimille E3605 ja E3607. Erottimelta E3607 lähtee kuuden kilometrin mittainen haarajohto etelään, Sivakkajärven suuntaan. Erottimelta E3605 ilmajohto jatkaa itään 1,5 kilometriä, mistä lähtee lähes 2 kilometrin pituinen haarajohto pohjoiseen. Haarasta noin 500 metriä idän suuntaan sijaitsee erotin E3606. Tästä ilmajohto jatkaa edelleen idän suuntaan 12 kilometrin matkan erottimen E3609 läpi erottimelle E3651. Tästä ilmajohto haarautuu vielä pohjoiseen suuntaavan 3,5 kilometrin ja itään suuntaavan 4,5 kilometrin pituisiin johtoihin.

Erottimelta E3555 lähtee ilmajohto etelään, Lankojärven suuntaan. Ilmajohto kulkee noin 6,5 kilometriä etelän suuntaan erottimelle E3556. Heti erottimen jälkeen johto haarautuu Lankojärven itäpuolelle. Johtohaaralla on pituutta 7 kilometriä ja heti haaran alussa on erotin E3557. Erottimelta E3556 ilmajohto jatkaa etelään 1,5 kilometriä saapuen länteen suuntaavan 4,5 kilometrin pituisen johdon haarautumiskohtaan. Tästä ilmajohto suuntaa 3,5 kilometriä etelään ja saapuu erottimelle E3552, Lankojärven puoliväliin. Erottimelta E3552 ilmajohto matkaa 3 kilometriä etelän suuntaan, Sirkkakosken seudulle. Tästä lähtee melkein kuuden kilometrin pituinen haarajohto, joka kiertää Miekkojärven länsipuolta. Haarasta ilmajohto jatkaa kilometrin etelän suuntaan, missä se haarautuu 2,5 kilometrin pituiseen johtoon. Haarasta ilmajohto jatkaa 1,5 kilometriä itään päättyen jakorajaerottimelle E3551.

3.8 Kolarin sähköasema



Kuva 26. Kolarin sähköasema ja johtolähdöt. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Johtolähtöjä Kolarin asemalta (kuva 26) lähtee 6 kappaletta ja niillä on kokonaispituutta hieman vajaat 349 kilometriä. Kolarin sähköaseman vuotuinen keskiteho on 3,12 MW.

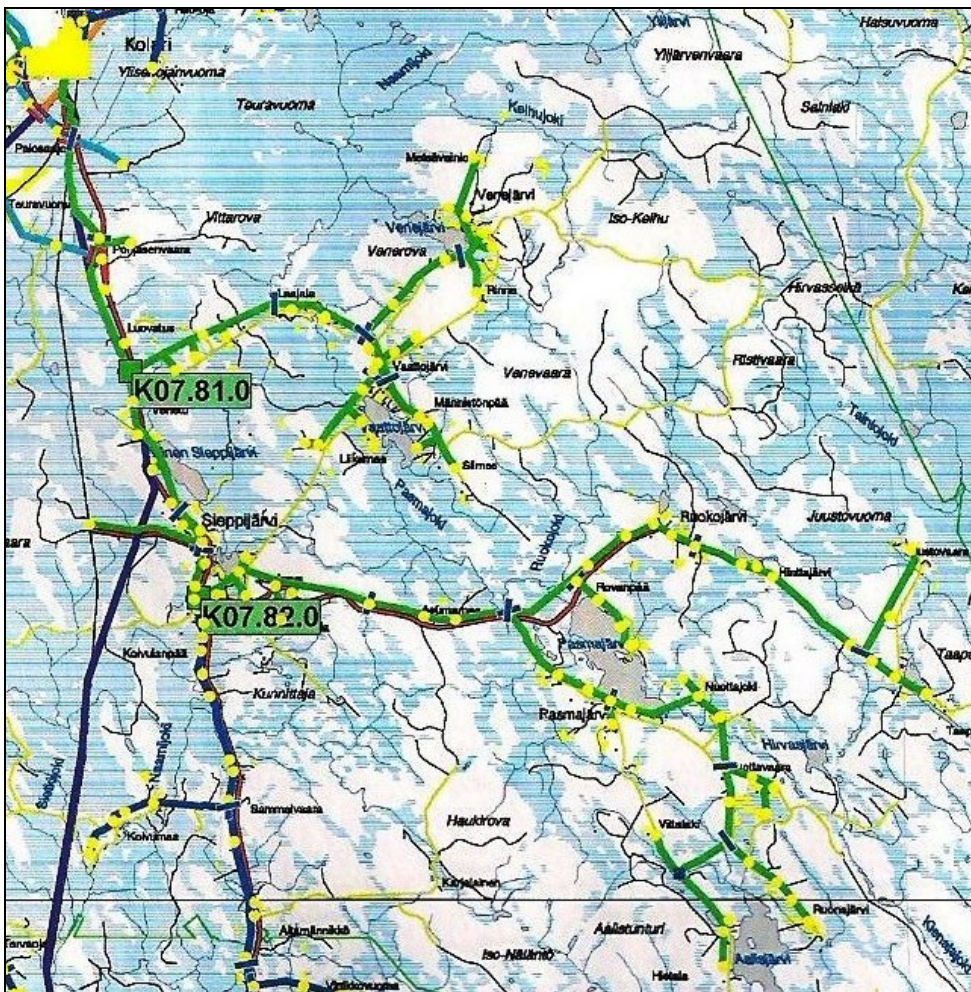
3.8.1 Johtolähtö 07

Taulukko 20. Lähdön 07 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,8	0,23	2,75	4,983

Lähdön 07 ilmajohdolla on yhteispituutta (taulukko 20) lähes 5 kilometriä ja lähdön keskimääräinen vuositeho on 0,8 MW. Pysyvien keskeytysten taajuus on 0,23 1/km ja jälleenkytkentöjen taajuus on puolestaan 2,75 1/km.

3.8.2 Johtolähtö 08



Kuva 27. Kolarin aseman lähtö 08. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 21. Lähdön 08 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,82	0,4	0,23	163,18

Lähtö 08 näkyy vihreällä viivalla (kuva 27). Lähdön 08 ilmajohto suuntaa Kolarin asemalta etelään samassa linjassa 110 kV johdon kanssa 2,5 kilometriä Palosaajon seudulle, jossa sijaitsee jakorajaerotin E4750. Tästä ilmajohto matkaa 4,5 kilometriä etelään Pohjasenvaaran seudulle erottimelle E4751. Erottimelta E4751 ilmajohto jatkaa noin kuusi kilometriä etelään saapuen erottimille E4644 ja E4710. Lähdön 08 vikataajuus (taulukko 21) on 0,4 1/km,a.

Eröttimelta E4710 lähtee ilmajohto idän suuntaan ja heti erottimen jälkeen on myös katkaisija K07.81.0. Katkaisijasta K07.81.0 ilmajohto jatkaa noin 6,5 kilometriä idän suuntaan ja saapuu Laajalaan erotinasemalle E4713. Tästä johto jatkaa itään 3,5 kilometriä saapuen haarakohtaan, mistä lähtee ilmajohto Venejärven suuntaan. Tämän Venejärvelle suuntaavan ilmajohdon kokonaispituus on 12,5 kilometriä. Haarakohdasta jatkaa yhteispituudeltaan 14,5 kilometrin mittainen ilmajohto etelään, Vaattojärven suuntaan.

Eröttimelta E4644 lähtee ilmajohto etelään ja kulkee 7,5 kilometriä saapuen Sieppijärvelle johtohaaraan. Haarajohto suuntaa länteen Kuurusenvaaran seudulle ja sillä pituutta noin viisi kilometriä. Runkojohto puolestaan jatkaa haarakohdasta lähes 2,5 kilometriä etelään saapuen kauko-ohjattavalle erotinasemalle E4637-E4640-E4650. Erotin E4637 toimii jakorajaerottimena tämän lähdön ja Pellon asemalta syötettävän lähdön välillä.

Eröttimelta E4650 lähtee ilmajohto kohti itää ja saapuu heti katkaisijalle K07.82.0. Tästä lähdön 08 johto jatkaa idän suuntaan 7,5 kilometriä saapuen erottimelle E4651. Erottimelta E4651 ilmajohto jatkaa noin 6 kilometriä itään, jossa sijaitsevat erottimet E4652 sekä E4655.

Eröttimelta E4652 lähtee haarajohto etelän suuntaan ja matkaa 6 kilometriä Pasmajärven eteläpuolella sijaitsevalle erottimelle E4653. Tästä ilmajohto jatkaa neljän kilomet-

rin matkan itään Nuottajoen seudulle. Nuottajoelta johto suuntaa sitten kohti etelää noin 3,5 kilometriä Nuottavaaraan, erottimelle E4654. Erottimelta lähtee 3 kilometrin haara itään. Runkojohto jatkaa erottimelta E4654 kohti etelää kolme kilometriä, kunnes saapuu haarakohtaan. Haarakohdasta lähtee yhteispituudeltaan kahdeksan kilometrin pituinen johtohaara länteen, Aalisjärven länsipuolelle. Haarakohdasta etelään suuntaava viiden kilometrin pituinen ilmajohto päättyy Ruonajärvelle.

Erotoimelta E4655 jatkaa lähes 3,5 kilometriä itään Rovanjärven tienoilta, mistä lähtee haara johto etelään. Haara johto on noin 3,5 kilometrin mittainen ja kulkee Pasmajärven itäpuolta. Runkojohto jatkaa haarakohdasta melkein 6 kilometriä itään Ruokojärven seudulle, erottimelle E4657. Tältä erottimelta ilmajohto jatkaa matkaansa 8,5 kilometriä itään, jossa lähtö haara utuu. Haara johdolla on pituutta noin 5 kilometriä ja se suuntaa pohjoiseen, Juustovaaran alueelle. Haarakohdasta lähdön 08 ilmajohto jatkaa vielä kolme kilometriä itään ja päättyy Taapajärven jakelumuuntajalle.

3.8.3 Johtolähtö 09



Kuva 28. Kolarin aseman lähtö 09. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 22. Lähdön 09 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,56	0,22	0,3	70,614

Lähtö 09 näkyy (kuva 28) vaaleansinisellä viivalla. Lähdön 09 ilmajohto suuntaa Kolarin sähköasemalta 8 kilometriä pohjoisen suuntaan, Saaripudaksen alueelle. Tästä lähtee lähes kuuden kilometrin johtohaara kohti etelää. Runkojohto jatkaa tästä kohti pohjoista 3,5 kilometriä, jossa se saapuu seuraavaan haarakohtaan. Haarasta lähtevä ilmajohto on kokonaispituudeltaan 5,5 kilometriä ja suuntaa ensin 1,5 kilometriä itään ja sitten neljä kilometriä pohjoiseen.

Haarasta jatkava runkojohto suuntaa pohjoiseen, Ruotsin rajaa myöten. Ilmajohto kulkee melkein 4 kilometriä saapuen kauko-ohjattavalle erotinasemalle E4742-E4743-E4744. Erotin E4744 on jakorajaerotin lähdön 09 ja Ylläksen asemalta tulevan lähdön kesken. Erottimelta E4742 jatkaa ilmajohto pohjoisen suuntaan 4,5 kilometriä Hietarovan seudulle ja päättyy erottimelle E4741. Tästä ilmajohto jatkaa edelleen pohjoisen suuntaan 5,5 kilometriä, Tapojärven seudulle.

Tapojärveltä lähtö 09 haarautuu lännen suuntaan ja ilmajohtojen yhteispituus on 5,5 kilometriä. Runkojohto jatkaa puolestaan noin 5,5 kilometriä pohjoiseen Kihlankiin, erottimille E5745 ja E5746. Erottimelta E5746 lähtee 3,5 kilometrin ilmajohto länteen, Vanha-Kihlankiin. Erottimelta E5745 lähtee 2,5 kilometrin pituinen ilmajohto pohjoiseen. Lähdön 09 jälleenkytkentäaajuus (taulukko 22) on 0,3 jk/km,a.

3.8.4 Johtolähtö 10

Taulukko 23. Lähdön 10 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,28	0,09	0,48	56,799



Kuva 29. Kolarin aseman lähtö 10. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Lähdön 10 ilmajohto näkyy (kuva 29) vaaleansinisellä viivalla. Ilmajohto lähtee Kolarin asemalta lännen suuntaan ja noin kahden kilometrin päässä haarautuu itään. Haarajohto kulkee Palosaajon kautta ja sillä on pituutta kuusi kilometriä. Runkojohto jatkaa haarakohdasta etelän suuntaan Muonionjokea myöten 4,5 kilometriä, erottimille E4701 ja E4761. Erottimelta E4701 lähtevä kuuden kilometrin mittainen haarajohto kulkee idän suuntaan, Teuravuoman kautta. Lähdön 10 yhteispituus (taulukko 23) on lähes 57 km.

Erottimelta E4761 lähtevä ilmajohto kulkee 6 kilometriä Muonionjokea myöten etelän suuntaan, erottimelle E4762. Tästä ilmajohto jatkaa edelleen etelän Muonionjokea myöten etelän suuntaan 8,5 kilometriä, erottimelle E4763. Erottimelta E4763 lähdön 10 johto jatkaa etelään seitsemän kilometriä Lappean seudulle, erottimelle E4764. Tästä johto jatkaa 7 kilometriä etelään Tempelinharjun alueelle, erottimelle E4765. Erottimelta E4765 jatkava ilmajohto jatkaa vielä 5 kilometriä ja päättyy jakorajaerottimelle E4766.

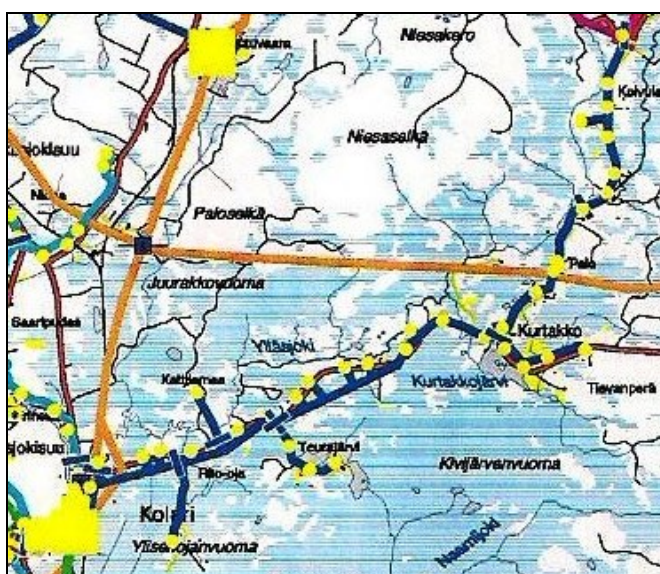
3.8.5 Johtolähtö 11

Taulukko 24. Lähdön 11 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,29	0,36	4,32	2,38

Lähdön 11 vuotuinen keskiteho on 0,29 MW ja kokonaispituutta sillä on 2,4 kilometriä. Pysyvien keskeytysten taajuus (taulukko 24) on 0,36 1/km ja jälleenkytkentöjen taajuus 4,32 1/km. Lähdöllä on jakelumuuntamoita yhteensä 5 ja asiakkaita on kaikkiaan 81.

3.8.6 Johtolähtö 12



Kuva 30. Kolarin aseman lähtö 12. (Tornionlaakson Sähkö Oy)

Taulukko 25. Lähdön 12 tiedot.

MW	fj/km,a	jk/km,a	km
0,39	0,08	0,6	51,015

Lähdön 12 ilmajohto lähtee Kolarin asemalta (kuva 30) kulkien aluksi 1,5 kilometriä pohjoiseen ja sitten 3 kilometriä itään, erottimelle E4775. Heti erottimen jälkeen lähtee 2,5 kilometrin pituinen haarajohto etelään, Ylisenojanvuoman suuntaan. Runkojohto jatkaa 1,5 kilometriä haarakohdasta itään, jossa seuraava haarakohta sijaitsee. Haarakohdasta lähtee ilmajohto pohjoiseen, Kattilamaan suuntaan. Ilmajohdon pituus on kaksi kilometriä ja se päättyy Kattilamaan jakelumuuntajalle. Lähdön 12 vuotuinen keski-teho (taulukko 25) on 0,39 MW.

Runkojohto jatkaa puolestaan kaksi kilometriä idän suuntaan, erottimille E4778 ja E4779. Erottimelta E4778 lähtee kolmen kilometrin mittainen ilmajohto etelään, Teurajärven suuntaan. Erottimelta E4779 puolestaan suuntaa ilmajohto kohti itää. Johto kulkee lähes 9 kilometriä Kurtakkojärven pohjoispuolelle. Tästä lähtö 12 haarautuu ja 3,5 kilometrin haarajohto suuntaa itään päättyen Tievanpään jakelumuuntajalle.

Runkojohto kääntyy Kurtakon haarakohdasta pohjoiseen kulkien 5,5 kilometriä Palon kautta erottimelle E4758. Erottimelta E4758 ilmajohto kulkee vielä pohjoiseen 6,5 kilometriä päättyen jakorajaerottimelle E4756. Jakorajaerotin E4756 erottaa lähdön 12 ja Ylläksen asemalta syötettävän lähdön toisistaan.

3.9 Kauko-ohjattavat erottimet ja katkaisijat

Tornionlaakson Sähkö Oy:llä on keskijännitejakeluverkossa käytössä olevia kauko-ohjattuja erotinasemia 33 kappaletta ja verkkokatkaisijoita yhteensä neljä kappaletta. Opinnäytetyössä tarkasteltiin näiden erotinasemien ja verkkokatkaisijoiden tehokasta sijoittumista verkossa. Tarkasteluissa käytetään pohjana yhtiön eri tietokannoista saatavaa dataa.

Energiamarkkinavirasto on julkaissut dokumentin jakeluverkkotoiminnan kohtuullisen hinnoittelun valvontamenetelmien linjauksista ajalle 2012 – 2015. Tässä dokumentissa käsitellään muun muassa keskeytyksistä aiheutuneen haitan arvostamiseen liittyviä menetelmiä. Jakelukeskeytykset kuuluvat toimitetun sähkön laadun valvontaan ja siksi Energiamarkkinavirasto on ottanut asiaan kantaa meneillään olevalle valvontajaksolle. (Energiamarkkinavirasto 2011, hakupäivä 3.7.2013).

Keskijänniteverkossa käytössä olevien kauko-ohjattavien erotinasemien ja verkkokatkaisijoiden vertailussa huomioon otettavia seikkoja on useita. Toimittamatta jääneen energian määrä on mielestäni oleellinen ja riittävän vertailupohjan muodostava, jotta vertailu voidaan toteuttaa. Manuaalisesti ohjattavien ja kauko-ohjattavien erottimien toiminnan keskeisin eroavuus on toiminta-ajassa. Manuaalisesti ohjattavan erottimen toiminta-ajaksi on tässä työssä määritelty yksi tunti ja kauko-ohjattavan erottimen toiminta-ajaksi 0,2 tuntia.

Kauko-ohjattavien erotinasemien vertailussa täytyy aluksi määritellä toimittamatta jääneen energian arvo sekä kauko-ohjaukselle että manuaaliohjaukselle ominaisten toiminta-aikojen mukaan. Kauko-ohjaukselle laskettua toimittamatta jääneen energian arvoa tulee verrata manuaalisesti ohjattavan erottimen kytkentäajalla laskettuun toimittamatta jääneen energian arvoon. Toimittamatta jääneen energian arvon laskennassa käytetään vikadatasta saatavaa erottimen keskimääräistä vuosittaista toimintataajuutta. Keskeytystehona käytetään sen johtolähdön vuotuista keskimääräistä tehoa, jolla kyseinen erotinasema sijaitsee.

Verkossa olevan katkaisijan kannattavuutta mitattaessa tulee aluksi laskea katkaisijan jälkeisen verkon vuosittaisen toimittamatta jääneen energian määrä. Seuraavaksi tulee kyseisen verkkokatkaisijan toimintataajuudella laskea sähköaseman kyseistä lähtöä syöttävän katkaisijan toimittamatta jääneen energian määrä. Verkkokatkaisijan vertailussa tulee huomioida myös lyhyet katkokset. Verkkokatkaisijan keskeytystehona käytetään katkaisijan jälkeisen verkon keskimääräistä vuosittaista tehoa. Lähtöä syöttävän katkaisijan keskeytystehona käytetään puolestaan lähdön keskimääräistä vuotuista keskittehoa.

Taulukko 26. Kauko-ohjattavien erotinasemien vertailu.

Erotinasema	Lähtö	ΔP (kW)	f_k (1/a)	t_{k1} (h)	t_{k2} (h)	E_{k1} (kWh)	E_{k2} (kWh)	E_{k2-1} (kWh)
E1122-E1123-E1124-E1125	L0101	1170,6	4,14	0,2	1	969,3	4846,29	3876,98
E1134-E1135-E1136	L0201	458,64	0,857	0,2	1	78,61	393,05	314,44
E1214-E1215-E1216	L0206	677,1	1,143	0,2	1	154,79	773,92	619,14
E1222-E1230-E1240	L0203	1130,28	2,714	0,2	1	613,52	3067,58	2454,1
E1234-E1235-E1236	L0205	680,72	2	0,2	1	272,29	1361,44	1089,15
E1279-E1281	L0206	677,104	0,286	0,2	1	38,73	193,65	154,92
E1285	L0205	680,72	1,286	0,2	1	175,08	875,41	700,33
E2301-E2302-E2310	L0306	513,38	1,714	0,2	1	175,99	879,93	703,94
E2363-E2364-E2370	L0307	577,28	3,29	0,2	1	379,85	1899,25	1519,4
E2365-E2500-E2610	L0307	577,28	4,14	0,2	1	477,99	2389,9	1911,95
E2376-E2377-E2378	L0311	395,72	2,143	0,2	1	169,61	848,03	678,42
E2503-E2504-E2505-E2510	L0503	558,01	3,71	0,2	1	414,04	2070,22	1656,18
E2507-E2520-E2521	L0503	558,01	5,43	0,2	1	605,99	3029,99	2424
E2512-E2524	L0503	395,72	0,857	0,2	1	67,83	339,13	271,3
E2515-E2516-E2517	L0306	513,38	2	0,2	1	205,35	1026,76	821,41
E2531-E2532-E2533	L0502	406,58	1,43	0,2	1	116,28	581,41	465,13
E3218-E3219	L0605	350,51	0	0,2	1	0	0	0
E3540-E3551-E3558	L0502	406,58	1,71	0,2	1	139,05	695,25	556,2
E3603-E3604-E3555	L0608	616,59	7,57	0,2	1	933,52	4667,59	3734,07
E3610-E3640-E3665	L0607	579	4,43	0,2	1	512,99	2564,97	2051,98
E3612-E3617-E3619	L0607	579	1,71	0,2	1	198,02	990,09	792,07
E3615-E3616-E3661	L0607	579	2,86	0,2	1	331,19	1655,94	1324,75
E3620-E3631	L0606	595,32	9,14	0,2	1	1088,24	5441,22	4352,98
E3633	L0606	595,32	2,57	0,2	1	305,99	1529,97	1223,98
E4640-E4650-E4637	L0708	818,01	6,43	0,2	1	1051,96	5259,8	4207,84
E4652-E4655	L0708	818,01	6,57	0,2	1	1074,87	5374,33	4299,46
E4700-E4710-E4644	L0708	818,01	6,14	0,2	1	1004,52	5022,58	4018,06
E4711-E4712	L0708	818,01	10,14	0,2	1	1658,92	8294,62	6635,7
E4728-E4729	L16J07	634,27	1,14	0,2	1	144,61	723,07	578,46
E4742-E4743-E4744	L0709	555,74	2,86	0,2	1	317,88	1589,42	1271,54
E4756	L0712	385,7	0,29	0,2	1	22,37	111,85	89,48
E4766	L0606	595,32	0,71	0,2	1	84,54	422,68	338,14
E4851-E4852-E4853	L16J09	568,85	0,43	0,2	1	48,92	244,61	195,69

Taulukko 27. Verkkokatkaisijoiden vertailu.

Verkkokatkaisija	Lähtö	ΔP_1 (kW)	ΔP_2 (kW)	f_k (1/a)	E_{k1} (kWh)	E_{k2} (kWh)	E_{k2-1} (kWh)
K03.61.0	L0306	513,38	145,15	4,43	2274,27	643,01	1631,26
K06.81.0	L0608	616,59	193,71	6,57	4050,99	1272,67	2778,32
K07.81.0	L0708	818,01	226,89	12,29	10053,34	2788,48	7264,86
K07.82.0	L0708	818,01	248,92	6,43	5259,8	1600,56	3659,24

Kauko-ohjattavien erotinasemien vertailussa (taulukko 26) nähdään vuotuinen toimitamatta jääneen energian määrä kauko-ohjattuna E_{k1} ja käsin ohjattuna E_{k2} sekä kauko-ohjauksella saatava vuotuinen hyöty toimittamatta jääneen energian määrässä E_{k2-1} . Taulukosta 26 myös huomataan miten suurta vaihtelua eri kauko-ohjattavien erotinasemien vuotuisen toimittamatta jääneen energian määrässä E_{k2-1} on.

Verkkokatkaisijoiden vertailussa (taulukko 27) havaitaan kyseisen lähdön vuotuinen toimittamatta jääneen energian määrä ilman verkkokatkaisijaa E_{k1} ja verkkokatkaisijalla E_{k2} sekä verkkokatkaisijalla saavutettava hyöty toimittamatta jääneen energian määrässä E_{k2-1} . Taulukossa 27 myös huomataan kuinka suurta vaihtelua eri verkkokatkaisijoiden vuotuisen toimittamatta jääneen energian määrässä E_{k2-1} on.

Suoranainen teknis-taloudellinen vertailu kauko-ohjattavien erottimien ja verkkokatkaisijoiden välillä on haastavaa Energiamarkkinaviraston meneillään olevan valvontajakson ohjeiden perusteella. Kuten aiemmin totesin, että toimittamatta jääneen sähkön perusteella voidaan kuitenkin verrata kauko-ohjattavien erotinasemien ja verkkokatkaisijoiden sijoittumista keskijänniteverkossa.

Automaattisen mittarinluennan tuomia etuja voidaan hyödyntää tulevaisuudessa sähkönjakeluverkon kattavien keskeytystilastojen laatimisessa ja analysoinnissa. Kattavat keskeytystilastot ja mahdollisen luotettavuuslaskenta ominaisuuden käyttöönotto parantaisi huomattavasti keskijänniteverkkoon sijoitettavien kauko-ohjattavien erotinasemien ja verkkokatkaisijoiden teknis-taloudellista arviointia.

4 POHDINTA

Sähkönjakelun keskeytyksiin liittyvä kauko-ohjattujen erotinasemien ja verkkokatkaisijoiden teknistaloudellinen suunnittelu on tärkeä osa jakeluverkkoyhtiön verkostosuunnittelua. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella Tornionlaakson Sähkön keskijänniteverkossa sijaitsevien sekä mahdollisten uusien kauko-ohjattujen erottimien ja verkkokatkaisijoiden teknistaloudellisuutta. Työssä esitetään Tornionlaakson Sähkön keskijänniteverkosto maantieteellisesti ja kerrotaan keskijännitelähtöihin liittyviä teknisiä tietoja.

Teoriaosassa on kerrottu sähkönjakeluverkon luotettavuuden ja teknisen laskennan periaatteita lähdeaineistoa hyödyntäen. Kaikki opinnäytetyössä suoritettut laskennat pohjautuvat käytettyyn lähteeseen. Lähdeaineistona on käytetty myös Tornionlaakson Sähkön keskeytystilastoista saatavaa dataa. Keskeytystilastoja on hyödynnetty, koska muuta luotettavuuslaskenta ominaisuutta ei ole ollut käytettävissä. Johtolähtöjen vikataajuudet on kerrottu lähtökohtaisesti, sillä lähtöjen väliset erot ovat suuret.

Opin uutta sähkönjakeluverkon keskeytystilastojen käsittelystä ja niiden avulla määriteltävistä keskeytyslukuista. Kauko-ohjattavien erotinasemien ja verkkokatkaisijoiden uusia sijoituskohteita ei kyetty määrittelemään puutteellisen ohjeistuksen vuoksi. Energiamarkkinaviraston tulevien valvontajaksojen ohjeet ja täsmennykset sähkönjakelukeskeytyksistä ja niiden arvostamisperiaatteista tulevat ohjaamaan kauko-ohjattavien erotinasemien ja verkkokatkaisijoiden uudet sijoituspaikat.

Opinnäytetyössä saatiin selville keskijänniteverkon vika-alttiita lähtöjä sekä arvioitiin jo olemassa olevien kauko-ohjattujen erotinasemien ja verkkokatkaisijoiden toimivuutta. Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa, kun tehdään valintoja kauko-ohjattavien erottimien ja verkkokatkaisijoiden suhteen. Opinnäytetyö yhdistettynä jakeluverkkoyhtiön tuleviin visioihin käyttövarmuudesta antaa suuntaa verkostolle tehtävistä käyttövarmuutta parantavista toimenpiteistä.

LÄHTEET

Energiamarkkinavirasto 2011. Sähkön jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden valvontamenetelmien suuntaviivat vuosille 2012–2015. Hakupäivä 3.7.2013.

< http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Sahkonjakeluverkko_suurjannitteinen_jakeluverkko_suuntaviivat_2012_2015.pdf>

Lakervi & Partanen 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.

Tornionlaakson Sähkö Oy 2012. Tornionlaakson Sähkö Oy vuosikertomus 2012. Hakupäivä 9.5.2013.

< <http://www.tornionlaaksonsahko.fi/uploads/files/TLSKERTOMUS2012.pdf>>