



Martti Äijö

# Sähköaseman ensiösuunnittelu 3D-suunnitteluohjelmalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

15.12.2021

## Tiivistelmä

Tekijä: Martti Äijö  
Otsikko: Sähköaseman ensiösuunnittelu 3D-suunnitteluohjelmalla  
Sivumäärä: 39 sivua  
Aika: 15.12.2021

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka  
Ohjaajat: Suunnitteluinsinööri Teemu Joensuu  
Lehtori Jarno Nurmio

---

Opinnäytetyö tehtiin Infratek Finland Oy:lle, joka toimii VINCI Energies yhtiön Omexom tuotemerkin alla. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa vaihtoehtoja yrityksen käyttöön soveltuvista sähköasemasuunnitteluun räätälöidyistä 3D-suunnitteluohjelmista. Kartoituksen jälkeen työssä päädyttiin tutkimaan Bentley OpenUtilities Substation 3D-suunnitteluohjelman ominaisuuksia sekä sen soveltuvuutta ensiösuunnitteluun.

Työssä käytiin läpi sähköaseman toimintaa ja komponentteja yleisellä tasolla sekä perehdyttiin suunnittelussa huomioitaviin yksityiskohtiin ja vaatimuksiin. Tarkemmin syvennyttiin ensiösuunnittelussa tuotettaviin dokumentteihin sekä niiden laatimisessa käytettäviin ohjelmiin.

Jotta ohjelman ominaisuuksia voitiin tutkia, työssä suunniteltiin kuvitteellinen sähköasema. Suunnittelun aikana verrattiin suunnitteluominaisuuksia 3D-suunnitteluohjelman ja 2D-suunnitteluohjelman välillä. Työssä käytiin myös läpi suunnittelijoiden kokemuksia yrityksessä käytössä olevasta Primtech 3D-suunnitteluohjelmasta haastatteluiden perusteella.

Työn lopputuloksena saatiin hyvä käsitys ohjelman ominaisuuksista sekä siitä, miten kyseinen ohjelma voisi soveltua ensiösuunnitteluun ja millaisia etuja sen käytössä olisi muihin vaihtoehtoihin verrattuna.

Avainsanat: sähköasema, sähköasemasuunnittelu, 3D-suunnittelu,

## Abstract

Author: Martti Äijö  
Title: Primary Circuit Designing of Substation with 3D Design Software  
Number of Pages: 39 pages  
Date: 15 December 2021

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Electrical Power Engineering  
Supervisors: Teemu Joensuu, Design Engineer  
Jarno Nurmio, Senior Lecturer

---

This thesis work was commissioned by Infratek Finland Oy, which operates under VINCI Energies Company Omexom brand name. The purpose of this work was to map out 3D designing software options suitable for substation designing. After mapping out the options, the Bentley OpenUtilities Substation 3D design software was chosen for closer research.

Theoretical part of this thesis work consists of information about the operation and components of the substation in general and details to be considered in the primary circuit design. It goes into more details about the documents produced in the primary circuit design and the software used to draw them up.

During the thesis work an imaginary substation was designed to study the features of the software. The features of the 3D designing software and 2D designing software were compared during the design. This work also details experiences of design engineers on the use of the Primtech 3D designing software, which is already in use by the company.

The result of the study is information about how this software is suitable for the primary circuit designing of substation and what advantages it has compared to other options.

Keywords: substation, substation designing, 3D-designing,

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähköasema	2
2.1	Sähköasema osana sähköverkkoa	2
2.2	Sähköaseman laitteet	2
2.3	Sähköasemasuunnittelu	5
2.4	Suunnitteluun vaikuttavat tekijät	5
2.5	Suunnittelun vaatimukset	6
3	Suunnittelu Omexomilla	8
3.1	Suunnitteluprosessi	8
3.2	Ensiösuunnittelijan tehtäväkuvaus	8
3.3	Suunnitteluohjelmat	9
3.4	Ohjelmien ominaisuudet ja tutkittavan ohjelman valinta	13
4	Ensiösuunnittelun osa-alueet	14
4.1	Aluepiirustus	14
4.2	Sijoituspiirustukset	15
4.3	Maadoituspiirustukset	16
4.4	Leikkauskuvat	18
4.5	Ukkosuojaustarkastelu	19
5	Suunnittelu OpenUtilities Substation -ohjelmalla	21
5.1	Digitaalinen maastomalli	22
5.2	Dokumentin käyttäminen referenssinä	23
5.3	Komponenttien sijoitus	24
5.4	Johtimien ja virtakiskojen sijoittaminen	27
5.5	Maadoitukset	29
5.6	Ukkosuojaustarkastelu	31
5.7	Luettelot	32
5.8	Tarkistustyökalu	33

5.9	Symbolien lisäys	33
5.10	Suunnitelmien tulostaminen	34
6	Havainnot	35
7	Yhteenveto	36
	Lähteet	38

## Lyhenteet

CAD: Computer aided design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.

CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization. Sähköalan eurooppalainen standardointijärjestö.

GIS: Gas Insulated Switchgear. Kaasueristeinen kojeisto.

IEC: International Electrotechnical Commission. Sähköalan maailmanlaajuinen standardointijärjestö.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyö on tehty Infratek Finland Oy:n sähköasemaprojektit liiketoiminta-alueelle, joka toimii VINCI Energies -konsernin Omexom -tuotemerkin alla. Tarkeemmin työ tehtiin sähköasemasuunnitteluosastolle. Työn lähtökohtana oli toimeksiantajayrityksen sisäinen tarve parantaa suunnittelun laatua ja tehokkuutta ja siitä johtuen selvittää ohjelmavaihtoehtoja sähköaseman 3D-suunnitteluun.

Omexom toimii 37 maassa, ja tuotemerkin alla työskentelee noin 23500 työntekijää. Maailmanlaajuinen liikevaihto vuonna 2020 oli noin 3,8 miljardia euroa. Suomessa Omexomilla työskentelee viidessä liiketoimintayksikössä noin 260 työntekijää, ja liikevaihto vuonna 2020 oli yli 64 miljoonaa euroa. [1.]

Omexomin sähköasemaprojektit-liiketoiminta-alue vastaa asiakkailleen sähköasemien kokonaisvaltaisesta rakentamisesta. Yrityksen palvelut sisältävät projektin kaikki vaiheet suunnittelusta aseman käyttöönottoon. Uusien asemien rakentamisen lisäksi toimintoihin kuuluu myös vanhojen asemien saneeraukset, laajennukset ja testaukset. [2.]

Yrityksellä on jo käytössä 3D-suunnitteluohjelma, jonka käyttökokemuksiin ei olla oltu täysin tyytyväisiä. Tämän työn tarkoituksena on selvittää vaihtoehtoisia ohjelmia sähköasemien 3D-suunnitteluun. Vaihtoehtojen kartoituksen jälkeen tutustutaan Bentley OpenUtilities Substation -ohjelman käyttöön ja ominaisuuksiin, sekä selvitetään sen soveltuvuutta ensiösuunnitteluun.

Työn alkuosassa kerrotaan sähköaseman roolista osana sähköverkkoa, suunnittelun vaatimuksista ja sähköaseman laitteista sekä sähköasemasuunnittelusta Omexomilla. Työn loppuosassa esitellään ohjelman ominaisuuksia, tutustutaan suunnitelmien tekoon kyseisellä ohjelmalla ja pohditaan, miten suunnittelu eroaa yrityksellä tällä hetkellä käytössä olevista ohjelmista.

Ohjelman ominaisuuksiin tutustumista varten suunniteltiin kuvitteellinen sähköasema erään tuulivoimapuiston sähköaseman suunnitelmien pohjalta.

Suunnittelu toteutettiin käyttämällä ohjelmassa valmiina olevia tuotetietokantoja, joten lopullinen suunnitelma ei vastaa täysin esimerkkinä käytettyä asemaa.

## 2 Sähköasema

### 2.1 Sähköasema osana sähköverkkoa

Suomessa sähkönsiirron runkona toimii kantaverkko, jonka toiminnasta vastaa Fingrid Oyj. Kantaverkko toimii 110, 220 ja 400 kV:n jännitteillä. Suuret voimalaitokset, tehtaot sekä alueelliset jakeluverkot liittyvät kantaverkkoon. 110 kV:n kantaverkkoon liittyviä jakeluverkkoja kutsutaan suurjännitteisiksi jakeluverkoiksi. Nämä siirtävät sähköä yhdellä tai useammalla 110 kV:n johdolla. Jakeluverkot toimivat 0,4–110 kV:n jännitetasoilla. Yleisiä jakeluverkon jännitetasoja ovat 110 kV:n lisäksi 0,4 ja 20 kV. Kotitaloudet liittyvät sähköverkkoon 0,4 kV:n jännitteellä. [3.]

Sähköasema on sähköverkon osa, jossa on mahdollista muuntaa jännitetasoa, suorittaa kytkentöjä tai keskittää ja jakaa sähköenergian siirtoa eri johdoille. Sähköasema voi olla tyypiltään muuntoasema, erotinasema tai kytkinlaitos. Nämä asematyypit eroavat toisistaan siten, että muuntoasemilla on mahdollista yhdistää eri jännitetasossa olevia johtoja, kun taas kytkinlaitoksilla ja erotinasemilla voidaan käsitellä vain samassa jännitetasossa olevia johtoja. Muuntoasemilla on siis vähintään yksi muuntaja, jolla jännitetasoa saadaan muutettua. [4; 5, s. 76.]

### 2.2 Sähköaseman laitteet

Sähköaseman laitteista puhuttaessa voidaan tämän työn kannalta oleellisimpina pitää aseman ulkokentän suurjännitelaitteita ja niiden vaatimia rakenteita. Ulkokentän suunnittelua kutsutaan myös primäärisuunnitteluksi. Omexomilla käytetään termiä ensiösuunnittelu, jota käytetään myös tässä työssä. Ensiösuunnittelun kannalta tärkeimpiä komponentteja ovat sähköaseman kytkinkentän laitteet ja rakenteet.

Sähköaseman kytkinkentällä johdot ja muuntajat kytketään kokoojakiskoihin kytkinlaitteiden välityksellä. Kokoojakiskojen avulla sähköasemalla voidaan mahdollistaa erilaisten tehonsiirtolanteiden mukaiset kytkentäratkaisut. Kiskojärjestelmä voi olla tyypiltään esimerkiksi yksikiskojärjestelmä, kisko-apukiskojärjestelmä, kaksoiskiskojärjestelmä tai kaksoiskatkaisijajärjestelmä. Kiskojärjestelmän tyyppi vaikuttaa oleellisesti esimerkiksi aseman käyttövarmuuteen, huollettavuuteen, laajennettavuuteen, käytettävyyteen ja kustannuksiin. [4; 5, s. 102.]

Muuntaja on sähkölaite, jonka toiminta vaihtosähköverkossa perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Muuntajalla nimensä mukaisesti muunnetaan jännitteitä ja virtoja kahden tai useamman käämityksen avulla ja usein sillä on myös mahdollista säätää niitä. Muuntoaseman päämuuntajalla jännite muutetaan siirron vaatimien tarpeiden mukaiseksi. Päämuuntajan lisäksi muuntoasemilla on omakäyttömuuntaja, josta saadaan sähköaseman laitteille tarvittava 230 voltin vaihtosähkö. Kytkinlaitokselle, jossa ei ole omakäyttömuuntajaa, tarvittava käytösähkö saadaan paikallisen jakeluverkon muuntajalta. [4; 5, s.141.]

Kytkinlaitteiksi kutsutaan katkaisijoita ja erottimia. Katkaisija on laite, jonka tehtävä on avata ja sulkea virtapiiri. Katkaisijalla pystytään katkaisemaan ja sulkemaan sille määritettyjen arvojen mukainen kuorma- ja vikavirta. Erottimen käyttötarkoitus on tehdä kytkinlaitoksen osa jännitteettömäksi ja turvalliseksi työskentelylle muodostamalla avausväli erotetun virtapiirin ja muun laitoksen välille. Erottimen muodostaman avausvälin tulee olla näkyvä tai siinä pitää olla luotettava mekaaninen asennonosoitin. [4.]

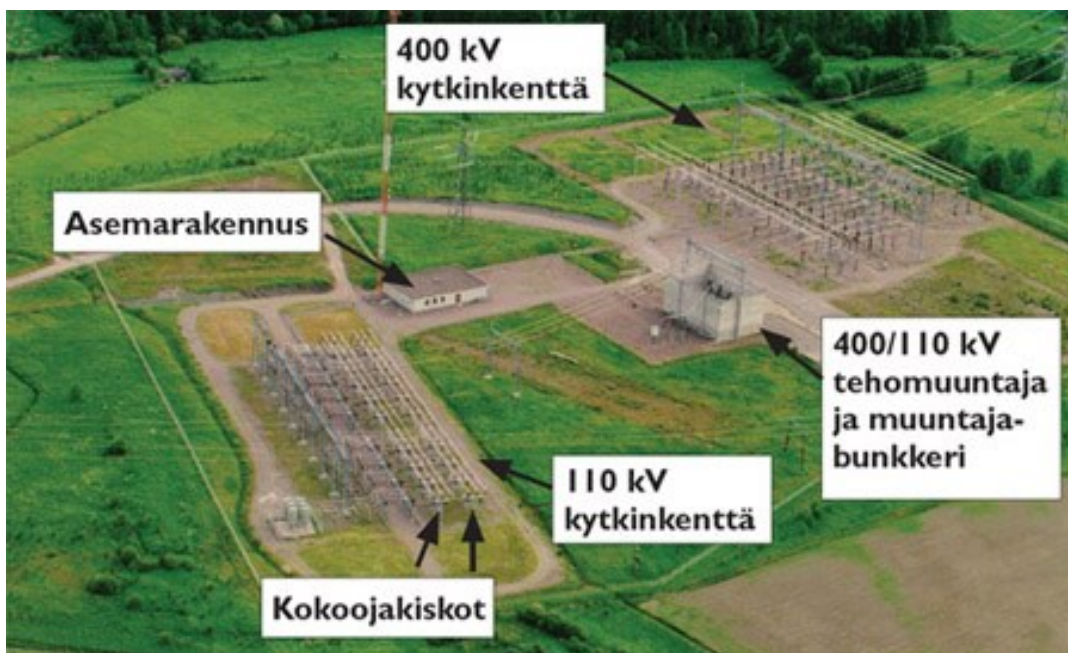
Muita sähköasemilla välttämättömiä laitteita ovat muun muassa virta- ja jännitemuuntajat, joita kutsutaan myös mittamuuntajiksi. Mittamuuntajien avulla mitataan sähköasemalla esiintyviä jännitteitä ja virtoja. Mitatut tiedot viedään mittamuuntajilta suojaus- ja valvontalaitteille, jotka sijaitsevat sähköasemarakennuksessa. [4.]

Aiempien lisäksi sähköasemilla on myös kiinteitä rakenteita, kuten sähköasema-alueen kattava maahan upotettu maadoitusruudukko, laitteiden perustukset ja

teräsrakenteet, kaapelikanavat, muuntajaperustukset ja muuntajien suoja-altaat sekä tiet, aidat, laitesuojat ja asemarakennukset. Muita sähköasemilta löytyviä komponentteja ovat esimerkiksi ylijännitesuojat, ukkosmastot ja ukkosjohtimet, omakäyttömuuntajat, kompensointilaitteet sekä suojaus-, valvonta- ja ohjauslaitteet. [4.]

Sähköasemien laitteet, kuten muuntajat, kytkinlaitteet ja mittamuuntajat ovat pääasiassa tehdasvalmisteisia ja erikseen ostettavissa olevia. Sähköaseman laitteita voidaan hankkia myös esimerkiksi tehdasvalmisteisena GIS (Gas Insulated Switchgear) -kojeistona, jossa kokoojakiskot, erottimet, katkaisijat, mittamuuntajat, kaapelipäätteet ja yhdistysosat on sijoitettu maadoitettuihin koteloihin, jotka on täytetty SF<sub>6</sub>-kaasulla. [6.]

Kuvassa 1 on esitetty havainnollistava ilmakuva eräästä sähköasemasta.



Kuva 1. Sähköasema-alue [7].

## 2.3 Sähköasemasuunnittelu

Sähköasemien suunnittelun lähtökohtana on tilaajan tarve parantaa esimerkiksi alueellista sähköenergiansiirron kapasiteettia tai luotettavuutta tai muuntaa voimalaitoksessa tuotettu sähköenergia siirtoon sopivaksi. Uuden sähköaseman rakentaminen on aina kallis investointi ja sillä on merkittävä vaikutus verkkoon. Kuitenkin esimerkiksi kapasiteettia tai luotettavuutta parannettaessa sähköaseman rakentamisen vaihtoehtona voi usein olla 20 kV:n verkon kapasiteetin kasvattaminen, joten uusi sähköasema voi korvata suuriakin keskijänniteverkon investointeja. [8, s. 128.]

Uuden sähköaseman muuntajilla on suora vaikutus keskijänniteverkon oikosulkuvirtoihin. Tämä tulee huomioida uuden aseman sijaintia suunnitellessa. Uuden syöttöpisteen takia kasvaneet keskijänniteverkon oikosulkuvirrat voivat johtaa tarpeeseen saneerata keskijänniteverkkoa, joka taas johtaa suuriin kustannuksiin. Maasulkuvirtoihin uuden sähköaseman vaikutus on taas pienentävä ja siitä voidaankin saada aikaan säästöjä, esimerkiksi uusien jakelumuuntamoiden maadoitusten kustannuksissa. [8, s. 129.]

Myös vanhojen sähköasemien laajennuksilla ja saneerauksilla on keskeinen rooli verkkojen käyttövarmuuden- ja kapasiteetin parantamisessa. Sähköaseman pääkomponenttien käyttöikä on noin 40–50 vuotta. Sähköaseman saneeraus on kuitenkin haastava ja kallis projekti ja saneerausta mietittäessä onkin tutkittava, onko esimerkiksi alueen sähkönkäyttö vähentynyt. Jos sähkönkäytön ennustetaan vähentyvän entisestään, tulee erityisesti miettiä sähköaseman tarpeellisuutta ja pohtia, olisiko se korvattavissa esimerkiksi kevyemmällä maastokatkaisija-asemalla tai kauko-ohjattavalla erotinasemalla. [8, s. 130.]

## 2.4 Suunnitteluun vaikuttavat tekijät

Sähköaseman rakenne vaikuttaa merkittävästi aseman suunnitteluun. Aseman rakenne riippuu oleellisesti siitä, onko aseman tehtävänä ainoastaan jakaa tai siirtää sähköä, toimiiko asema vain verkoston kytkentä- tai muuntoasemana vai

liittyykö asemaan voimalaitos. Aseman suunnittelussa on myös otettava huomioon, miten tärkeässä verkoston solmukohtassa se sijaitsee. [5, s. 96.]

Sähköaseman suunnittelussa tulee huomioida ja ratkaista muun muassa seuraavia tärkeitä asioita:

- aseman välittämä teho ja kasvuennuste
- sijaintipaikka, ympäristöolot ja maisemakysymykset
- rakennusajankohta
- taloudellisuus
- muuntajien määrä ja tarvittava tehoreservi
- muuntajan kuljetusmahdollisuus
- maapohjan kantavuus
- aseman ulkopuoliset johtojärjestelyt
- laitososien keskinäinen sijainti
- ajo- ja huoltotiet
- kiskojärjestelmät ja kojeistorakenteet
- laajennettavuus ja luotettavuusvaatimukset
- mitoitusvirrat ja oikosulkukestoisuus
- suojautuminen kytkentäylijännitteiltä ja käyttötaajuisilta ylijännitteiltä
- suojautuminen ilmastollisilta ylijännitteiltä
- yksittäisten kojeiden ja laitteiden mitoitus
- käyttö-, suojaus-, ohjaus- ja asennonosoitusjärjestelmät
- tiedonsiirtoyhteydet
- aseman omakäyttöteho
- tasasähköjärjestelmä
- maadoitukset
- paloturvallisuus. [5, s. 96–97.]

## 2.5 Suunnittelun vaatimukset

Suunnittelu ja rakentaminen tulee toteuttaa noudattaen voimassa olevia standardeja, lakeja ja asetuksia. Kyseessä olevalla toimialalla noudatettava lainsäädäntö

on Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Valtioneuvoston asetuksessa sähkölaitteistoista 1434/2016 säädetään lisäksi tarkemmin muun muassa tarkastuksista, sekä tilanteista, joissa standardeista voidaan poiketa.

Suomessa enintään 1 kV:n vaihtojännitteisten sähköasennusten vaatimukset on määritetty SFS (Suomen Standardoimisliitto) 6000 standardikokoelmassa. Yli 1 kV:n vaihtojännitteisten sähköasennusten suunnittelua ja rakentamista koskevat vaatimukset määritetään SFS 6001 standardikokoelmassa. SFS-standardit pohjautuvat kansainvälisiin IEC (International Electrotechnical Commission) ja CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) standardeihin. Tavallisempien sähköasennusten lisäksi, sähköasennuksiin luetaan kuuluvaksi myös sähköasemat ja niiden sisältämät laitteet, johdot ja johtojärjestelmät, ohjauslaitteet, maadoitusjärjestelmät, sekä aidat ja rakennukset, jotka erottavat sähkötilan ympäristöstä. [5, s. 76–77.]

Keskeisiä aiheita, joille SFS-standardi 6001 määrittää vaatimuksia ovat:

- eristys ja jännitteisten osien vähimmäisetäisyydet
- kosketus- ja kosketusjännitesuojaus
- sähkölaitteistossa työskentelevien henkilöiden suojaus
- suojautuminen valokaaren aiheuttamilta vaaroilta
- suojautumien tulipalolta
- suojautuminen salamaniskulta
- laitteet ja laitteistot
- apu- ja ohjausjärjestelmät
- maadoitusjärjestelmät. [5, s. 77; 9, s. 3–4.]

Aiemmin mainittujen lisäksi sähkötyöturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia määritetään lisäksi SFS-standardissa 6002. Mainittujen lisäksi on lukuisia standardeja, jotka asettavat vaatimuksia sähköaseman eri laitteille ja laitteistoille.

## 3 Suunnittelu Omexomilla

### 3.1 Suunnitteluprosessi

Omexomin suunnitteluprosessi alkaa sisäisellä ja ulkoisella aloituskokouksella, joissa käydään läpi projektin laajuus ja suunnitteluperiaatteet, sekä sovitaan asiakkaan kanssa yhteisistä käytännöistä ja suunnitteluperiaatteista, jos kaikkia käytäntöjä ei ole määritelty sopimuksessa. Kun aloituskokoukset on pidetty, suunnitteluprosessin seuranta jatkuu pääsuunnittelijan järjestämällä suunnittelukokouksilla, joissa käsitellään suunnittelun etenemistä, työnjakoa ja muita projektin kannalta tarpeellisia asioita. [10.]

Dokumentinhallinta on oleellinen osa projektia. Sähköasemaprojektit-yksikössä dokumenttien hallintaan on oma sovellus. Sovellusta käytetään muun muassa kommentointien lähetyksiin ja vastaanottoon, sekä työmaan dokumenttien versiohallintaan. Projektin kansiorakenne on määritelty tarkasti ja samaa rakennetta käytetään kaikissa projekteissa. [10.]

Jokaisen suunnittelijan tulee pitää huolta, että suunnittelu on laadukasta ja ajantaulunmukaista. Suunnittelija vastaa myös dokumenttien päivityksestä ja ajantasaisuudesta oman suunnittelukokonaisuutensa osalta. [10.]

Ennen suunnitelmien lähetystä asiakkaan kommentoitavaksi, suunnitelmat tarkastetaan ja hyväksytään sisäisesti. Ensiösuunnitelmien osalta sisäisen tarkastuksen tekee toinen ensiösuunnittelija tai pääsuunnittelija ja hyväksynnän tekee projektipäällikkö. [10.]

### 3.2 Ensiösuunnittelijan tehtäväkuvaus

Omexomilla suunnittelijoiden tehtävät on jaettu suunnittelun eri osa-alueiden mukaan. Suunnittelijan pääasiallinen tehtävä voi olla ensiösuunnittelija, toisiosuunnittelija, apujärjestelmäsuunnittelija tai automaatio-suunnittelija. Toisio- ja apujärjestelmäsuunnittelijan tehtävät perehdytetään molemmille. [11.]

Ensiösuunnittelija nimetään projekteihin, joihin sisältyy ensiö- tai rakennussuunnittelua. Suunnittelijan tehtäviin voi kuulua esimerkiksi suurjännitepiirien, tukirakenteiden ja maanrakennussuunnitelmien suunnittelu, mitoitus tai suunnitelmien hankkiminen alihankkijalta ja alihankkijan valvonta. Ensiösuunnittelijan vastuulla voi olla muun muassa seuraavia tehtäviä ja dokumentteja

- aluepiirustus
- rakennussuunnittelu
- kaapelikanavien reitti- ja rakennesuunnittelu
- kaapeliputkien ja kaapelien reittisuunnittelu
- sijoitus- ja leikkauspiirustukset
- perustusten sijoitussuunnittelu ja perustussuunnittelun valvonta
- telineiden sijoitussuunnittelu ja telineiden rakennussuunnittelun valvonta
- maadoitussuunnittelu
- ukkossuojaustarkastelu ja oikosulkuvoimalaskelmat
- liitin-, köysi- ja putkisuunnittelu. [12.]

### 3.3 Suunnitteluohjelmat

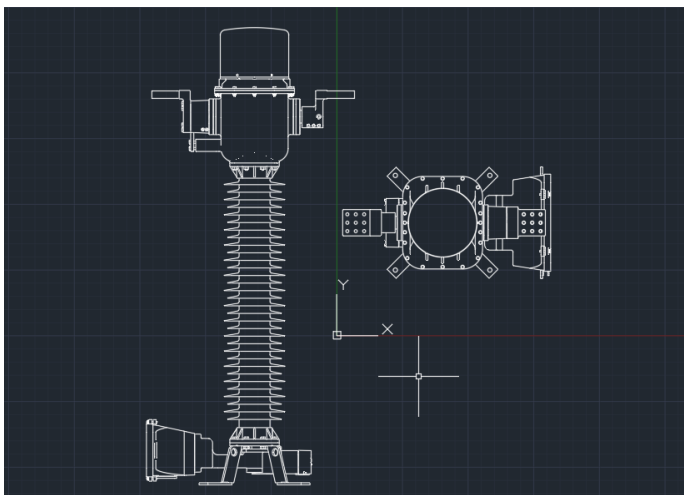
Omexomilla suunnittelijan käytössä olevia ohjelmia ovat MicroStation, AutoCAD, ePlan ja Febdok. Lisäksi on käytössä asiakaskohtaisia ohjelmia dokumenttien lainaus- ja palautusprosesseille. Ensiösuunnittelijalle tärkeimmät ohjelmat ovat MicroStation ja AutoCAD. Ensiösuunnittelussa on ollut käytössä myös Primtech 3D-suunnitteluohjelma. Sähköasemasuunnitteluun tarjolla olevia 3D-suunnitteluohjelmistovaihtoehtoja on olemassa lisäksi Bentley Open Utilities Substation ja Spatial Business Systemsin Substation Design Suite. Seuraavissa kappaleissa esitellään ensiösuunnittelijan työn kannalta tärkeät ohjelmat, sekä pohjustetaan tarkempaan tutkimukseen valikoituneen ohjelman valintaa.

## MicroStation

MicroStation on CAD (Computer Aided Design) -suunnitteluohjelma, jota myy ja kehittää ohjelmistoyhtiö Bentley Systems. MicroStation on johtava CAD-ohjelma infrastruktuurisuunnittelussa. Ohjelmalla voidaan piirtää vektorigrafiikkaa kaksi- ja kolmiulotteisesti. MicroStation juontaa juurensa jo vuodesta 1985, jolloin Bentley Systems esitteli ensimmäisen kaupallisen version sitä edeltäneestä PseudoStation ohjelmasta. Vuonna 1987 Bentley Systems julkaisi MicroStation 2.0 ohjelman, jolla oli mahdollista kirjoittaa DGN-suunnittelutiedostoja. Omexomilla käytössä oleva MicroStation CONNECT Edition on ohjelman ensimmäinen versio, joka on yhdistetty Bentleyyn kasvavaan pilvipalveluiden luetteloon. Se julkaistiin vuonna 2015. MicroStationilla tuotetut dokumentit ovat siis tiedostomuodoltaan DGN-tiedostoja, mutta sillä pystyy myös avaamaan ja käsittelemään esimerkiksi AutoCADilla suunniteltuja DWG-tiedostoja. [13; 14.]

Omexomilla MicroStation on tällä hetkellä pääasiallinen ohjelma ensiösuunnittelussa. Ohjelmalla piirtäminen perustuu graafisiin objekteihin, kuten viivoihin, ympyröihin ja muihin kuvioihin. Ohjelmassa on paljon ominaisuuksia, mutta sen käyttö ja muokkaaminen omiin käyttötarpeisiin on suoraviivaista ja selkeää. Sähköasemasuunnittelukäytössä oleellinen osa ohjelman käytössä on yrityksen käyttöön eri komponenttien laitekuvista luotu cell- eli piirtomerkkikirjasto. Kirjastossa on paljon eri valmistajien laitekuvista muokattuja käyttövalmiita piirtomerkkejä.

Kirjastosta löytyvät kuvat helpottavat huomattavasti suunnittelua, sillä komponenteista on kirjastossa sekä ylä- että sivukuvat ja niiden sijoittaminen piirustukseen valmiina elementtinä on yksinkertaista. Kuvassa 3. on esitetty esimerkki piirtomerkkikirjaston laitekuvasta.



Kuva 2. Cell-kuva esimerkki komponenttikirjastosta.

Kirjaston kuvissa oleellisimpia tietoja ovat laitteen kohdistuspiste ja kiinnityspisteiden mitat, kytkentäkoteloiden sijainti, sekä liittimien sijaintitiedot.

## AutoCAD

AutoCAD on MicroStationin kaltainen CAD-suunnitteluohjelma, jonka on kehittänyt ohjelmistoyritys Autodesk. AutoCADin historia alkaa vuodesta 1982, jolloin ohjelmiston ensimmäinen versio julkaistiin. 2000-luvun alkupuolelta saakka ohjelmasta on julkaistu uusi versio kerran vuodessa. AutoCAD 2022 julkaistiin maaliskuussa 2021, ja se on 36. julkaisu ohjelmasta. Myös AutoCADilla piirtäminen perustuu graafisiin objekteihin, kuten viivoihin, ympyröihin ja muihin kuvioihin sekä teksteihin, ja sillä voidaan piirtää vektorigrafiikkaa kaksi- ja kolmiulotteisesti. [15; 16.]

AutoCAD on toinen ohjelmista, joita Omexomilla tällä hetkellä käytetään ensiösuunnitteluun. Suunnitteluohjelman valinta riippuu suunniteltavasta kohteesta, sen tilaajan asettamista vaatimuksista, sekä suunnittelijasta. AutoCADilla suunniteltu tiedosto on tyypiltään DWG, joka on yleinen tiedostomuoto monille CAD-ohjelmille. AutoCADiin on tarjolla paljon Autodeskin ja myös muiden yritysten tekemiä laajennuksia, joilla sen soveltuvuutta eri suunnittelutehtäviin voidaan

laajentaa. AutoDeskin omia laajennuksia ovat esimerkiksi sähkösuunnitteluun soveltuva AutoCAD Electrical ja 3D-mekaniikkasuunnitteluun ja tuotesimulointiin soveltuva AutoDesk Inventor.

Myös AutoCADilla on mahdollista käyttää valmiita piirtomerkkejä. AutoCADissa MicroStationin cellejä vastaavia piirtomerkkejä kutsutaan bloqueiksi ja suunnittelun avuksi on luotu Cell-kirjastoja vastaava Block-kirjasto.

### Primtech

Primtech saksalaisen ohjelmistoyhtiö Entegran kehittämä suunnitteluohjelmisto erityisesti sähköasemien 3D-suunnitteluun. Entegra on vuonna 1991 perustettu ohjelmistoyritys, jolla on tällä hetkellä 28 työntekijää. Yrityksellä on yli 800 asiakasta, mukaan lukien maailmanlaajuiset suuryritykset Siemens, ABB ja BASF. Entegra on AutoDeskin pitkäaikainen kumppani, ja se on nimetty ensisijaiseksi kumppaniksi sähköasemasuunnittelussa. Primtech on edellisessä kappaleessa mainittu laajennusosa, joka vaatii toimiakseen AutoDeskin AutoCAD ohjelmiston. [17.]

### Substation Design Suite

Toinen erityisesti sähköaseman 3D-suunnitteluun erikoistunut ohjelmisto on Substation Design Suite. Sen kehittäjä on amerikkalainen vuonna 2002 perustettu ohjelmistoyritys Spatial Business Systems. Spatial Business Systemsillä on yli 600 asiakasta 30 maassa. Myös Spatial Business Systems on AutoDeskin yhteistyökumppani ja Substation Design Suite -ohjelmisto on myös laajennusosa, joka vaatii toimiakseen AutoDesk Inventor -ohjelmiston. [18.]

### Bentley OpenUtilities Substation

Kolmas vaihtoehto sähköaseman 3D-suunnitteluohjelmasta on ohjelmistoyhtiö Bentley Systemsin OpenUtilities Substation. Ohjelmiston kehittäjä on siis sama kuin Omexomilla käytössä olevan MicroStation ohjelmiston. Ohjelmisto ei

kuitenkaan vaadi toimiakseen muuta ohjelmaa, eli se ei ole vastaava laajenusosa kuten kaksi muuta vaihtoehtoa.

### 3.4 Ohjelmien ominaisuudet ja tutkittavan ohjelman valinta

Valmistajien ilmoittamien ominaisuuksien perusteella 3D-suunnitteluohjelmat vastaavat pääosin paljon toisiaan. Valmistajien verkkosivuilla OpenUtilities Substationin ja primtechin ominaisuuksista oli tarjolla huomattavasti enemmän tietoa Substation Design Suiteen verraten. Ohjelmistojen valmistajilta löytyy useita YouTube-videoita niiden käytöstä ja eri ominaisuuksien esittelystä. Valmistajien videoita ja materiaaleja tutkimalla muodostui käsitys, että AutoDeskin tuotteiden laajennuksina toimivat ohjelmat vastaavat melko paljon toisiaan.

Kaikki ohjelmat ovat tietokantapohjaisia eli niihin on mahdollista lisätä valmistajien komponenttien todellisia 3D-malleja yksityiskohtaisine tietoineen, ja ne sisältävät myös valmiin 3D-tuotemalleja sisältävän tietokannan. Kaikissa ohjelmissa on myös mahdollista laajentaa tuotetietokantaa. Tuotetietokantojen ansiosta kaikki ohjelmat sisältävät määrälaskentaominaisuuden. Ohjelmilla on määrälaskennan lisäksi mahdollista tehdä erilaisia teknisiä laskelmia, kuten esimerkiksi ukkosuojauslaskelmia, oikosulkulaskelmia ja riippumalaskelmia. Ohjelmilla on myös mahdollista tarkastella ilmapäliien etäisyyksiä.

Laskelmien suhteen ominaisuuksiltaan monipuolisin ohjelma oli olemassa olevien tietojen perusteella Primtech. Juuri tästä syystä kyseinen ohjelma oli aiemmin valikoitunut Omexomin käyttöön. Ohjelmaa käyttäneiden suunnittelijoiden mukaan Primtechin laskentatyökalut olivat kuitenkin osoittautuneet käytössä huomattavasti oletettua työläimmäksi. Laskentatyökaluissa ei ole mitään automatiikkaa ja niiden käyttö vaati käytännössä kaikkien arvojen syöttämisen käsin laskentatyökaluihin. Kokemusten perusteella ohjelmasta on myös haastavaa tulostaa kuvia suunnittelun ollessa kesken. Myös alustavien suunnitelmien hahmottelu on Primtechillä haastavaa.

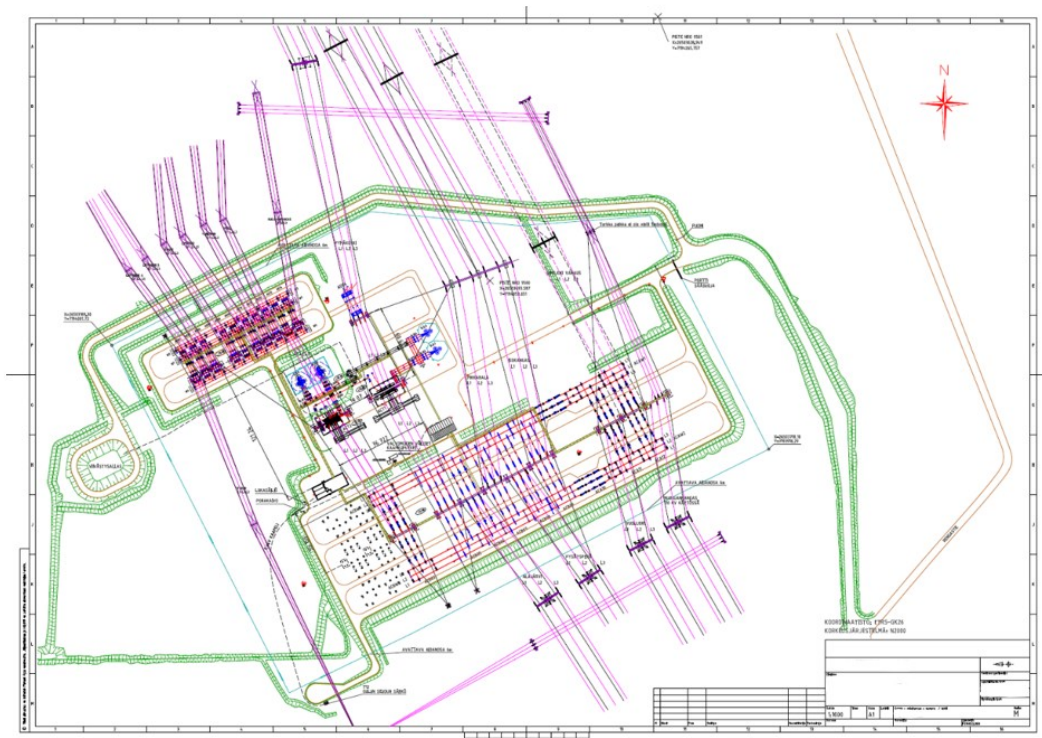
Laskentaominaisuuksia lukuun ottamatta ohjelmat olivat ominaisuuksiltaan melko tasavertaisia ja toisiaan vastaavia. Koska primtech ja Substation Design Suite ovat molemmat AutoDeskin tuotteiden laajennusosia ja käytettävyytensä puolesta samankaltaisia, päädyttiin selvittämään Bentleyyn OpenUtilities Substation ohjelman saatavuutta. Ohjelma oli helpoiten saatavilla opiskelijakäyttöön, joka sopi tähän selvitystyöhön riittävästi.

## **4 Ensiösuunnittelun osa-alueet**

Tässä luvussa tutustutaan tarkemmin muutamiin ensiösuunnittelijan vastuulla oleviin suunnittelun osa-alueisiin ja niiden lopputuloksena syntyviin dokumentteihin.

### **4.1 Aluepiirustus**

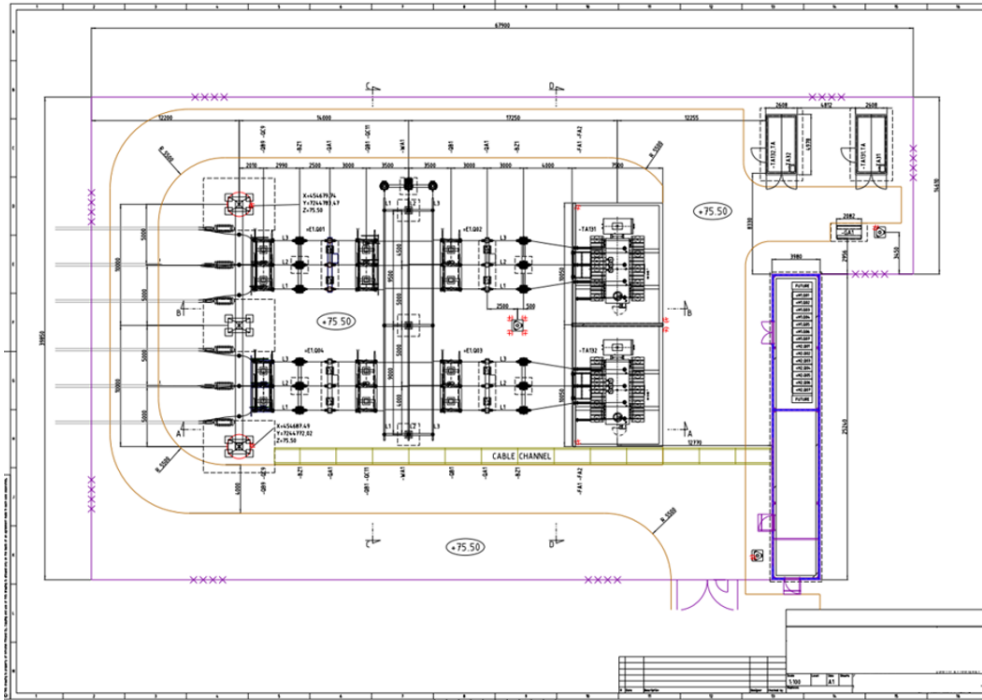
Aseman suunnittelu aloitetaan laatimalla aluepiirustus. Aluepiirustuksen hahmotelu aloitetaan jo esisuunnitteluvaiheessa ja varsinaisen yksityiskohtaisen suunnittelun aikana aluepiirustus tarkennetaan lopulliseen muotoonsa. Aluepiirustus on suunnitelma, jossa näkyy aidattu sähköasema-alue, sekä sinne johtava tie. Kuvassa 3. on esitetty esimerkki erään sähköaseman aluepiirustuksesta. Kuvassa on esitetty oleellisia tietoja, joita esitetään aluepiirustuksessa. Niitä ovat esimerkiksi pohjoisnuoli, koordinaatit, aidan portin sijainti ja sen avattavat osat, suur- ja keskijännitekaapelit, vaihemerkinnät sekä lähtöjen nimet ja kenttien tunnukset. [19.]



Kuva 3. Sähköaseman aluepiirustus [19].

## 4.2 Sijoituspiirustukset

Sijoituspiirustus on aluepiirustusta yksityiskohtaisempi suunnitelma, josta käy ilmi muun muassa kojeiden tarkat mittatiedot ja leikkauskuvien viittaukset. Jos suunniteltava sähköasema on kooltaan pieni, voidaan koko asema sijoittaa yhteen sijoituspiirustukseen. Suuremmasta asemasta sijoituspiirustus tehdään rajaamalla siihen sopiva osa sähköasemasta. Kuvassa 4. on esitetty esimerkki sähköaseman sijoituspiirustuksesta, johon on sijoitettu koko sähköasema. Kuvassa on nähtävillä kaikki sähköaseman komponentit, laitteet ja rakennukset ja siihen on merkitty muun muassa kenttien, kojeiden ja laitteiden tunnuksat, vaihemerkinnät sekä aiemmin mainitut mittatiedot ja viittaukset leikkauskuviin.



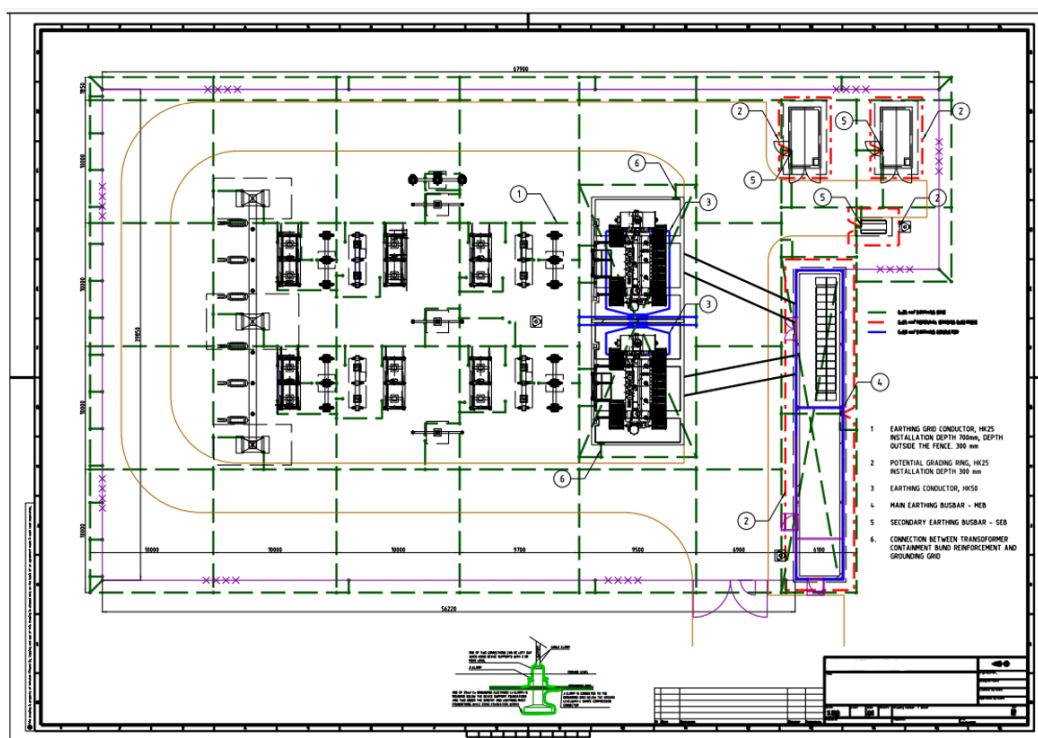
Kuva 4. Sähköaseman sijoituspiirustus.

Usein esimerkiksi perustuksista, kaapeliputkista ja kaapelikanavista on tarpeellista tehdä maanrakennustöiden tekijälle oma sijoituskuva. Tällainen sijoituskuva vastaa edellä esitettyä kuvan kolme sijoituskuvaa, mutta siitä piilotetaan tasojen hallinnan avulla laitteet, telineet, rakennukset ja muut objektit siten, että kuvaan jää ainoastaan tarvittava informaatio.

### 4.3 Maadoituspiirustukset

Sähköaseman maadoitus toteutetaan yleensä käyttämällä verkkomaista maadoituselektrodia, jota kutsutaan myös maadoitusruudukoksi. Maadoitusruudukkoon yhdistetään esimerkiksi kaikkien aseman laitteiden maadoitusjohtimet, asemaa ympäröivä aita sekä asemalta lähtevät ukkosjohtimet. Maadoitusten avulla huolehditaan, että vikatapauksessa esiintyvät kosketus- ja askeljännitteet eivät nouse alueella liian suuriksi. SFS-standardissa 6001 määritellyt vaatimukset suurjännitesähköasennuksille pätevät sellaisenaan myös sähköasemilla. [5, s. 446–449.]

Aluemaadoituspiirustus on koko sähköasema-alueen maadoituspiirustus, josta on nähtävissä esimerkiksi asema-alueita ympäröivän aidan maadoitus sekä voimajohtojen ensimmäisten pylväiden liittyminen maadoitusruudukkoon. Maadoitusruudukko suunnitellaan siten, että maadoitusjohtimet kulkevat kenttien suuntaisesti sekä kohtisuoraan niitä vastaan. Kuvassa 5. on esitetty esimerkki aluemaadoituspiirustuksesta. Kuvan piirustuksesta käy ilmi muun muassa maadoitusruudukon koko, maadoituselektrodien ja johtimien poikkipinnat ja materiaalit sekä asema-alueen laitteiden ja rakenteiden liittynät maadoitusruudukkoon. Kuvasta nähdään myös laitesuojien ja sähköasemarakennuksen potentiaalintasausjohtimet sekä maadoituskiskojen sijainti ja niiden liittyminen maadoitusruudukkoon. Ylhäältäpäin esitetystä kuvasta, sijoituspiirustukseen lisätyt maadoitusjohtimet ja -elektrodit on eroteltu eri viivatyypeillä.



Kuva 5. Aluemaadoituspiirustus.

Riippuen suunniteltavasta asemasta voi olla tarpeellista laatia myös kytkinlaitoskohtaisia maadoituspiirustuksia. Lisäksi laaditaan myös maadoituskaavio, jossa esitetään kaikkien sähköaseman laitteiden ja rakenteiden liittyminen

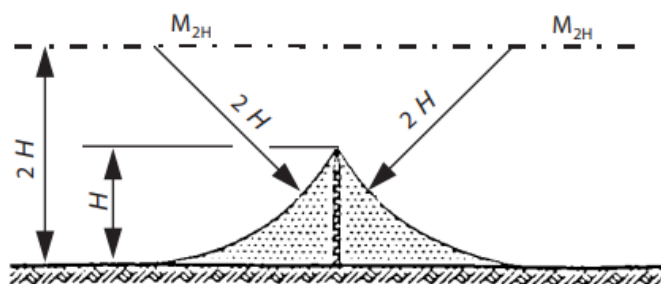


Myös esimerkiksi kaapeliojista ja kanavista on usein tehtävä leikkauskuvat, joista selviää esimerkiksi kaapelien, maadoituselektrodin ja varoitussauhan asennussyvyys sekä kaapeliojan täyttöön käytettävät maa-ainekerrokset.

#### 4.5 Ukkosuojaustarkastelu

Ukkosuojaustarkastelu on yksi oleellinen osa sähköaseman suunnittelussa. SFS-standardin 6001 liite R määrittää mallikokeisiin, mittauksiin, havaintoihin ja vuosien kokemuksiin perustuen tapoja miten suojaus salamaniskuilta voidaan toteuttaa. Suojaus voidaan toteuttaa käyttämällä ukkosjohtimia ja/tai mastoja. Standardissa esitetyt suojaustavat ovat voimassa enintään 25 metrin korkeuteen ulottuville asennuksille.

Korkeudelle  $H$  asennetulla ukkosjohtimella saadaan aikaan kaareva, teltan muotoinen ja johtimen suuntaan kulkeva suojavyöhyke. Suojavyöhykkeen muoto on nähtävissä kuvassa seitsemän. Kuvasta 7. havaitaan, että johtimesta aiheutuvan kaarevan suojavyöhykkeen kaaren säde on kaksi kertaa johtimen sijoituskorkeuden suuruinen. [9, s. 136.]

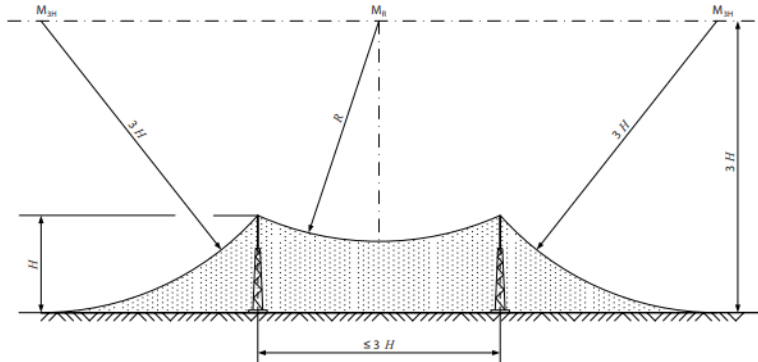


Kuva R.1 Yksittäinen ukkosjohdin

Kuva 7. Yksittäisen ukkosjohtimen suojavyöhyke [9, s. 136].

Sijoittamalla alueelle suojamasto saadaan aikaan kartiomainen suojavyöhyke, joka on yleensä ukkosjohtimen muodostamaa suojavyöhykettä laajempi. Kuva 8. havainnollistaa kahden suojamaston muodostamaa suojavyöhykettä. Maston

muodostaman suojavyöhykkeen kaaren säde on kolme kertaa maston korkeuden suuruinen. Kuvasta nähdään myös, että kahden maston väliin muodostuu kaaren muotoinen suojavyöhyke. [9, s.136]

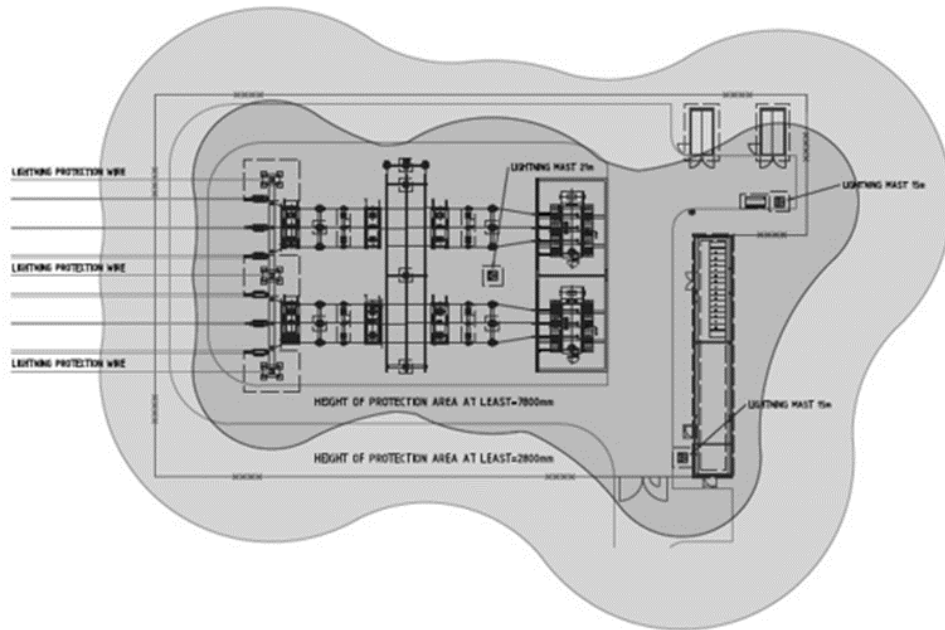


Kuva R.4 Kaksi suojamastoa

Kuva 8. Kahden suojamaston muodostama suojavyöhyke [9, s.137].

Ukkossuojaustarkastelun tekeminen 2D-suunnitelmaan onnistuu laskemalla standardin menetelmien mukaan alueelle sijoitetun maston tai ukkosjohtimen muodostaman suojavyöhykkeen kaaren säde ja sijoittamalla 2D-suunnitelman leikkauskuvaan laskeman mukainen kaari. Tällä tavalla nähdään, millainen osa sähköasema-alueesta saadaan suojattua. Tarkastelun tekeminen edellä mainitulla tavalla on kuitenkin varsinkin suuremmilla asemilla työlästä.

Kuvassa 9. on esitetty dokumentti, josta nähdään tyypillinen tapa esittää ukkosuojaustarkastelun tulos. Kuvasta on nähtävissä suojamastojen ja ukkosjohtimien muodostaman suojavyöhykkeen kattavuus kahdella korkeudella, eri värein esitettyinä.



Kuva 9. Ukkossuojauksen kattavuus.

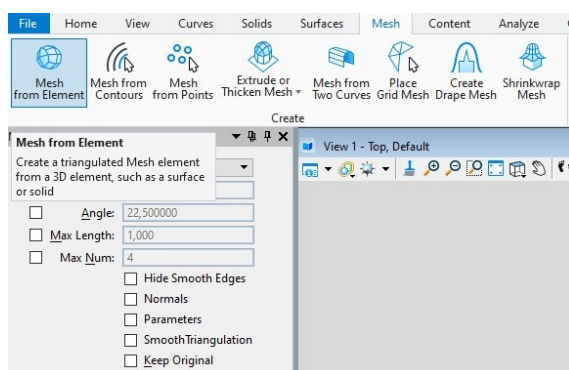
## 5 Suunnittelu OpenUtilities Substation -ohjelmalla

Insinööriyöprosessiin liittyvä käytännön työ alkoi perehtymällä ohjelman käyttöön ja ominaisuuksiin. Ohjelman käyttöön perehdyttävään koulutukseen ei tätä työtä tehdessä ollut mahdollisuutta, joten OpenUtilities Substation -ohjelman käyttö aloitettiin tutustumalla ohjelmaan valmistajan harjoitustöiden avulla. Harjoitustyöt olivat PDF-materiaaleja, joita seuraamalla sai käsityksen ohjelman ominaisuuksista. Harjoituksissa käytiin läpi uuden projektin aloittaminen, työvaiheiden eteneminen ja ohjelman tärkeimmät ominaisuudet.

Perehtyminen ohjelman käyttöön alkoi kesätöiden aikana muiden töiden salissa. Opinnäytetyötä varten suunniteltiin kuvitteellinen sähköasema käyttäen OpenUtilities Substation ohjelmaa. Suunnittelu tehtiin käyttäen mallina erään tuulivoimapuiston sähköaseman suunnitelmia. Suunnittelussa käytettiin kuitenkin vain ohjelman tietokannoissa valmiina olevia komponentteja, mikä rajoitti hieman suunnittelua. Seuraavissa alaluvuissa kerrotaan ohjelmalla suunnittelun kannalta oleellisia työvaiheita ja työkaluja.

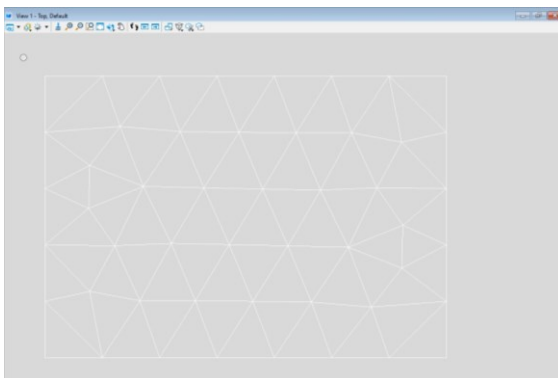
## 5.1 Digitaalinen maastomalli

Ohjelmalla suunnittelu aloitetaan piirtämällä ohjelmalla maastomalli, jonka päälle asemaa voidaan alkaa suunnittelemaan. Maastomalli on yksinkertaisimmillaan sähköasema-alueen maaston pintaa kuvaava ruudukko. Tekemällä ruudukosta mesh-elementti, voidaan esimerkiksi muokata pintaa kuvaavan ruudukon muotoja maaston muotojen mukaiseksi. Kuvassa 10. ohjelman mesh-työkalu, jota käytettiin maastomallin muokkaamiseen mesh-elementiksi.



Kuva 10. Suunnitteluohjelman mesh-työkalu.

Kuvassa 11. on ohjelmalla piirretty yksinkertainen digitaalinen maastomalli, josta on luotu mesh-elementti. Digitaalinen maastomalli tallennetaan projektin tietokantaan omana tiedostonaan, ja sitä käytetään referenssinä seuraavaa piirustusta aloitettaessa.



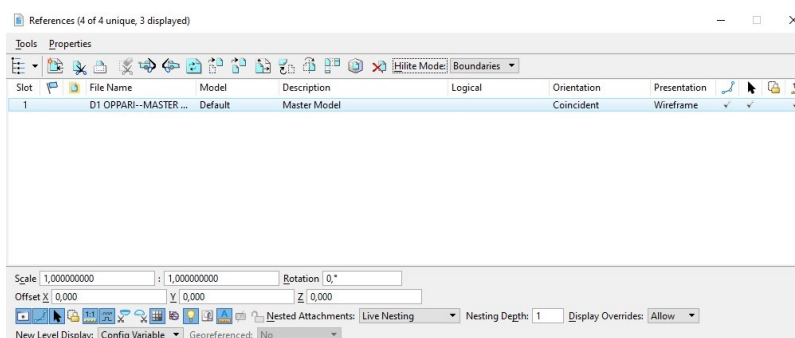
Kuva 11. Digitaalinen maastomalli.

Perustusten ja muiden objektien sijoittaminen oikeaan korkoon on selkeää maaston pintaa havainnollistavan mallin avulla.

## 5.2 Dokumentin käyttäminen referenssinä

Suunnittelussa on hyödyllistä käyttää tiettyjä dokumentteja niin sanotusti pohjana eli referenssinä uuden dokumentin luonnissa. 3D-suunnittelu on hyvä aloittaa tekemällä aiemmin esitetty maastomalli ja käyttää sitä referenssinä seuraavassa suunnitteludokumentissa, johon sijoitetaan komponentteja ja muita objekteja.

Kun dokumenttia käytetään referenssinä, siirtyvät esimerkiksi sijainti- ja mittakaavatiedot uuteen dokumenttiin referenssiksi liitetyn piirustuksen mukana. Referenssiksi asetettua tiedostoa ei myöskään voi muokata vahingossa, vaikka sen päälle piirretään uusia suunnitelmia. Jos referenssinä käytettävään piirustukseen halutaan tehdä muutoksia, tulee se avata alkuperäisestä sijainnista. Muutosten jälkeen kuva pitää joko sulkea ja avata uudelleen tai referenssi pitää ladata uudelleen, jotta siihen tehdyt muutokset päivittyvät uuteen kuvaan. Tiedoston lataaminen referenssiksi tehdään kuvassa 12. esitetyn työkalun avulla. Työkalun avulla referenssi voidaan myös esimerkiksi ladata uudelleen tai poistaa ja muokata muita referenssidokumentin ominaisuuksia.

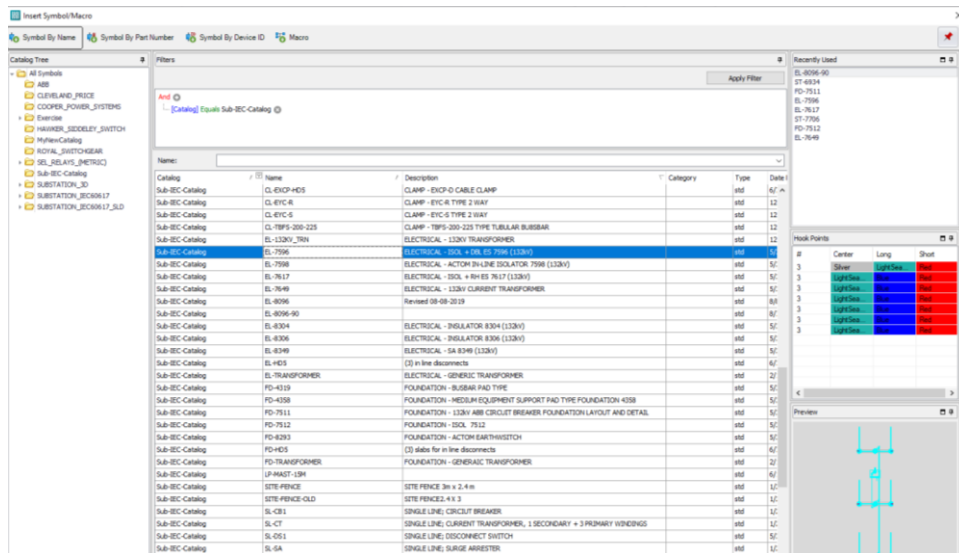


Kuva 12. Referenssityökalu.

Työkalu on vastaava kuin MicroStation -ohjelmassa, joten ominaisuuden käyttäminen MicroStationin hallitsevalle suunnittelijalle on helppoa.

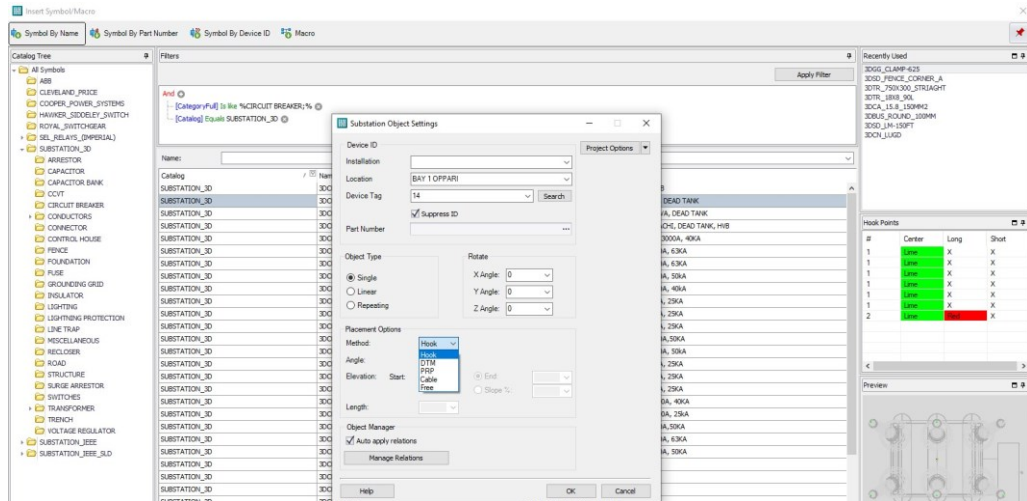
### 5.3 Komponenttien sijoitus

Kun maastomalli on asetettu dokumentiin referenssiksi, voidaan alkaa sijoittamaan sähköaseman komponentteja. Kun suunnitelmaan halutaan sijoittaa ohjelman tietokannassa oleva komponentti, valitaan ohjelman 3D Design -työkaluriviltä Insert Substation Objects -toiminto. Tämän jälkeen aukeaa kuvan 13. mukainen ikkuna, josta voidaan etsiä haluttu symbolitietokanta ja sen alta tarvittava komponentti. Kuvan alareunassa näkyy myös, että komponentteja selatessa niistä on nähtävissä pieni esikatselu.



Kuva 13. Symbolitietokanta.

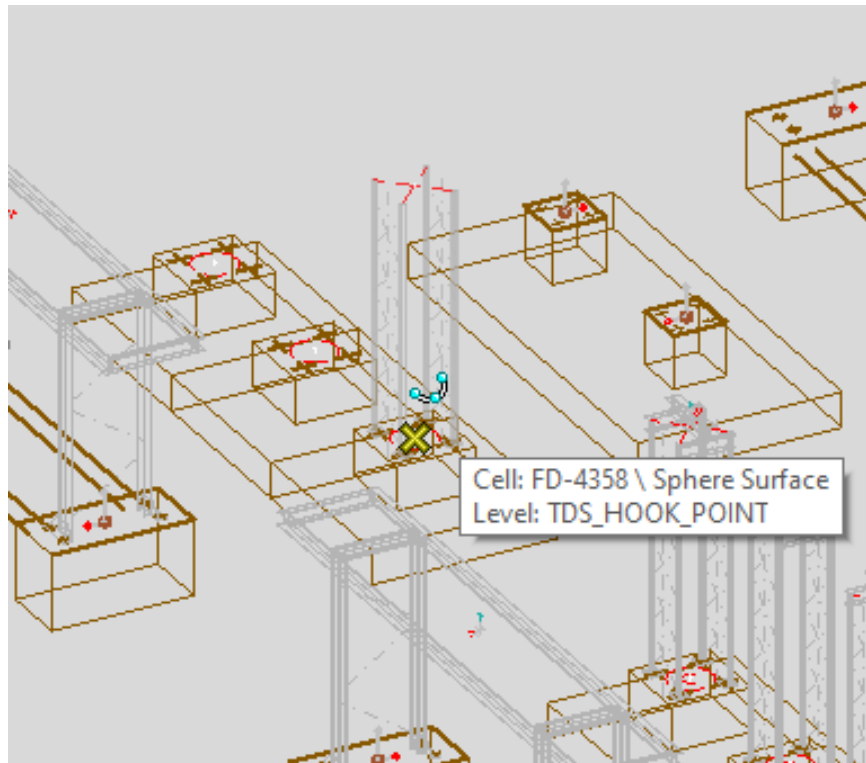
Kun tietokannasta valitaan halutun komponentin symboli, aukeaa kuvan 14. mukainen ikkuna, josta voidaan määrittää symbolin sijoittamiseen liittyvät asetukset.



Kuva 14. Symbolin sijoitusasetukset.

Oleellinen valinta symbolin sijoitukseen liittyen on sijoitustavan valinta. Tietokannassa oleville komponenteille on määritetty hook point, joka on symbolin kohdistuspiste. Valitsemalla sijoitustavaksi hook, esimerkiksi sijoitettaessa telinettä perustuksen päälle, ohjelma etsii perustuksen hook pointin ja kiinnittää telineen sen omasta hook pointista juuri oikeaan kohtaan. Toiminto vastaa monissa CAD-suunnitteluohjelmissa olevaa snap-toimintoa, jonka avulla komponentti tarttuu lähimpään pisteeseen annettujen määritysten mukaisesti.

Kuvassa 15. sijoitetaan virtamuuntajan telineen symboli perustuksen päälle hook-sijoitustapaa käyttäen. Kuvalla pyritään havainnollistamaan, miten telineen symboli tarttuu perustuksen hook pointiin, kun se raahataan riittävän lähelle. Kuvasta nähdään, että teline asettuu perustuksen päälle oikeaan korkoon ja keskelle perustusta.



Kuva 15. Symbolin sijoitus.

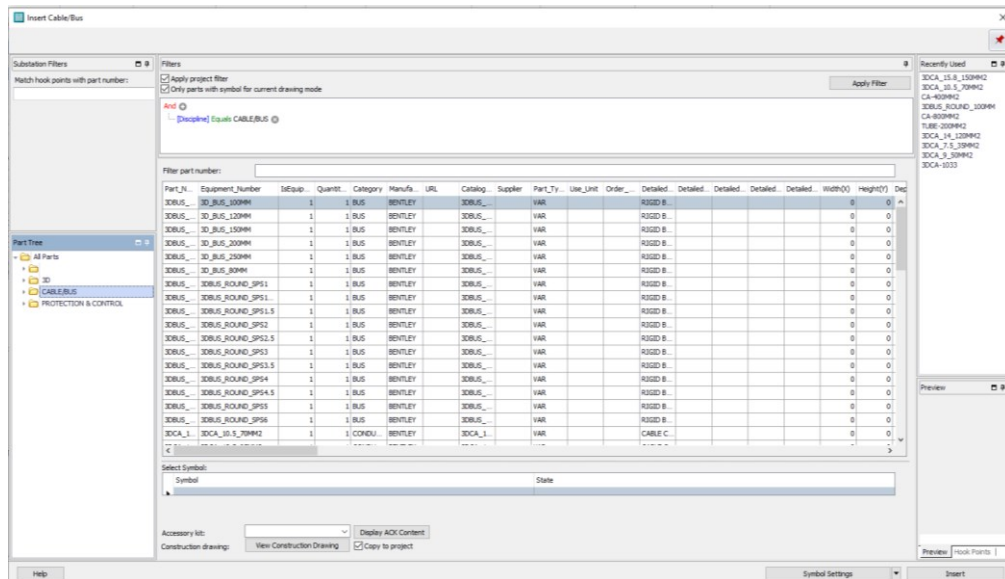
Toinen tärkeä asia on komponenttien tasojen määrittäminen. Suunnittelun kannalta on erittäin hyödyllistä, että kaikille objekteille on selkeästi määritetty ja nimetty tasot. Kun objektit on jaettu järkevästi omille tasoilleen, on tiettyjen komponenttien tarkastelu helppoa, koska muut komponentit voidaan piilottaa ympäriltä sammuttamalla tasoja. Tasojen hallinta tapahtuu Level manager -työkalulla samoin kuin MicroStation -ohjelmassa. Kuvassa 16. on esitetty esimerkki Omexomin suunnitteluohjeen mukaisesta tasojen käytöstä. Kuvasta nähdään tasoille määritetyt viivatyypit, viivojen paksuudet ja värit.

Name			
Default	0	0	0
<b>Mitoitus</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
OMX Aidat	87	0	1
OMX Aluemaadoitus kaivot	0	0	1
OMX Aluemaadoitusverkko Cu25	3	0	2
OMX Aluemaadoitusverkko Cu95	1	0	2
OMX Aluemaadoitusverkko liitin	0	0	0
OMX Aluemaadoitusverkko Vanha25	3	3	2
OMX Aluemaadoitusverkko Vanha70	130	3	2
OMX Aluemaadoitusverkko Vanha95	1	3	2
OMX Jakokaapit	143	0	0
OMX Kaapelihyllyt	8	0	0
OMX Kaapelikanavat	132	0	0
OMX Kaapeliputket	164	3	1
OMX Kojeet	1	0	0
OMX Kojetelineet	13	0	0
OMX Koordinaattipisteet	3	0	2
OMX Korot	0	0	0
OMX Liittimet ja kiristimet	0	0	0
OMX Luiskat	98	0	0
OMX Maadoituspiste	3	0	0
OMX Magneettikentät	1	3	0
OMX Mittaviivat	16	3	0
OMX Muuntajabunkerit	0	0	0
OMX Muuntajat	0	0	0
OMX OKM	0	0	0
OMX OKM Kaapeli	0	3	1

Kuva 16. Tasojen hallinta [18].

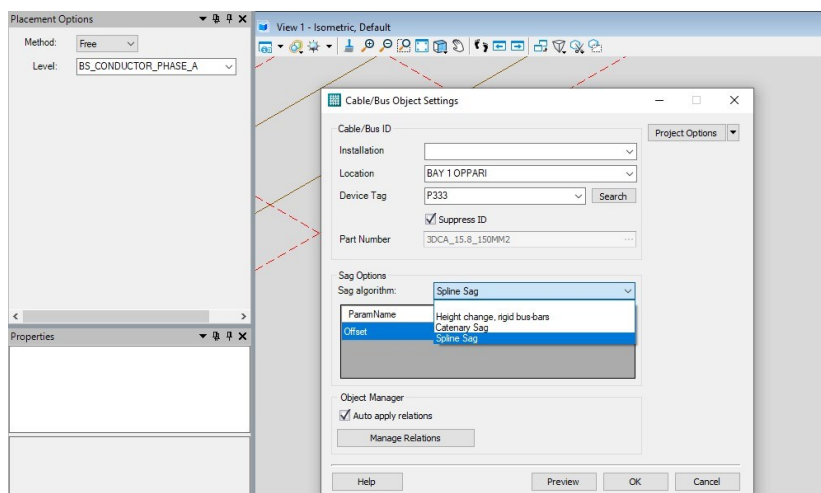
#### 5.4 Johtimien ja virtakiskojen sijoittaminen

Johtimien ja kiskojen sijoittaminen tapahtuu Insert Cable/Bus Object -työkalulla liittimien sijoituksen jälkeen. Insert Cable/Bus Object -työkalu avaa kuvan 17. mukaisen tietokannan, josta valitaan sopiva johdin tai kisko.



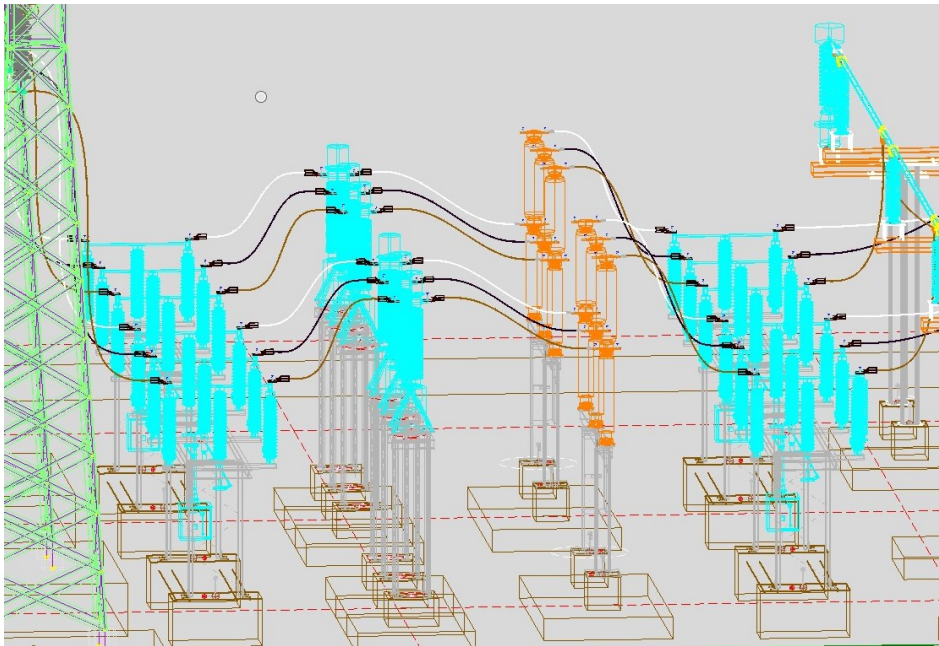
Kuva 17. Johdin- ja kiskotietokanta.

Johtimen tai kiskon sijoitus tapahtuu hieman vastaavasti kuin symbolienkin sijoitus. Sijoitus aloitetaan valitsemalla sijoitustapa ja kolmivaihejärjestelmän vaihemerkintä. Johdinobjektille annetaan alkupiste ja loppupiste. Kun päätepisteet on määritetty aukeaa kuvan 18. mukainen ikkuna, josta määritetään ominaisuudet sijoitettavalle johtimelle.



Kuva 18. Johdin- tai kisko-objektin asetukset.

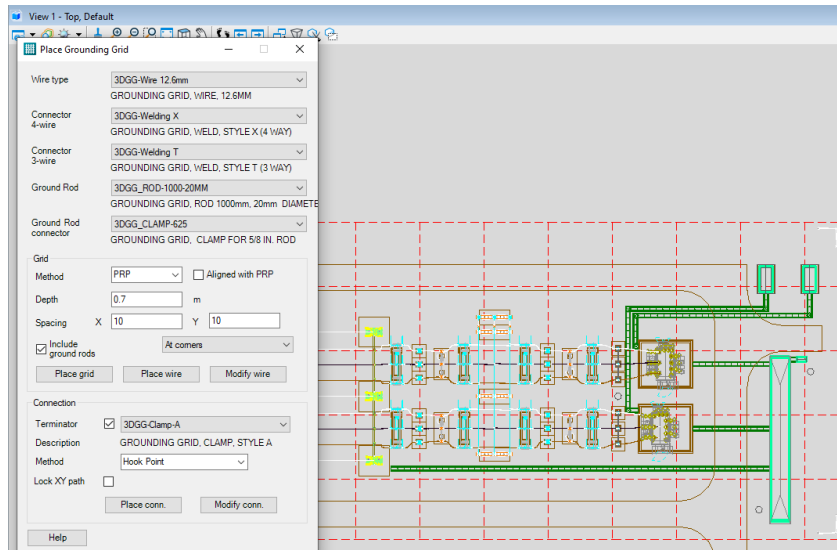
Sijoitettavalle johtimelle mahdollista määrittää niiden taipumat siten, että se saadaan vastaamaan mahdollisimman hyvin todenmukaista tilannetta. Tämä voi olla hyödyllistä esimerkiksi ilmavälien tarkastelun kannalta. Myös taipumattoman kiskon korkeuden muutoksia on mahdollista muokata. Kuvassa 19. on esitetty ruutukaappaus 3D-suunnitelmasta. Kuvasta nähdään, miltä johtimet ja kiskot näyttäisivät suunnitelmaan sijoitettuna, kun niille on pyritty määrittämään luonnolliset taipumat.



Kuva 19. Johtimet ja kiskot sijoitettuna suunnitelmaan.

## 5.5 Maadoitukset

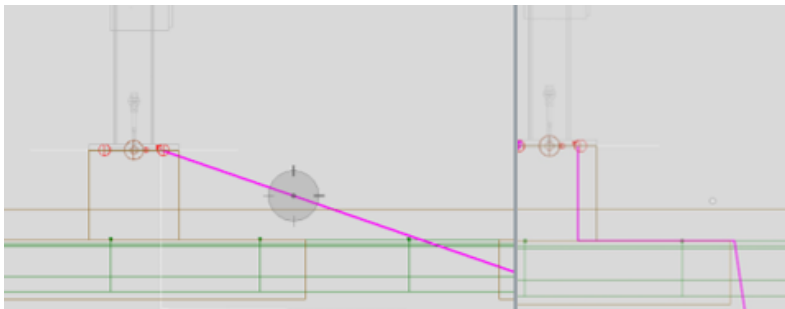
Tavallinen tapa toteuttaa sähköasema-alueen maadoitus on sijoittaa maahan maadoitusverkko kenttien suuntaisesti, sekä kohtisuoraan niitä vastaan. Maadoitusten suunnitteluun on ohjelmassa oma Place Grounding Grid -työkalu. Kuvassa 20. on esitetty, mitä ominaisuuksia maadoitusverkon sijoitustyökalun avulla on mahdollista muokata.



Kuva 20. Maadoitusruudukon sijoitus.

Työkalulla voidaan valita maadoituselektrodin ja -johtimien sekä liittimien tyypit, maadoitusverkon asennussyvyys ja maadoitusverkon ruudun koko. Kun vaatimusten mukainen maadoitusverkko on sijoitettu, voidaan samalla työkalulla suunnitella komponenttien tukirakenteiden, aidan, rakennusten ja muiden vaadittavien objektien kytkentä maadoitusruudukkoon.

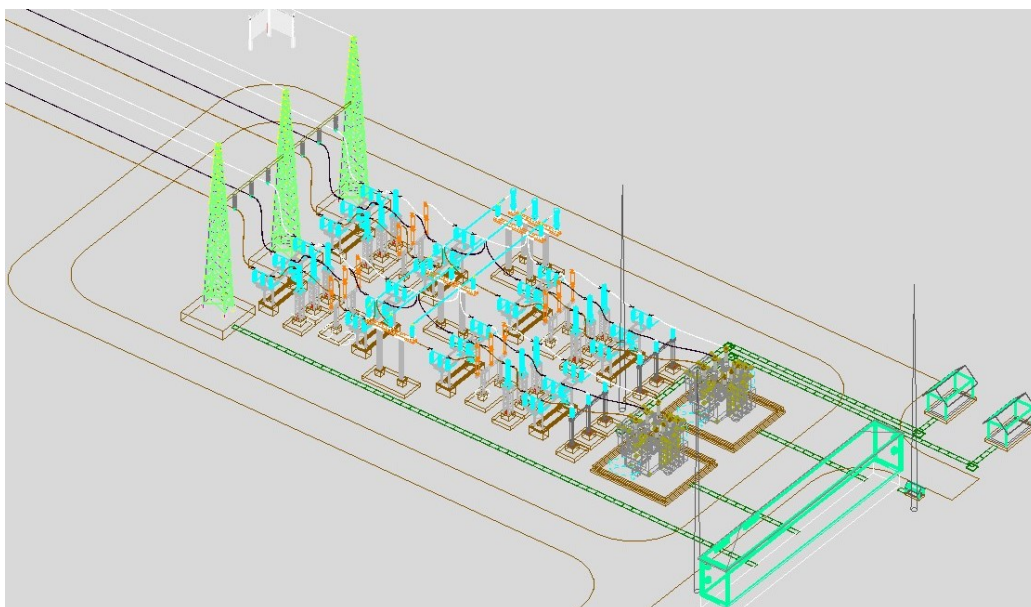
Suunnitelmaan sijoitettujen maadoitusjohtimien muokkaaminen on mahdollista samalla työkalulla. Maadoitusjohdin voidaan muokata kulkemaan todenmukaisempaa kulkureittiä. Kuvassa 21. on esitetty kojettelineen maadoitusjohdin, jonka kulkureitti on muokattu enemmän todellisuutta vastaavaksi. Kuvassa vasemmalla maadoitusjohdin ennen muokkausta ja oikealla muokkauksen jälkeen.



Kuva 21. Maadoitusjohtimen muokkaus.

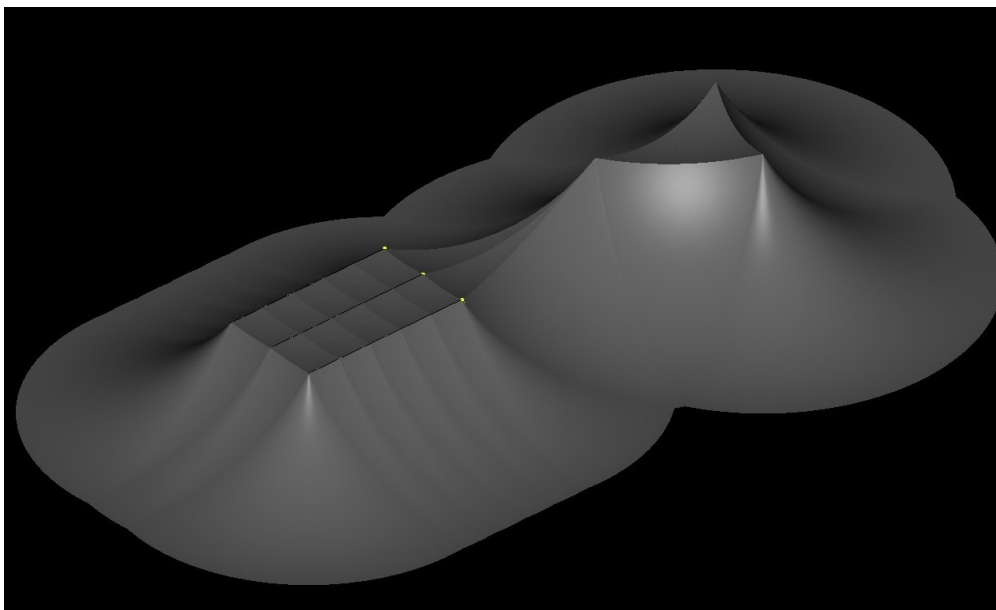
## 5.6 Ukkosuojaustarkastelu

Suunnitelmalle on mahdollista tehdä ukkossuojaustarkastelu ohjelman Lightning Protection -työkalulla. Tarkastelu tapahtuu Rolling Sphere -menetelmällä. Menetelmällä tehty tarkastelu vastaa SFS 6001 standardin vaatimuksia salamanisulta suojautumiseen. Kuvassa 22. on esitettyä 3D-malli suunnitellusta sähköasemasta. Kuvasta nähdään, että suunnitellun sähköaseman ukkossuojaus toteutettiin sijoittamalla sähköasema-alueelle kolme ukkosmastoa voimajohtojen mukana kulkevien ukkosjohtimien lisäksi.



Kuva 22. Suunniteltu sähköasema.

Suunnitelmassa käytettiin 25 metriä korkeita mastoja. Saapuvien voimajohtojen mukana kulkevat ukkosjohtimet ovat 18 metrin korkeudella. Lightning Protection -työkalulla valitaan suunnitelmaan sijoitetut mastot ja ukkosjohtimet, sekä asetellaan haluttu suojaustaso. Tämän jälkeen ohjelma mallintaa mastojen ja ukkosjohtimien muodostamat suojavyöhykkeet niiden korkeuden perusteella. Kuvassa 23. esitettyä ukkossuojaustarkastelun 3D-mallinnus. Kuvasta havaitaan, että suojamastojen ja ukkosjohtimien sijoittelulla saatiin aikaan suojaus, joka kattaa koko sähköasema-alueen.

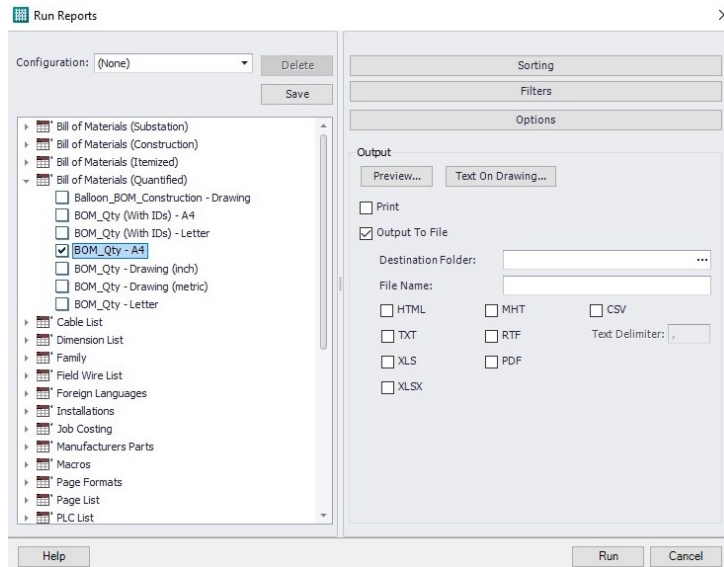


Kuva 23. Aseman ukkossuojaustarkastelu.

Ohjelman Planar Slice -toiminnolla on mahdollista tehdä kuvan 23 mukaisesta ukkossuojauksen 3D-mallinnuksesta kaksiulotteinen piirustus, josta käy ilmi ukkossuojauksen kattavuus eri korkeuksilla. Tällainen esitystapa esiteltiin työn teoriaosuudessa kuvassa 9.

## 5.7 Luettelot

Luetteloiden ja määrälaskentojen tekeminen onnistuu monipuolisesti ohjelman Output -työkaluriviltä löytyvällä Run Reports -työkalulla. Työkalun avulla on mahdollista tehdä esimerkiksi osa- ja kaapeliluetteloita, sekä johdotuskaavioita. Kuvassa 24. on esitetty ruutukaappaus työkalun etusivulta, josta käy ilmi, millaisia erilaisia luetteloita sen avulla voidaan tehdä. Luettelon voidaan tulostaa useaan eri tiedostomuotoon.



Kuva 24. Run Reports työkalu.

## 5.8 Tarkistustyökalu

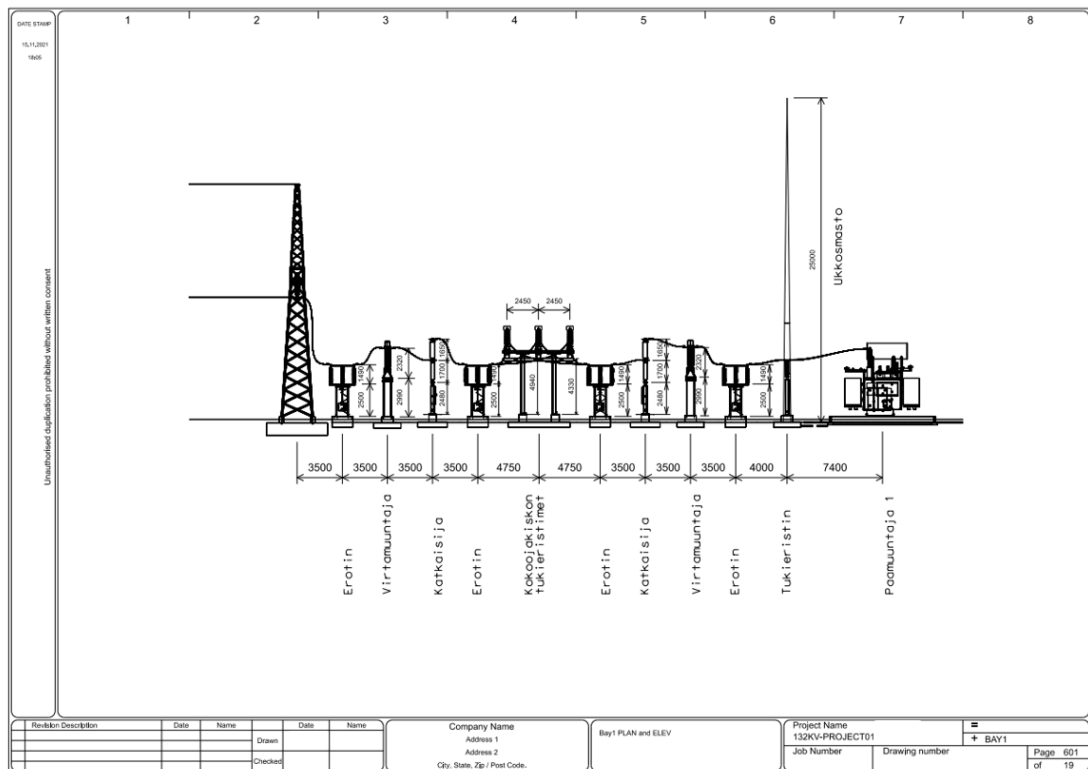
Ohjelmassa on myös Error Checking -työkalu, jonka avulla on mahdollista selvittää, onko suunnitelmassa esimerkiksi kytkemättömiä symboleja, oikosulkuja ja johtoja kytkettynä tavallisiin viivoihin. Työkalun avulla on myös mahdollista etsiä esimerkiksi symboleita, joilta puuttuu osanumero, tai symboleja, jotka puuttuvat tietokannasta.

## 5.9 Symbolien lisäys

Ohjelmaan on mahdollista ladata uusia osa- ja kaapelitietokantoja ja sen lisäksi on mahdollista tehdä uusia symboleja komponenttien 3D-malleista. Symbolin luomista varten ohjelmassa on Create Symbol -työkalu. Ohjelmaan tuodaan ensin komponentin 3D-malli, jonka jälkeen Symbol Creating Wizard- toiminto opastaa vaihe vaiheelta Hook pointin ja muiden tarvittavien ominaisuuksien määrittämisessä uudelle symbolille.

## 5.10 Suunnitelmien tulostaminen

Suunnitelman tulostaminen onnistuu joko tulostimella tai PDF-muotoon. 3D-suunnitelmasta on mahdollista ottaa leikkauskuva halutusta kohdasta asettamalla suunnitelma katseltavaksi halutusta suunnasta ja rajaamalla leikkauskuvaan haluttu alue Place Fence -toiminnolla. Toiminnolla aktiiviseksi rajattu alue nimetään ja tallennetaan. Tämän jälkeen tehdään uusi sivu, johon sijoitetaan piirustusarkki. Rajattu alue voidaan liittää uudelle sivulle referenssinä ja siihen voidaan lisätä helposti esimerkiksi mittaviivoja ja muita tarvittavia tietoja. Kuvassa 25. on esimerkki ohjelmalla tehdystä kentän leikkauspiirustuksesta. Kuvassa komponentit on nimetty ja siihen on lisätty komponenttien etäisyys- ja mittatietoja.



Kuva 25. Kentän leikkauskuva.

## 6 Havainnot

Kytäkinkentän suunnittelu 3D-ohjelmalla on melko helppoa ja tehokasta, kun ohjelman ominaisuudet saa hyvin haltuun. Työtä helpottaa huomattavasti, jos tarvittavien komponenttien ja objektien 3D-symbolit ovat saatavilla osatietokannassa. Myös symbolien luominen on tehty varsin selkeäksi. Haasteeksi voi kuitenkin muodostua komponenttien 3D-mallien saaminen laitevalmistajilta.

3D-suunnitteluohjelman ehdottomia hyötyjä ovat suunniteltavan kokonaisuuden hahmottaminen, suunnittelun epäkohtien ja virheiden helppo havaitseminen, ukkossuojaustarkasteluominaisuus sekä komponenttien tietokannat ja sitä kautta helposti saatavat osa- ja kaapeliluettelot. Verrattuna 2D-suunnitteluun, esimerkiksi komponentin vaihtumisen aiheuttamat muutokset on helpompi toteuttaa, koska muokattavia suunnitelmia on vain yksi.

Työssä tutkitun ohjelman etuna on myös se, että jos suunnittelijalla on kokemusta MicroStation ohjelman käytöstä, on OpenUtilities Substation ohjelmaan siirtyminen helppoa, koska perusominaisuudet ovat ohjelmissa samat.

Suunnitelmaa tehdessä kävi ilmi, että tasojen hallinta on 3D-suunnittelussa hiekkamäkinen haastavampaa verrattuna esimerkiksi 2D-suunnitteluun MicroStationilla. Tämä johtuu siitä, että kuvaan sijoitettu 3D-symboli saattaa sisältää osia, jotka ohjelma määrittää oletuksena eri tasolle kuin itse symboli. Esimerkiksi symbolin hook point on eri tasolla kuin itse komponentti. Tästä johtuen komponenttien piilottaminen tasojen sammuttamalla ei sujunut aivan yhtä kätevästi kuin 2D-suunnitelmissa. Välillä 3D-suunnitelmaa tehdessä on hankala huomata, jos symbolin sijoittaminen ei ole osunut täysin oikeaan sijaintiin ja suunnitelmaan saattaa joutua katselemaan tarkasti eri suunnista, jotta voidaan varmistua asiasta.

Työtä varten suunniteltu kuvitteellinen sähköasema oli kooltaan ja komponenttimäärältään melko pieni. Suunnittelussa tulee usein ohjelman käytettävyyteen liittyviä haasteita, kun aseman koko ja komponenttien määrä kasvaa. Suunnittelijoiden kommenttien perusteella suuren sähköaseman 3D-suunnitelman käsittely

oli Primtech -ohjelmalla hidasta. Vastaavia ongelmia on ollut myös 2D-suunnitelmien kanssa MicroStation ohjelmalla. Jotta vastaavaa tilannetta pystyttiin simuloimaan, tehtiin kokeilumielessä kaksi testiä. Ensimmäisessä testissä suunniteltua sähköasemaa kopioitiin rinnakkain viisi kertaa. Toisessa testissä suunnitelmaan lisättiin erittäin yksityiskohtainen, suurikokoisen muuntajan 3D-malli. Testeissä havaittiin, että ohjelman käyttö hidastui selkeästi, mutta oli hankala täysin yksiselitteisesti määrittää, johtuiko hidastuminen käytössä olleen tietokoneen vai itse ohjelman ominaisuuksista. Erittäin paljon yksityiskohtaista informaatiota sisältävän muuntajan 3D-symbolin lisääminen suunnitelmaan hidasti ohjelman toimintaa yhtä paljon kuin aseman kopiointi rinnakkain.

Oma kokemukseni sähköasemasuunnittelusta rajoittuu vain yhden kesän aikana tehtyihin töihin, joten laajempi kokemusperäinen tietotaito sähköasemasuunnittelusta puuttui. Tästä johtuen ohjelmien perusominaisuuksien omatoiminen opettelu sekä erityisesti ohjelmalta haluttujen ominaisuuksien hahmottaminen vei jo oman aikansa. Ensimmäisiä suunnitelmia tehdessä 3D-suunnittelu on varmasti hieman hitaampaa verrattuna 2D-suunnitteluun. Lyhyellä kokemuksella kuitenkin uskon, että kun suunnitelmia tekee useita, ohjelman käyttö muodostuu sujuvaksi ja 3D-suunnittelusta voi tulla jopa nopeampaa.

## **7 Yhteenveto**

Työn lähtökohtana oli toimeksiantajayrityksen tarve parantaa suunnittelun laatua ja tehokkuutta. Työssä selvitettiin vaihtoehtoja sähköasemien 3D-suunnitteluun räätälöidyistä suunnitteluohjelmista sekä niiden soveltuvuudesta ensiösuunnittelun tarpeisiin. Tarkempaan tutkimukseen valikoitui OpenUtilities Substation -ohjelma, jonka käyttöön ja ensiösuunnittelun kannalta kiinnostaviin ominaisuuksiin työssä tutustuttiin tarkemmin.

Työn aikana muodostui hyvä käsitys tarjolla olevista suunnitteluohjelmista. Työtä tehdessä saatiin myös hyvä ymmärrys tutkitun ohjelman ominaisuuksista ja siitä, miten se voisi soveltua yrityksen käyttöön. Työn aikana muodostui myös laajempi

käsitys sähköaseman suunnitteluprosessista, suunnittelijoiden tehtävistä sekä sähköasemasuunnittelusta yleisesti.

Työssä tehtyä tutkimusta voi käyttää pohjatietona tulevaisuudessa, jos 3D-suunnitteluohjelman vaihtaminen tulee ajankohtaiseksi. Tutkimusta olisi mahdollista jatkaa esimerkiksi syventymällä ohjelman ominaisuuksiin ohjatun kurssin avulla.

Työn lopputuloksena voidaan todeta, että ohjelma on ominaisuuksien perusteella käyttökelpoinen vaihtoehto ensiösuunnitteluun soveltuvaksi 3D-suunnitteluohjelmaksi, varsinkin pienempikokoisille sähköasemille. On kuitenkin huomioitava, että jotta 3D-suunnittelusta olisi mahdollista saada tehokasta, vaatii se paljon perehtymistä ja kouluttautumista ohjelman ominaisuuksiin sekä paljon työtä esimerkiksi komponenttien 3D-mallien ja symbolitietokantojen hankintaan. Jos ohjelman hankinta tulee yrityksessä vakavampaan harkintaan, kannattaa siihen mielestäni ehdottomasti yhdistää ohjelman käyttökoulutus. Ennen luopumista Primtech -suunnitteluohjelman käytöstä tulisi myös selvittää olisiko lisäkoulutusten avulla mahdollista saada ohjelmasta vielä enemmän irti.

## Lähteet

- 1 Yhtiömme. Verkkoaineisto. Omexom. <<https://www.omexom.fi/yhtiomme/>> Luettu 2.12.2021.
- 2 Sähköasemaprojektit. Verkkoaineisto. Omexom. <<https://www.omexom.fi/liiketoimintaalueet/sahkoasemaprojektit/>> Luettu 2.12.2021.
- 3 Suomen sähköjärjestelmä. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>> Luettu 06.10.2021.
- 4 Heikkilä, Jani. 2004. Sähköasema ja sen tärkeimmät laitteet. Verkkoaineisto. Fingrid 1/2004. <<https://www.yumpu.com/fi/document/read/37690252/1-2004-fingrid>>. Luettu 17.09.2021.
- 5 Elovaara, Jarmo ja Haarla, Liisa. 2011. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.
- 6 ABB TTT-käsikirja 2000–07 luku 13. Sähköasemat, kojeistot ja muuntamot. Verkkoaineisto. <[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/13\\_S%84hk%94asemat-kojaistot-muuntamot.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/13_S%84hk%94asemat-kojaistot-muuntamot.pdf)> Luettu 06.10.2021.
- 7 Sähköasemat. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kunnossapito/sahkoasemat/>> Luettu 11.11.2021.
- 8 Lakervi, Erkki ja Partanen, Jarmo. 2012. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.
- 9 SFS 6001:2018. Suurjännitesähköasennukset. 2018. PDF-dokumentti. SFS Online. Haettu 1.10.2021. Vaatii käyttöoikeuden.
- 10 Suunnittelun johtaminen ja dokumenttien hallinta. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Omexom.
- 11 Perehdytysuunnitelma. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Omexom.
- 12 Tehtäväkuvaus, Ensiösuunnittelija. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Omexom.

- 13 MicroStation. The CAD Leader for Infrastructure Design. Verkkoaineisto. Bentley Systems. <<https://www.bentley.com/en/products/brands/microstation>> Luettu 10.10.2021.
- 14 History of MicroStation. Verkkoaineisto. Bentley Systems. <[https://communities.bentley.com/products/microstation/w/microstation\\_\\_wiki/3164/history-of-microstation](https://communities.bentley.com/products/microstation/w/microstation__wiki/3164/history-of-microstation)> Luettu 11.10.2021.
- 15 AutoCAD Release History. Verkkoaineisto. Autodesk blogs. < [https://autodesk.blogs.com/between\\_the\\_lines/autocad-release-history.html](https://autodesk.blogs.com/between_the_lines/autocad-release-history.html) > Luettu 19.10.2021.
- 16 AutoCAD. CAD software with design automation plus toolsets, web, and mobile apps. Verkkoaineisto. Autodesk Inc. < <https://www.autodesk.eu/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> > Luettu 19.10.2021.
- 17 About us. Verkkoaineisto. Entegra. < <https://www.autodesk.eu/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> > Luettu 20.10.2021.
- 18 About SBS. Verkkoaineisto. Spatial Business Systems Inc. < <https://www.spatialbiz.com/about-us/> > Luettu 20.10.2021.
- 19 Suunnitteluohje, Ensiö. Verkkoaineisto. Omexom. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti.