



# jamk

## Suunnitteluohjelma ilmajohtoverkoille

Juha Haatainen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2025

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma (AMK)

**Haatainen, Juha**

## **Suunnitteluohjelma ilmajohtoverkoille**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Huhtikuu 2025, 50 sivua

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Keski- ja pienjänniteilmajohtoverkkojen suunnittelussa käytetyn Profila Cenelec -ohjelmiston mahdollinen käytöstä poistuminen synnytti tarpeen kartoittaa vaihtoehtoisia suunnitteluohjelmistoja. Tavoitteena oli selvittää, mitä suunnitteluohjelmistoja on markkinoilla saatavilla, miten ne soveltuvat Suomessa erityisesti puupylväillä rakennettavien ilmajohtojen suunnitteluun ja miten ne huomioivat standardit SFS-EN 50341-1 ja SFS-EN 50341-2-7.

Tutkimuksessa hyödynnettiin kvalitatiivista lähestymistapaa, johon sisältyivät verkkopohjainen aineistonkeruu, asiantuntijahaastattelut, sähköpostikyselyt sekä ohjelmistojen koekäyttö. Kartoituksen pohjalta analysoitiin kolme ohjelmistoa Power Path, Quick Pole ja O-Calc Pro ja niiden ominaisuuksia sekä soveltuvuutta arvioitiin suomalaisten vaatimusten näkökulmasta SWOT-analysien avulla.

Tuloksena havaittiin, että mikään ohjelmisto ei vastannut suomalaisia tarpeita sellaisenaan, vaan kunkin soveltaminen edellytti kustomointia. Ohjelmistot erosivat etenkin maastodatan käsittelyssä ja puupylväiden mitoituksessa: GIS-pohjaista maastopinnan mittadatan lukua tuki vain Power Path, kun taas Quick Polesta ja O-Calc Prosta löytyi laajemmat työkalut mekaaniseen mitoitukseen. Käyttöönoton tukipalvelujen laatu todettiin ratkaisevan tärkeäksi.

Johtopäätöksenä esitettiin, että ohjelmistojen potentiaali avautuu parhaiten tiiviissä yhteistyössä toimittajien kanssa. Valinnan tueksi suositeltiin jatkotestausta ja keskeisten vaatimusten tarkempaa määrittelyä. Lisäksi ehdotettiin pohdintaa IKEGPS-mittauksen ja BIM-mallinnuksen hyödyntämiseen suomalaisessa suunnittelu ympäristössä.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Ilmajohtoverkot, suunnitteluohjelmistot, mekaaninen mitoitus, sähköverkon suunnittelu, keskijänniteverkot

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

-

**Haatainen, Juha**

### **Design program for overhead power lines**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, April 2025, 50 pages.

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The possible discontinuation of the Profila Cenelec software used in the design of medium and low voltage overhead power lines created the need to survey alternative design software. The aim was to find out what design software's are generally available on the market and how they are suitable for the design of overhead power lines built on finish wooden poles and how they take into account the standards SFS-EN 50341-1 and SFS-EN 50341-2-7.

The study utilized a qualitative approach, which included web-based data collection, expert interviews, e-mail surveys and trial use of the software. Based on the survey three software programs Power Path, Quick Pole and O-Calc Pro were analyzed and their features and suitability were assessed from the perspective of Finnish requirements using SWOT analyses.

As a result it was found that no software met Finnish needs as such but the application of each required customization. The software's differed especially in the processing of terrain data and the dimensioning of wooden poles: GIS-based reading of terrain surface measurement data was supported only by Power Path, while Quick Pole and O-Calc Pro provided more extensive tools for mechanical dimensioning. The quality of the implementation of support services was found to be crucial.

The conclusion was that the potential of the software is best unlocked in close cooperation with the suppliers. Further testing and a more precise definition of the key requirements were recommended to support the selection. In addition, consideration was suggested for study the utilization of IKGPS measurement and BIM modeling in the Finnish design environment.

### **Keywords/tags (subjects)**

Overhead power lines, design software, mechanical dimensioning, electrical grid design, medium voltage networks

### **Miscellaneous (Confidential information)**

-

## Sisältö

<b>Sanasto</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Johdanto</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Tutkimusmenetelmä</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Keskijännite ja pienjännite Ilmajohdoverkot</b> .....	<b>10</b>
3.1 Standardit SFS-EN 50341-1 ja SFS-EN 50341-2-7 .....	11
3.2 Suunnittelun perusteet ja vaatimukset ilmajohdoille .....	11
<b>4 Mekaaninen mitoittaminen</b> .....	<b>13</b>
4.1 Rajatilat .....	13
4.2 Kuormitukset.....	14
4.2.1 Kuormitusten luokitus niiden aika riippuvuuden ja luonteen perusteella .....	14
3.2.1 Kuorman mitoitusarvo .....	15
4.3 Tuulikuormat.....	15
4.4 Jääkuormat.....	20
4.5 Yhdistetyt tuuli- ja jääkuormat .....	21
4.6 Riippuma ja lämpötilavaikutukset .....	22
4.7 Puupylväiden ominaisuudet ja mitoitus .....	22
<b>5 Suunnitteluohjelmistot ja suunnitteluprosessi</b> .....	<b>24</b>
5.1 Suunnitteluohjelman hyödyntäminen suunnitteluprosessissa .....	24
5.2 GNS-maastomittaus ja korkeusmallit .....	25
<b>6 Markkinatutkimuksen vaiheet</b> .....	<b>27</b>
<b>7 Ohjelmat</b> .....	<b>28</b>
7.1 Powerpath.....	28
7.1.1 GNS- yhteensopivuus ja datatyypit.....	29
7.1.2 Standardin vaatimukset ja mekaaninen mitoitus ohjelmassa.....	29

7.1.3	SWOT-analyysi PowerPath.....	33
7.2	Sonideft quick pole .....	34
7.2.1	GNS-yhteensopivuus ja datatyypit.....	35
7.2.2	Standardin vaatimukset ja mekaaninen mitoitus .....	36
7.2.3	SWOT-analyysi Sonideft Quick Pole.....	39
7.3	O-Calc Pro.....	40
7.3.1	GNS- yhteensopivuus ja datatyypit.....	41
7.3.2	Standardit ja mekaaninen mitoitus ohjelmistossa .....	43
7.3.3	SWOT-analyysi O-Calc Pro.....	47
<b>8</b>	<b>Yhteenveto / pohdinta .....</b>	<b>48</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>50</b>

## Kuviot

Kuvio 1. Havainnollistava kuva sähköverkon rakenteesta. (Tiedätkö miten sähkö kulkee? Tunnistatko erilaiset johdot? 2021).....	10
Kuvio 2. Havainnollistava kuva käyttöliittymästä. ....	28
Kuvio 3. Eristimen ja orsien luonti ohjelmassa. Voidaan toteuttaa myös CAD-mallina. ....	30
Kuvio 4. Vasemmalla sääolosuhteiden ja oikealla johtimen tietojen muokkausta. ....	31
Kuvio 5. Pylvään voimarasitustaulukko ohjelman tulostamana.....	31
Kuvio 6. Quick Polen työpöytänäkö. Kuvankaappaus ohjelmiston koekäytöstä. ....	34
Kuvio 7. Pylväiden sijaintien vienti KML muodossa ohjelmaan. Havainnekuva ohjelmistosta. ....	36
Kuvio 8. Yksittäisen pylvään tietotaulu. ....	37
Kuvio 9. 3D-näkymä pylvääseen vaikuttavista voimista.....	38
Kuvio 10. Sivuprofiili ja riippumat.....	38
Kuvio 11. Calc-O Pron työpöytänäkö. ....	41
Kuvio 12. Esimerkki CSV-tiedoston attribuuteista. ....	42
Kuvio 13. Maaston kohouma simuloidaan esteellä. ....	43

Kuvio 14. Ohjelma pystyy laskemaan muitakin kuin yhden säikeen verkostoja. Oikealla nähdään etäisyyksien mittausta kuvien perusteella IKEGPS:n avulla.....	44
Kuvio 15. Esimerkki raportista, joka kuvaa pylväisiin vaikuttavat voimat. MCU = Maxium Capacity Utilization ja TCU = Total Capacity Utilization jne. ....	45
Kuvio 16. Yksi vaihtoehto sivuprofiilin tulostukseen. Näkymää voidaan muokata tarpeiden mukaan. ....	45

## Taulukot

Taulukko 1. Maastoluokat Suomen kansallisista vaatimuksista (SFS-EN 50341-2-7, 2023, 9).....	15
Taulukko 2. Johtimien jääkuormat eri jäätymislukissa (SFS-EN 50341-2-7, 2023, 12).....	21
Taulukko 3. Power Path-Ohjelman SWOT-analyysi .....	33
Taulukko 4. Sonideft Quick Pole SWOT-analyysi .....	39
Taulukko 5. O-Calc Pro SWOT-analyysi .....	47

## Sanasto

CSV (Comma-Separated Values) = Yksinkertainen tekstitiedosto, jossa data on eroteltu pilkuilla; käytetään yleisesti taulukkomuotoisen tiedon tallentamiseen.

GeoJSON = Kevyt ja helposti luettava JSON-pohjainen tiedostomuoto paikkatiedon tallentamiseen ja siirtämiseen, erityisesti verkkokäytössä.

Shapefile (SHP) = Laajasti käytetty tiedostomuoto paikkatietoaineistojen tallentamiseen ja esittämiseen GIS-järjestelmissä.

IKEGPS = Kenttämittaukseen tarkoitettu laite, joka yhdistää GPS-, kamera- ja lasertekniikkaa sijainti- ja mittatiedon keräämiseen.

IKE = IKEGPS:n laitesarja; yleisesti viittaa kannettavaan kenttämittausjärjestelmään, joka yhdistää valokuvia ja laserpisteitä mittatarkkaan paikkatietoon.

ETRS-TM35FIN = Suomen kansallinen koordinaattijärjestelmä, joka perustuu Euroopan maakohtaisiin mittauksiin.

LandXML = XML-pohjainen tiedostomuoto, jota käytetään erityisesti maastomallien ja infrastruktuuridatan siirtoon suunnitteluohjelmien välillä.

ASCII Grid = Tekstipohjainen rasterimuoto, jossa kukin ruutu kuvaa paikkatiedon arvoa, kuten korkeutta.

QGIS = Avoimen lähdekoodin paikkatietojärjestelmä, jota käytetään karttojen tekemiseen ja paikkatiedon muokkaamiseen.

Rasteritietomuoto (vektoritietomuoto) = Paikkatiedon tallennusmuoto, jossa tieto esitetään säännöllisenä ruudukkomaisena matriisina (pikseleinä). Jokainen ruutu sisältää yhden arvon, kuten korkeuden tai lämpötilan.

Vektorimuoto (vektoritietomuoto) = Paikkatiedon tallennusmuoto, jossa kohteet kuvataan pisteinä, viivoina ja alueina, joihin liittyy sijainti- ja ominaisuustietoa.

BIM (Building Information Modeling) = Rakennusinformaatiomallinnus, joka yhdistää rakenteiden geometrian ja ominaisuudet yhteen digitaaliseen malliin.

SWOT-analyysi = Analyysimenetelmä, jolla arvioidaan kohteen vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat.

Osavarmuusluku = Mitoituksessa käytettävä varmuuskerroin, joka huomioi epävarmuudet kuormissa tai materiaaleissa.

Murtorajatilat = Rakenne ei enää kestä kuormitusta, vaarana on sortuminen.

Käyttörajatilat = Rakenne ei vielä romahda, mutta sen toiminta tai turvallisuus ei ole enää riittävä (esim. liiallinen taipuma tai sähköetäisyyden alitus).

Riippuma = Johtimen kaarevuus pylväiden välillä; siihen vaikuttavat mm. jännitys, lämpötila ja kuormitus.

GNS = Global Navigation Satellite, satelliittipaikannusjärjestelmä, jota käytetään sijaintitiedon mittaamiseen maastossa.

GIS = Geographic Information System, paikkatietojärjestelmä, jota käytetään paikkatiedon käsitteilyyn, analysointiin ja visualisointiin.

# 1 Johdanto

Urakoitsijat ovat hyödyntäneet Profilia Cenelec -ohjelmistoa keski- ja pienjänniteilmajohtoverkkojen suunnittelussa jo useiden vuosien ajan. Vuoden 2023 lopussa ohjelmiston omistaja, Hitachi Energy Finland Oy, kuitenkin irtisanoi kaikkien Profila-asiakkaiden tukipalvelusopimukset (Pajala 2024, 82). Lisäksi ohjelmiston lähdekoodi jäi Hitachin Energyn omistukseen, mikä tarkoittaa, että ohjelmistoon ei välttämättä voida enää tehdä muutoksia, mikäli tulevat standardimuutokset sitä edellyttäisivät.

Tämä tilanne herätti tarpeen markkinatutkimukseen sekä työnantajassani Infratek Finland Oy:ssä, että heidän tilaajassaan Savon Voima Verkko Oy:ssä. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, löytyykö markkinoilta muita ohjelmistoja, jotka soveltuvat ilmajohtoverkkojen suunnitteluun näiden yritysten tarpeita vastaavasti. Suunnittelu keskittyy erityisesti keski- ja pienjänniteverkkoihin, joita rakennetaan suomalaisilla puupylväillä standardien SFS-EN 50341-1 ja SFS-EN 50341-2-7 mukaisesti.

Opinnäytetyössä kartoitetaan saatavilla olevat ohjelmistot ja arvioidaan, kuinka hyvin ne täyttävät em. standardien vaatimukset. Tutkimusmenetelminä käytetään verkkopohjaisen aineiston keruuta kuten esimerkiksi käyttöoppaat, ohjevideot ja valmistajien dokumentaatiot, asiantuntijahaastatteluja ja sähköpostikyselyitä sekä mahdollisuuksien mukaan ohjelmistojen koekäyttöä.

Opinnäytetyön tavoite on auttaa urakoitsijoita ja verkostoyhtiöitä uuden suunnitteluohjelman valinnassa tarjoamalla vertailutietoa ohjelmistojen ominaisuuksista ja käytettävyydestä. Erityistä huomiota kiinnitetään siihen, miten ohjelmistot tukevat suomalaisten puupylväiden ja orsirakenteiden mallintamista rajatiloineen sekä miten ne käsittelevät GNS- ja maastomittausdataa. Lisäksi tavoitteena on selvittää, kuinka EU:n ja Suomen SFS-standardit voidaan implementoida ohjelmistoon joko suoraan tai erillisten mukautusten kautta, jotta ohjelmisto olisi yhteensopiva kotimaisen suunnitteluvaatimusten kanssa.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään 20 kV keskijännite ja 0,4 kV pienjännite sähköverkkoihin, koska tilaajani Savon Verkko Oy:n sähköverkko sijaitsee pääasiassa taajamissa ja haja-asutusalueella Pohjois-Savossa. Täällä ilmajohtot ovat usein pääasiallinen sähkönsiirtotapa.

Sähköverkon maakaapeloinnin lisääntyessä osa haja-asutusalueen verkosta tulee jäämään maan pinnalle. Etenkin kallioisilla seuduilla ilmajohto on usein kustannustehokkain ratkaisu verkon rakentamiseen, koska ilmajohton pylväitä voidaan pystyttää myös suoraan kallion päälle. Näin vältetään kustannuksilta, joita maakaapelin louhiminen tai poraaminen kallion sisään aiheuttaa. Lisäksi rakenteilla olevat uusiutuvan energian muodot esimerkiksi tuuli- ja aurinkovoimaloineen, sekä kulluttajien oma pientuotanto vaativat tulevaisuudessa sähköverkon vahvistamista myös syrjäseuduilla. Tämä pitää huolen siitä, että töitä riittää vielä ilmajohtojen parissa ja osaamista tarvitaan edelleen siitä huolimatta, että ilmajohtot ovat jääneet viime vuosina taka-alle.

## 2 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä on kvalitatiivinen tutkimus, sillä tutkimuksen tarkoituksena on selvittää markkinoilla olevat ilmajohtoverkkojen suunnitteluohjelmistot ja niiden käyttöönottoon liittyvät vaatimukset. Kvalitatiivinen lähestymistapa mahdollistaa monipuolisen tiedonkeruun ja syvällisen analyysin ohjelmistojen ominaisuuksista sekä käyttöönoton vaatimuksista.

Tiedonhankintamenetelminä hyödynnetään eri verkkosivustoilta ja dokumenteista tehtävää tiedonhakuja, jotta saadaan kattava yleiskuva markkinoilla olevista ohjelmistoista. Lisäksi yhteydenpito ohjelmistojen kehittäjiin tapahtuu sähköpostitse ja Teams-palaverien avulla, mikä mahdollistaa lisätiedon saamisen suoraan asiantuntijoilta. Mahdollisuuksien mukaan tietoa hankitaan myös ohjelmistojen kokeiluversioneista, mikä auttaa ymmärtämään niiden käytännön toimivuutta. Tutkimuksessa on huomioitu hyvän tieteellisen käytännön mukaiset eettiset periaatteet. Työssä on pyritty avoimuuteen ja läpinäkyvyyteen koko prosessin ajan ja luotettavuutta on pyritty vahvistamaan monipuolisella lähdeaineistolla. Tämän opinnäytetyön tukena on käytetty tekoälytyökalua tulkauksessa, tekstin jäsentelyssä sekä oikoluvussa. Tekoälyä ei ole käytetty lähdeaineiston tuottamiseen.

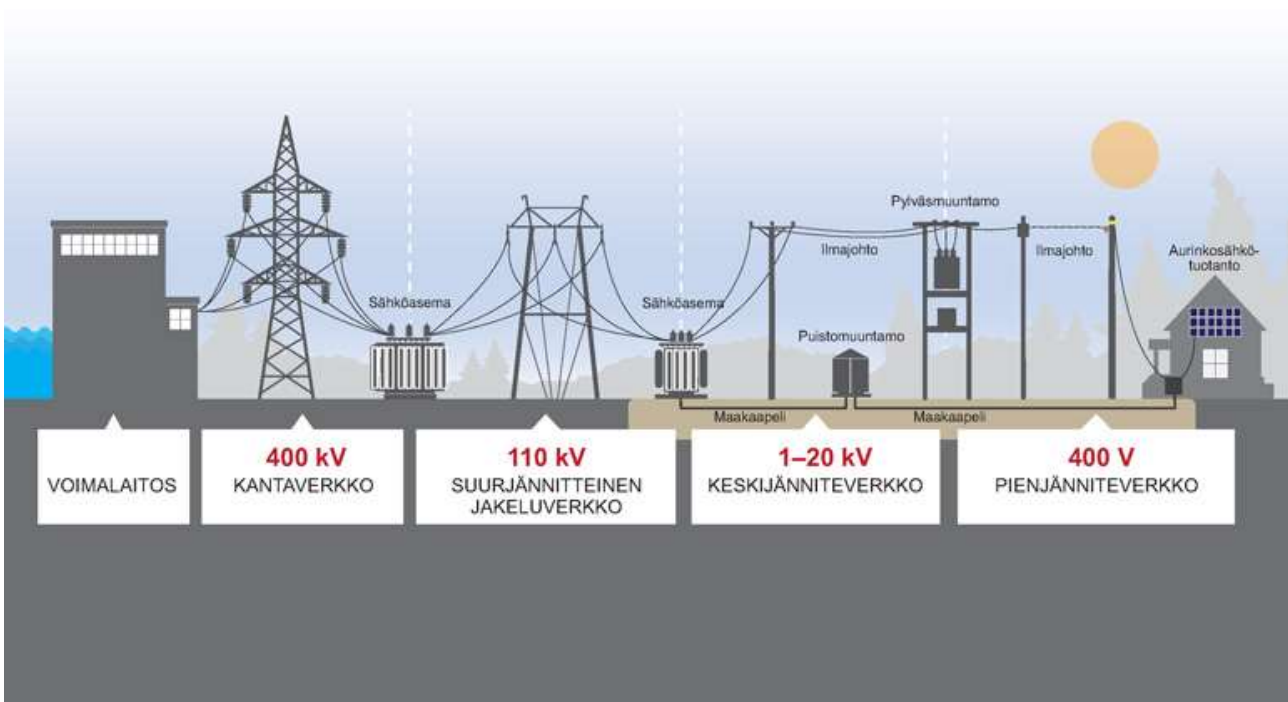
Tutkimusongelmana on kartoittaa, mitä ilmajohtoverkkojen suunnitteluohjelmia on tarjolla ja mitä niiden käyttöönottaminen vaatii. Tämä tutkimusongelma ohjaa tiedonhankintaa ja analyysiä keskittymään relevantteihin ohjelmistoihin ja niiden käyttöönoton kannalta oleellisiin seikkoihin. Ongelman rajauksessa keskitytään erityisesti käyttöönottoon liittyviin vaatimuksiin ja haasteisiin, mutta varsinaisiin ongelmien ratkaisuihin ei syvennytä, ellei niistä ole suoraa tutkimuksellista hyötyä.

Tutkimuksen tuloksena suoritetaan SWOT-analyysi kartoitetuista ohjelmistoista. SWOT-analyysi on menetelmä, jonka avulla arvioidaan ohjelmistojen vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia. Tämä analyysi auttaa tunnistamaan ohjelmistojen keskeiset piirteet ja arvioimaan niiden soveltuvuutta valittuun käyttöön. SWOT-analyysi tukee päätöksentekoa, auttaen valitsemaan parhaiten organisaation tarpeita vastaavan ohjelmiston. Tämän menetelmällinen lähestymistapa tukee tutki-

muksen tavoitetta tuottaa tarpeeksi laaja ja käytännönläheinen analyysi ilmajohtoverkkojen suunnitteluohjelmistoista ja niiden soveltuvuudesta organisaation tarpeisiin. (Sharath Kumar & Praveena, 2023, 1-3.)

### 3 Keskijännite ja pienjännite Ilmajohdoverkot

Yksinkertaistettuna voimalaitokset tuottavat sähkön, josta se siirretään Fingrid Oy:n ylläpitämään kansalliseen kantaverkkoon, jossa jännitetaso on 110–400 kV. Sähköasemalla tämä jännite muunnetaan jakeluverkon jännitetasolle yleensä 20 kV, josta verkkoyhtiö jakaa sen käyttäjille. Keskijänniteverkossa 20 kV jännite muunnetaan edelleen jakelumuuntamossa 400 volttiin pienjänniteverkkoa varten. Lopulta sähkökäyttäjät yhdistyvät tähän verkkoon liittymisjohdon kautta. (Tiedätkö miten sähkö kulkee? Tunnistatko erilaiset johdot? 2021.) Suuremmat sähkökäyttäjät esimerkiksi hotellit, sairaalat ja tehtaat voivat myös liittyä suoraan 20 kV tai 110 kV verkkoon. Kuviossa 1 havainnollistetaan sähköverkon muodostuminen.



Kuvio 1. Havainnollistava kuva sähköverkon rakenteesta. (Tiedätkö miten sähkö kulkee? Tunnistatko erilaiset johdot? 2021)

### 3.1 Standardit SFS-EN 50341-1 ja SFS-EN 50341-2-7

Ilmajohtojen suunnitteluun vaikuttavat merkittävästi ympäristön olosuhteet, kuten tuuli, lämpötila, jääkuormitus ja maaston tyyppi. Tämän vuoksi Euroopan tasolla ilmajohtojen standardointi on jaettu kahteen osaan: yhteiseen eurooppalaiseen osaan ja kansallisiin vaatimuksiin. Eurooppalainen perusstandardi on SFS-EN 50341-1, joka määrittää yli 1 kV vaihtosähköilmajohtojen yleiset tekniset vaatimukset ja mitoitusperiaatteet. Tätä standardia ei kuitenkaan sovelleta sellaisenaan, vaan jokaisella maalla on oma kansallinen täydennyksensä osana standardisarjaa SFS-EN 50341-2. Suomen osalta kyseessä on SFS-EN 50341-2-7, joka sisältää kansallisesti velvoittavat määrittelyt ja soveltamisohjeet. Suomessa SFS-EN 50341-1 -standardia sovelletaan vain yhdessä kansallisen osan SFS-EN 50341-2-7 kanssa. (Ilmajohdot 2025.)

### 3.2 Suunnittelun perusteet ja vaatimukset ilmajohtoille

SFS-EN 50341-1 standardi esittää ilmajohtojen rakenteellisen, geoteknisten ja mekaaninen suunnittelun perusteet ja yleiset periaatteet, joita on noudatettava verkon rakentamisessa. Rakennesuunnittelun yleiset periaatteet perustuvat rajatilamitoitukseen ja siihen liittyvään osavarmuuslukumenetelmään. (SFS-EN 50341-1, 2014, 72.)

Ilmajohto on suunniteltava ja rakennettava niin, että se toimii taloudellisesti ja luotettavasti koko suunnitellun elinkaarensa ajan määriteltyjen olosuhteiden mukaisesti hyväksyttävällä luotettavuustasolla. Tässä apuna on standardin määrittämät kolme eri luotettavuustasoa, joissa jokainen taso määräytyy ilmastollisten kuormien teoreettisen toistumisajan mukaan 50–500 vuotta. Joillekin ilmajohtoille voidaan asettaa korkeampi vaatimustaso joko niiden tärkeyden takia sähköverkolle tai mikäli ne ovat alttiita ankarille ilmastollisille kuormille. (SFS-EN 50341-1, 2014, 76.)

Suunnittelussa on myös huomioitava, ettei synny etenevää sortumisilmiötä jonkin komponentin vaurioitumisen takia eikä se saa aiheuttaa loukkaantumisia eikä hengen menetyksiä ihmisille rakentamisen ja kunnossapidon aikana. Sekä suunnittelussa ja rakentamisessa tulee kiinnittää erityistä huomiota henkilöturvallisuuteen, säilyvyyteen, vaurionsietokykyyn, kunnossapidettävyy-

teen, ympäristötekijöihin ja ulkonäköön. Vaatimukset on täytettävä asianmukaisella yleis- ja detajisuunnittelulla, sopivilla materiaalivalinnoilla sekä määrittelemällä projektikohtaisesti sopivat tarkastusmenetelmät suunnittelulle, tuotannolle ja rakentamiselle. (SFS-EN 50341-1, 2014, 76.)

## 4 Mekaaninen mitoittaminen

Ilmajohdon mekaaninen mitoittaminen tarkoittaa prosessia, jossa lasketaan ja määritellään ilmajohdon rakenteelliset ominaisuudet ja vaatimukset siten, että se kestää sille kohdistuvat mekaaniset kuormitukset ja ympäristöolosuhteet koko suunnitellun käyttöiän ajan. Tämä sisältää mm. kuormituslaskelmat, jossa arvioidaan eri säätilojen aiheuttamat kuormitukset ilmajohdon komponenteille ja materiaali valinnat esimerkiksi siitä kuinka kestäviä pylviä on syytä käyttää. Ilmajohdon komponenteille on vetolujuuskokeilla määritetty käytönrajat, joita ei saa siis ylittää. (SK 11 Suurjänniteilmajohdot, 2023; SFS-EN 50341-1, 2014, 90.)

SFS-EN 50341-1 Standardi määrittää mitoituksen peruskaavan seuraavasti:

*Tarkastettaessa komponentin, osan tai liitoksen murtumiseen tai liian suureen muodonmuutokseen liittyvää rajatilaa on tarkistettava, että*

$$E_d \leq R_d$$

$E_d$  on kuormitusten vaikutuksen lopullinen mitoitusarvo, kuten sisäinen voima tai momentti tai useiden sisäisten voimien tai momenttien summavektori

$R_d$  on vastaava rakenteellisen kestävyuden mitoitusarvo

(SFS-EN 50341-1, 2014, 90.)

### 4.1 Rajatilat

Rajatilat ovat tiloja, joiden toisella puolella ilmajohto ei enää täytä suunniteltuja toimintavaatimuksia. Yleistesti erotetaan toisistaan murtorajatilat ja käytönrajatilat. Ne siis kuvaavat rajoja, joita on noudatettava ilmajohdon suunnittelussa, mutta ne painottavat eri näkökulmia. Murtorajatilat liittyvät sortumiseen, kaatumiseen tai muihin samantapaisiin rakenneaurioiden muotoihin.

Murtorajatila kuvaa siis kriittistä pistettä, josta lähtien rakenne ei enää kykene ylläpitämään vaadittua kantavuutta ja vakautta. Käyttörajatiloissa pyritään varmistamaan, että ilmajohdon toiminnalliset vaatimukset – kuten oikea ulkonäkö, sähköisten etäisyyksien noudattaminen, liiallisten muodonmuutosten ja värähtelyjen välttäminen täyttyvät. Vaikka rakenteellinen sortuma ei välttämättä ole uhkana, käyttörajatilat määrittävät tilanteet, joissa ilmajohdon toimivuus tai käyttökelppoisuus ei enää ole taattu esimerkiksi liiallisten siirtymien tai vaurioiden vuoksi. (SFS-EN 50341-1, 2014, 82.)

## **4.2 Kuormitukset**

Ilmajohtoihin ja sen komponentteihin vaikuttavia kuormituksia kuvataan tunnuksella F. Kuormitus F on välitön kuormitus esimerkiksi voima tai kuorma tai välillinen kuormitus, joka voi olla pakotettu tai estetty muodonmuutos aiheutuen lämpötilamuutoksista, pohjaveden korkeuden vaihteluista tai epätasaisesta painaumasta. Kuormitukset on luokiteltu ajan mukana tapahtuvan vaihtelun suhteen tai niiden luonteen tai sekä, että rakenteen vasteen perusteella. (SFS-EN 50341-1, 2014, 84.)

### **4.2.1 Kuormitusten luokitus niiden aika riippuvuuden ja luonteen perusteella**

SFS-EN 50352-1 standardi jaottelee ajan mukana tapahtuvan vaihtelun kuormitukset niiden aika riippuvuuden perusteella kolmeen eri luokkaan. Luokkaan yksi sisältyvät pysyvät kuormitukset, joita ovat esimerkiksi pylväiden omapaino mukaan lukien perustukset, varusteet ja kiinteät laitteet. Näitä kuvataan tunnuksella G. Luokassa kaksi ovat muuttuvat kuormitukset esimerkiksi tuulikuormat, jääkuormat ja muut hyötykuormat. Näitä kuvataan tunnuksella Q ja viimeisessä luokassa satunnaiset kuormitukset, jotka aiheutuvat vaikkapa johtimen katkeamisesta. Satunnaisia kuormia kuvataan tunnuksella A.

Standardi jakaa myös kuormitusten luokituksen niiden luonteen ja/tai rakenteellisten vasteen perusteella kahteen ala luokkaan. Näitä ovat staattiset kuormituksen, jotka eivät aiheuta merkittäviä kiihtyvyyksiä komponenteissa ja dynaamiset kuormitukset, jotka aiheuttavat merkittäviä kiihtyvyyksiä komponenteissa. (SFS-EN 50341-1, 2014, 84.)

### 3.2.1 Kuorman mitoitusarvo

Kuorman mitoitusarvo  $F_d$  esitetään yleisesti muodossa:

$$F_d = \gamma_F F_K$$

Kuormituksen osavarmuusluku on  $\gamma_F$ . Tällä menetelmällä varmistetaan, että mitoitusilanteissa ei ylitetä sallittuja rajatiloja. Osavarmuusluku riippuu valitusta luotettavuustasosta ja sen tarkoitus on huomioida epäedulliset poikkeamat kuormien epätarkasta mallinnuksesta ja vaikutuksien arvioinnista. (SFS 50341-1, 2014, 88–90.)

## 4.3 Tuulikuormat

Tuulikuormia laskettaessa suunnittelijan on valittava sopiva maastoluokka vallitsevan alueen mukaan. Samalla ilmajohtolinjalla voidaan käyttää eri maastoluokkia linjan eri osioille, mikäli tilanne niin vaatii esimerkiksi suurien korkeuserojen takia. SFS standardi määrittää kansallisissa vaatimuksissa Suomen eri maastoluokat taulukossa 4.1/FI.1, joka on esitetty taulukossa 1 (alla). Taulukossa karheuden pituus  $z_0$  kuvaa maaston tai rakenteen pinnan epätasaisuuden vaikutusta tuulen virtausprofiiliin ja maastokerroin  $k_r$  korjausparametriä, jolla säädetään tuulikuorma vastaavaan todellisia maasto-olosuhteita. (SFS-EN 50341-2-7, 2023, 9.)

Taulukko 1. Maastoluokat Suomen kansallisista vaatimuksista (SFS-EN 50341-2-7, 2023, 9)

Taulukko 4.1/FI.1 Maastoluokat, karheuden pituus  $z_0$  ja maastokerroin  $k_r$

Maasto- luokka	Kuvaus	$z_0$ [m]	$k_r$
0	Avomeri, ulkosaaristo ja avoimet rannikkoalueet	0,003	0,180
0+	Harva sisäsaaristo ja suojaiset rannikkoalueet	0,003	0,167
I	Tiivis sisäsaaristo, isot järvi-alueet sekä laajat pelto-alueet	0,010	0,169
II	<b>Perusmaasto:</b> Alueet, joilla matalaa kasvillisuutta ja yksittäisiä esteitä (puita, rakennuksia)	0,050	0,189
II+	Sisämaan vaihteleva maasto (metsiä, metsäaukeita, peltoja, järviä, yksittäisiä rakennuksia tai rakennusryhmiä)	0,095	0,195
III	Alueet, joilla säännöllistä kasvillisuutta tai yksittäisiä esteitä (rakennuksia, kylliä, taajamia, pysyviä metsiä)	0,300	0,214
IV	Kaupungit eli alueet, joilla vähintään 15 % on yli 15 m korkeiden rakennusten peittämä). Tätä luokkaa ei sovelleta Suomessa.	1,000	0,233

HUOM. 1 Tyypillinen suomalainen sisämaan kumpuileva metsämaasto voidaan katsoa kuuluvaksi luokkaan III. Mikäli mahdolliset hakkuut tai myrskyt voivat vaikuttaa tähän otaksumaan, tulisi soveltaa luokkia II tai II+.

HUOM. 2 Tunturialueilla tulisi soveltaa luokkaa II, ellei projektispesifikaatiossa ole toisin määrätty.

HUOM. 3 Vakioiden  $z_0$  ja  $k_r$  taulukkoarvot on merkitty *kursiivilla*, kun ne poikkeavat standardissa SFS-EN 1991-1-4 esitetystä arvoista.

Muita määritettäviä laskentaparametrejä ovat keskituulennopeus, keskituulenpaine, turbulenssin tiheys ja puuskatuulenpaine. Näiden laskentakaavat ja muuttujat löytyvät SFS-standardeista. Varsinaisesti ilmajohdon komponenttien tuulikuormat lasketaan kaavalla:

Ilmajohdon komponentin tuulikuormat:

Kun tuuli vaikuttaa vaakatasossa maan pinnasta mitatulla vertailukorkeudella  $h$  kohtisuoraan mitä tahansa johdon komponenttia vastaan, lasketaan tuulikuorman arvo  $Q_{Wx}$  kaavasta

$$Q_{Wx} = q_p(h)G_x C_x A_x$$

$Q_p(h)$  on puuskatuulenpaine, esitetty kohdassa 4.3.4

$h$  on maan pinnasta mitattu vertailukorkeus, jota käytetään tarkastettavalle johdon rakennekomponentille

$G_x$  on tarkasteltavan rakennekomponentin rakenteellinen kerroin, joka lasketaan standardissa EN 1991-1-4 esitetyn menetelmän mukaisesti

$C_x$  on vastuskerroin (=muotokerroin), joka riippuu tarkasteltavan johtokomponentin muodosta

$A_x$  on tarkasteltavan johtokomponentin projektiopinta-ala, kun komponentin ala projisoitu tuulen suuntaa vastaan kohtisuoralle tasolle.

Kaava 50 vuoden toistumisaikaa vastaavalle huipputuulikuormalle  $Q_{W50}$  laskettaessa vähimmäisetäisyyksiä voidaan saada kertomalla tuulikuorma  $Q_{Wx}$  keskituulenpaineen  $q_h(h)$  ja puuskatuulenpaineen  $q_p(h)$  suhteella. Käyttämällä varmalla puolella olevaa arvoa  $G_x=1$  saadaan

$$Q_{W50} = Q_{Wx} \left( \frac{q_h}{q_p} \right) = q_h(h) C_x A_x$$

(SFS-EN 50341-1, 2014, 104.)

Johtimien tuulikuormat:

Tuulenpaine vaikuttaa ilmajohdon johtimiin luomalla johdon suuntaan vasten poikittaisia voimia sekä johdinjännityksen kasvua. Kaikkien vaihejohtimien kokonaistuulikuorma lasketaan yksittäisten osajohtimien tuulikuormien summana. Yleisesti kahden vierekkäisen jänteen kunkin osajohtimen pylvälle aiheuttama tuulikuorma lasketaan kaavoista:

- Orren suunnassa

$$Q_{Wc_V} = q_p(h) G_c C_c d \left[ \pm \frac{L_1}{2} \cos^2 \left( \phi + \frac{\theta_1}{2} \right) \cos \left( \frac{\theta_1}{2} \right) + \frac{L_2}{2} \cos^2 \left( \phi - \frac{\theta_2}{2} \right) \cos \left( \frac{\theta_2}{2} \right) \right]$$

- Ortta vastaan kohtisuorassa suunnassa

$$Q_{Wc_U} = q_p(h) G_c C_c d \left[ \pm \frac{L_1}{2} \cos^2 \left( \phi + \frac{\theta_1}{2} \right) \sin \left( \frac{\theta_1}{2} \right) - \frac{L_2}{2} \cos^2 \left( \phi - \frac{\theta_2}{2} \right) \sin \left( \frac{\theta_2}{2} \right) \right]$$

$Q_p(h)$  on puuskatuulenpaine kohdasta 4.3.4

H on johtimelle käytettävä vertailukorkeus

$G_c$  on johtimen rakenteellinen kerroin (=jännitekerroin)

$C_c$  on johtimen vastuserroin (=muotokerroin)

- $d$  on johtimen halkaisija
- $L_1, L_2$  ovat kahden vierekkäisen jänteen pituudet
- $\varphi$  on tuulensuunnan ja orren pituusakselin välinen kulma
- $\theta_1, \theta_2$   $(\theta_1 + \theta_2)/2 = \theta$  on johdon suuntakulman muutos

(SFS-EN 50341-1, 2014, 106.)

Eristimien tuulikuormat:

Eristimiin vaikuttavat tuulikuormat aiheutuvat johtimien tuulikuormasta ja eristimiin itseensä kohdistuvasta tuulenpaineesta. Siinä tapauksessa kussakin eristimen pylväässä olevassa kiinnityspisteessä lasketaan tuulen suuntainen tuulikuorma kaavasta

$$Q_{wins} = q_p(h)G_{ins}C_{ins}A_{ins}$$

- $Q_p(h)$  on puuskatuulenpaine
- $H$  on eristimelle käytettävä maan pinnasta mitattu vertailukorkeus, joka on kiinnityspisteiden korkeus pylväässä. Muita korkeuksia voidaan määrittellä NNA:ssa
- $G_{ins}$  on eristimen rakenteellinen kerroin. Suositeltava arvo on 1, mutta muita arvoja voidaan määrittellä NNA:ssa
- $C_{ins}$  on eristimen vastuskerroin. Suositeltava arvo on 1,2, mutta muita arvoja voidaan määrittellä NNA:ssa

$A_{ins}$  on eristimen vaakasuoraan projisoitu pinta-ala ketjun akselin suuntaisessa pystytasossa.

(SFS-EN 50341-1, 2014, 116.)

Pylväiden tuulikuormat koostuvat johtimien ja eristimien tuulikuormista sekä pylvääseen itseensä kohdistuvasta tuulenpaineesta. Pylvään oma tuulikuorma tuulen suunnassa lasketaan kaavalla:

$$Q_{Wpol} = q_p(h) G_{pol} C_{pol} A_{pol}$$

$Q_p(h)$  on puuskatuulenpaine

$H$  on maan pinnasta mitattu pylväälle käytettävä vertailukorkeus

$G_{pol}$  on pylvään rakenteellinen kerroin. Suositeltava arvo on 1, mutta muita arvoja voidaan määritellä NNA:ssa

$C_{pol}$  on pylvään vastuskerroin

$A_{pol}$  on pylvään tai pylvään osan projektiopinta-ala kohtisuoraan tuulen suuntaa vastaan olevassa pystytasossa

(SFS-EN 50341-1, 2014, 126.)

Tuulikuormia laskettaessa kannatinpylväille on laskettava tuulikuormat kaikissa standardin osoittamissa kuormitustapauksissa. Näitä ovat tuulikuormien osalta huipputuulikuorma, huippujääkuorma nimellistuulen nopeudella sekä kova tuulen nopeus nimellisjääkuormalla (SFS 50341-2-7, 2015, 14.)

## 4.4 Jääkuormat

Johtimien jääkuormat aiheuttavat pystyvoimia ja lisäävät johdinjännityksiä. Kahden vierekkäisen jänteen kunkin osajohtimen jääkuorman aiheuttama pystykuorma pylväässä on:

$$Q_I = I(L_{w1} + L_{w2})$$

$I$  on jääkuorma johtimen pituusyksikköä kohden [N/m]

$L_{w1}$  ja  $L_{w2}$  ovat vierekkäisten jänneiden painojänteet.

Vierekkäisten jänneiden painojänteet  $L_{w1}$  ja  $L_{w2}$  riippuvat jäätyneen johtimen riippumasta sekä niiden kiinnityspisteiden välisistä vaaka- ja pystyettäisyyksistä.

Jääkuormituksia laskettaessa maaston vaikutus on otettava huomioon. Maaston vaikutukselle ei ole mahdollista antaa yksinkertaistettuja sääntöjä kuitenkin ohjeista paikallisen maasto-olosuhteiden vaikutuksesta jäätymiseen esitetään ISO 12494 standardissa. Tähän standardiin perustuu myös SFS-standardin kansallisten vaatimusten taulukko 4.5/FI.1, jossa esitetään jääkuormien ominisarvoja eri suhteellisille korkeuksille. (Ks. taulukko 2.) Johtimien ominaisjääkuormat siis riippuvat suhteellisesta korkeudesta, joka määritellään johtimien tarkastelupaikasta 10 km säteellä olevan ympäröivän maaston keskimääräisen tason korkeuserona. Standardi myös velvoittaa käyttämään pitkäaikaisiin tilastoihin tai kokemukseen perustuvien arvojen käyttämistä, mikäli semmoisia on saatavilla. Tällaisia tietoja voi olla esimerkiksi verkkoyhtiöllä erikoisemmista alueista. Eristeiden ja rakenteiden jääkuormia ei tarvitse ottaa huomioon, ellei projektispesifikaatiossa niin määrätä. (SFS-EN 50341-2-7, 2023, 12.)

Taulukko 2. Johtimien jääkuormat eri jäätymisluokissa (SFS-EN 50341-2-7, 2023, 12)

Taulukko 4.5/Fl.1 Johtimen jääkuorma

Jäätymisluokka	Suhteellinen korkeus [m]	Ominaisjääkuorma $I_{50}$ [N/m]	Tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	Vastuskerroin	Jään tyyppi
I	0...50	10	500	1,15	huurre
II	50...100	10...25	500	1,15	huurre
III	100...200	25...50	500	1,15	huurre
IV	> 200	>50	500	1,15	huurre

## 4.5 Yhdistetyt tuuli- ja jääkuormat

Jäätymisen johtimien aiheuttamat tuulikuormat pylvääseen lasketaan samalla tavalla kuin normaalien johtimien aiheuttama tuulikuorma paitsi johtimien halkaisijan  $d$  kohdalla käytetään jäätymisen johtimen ekvivalentti halkaisijaa  $D$ . Jääkerros siis suurentaa johtimen halkaisijaa ja sitä kautta suurentaa pinta-alaa, johon tuuli vaikuttaa. Vaikka jääkerros on muodoltaan epäsäännöllinen, voidaan laskuissa sen olettaa vastaavan muodoltaan sylinteriä, jonka halkaisija lasketaan seuraavasti:

Vaikka jääkerroksen muoto on epäsäännöllinen, sen oletetaan tässä vastaavan muodoltaan sylinteriä, jonka halkaisija on  $D$ :

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4I}{9,81\pi\rho_1}}$$

$D$  on johtimen halkaisija [m]

$I$  on jääkuorma johtimen pituusyksikköä kohden [N/m]

$\rho_1$  on jäätymisen ja vastuskertoimen mukainen tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

## 4.6 Riippuma ja lämpötilavaikutukset

Ilmajohdojen riippuma viittaa johtimen kaarevuuteen pylväiden välillä. Riippuman mitoituksessa on varmistettava, että johtimet eivät missään olosuhteissa kuten helleaallon, pakkasen tai suurien kuormitusten aikana alita sähköisiä vähimmäisetäisyyksiä. Suunnittelijan on laskettava johtimien jännitys ja riippuma eri kuormitustapauksissa sekä määriteltävä tarkat alkuriippumat kiristystilanteissa. Riippumien laskentaa varten alueelliset minimi lämpötilat löytyvät Suomen kansallisista vaatimuksista taulukosta 4.7/Fi.1. Näin laskemalla varmistetaan johdon turvallinen ja pitkäaikainen käyttö kaikissa ennakoitavissa olevissa olosuhteissa. (SFS-EN 50341-1,2014, 272.)

## 4.7 Puupylväiden ominaisuudet ja mitoitus

Puupylväät ovat yleisesti käytettyjä rakenteita suomalaisissa keski- ja pienjänniteverkoissa. Ne valmistetaan yleensä männystä ja käsitellään kyllästämällä, jotta niiden kestoikä ja säänkestävyys paranevat. Puupylväät ovat kuitenkin luonnontuotteita, mikä tekee niistä alttiimpia esimerkiksi lahoamiselle kuin monet muut ilmajohdon komponentit. Tämän vuoksi puupylväiden mitoituksessa on otettava huomioon käyttöiän aikana todennäköisesti tapahtuva lujuuden heikkeneminen. Suunnittelussa puupylväiden lujuuden aleneminen voidaan kompensoida käyttämällä suurempia pylväitä kuin alkuperäinen kuormitus vaatisi tai kasvattamalla materiaalin osavarmuuslukua. Näin varmistetaan, että pylväs täyttää vaaditut luotettavuus- ja turvallisuusvaatimukset koko suunnitellun elinkaarensa ajan. (SFS-EN 50341-, 2014, 236 & 232.)

Puupylväille on määritelty käyttörajatilat, jotka liittyvät ensisijaisesti rakenteen taipumaan ja muodonmuutoksiin. Esimerkiksi liian suuri taipuma voi vaikuttaa sekä rakenteen ulkonäköön että sen sähköisiin etäisyyksiin maahan tai muihin rakenteisiin. Näiden rajojen ylitykset voivat johtaa sähköisten turvallisuusvaatimusten alitukseen tai käytännön ongelmiin rakentamisessa ja huollossa. (SFS-EN 50341-2-7,2023, 27.)

Puupylväät mitoitetaan standardin EN 14229 mukaan, joka määrittelee pylväiden mekaaniset ominaisuudet ja vaatimukset. Suomessa puupylväiden mitoituksessa käytetään myös joitakin kansalli-

sia ominaisarvoja. Esimerkiksi Suomalaisesta männystä valmistetun pylvään ominaislujuus on vähintään  $f_k = 41,8$  MPa, ja jos muuta tietoa ei ole saatavilla, voidaan käyttää kimmokertoimen arvona  $E = 10\,000$  MPa. Nämä arvot ovat lähtökohta, ellei puumateriaalin toimittaja ole määrittänyt tarkempia arvoja. (SFS-EN 50341-2-7, 2023, 27.)

## 5 Suunnitteluohjelmistot ja suunnitteluprosessi

### 5.1 Suunnitteluohjelman hyödyntäminen suunnitteluprosessissa

Ilmajohtoverkkojen suunnittelussa ohjelmistojen tarjoamat ominaisuudet voivat tehostaa työprosessia merkittävästi. Esimerkiksi maastomittausvaiheessa säästetään aikaa, mikäli johtoreitin korkeusprofiili haetaan suoraan esimerkiksi Maanmittauslaitoksen Korkeusmalli 2 m -aineistosta. Tällöin maastossa tarvitsee mitata vain johtoreitin pylväspaikat ja mahdolliset kriittiset kohdat, kuten tienylitykset. Erillisiä korkeuspisteitä ei ole tarpeen mitata.

Suunnittelutyön siirtäminen maastosta toimistoon nopeuttaa kokonaisprosessia ja vähentää virheiden mahdollisuutta. Esimerkiksi Profila Cenelec -ohjelmistossa kannatuspylväiden sijaintien määrittely onnistuu tehokkaasti suoraan käyttöliittymässä, jossa pylviäitä voidaan lisätä tasavälein massalisäystoiminnolla. Näin pylväspaikkoja ei tarvitse mitata maastossa etukäteen, ellei sijaintia ole erikseen lukittu esimerkiksi maanomistajan kanssa. (Pajala 2024, 5.)

Lisäksi ohjelmistot voivat tarjota automaattisia työkaluja, kuten pylväspituuden optimointi maastonmuotojen ja helleolosuhteiden vaikutusten perusteella. Tällaiset toiminnot tehostavat suunnittelua ja voivat pienentää rakenteiden kokonaiskustannuksia.

Yksi ohjelmistojen hyödyistä on selkeä ja dokumentoitu johtoprofiili, joka esittää johdon kulun maaston läpi 2D-näkymässä. Profiilista ilmenevät korkeuserot, käytettävät rakenteet komponentteineen sekä muut oleelliset tiedot, kuten harusten etäisyys pylvästä. Hyvin dokumentoitu johtoprofiili toimii rakentajille lähtötietona ja auttaa rakentamisen toteutuksessa.

Ohjelmistot nopeuttavat myös laskentaa, sillä niillä voidaan suorittaa automaattisesti monimutkaisia mitoituskalkuleja, kuten johdinjänniteiden riippumat, pylvään kuormitukset sekä komponenttien kestävyysliittyvät tarkastelut. Näin vähennetään manuaalista työtä ja virheiden mahdollisuuksia sekä saadaan nopeammin selkeitä tuloksia, joita voidaan hyödyntää suoraan suunnittelussa ja dokumentoinnissa.

Tulevassa ohjelmistovertailussa tarkastellaan, kuinka hyvin vastaavat ominaisuudet löytyvät muista markkinoilla olevista ohjelmistoista ja miten ne tukevat suomalaista suunnitteluympäristöä.

## 5.2 GNS-maastomittaus ja korkeusmallit

Ilmajohtoverkkojen suunnittelussa paikkatiedolla on keskeinen rooli. Tarkat sijaintitiedot pylväistä, haruksista ja maaston erityispiirteistä mahdollistavat turvallisen rakentamisen ja kustannustehokkaan suunnittelun. GNS (Global Navigation Satellite) -paikannusteknologian avulla voidaan tallentaa johtoreitin koordinaatit tarkasti. Maastossa mitataan erityisesti pylväspaikat sekä kriittiset kohdat, kuten tienlyitykset, kivikot ja muiden johtojen risteämät. Mittauslaitteesta riippuen paikkatietoon voidaan liittää myös metatietoja, kuten pylvään tyyppi (esim. kulma- tai kiripylväs).

Paikkatieto tallennetaan koordinaattitiedostona, joka sisältää X-, Y- ja Z-koordinaatit sekä mahdollisia rakennetunnisteita. Suomessa yleisesti käytettävä koordinaattijärjestelmä on ETRS-TM35FIN. Yleisimpiä tiedostomuotoja ovat CSV, DWG ja DXF. CSV on yksinkertainen tekstitiedosto, jonka voi avata esimerkiksi Muistiossa ja lukea sellaisenaan. Kerätyt tiedot siirretään suunnitteluohjelmaan, jossa tehdään tarvittavat laskelmat ja suunnitelmat. Muutosten jälkeen uudet koordinaatit voidaan tarvittaessa palauttaa maastoon ja tallentaa verkkoyhtiön paikkatietojärjestelmään.

Maaston korkeusprofiililla on keskeinen vaikutus johtojen mitoittamiseen ja pylväiden sijoitteluun. Suomessa korkeusmalliaineistoa tarjoaa esimerkiksi Maanmittauslaitos. Aineisto on saatavilla esimerkiksi GeoTIFF- ja ASCII Grid -muodoissa. Molemmat ovat rasteripohjaisia tietomuotoja, joita käytetään yleisesti GIS-ohjelmistoissa paikkatietojen tallentamiseen. ASCII Grid on yksinkertainen tekstipohjainen rasteritietomuoto, jossa ruudukon solut edustavat paikkatiedon arvoja, kuten korkeutta.

Rasterimuodot eivät ole suoraan yhteensopivia useimpien suunnitteluohjelmien kanssa, mutta ne voidaan muuntaa haluttuun muotoon ilmaisten GIS-työkalujen, kuten avoimenlähdekoodin omaavan QGIS:n, avulla. QGIS-ohjelmalla voidaan korkeusmallidataa muokata ja viedä suunnitteluohjel-

maan yhteensopivaan muotoon, kuten DXF-, CSV- tai LandXML-tiedostoiksi. Näin toimittiin esimerkiksi Power Path -ohjelmiston kohdalla. Tämä mahdollistaa korkeusdatan käytön suunnittelussa ilman, että kaikkia korkeuspisteitä tarvitsee mitata erikseen maastossa.

Korkeusmallin avulla ohjelmisto voi muodostaa johtoreitistä 2D- tai 3D-profiilin, joka sisältää maastonmuodot ja auttaa mitoittamaan johdinjäljen riippumat. Tällä tavoin korkeusmallien ja GNS-mittauksen yhdistelmä tuo tehokkuutta ja tarkkuutta suunnitteluprosessiin. Tulevassa ohjelmistoverailussa kiinnitetään huomiota siihen, miten eri ohjelmistot tukevat korkeusmallien ja GNS-datan käsittelyä.

## 6 Markkinatutkimuksen vaiheet

Markkinatutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa ilmajohtoverkkojen suunnitteluun soveltuvia ohjelmistoja. Tutkimus aloitettiin verkkopohjaisella tiedonhaulla, jossa hyödynnettiin ilmajohtoverkkoihin, sähköverkon suunnitteluun sekä mekaaniseen mitoitukseen liittyvää sanastoa. Haun avulla pyrittiin löytämään mahdollisimman kattava joukko ohjelmistoja, jotka voisivat soveltua suomalaisiin keski- ja pienjänniteverkkoihin. Hakuprosessin tuloksena löydettiin useita ohjelmistoja, joiden lähtökohdat ja käyttötarkoitukset poikkesivat toisistaan.

Tärkeimmät alustavasti tunnistetut ohjelmistot olivat: **Quick Pole**, **O-Calc Pro**, **Poles 'n' Wires**, **Power Path**, **Livewire** ja **Neara**. Näistä ohjelmista kerättiin taustatietoa valmistajien verkkosivuilta, käyttöoppaista, teknisistä dokumenteista ja esittelyvideoista. Tämän pohjalta muodostettiin alustava kuva ohjelmien käyttömahdollisuuksista ja yhteensopivuudesta suomalaisten standardien sekä rakenteiden kanssa.

Seuraavassa vaiheessa otettiin suoraan yhteyttä ohjelmistojen valmistajiin sähköpostitse tai yritysten yhteydenottolomakkeiden kautta. Viestissä esiteltiin, että työ tehdään osana opinnäytetyötä Jyväskylän ammattikorkeakoululle sekä Infratek Finland Oy:n tarpeisiin. Lisäksi ilmaistiin kiinnostus saada käyttöön kokeiluversio ohjelmistosta sekä esitettiin tarkentavia kysymyksiä ohjelmistojen soveltuvuudesta suomalaiseen sähköverkkosuunnitteluun, erityisesti SFS-EN 50341-1 ja SFS-EN 50341-2-7 standardien näkökulmasta.

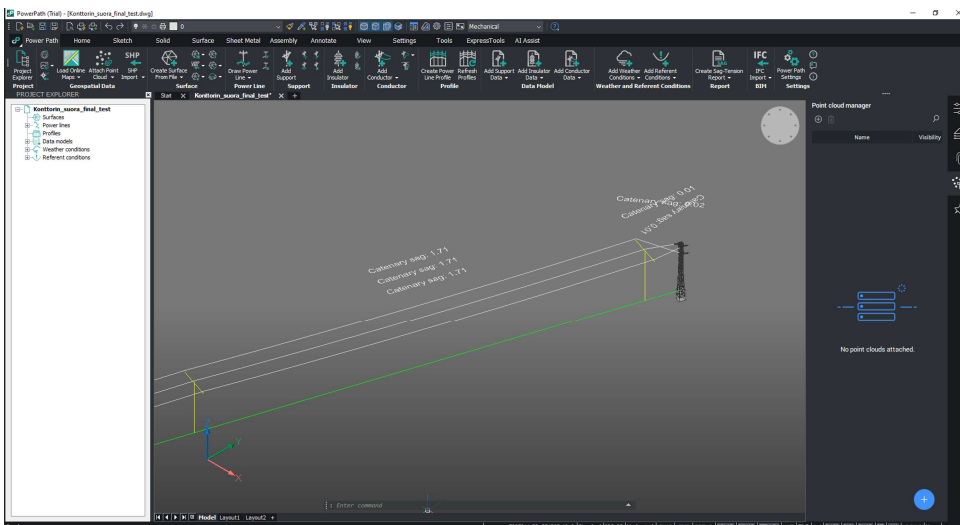
Suurin osa vastanneista ohjelmistotoimittajista suhtautui myönteisesti yhteistyöhön ja tarjosi käyttöön joko koekäyttöversion tai järjestivät ohjelmiston esittelytilaisuuden. Vain osa ohjelmistotoimittajista ei vastannut viesteihin, tai ohjelmiston koekäyttö ei ollut saatavilla ilman erillistä sopimusta. Vastausten perusteella valittiin kolme ohjelmistoa tarkempaan analyysiin: **Quick Pole**, **O-Calc Pro** ja **Power Path**. Näiden ohjelmien valintaan vaikuttivat muun muassa hyvä viestintä, ohjelmiston koekäytön mahdollisuus sekä ohjelman soveltuvuus suomalaisiin olosuhteisiin dokumentoidun tiedon perusteella. Valittujen ohjelmistojen tarkempi tarkastelu esitetään seuraavassa luvussa, jossa kullekin ohjelmistolle suoritetaan SWOT-analyysi ja arvioidaan niiden soveltuvuus suomalaiseen ilmajohtosuunnitteluun.

## 7 Ohjelmat

### 7.1 Powerpath

Power Path DOO on serbialainen yritys, joka keskittyy sähköinfrastruktuurin suunnittelu- ja hallintaprosessien tehostamiseen. Heidän päätuotteensa on Power Path -ohjelmisto, joka kehitetty sähkölinjojen suunnitteluun ja digitaalisten kaksosten luomiseen hyödyntäen BIM (Building Information Modeling) lähestymistapaa. Yrityksen tavoitteena on automatisoida ja nopeuttaa energiasektorin ja rakennusteollisuuden työkulkuja uusien teknologioiden kuten BIM:n avulla. (Power Path, 2021.)

Power Path -ohjelmiston käyttöönotto on helppoa. Heidän kotisivuiltaan voi tilata ilmaisen 30 päivän kokeiluversion, johon sisältyy noin tunnin mittainen Teams-demo. Demossa on mahdollista esittää kysymyksiä asiantuntijoille. Asiakaspalvelu vastasi myös sähköpostitse lähetettyihin kysymyksiin erittäin hyvin, ja vastaukset olivat kattavia. Ohjelmiston käyttö ja tukipalvelu toimivat englanniksi. Ohjelmisto on rakennettu CAD-ympäristöön, joka on monelle suunnittelijalle entuudestaan tuttu. Tämä sekä selkeät ja sopivan lyhyet ohjevideot tekevät käyttöönotosta suhteellisen helppoa ja intuitiivista. Alla olevassa kuviossa 2 yleisnäkymä käyttöliittymästä. Kuvassa puuttuvaa harusta on simuloitu pääterakenteella.



Kuvio 2. Havainnollistava kuva käyttöliittymästä.

Käytettäessä ohjelmistoa saa vaikutelman, että sen pääpaino on yli 20 kV jännitteisten teräsrakenteisten verkkojen suunnittelussa sekä 3D-mallinnuksessa. Ohjelmiston esittelyssä korostettiin myös BIM-mallinnuksen hyötyjä, ja tältä osin ohjelmisto vaikuttaa pätevältä. Tästä huolimatta ohjelmistosta löytyy yksinkertaistetut 3D-mallit pylväistä sekä orsien ja eristimien malleja, joita voi tarvittaessa luoda itse omilla tuulikuorma-arvoilla ja ominaisuuksilla. Myös 2D mallinnus onnistuu ja ohjelma tulostaa selkeän johtoprofiilin rakenne, maasto ja johdin tietoineen.

### **7.1.1 GNS- yhteensopivuus ja datatyypit**

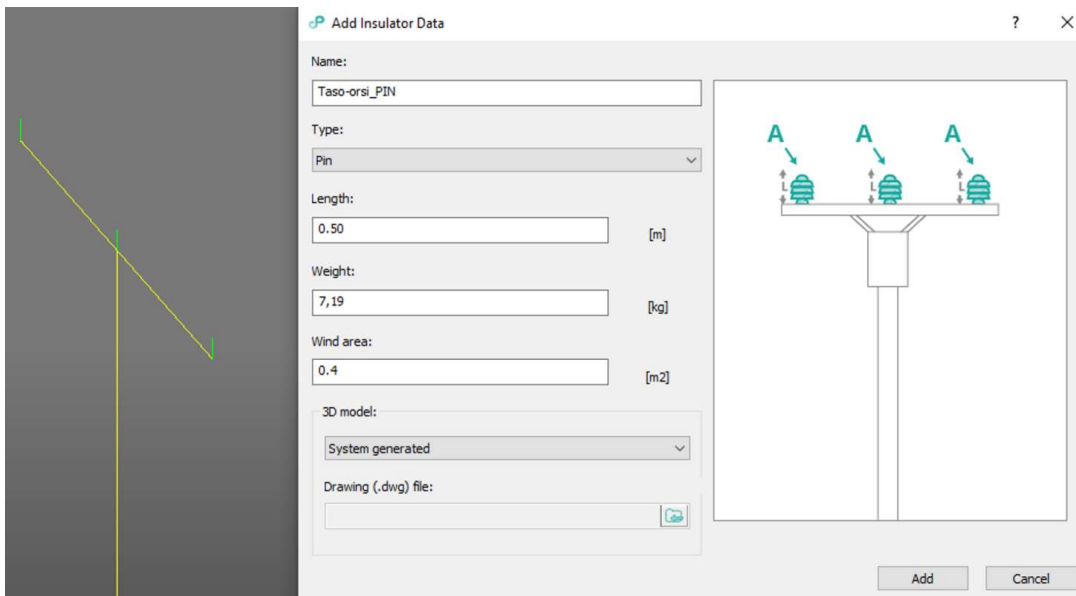
Power Path ei suoraan pysty käyttämään maanmittauslaitoksen GeoTIFF ja ASCII Grid rasteritietomuotoja vaan ne on muutettava vektoritietomuotoon esimerkiksi QGIS ohjelmalla. Power pathissa on mahdollista käyttää myös landXML, DXF ja DWG tiedostomuotoja maaston korkeuserojen mallinnukseen. Käyttäjätuen kanssa viestitellessä selvisi, että on olemassa myös eurooppalaisia alustoja korkeusmallien lataamiseen. Niissä on saatavilla suoraan LandXML korkeusmalli. Näitä käyttämällä vältetään datamuunnoksilta.

Pylväiden sijainnit syötetään ohjelmaan tekstitiedostona jokainen koordinaatti omalle rivilleen (Esim: T;6589979.487;4749568.185;1432.88). Mukaan ei voi laittaa muuta tyyppitietoa kuin sen, onko kyseellä "support" (kannatusrakenne esim. suoran pylväs) tai "tension" (jännitetty rakenne esim. kulma tai päätepylväs). Ohjelma pystyy tulostamaan ilmajohdosta selkeän sivuprofiilin, josta näkee käytettävät rakenteet, riippumat ja maaston muodot. Dokumentti on hyvin selkeä ja sen tietoja voisi käyttää sellaisenaan rakentajille.

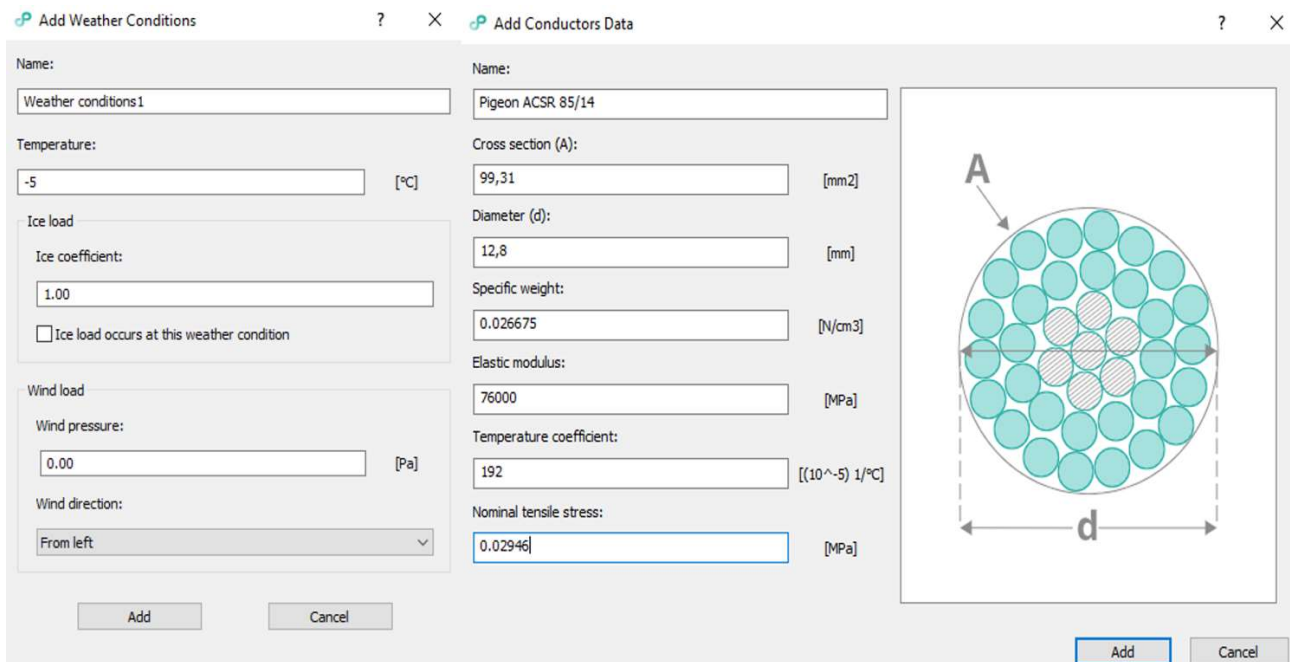
### **7.1.2 Standardin vaatimukset ja mekaaninen mitoitus ohjelmassa**

Ohjelmisto käyttää laskennoissa Eurooppalaista SFS-EN 50341-1 standardia sekä Slovenian kansallisia vaatimuksia. Kaikki käytettävät kaavat ja laskentaesimerkit löytyvät ohjelmiston internet sivuilta. Ohjelmiston esittelijän mukaan myös muiden maiden – Suomi mukaan lukien - kansallisia vaatimuksia tullaan lisäämään ohjelmaan.

Ohjelmistossa ei ole vakiona Suomalaisia puupylväitä tai orsirakenteita. Näiden lisääminen ohjelmaan on kuitenkin helppoa ja rakenteet voidaan tarvittaessa mallintaa hyvinkin tarkkaan CAD-3d malleina. (Ks. kuvio 3) Myös kaikki muut ilmojohdon komponentit pystytään luomaan tarvittaessa itse, esimerkiksi johtimet. (Ks. kuvio 4.) Sen sijaan käytönrajoja rakenteille ei voi määrittää. Käyttäjän on siis itse valittava oikea pylvään vahvuus laskennan perusteella eikä ohjelma näin ollen voi ilmoittaa, mikäli jonkin rakenteen vahvuus ei riitä. Ohjelman toinen miinus on, että se ei osaa erottaa rakenteissa haruksia tai tukipylväitä ja näin ollen laskea niihin kohdistuvia voimia. Tämän vuoksi esimerkiksi haruksen tai tukipuun kestoa on arvioitava mahdollisesti taulukkojen avulla. (Ks. kuvio 5.)



Kuvio 3. Eristimen ja orsien luonti ohjelmassa. Voidaan toteuttaa myös CAD-mallina.



Kuvio 4. Vasemmalla sääolosuhteiden ja oikealla johtimen tietojen muokkausta.

Support : Pylväs\_101  
 Type : Tension  
 Orientation : 71.95 [°]  
 Powerline direction change : 0.00 [°]  
 Wind span : 4.16 [m]  
 Weight span : 0.00 [m]

CONDUCTORS				
Name	Model	Temperature [°C]	Ice load [N/cm³]	Wind pressure [Pa]
Phase1	ALFe_95/15	40	0.060456	0
Phase2	ALFe_95/15	40	0.060456	0
Phase3	ALFe_95/15	40	0.060456	0

1. TABLE OF CONDUCTOR LOADS ON ATTACHMENT POINTS						
Attachment point		Cable				
Name	Orientation	Name	Tension Force [N]	Vx [N]	Vy [N]	Vz [N]
AP1	Front	Phase1	2421.22	2262.44	-808.02	-301.30
AP2	Front	Phase2	2472.72	2377.11	-363.84	-575.56
AP3	Front	Phase3	2497.43	1971.95	1370.81	-685.16

3. TABLE OF LOADS ON SUPPORT			
Summary attachment point loads			
Name	sum Vx [N]	sum Vy [N]	sum Vz [N]
AP1	2262.44	-808.02	-38.90
AP2	2377.11	-363.84	-313.16
AP3	1971.95	1370.81	-422.76
APGW1	0.00	0.00	0.00

Kuvio 5. Pylvään voimarasitustaulukko ohjelman tulostamana

Ohjelma tulostaa mekaaniset laskelmat Excel pohjalle selkeästi, mutta esim. pylvääseen kohdistuvat voimat ilmoitetaan vektoreina x, y ja z koordinaatistossa. Tämän vuoksi käyttäjän on siis itse laskettava vielä summavektori, jotta selviää pylvääseen vaikuttava kokonaisvoima. Tämän voisi

tehdä suoraan laskentaraporttiin Excel kaavalla melko helposti, mutta tämä olisi tehtävä jokaiselle pylväälle erikseen mikä on harmillisen työlästä.

Kaiken kaikkiaan Power Path on mielestäni hyvä ohjelmisto. Sen etuja ovat selkeys ja helppokäyttöisyys sekä EU-standardien tuki ja myöhemmin mahdollisesti tulevat kansalliset standardit. Suurin harmi on, että rakenteille ei voi asettaa käytönrajoja eikä niiden eri osia voi erotella (harukset) ja tulos raportin laskelmat eivät ole sellaisinaan täydellisiä. Tämä aiheuttaa pientä säätöä sinne tänne sekä manuaalista työtä kun käytön rajoja tarkistetaan käsin taulukoista. Tätä on syytä arvioida siltä kannalta, onko ohjelman tarjoamat muut ominaisuudet niin hyviä, että ne kompensoivat ajallisen menetyksen, joka aiheutuu lisä laskennasta ja tarkistelusta. Ohjelmiston kehittäjältä pitää myös tiedustella lisää olisiko haluamiamme ominaisuuksia mahdollista lisätä ohjelmaan. Palaverin perusteella he olivat kiinnostuneita kehitys mielessä kaikista ongelmista, joita kohtasimme, mutta ainoastaan uuden standardin tuomisesta tulevaisuudessa oli selvää puhetta.

### 7.1.3 SWOT-analyysi PowerPath

Taulukko 3. Power Path-Ohjelman SWOT-analyysi

Sisäiset tekijät:

VAHVUUDET +	HEIKKOUEDET -
<p>Tuttuun CAD-ympäristöön pohjautuva käyttöliittymä</p> <p>Hyvä asiakaspalvelu, selkeät käyttöohjeet &amp; videot, selkeät raportit</p> <p>Tukee SFS-EN 50341-1 -standardia</p> <p>Komponentteja voidaan muokata ja luoda monipuolisesti. Myös 3D-mallinnus</p> <p>Monipuolinen GIS-yhteensopivuus ja maastonmuotojen luku</p>	<p>Ei mahdollisuutta määrittää käytönrajoja ja niitä koskevien varoitusten puuttuminen</p> <p>Haruksia ja tukipylväitä ei voi mallintaa erillisinä elementteinä ja niiden voimarasituksia ei lasketa erikseen</p> <p>Laskennassa tulokset ilmoitetaan vektoreina ilman summavoima laskentaa</p>

Ulkoiset tekijät:

MAHDOLLISUUDET +	UHAT -
<p>Kehittäjien mukaan SFS-EN 50341-2-7 standardi voidaan tuoda ohjelmaan</p> <p>Tuki BIM-yhteensopivuuksille</p> <p>Digitaalisten kaksosten hyödyntämismahdollisuus</p> <p>Ohjelman kehittäjät ovat ainakin osittain valmiita päivittämään ohjelmaa käyttäjien toiveiden pohjalta (standardit ja kielituki)</p>	<p>Ohjelmisto on enemmän suunniteltu yli 20 kV jännitetason verkkoihin ja BIM-lähestymistapaan.</p> <p>On epäselvää kuinka paljon kehittäjillä on resursseja lisätä uusia suunnittelua helpottavia ominaisuuksia</p>

## 7.2 Sonideft quick pole

Sonideft on vuonna 2004 perustettu Pohjois-Amerikassa toimiva ohjelmistoyritys, joka pääasiallisesti keskittyy sähköjakeluverkkujen ja viestintäverkkojen tarpeisiin suunniteltujen ohjelmistojen kehittämiseen. Yrityksen lippulaivatutuote on Quick Pole, joka on nimenomaan tehty ilmajohtojen mekaaniseen mitoittamiseen. (Answers to common questions, 2025.) Quick Polen työpöytä näkymä esitellään kuviossa 6. Alalaidassa näkyy tehty testilinja.

Ohjelma toimii tällä hetkellä kahdella eri markkina-alueella ja tukee siten jo valmiiksi kahta eri standardia CSA Canadassa ja NESC Yhdysvalloissa. Tämän vuoksi ohjelmassa on jo valmiuksia erilaisille tietokannoille esimerkiksi molemmille CSA- ja ANSI-pylväille on omat tietokantansa. Ohjelma tukee myös betonisia, teräs- ja FRP-komposiittipylväitä siten, että teräspylväitä voidaan tuoda .spp-tiedostomuodoissa, joita käytetään esimerkiksi PLS-Cadissa. Ohjelman ydintoiminnot luettuna esittelystä ovat rakenteellinen analyysi, välimatkojen sekä riippumien ja johdinjännityksien laskenta. (Sonideft, 2025.)



Kuvio 6. Quick Polen työpöytä näkymä. Kuvankaappaus ohjelmiston koekäytöstä.

QuickPolen käyttöönotto oli sujuvaa. Testiversion asennus toimi moitteetta ja käyttäjä pääsi töihin heti asennuksen jälkeen. Ohjelman yleisvaikutelma on selkeä, eikä siinä ole tarpeettomia ominaisuuksia, kuten 3D-mallinnusta tai verkoston ylläpitoon liittyviä sovelluksia. QuickPole keskittyy pääasiassa mekaaniseen mitoitukseen ja tarjoaa erittäin tarkkaa laskentaa. Tämä näkyy esimerkiksi siinä, että kaikki informaatiotaulut ovat kattavia. Lisäksi ohjelma tukee sekä lineaarista että epälineaarista suunnittelua ja sisältää ominaisuuksia maaperän kestävyuden analysointiin. Kattavat analyysimahdollisuudet voivat kuitenkin hidastaa käytettävyyttä, sillä ne edellyttävät enemmän manuaalista työtä. Esimerkiksi jokainen vaihdejohdin on ripustettava pylväälle erikseen, ja niiden korkeudet on asetettava yksitellen.

Selkeästä käyttöliittymästä huolimatta ohjelman käyttö oli aluksi haastavaa. Sähköpostitse sovimme kuitenkin Teams-tapaamisen Sonideftin henkilökunnan kanssa, jossa käytiin läpi ohjelman peruskäyttömenetelmät. Palaverin jälkeen ohjelmiston käyttö selkeytyi, ja pienen testilinjan itsenäinen suunnittelu koordinaattien perusteella onnistui. Tässä mielessä QuickPole ansaitsee kiitosta asiakaspalvelustaan. Käyttöopastuksen antoi heidän pääinsinööriinsä, jolla oli selvästi vankka kokemus sekä kenttätöistä että suunnittelusta ja ohjelmistoista. Apua sai nopeasti sähköpostitse, ja palaveri järjestyi heti pyynnöstä.

### **7.2.1 GNS-yhteensopivuus ja datatyypit**

QuickPole ei tällä hetkellä pysty lukemaan maanpinnan mittadataa, mutta ohjelmiston kehittäjän mukaan heille on esitetty pyyntö lisätä tuki maanpinnan korkeustietojen hakemiselle Google Maps API:n kautta. Tämä voisi tulevaisuudessa mahdollistaa maastonmuotojen hyödyntämisen ohjelmassa. Toisaalta samassa keskustelussa he kertoivat, että nykyiset käyttäjät hankkivat maanpinnan korkeuspisteet erilaisilla kenttädatan keräysmenetelmillä, joita QuickPole tukee. Yksi esimerkki tällaisesta ohjelmasta on IKE GPS.

Poikkeavat maastonmuodot on siis toistaiseksi mitattava erikseen maastosta ja syötettävä ohjelmaan yksittäisinä pisteinä, joille asetetaan aluekohtaiset korkeusvaatimukset. Koordinaattidatan

lukemiseen QuickPole tukee KML- ja KMZ-tiedostotyyppisiä sekä .csv-tekstitiedostoja, joilla voidaan myös lisätä rakennedatua koordinaatteihin. Testikäytössä DWG-tiedoston muuntaminen KML-muotoon onnistui hyvin, ja linja saatiin vietyä ohjelmaan ilman ongelmia. (Ks. kuvio 8.)

#	EGS	User Flag	Street	Description	Category	Connects to	Northing (m)	Easting (m)	Project Latitude °	Project Longitude °	WGS84 Latitude °	WGS84 Longitude	Elevation (m)	Structure Name	Survey Name	All NameTag	Design Notes	MR Notes	Extra Data
1				P1	Pole		784547839249.434	-3063480.973	7062352	82.38	7062352	82.38		P1					
2				P10	Pole		784509175670.556	-36468434.456	7061982.36	-128.32	7061982.36	-128.32	102.78	P10					
3				P11	Pole		784526237185.516	18751884.22	7061915.62	-138.02	7061915.62	-138.02	104.81	P11					
4				P12	Pole		784514036674.256	15824245.554	7061884.26	-171.5	7061884.26	-171.5	103.48	P12					
5				P13	Pole		784491375504.937	2466077.609	7061830.42	150.43	7061830.42	150.43	105.12	P13					
6				P14	Pole		784489295483.344	4033928.446	7061818.37	101.99	7061818.37	101.99	107.28	P14					
7				P15	Pole		784481820884.748	2315625.168	7061825.5	54.67	7061825.5	54.67	110.89	P15					
8				P16	Pole		784488456582.268	402795.054	7061833.29	23.97	7061833.29	23.97	113.67	P16					
9				P2	Pole		784545686634.709	-1705438.518	7062332.25	74.04	7062332.25	74.04	98.46	P2					
10				P3	Pole		784540999984.422	588497.203	7062346.25	26.2	7062346.25	26.2	95.54	P3					
11				P4	Pole		784536205934.937	5941178.934	7062274.25	-23.19	7062274.25	-23.19	100.94	P4					
12				P5	Pole		784530110916.917	3125577.932	7062233.27	-48.38	7062233.27	-48.38	104.15	P5					
13				P6	Pole		784530677087.672	-1221158.248	7062187.59	-118.75	7062187.59	-118.75	105.11	P6					
14				P7	Pole		784517388055.324	-1416993.956	7062146.27	-164.31	7062146.27	-164.31	105.69	P7					
15				P8	Pole		784486277487.262	-12209454.296	7062081.64	-153.48	7062081.64	-153.48	105.19	P8					
16				P9	Pole		784509932927.607	399954.31	7062033.17	-141.2	7062033.17	-141.2	104.23	P9					

Kuvio 7. Pylväiden sijaintien vienti KML muodossa ohjelmaan. Havainnekuva ohjelmistosta.

## 7.2.2 Standardin vaatimukset ja mekaaninen mitoitus

QuickPole ei tällä hetkellä tue eurooppalaista standardia, mutta Sonideftin pääinsinöörin kanssa käydyssä palaverissa heidän mukaansa kolmannen suuren standardin ja kansallisten vaatimusten-tuominen ohjelmistoon on mahdollista. Tämä kuulostaa uskottavalta, koska esimerkiksi Kanadassa standardit ovat joka provinssissa hieman erilaiset aivan kuten Euroopassakin on kansallisia vaatimuksia. Ohjelmistolla on siis hyvät valmiudet uuden standardin integrointiin. Samalla logiikalla Suomalaisten puupylväiden lisääminen pitäisi onnistua hyvin, koska Kanadassa on samanlaiset puulajit. Versiologin perusteella näyttäisi, että ohjelmistoa päivitetäänkin ahkeraan sillä jo tänä vuonna 2025 ohjelmaan on tullut useita päivityksiä.

Käyttäjä ei itse pysty lisäämään tai luomaan ohjelmaan komponentteja pois lukien johtimet. Pylväitä ja haruksia voidaan lisätä ohjelmaan, mutta se on tehtävä ohjelmiston ylläpitäjien toimesta. Orsi-rakenteet sen sijaan puuttuvat ohjelmasta täysin ja näin ollen niiden kestävyttä ohjelmisto ei pysty määrittämään eikä dokumentteihin voida tulostaa tietoa mikä orsityyppi on kyseessä. Orren

kestävyys olisi näin ollen katsottava taulukoista ja tieto siitä olisi lisättävä rakentajien dokumentteihin. Kuviossa 8 on esitetty yksittäisen pylvään tietotaulu, jossa haruksen käytönrajan ylitys näkyy punaisella.

QuickPole 7.04.24  
File Edit Tools Windows Help  
Start Page x Tools 1 x 1-111 / Reference x Pylväs 1 x

Data Entry Analysis/Output

General Guying, Anchoring & Equipment  
+Anchor +Brace +Equip +Point Load

Rotated Side View  
Structure Pylväs\_1 40 R Class 4  
Setting Depth = 1.829 m  
Groundline Elevation =

Notes Initialization Messages Imported Attributes How to use this window  
Make Ready Notes Design Notes

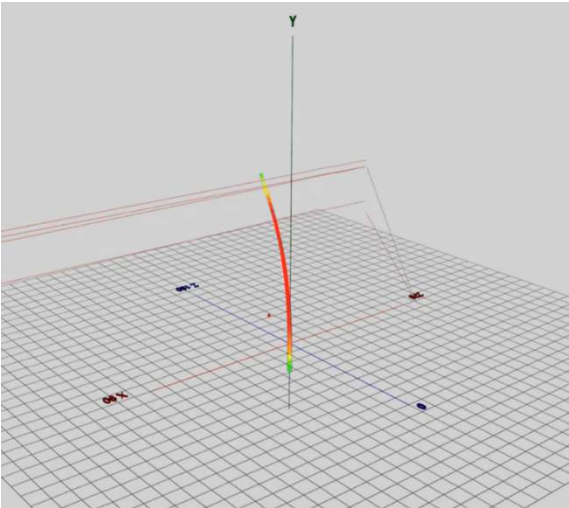
Height Adjustments  
Value (m) Apply  
Height Choices  
 Height Above Ground  Height from Top of Structure  Absolute Elevation  
Analyze Structure Last Result= 124.5%

#	Height above Groundline (m)	Type	Description	Connects to	Line Angle	Horiz. Dist (m)	Pole Side Angle	Options	Bottom Height (m)	Last % Util.	Voltage	Tag	Other ID	Notes	Suppress ?
1	10.1	Power Wire	1/0 ACSR Bare "Raven"	Pylväs_2	270.5°	59.828	180.5°			58%					
2	10.1	Power Wire	1/0 ACSR Bare "Raven"	Pylväs_4	60.5°	60.728				59%					
3	10	Power Wire	1/0 ACSR Bare "Raven"	Pylväs_2	270.5°	59.828	180.5°			58%					
4	10	Power Wire	1/0 ACSR Bare "Raven"	Pylväs_2	270.5°	59.828	180.5°			58%					
5	10	Power Wire	1/0 ACSR Bare "Raven"	Pylväs_4	60.5°	60.728				59%					
6	10	Power Wire	1/0 ACSR Bare "Raven"	Pylväs_4	60.5°	60.728				59%					
7	7.284	Gal Wire	1/4 inch dia	Anchor	135°	6.003				94%					
8	0	Anchor	10' Single Helix 1" rod		135°	6.003				45.1%	45.1%		10' Single Helix 1"		

Top View  
Camera View Rotation  
-180 -135 -90 -45 0 45 90 135 180

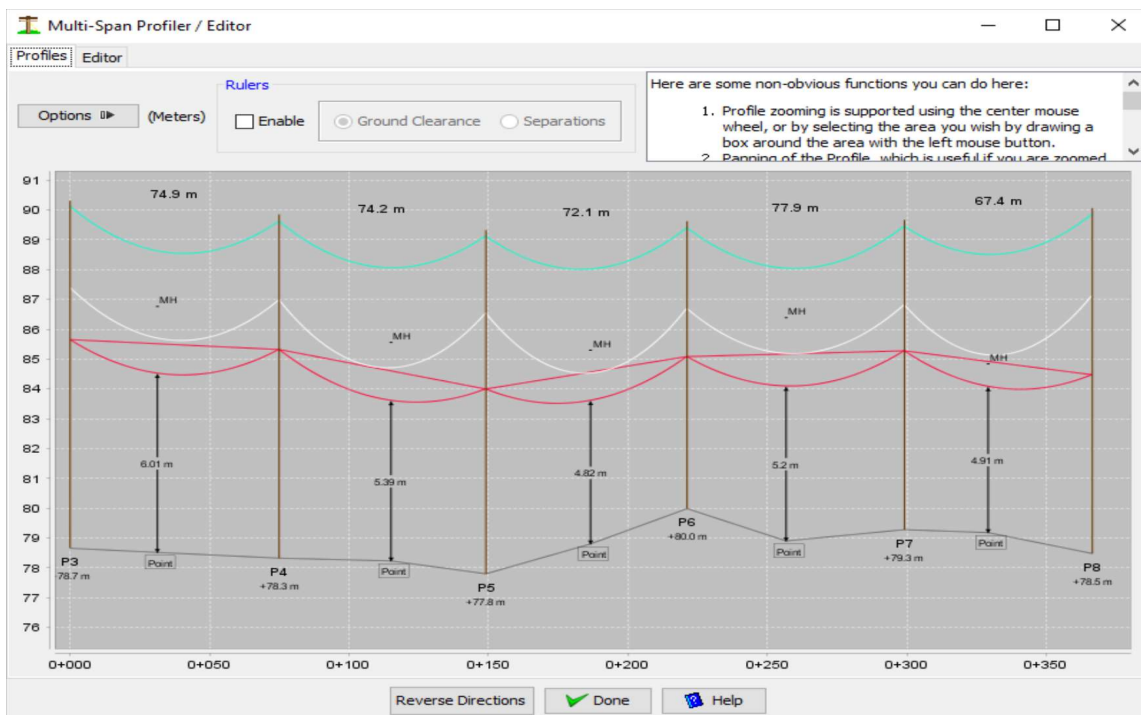
Kuvio 8. Yksittäisen pylvään tietotaulu.

Koekäytön perusteella QuickPole on parhaimmillaan mekaanisessa mitoittamisessa ja puhtaassa laskennassa. Riippumien ja jännitysten sekä rakenneanalyysojen laskeminen onnistuu ohjelmassa hyvin ja erittäin tarkasti siten, että käyttäjä voi säätää monia yksityiskohtia kuten vaikkapa omia käytönrajoja ja säätiloja. Tässä on sekä hyvät, että huonot puolensa sillä rakenneanalyysin jälkeen ohjelma tulostaa useita sivuja tietoja pylvästä mikä aluksi hankaloittaa oikean tiedon löytämistä. Onneksi ohjelma kuitenkin korostaa kestävyys ylittävät laskennat punaisella. (Ks. kuvio 9.) Ohjelmistosta löytyy myös sivuprofiilin tulostus, josta onkin mukava katsella riippumia, mutta siitä puuttuvat rakennetiedot kuten mikä orsi ja pylvästyyppi on kyseessä. (Ks. kuvio 10.) Sivuprofiilin tulostaminen selkeänä rakennetietoineen on tärkeää, jotta saadaan rakentajille kattava dokumentti, jonka perusteella ilmajohdon rakentaminen onnistuu. QuickPolen sivuprofiili ei siis sellaisenaan ole hyvä vaan siihen olisi saatava ko. tiedot.



Kuvio 9. 3D-näkymä pylvääseen vaikuttavista voimista.

QuickPole on pätevä ohjelmisto. Sen pahin kilpailija tulee samalta mantereelta ja on O-Calc Pro. Mikäli päätyy amerikkalaiseen ohjelmistoon, on valinta tehtävä näiden väliltä. Quick Pole ohjelmana toimii hyvin ja asiakaspalvelu oli jatkuvasti saatavilla. Lisäksi ohjelmiston kehittäjät lupaavat ohjelman olevan muokattavissa käyttäjän tarpeisiin ja vakuuttivat standardien olevan lisättävissä.



Kuvio 10. Sivuprofiili ja riippumat.

### 7.2.3 SWOT-analyysi Sonideft Quick Pole

Taulukko 4. Sonideft Quick Pole SWOT-analyysi

Sisäiset tekijät:

VAHVUUDET +	HEIKKOUEDET -
<p>Hyvä laskentatyökalu mekaaniseen mitoituseseen. Paljon ominaisuuksia ja käyttäjä voi määrittää esim. omia raja-arvoja</p> <p>Ohjelma soveltuu hyvin puupylväille ja 20 kV verkoille</p> <p>Erinomainen asiakaspalvelu ja tekninen tuki – vastaukset ovat nopeita ja kattavia</p> <p>Kehittäjä tarjosi henkilökohtaista ja kiireetöntä opastusta ohjelmiston käytössä</p>	<p>Orsien mallinnus puuttuu</p> <p>Ei tue tällä hetkellä maastonmuotojen mittausdataa</p> <p>Sivuprofiilin dokumentointi ei huomio rakenteita (tulostettava dokumentti rakentajille)</p> <p>Suunnittelua helpottavia toimintoja voisi olla enemmän</p>

Ulkoiset tekijät:

MAHDOLLISUUDET +	UHAT -
<p>Standardien lisääminen ohjelmaan vaikuttaa realistiselta ja kehittäjällä kokemusta useammasta standardista</p> <p>Tuki IKEGPS-järjestelmälle</p> <p>Jatkuva ja saatavilla oleva käytöntuki</p> <p>Suomen kieli kehittäjien mukaan lisättävissä helposti ohjelmaan</p>	<p>Maastonmuotojen mittausdata vielä epäselvä tuleeko esim. Google Earthin kautta vai pysytäänkö vain IKEGPS</p> <p>Käyttäjä ei voi itse muokata tai luoda uusia komponentteja. Ne on tilattava kehittäjän kautta</p> <p>Standardit luotava ohjelmaan</p>

### 7.3 O-Calc Pro

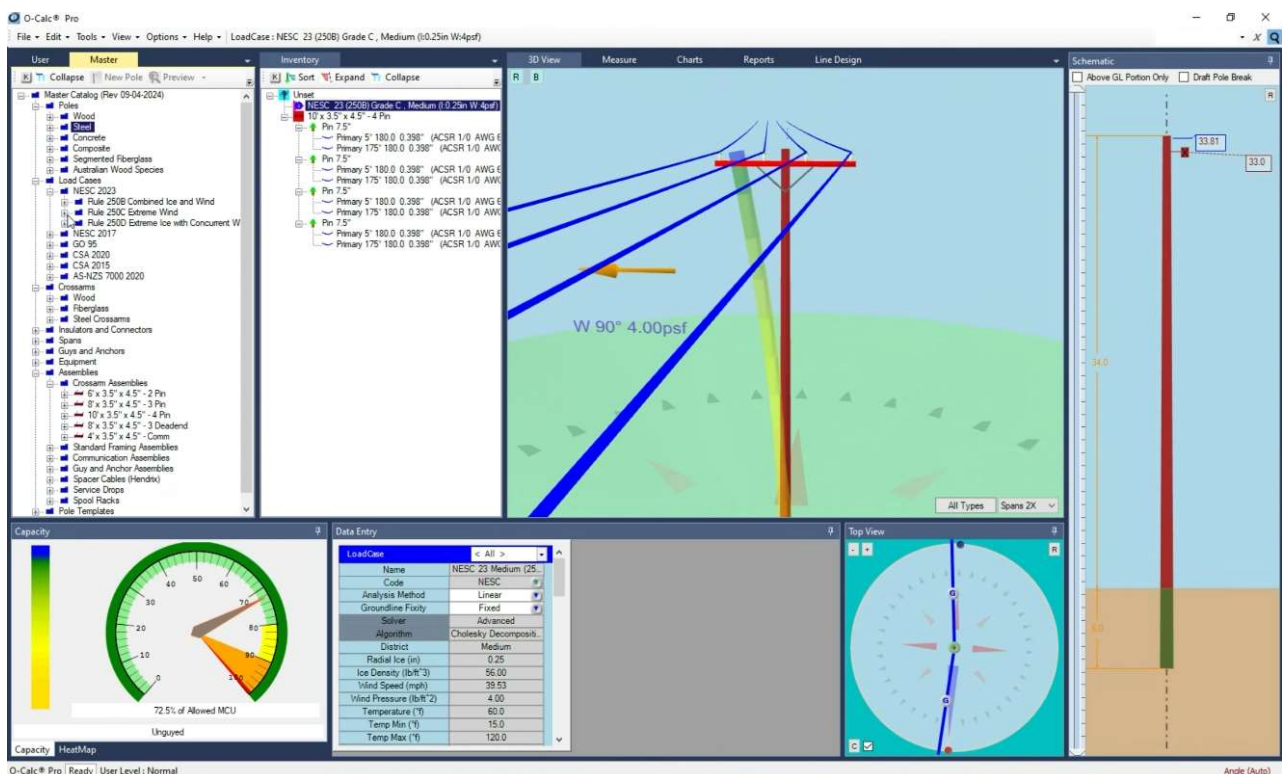
Osmose Utilities Services on vuonna 1934 perustettu yritys, joka tarjoaa kriittisiä tarkastus-, ylläpito- ja kunnostuspalveluja sähkö- ja telekommunikaatioalan yrityksille. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Atlantassa, Georgiassa, ja se työllistää yli 4 000 henkilöä. Osmose tunnetaan erityisesti puu- ja teräsrakenteiden tarkastus-, käsittely- ja kunnostuspalveluistaan, jotka auttavat asiakkaita parantamaan infrastruktuurinsa turvallisuutta, luotettavuutta ja kestävyyttä. (About Osmose, 2023; Osmose Utilities Services, 2025.)

Vaikkakin Osmosen päätoiminnot ovat fyysisessä maailmassa O-Calc Pro on yksi Osmosen merkittävimmistä tuotteista. Heidän mukaansa se on alan johtava pylväskuormitusanalyysiohjelmisto, jota käyttävät sähkö- ja telekommunikaatioalan yritykset sekä laajakaistapalveluntarjoajat maailmanlaajuisesti. O-Calc Pro mahdollistaa puu-, teräs-, komposiitti- ja betonipylväiden mallintamisen ja analysoinnin joko yksittäisinä pylväinä tai kokonaisina linjasuunnitelmina. Ohjelmisto simuloi erilaisia sääolosuhteita, kuten hirmumyrskyjä tai lumimyrskyjä, auttaen pylväänomistajia ymmärtämään, mitkä pylväät ovat riskialttiita äärimmäisissä sääolosuhteissa. (O-Calc Pro Pole Loading Analysis Software, 2023.)

O-Calc pro ohjelmistosta ei ole suoraan saatavilla testiversiota, mutta nettisivujen kautta yritys vastailee yhteydenottoihin hyvin ja aika Teamsin kautta pidettävään esittelyyn varautui nopeasti. Kaikki tästä ohjelmasta tutkittu tieto perustuu siis ohjelmasta pidettyyn esittelyyn ja yrityksen verkkosivuilta saatavaan tietoon, ohjeisiin ja käytönoppaisiin. Osmosen ote yhteyden pidossa onkin hyvin palvelutuote painotteinen ja esittely ei ole erityisen yksityiskohtainen vaan siitä jää käsitys, että kunhan ostaa palvelun se räätälöidään sopivaksi asiakkaan tarpeisiin. Esittelijä sanookin, että mikäli päädyimme ohjelmistoon, heidän asiantuntijansa tulee lentämällä Suomeen kartoittamaan tarpeemme ohjelmistoon liittyen ja tällöin katsotaan yhdessä paikan päällä tarvittavat asiat kuntoon. Esittelijä myös sanoo, että tarvittaessa trial versiota voidaan viritellä käyntiin, koska olemme ensimmäinen toimia Suomessa ja Euroopassa, joka ottaisi ohjelmiston käyttöön.

O-Calc Pron työpöytä näkymä on selkeä ja intuitiivinen. (Ks. kuvio 11.) Sen oikeassa laidassa on ns. pääluettelo, josta löytyvät kaikki komponentit kuten pylväät, harukset, eristimet ja jopa muuntajat

tai katuvalot. Tästä päälueetelosta siirretään kaikki tarvittava mukaan lukien mm. säätilat ja mitä standardia käytetään keskellä olevaan rakenteeseen tarvittavat osat click and drop tekniikalla, jolloin vasempaan laitaan piirretty reaaliaikaisesti yksinkertainen 3D-näkymä pylvästä tai rakenteesta. Yksinkertaisuudesta huolimatta 3D-näkymä on hyvä ja näyttää kaiken oleellisen selkeästi indikoimalla lämpökarttamaisesti pylvään rajatiloista. Työpöydän alareunassa on myös taulukot jännitysvoimien näyttämiseen lukuarvoina sekä tietojen syöttöikkuna, josta voidaan muokata kattavasti kaikkia rakenteen ominaisuuksia.



Kuvio 11. Calc-O Pron työpöytä näkymä.

### 7.3.1 GNS- yhteensopivuus ja datatyypit

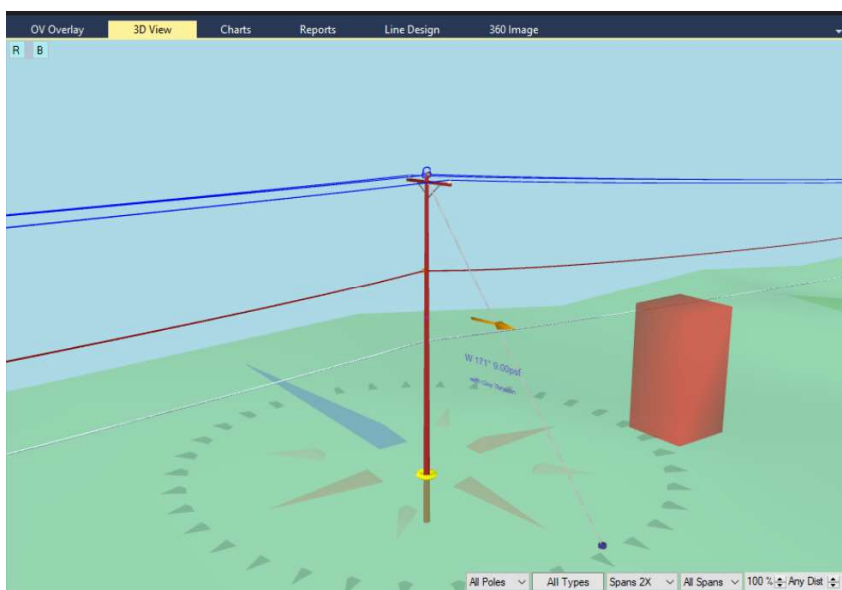
O-Calc Pro -ohjelmisto tukee paikkatiedon määrittelyssä ensisijaisesti CSV (Comma-Separated Values) -tiedostoja. CSV etuina pylväiden sijaintitietojen lisäksi voidaan tuoda muitakin attribuutteja kuten pylvään tyyppiä esimerkiksi vahvuusluokka tai puulaji. GIS-tiedosto muodoista ohjelmisto tukee SHP (shapefile) ja GeoJSON tiedostomuotoja. Vaikka suoraa tukea muille paikkatiedosto muodoille ei ole mainittu O-Calc Pro tarjoaa mahdollisuuden käyttää mukautettuja lisäosia

(pluginejä), jotka mahdollistavat yhdessä QGIS-ohjelmiston kanssa, että muiden tiedosto muotojen kuten DWG:n muuntaminen CSV tai SHP muotoon onnistuu. Alla kuvio 12 havainnollistaa esimerkin CSV-tiedoston attribuuteista.

	A	B	C	D	E	F	G
1	30	45.31702	-85.2637	613.5	35	4	SOUTHERN PINE
2	31	45.31714	-85.264	616.8	45	4	SOUTHERN PINE
3	32	45.3168	-85.264	613.5	45	4	SOUTHERN PINE
4	33	45.31646	-85.264	613.5	45	4	SOUTHERN PINE
5	34	45.31611	-85.2641	607	45	4	SOUTHERN PINE
6	35	45.31562	-85.2641	607	45	4	SOUTHERN PINE
7	36	45.31521	-85.2641	613.5	45	4	SOUTHERN PINE
8	37	45.3148	-85.2641	613.5	45	4	SOUTHERN PINE
9	40	45.31409	-85.2642	633.2	30	4	SOUTHERN PINE
10	41	45.31405	-85.264	633.2	45	4	SOUTHERN PINE
11	42	45.31407	-85.2634	633.2	45	4	SOUTHERN PINE
12	43	45.31408	-85.2628	626.2	45	4	SOUTHERN PINE
13	44	45.3141	-85.2623	626.2	45	4	SOUTHERN PINE
14	45	45.31408	-85.2617	626.2	45	4	SOUTHERN PINE
15	46	45.31409	-85.2612	623.4	45	4	SOUTHERN PINE
16	47	45.31402	-85.2605	623.4	45	4	SOUTHERN PINE
17	50	45.31278	-85.2605	633.2	45	4	SOUTHERN PINE
18	51	45.31316	-85.2606	629.9	45	4	SOUTHERN PINE
19	52	45.31358	-85.2605	629.9	45	4	SOUTHERN PINE

Kuvio 12. Esimerkki CSV-tiedoston attribuuteista.

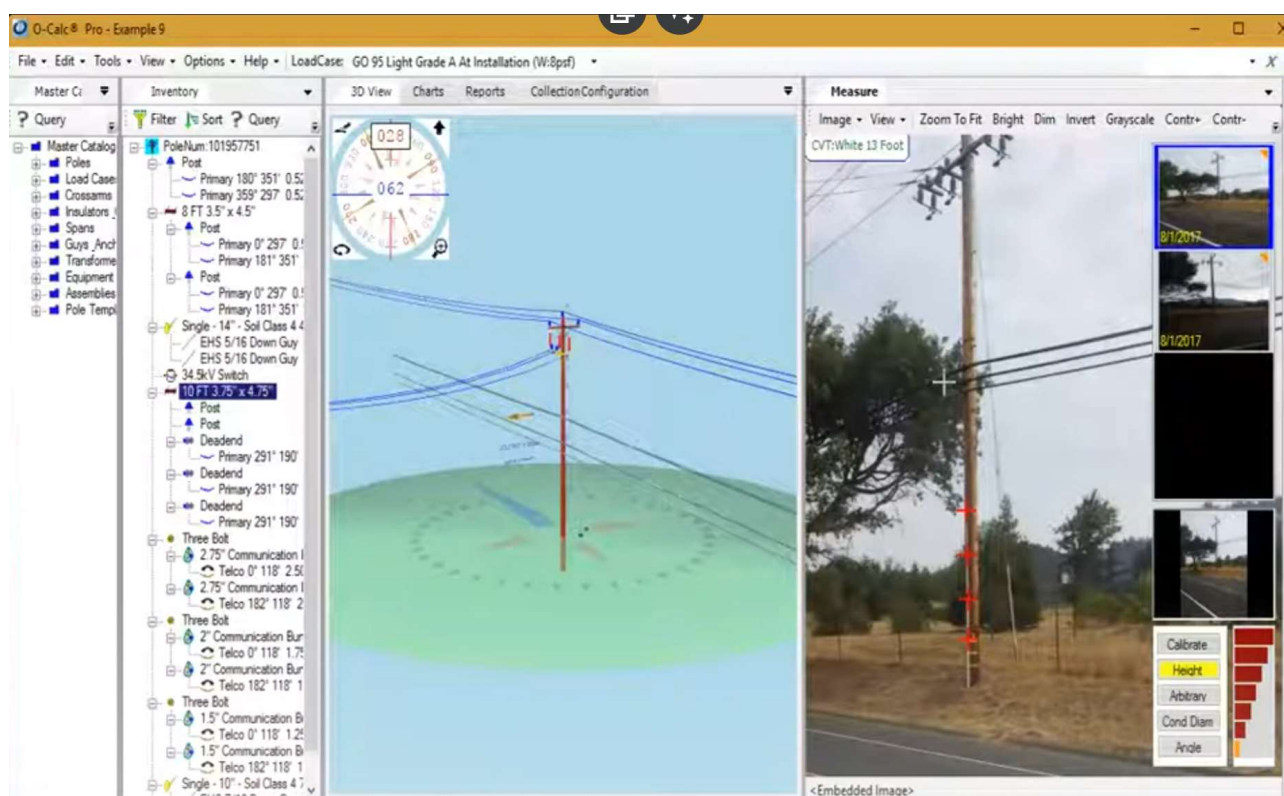
O-Calc Pro -ohjelmiston dokumentaatio ei mainitse suoraa tukea maaston korkeuserojen tuomiselle GeoTIFF- tai ASCII Grid -tiedostomuodoista. Vaikka ohjelmisto ei tue automaattisesti maastomallin lukemista O-Calc Pro tarjoaa työkaluja maastonmuotojen huomioimiseen pylväiden välisissä riippumalaskelmissa. Korkeuserot voidaan syöttää manuaalisesti lisäämällä maastoesteitä pylväiden välisille kohdille. (Ks. kuvio 13.) Tämä vaatii kohoumien mittaamisen maastossa erikseen. Ohjelmisto kykenee myös hyödyntämään LiDAR-dataa IKEGPS:n kautta, jota hyödynnetäänkin paljon esittely videoilla.



Kuvio 13. Maaston kohouma simuloidaan esteellä.

### 7.3.2 Standardit ja mekaaninen mitoitus ohjelmistossa

O-Calc Pro -ohjelmisto tukee joitakin kansainvälisiä turvallisuusstandardeja, kuten NESC 2023 (National Electric Safety Code), CSA 2020 (Canadian Standards Association) sekä AS/NZS 7000:2016 (Australian/New Zealand Standard). Ottaen huomioon jo usean standardin olemassaolon ohjelmassa ja yleisti ohjelman muokattavuuden vaikuttaa esittelijän lupaus SFS-Standardien käyttöön ottamiselle hyvinkin mahdolliselta. Muokattavuus onkin yksi ohjelmiston vahvuuksista. Käyttäjä voi esimerkiksi itse tuoda omia pylväitä ohjelmaan omine vahvuusluokkineen ja raja-arvoineen ja pienimpiäkin yksityiskohtia on kuten pylvään kimmokerrointa voidaan muokata. Ohjelmistoon voidaan tuoda myös orsirakenteita ja monimutkaisempiakin komponentteja kolmiulotteisina CAD piirroksina havainnollistamaan rakenteita. Näille kaikille voidaan tietysti asettaa laskennalliset arvot, jotka vaikuttavat laskelmiin.



Kuvio 14. Ohjelma pystyy laskemaan muitakin kuin yhden säikeen verkostoja. Oikealla nähdään etäisyyksien mittausta kuvien perusteella IKEGPS:n avulla.

Laskennallisesti O-Calc Pro on monipuolinen työkalu. Se pystyy laskemaan monimutkaisempiakin kuin vain yhden suuntaisia verkostoja. Esimerkiksi ohjelma pystyy mittaamaan etäisyyksiä kuvien perusteella IKEGPS:n avulla (Ks. kuvio 14.) Jokaista arvoa niin säätiloissa kuin komponenteissa voidaan säätää, jolloin esimerkiksi standardin muutokset voidaan ottaa nopeasti huomioon. Ohjelma sisältää myös testin ensimmäisiä suunnittelua nopeuttavia ominaisuuksia kuten harusten automaattisen asettelun AutoGuy ominaisuudella tai New Line Wizardin, joka automaattisesti ripustaa ja linkittää johtimet uudelle linjalle. Tällaisia nopeuttavia tekijöitä olisin halunnut nähdä muissa ohjelmissa enemmänkin.

LineLD3 O-Calc® Pro Standard Report

---

**O-Calc® Pro Whole Line Analysis**  
Report Created: 7/18/2018

**Worst Wind:** 255  
**Worst Pole:** Pole 1  
**Worst MCU:** 240.71

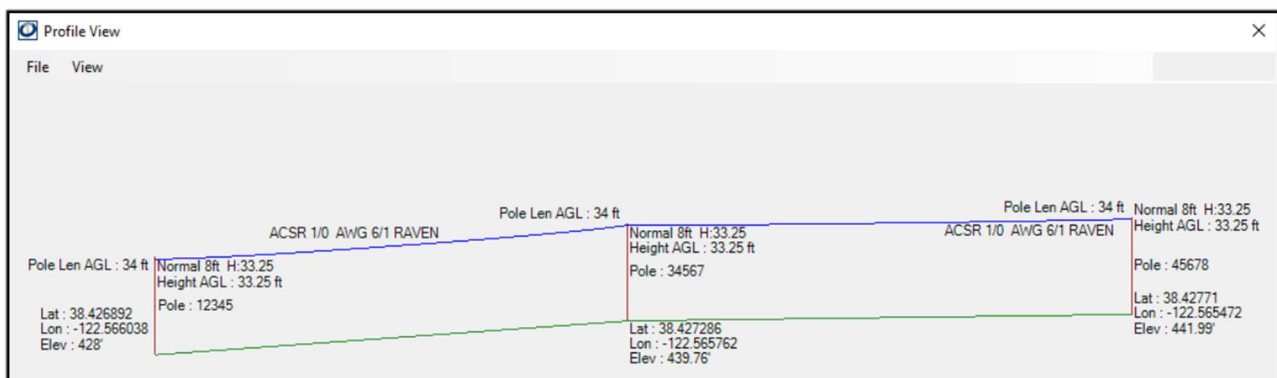
Wind Angle: 0					
Pole	GCU	VCU	TCU	MCU	
Pole 2	68.78	5.85	69.12	69.12	
Pole 1	225.16	5.38	225.47	225.47	
Guy					
		Tension	Capacity		

Wind Angle: 15					
Pole	GCU	VCU	TCU	MCU	
Pole 2	68.46	5.85	68.8	68.8	
Pole 1	221.84	5.38	222.15	222.15	
Guy					
		Tension	Capacity		

Kuvio 15. Esimerkki raportista, joka kuvaa pylväisiin vaikuttavat voimat. MCU = Maxium Capacity Utilization ja TCU = Total Capacity Utilization jne.

Ohjelman tekemät raportit ovat yksinkertaisia ja selkeitä. (Ks. kuvio 15.) Sivuprofiili voidaan tulostaa monella eri tavalla ja siihen saadaan rakennetiedot riippumiseen näkyviin. Esimerkki yhdestä vaihtoehdosta tulostukseen esitetään kuviossa 16. Ylipäätään raporttien ja jännitetaulukoiden tulostus on toteutettu ohjelmassa hyvin sillä käyttäjä voi itse muokata mitä tietoja raporttiin tulostetaan ja näin ollen poistaa sieltä epäolennaista.



Kuvio 16. Yksi vaihtoehto sivuprofiilin tulostukseen. Näkymää voidaan muokata tarpeiden mukaan.

Teknisesti O-Calc Pro on testin pätevimpiä ohjelmistoja. Sen suurin kompastuskivi voi olla maastonmuotojen luku mittadatasta, jota ohjelmisto ei tällä hetkellä pysty tekemään. Tämä puute on kierrettävä tekemällä lisämittauksia maastossa tai siirtämällä IKEGPS kaltaiseen LiDAR mittauk-

seen, ellei ohjelmiston kehittäjä ole valmis tuomaan maastonpinnan lukemista jostain muusta lähteestä (esim. google Earth tai käyttäjän omat rasteritietomuodot). Mikäli O-Calc Pron haluaakin käyttökuntoon, Standardien ja maastonmuotojen saaminen ohjelmistoon on tärkein kehityskohde. Omien pylväiden ja muiden komponenttien sekä säälitilojen luominen ohjelmaan vaikuttaa onnistuvan vaivattomasti. Lisäksi ohjelmasta löytyvät harukset ja kaikki tarvittava 20 kV ilmajohtojen suunniteluun puupylväillä. Ohjelmaa ei siis päästy käytännössä testaamaan, mutta esittelyn ja katavien videoiden ja käyttöohjeiden perusteella uskoisin, että saimme hyvän käsityksen O-Calc Pro-ohjelmasta.

### 7.3.3 SWOT-analyysi O-Calc Pro

Taulukko 5. O-Calc Pro SWOT-analyysi

Sisäiset tekijät:

VAHVUUDET +	HEIKKOUEDET -
<p>Kattava laskentatyökalu, joka laskee myös monihaaraisia verkkorakenteita</p> <p>Selkeä ja intuitiivinen käyttöliittymä</p> <p>Kaikki komponentit ovat muokattavissa.</p> <p>Ohjelma soveltuu hyvin 20 kV verkoille ja puupylväille</p>	<p>Maastonmuotojen lukua mittadatasta ei ole tällä hetkellä mahdollista</p>

Ulkoiset tekijät:

MAHDOLLISUUDET +	UHAT -
<p>Mahdollisuus 3D-mallinnukseen</p> <p>Tuki IKEGPS-laitteille</p> <p>Asiakaspalvelu vaikutti innostuneelta ja avuli-aalta ohjelman oston yhteydessä.</p> <p>Plug-in:it ja kolmannen osapuolen sovellukset antavat lisää mahdollisuuksia ja muokattavuutta ohjelmaan</p>	<p>Standardit lisättävä ohjelmaan</p> <p>Maastonmuotojen lukeminen vielä epäselvää toimiiko vain IKEGPS:n kautta vai tuleeko muita sovelluksia</p> <p>Ei mahdollisuutta testata ohjelmaa trial version kautta tässä vaiheessa.</p>

## 8 Yhteenveto / pohdinta

Tutkimuksen aikana käytiin läpi useita eri ohjelmistoja, joista tarkempaan analyysiin valittiin kolme: Power Path, O-Calc Pro ja Quick Pole. Näiden ohjelmistojen ominaisuuksia ja soveltuvuutta arvioitiin erityisesti suomalaisten standardien, puupylväiden käytön ja ilmajohtojen mekaanisen mitoituksen näkökulmasta.

Yksi keskeinen havainto oli, että vaikka kaikki testatut ohjelmistot ovat teknisesti päteviä, ne erosi-  
vat merkittävästi muun muassa siinä, miten ne tukevat puupylväiden ja niiden komponenttien  
mallintamista sekä GIS- ja maastomittausdatan hyödyntämistä. Mikään ohjelma ei sellaisenaan ol-  
lut täysin käyttökelpoinen suomalaisessa kontekstissa ilman muutoksia. Esimerkiksi Power Path  
tukee suoraan eurooppalaista perusstandardia, kun taas Quick Pole ja O-Calc Pro perustuvat tois-  
taiseksi muihin kansainvälisiin standardeihin. Kaikkien kohdalla ohjelmistokehittäjät osoittivat kui-  
tenkin valmiutta mukauttaa ohjelmistojaan suomalaisiin vaatimuksiin.

Käytännön näkökulmasta suurimmat erot ohjelmistojen välillä liittyivät käytettävyyteen ja työnkul-  
kuun. Power Path:in käyttöliittymä on selkeä ja visuaalisesti havainnollinen, mutta sen heikkouksia  
ovat esimerkiksi rakenteiden käytönrajojen puuttuminen ja raportoinnin vaatima manuaalinen  
työ. Quick Pole tarjoaa erittäin analyttistä ja tarkkaa laskentaa, mutta ei tue maastonmuotojen  
lukemista suoraan. Tämä sekä orsien puuttuminen herätti pohdintaa - Onnistuuko ominaisuuksien  
saattaminen ohjelmaan tulevaisuudessa ja millaisella ratkaisulla? Lisäksi ohjelmaan olisi saatava  
mielestäni kattavampi sivuprofiilin tulostus rakentajille. O-Calc Pro vaikutti teknisesti kyvykkäim-  
mältä ja muokattavimmalta, mutta sen käyttöönotto edellyttää tiiviimpää palvelusopimusta, eikä  
siitä ole saatavilla suoraa koekäyttöversiota. Lisäksi siitäkin puuttuu suora tuki maaston korkeus-  
profiilin lukemiselle, sekä standardit. Uskoisin kuitenkin, että käyttöönotossa näiden lisäys olisi  
mahdollista joskin ei ongelmatonta. Kokonaisuudessaan O-Calc Pron esittely oli uskottava, joka  
vahvisti käsitystäni ohjelmiston muokkautuvuudesta käyttöönoton aikana.

Yksi merkittävä havainto oli, että GPS- ja paikkatietodatan käyttö ei ole este, koska aineistot voi-  
daan muuntaa sopiviksi eri formaatteihin esimerkiksi QGIS-ohjelmiston avulla. Tämä vähentää

huolta ohjelmistojen tiedostoyhteensopivuudesta. Sen sijaan todelliseksi haasteeksi nousi ohjelmistojen kyky tehostaa suunnitteluprosessia. Automaatiota, kuten kannatuspylväiden ja rakenteiden automaattista sijoittelua tai komponenttien valintaa, olisi toivottu enemmän. Tällaiset ominaisuudet vaikuttavat suoraan suunnittelun tehokkuuteen ja ajankäyttöön.

Tulevaisuutta ajatellen on aiheellista pohtia, voisiko myös uusia mittaustekniikoita, kuten IKEGPS-pohjaisia ratkaisuja, ottaa käyttöön Suomessa. Ne voisivat tuoda uusia, aiemmin hyödyntämättömiä mahdollisuuksia suunnitteluun tai vähintään nopeuttaa tiedonkeruuta. Myös BIM-ajattelun ja digitaalisten kaksosten hyödyntäminen – kuten Power Pathin yhteydessä korostettiin – saattaa tulevaisuudessa korostua erityisesti kaupunkialueilla, joissa tarkka 3D-mallinnus voi tarjota merkittäviä etuja.

Lopuksi voidaan todeta, että mitään täydellistä ”avaimet käteen” -ratkaisua ei löydetty, mutta kaikki testatut ohjelmistot tarjoavat potentiaalin, jota voidaan kehittää yhteistyössä ohjelmistokehittäjien kanssa. Ohjelmiston valinta kannattaa tehdä sen mukaan, mikä vaihtoehto mukautuu parhaiten organisaation tarpeisiin – erityisesti työnkulun, dokumentaation ja suunnittelun tehokkuuden näkökulmasta. Ennen lopullista päätöstä olisi suositeltavaa järjestää jatkotestausta kokoneempien suunnittelijoiden kanssa ja määrittää selkeästi, mitkä ominaisuudet ovat kriittisiä ja mistä voidaan mahdollisesti luopua. Tämän jälkeen tulisi olla uudelleen yhteydessä ohjelmistotoimittajiin ja tarkentaa, mitkä halutut muutokset ovat toteutettavissa ja millä aikataululla.

## Lähteet

About Osmose. 2023. Sivut Osmose-yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 13.4.2025. <https://www.osmose.com/about-us>

Answers to common questions. 2025. Sivut Sonideft-yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 13.4.2025. <https://sonideft.com/pole-line-assessment-related-questions>

Ilmajohdot. 2025. Artikkelit Sesko ry:n verkkosivuilta. <https://sesko.fi/standardointi/sahkoasennukset/ilmajohdot/>

O-Calc Pro® Pole Loading Analysis Software. 2023. Esittelysivu Osmose-yrityksen verkkosivuilla. Viitattu 13.4.2025. <https://www.osmose.com/o-calc-pro-pole-loading-analysis>

Osmose Utilities Services. 2025. Sivut T&DWorld-verkkosivuilla. Viitattu 13.4.2025. <https://www.tdworld.com/directory/structures/company/21115287/osmose-utilities-services-inc>

Pajala, H. 2024. Profila Cenelec – Ilmajohtosuunnittelu. Päivitetty 23.4.2024. Viitattu 13.4.2025. [https://www.profila.fi/Profila\\_Cenelec-Ilmajohtoverkon\\_suunnittelu.pdf](https://www.profila.fi/Profila_Cenelec-Ilmajohtoverkon_suunnittelu.pdf)

Power Path 2021. Power Path, Energy, the smart way. Esite. Julkaistu 29.11.2021. Viitattu 13.4.2025. <https://power-path.com/wp-content/uploads/2021/11/Power-Path-V21-Brochure.pdf>

SFS-EN 50341-1. 2014. Vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteellä. Helsinki. Suomen standardisointiliitto SFS

SFS-EN 50341-2-7. 2023. Vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteellä. Osa 2 -7 Suomen kansalliset velvoittavat määrittelyt. Helsinki. Suomen Standardisointiliitto SFS

Sharath Kumar C.R. & Praveena K.B. 2023. SWOT ANALYSIS. International Journal of Advanced Research. Julkaistu 11.9.2023. Viitattu 13.4.2025. <https://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/17584>

SK 11 Suurjänniteilmajohdot. 12.1.2023. Artikkelit Sesko ry:n verkkosivuilla. Viitattu 13.4.2025. <https://sesko.fi/komiteaesittelyt/sk-11-suurjanniteilmajohdot/>

Sonideft 2025. Verkkosivusto. Viitattu 13.4.2025. <https://sonideft.com/>

Tiedätkö, miten sähkö kulkee? Tunnistatko erilaiset johdot? 2021. Artikkelit Savon Voiman Oy:n verkkosivuilta. Viitattu 18.3.2025 <https://savonvoima.fi/miten-sahko-kulkee/>