

Sampsa Sutinen

JAKELUVERKON ILMAJOHTOJEN SUUNNITTELUOHJELMISTOJEN VERTAILU

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>	<p>Opinnäytetyön päivämäärä</p> <p>10.5.2012</p>
<p>Tekijä(t) Sampsa Sutinen</p>	<p>Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma Sähkövoimatekniikka</p>
<p>Nimeke Jakeluverkon ilmajohtojen suunnitteluohjelmistojen vertailu</p>	
<p>Tiivistelmä Opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla kahta ilmajohtojen suunnitteluohjelmaa Voimatel Oy:n toimeksiannosta. Työn tavoitteena on selvittää, kumpi ohjelmista soveltuu paremmin jakeluverkon ilmajohtojen suunnitteluun. Työn lähtökohtana on suunnittelijoiden työn helpottaminen. Ohjelmistoilta toivotaan helpotusta johtoprofiilin suunnittelussa ja rakenteiden mekaanisessa mitoittamisessa.</p> <p>Vertailussa mukana olevat ohjelmistot ovat ABB Profila GENELEC ja PLS-CADD. ABB Profila GENELEC on suomenkielinen jakeluverkon ilmajohtojen suunnitteluun tarkoitettu ohjelmisto, jota Voimatel Oy:llä ei ole aikaisemmin käytetty. PLS-CADD on yhdysvaltalainen siirtoverkkojen suunnitteluun tarkoitettu ohjelmisto, joka otettiin opinnäytetyöhön mukaan vertailtavaksi vaihtoehdoksi.</p> <p>Nykyinen käytäntö Voimatel Oy:llä on suunnitella johtoprofiili AutoCAD-ohjelmistolla tai vastaavalla piirto-ohjelmistolla. Käytettävät rakenteet mitoitetaan hyödyntämällä tarkoitusta varten laadittuja rakennemitoitustaulukoita. Käytössä olevat menetelmät ovat työläitä ja niihin kuluu paljon työaikaa, joten helpotusta toivotaan.</p> <p>Vertailu toteutettiin hyödyntämällä käytännön esimerkkiä suunnittelusta asiakkaalle. Konnuslahdentielle Leppävirralle suunniteltiin uusi keskijännitejohto tien viereen, josta otettiin opinnäytetyöhön mukaan n. 1km osuus.</p> <p>Vertailun tuloksena on, että ABB Profila GENELEC on käyttökelpoisempi vaihtoehto kuin PLS-CADD. Tulokseen päädyttiin PLS-CADD ohjelmiston käyttöönoton vaikeuden vuoksi. ABB Profila GENELEC -ohjelmistoa tukee mm. suomenkielinen käyttöliittymä, suomenkielinen tuotetuki, yksinkertaisuus ja se, että tämän opinnäytetyön aikana ohjelmistolla pystyttiin luomaan luotettava johtoprofiili ja mekaaninen mitoitus. Tämä tarkoittaa sitä, että ABB Profila GENELEC on mahdollista ottaa käyttöön.</p>	
<p>Asiasanat (avainsanat) jakeluverkko, ilmajohto, keskijännite, suunnittelu</p>	
<p>Sivumäärä 32</p>	<p>Kieli Suomi</p>
<p>URN</p>	
<p>Huomautus (huomautukset liitteistä)</p>	
<p>Ohjaavan opettajan nimi Juha Korpijärvi</p>	<p>Opinnäytetyön toimeksiantaja Voimatel Oy</p>

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 10.5.2012	
Author(s) Sampsa Sutinen		Degree programme and option Electrical Engineering Electrical Power Technology	
Name of the bachelor's thesis Design software for the aerial lines of distribution network			
Abstract <p>The current practice in Voimatel Ltd is to design line profile with AutoCAD design software or similar drawing software. The structures are dimensioned by structure dimension tables made for this manor. Used methods are labour-intensive and take lot of working time, so a new solution is needed.</p> <p>Purpose of this thesis was to compare two software for designing aerial lines in distribution network. The target was to find out which of the two programs is more suitable.</p> <p>In the comparison are software ABB Profila GENELEC and PLS-CADD. ABB Profila GENELEC is Finnish software, which Voimatel Ltd has not previously used. PLS-CADD is a American transmission line design software, which was taken as an alternative option for this thesis.</p> <p>The comparison was executed by using concrete example from design to the customer. To Konnuslahdentie in Leppävirta, Finland was planned new medium-voltage aerial line next to the road and in this thesis are proportion of about one kilometre.</p> <p>The result of this comparison is that ABB Profila GENELEC is more useful than PLS-CADD. ABB Profila GENELEC software is better choice because of Finnish user interface, Finnish support, the simplicity and the fact that during this thesis software was able to make reliable profile designing and mechanical dimensioning.</p>			
Subject headings, (keywords) distribution network, aerial line, medium voltage, design, planning			
Pages 32	Language Finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Juha Korpijärvi		Bachelor's thesis assigned by Voimatel Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	VOIMATEL OY	3
3	JAKELUVERKOSTON SUUNNITTELU.....	4
3.1	Maastosuunnittelu.....	4
3.1.1	Sijaintisuunnittelu	5
3.1.2	Rakennesuunnittelu.....	6
3.2	Mitoitus.....	7
3.2.1	Ilmajohdon mekaaninen mitoitus.....	7
3.2.2	Orsien mitoitusperusteet	8
3.2.3	Ekvivalenttijänne	9
3.2.4	Summa Y	9
3.2.5	Adato-rakennemitoitustaulukot.....	10
3.3	GPS-maastomittauslaitteen hyödyntäminen.....	10
3.4	HeadPower.....	11
3.5	Maasto- ja johtoprofiilin piirtäminen.....	11
3.6	Testiverkko Konnuslahdentien kj-saneeraus	12
4	VAATIMUKSET SUUNNITTELUOHJELMISTOLLE	14
4.1	Maastopisteiden tuonti.....	14
4.2	Pylväs- ja johdinrakenteet.....	15
4.3	Johtoprofiilin piirto.....	16
4.4	Mekaaninen mitoitus	16
5	ILMAJOHTOJEN SUUNNITTELUOHJELMISTOT	17
5.1	ABB Profila GENELEC	17
5.1.1	Maastomittaustietojen siirto ja muokkaus GPS-paikantimelta	17
5.1.2	Maastoprofiilin laadinta	18
5.1.3	Johtoprofiilin laadinta ja rakenteiden määrittely	19
5.2	PLS-CADD.....	22
5.2.1	Maastomittaustietojen siirto ja muokkaus GPS-paikantimelta	22
5.2.2	Maastoprofiilin laadinta	23
5.2.3	Rakenteiden määrittely	24
5.2.4	Johtoprofiilin piirto	24
5.2.5	Mitoitusmahdollisuudet	26

6	OHJELMISTOJEN VERTAILU	27
6.1	Käyttöliittymä	27
6.2	Maastomittaustietojen tuominen ohjelmistoon.....	27
6.3	Rakenteet ja mekaaninen mitoitus	28
6.4	Johtoprofiilin suunnittelu.....	28
6.5	Ohjelmiston jatkokehitysnäkymät	28
6.6	Tuotetuki.....	29
7	TULOKSET	30
7.1	PLS-CADD -ohjelmiston tulokset.....	30
7.2	ABB Profila GENELEC -ohjelmiston tulokset	31
8	YHTEENVETO	32
	LÄHTEET	33

LIITE/LIITTEET

- 1 Yksisivuinen liite
- 2 Monisivuinen liite

Alkusanat

Sain tämän opinnäytetyön aiheen työskenneltyäni kesällä 2011 harjoittelijana Voimatel Oy:n Varkauden toimipisteessä. Työskentelin jakeluverkkoasentajan ja projektivastaavan työtehtävissä. Pääsin jo kesän aikana hieman tutustumaan jakeluverkon ilmajohdojen suunnitteluun. Sain Varkauden toimipisteestä vuoden 2012 alussa oman työpisteen opinnäytetyöni tekoa varten.

Haluan kiittää tukihenkilöitäni verkostosuunnittelijoita Ilari Rinnettä ja Petri Mäkeä sekä ohjaavaa opettajaa yliopettaja Juha Korpijärveä opinnäytetyöprosessin aikana saamastani tuesta.

10.5.2012 Sampsa Sutinen

Termistö ja lyhenteet

Adato = Keskijännitteisten (KJ) johtojen pylväille johtimista tulevien kuormien laskentaan on kehitetty Excel-taulukkolaskentaohjelma.
AutoCAD = AutoCAD on monikäyttöinen tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto, jonka on kehittänyt Autodesk Inc.
Ekvivalenttijänne = Ekvivalenttijänne on mitoitusjänne, joka on laskettu kiristysväli- en jänneistä. Ekvivalenttijännettä käytetään köysivoimien mitoitukseen.
Genelec = Sähköalan standardisointijärjestö jonka jäseniä ovat EU:n jäsenmaat sekä Islanti, Norja ja Sveitsi.
Google Earth = Karttapalvelu joka yhdistää satelliitti- ja ilmakuvia ja paikkatietoja.
GPS = Global Positioning System satelliittipaikannusjärjestelmä.
HeadPower = Työnohjausjärjestelmä sähkönjakelualan toimijoille. HeadPower tarjoaa asiakkailleen standardoituja vakiorakenteita.
Jakeluverkko = Jakeluverkkoon kuuluu sekä keskijännite että pienjännitejohdot. Jakeluverkon tehtävänä on tuoda sähkö sähköasemalta jakelumuuntamon kautta kuluttajalle.
Jännite = Jännitteen tunnus on U ja yksikkö voltti V. Jännite tarkoittaa sähköistä potentiaaliero.
Kj = Keskijännite. Keskijännitejohdot ovat sähköasemien ja jakelumuuntamoiden välisiä johtoja. Keskijännitetä ovat yli 1kV ja alle 45kV jännitetason johdot.
PG = PowerGrid, verkkoyhtiöiden käyttämä sähköverkkojen hallintajärjestelmä
PG-Web = PowerGrid Web, sähköverkkojen hallintajärjestelmän pohjalta luotu internetpohjainen verkon katseluohjelma josta myös nähdään sähköverkon asiakastiedot.
Pj = Pienjännite. Enintään 1kV johdot luokitellaan pienjännitejohdoiksi. Pienjännitejohdoilla tuodaan sähkö kuluttajalle jakelumuuntamosta.
PLS-CADD = Power Line Systems Computer Aided Design and Drafting on toinen vertailussa oleva suunnitteluohjelmisto. Yhdysvaltalainen PLS-CADD on tarkoitettu sähkönsiirtoverkkojen suunnitteluun.
Profila = ABB Profila GENELEC, toinen vertailtavista jakeluverkon ilmajohtojen suunnitteluohjelmistoista.

Siirtoverkko = Sähkösiirtoverkko tarkoittaa suurjännitteisiä johtoja. Virallinen määritelmä yli 45kV. Suomessa käytössä 110kV, 220kV ja 400kV. Siirtoverkko lähtee voimalaitokselta ja päättyy sähköasemalle. Siirtoverkkoon viitataan myös puhuttaessa voimaverkosta tai voimajohdoista.

Trimble = Trimble Inc. on yhdysvaltalainen maanmittaus- ja GPS-laitteita valmistava yritys. Tämän opinnäytetyön teossa käytettiin Trimble GeoXH GeoExplorer 2008-sarjan GPS-paikanninta. Trimblestä puhuttaessa viitataan ko. laitteeseen.

Vakiorakenne = Vakiorakenteet ovat valmiita standardoituja tuotteita sähkönjakelu-alan toimijoille. Tarkoituksena on yhdenmukaistaa rakennestandardit.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla ABB Profila GENELEC (myöh. Profila) ja PLS-CADD ilmajohtojen suunnitteluohjelmistoja Voimatel Oy:n toimeksiannosta. Voimatel Oy suunnittelee ja rakentaa uutta ja saneerattavaa jakeluverkkoa sähköyhtiöille. Jotkut asiakkaat haluavat ilmajohtojen suunnittelun lisäksi johtoprofiilin, joka tehdään lisäämällä GPS-mittauksen perusteella laadittuun maastoprofiiliin käytettävät rakenteet ja johtimet. Johtoprofiilista nähdään, kuinka johdon riippumat menevät maaston mukaisesti. Voimatel Oy:llä ei ole tällä hetkellä ohjelmaa, joka piirtäisi profiilin suoraan, vaan verkostosuunnittelijat suunnittelevat profiilin AutoCAD:lla tai vastaavalla ohjelmalla. Lisäksi suunnittelijat mitoittavat pylväät, harukset ym. rakenteet tätä tarkoitusta varten laadituilla työohjeilla ja työvälineillä, kuten Microsoft Excel -pohjaisilla Adato-rakennemitoitustaulukoilla. Tämä on työläs ja aikaa vievä työvaihe.

Profila ja PLS-CADD ovat ohjelmistoja, joita käytetään ilmajohtojen suunnittelussa. Profilan tiedettiin etukäteen olevan jakeluverkon ilmajohtojen suunnitteluun tarkoitettu suomalainen ohjelmisto. Voimatel Oy:llä ei ole käytössään Profilaa, joten sen ominaisuudet ja käytettävyys haluttiin selvittää. PLS-CADD on yhdysvaltalainen sähkönsiirtoverkkojen suunnitteluun tarkoitettu ohjelmisto, joka on käytössä ympäri maailmaa. PLS-CADD otettiin vertailuun mukaan, sillä sen toimivuutta jakeluverkon suunnittelussa ei ollut selvitetty Voimatel Oy:llä.

Tässä työssä keskitytään jakeluverkon keskijännitepuolen ilmajohtojen suunnitteluun. Keskijänniteilmajohdot ovat sähköaseman ja jakelumuuntamon välistä 10kV tai 20kV ilmajohtoa. Virallisesti keskijännite määritellään niin, että välillä yli 1kV ja alle 45kV olevat jännitteet ovat keskijännitettä. Muut jännitetasot kuin 10kV ja 20kV ovat harvinaisia.

Termi jakeluverkko pitää sisällään myös pienjännitepuolen, mutta vain erikoiset ja erityisen vaikeat pj-ilmajohdot suunnitellaan niin, että niistä tarvitsee piirtää profiili. Tämän vuoksi pienjännitepuoleen ei tässä työssä oteta paljoa kantaa. Yhteiskäyttöpylväistä puhuttaessa otetaan alimman johtimen riippuma huomioon, joka voi pienjännitekaapelin lisäksi olla mm. puhelinlinja, maadoitusjohdin, harus jne. Toinen johdin otetaan myös huomioon mekaanisessa mitoituksessa.

Vertailu toteutetaan käyttämällä hyödyksi käytännön esimerkkiä suunnittelusta asiakkaalle. Kyseinen työkohte sijaitsee Konnuksentiellä Leppävirralla ja tässä opinnäytetyössä toteutetaan kyseisen työkohteen loppuosan suunnittelu kummallakin ohjelmistolla. Opinnäytetyössä selvitetään, onko ohjelmistoista hyötyä verkostosuunnittelijan työssä. Opinnäytetyöprosessin aikana ei ollut tiedossa, että vastaavia vertailuja olisi tehty aiemmin. Tavoitteena on, että valmis opinnäytetyö kertoo puolueettomasti kummankin ohjelmiston hyvät ja huonot puolet.

2 VOIMATEL OY

Voimatel Oy perustettiin vuonna 2001 sähkö- ja televerkkoja rakentavaksi ja huoltavaksi yhtiöksi. Perustamisessa mukana olivat Savon Voima Oy ja Kuopion Puhelin Oy. Voimatel toteuttaa työnsä työn suunnittelusta valmiin työn dokumentointiin saakka. Rakentamis- ja suunnittelupalveluita on saatavilla sähköverkkojen, tietoverkkojen ja voimapalveluiden toimialueilla. ”Voimatelin asiakkaita ovat teleoperaattorit, kunnat, kaupungit, taloyhtiöt ja yksityishenkilöt, siirto- ja jakeluverkkoyhtiöt sekä teollisuus”. (Voimatel 2011.)

Sähköverkkopalvelut tuottaa suunnittelu-, rakentamis- ja huoltopalveluita verkkoyhtiöille kaikilla halutuilla jännitetasoilla. Tietoverkkopalveluiden asiakkaita ovat puhelin-, KTV- ja tietoverkkojen haltijat ja käyttäjät. Voimapalvelut pitää sisällään asiantuntija-, suunnittelu-, rakentamis- ja kunnossapitopalveluita kaikille energiaa tuottaville ja käyttäville yrityksille. (Voimatel 2011.)

Omistussuhteet ovat ajan myötä muuttuneet paljon. Voimatelin omistaa Osuuskunta KPY (78,5%), Savon Voima Oyj (17,3%) ja Voimatel Oy:n henkilöstö (4,2%). Toimipisteitä on ympäri suomea ja pääkonttori sijaitsee Siilinjärvellä. Yhtiön kasvu on ollut nopeaa. Voimatel on kasvanut liikevaihdollisesti yli kaksinkertaisesti ja alueellisesti jo koko maan laajuiseksi. Vuonna 2010 Voimatel Oy:llä oli 374 työntekijää ja liikevaihto oli n. 56M€. (Voimatel Oy 2011;2012a;b.)

3 JAKELUVERKOSTON SUUNNITTELU

Jakeluverkoston suunnittelua käydään läpi yleisesti. Vertailtavilta ohjelmistoilta toivotaan helpotusta johtoprofiilin piirron ja mekaanisen mitoituksen työvaiheisiin. Kyseiset työvaiheet ovat vain osa varsinaista suunnitteluprojektia. Käydään läpi mitoituksen vaikuttavia asioita ja johtoprofiilin laadintaa, keskittyen vain tärkeimpiin asioihin. Maakaapelointiin liittyvät asiat eivät ole opinnäytetyön kannalta olennaisia.

Tässä opinnäytetyössä lähteinä on Savon Voima Verkko Oy:n toiminto-ohjeita jakeluverkoston suunnitteluun. Ohjeet perustuvat ilmajohtostandardeihin, joista keskijänniteilmajohtojen suunnitteluun sovelletaan Genelec-standardeja SFS-EN 50423-1, SFS-EN 50341-1 ja SFS-EN 50341-3-7 ja pienjänniteilmajohtoihin standardia SFS 6003. Lisäksi verkkoyhtiöt antavat omia määräyksiään ja toiminto-ohjeitaan. Verkkoyhtiöt voivat vaatia suurempia turvaetäisyyksiä kuin standardissa on mainittu ja voivat suosia tiettyjen rakenteiden käyttöä. Toimintamallit ja ohjeet voivat olla jollain muulla verkkoyhtiöllä erilaisia. (Savon Voima Verkko Oy 2011a; SFS-Käsikirja 601 2009, 127.)

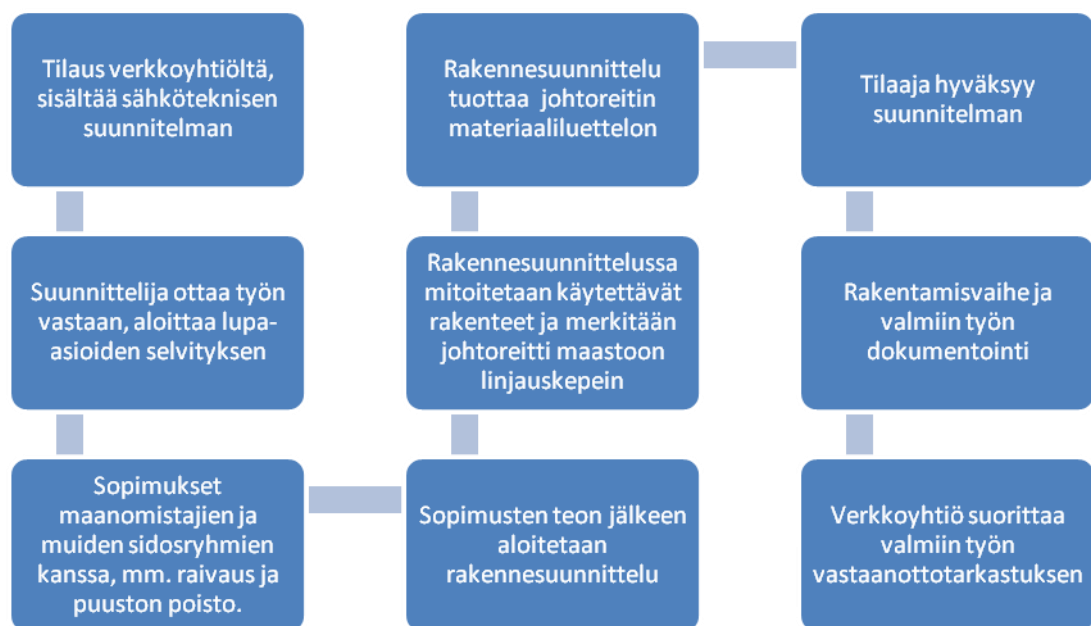
3.1 Maastosuunnittelu

Maastosuunnitteluun sisältyy monia eri työvaiheita sähköteknisen suunnitelmakokonaisuuden vastaanottamisesta valmiin maastosuunnitelmapaketin luovuttamiseen työn tilaajalle tai urakoitsijalle. Työvaiheita ovat mm. johtoreitin selvitys, risteily- ja yhteiskäyttösopimusten tekeminen maanomistajien ja muiden sidosryhmien kanssa, puuston poistoon liittyvät järjestelyt, rakenteiden mekaaninen mitoitus ja maastoon merkintä linjauskepin, työkarttojen ja muiden tarvittavien asiakirjojen laatiminen. (Savon Voima Verkko Oy 2011a.)

Maastosuunnittelun tarkoituksena on sovittaa sähköteknisen suunnitelman mukainen uuteen paikkaan rakennettava tai peruskorjattava sähköverkoston osa maastoon, sekä valmistella rakentamissuunnitelmaa siihen tarvittavin selvityksin. Vaihtoehtoja huomioidaan ja valitaan edullisin muiden sidosryhmien hyväksymä vaihtoehto, ottaen huomioon koko johdon käyttöaika. Johdon ulkonäkö otetaan huomioon suunnittelussa. Ilmajohtojen tulee sulautua teiden ja asutuksen läheisyydessä hyvin maisemaan. (Savon Voima Verkko Oy 2011b.)

Maastosuunnittelu voidaan jakaa kahteen eri vaiheeseen, sijaintisuunnitteluun ja rakennesuunnittelun. Sijaintisuunnittelun tavoitteena on etsiä johdolle reitti, hankkia sille tarvittavat luvat ja tehdä johtoreitille puustonpoisto. Rakennesuunnittelussa määritellään ja mitoitetetaan johdon rakenteet. Rakennesuunnittelu tuottaa johdon materiaaliluettelon.

Kuvassa 1 on kuvattu suunnitteluprojektin kulku Voimatel Oy:llä. Suuri osa toteutettavista jakeluverkon ilmajohtojen suunnitteluprojekteista etenee kuvassa esitetyllä tavalla.



KUVA 1 Suunnitteluprojektin kulku (Rinne 2010.)

3.1.1 Sijaintisuunnittelu

Sijaintisuunnittelun tarkoituksena on etsiä maastosta paras reitti johdolle sähkötekni- seen suunnitelmaan perustuen. Mikäli alkuperäinen suunniteltu reitti on pidentynyt tai muuttunut huomattavasti, on varmistettava sähkötekni- sestä mitoitukselta. Sähkötekni- sen mitoituksen tekee yleensä verkkoyhtiön aluesuunnittelija. Ensimmäinen suunnitte- lijän tehtävä on katsoa kartalta koko tämä johtoreitti ja selvittää maanomistajien tie- dot. (Savon Voima Verkko Oy 2011a; Rinne 2010.)

Uudet johtoreitit pyritään sijoittamaan tien varteen. Tämä helpottaa asennus- ja huol- totöiden tekoa merkittävästi. Johtoreitillä pyritään välttämään kulmia muuttamalla

pylväiden etäisyyttä tiestä, kuitenkin vaaditun etäisyyden täytyessä. Keskijänniteilmajohdon pylväillä tämä etäisyys on 1,5m-5m tiealueen rajasta. Jos johto sijoitetaan metsään, hyödynnetään maaston muotoja, linjakuvioita sekä rajalinjoja mahdollisimman hyvin. Kaavoitetulla alueella johto sijoitetaan varatulle paikalleen. (Savon Voima Verkko Oy 2011a.)

Suunnittelua helpottaa jos koko johtoreitti sijaitsee yhden maanomistajan mailla. Tällöin selvitetään yhden johtoalueen käyttöoikeussopimuksen tekemisellä. Mikäli johtoreitillä on useita maanomistajia, voi suunnittelu kestää kuukausia ennen kuin kaikki maanomistajat on tavoitettu ja sopimukset on tehty.

Johtoreittien valinnassa tulee ottaa huomioon rakentamisessa ja kunnossapidossa tarvittavien työkonoiden kulkumahdollisuus johtoaluetta pitkin. Suunnittelija sopii maanomistajan kanssa puun poistosta. Tien varteen tulevien uusien sähkölinjojen rakentamisesta sovitaan ELY-keskuksen kanssa. Maanomistajat saavat sopimuksen tehdessään kertakorvauksen sähkölinjan sijaitsemisesta heidän maillaan, sekä mahdollisesta puuston poistosta. Tämän jälkeen sähköyhtiöllä on oikeus suorittaa huolto/saneeraustöitä omistamalleen sähköverkolle. (Savon Voima Verkko Oy 2011b.)

3.1.2 Rakennesuunnittelu

Rakenteina käytetään HeadPowerin vakiorakenteita (kts. kappale 3.4). Kaikki rakenteet suunnitellaan jännitetyökytkentäkelpoisiksi mahdollisuuksien mukaan. Pylväsväleihin vaikuttaa mm. johtimien rajajänteet, orsien käytönrajat (sähköinen sekä mekaaninen lujuus), etäisyysvaatimukset ja maaston muodot. Pylväät, harukset ja tukirakenteet valitaan tapauskohtaisesti. (Savon Voima Verkko Oy 2011a.)

Kiristysrakenteita suunnitellaan johdon poikki-pinnasta, merkityksestä ja maaston korkeuseroista riippuen n. 2-4km välein. Kiristysrakenteet mitoitetaan toimimaan molempiin suuntiin, ilman vastakkaisella puolella sijaitsevan johtimen vetävää voimaa. Kiristysrakenteiden tarkoituksena on pienentää pylväisiin kohdistuvia voimia. Pienjännitejohdot suunnitellaan taajamissa maakaapeleilla, mutta maaseudulla ensisijaisesti yhteiskäyttöön keskijännitejohtojen kanssa. (Savon Voima Verkko Oy 2011a.)

Johdon sijoituskorkeus maasta, rakennuksista, puista ja muista johdoista määräytyy kappaleen 3 alussa mainittujen standardien perusteella. Verkkoyhtiöt voivat lisätä turvaetäisyyksiä. Johdon tullessa tiealueelle tai muuten näkyvälle paikalle on kiinnitettävä huomiota johdon ulkonäköön. Ulkonäön vuoksi voidaan käyttää pitempää pylväspituutta, kuin etäisyys maasta tai muusta kohteesta vaatisi. Pylvää mitoitetaan kohdassa aiemmin mainittujen standardien perusteella. Mahdolliset lisäkuormat kuten muuntaja, katkaisija, erotin tai kahden asentajan paino huoltotöissä on otettava huomioon. Rakenteiden mitoitus käydään läpi pääpiirteittäin omassa osiossaan. (Savon Voima Verkko Oy 2011a.)

3.2 Mitoitus

Rakenteiden mitoitus tehdään rakennesuunnitteluvaiheessa. Sähkötekninen mitoitus tarkoittaa sitä, että valitaan johdinlaji sähköntarpeen mukaan. Yleinen käytäntö on, että verkkoyhtiöt mitoittavat tämän itse ja pitävät tiedon itsellään. Suunnittelijoille ilmoitetaan käytettävä johdinlaji ja tilataan maastosuunnittelu.

Jakeluverkon ilmajohtojen suunnittelussa otetaan huomioon mekaaniset rasitukset. Yleisimmät kuormitukset ovat rakenteiden paino, johtimien aiheuttamat voimat, tukirakenteet, harukset, luonnonvoimat ja kahden asentajan paino. Mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. ekvivalenttijänne, orsien kuormitustapaukset, summa y, johtokulma, johdinlaji ja pylväspituus. Mitoituksen teoriaa ja arvoja käydään läpi yleisesti. (Rinne 2010.)

3.2.1 Ilmajohdon mekaaninen mitoitus

Ilmajohdomääräykset määrittelevät ilmajohtoa rasittavat ominaisuudet. Rasitukset mitoitetaan eri kuormituksilla ja eri sääoloissa, kts. taulukko 1. Mekaanisen mitoituksen tarkoituksena on valita johtoreitille edullisimmat rakenteet, jotka mitoitetaan kestävän kyseisen tilanteen rasitukset. (Rinne 2010.)

3.2.2 Orsien mitoitusperusteet

Luotettavuustaso:

- Taso 1 (tavalliset johdot) (SFS-EN 50423-3-7 kohta 3.2.2).

Tuulikuormat:

- Vertailutuulennopeus 21m/s (SFS-EN 50423-3-7 kohta 4.2.2.1),
- Maastotyyppi II (SFS-EN 50341-1 taulukko 4.2.1).

Orsien käytönrajat eri kuormitustapauksissa on lueteltuna taulukossa 1 (SFS-EN 50423-3-7 taulukko 4.2.11/FI.1).

TAULUKKO 1. Orsien kuormitustapaukset (Ensto 2012)

Kuormitustapaus	Lämpötila °C
Nollasääjännitys	0
Huipputuulikuorma	-20
Pakkanen	-50 (Pohjois-Suomi)
Pienennetty tuuli	0
Huippujääkuorma	0
Huippujää + keskinkertainen tuuli	0
Keskinkertainenjää + kova tuuli	0
Rakentaminen, kunnossapito	-20
Varmuuskuormitus	0
Helle	50
Helle jääkuorman jälkeen	50
Helle pakkasen jälkeen	50

Verkkoyhtiöt toimittavat suunnittelijoille tarkemmat mitoitusohjeet, joiden perusteella mitoitus tehdään. Ohjeet perustuvat verkostosuositukseen ja valmistajien ilmoittamiin käytönrajoihin. Voimatel Oy:llä kaikki mitoitukset tehdään käyttäen HeadPower va-kiorakennetietoja. (Rinne 2010.)

3.2.3 Ekvivalenttijänne

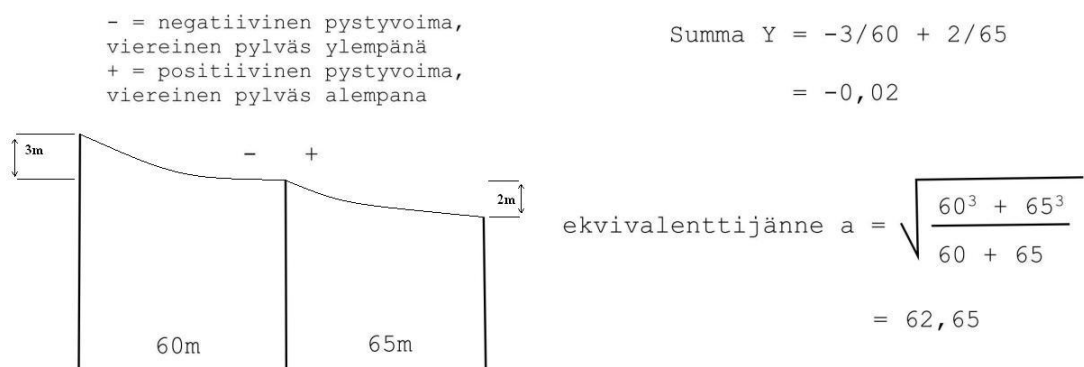
Ekvivalenttijänne on mitoitusjänne. Ilmajohdon suunnittelussa tulee paljon eripituisia jännteitä. Jokaisella jännteellä on eri kuormitus. Kuormitukset saadaan yhtenäisiksi, jolloin voidaan laskea koko johtovälin voimat kyseisellä mitoitusperiaatteella. Ekvivalenttijänne lasketaan kuvan 2 kaavalla. Kaavassa a_1, a_2, a_3 jne. on pylväsvälien etäisyyksiä, esim. 56m, 60m, 50m jne. Kaavaan syötetään kaikki johtoreitin pylväsvälit ja saadaan koko johtoreitin ekvivalenttijänne. (Rinne 2010.)

$$\text{ekvivalenttijänne } a_{\text{kok}} = \sqrt{\frac{a_1^3 + a_2^3 + a_3^3 + a_4^3 + a_5^3}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5}}$$

KUVA 2 Ekvivalenttijännteen kaava (Rinne 2010)

3.2.4 Summa Y

”Summa Y on viereisten pylväiden nousukulmien tangenttien summa” (Ensto 2010). Summa Y lasketaan pylväiden korkeuserojen perusteella. Summa Y:n laskemiseen tarvitaan viereisten pylväiden etäisyydet sekä johtimien kiinnityskohtien korkeuserot. Korkeamman kiinnityskohdan korkeusero merkitään negatiivisena ja matalamman positiivisena. Kuvassa 3 on havainnollistava esimerkki Summa Y:n laskemisesta. Kuvassa on laskettu malliksi myös ekvivalenttijänne.



KUVA 3 Summa Y:n laskeminen (Sutinen 2012)

3.2.5 Adato-rakennemitoitustaulukot

Adato-rakennemitoitustaulukot ovat Microsoft Excel -järjestelmiä, joita Voimatel Oy:n suunnittelijat hyödyntävät rakenteiden mitoituksessa. Suunnittelija katsoo GPS-laitteella mitattuja laskentaparametreja GPS Pathfinder Office -ohjelmasta ja mitoitussohjeista. Syötettäviä laskentaparametreja ovat mm. kohteen korkeustiedot, maastotyyppi, jääkuorma ja pakkaslämpötila. Tuulikuormaan vaikuttaa johtimen korkeus ja perustuulennopeus. Lisäksi tarvitaan pylväskohtaiset tiedot, kuten ekvivalenttijänne, kiristysvälin etäisyys, keskimääräinen jänne, ja johtokulma. Adato on pyritty laatimaan siten, että siihen tarvitsee syöttää mahdollisimman vähän lähtöarvoja. Järjestelmä tekee automaattisesti asetuksia eri kuormaparametreille Genelec-standardien mukaisesti. (Finnmast Oy 2011.)

Adaton avulla käydään suunniteltava johtoreitti läpi pylväs kerrallaan. Mitoituksen lopputulokseksi saadaan johtimista pylväsiin vaikuttavat voimat. Järjestelmä vertaa niitä pylväsvakioihin ja antaa pylväsluokkakohtaisesti vastauksen siitä, onko pylväs riittävän kestävä kyseiseen tilanteeseen. (Adato Energia Oy 2011.)

3.3 GPS-maastomittauslaitteen hyödyntäminen

Voimatel Oy:n suunnittelijoilla on käytössään Trimble GeoXH GeoExplorer 2008 -sarjan GPS-mittauslaitteet. GPS-laitteella paikannetaan ilmajohdon kulkureitti. Laitteesta löytyy TerraSync-tiedonkeruuohjelma, jolla otetaan tarvittavat maastopisteet ja tallennetaan halutulla nimellä laitteeseen. Suunnittelijat käyttävät Trimblen kanssa ulkoista lisäantennia, jolla mittaustarkkuus paranee. Maastopisteitä mitataan johtoreitiltä, tien reunasta sekä johtoreitin varrella olevista korkeista kohdista, jolloin nähdään kuinka paljon korkeuseroa on tienreunaan. Korkeiden kohtien mittaaminen helpottaa suunnittelua.

Mitatut pisteet puretaan liittämällä Trimble tietokoneen USB-väylään ja purkamalla pisteet GPS Pathfinder Office -ohjelmalla. GPS Pathfinder Officeella mitattuja pisteitä pystyy muokkaamaan ja poistamaan. Ohjelmalla voidaan valita johtoreittiin vaikuttavat pisteet ja jättää apupisteet valitsematta. GPS-mittauksen avulla voidaan tarkkaan määrittellä sähkölinjan sijainti. GPS-mittauksen tarkkuus on n. 15cm. Sijaintitiedot

ilmoitetaan verkkoyhtiölle ja he voivat tallentaa omiin järjestelmiinsä tarkan johdon kulkureitin.

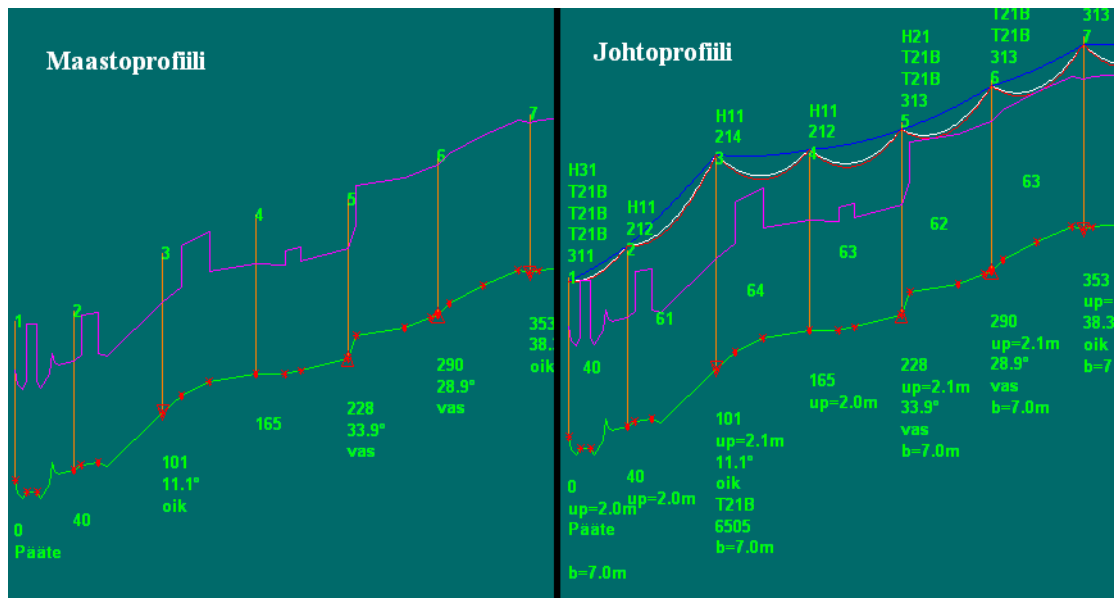
3.4 HeadPower

HeadPower on työnohjausjärjestelmä, joka on tarkoitettu sähkönjakelualan toimijoille, eli verkkoyhtiöille, urakoitsijoille, suunnittelijoille jne. HeadPower tarjoaa asiakkailleen vakiorakenteita, määräluetteloita, materiaalisuosituksia ja tarvikesarjoja jotka helpottavat verkoston suunnittelua. Työnohjausjärjestelmä helpottaa sujuvaa työsuoritteiden tilaamista ja toimittamista sekä helpottaa projektien seuranta. HeadPower tarjoaa asiakkailleen niin sanotut yleispätevät ja standardoidut rakenteet ja tuotteet. Verkkoyhtiöillä on omat ohjeistuksensa, joilla rajataan mitä rakenteita käytetään. (HeadPower Oy 2012.)

3.5 Maasto- ja johtoprofiilin piirtäminen

Johtoprofiilin piirtämisen tarkoituksena on suunnitella johdon suuntainen poikkileikkaus maan pinnanmuotoja hyödyntäen. Maan pinnanmuodot saadaan joko GPS mittauksella, vaaituskoneella, kaltevuus- tai korkeusmittarilla tai silmämääräisellä arviolla. Voimatel Oy:llä suunnitelmat pyritään tekemään käyttämällä pelkästään GPS mittauksia. (Savon Voima Verkko Oy 2004.)

Johtoprofiilia tutkitaan ikään kuin sivusta päin katsottuna kaksiulotteisesti. Johtoprofiilia varten on ensin piirrettävä maastoprofiili. Kuvassa 4 on Profila-ohjelmistolla suunniteltu esimerkki maastoprofiilista ja johtoprofiilista. Maastoprofiilista näkee pylväspaikat ja korkeusvaatimuskäyrän, mutta mitään rakenteita ei ole lisätty.



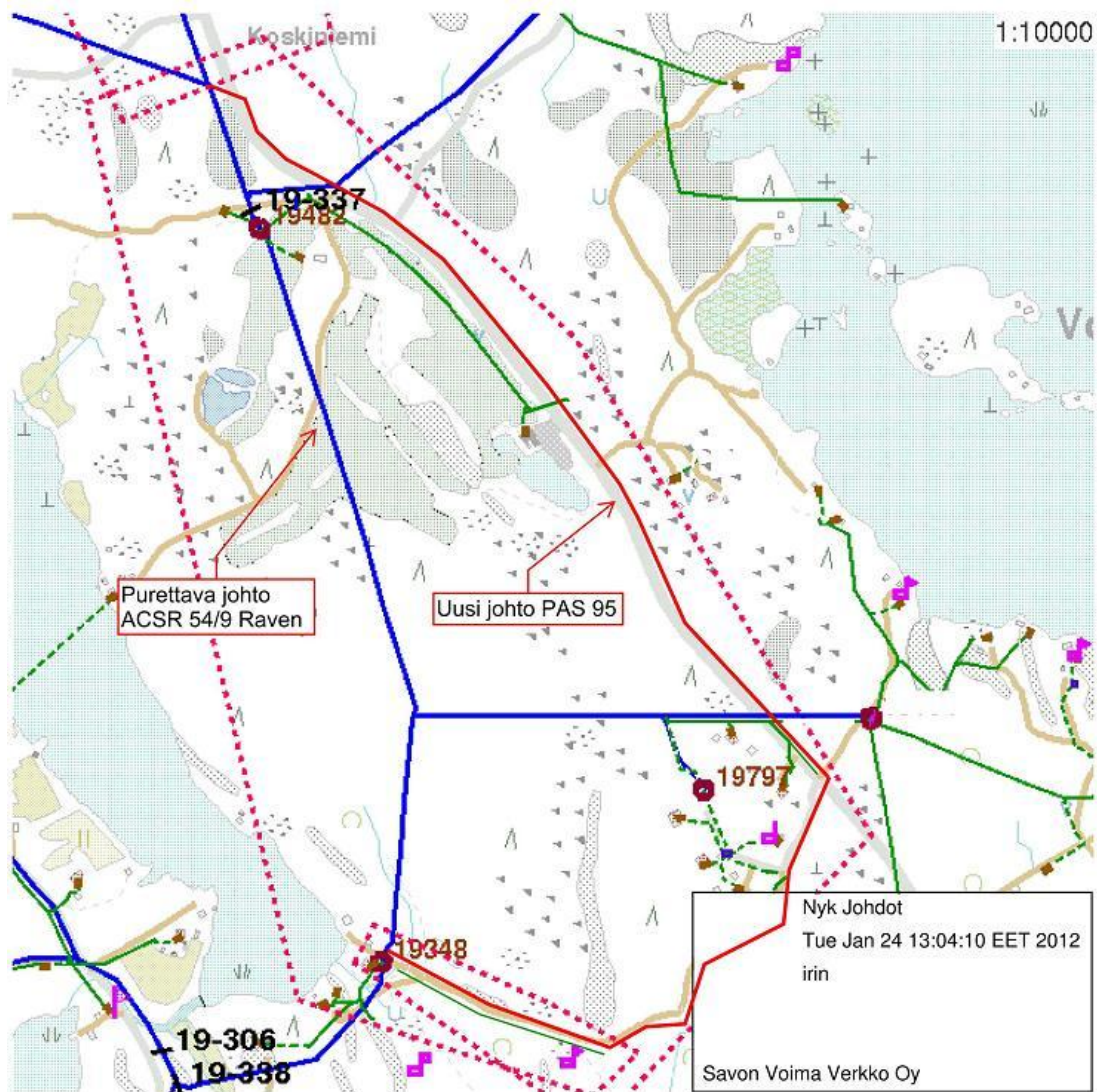
KUVA 4. Profila-ohjelmistolla laadittu maastoprofiili ja johtoprofiili

Kuvassa oikealla on sama tilanne kuin vasemmalla, mutta suunnitelmaan on lisätty päällystetty avojohto PAS 95 ja pylväsrakenteet. Eriväriset riippumat kuvaavat johtoa eri sääoloissa. Näiden kuvien tarkoitus on havainnollistaa mitä profiilin piirtäminen tarkoittaa.

Johtoprofiilista nähdään maaston korkeuserot. Korkeus on mittakaavassa 1:200 ja leveys 1:2000. Suunnittelija voi tässä vaiheessa muokata pylväiden sijoituspaikkoja. Pyrkimys on, ettei sijoiteta pitkää pylvästä kuoppaan, vaan hyödynnetään korkeita maakohtia mahdollisuuksien mukaan, jolloin voidaan käyttää lyhyempiä pylväspi-tuuksia.

3.6 Testiverkko Konnuslahdentien kj-saneeraus

Vertailussa käytetään materiaalina käytännön esimerkkiä suunnittelusta asiakkaalle. Savon Voima Verkko Oy tilasi Voimatel Oy:ltä Konnuslahdentielle Leppävirralle saneerattavaa keskijänniteverkko. Metsään sijoitettu yli 3km osuus avojohdin ASCR Raven 54/9, muutetaan päällystetyksi avojohtimeksi SAX / PAS 95 ja uusi linja sijoitetaan tien viereen.



KUVA 5. Kunnuslahdentien kj-saneeraus, yleiskartta PG-Web

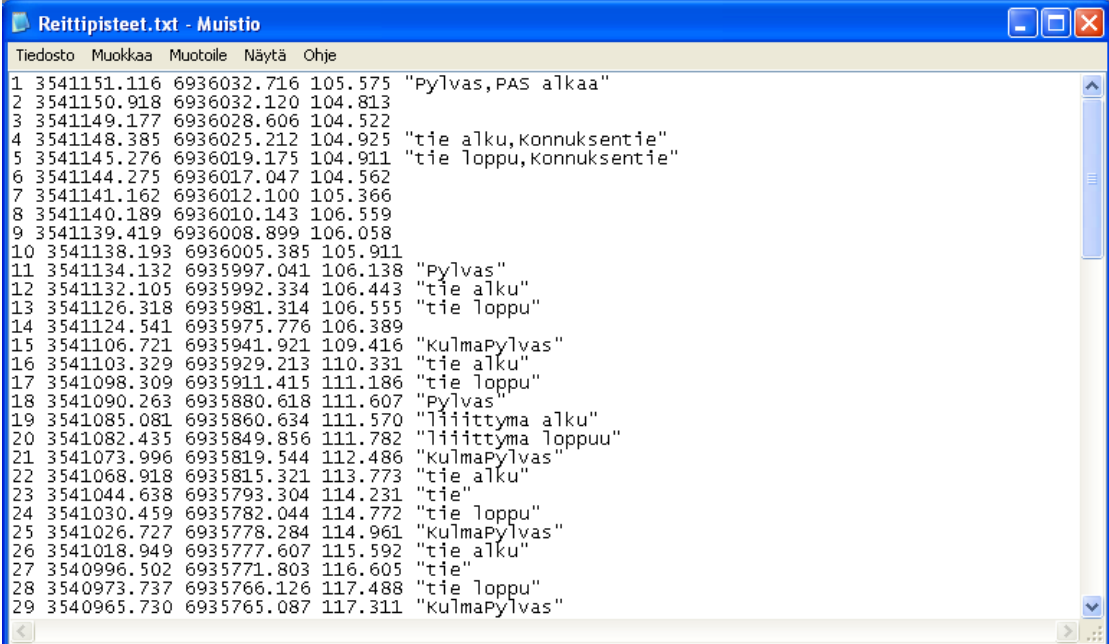
Vertailumateriaalina käytetään johdon loppupään suunnittelua, yhteensä 957m. Pylväisiin tulee loppupäähän 283m matkalle yhteiskäyttöön AMKA 3x70+95 riippukierrekaapeli. Vanhat muuntamot siirtyvät metsästä kyseisen uuden johtoreitin varrelle. Johtoreitin suunnittelu toteutetaan tässä opinnäytetyössä molemmilla suunnitteluohjelmistoilla. Suunnitteluaineiston tarkoituksena on tuottaa vertailtavaa materiaalia.

4 VAATIMUKSET SUUNNITTELUOHJELMISTOLLE

Suunnitteluohjelmistolta toivotaan helpotusta ja ajansäästöä jakeluverkon suunnittelijan työssä. Käydään läpi keskeisimpiä asioita, mitä ohjelmistoilta vaaditaan. Jotkut asiat ovat vaatimuksia ja jotkut toiveita. Varsinaisessa vertailussa todetaan myöhemmin, kuinka hyvin vaatimukset täyttyivät, ja miten ohjelmistoista on hyötyä suunnittelijan työssä.

4.1 Maastopisteiden tuonti

Maastopisteiden GPS-mittauksen jälkeen mitatut pisteet tuodaan suunnitteluohjelmiston ymmärtämään muotoon. Tarkkojen koordinaattien lisäksi tuodaan kommentti tai koodi, joka kertoo mitä kyseinen mittauspiste sisältää. GPS-mittauspisteet puretaan GPS PathFinder Office -ohjelmalla. Ohjelmaan luodaan koordinaattien tulostusmäärittely, joka purkaa mitatut pisteet suunnitteluohjelmiston ymmärtämään muotoon. Koordinaattitiedoston luomisen on onnistuttava ilman tiedoston muokkaamista.



```

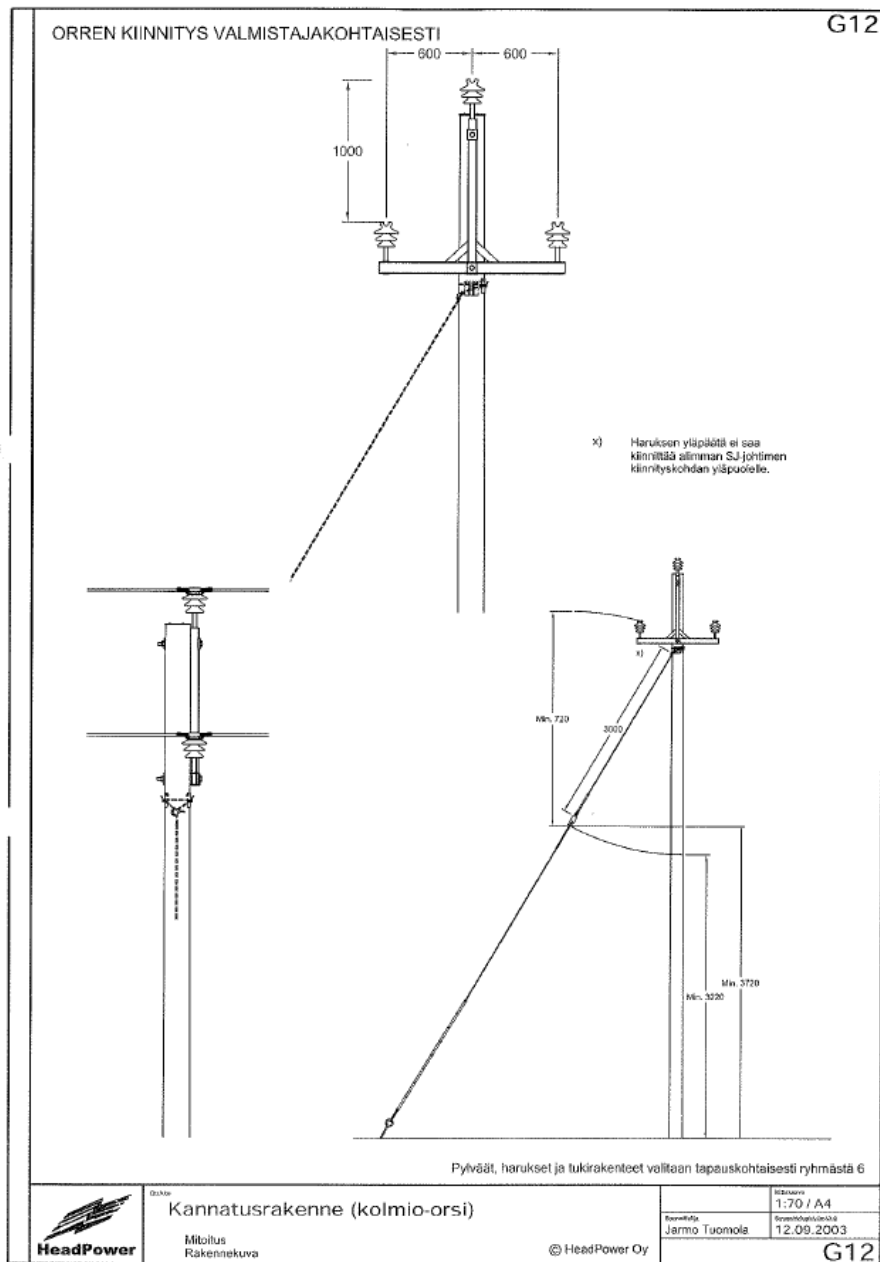
Tiedosto Muokkaa Muotoile Näytä Ohje
1 3541151.116 6936032.716 105.575 "Pylvas,PAS alkaa"
2 3541150.918 6936032.120 104.813
3 3541149.177 6936028.606 104.522
4 3541148.385 6936025.212 104.925 "tie alku,Konnuksentie"
5 3541145.276 6936019.175 104.911 "tie loppu,Konnuksentie"
6 3541144.275 6936017.047 104.562
7 3541141.162 6936012.100 105.366
8 3541140.189 6936010.143 106.559
9 3541139.419 6936008.899 106.058
10 3541138.193 6936005.385 105.911
11 3541134.132 6935997.041 106.138 "Pylvas"
12 3541132.105 6935992.334 106.443 "tie alku"
13 3541126.318 6935981.314 106.555 "tie loppu"
14 3541124.541 6935975.776 106.389
15 3541106.721 6935941.921 109.416 "kulmaPylvas"
16 3541103.329 6935929.213 110.331 "tie alku"
17 3541098.309 6935911.415 111.186 "tie loppu"
18 3541090.263 6935880.618 111.607 "Pylvas"
19 3541085.081 6935860.634 111.570 "liittyä alku"
20 3541082.435 6935849.856 111.782 "liittyä loppuu"
21 3541073.996 6935819.544 112.486 "kulmaPylvas"
22 3541068.918 6935815.321 113.773 "tie alku"
23 3541044.638 6935793.304 114.231 "tie"
24 3541030.459 6935782.044 114.772 "tie loppu"
25 3541026.727 6935778.284 114.961 "kulmaPylvas"
26 3541018.949 6935777.607 115.592 "tie alku"
27 3540996.502 6935771.803 116.605 "tie"
28 3540973.737 6935766.126 117.488 "tie loppu"
29 3540965.730 6935765.087 117.311 "kulmaPylvas"

```

KUVA 6. Maastopisteiden tulostettava formaatti, kuvankaappaus muistiosta

4.2 Pylväs- ja johdinrakenteet

Suunnittelussa käytetään hyödyksi HeadPower-vakiorakenteita. Suurena etuna pidetään ohjelmistosta valmiina löytyviä HeadPower-vakiorakennetietoja. Johtoprofiilin kannalta tärkeät rakenteet on mainittu seuraavissa kappaleissa. Myös rakenteiden päivittäminen tulee onnistua pienellä vaivalla. Mikäli vakiorakenteita ei löydy, on niiden lisäämisen onnistuttava. Kuvassa 7 on esimerkkinä vakiorakennekuva kolmio-orresta.



KUVA 7. Esimerkkikuva HeadPowerin vakiorakenteesta kolmio-orssi. (HeadPower 2004)

4.3 Johtoprofiilin piirto

Johtoprofiilin tarkkaa piirtoa varten on ohjelmaan määriteltävä orsirakenteet, pylväspituudet, avojohtimet, päällystetyt avojohtimet sekä pienjännitekaapelit. Jos näiden rakenteiden lisäys ei onnistu, johdon riippuma ei asetu profiilissa täysin kohdalleen. Johtoprofiilin piirtoa helpottaa, jos ohjelma tunnistaa maastotietojen tuontivaiheessa etukäteen suunnitellut pylväspaikat. Mikäli tässä vaiheessa huomataan korjattavaa, on se voitava tehdä muokkaamalla tai siirtämällä pylväitä tai muita rakenteita.

Korkeusvaatimuskäyrä on voitava lisätä. Korkeusvaatimuskäyrä on vähimmäisetäisyys maasta. Johtimen korkeus maasta on oltava vähintään standardissa SFS-EN 50423-1 vaadittu etäisyys. Standardissa on määrätty esimerkiksi 5,6m alueilla, jotka ovat kaukana asutuksesta. Verkkoyhtiöt voivat vaatia suurempia turvaetäisyyksiä kuin standardien vähimmäisetäisyydet. (SFS-Käsikirja 2009, 194;209.)

4.4 Mekaaninen mitoitus

Mekaaninen mitoitus mahdollistaa suunnittelijan työajan säästön. Ohjelmistoon määritellään käytettävät kuormitustapaukset. Ohjelmisto pystyy mitoittamaan ekvivalenttijänteen ja muut tarvittavat arvot annettujen tietojen, maastomittauspisteiden, sekä profiilin perusteella. Tällöin ohjelmisto tarjoaa käytettävät rakenteet, jotka kestävät kyseisen tilanteen rasitukset.

5 ILMAJOHTOJEN SUUNNITTELUOHJELMISTOT

Opinnäytetyössäni vertailin kahta ilmajohtojen suunnitteluun tarkoitettua ohjelmistoa. Ohjelmistot ovat ABB Profila GENELEC ja PLS-CADD. Profila on jakeluverkon ilmajohtojen suunnitteluun tarkoitettu suomenkielinen ohjelmisto. Profila on käytössä suomalaisilla urakoitsijoilla, suunnittelutoimistoilla ja verkkoyhtiöllä. ABB Oy antoi testilisenssin käyttöön tätä opinnäytetyötä varten. PLS-CADD on yhdysvaltalainen sähkönsiirtoverkkojen suunnitteluun tarkoitettu englanninkielinen ohjelmisto. Sähkönsiirtoverkko tarkoittaa suurjännitteistä sähköverkkoa.

5.1 ABB Profila GENELEC

Työssä käytetään ABB Oy, Sähkönjakeluautomaatio -yhtiön ylläpitämää ohjelmistoa nimeltä: ”ABB Profila GENELEC © ABB Oy – Ilmajohtojen suunnittelu”. Profila on entisen Versoft Oy:n kehittämä tuote ja Versoft Oy:n liiketoiminta on jatkunut vuodesta 1997 lähtien ABB Oy:n puitteissa (ABB Oy 2011). Profila on jakeluverkon ilmajohtojen suunnitteluun tarkoitettu ohjelmisto. Sillä voi suunnitella 0.4kV-20kV jännitteellä olevia ilmajohtoja.

5.1.1 Maastomittaustietojen siirto ja muokkaus GPS-paikantimelta.

Profila käyttää vanhaa DOS-sovellusta nimeltä GEOMUO GPS-mittaustietojen tuomiseen. Ohjelmistoon tutustuessa kävi ilmi, että GPS PathFinder Officella purettuja koordinaattitietoja ei voi tuoda Profilaan. Voimatel Oy:n suunnittelijat ovat vieneet mitatut koordinaatit PowerGrid-sähköverkkojen hallintajärjestelmään järjestyksessä: pisteen järjestysnumero, x-koordinaatti, y-koordinaatti, z-koordinaatti. Kappaleessa 4.1 kuvassa 6 näkyy tulostettuna kyseinen formaatti.

Profila tarvitsee näiden tietojen lisäksi mm. lajikoodin, joka kertoo onko kyseessä maastopiste, pylväspaikka, kulmapiste, tien ylitys tai muu vastaava. Esimerkki tietuerivistä, jonka Profila ymmärtää:

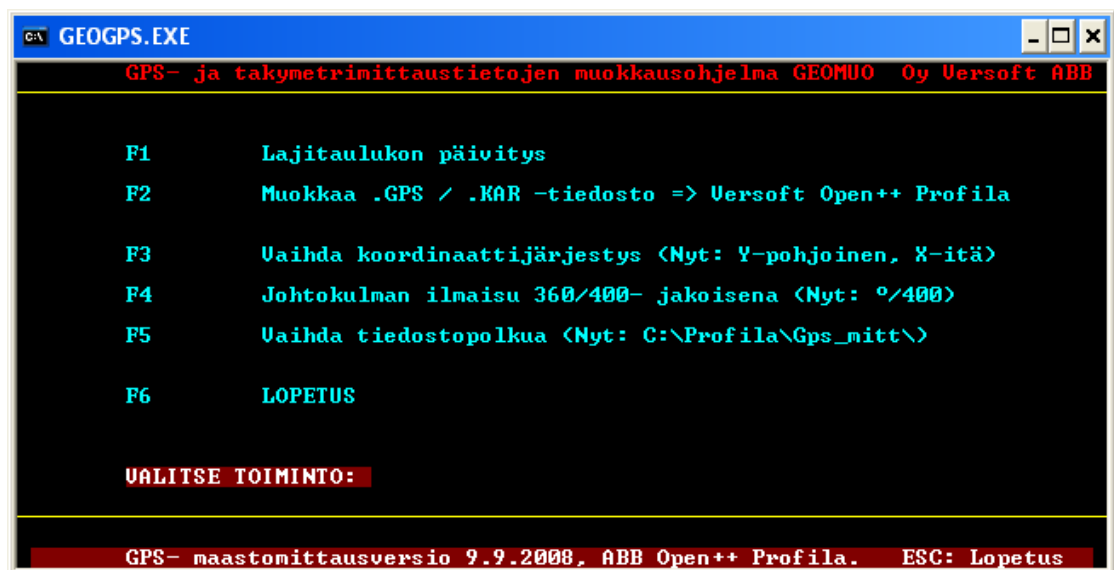
- 6935941.921,3541106.721,109.416,,283,,,,,,,,,kulmapylvä,15. (Pajala 2012.)

Tyhjät kohdat ovat tarkoitettuja maa-alueiden käyttökorvaussopimuksien tiedonkeruuta varten ja muita muiden Profila-asiakkaiden tarvitsemia tietoja, jotka voidaan jättää

tyhjiksi (Pajala 2012). Kyseisessä tietuerivissä on määritelty koordinaatit, lajikoodi, kommentti ja järjestysnumero.

Ensimmäiset suunnitelmat saatiin tehtyä muokkaamalla koordinaattitiedosto käsin yllä olevaan muotoon. Sakari Mäenpäältä (2012) Geotrim Oy:stä saatiin mittauskirjasto, joka lisättiin Trimblen GPS-mittauslaitteeseen. Laitteella mitatessa lisättiin haluttu lajikoodi, esim. kulmapylväällä 283. Tämän mittauskirjaston ja GPS PathFinder Officeen luotujen koordinaattien tulostusasetusten avulla saatiin koordinaatit Profilan ymmärtämään muotoon ilman tiedoston muokkaamista.

Maastomittaustietojen ollessa Profilan ymmärtämässä muodossa tuodaan ne Profilaan aiemmin mainitulla GEOMUO-mittaustietojen muokkausohjelmalla. Ohjelmassa voidaan tarkastaa, että maastopisteet näkyvät oikein ja määritellään johdon alkupiste. Tämän jälkeen Profila tallentaa johtoprofiilisuunnitelman halutulla nimellä .MAA-tiedostomuotoon.

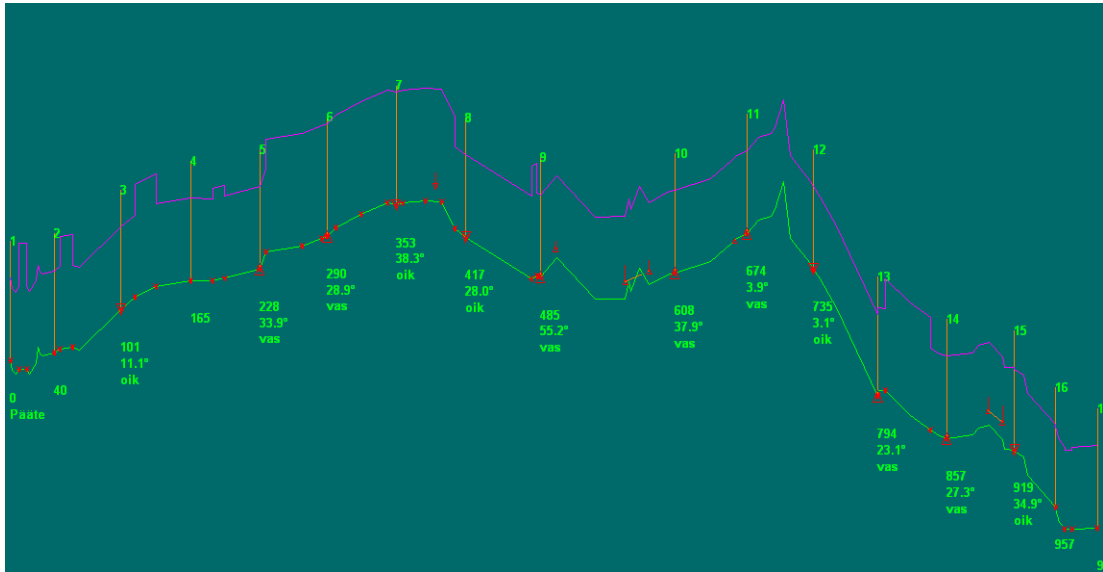


KUVA 8. GEOMUO mittaustietojen muokkausohjelma

5.1.2 Maastoprofiilin laadinta

Johtoprofiilisuunnitelmatiedoston laatimisen jälkeen voidaan avata mittaustiedosto. Ohjelma kysyy aluksi perustietoja, kuten alkupisteen etäisyyslukeman, ensimmäisen pylvään numeron, johtimen peruskorkeusvaatimuksen sekä haruksen etäisyyden pyl-

väästä. Myös koordinaatteja on mahdollista muokata tässä vaiheessa käsin. Määrittelyn jälkeen valitaan ”Johdon sivuprofiilin piirto” ja saadaan maastoprofiili näkyviin.

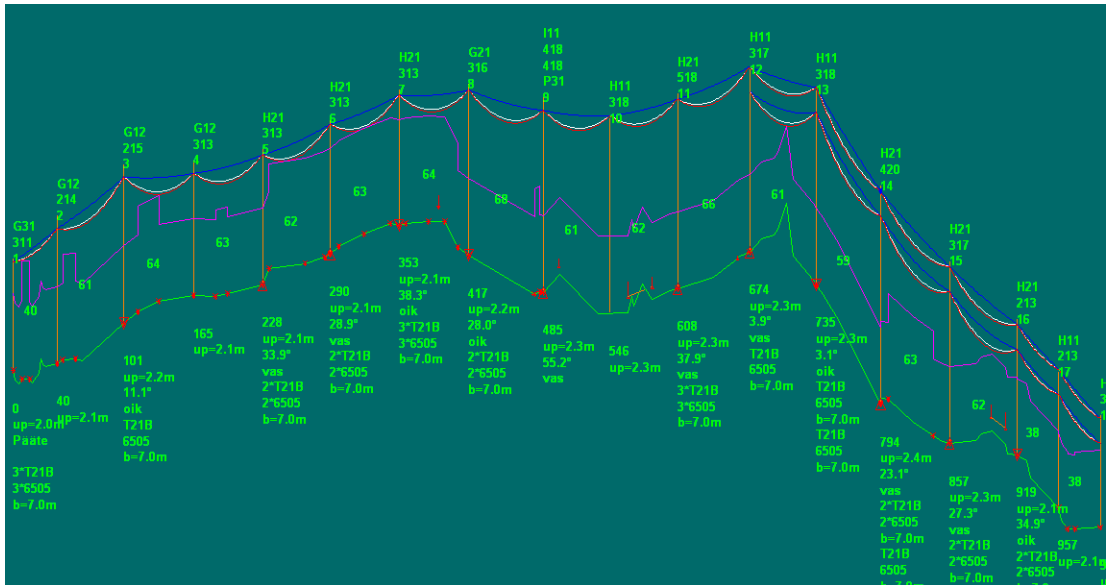


KUVA 9. Profilalla laadittu Kunnuslahdentien maastoprofiili

Maastoprofiilista nähdään mitatut pylväspaikat, kulmapylväiden kulmat ja kulman suunnat, etäisyys alkupisteestä ja juokseva pylväiden järjestysnumero. Maanpinnan yläpuolella menevä käyrä on korkeusvaatimuskäyrä, jonka ali johdin ei missään vaiheessa saa mennä.

5.1.3 Johtoprofiilin laadinta ja rakenteiden määrittely

Seuraava vaihe on lisätä pylväät ja johtimet. Valitaan ”Johdintyyppi ja säätilan valinta”. Aukeavasta valikosta valitaan halutulle pylväsvälille johdinlaji. Kunnuslahdentien keskijännite johdoksi laitettiin koko matkalle päällystetty avojohto PAS 95 ja loppuosuudelle yhteiskäyttöön AMKA 3x70+95 riippukierrekaapeli. Käyttäjä pääsee tässä valikossa valitsemaan haluamiaan asetusarvoja mm. tuulikuorman, jääkuorman ja heli riippuman suhteen. Verkkoyhtiöiden suunnitteluohjeista katsotaan tarkat ohjeet, oletuksena ovat Genelec-standardien mukaiset arvot. Suunnitelmaan lisättiin myös pylväs numero 10, jonka paikka oli jäänyt mittaamatta.



KUVA 10. Profilalla laadittu Konnuslahdentien johtoprofiili

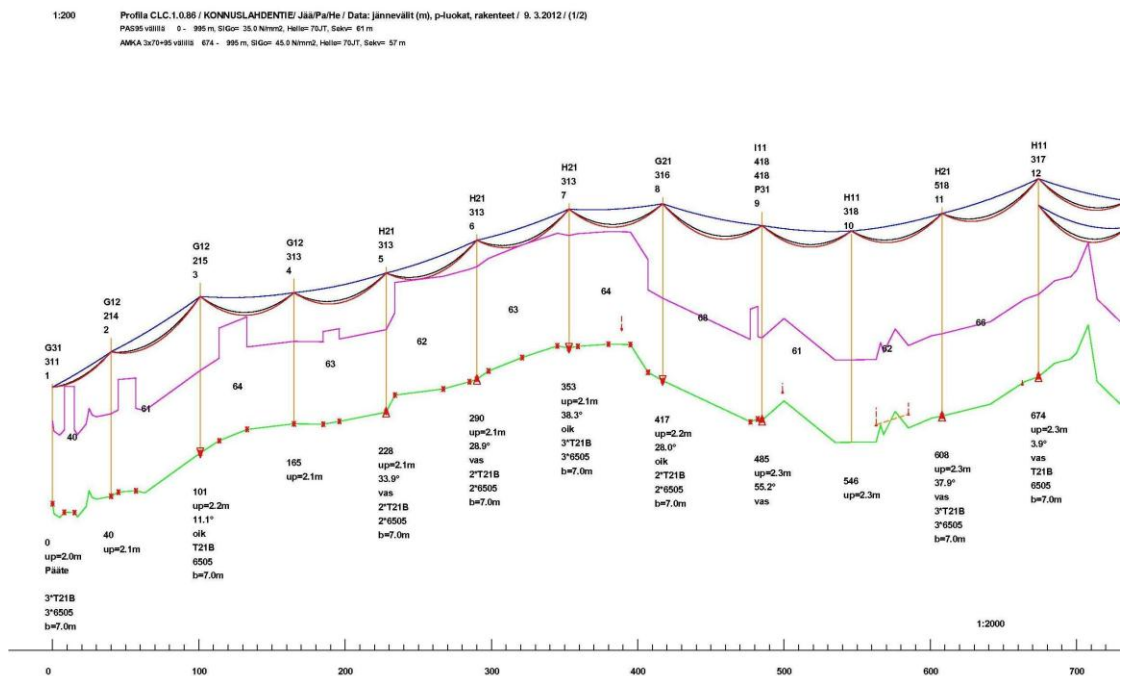
Profila tuottaa valmiin johtoprofiilin asetusten määritelmän mukaisesti. Tässä vaiheessa Profilaan ilmestyy yleensä huomautusikkuna, joka huomauttaa muutamien rakenteiden riittämättömyydestä. Huomautusikkuna ilmestyy laskentaparametrien vuoksi, koska yleensä laskentaparametreihin kannattaa valita pylväspituuksien optimointi, jolloin Profila automaattisesti pidentää notkopylväät ja lyhentää kumparepylväät mahdollisimman lyhyiksi. Yleisimpiä huomautuksen syitä ovat liian suuret orsiin kohdistuvat voimat tai harusrakenteiden riittämättömyys. Rakenteita muuttamalla vahvemmiksi ja pylväspituuksia muuttamalla saadaan huomautusikkuna poistettua ja varmistetaan näin rakenteiden kestävyydestä.

Profilan asennuspakettiin lisättiin vanhentuneet HeadPower-vakiorakennetiedot. Tämän vuoksi ohjelmiston tarjoamat rakennetiedot eivät ole oikein. Vanhentuneita rakennetietoja voi käyttää suunnittelussa, mutta rakenteiden arvot on tarkastettava valmistajan taulukkoarvoista. Esimerkiksi orsien käytönrajat voi tarkistaa Enston taulukoista, jotka löytyvät Enston verkkosivuilta (Ensto 2010).

Opinnäytetyön teon aikana varmistuttiin orsirakenteiden ja tarvittavien johtimien eli PAS 95 ja AMKA 3x70+95 rakennetiedoista. Tämä mahdollisti mekaanisen mitoituksen tekemisen suoraan suunnitteluohjelmistossa. Mekaanisen mitoituksen tulokset varmistettiin laskemalla muutama pylväsväli käsin käyttäen Adato-rakennemitoitustaulukoita ja mitoitusohjeita.

Suunnitteluvaiheessa täytyy Profilassa muokata rakenteita huomautusten poistamiseksi ja huomioida muut johtoreittiin vaikuttavat asiat. Muutoksia voi olla mm. kulmapylväs, jossa harus tulisi tielle. Tällöin muutetaan harusrakenne tukipylväsrakenteeksi.

Tähän asti käytetyt profiilikuvat ovat olleet kuvankaappauksia suunnitteluvaiheesta, jossa rakenteita voidaan vielä muokata ja tarkastella. Profiilin suunnittelun ollessa valmis, voidaan profiili tulostaa. Tämä tuloste voidaan liittää suunnittelupakettiin, joka toimitetaan eteenpäin työn tilaajalle. Tulosteessa näkyy myös mitattuja arvoja, kuten jännevälit ja koko johtoreitin ekvivalenttijänteen.



KUVA 11. Profilalla laadittu Konnuslahdentien johtoprofiilin tuloste

5.2 PLS-CADD

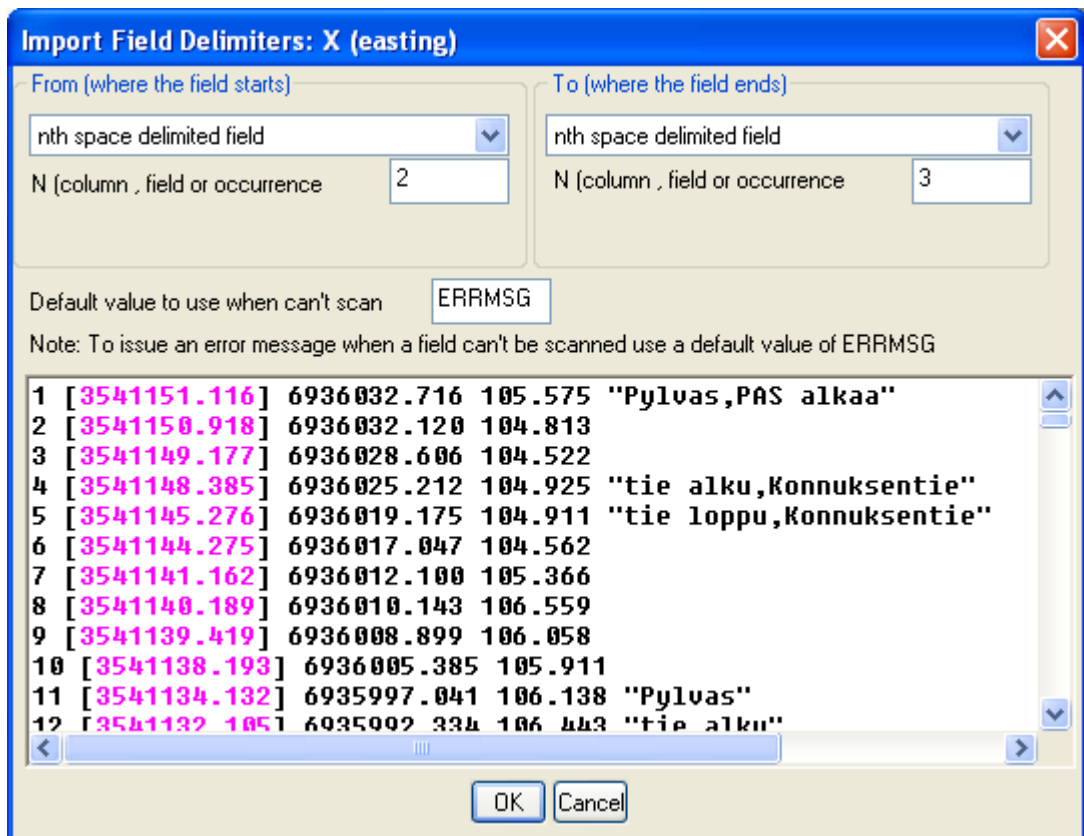
PLS-CADD, eli Power Line Systems Computer Aided Design and Drafting, on yhdysvaltalaisen Power Line Systems, Inc yhtiön valmistama, uusimmille Microsoft Windows käyttöjärjestelmille tehty siirtoverkkojen suunnitteluohjelmisto. (Power Line Systems, Inc 2011, 24). Ohjelmiston soveltuvuutta jakeluverkon ilmajohtojen suunnitteluun ei ole aikaisemmin Voimatel Oy:llä selvitetty.

5.2.1 Maastomittaustietojen siirto ja muokkaus GPS-paikantimelta

PLS-CADD suunnittelu aloitetaan luomalla uusi PLS-CADD tiedosto .xyz-tiedostomuodossa. Määritellään käytettävä koordinaattijärjestelmä, tässä tapauksessa ”KKJ / Finland Uniform Coordinate System”. Tämän jälkeen voidaan aloittaa maastopisteiden tuonti ohjelmistoon, jotka on aiemmin purettu GPS PathFinder Officella esim. tekstitiedostoon. Tuotavat arvot ja niiden järjestyksen voi määritellä ”User Terrain Import” valikossa. Arvojen määrittelyn jälkeen voidaan määrittelyasetukset tallentaa, jolloin jatkossa ei tuotavia arvoja tarvitse määritellä. Valmiit määrittelyasetukset ovat ladattavissa. Maastopisteiden tuonnin jälkeen maastopisteet ovat nähtävissä Plan View -ikkunassa.

Kuvassa 12 määritellään x-koordinaatin paikka luettavasta mittaustiedostosta. Kyseinen mittausta on suoritettu PowerGrid-verkkotietojärjestelmän ymmärtämässä muodossa, eli:

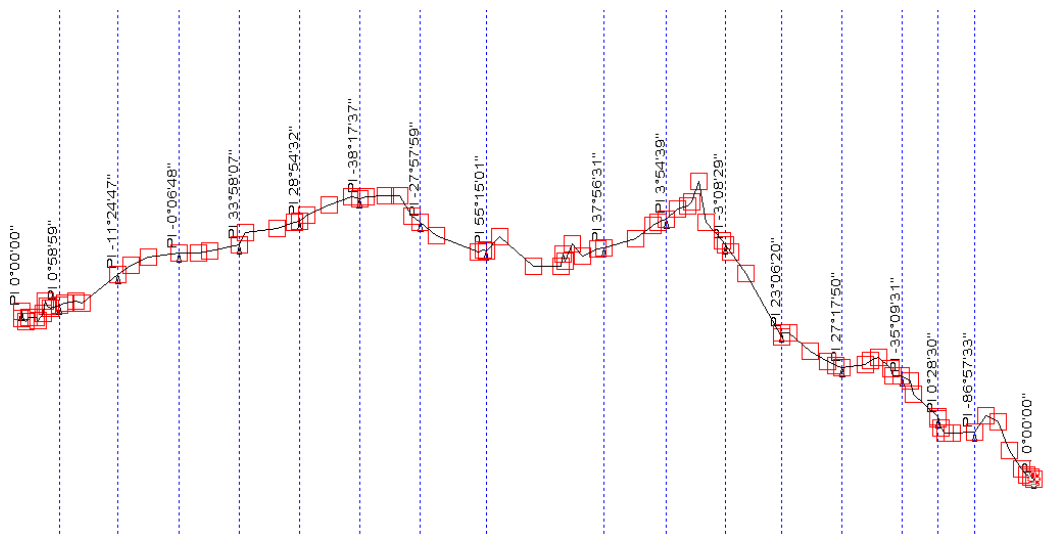
- pisteen järjestysnumero, x-koordinaatti, y-koordinaatti, z-koordinaatti, kommentti



KUVA 12. PLS-CADD X-koordinaatin määrittely

5.2.2 Maastoprofiilin laadinta

Maastoprofiilin laatimiseksi pitää ensin ohjelmistolle osoittaa johdon kulkureitti. Tämä tapahtuu ”Add P.I.” -toiminnon avulla. Valitaan halutut pisteet, kuten mitatut pylväspaikat. Tämän jälkeen Profile View -välilehdellä voi tarkastella piirrettyä profiilia. Katkoviivajanaat ovat mitattuja pylväspisteitä.



KUVA 13. PLS-CADD ohjelmistolla laadittu Konnuslahdentien maastoprofiili

5.2.3 Rakenteiden määrittely

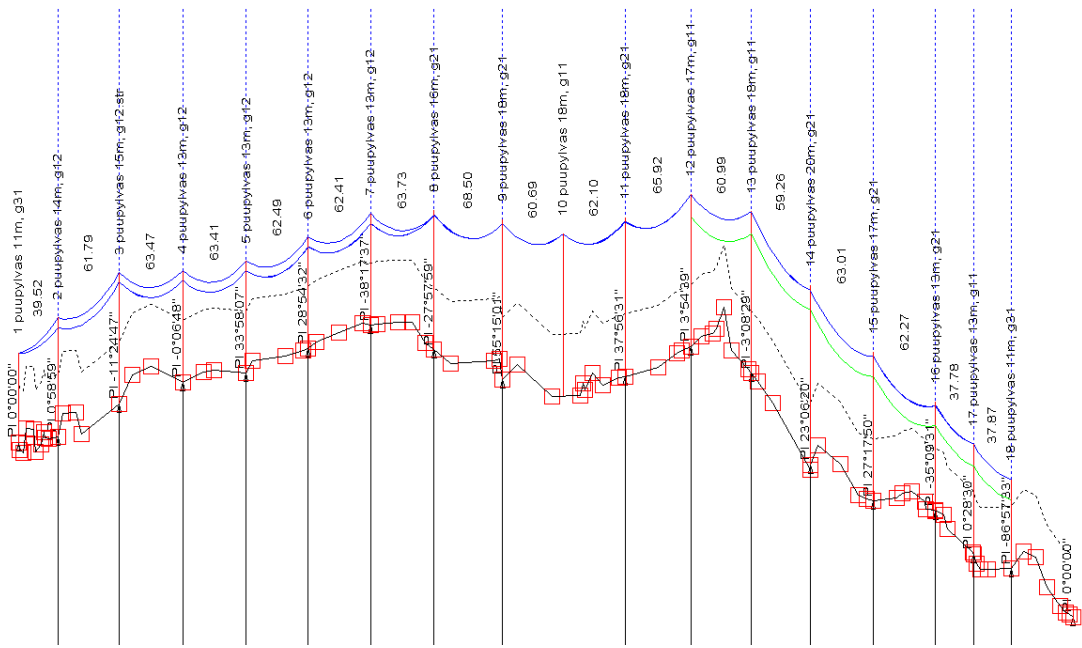
Ohjelmistoon tutustuessa ilmeni, että ohjelmistosta puuttuu Suomen jakeluverkon suunnittelussa käytettäviä rakenteita. Tämä johtunee siitä, että ohjelmisto on tarkoitettu siirtoverkkojen suunnitteluun. Valmiina löytyi vain maailmalla yleisesti käytössä olevia johdintietoja ja joitain mallitiedostoja siirtoverkkojen rakenteista. Voimatel Oy:n suunnitelmissa käytettävistä johtimista löytyi vain päällystämättömien avojohtojen johdintiedot. Päällystetyt avojohtimet ja pienjännitekaapelit täytyi luoda itse uudeksi johdintiedostoksi.

Konnuslahdentien suunnitelmaa varten ohjelmistoon luotiin tarvittavat johtimet päällystetty avojohto PAS 95 ja AMKA 3x70+95 riippukierrekaapeli. Jakeluverkon suunnittelussa tarvittavien pylväs- ja orsitietojen vuoksi vaaditulle orsirakenteelle täytyi luoda oma tiedostonsa, joka sisältää myös pylväspituuden. Esim. puupylväs 10m, g12. Kyseinen tiedosto sisältää 10m korkean puupylvään, jossa on kolmio-orsi. G12 on kolmio-orren HeadPower-tunnus. Orsirakennetiedostojen ja johdintiedostojen luomisen avulla saatiin johtoprofiili suunniteltua.

5.2.4 Johtoprofiilin piirto

Johtoprofiilin piirtoa varten oli ensin selvitettävä käytettävät pylväspituudet ja muut rakenteet. Profilalla saatiin mitoitettua rakenteet, jotka on varmistettu oikeiksi. Varmistus tehtiin käyttämällä Adato-rakennemitoitustaulukoita. Aikaa ei käytetty jokaisen pylväsvälin käsin mitoittamiseen, vaan hyödynnettiin Profilan tarjoamia arvoja, kun valittiin pylväspituudet.

Rakennetietojen ollessa tiedossa voidaan lisätä jokainen pylväs käsin. Snap-asetus helpottaa pylväiden sijoitusta halutulle kohdalleen. Tämän jälkeen päästiin lisäämään aiemmin luodut johtimet PAS 95 ja AMKA 3x70+95 halutuille jänneväleille.



KUVA 14. PLS-CADD ohjelmistolla laadittu Kunnuslahdentien johtoprofiili

Kuvassa 14 sininen johdin on PAS 95 ja suunnitelman loppupäässä yhteiskäytössä vihreä johdin on AMKA 3x70+95. Pylväs numero 10 lisättiin käsin. Mallin vuoksi on johdon alkupäässä käytetty kolmio-orsia ja loppupäässä taso-orsia. Alhaalla menevä katkoviivajana on korkeusvaatimuskäyrä ja maastossa olevat punaiset neliöt kuvaavat maastomittauspisteitä.

Johdon riippumat on tarkistettu ohjelmiston Measure Distance -mittatyökalua ja Senerin verkostosuositus RJ_08-94 köysivoima- ja riippumataulukkoa hyväksikäyttäen. Tarkistuksessa kävi ilmi, että riippumat asettuvat suurin piirtein taulukkoarvoa vastaavaksi, joten johtoprofiilia voidaan pitää luotettavana. Senerin taulukot perustuvat osin standardeihin ja osin valmistajilta saatuihin alkuarvoihin. (Sener 2008.)

PLS-CADD ohjelmistosta löytyy hienouksia, kuten 3D View. Johtoa voidaan tarkastella kolmiulotteisesti. Kolmiulotteinen profiili on tarkasteltavissa Google Earth -sovelluksen avulla niin, että johto näytetään kartassa oikealla paikallaan.

5.2.5 Mitoitusmahdollisuudet

Power Line Systemsin verkkosivuilla mainitaan PLS-CADD:n käyttävän ekvivalenttijännteen likiarvoa kiristysvälien mitoittamiseen. PLS-CADD ohjelmistoa voi käyttää SAPS ohjelmiston kanssa. SAPS, eli Structural Analysis of Power and communication Systems, on Power Line Systemsin luoma rakenteiden mitoitukseen tarkoitettu ohjelmisto jonka voi sisällyttää PLS-CADD asennuspakettiin tai hankkia erikseen. (Power Line Systems, Inc 2012a.)

SAPS on tarkoitettu niihin tilanteisiin, joissa ekvivalenttijännemenetelmä ei ole käytökelpoinen. Kyseisiä tilanteita ovat mm. rikkinäisen johtimen tai joustavan rakenteen mallintaminen (Power Line Systems, Inc 2012b). PLS-CADD mitoitusmahdollisuuksien tutkimiseen käytettiin aikaa opinnäytetyöprosessissa. Lopulta tehtiin päätös, että se on liian vaikeaa käytössä olevan työajan puitteissa.

6 OHJELMISTOJEN VERTAILU

Ohjelmistojen vertailu toteutettiin puolueettomasti ja kiinnitettiin huomiota tärkeimpiin asioihin. Vertailun perusteella saatiin opinnäytetyön tulokset. Tulokset luvussa on oma arvioni ohjelmistojen soveltuvuudesta Voimatel Oy:n käyttöön.

6.1 Käyttöliittymä

Profilan käyttöä helpottaa ohjelman suomenkielisyys ja suomenkieliset käyttöohjeet. Yksinkertainen käyttöliittymä ei sisällä turhia hienouksia ja useat toiminnot on varustettu huomautuksilla, jos käyttäjä tekee selkeän virheen. Suunnittelijat voidaan nopeasti perehdyttää ohjelmiston käyttöön.

PLS-CADD on monipuolinen ja näyttävästi toteutettu ohjelmisto. Ohjelmistosta löytyy hienouksia mm. johtoprofiilin 3D-näkymä, jolla johtoprofiilia voi tutkailla monesta eri suunnasta. Ohjelman käyttöliittymä vaatii opettelua ja mielellään myös perehdytystä. Englanninkieliset termit hankaloittavat ohjelman käyttöä.

6.2 Maastomittaustietojen tuominen ohjelmistoon

Profilaa käytettäessä on GPS-mittauslaitteeseen tuotava Profilan oma mittauskirjasto ja syötettävä maastossa mitattaessa tarvittava lajikoodi. Mittauskirjastoa ja GPS Pathfinder Officeen luotua tulostusmäärittelyä hyväksikäyttäen saadaan mittaustiedot tuotua Profilan ymmärtämään muotoon ilman tiedostoon kohdistuvaa käsin muokkausta.

Profilassa on vanha DOS-pohjainen sovellus, jolla luodaan maastopisteiden perusteella johtoprofiilisuunnitelmatiedosto. Kyseinen sovellus on aika vanhanaikainen. Esi-asetusten määrittelyn ja käyttöönoton jälkeen maastomittaustiedot saadaan nopeasti tuotua ohjelmistoon.

PLS-CADD ohjelmistosta löytyy nykyaikaisempi ja helppokäyttöinen toiminto maastomittaustietojen tuomista varten. Maastopisteiden tuontivaiheessa voidaan määrittellä mitkä pisteet tuodaan ja jokaisen koordinaatin paikka tietuerivillä. Ohjelmistolla voidaan avata aiemmin mitattuja mittaustiedostoja välittämättä siitä, missä järjestyksessä arvot ovat tiedostossa.

6.3 Rakenteet ja mekaaninen mitoitus

Profilasta löytyy lähes kaikki jakeluverkon suunnittelussa tarvittavat HeadPower-vakiorakenteet. Puuttuvat rakenteet on selitettävissä sillä, että vakiorakennetietoja ei ole päivitetty Profilan ymmärtämään muotoon. Puuttuvat rakenteet ovat kuitenkin lisättävissä ja vanhojen rakenteiden käytönrajat muutettavissa. Päivitettyjen rakenteiden avulla saadaan suoritettua johtoreitin mekaaninen mitoitus. Mekaanisen mitoituksen mahdollisuus on suuri etu.

PLS-CADD:sta löytyy Voimatel Oy:n suunnitelmissa käytettävistä rakenteista vain keskijänniteverkon päällystämättömät avojohdot. Tässä työssä mekaaninen mitoitus oli helpompi suorittaa erikseen. Mitoitusmahdollisuuksien täydellinen selvitys todettiin käytössä olevien työohjeiden, tietojen, taitojen ja tukihenkilöiden puitteissa olevan liian työläs.

6.4 Johtoprofiilin suunnittelu

Kummaltakin vertailtavalta ohjelmalta onnistuu johtoprofiilin suunnittelu kiitettävästi. Profilan eduksi mainitaan, että mitatut pylväspaikat on tunnistettavissa suoraan, jolloin pylväitä ei tarvitse itse lisätä toisin kuin PLS-CADD:ssa. Kummassakin ohjelmassa pylväspaikkojen muokkaus ja uusien pylväiden lisäys on helppoa. Profila tekee johtoprofiilin ja mekaanisen mitoituksen samassa työvaiheessa. PLS-CADD:n johtoprofiilin piirtoa varten täytyi tässä opinnäytetyössä ensin selvittää käytettävät pylväspituudet ja orsirakenteet.

6.5 Ohjelmiston jatkokehitysnäkymät

Profila on suomalaisten tekemä ohjelmisto ja siihen tehtiin tämän opinnäytetyön teon aikana kaksi ohjelmistopäivitystä. Profilalta toivottavia uudistuksia voisivat olla vanhan maastomittaustietojen tuomiseen käytettävän DOS-sovelluksen korvaaminen uudemmalla toiminnolla. HeadPower-vakiorakennetietojen toivotaan olevan ajan tasalla ilman, että käyttäjä joutuu päivittämään rakenteita käsin. Suunnittelijan on kuitenkin aina huolehdittava siitä, että hänellä on ajan tasalla olevat suunnitteluohjeet ja rakennetiedot. Tästä johtuen rakenteiden päivitys ei ole vaikeaa.

PLS-CADD julkaisi yhden ohjelmistopäivityksen opinnäytetyöprosessin aikana. Ohjelmistoa pidetään ajan tasalla ja ohjelmistoon on tullut vuosittain lisäominaisuuksia, kuten aiemmin mainittu Google Earth -toiminto. Näillä lisäominaisuuksilla ei kuitenkaan ole tämän opinnäytetyön tavoitteiden kannalta merkitystä, sillä tärkein tavoite on jakeluverkon ilmajohtojen suunnittelun helpottaminen. (Power Line Systems 2012c.)

6.6 Tuotetuki

Ennen opinnäytetyöni aloitusta lähestyin kumpaakin yhtiötä, ABB Oy:tä ja Power Line Systemsiä. Tarkoitukseni oli tiedustella ilmaisversiota ohjelmistoista opinnäytetyöni tekoa varten. Power Line Systems ei vastannut sähköposteihin jotka lähetin asiakaspalveluun ja myyntipuolen sähköpostiosoitteisiin. PLS-CADD ohjelmiston käytössä ei ollut tuotetukea opinnäytetyöprosessin aikana.

ABB Oy:lle lähettämäni tiedusteluun vastattiin melko nopeasti. Profilan tuotetuesta vastaa yhtiön työntekijä Heikki Pajala. Tuotetuki on toiminut opinnäytetyön teon aikana kiitettävästi. Pajala on toimittanut Profilaan tehtyjä päivityksiä ja vastannut kysymyksiin, jotka ovat auttaneet opinnäytetyöni teossa.

7 TULOKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, vastaako ABB Profila GENELEC vai PLS-CADD Voimatel Oy:n suunnittelijoiden tarpeita paremmin jakeluverkon ilmajohtojen suunnittelussa. Tärkeimpänä vertailupohjana oli ohjelman käytön helppous ja ohjelman käytöstä syntyvä ajansäästö suunnittelijan työssä. Vertailua on ajateltava ohjelmiston loppukäyttäjien kannalta. Perusteluina lopputulokseen on, että PLS-CADD on liian vaikea ohjelma käyttöönotettavaksi jakeluverkon suunnittelijoille. Tuloksen luonteen vuoksi käyn PLS-CADD ohjelmiston tulokset läpi ensin. Kerron lopuksi Profilan tämänhetkisen soveltuvuuden Voimatel Oy:n tarpeisiin.

7.1 PLS-CADD -ohjelmiston tulokset

PLS-CADD on englanninkielinen ja sisältää paljon englanninkielisiä ammattisanoja, jotka voivat joillekin käyttäjille tuottaa vaikeuksia. PLS-CADD on siirtoverkkojen suunnitteluun tarkoitettu ohjelmisto, jonka vuoksi ohjelmistosta löytyy lukuisia ominaisuuksia, joita ei jakeluverkon suunnittelussa tarvita. Tämä monipuolisuus on mahdollinen vaikeuksien tuottaja. Power Line Systems antoi huonon kuvan heidän asiakaspalvelustaan tämän opinnäytetyöprosessin aikana, sillä he eivät vastanneet lähettämiini sähköposteihini lainkaan.

Ohjelmiston hyvät puolet ovat maastomittaustietojen lisäyksen helppous sekä hieno käyttöliittymä. PLS-CADD ei kuitenkaan ole valmis jakeluverkon suunnitteluohjelmisto, jonka voisi ottaa suoraan käyttöön. Ohjelmistosta puuttuu Suomen jakeluverkossa käytettäviä rakenteita sekä johtimia. On työlästä luoda kaikki rakenteet käsin määrittelyllä, joten tässä opinnäytetyössä luotiin vain Konnuslahdentien esimerkkisuunnitelmassa tarvittavat rakenteet. Mitoitusmahdollisuuksien selvittäminen vaatisi tukihenkilön, joka on käyttänyt PLS-CADD ohjelmistoa paljon. Käytössä olevan ajan, työhöjeiden, käyttöohjeiden, tietojen, taitojen ja tukihenkilöiden puitteissa ei mitoitus- ta pystytty tämän opinnäytetyöprosessin aikana selvittämään täydellisesti.

Mikäli PLS-CADD suunnitteluohjelmiston mitoitusmahdollisuudet halutaan tulevaisuudessa selvittää, vaatisi se lisätyötä arviolta opinnäytetyön työmäärän. PLS-CADD ohjelmistoa tulee hyödyntää sen alkuperäisessä käyttötarkoituksessaan, eli sähkönsiirtoverkkojen suunnittelussa. PLS-CADD ohjelmistoa voidaan hyödyntää johtoprofiile-

ja laadittaessa, ja uskon sen olevan aiemmin käytössä olevia piirto-ohjelmia parempi tapa johtoprofiilin luomiseen. Vertailun tuloksena ei ollut tarkoitus tyrmätä PLS-CADD ohjelmistoa. Ohjelmistoa pystyy hyödyntämään myös jakeluverkon suunnittelussa, mutta se vaatii lisäselvitystyötä. Profila tarjosi helpommin käyttöön otettavan vaihtoehdon, joten tulokseen voitiin olla tyytyväisiä.

7.2 ABB Profila GENELEC -ohjelmiston tulokset

Profilan suurimpina etuina voidaan pitää suomenkielisyyttä, suomenkielistä tuotetukea ja ohjelmiston käyttöönottovalmiutta. Profilan maastomittaustietojen purkuohjelma on vanha DOS-sovellus, johon on Heikki Pajalan (2012) mukaan tulossa aikaisintaan vuoden päästä uudistus. Ohjelmistolla pystytään tarvittavien määritelmien luomisen jälkeen tuomaan maastomittaustiedot melko nopeasti.

Ohjelmistosta löytyy Voimatel Oy:n suunnitelmissa käytettäviä HeadPower-vakiorakennetietoja. Vakiorakennetiedot eivät kuitenkaan ole ajan tasalla, joten käyttäjän on itse päivitettävä käytettävät rakenteet. Rakenteiden päivitys sujuu Microsoft Access -tietokantajärjestelmiin kätevästi Profila-ohjelmiston kautta.

Profila on käyttövalmis ohjelmisto, kun:

- GPS-maastomittauslaitteelle on viety Profilan tarvitsema mittauskirjasto, johon syötetään mittaustilanteessa Profilan tarvitsema lajikoodi, joka kertoo mitä mittauspiste sisältää
- GPS PathFinder Officeen on luotu tulostusasetukset, joilla koordinaatit ja muut tarvittavat tiedot tulostuvat Profilan ymmärtämässä järjestyksessä
- käyttäjä päivittää käytettävien rakenteiden käytönrajat.

Käytössä oleva DOS-sovellus on toimiva ratkaisu maastomittaustietojen tuomiseen, mutta siihen toivotaan vastaavaa maastopisteiden tuonti ominaisuutta kuin PLS-CADD ohjelmistosta löytyy. Profilan ainoa merkittävä puute on HeadPower-vakiorakenteiden päivitys. Nämä rakenteet suunnittelijan täytyy itse varmistaa ja tämän jälkeen Profila-ohjelmistolla voidaan tuottaa luotettavasti koko halutun johtoreitin mekaaninen mitoitus ja johtoprofiilin piirto.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön teko oli mielenkiintoinen ja opettava prosessi, joka ei olisi onnistunut ilman tukihenkilöiltäni saatuja neuvoja. Alku meni jakeluverkon suunnitteluun tutustuessa ja ohjelmien perustoimintojen opettelussa. Ohjelmistojen tutkiminen ja testaaminen oli hidasta työtä. Selvitystyö kuitenkin eteni tasaisesti koko opinnäytetyöprosessin ajan.

Tämän opinnäytetyön loppupäätelmänä on, että Profila on PLS-CADD ohjelmistoa käyttökelpoisempi sijoitus, kun halutaan tuoda helpotusta jakeluverkon ilmajohtojen suunnitteluun Voimatel Oy:lle. Tärkeimmät asiat, jotka tukevat Profilaa:

- suomenkielisyys
- yksinkertaisuus, suunnittelijat on helpompi perehdyttää Profilan käyttöön
- suomenkielinen tuotetuki
- tarvittavia rakenteita löytyy valmiina
- rakenteiden päivittäminen ja lisääminen helppoa
- mekaaninen mitoitus onnistui tämän opinnäytetyön aikana, ohjelman voi ottaa suoraan käyttöön.

Tulokseen voi olla tyytyväinen, kun otetaan huomioon opinnäytetyön ensisijainen tavoite, joka on jakeluverkon suunnittelijoiden työn helpottaminen. Ohjelmistoja vertailtiin puolueettomasti ohjelmiston loppukäyttäjiä ajatellen. GPS-mittauslaitteelle annettujen lähtöarvojen ja GPS PathFinder Officen määrityksien ollessa kunnossa, saadaan samassa ajassa Profilalla tehtyä johtoprofiili, jossa on rakenteet mitoitettuna, kun PLS-CADD:lla saadaan pelkkä maastoprofiili.

PLS-CADD:n hyvät puolet ovat maastomittaustietojen tuonnin helppous ja hienouksia sisältävä käyttöliittymä, jonka käyttö toisaalta vaatii opettelua. PLS-CADD ohjelmiston soveltuvuuden tutkimista jakeluverkon ilmajohtojen suunnitteluun voisi mielestäni jatkaa, ja se vaatisi työtä yhden opinnäytetyön työmäärän. Vaikka tämän opinnäytetyön aikana PLS-CADD:n mitoitusmahdollisuudet olisi selvitetty täydellisesti, uskon että tulos olisi ollut sama. Suomenkielinen tuotetuki on mielestäni erittäin tärkeä ohjelmiston valintakriteeri.

LÄHTEET

ABB Oy 2011. ABB Open++- tuotteet. WWW-dokumentti.

<http://www.sci.fi/~versoft/index.html>. Päivitetty 12.9.2011. Luettu 29.2.2012.

Adato Energia Oy 2011. OK-CLC Pylväsmiotoitustaulukoiden käyttöohje. Käyttöohje. Elokuu 2011. Luettu 21.3.2012.

Ensto 2010. Orsien käytönrajat paljaille ja päällystetyille avojohtimille. PDFdokumentti. http://www.ensto.com/download/19507_kaytonrajat.pdf. Luettu 15.3.2012.

Finnmast Oy 2011. Kj-johdot, johdinkuormien laskenta. Muistio. Päivitetty 08.09.2011. Luettu 21.3.2012.

HeadPower Oy 2004. Verkoston vakiorakenteet. Laadittu 3.2.2004. HeadPower Oy.

HeadPower Oy 2012. Tuote-esittelyt: Tuotteet (Sähkö). WWW-dokumentti.

https://www.headpower.fi/index.asp?D=1515&PARENT=16949&SUBPARENT=16950&CATEGORY_UID=16950&L=2. Luettu 22.2.2012.

Mäenpää Sakari 2012. Sähköpostikeskustelu 7.3.2012. Tiedottaja. Geotrim Oy.

Pajala Heikki 2012. Sähköpostikeskustelu 26.1.-6.2.2012. Tiedottaja. ABB Oy.

Power Line Systems, Inc. 2011. PLS-CADD Version 11 User's Manual. PDFdokumentti. 24.

Power Line Systems, Inc 2012a. Products. WWW-dokumentti.

<http://www.powline.com/products.html>. Luettu 14.3.2012

Power Line Systems, Inc 2012b. PLS-CADD Page, English Version. WWW-dokumentti. http://www.powline.com/products/pls_cadd.html#versions. Luettu 28.03.2012.

Power Line Systems, Inc 2012c. Recent Program Improvements. WWW-dokumentti.

<http://www.powline.com/newstuff/recent.html>. Luettu 22.3.2012

Rinne, Ilari 2010. Maastosuunnittelun sähköistys. Savonia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Savon Voima Verkko Oy 2011a. Sisäinen verkko. Jakeluverkoston maasto- ja rakennesuunnitteluohjeet. Päivitetty 16.3.2011. Luettu 22.2.2012.

Savon Voima Verkko Oy 2011b. Sisäinen Verkko. Maastosuunnittelu. Päivitetty 16.3.2011. Luettu 27.2.2011

Savon Voima Verkko Oy 2004. Sisäinen verkko. Maastoprofiilin laadinta. Päivitetty 13.7.2004. Luettu 22.2.2012.

Sener 2008. RJ_08-94 Köysivoima- ja riippumataulukot. Verkostosuositus. Muokattu 18.8.2008. Luettu 21.3.2012.

SFS-EN 50341-1:2009. Sähköturvallisuus. Ilmajohdot. Vaihtosähköilmajohdot yli 45kV jännitteillä. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Yhteiset määrittelyt. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 50341-3-7:2009. Sähköturvallisuus. Ilmajohdot. Vaihtosähköilmajohdot yli 45kV jännitteillä. Osa 3-7: Suomen kansalliset velvoittavat määrittelyt. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 50423-1:2009. Sähköturvallisuus. Ilmajohdot. Vaihtosähköilmajohdot yli 45kV ja korkeintaan 45kV jännitteillä. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Yhteiset määrittelyt. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.

SFS 6003:2009. Sähköturvallisuus. Ilmajohdot. Pienjänniteilmajohdot. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.

SFS-Käsikirja 601 2009. Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot. 1. painos. Joulukuun 2009. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS Ry.

Sutinen, Sampsa 2012. Opinnäytetyön tekijän oma aineisto.

Voimatel Oy 2011. Voimatel yleisesite. WWW-dokumentti.
http://www.voimatel.fi/fi/document.cfm?doc=show&doc_id=46. Luettu 2.4.2012.

Voimatel Oy 2012a. Omistajat. WWW-dokumentti.
<http://www.voimatel.fi/fi/?ID=1475>. Luettu 2.4.2012.

Voimatel Oy 2012b. Avaintietoja. WWW-dokumentti.
<http://www.voimatel.fi/fi/?ID=1485>. Luettu 2.4.2012.

LIITE 1.

Yksisivuinen liite

LIITE 2(1).

Monisivuinen liite

LIITE 2(2).

Monisivuinen liite

LIITE 2(3).

Monisivuinen liite