



samk

Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

MIKKO HAKKARAINEN

Autodesk Revit-ohjelman hyödyntäminen sähköaseman primäärisuunnittelussa

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2022

Tekijä Hakkarainen, Mikko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Marraskuu 2022
	Sivumäärä 42	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Autodesk Revit-ohjelman hyödyntäminen sähköaseman primäärisuunnittelussa		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikka, Insinööri		
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää yrityksen taitoja toimia tietomallinnusympäristössä. Kolmiulotteista tietomallinnusta käytetään jo monipuolisesti arkkitehtuuri- ja rakennuspuolen ammattialoilla, muttei vielä sähköasemien primäärisuunnittelussa. Opinnäytetyössä tutkittiin primäärisuunnittelun mahdollisuuksia Autodesk Revit-ohjelmassa. Tutkimuksessa pyrittiin löytämään toimivia ratkaisuja Autodesk Inventor-mallin siirtämiseen Revit:iin. Tavoitteena oli löytää tarkka tyyli, jolla malleja voitaisiin yhteiskäyttää Revit:in ja Inventor:in välillä sekä tutkia myös BIM360-ympäristöä. Tutkimustyötä tehtiin itsenäisesti Revit- ja Inventor-ohjelmilla, analysoiden eri ominaisuuksia sekä mahdollisuuksia mallien siirron kannalta. Tutkimustulokset olivat positiivisia, ja niiden pohjalta luotiin liitteeksi yksityiskohtainen ohje, jota voidaan jatkossa hyödyntää työtehtävissä.</p>		
Avainsanat Primäärisuunnittelu, Autodesk Revit, Autodesk Inventor, Autocad, BIM360, 3D, Tietomallinnus, Sähköasema		

Author Hakkarainen, Mikko	Type of Publication Bachelor's thesis	Date November 2022
	Number of pages 42	Language of publication: Finnish
Title of publication Utilization of Autodesk Revit in the primary engineering of substations		
Degree programme Mechanical engineering		
<p>This thesis is based on developing the target company's abilities to operate in information modeling environments. Three-dimensional information modeling is already widely used in the professional fields of architecture and construction, but not yet in the primary engineering of substations. This thesis examined the possibilities of primary engineering in Autodesk Revit. The research aimed to find functional solutions for transferring Autodesk Inventor models to Revit. The objective was to discover an exact method in which the models could co-function between Revit and Inventor, and to also explore the BIM360 environment. The research was independently conducted within Revit and Inventor, investigating different features and possibilities regarding the transfer of models. The research results were positive, based on which a detailed instruction was created as an attachment and can be utilized in future work assignments.</p>		
Keywords Primary engineering, Autodesk Revit, Autodesk Inventor, Autocad, BIM360, 3D, Information Modeling, Substation		

ALKUSANAT

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii vaasalainen yritys Co-Engineering Oy. Aloitin työt Co-Engineeringillä kesäkuussa 2022 nollatuntisopimuksella ja nyt opinnäytetyöni valmistuttua minulle on tarjottu mahdollisuus vakituiseen työpaikkaan. Opinnäytetyöni ohjaajina toimivat Teemu Vuojamo Co-Engineeringin puolesta ja Jussi Törmälä Satakunnan ammattikorkeakoulun puolesta. Kiitän kaikkia osapuolia heidän panostuksestaan tähän työhön, Hitachi Energyä opinnäytetyön aiheesta sekä Co-Engineeringiä työuran etenemismahdollisuuksista.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	8
2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY	9
3 SÄHKÖASEMA.....	10
3.1 Sähköaseman layout.....	10
3.1.1 Perusrakenne.....	11
3.1.2 Asemarakennus	12
3.1.3 Kiskojärjestelmät	13
3.2 Primäärilaitteet.....	15
3.2.1 Kytkinlaitteet	15
3.2.2 Muuntajat ja mittamuuntajat.....	16
3.2.3 Kompensointilaitteet	18
3.2.4 Ylijännitesuojat	19
3.3 Toisiolaitteet	20
3.3.1 Relesuojaus ja ala-asetat	20
3.3.2 Keskukset.....	21
4 PRIMÄÄRISUUNNITTELU	23
4.1 Perustukset.....	23
4.2 Maadoitukset ja putkitukset.....	24
4.3 Metallirakenteet	26
5 AUTODESK REVIT	27
5.1 Autodesk Revit ja Construction Cloud-ympäristö.....	27
5.2 Hyödyt Revit:illä suunnittelulla.....	29
5.2.1 Eroavaisuudet Autocad:iin	30
6 PRIMÄÄRISUUNNITTELU REVIT:ILLÄ.....	31
6.1 Sähköaseman malli Revit:issä	31
6.2 Metallirakenteiden suunnittelu.....	32
6.3 Huomioitavaa Revit-suunnittelussa	33
6.4 Muutokset ja haasteet koskien Revit-mallia	34
7 REVIT:IN YHTEENSOPIVUUS AUTODESK INVENTOR:IN KANSSA	35
7.1 Yhteensopivuus ja ongelmat.....	35
7.2 Merkittävimmät erot.....	36
8 YHTEENVETO.....	37
LÄHTEET	39

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

A	virran yksikkö ampeeri
AEC	Architecture, Engineering & Construction Collection (arkkitehtuurin, teknisen suunnittelun ja rakennusalan kokonaisuus)
BIM	Building Information Modeling (rakennuksen tietomallinnus)
CAD	Computer-Aided Design (tietokoneavusteinen suunnittelu)
Dwg	Drawing (piirustus)
IP-luokitus	Ingress Protection (tunkeutumissuojaus)
Ka	virran yksikkö kiloampeeri
kV	jännitteen yksikkö kilovoltti
kVAr	loisteho (Q)
mm	mittayksikkö millimetri
mm^2	mittayksikkö neliömillimetri
Primary	ensiö/primääri
Pätöteho P	teho (W)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (käytönohjaus- ja valvontajärjestelmä)

Secondary

toisio

V

jännitteen yksikkö voltti

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Autodesk Revit-ohjelman soveltuvuutta sähköaseman primäärisuunnittelussa. Työssä analysoidaan ja havainnoidaan Revit-suunnittelun haasteita ja ongelmia sähkösuunnittelun kannalta. Tutkimustyössä käytettäviä sovelluksia ovat Autodesk-tuoteperheen Autocad, Inventor sekä Revit. Tavoitteena on vertailla Revit:iä toisten ohjelmistojen kanssa, keskittyen pääasiallisesti Revit:in ja Inventor:in yhteensopivuuteen sekä eroihin. Tarkoituksena on täten selvittää, millä tavoin Inventor-malleja on mahdollista tuoda Revit:iin ja kuinka tehokasta kyseinen toiminta on. Lisäksi työssä tarkastellaan ja listataan Revit:in tärkeimpiä ominaisuuksia sekä tarpeellisia lisäosia/laajennuksia primäärisuunnittelun kannalta.

Työn aihepiiriä havainnollistetaan aluksi osioilla, jotka käsittelevät sähköasemien yleisiä komponentteja, toiminnallisuutta sekä primäärisuunnittelua ja tietomallinnusta. Lukijaa pyritään johdonmukaisesti ja rakenteellisesti kuljettamaan kohti työn lopullisia päämääriä sekä havaintoja. Keskeistä on myös analyysi Revit- ja Bim360-ympäristöistä sekä ohjelmien yhteneväisyydestä. Työn viimeisessä kappaleessa pohditaan työn tuloksia sekä mahdollisia oivalluksia primäärisuunnittelun tulevaisuudesta.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

Co-Engineering Oy on suomalainen perheyritys, joka toteuttaa prosessiteollisuuden, energia-alan, sähkönjakelun ja sähköntuotannon sähkö- ja automaatiosuunnittelua. Osaamisalueita ovat myös käyttöönotto ja asennuspalvelut eri teollisuuden kohteissa. Yrityksen osaamisalueita ovat erityisesti prosessiteollisuus, sähkönjakelu, aurinko- ja tuulivoima, vesivoima sekä ydinvoima. Co-Engineeringillä on toimipisteitä Vaasan lisäksi myös Seinäjoella, Tampereella sekä Östersundissa Ruotsissa. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2021 8,4 M€ ja henkilöstön määrä 90. Vuonna 2022 yrityksen toimintaan tuli mukaan pääomasijoittaja Juuri Partners tukemaan yrityksen kasvua.



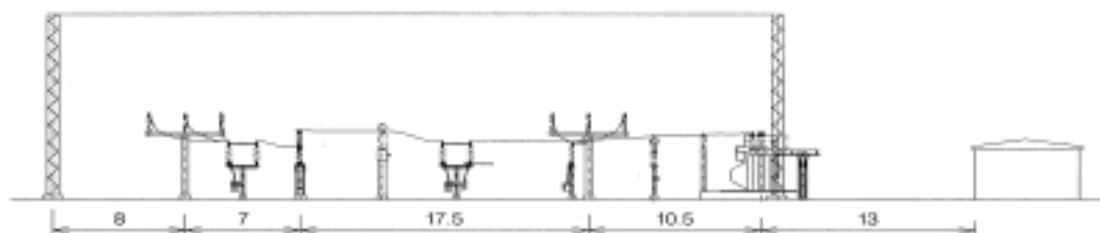
Kuva 1 Co-Engineering Oy logo (Co-Engineering, n.d.)

3 SÄHKÖASEMA

3.1 Sähköaseman layout

Sähköaseman layout-suunnittelussa huomioidaan seuraavia asioita: komponenttien sijoittelu ja mittaaminen, laskeminen, mahdollisten laajennusten suunnittelu sekä käytettävyyden suunnittelu. Layout-kuvia laaditaan ylhäältä sekä sivuilta päin kaksiulotteisena projektiona sähköaseman komponenttien sijoittelusta. Kaikki kytkinkentän laitteet sijoitetaan standardien ja olosuhteiden vaatimalla varmuudella ottaen huomioon myös linjojen mahdolliset kuormitukset. Layout-kuvat piirretään aina mittakaavaan, josta havaitsee tärkeimmät etäisyydet sekä komponenttien todelliset koot. Sähköasemasta suunnitellaan useita layouteja, kuten: maadoituslayout, putkituslayout sekä johtolähtöjen layoutit. Maadoitukset ovat sähköaseman tärkeimpiä tukitoimia, minkä vuoksi maadoituslayouttiin sisällytetään kaikki ulkokentän laitteet, kuten portit, aidoitukset, pylväät sekä kojeet (Esala, 2015).

Sähköasemalaitostyyppinä on käytössä kahdenlaisia: AIS (Air Insulated Substation) sekä GIS (Gas Insulated Switchgear). Yleisin tyyppi Suomessa on AIS. AIS, eli ilmaeristeinen sähköasema, koostuu kuvan 3 mukaisista komponenteista. Ilmaeristeistä sähköasemaa käytetään ensisijaisesti sen halvempien rakennuskustannusten vuoksi. Ilmaeristeisen sähköaseman kytkinkenttä on huomattavasti halvempi toteuttaa kuin kaasueristeisen sähköaseman. Kaasueristeinen sisäkytkinlaitos on käytännöllinen asutusalueen läheisyydessä tai laajennuksen muodossa osana isompaa kokonaisuutta, sillä kaasueristeinen asema on helppo sijoittaa haluttuun kohteeseen eikä vie suurta tilaa. Kaasueristeinen sähköasema vie jopa 70 prosenttia vähemmän tilaa kuin perinteinen ilmaeristeinen sähköasema (ABB Oy, 2015).



Kuva 2 110 kV muuntajakentän layout-sivuprojektio (ABB Oy, 2000)

3.1.1 Perusrakenne

Tyypillinen sähköasema rakennetaan tasaiselle maaperälle, josta kaadetaan tai raivataan sähköaseman komponentteja vaarantavat puut ja muut esteet. Sähköasema koostuu 110 kV-440 kV kytkinkentistä, katkaisijoista, erottimista, mittamuuntajista, yhdestä tai useammasta suuremmasta muuntajasta sekä asemarakennuksesta (Hietalahti, 2013). Tehomuuntajaratkaisussa tulee huomioida suuret jännitteet sekä paloturvallisuusriskit, joiden vuoksi tehomuuntaja usein sijoitetaan erilliseen muuntajabunkkeriin. Päämuuntajat sisältävät tuhansista kymmeneen tuhansiin litroihiin asti mineraaliöljyä; täten päämuuntajien alla on aina valuma-allas, sillä mahdollisessa vikatilanteessa muuntajan sisältämä öljy ei saa päätyä luontoon. Valuma-altaisiin sataa luonnollisesti myös sadevesi, jota varten altaat varustetaan pumpuilla, jotka automaattisesti pumpaavat sadeveden pois ilman erillistä käskyä. Kytkenkettä koostuu kokoojakiskoista, mittalaitteista, erottimista sekä katkaisijoista, joilla säädellään ja seurataan aseman toimintaa. Ulkopuolisilta tekijöiltä pääsyn estämiseksi ja suojelemiseksi sähköaseman alue aidataan ja merkitään varoituskyltein. Sähköasemien läheisyydessä vallitsee myös voimakas magneettikenttä, minkä vuoksi herkkien laitteiden tai sydämentahdistimien kanssa ei sovi mennä aseman läheisyyteen.



Kuva 3 Ilmaeristeinen sähköasema (Hakkarainen, 2018)

3.1.2 Asemarakennus

Sähköaseman asemarakennus sisältää tyypillisesti sekä suuremman avonaisen tilan, johon sijoitetaan keskijännitekojeisto, että erillisen pienemmän huoneen, johon asennetaan omakäyttökaappeja, muuta ohjaus/mittaustekniikkaa sekä 110 VDC varavirta-akusto. Pienempään huoneeseen sijoitetaan myös sähköpiirustukset ja muut tärkeät dokumentit kyseisen sähköaseman laitteistosta. 110 VDC varavirta-akuston tehtävänä on turvata kriittiset sähköaseman toiminnot vikatilanteen sattuessa. Sähköaseman asemarakennuksia on eri kokoisia riippuen aseman koosta; joissain asemarakennuksissa on myös saniteettitilat.

Asemarakennuksen sisällä keskijännitekaapelipäätejohdotukset tuodaan kojeistoille kaapelikellarin kautta. Kaapelikellarilla tarkoitetaan tilaa asemarakennuksen lattian ja maan välillä. Suurin osa kiinteistösähköjohdotuksista kulkee kaapelihyllyjä pitkin, sillä kojeistojen suuren koon vuoksi tavallisia sähköjohtoja ei voi kulkea seiniä pitkin. Kaapelihyllyn etuna on myös sen käytännöllisyys. Kaapelihyllyä pitkin on helppo kuljettaa johdotuksia asemarakennuksen sisällä, sillä sen avoimen ratkaisun vuoksi kaapeleita on helppo lisätä ja poistaa tarpeen tullen.

Sähköasemat ovat nykyisin varusteltu kaukokäyttöohjauksella, mikä mahdollistaa aseman tietojen, kuten vikahälytysten sekä virran ja jännitteen mittauksen lukemisen etänä (Ylitalo, 2015).

Sähköaseman lämmitysmenetelminä on jo pitkään käytetty lämpöpatteri- sekä säteilylämmitysratkaisuja. Nykyisin lämmitysratkaisuja on yksinkertaista toteuttaa myös ilmalämpöpumpun avulla. Vanhempia sähköasemarakennuksia ei ole eristetty juuri lainkaan, mikä on omiaan houkuttelemaan sähköjohtoja vaurioittavia jyrksijöitä lämpimään tilaan talvisaikaan.

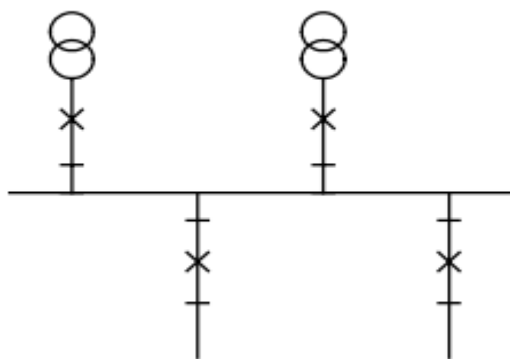


Kuva 4 20 kV kojeistoja (Tampereen Vera, n.d.)

3.1.3 Kiskojärjestelmät

Kiskojärjestelmällä tarkoitetaan erilaisia kokoojakiskokokoonpanoja. Kiskojärjestelmäkokoonpanoja on lukuisia, kuten: yksikiskojärjestelmä, kaksikiskojärjestelmä, kahden muuntajan rinnakkainkytkentä, kisko-apukiskojärjestelmä, kaksikisko-apukiskojärjestelmä sekä rengaskiskojärjestelmä (ABB Oy, 2000). Kiskojärjestelmään saadaan sijoitettua erilaisia laitteistoja kuten mittareita, erottimia, katkaisijoita sekä suojausautomaatiikkaa. Kokoojakiskostot yleensä valmistetaan säänkestävistä ja kevyistä alumiiniputkista.

Pienemmillä sähköasemilla voidaan käyttää myös köysikiskoja välimatkojen ollessa lyhyitä.



Kuva 5 Yksikiskojärjestelmä (ABB Oy, 2000)

Sähkönjakelujärjestelmät lajitellaan kolmeen osa-alueeseen: säteittäinen, rengas sekä silmukoitu verkko. Säteittäisverkkokonfiguraatiota käytetään enimmäkseen pien- ja keskijännitteellä. Suomessa on yleistynyt tapa, jossa 20 kV verkko rakennetaan renkaiksi säteittäisen käytön jakorajojen avulla.

Suurimmat jänniteverkot rakennetaan rengasverkoiksi niiden etujen vuoksi. Rengasverkon etuina säteittäiseen verkkoon verrattuna ovat pienemmät tehohäviöt sekä käyttövarmuus. Haittoina säteisverkkoon verrattuna ovat kalliimpi ja monimutkaisempi relesuojaus sekä käytön hankaloituminen.

220 kV sekä 440 kV verkot ovat suomessa silmukoituja. Silmukoitu verkko on hyvin samankaltainen kuin rengasverkko, mutta sisältää kuitenkin myös rengastuksien välisiä yhteyksiä, joiden avulla voidaan parantaa jännitevakautta ja minimoida tehohäviöt. Silmukoidun verkon haittapuolina ovat myös käytön hankaloituminen sekä relesuojauksen kallistuminen (ABB Oy, 2000).

3.2 Primäärilaitteet

3.2.1 Kytkinlaitteet

Kytkinlaitteilla tarkoitetaan järjestelmää, joka käsittää sähkölaitteiden ja piirien suojaamisen, eristämisen, kytkemisen sekä ohjaamisen. Kytkeälaaitteet sijoitetaan suurempien muuntajayksiköiden pien- sekä suurjännitepuolen molemmin puolin. Kytkinlaitteisiin kuuluvat kojeistot ovat kytkentä- ja suojalaitteista koostuvia kokonaisuuksia. Erottimina 110 kV laitoksissa käytetään enimmäkseen kiertoerottimia. Saksi/panotografi(vertikaali)erottimia sekä ylöspäin kääntyviä veitsi(horisontaali)erottimia käytetään useimmiten vain 440 kV sähköasemilla.

Kojeistot luokitellaan kolmeen eri luokkaan: pienjännite, keskijännite ja korkeajännitekojeistoihin. Kennot on usein suojattu valokaarisuojauksella. Varsinainen kenno koostuu suojareleestä, virta/jännitemuuntajasta, erottimesta sekä katkaisijasta. Katkaisijat toimivat suuren sulakkeen lailla, eli niiden tehtävänä on kuljettaa kuormitusvirtaa ja katkaista se ylikuormitus- tai oikosulkuutilanteessa (Hietalahti, 2013).



Kuva 6 ABB VD4-keskijännitevaunukatkaisija (ABB Oy, 2017)

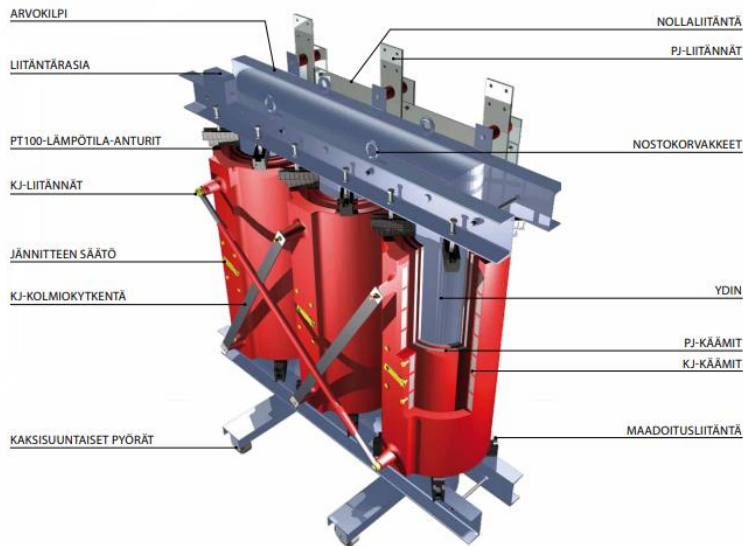
3.2.2 Muuntajat ja mittamuuntajat

Muuntajan tehtävä on muuttaa sisääntulojännite kuhunkin verkon osaan sopivampaan, alhaisempaan jännitteeseen, esimerkiksi sähköasemalle tuleva 110 kV jännite alhaisempaan 20 kV jännitteeseen. Muuntaja toimii kuten sähkönvastus, joka rajoittaa sähkön läpikulkua ja päästää lävitse vain muuntosuhteen mukaisen jännitteen. Muuntajille on tavanomaista lämmitä tai kuumentua käytön aikana; tämän takia etenkin öljyeristeisessä muuntajassa on varsin kookkaat lämpörimat, joista ylimääräinen hukkalämpöenergia haihtuu ympäristöön säädellen muuntajan sisäistä lämpötilaa. Yleisimpiä muuntajatyyppejä ovat öljyeristeinen märkämuuntaja sekä valuhartsieristeinen kuivamuuntaja.



Kuva 7 Öljyeristeinen suurmuuntaja (BTB Transformers Oy, n.d.)

Huomattavimpana valuhartsieristeisen muuntajan etuna on sen helppo sijoiteltavuus, eikä valuhartsimuuntaja myöskään sisällä öljyä. Tämän vuoksi valuhartsimuuntajat ovatkin suosittuja valintoja julkisiin tiloihin, teollisuuteen, asuinrakennuksiin sekä laivoihin (Eurolaite Oy, n.d.).



Kuva 8 Valuhartsieristemuuntaja (Eurolaite Oy, n.d.)

Mittamuuntaja on erikoisrakennemuuntaja, jota käytetään jännitteen tai virran mittamiseen sähköasemalla. Mittamuuntajatyyppejä ovat virta- ja jännitemuuntajat. Mittamuuntajien tehtäviin sähköasemalla kuuluu: galvaaninen erotus suurjännitepääpiirin ja mittapiirin välillä, mittareiden ylikuormitussuojaus, mitta-alan muuttaminen mahdollistaen standardiarvoihin pääsyn sekä mittaus/suojaustekniikan etäisen sijoittamisen mahdollistaminen mittauspaikasta (Esala, 2015).

Virtamuuntaja muuttaa piirin virran sopivampaan muotoon mittareille, valvontakäyttöön ja suojaus/suojarelekäyttöön, sekä toteuttaa *primary/secondary*-piirin erotuksen. Virtamuuntajan sisäisen johtimen eristys toteutetaan paperilla ja kvartsilla. Virtamuuntajia on sähköasemalla useita kappaleita ja ne kytketään sarjaan kuorman mittauksen kanssa.

Jännitemuuntaja muuttaa ensiöpiirin jännitteen sopivaksi toisiopiirille ja eristää toisiopiirin ensiöpiiristä galvaanisesti. Yleensä jännitemuuntajat ovat yksivaiheisia ja toimivat kapasitiivisina/induktiivisina. Jännitemuuntaja sisältää öljyä, SF_6 - rikkiheksafluoridikaasua tai valuhartsia eristeenä. Valuhartsieristeistä jännitemuuntajaa käytetään sisätiloissa keskijänniteasennuksissa. Jännitemuuntajia käytetään myös mittaus- ja suojauskäyttöön (Esala, 2015).

3.2.3 Kompensointilaitteet

Kompensointilaitteita hankitaan kokonaistalouden parantamiseksi. Verkkoyhtiöt keräävät loistehomaksua, jonka vuoksi kompensointilaitteita asennetaan. Kompensointilaitteilla saadaan optimoitua loistehoa ja nykyisin myös vähennettyä yliaaltoja (Orrberg, 2018). Sähköverkon laitteet, kuten muuntajat ja moottorit, tarvitsevat operoidakseen pätötehon P lisäksi loistehoa Q . Kondensaattorin tehtävä on kerätä sille johdetusta sähköstä varausta itseensä. Kompensointikondensaattorit tuottavat loistehoa, jota pystytään täten erikseen hyödyntämään esimerkiksi siirtämällä asiakkaille. Loistehoa tarvitaan moottoreiden ja muuntajien magneettikentän ylläpitämiseksi. Loistehon kompensointiin käytetään yksittäiskompensointia, ryhmäkompensointia sekä keskitettyä kompensointia.

Yliaallot syntyvät elektronisista laitteista verkossa: inverttereistä, virtalähteistä ja sähkösuotimista. Yliaaltojen aiheuttamia haittoja ovat johdinten, muuntajien sekä laitteiden tehohäviöt ja mahdolliset laiterikot. Yliaaltojen kompensointiratkaisuja ovat akvtiivisuodatus, estokelaparisto ja yliaaltosuodatus (Savon voima Oyj, n.d.).



Kuva 9 Tuulivoimakompensointilaitteistoa (Hakkarainen, 2018)

Alle 1000V pienjännitekompensointikondensaattorit ovat rakenteeltaan kuivia ja niiden eristeaineena käytetään itsestään korjautuvaa metallisekoitteista muovikalvoa. Yli 1000V suurjännitekompensointikondensaattorit ovat öljyrakenteisia, ja pienjännitekompensointikondensaattorin tapaan eristeaineena on muovikalvotus. Häviöarvot vaihtelevat noin 0,2 W-0,5 W/kVAr lukemissa. Muovieristeisille kondensaattoreille ilmanvaihto on tärkeää niiden eliniän kannalta (ABB Oy, 2000).

3.2.4 Ylijännitesuojat

Ylijännitteet sähköasemalla aiheuttavat torjumattomana paloturvallisuusriskejä, laiterikkoja, johdinten ylikuormittumista ja mahdollisia valokaaria. Ylijännitteitä mielletään kolmeen luokkaan: kytkentä-, pienitaajuiset- ja ilmastolliset ylijännitteet. Ilmastollisella ylijännitteellä tarkoitetaan ukkosen aiheuttamaa ylijännitettä. Tämän kaltaista ylijännitettä vastaan suojaudutaan ukkosenjohtimilla, suojakipinäväleillä ja venttiilisuojuilla. Yleisesti kaikilla 110 kV-440 kV johdoilla käytetään ukkosenjohdattimia. Ukkosenjohdattimen käyttöä vaikeuttaa huomattavasti heikot maadoitusolosuhteet.

Kytkenäylijännitteiden vähentämiseen käytetään venttiilisuojuja, jotka ovat ylijännitesuojausratkaisuista tehokkain menetelmä. Venttiilisuoja kytketään tarvittaessa yhden tai useamman vaihejohtimen ja maan välille. Venttiilisuojaustyyppinä on kahdenlaisia; kipinävälillinen ja kipinävälitön. Epälineaarinen vastus, joka on valmistettu metallioksidista (ZnO), muodostaa venttiilisuojan. Uudet verkkoon asennettavat suojat ovat poikkeuksetta aina metallioksidivastuksia (Korpinen, 1998). Ylijännitesuojat suojaavat muuntajia, laitteita sekä johtimia ukkoselta ja kytkentäylijännitteiltä. Pienitaajuisia ylijännitteitä vastaan ei ole suojausta. Tiettyjä suojauslaitteita, kuten ylijännite/ylivirtarelaitteita jotka mittaavat nollajännitettä/virtaa, käytetään ylijännitesuojauksessa esimerkiksi säteittäisverkon maasulkusuojaukseen.



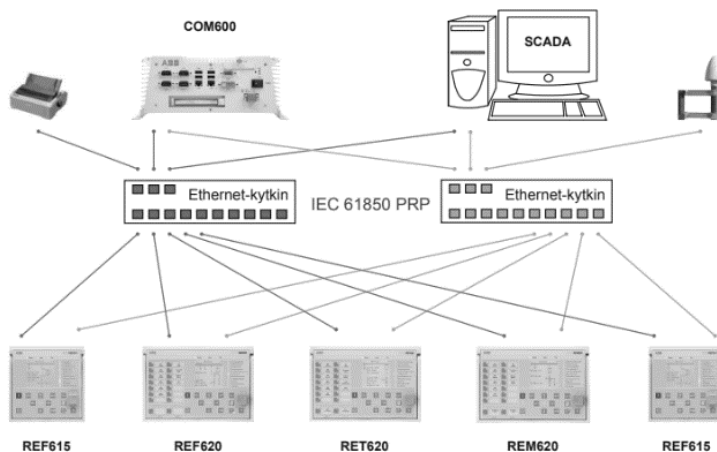
Kuva 10 Pylväsmuuntajan ylijännitesuojaus 20 kV (SDI2024.10, n.d.)

3.3 Toisilaitteet

3.3.1 Relesuojaus ja ala-asemat

Sähköasemalla suojarahleiden tarkempi nimitys määräytyy niiden käyttökohteen mukaan. Suojarahleissa voi itsessään olla automaatiota tai tarpeen mukaan niitä ohjaa jokin toinen automaatiota sisältävä laite. Releen toiminta perustuu sähkömagnetismiin. Rele ohjaa suurempia jänniteitä ja virtoja ohjausvirtapiirin avulla. Päävirtapiirissä suurimmista releistä käytetään nimitystä kontaktori. Releen/kontaktorin tehtävänä on ohjata ja kytkeä päälle/pois muita sähkölaitteita. Yleisimpiä yksittäisiä reletyyppejä ovat mekaaninen ylikuormitusrele, lämpörele, elektroninen ylikuormitusrele, aikarele sekä ali/ylivirtarele (Hietalahti, 2013).

Sähköasemalla releiden ohjausjännitteenä käytetään poikkeuksetta 110 VDC tasasähköä. Sähköaseman omakäyttösähkön katketessa releiden sähkönsaannin turvaa 110 VDC:n akusto. 48 V paristoa käytetään etäohjaus- ja kommunikointilaitteita varten. Nykyisin releet ovat numeerisia ja varustettu digitaalisella signaalisääntulolla, minkä ansiosta yksittäinen rele pystyy suorittamaan monia suojaustoimia samanaikaisesti nopeasti ja luotettavasti (Korpinen, 1998). Yleisesti käytössä olevia ABB:n suojarahlekykkeitä ovat muun muassa REF630, REV615, REF670 ja REU615. Tämän kaltaiset yksiköt pystyvät kommunikoimaan keskenään ja lähettämään tärkeitä tietoja sähköverkon toiminnasta operaattoreilleen. SCADA-tietoliikennettä hyväksi käyttäen sähköasemaa ja sen tukitoimia/releitä on mahdollista hallinnoida etäältä.



Kuva 11 Jännitesuojaus- ja ohjaustoiminta (ABB Oy, 2017)

Sähköasemilla asema-automaation ja ala-aseman ansiosta ei tarvita enää ristikytkentäkaappia. Asema-automaatio on myös huomattavasti vähentänyt mittareiden ja ohjaus- taulujen tarvetta. Jakeluautomaatiojärjestelmä koostuu ala-asemasta, tietoliikennever- kosta sekä valvonnasta. Ala-aseman avulla voidaan muuttaa suojareleiden asetuksia ja kytkinlaitteiden ohjausta sekä vikatilanteessa lukea ja kerätä tietoa kiinteistön mitta- reista. SCADA-käytönvalvontajärjestelmän avulla valvomosta voidaan olla suoraan yhteydessä ala-asemiin ja näin ohjata katkaisijoita sekä erottimia. Asiakas-automaa- tion ollessa käytössä voidaan yksittäisen asiakkaan käyttämää energian määrää mitata etäältä ja näin laskuttaa tarpeen mukaan. (ABB Oy, 2000).

3.3.2 Keskukset

Sähkökeskustyyppejä ovat muun muassa kennokeskus, omakäyttökeskus, hälytyskes- kus, pienjännitekeskus, jakokeskukset ja kiinteistökeskukset. Keskuksien IP-luokat kertovat niiden kotelointien tiiviyydestä. Keskuksien koteloinnin valintaan vaikuttaa olennaisesti käyttökohteen kosteus, pöly sekä metallipölyn määrä. Suomessa avora- kenteiset keskukset ovat kiellettyjä huolimatta olosuhteista.

Ensimmäinen numero

Laite on suojattu vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsylvä seuraavasti:

- 0 Suojaamaton
- 1 Kun esineen halkaisija on yli 50 mm
- 2 Kun esineen halkaisija on yli 12,5 mm
- 3 Kun esineen halkaisija on yli 2,5 mm
- 4 Kun esineen halkaisija on yli 1,0 mm
- 5 Pölysuojattu
- 6 Pölytiivis

Toinen numero

Laite on suojattu veden sisäänpääsyn haitallisilta vaikutuksilta seuraavasti:

- 0 Suojaamaton
- 1 Pystysuoraan tippuvalta vedeltä
- 2 Tippuvalta vedeltä (+/- 15 astetta)
- 3 Satavalta vedeltä (+/- 60 astetta)
- 4 Roiskuvalta vedeltä
- 5 Vesisuihkulta (joka suunnasta)
- 6 Voimakkaalta vesisuihkulta
- 7 Lyhytaikaisesti upotettuna
- 8 Jatkuvasti upotettuna
- 9 Korkeapaineiselta ja kuumalta vesisuihkulta

Kuva 12 IP-luokitusmääritelmät (Stek Ry, n.d.)

Keskuksen valintaan vaikuttaa oikosulkukestoisuus. Oikosulkukestoisuuden tarpeen määrittämisessä otetaan huomioon ympäristön suurin mahdollinen oikosulkuvirta. Oikosulkuvirran määrä selvitetään tavallisimmin syöttävän muuntajantehon ja toisiojännitteen avulla. Keskuksen valinnassa on otettava huomioon myös sisäisten komponenttien ja kojeiden tarpeen mukainen oikosulkuvirran suojaus. Kojeiston takaosassa sijaitseva kokoojakiskosto erilliskoteloidaan aina yli 800 A keskuksissa ja suojataan valokaaritiiviillä läpiviennillä. Yli 30 Ka keskuksen sijoituksessa on otettava huomioon vapaa purkaus, jonka vuoksi keskuksen ja seinän väliin on jätettävä 100 mm vapaata tilaa. Alle 30 Ka virroilla purkaustilaksi riittää 50 mm. Alle 30 Ka ja yli 30 Ka virroilla keskuksen yläpuolelle on jätettävä 500 mm tilaa (ABB Oy, 2000).



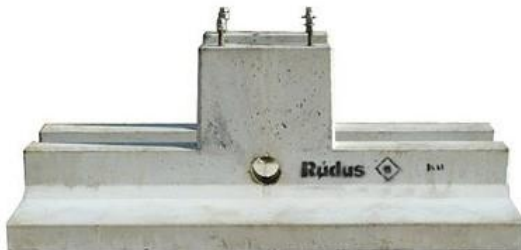
Kuva 13 MNS-kompensointikeskus (ABB Oy, 2012)

4 PRIMÄÄRISUUNNITTELU

4.1 Perustukset

Sähköaseman perustusten suunnittelussa käytetään kaksiulotteista suunnitteluohjelmaa, kuten Autodesk Autocadia. Havainnollistamistarkoitukseen voidaan käyttää myös kolmiulotteista mallintamista. Perustuksien suunnittelussa projektiot kuvataan sivulta sekä yläpuolelta. Kentän yläpuolisesta projektiosta näkee helposti perustuksien etäisyydet. Sivuprojektiota tarkastellessa nähdään asennussyvyys, etäisyys muihin laitteisiin sekä maa-aines, jota tulee käyttää ennen asennusta perustusten alla. Sähköaseman kentän laitteiden perustukset ovat usein vahvistettua betonivalua. Perustuksia suunnitellessa on otettava huomioon maaperän koostumus. Maaperän koostumuksella on suuri merkitys perustusten kokoon ja muotoon: kytkinkentän laitteiden, muuntajien ja asemarakennuksen kallistumisella tai vajoamisella voi olla kohtalokkaat seuraukset yleisen turvallisuuden sekä sähkön jakelun kannalta. Betonilaatta, jonka päälle on sijoitettu enemmän kuin yksi kompensointilaite, saattaa vajota ja kallistua sen epätasapainon takia.

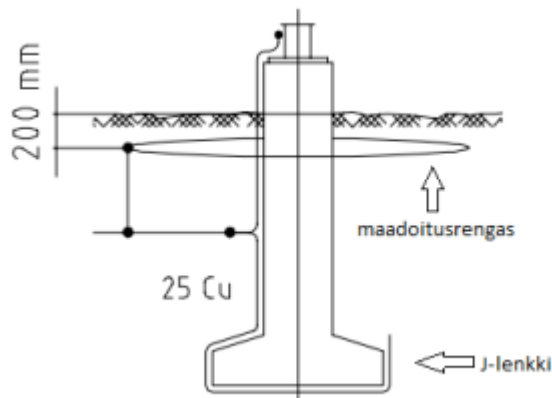
Suoraan maan päälle laskettavien betonilaatta/valuma-aitaiden alle asennetaan suula-kepuristettua polystyreeniä betonilaatan suojelemiseksi routimiselta. Poikkeuksena 440 kV kentän perustukset sijoitetaan aina routarajan alapuolelle, kuitenkin maksimissaan kahteen metriin (Tumelius, 2016). Routarajan vaihteluväli on 10–200 cm riippuen aseman rakennusalueesta. Sähköaseman sekä sähkönjakeluverkon yleisimmin käytettyjä perustuksia ovat pilariperustuselementit, pilariharuselementit, peltopylvään perustukset, haruslaatat sekä kojelineperustukset (Rudus Oy, n.d.).



Kuva 14 Kojelineperustus (Rudus Oy, 2022)

4.2 Maadoitukset ja putkitukset

Maadoituksia suunniteltaessa on otettava huomioon erilaiset maadoitustavat sekä maadoitettavan kohteen maaperän johtavuus ja selvitettävä maadoitusjohtimien poikkipinta-alat SFS 6000:n standardin mukaan. Primäärisuunnittelun kannalta ei ole oleellista tietää maaperän johtavuutta tai maajohtimen poikkipinta-alaa, sillä se ei vaikuta maadoitusverkon primäärisuunnitteluun. Maadoituspiirroksat piirretään ylhäältä päin katsottuna kaksikulotteisena projektiona. Primäärisuunnittelijalle on oleellista tietää mitä maadoitusratkaisua käytetään kyseisessä kohteessa. Maadoitustyyleistä yleisimmin käytettyjä ovat säteittäinen, verkkomainen ja sekajärjestelmällinen maadoitus. Sähköaseman kentällä kaikki laitteet ja metalliset pylväät, tukitolpat sekä aidoitukset maadoitetaan samaan maadoitusverkkoon, joka kiertää jokaisen laitteen ja sen perustuksen ympäri. Yleisin <math><110\text{ kV}</math> asemilla käytössä oleva maadoitusjohtimen materiaali on paljas/suojaamaton $16\text{--}25\text{ mm}^2$ säikeinen kuparikaapeli, poikkeuksena 440 kV asemat, joissa käytetään 95 mm^2 maadoitusjohdinta (Taimi, 2019).



Kuva 15 Kojetelinemaadoitus (Esala, 2015)

Putkitukset suunnitellaan kaksikulotteisena ylhäältäpäin kuvattuna. Putkituksien suunnittelun voi aloittaa vasta, kun laitteiden ja tukipylväiden sijoitukset on varmistettu. Putkitukset piirretään katkoviivoin laitteilta kaapelikanavaan tai kaapelikaivoihin. Sähköaseman putkitusverkko usein yhdistyy yhteen tai useampaan kaapelikaivoon. Kaapelikaivo on nimensä mukaisesti kuin kaivo, jossa monet sähköasemakentän maakaapelit yhdistyvät/haarautuvat. Yleisimpiä maakaapeleita ovat MCMK ja MCMO. Putkitukset ovat välttämätön ratkaisu mahdollisen kaapelirikon sattuessa. Ilman putkituksia rikkiäisiä tai sulaneita kaapeleita ei voisi välttämättä korjata/vaihtaa ilman,

että sähköjakelu jouduttaisiin keskeyttämään väliaikaisesti täysin. Putkitukset suojaavat kaapeleita myös maan routimiselta ja näin kasvattavat sähköaseman toimintavarmuutta. Huoltotien alitse kulkevat putkitukset valmistetaan vahvemmassa materiaalista kuin kentän muut putkitukset, jotka ovat halkaisijaltaan 140 mm (Esala, 2015).

4.3 Metallirakenteet

Metallirakenteita suunnitellaan niin kaksi- kuin kolmiulotteisena. Tyypillisimmät metallirakenteet, kuten tukipylväät, johdinkiskot ja mastot, löytyvät katalogeista tai valmiina tiedostoina kunkin valmistajan tietokannasta. Erityistilanteissa uuden metallirakenteen suunnittelussa käytetään havainnollistamiseen 3D-mallinnusohjelmia. Kolmiulotteista suunnittelua hyödynnetään pääasiallisesti kokoonpanojen luomiseen. Kokoonpano (assembly) koostuu osa(part)tiedostoista, eli yksittäisistä mallinetuista osista, jotka jälkikäteen liitetään yhteen kokoonpanoon. Sähköasemalla sijaitsevat metallirakenteet koostuvat useista kokoonpanoista. Jos jokin kokoonpano on osa suurempaa kokoonpanoa, käytetään kokoonpanoista termiä alikokoonpano (sub-assembly). Yleisimpiä 3D-mallinnusohjelmia ovat Siemens NX, Solidworks 3D sekä Creo. Tarkemmat sijoittelut ja mittapiirustukset suoritetaan usein kaksiulotteisena käyttäen esimerkiksi Autocad-ohjelmaa.

Sähköaseman metallirakenteita suunnitellessa materiaalin valinnassa otetaan huomioon korroosionkesto-ominaisuudet aseman sijainnin mukaan. Normaalien olosuhteiden puitteissa suurimpia korroosion aiheuttajia ovat ympäristön elementit, kuten kosteus ja sadevesi. Täten sähköaseman ulkokentän laitteita, kuten katkaisimia, erottimia, muuntajia ja johdinkiskostoja tukevat pylväät valmistetaan sähkösinkitystä teräksestä. Maalattut rakenteet kärsivät pitkällä aikavälillä auringon ultraviolettisäteilystä, haalistuen maalattuja rakenteita. Kentällä sijaitsevien peltikoteloitujen laitteiden suojausta pyritään parantamaan polyesterijauhemaalilla.

AIS-sähköasemalla käytettävistä metallirakenteista yleisimpiä ovat pylväsrakenteet. Yleisin pylvästyyppe on onttorakenteinen neliöprofiilipylvä, jonka molemmissa päissä on vahvistetut metallilaatat perustukseen ja tuettavaan laitteeseen kiinnittämistä varten kuvan 3 kaltaisella tavalla. Primäärisuunnittelussa pylväsrakenteiden valintaan vaikuttaa siihen kohdistuvat voimat. Pylväsrakenteeseen kohdistuviin voimiin vaikuttaa erityisesti johtimen poikkipinta-alan suuruus, kannateltavan johtimen välimatka seuraavalle tukipylvälle sekä mahdolliset lisäkuormat, kuten jään kertyminen linjoille. (ABB Oy, 2000).

5 AUTODESK REVIT

5.1 Autodesk Revit ja Construction Cloud-ympäristö

Revit-suunnitteluohjelma on osa Autodesk Inc:in laajaa tuoteperhettä. Revit-ohjelma on mahdollista ostaa yksittäisenä ohjelmistona tai osana suurempaa AEC Collection-pakettia, jonka mukana tulevat ohjelmat tukevat kaikissa projektin toimissa. Revit-ohjelma kategorisoidaan arkkitehtuuri- ja rakennesuunnitteluohjelmistoihin. Revit:in avulla suunnitellaan pääasiallisesti rakennuksia sekä infrastruktuureja. Revit-ohjelman avulla on mahdollista suorittaa myös erilaisia analyysejä sekä simulointeja. Revit:illä suunnittelutyö toteutetaan kolmiulotteisena, yksinkertaisten suurten rakennuskompleksien hahmotusta ja suunnittelua (Autodesk Oy, n.d.).

Kolmiulotteisilla ohjelmistoilla on mahdollista piirtää myös kaksiulotteisia *sketchejä*. *Sketch* tarkoittaa luonnosta, joka suunnitellaan 3D-ohjelmistossa ennen kuin kyseinen luonnos *extrudataan* eli pursotetaan kolmiulotteiseen muotoon. Revit-ohjelman tapauksessa ei kuitenkaan käytetä *sketch*-nimikettä, vaan valitut elementit ääriviivat piirretään tyhjälle pohjalle, josta haluttu kappale pursottuu haluttuun muotoon. Useimmista 3D-suunnitteluohjelmista poiketen Revit:issä ei käytetä *planejä* (tasoja)/*apuplanejä* (aputasoja), vaan *flooreja* (kerroksia) sekä *ceilingejä* (kattoja). Perinteisten X, Y, Z-tasojen sijaan Revit:in kuvannoissa käytetään ilmansuuntia länsi, itä, pohjoinen ja etelä. *Floor*-nimitystä tasosta käytetään erityisesti Revit:in rakennussuuntautumisen vuoksi. Revit-ohjelman perusnäkyminen on hyvin samankaltainen muiden suunnitteluohjelmien kanssa. Vasemmalta sivulta löytää piirrepuun, eri kerrokset sekä mitta/ominaisuusvalikon. Yläreunassa kulkeva valikko sisältää kaiken muun mahdollisen kappaleiden luonnin ja muokkaamisen kannalta (Autodesk Oy, n.d.).

Revit:iin kytköksissä olevat Autodesk Construction Cloud ja BIM360-lisäosat mahdollistavat projektitiimin helpon kanssakäymisen pilvipalveluita apuna käyttäen. Pilvipalveluiden myötä tarvittavat tiedot tallentuvat muutosten mukana pilvipalvelimelle, jossa kaikki hyväksytyt tiimin jäsenet voivat tarkastella ja jättää kommentteja työn eri vaiheista (Arkance Systems Finland Oy, n.d.). Autodesk Construction Cloud on ammattitasoinen työkalu projektien hallintaan, suunnitteluun sekä ylläpitoon.

Construction Cloud:iin tallennetaan aiemmat tiedostot ja versiot, jotka mahdollistavat paluun projektin eri vaiheisiin, täten tukien ylläpitoa. Construction Cloud:iin ladattuja pdf, dwg sekä Microsoft Office Word ja Excel-tiedostoja on yksinkertaista muokata ja kommentoida nettiselaimella, mahdollistaen projektin seurannan, budjetoinnin ja aikataulutuksen. Muista järjestelmistä poiketen Construction Cloud tukee jopa yli 50:tä eri tiedostomuotoa. Construction Cloud-verkostoon kuuluu viisi tuotetta, jotka ovat hankittavissa erikseen, mutta kuuluvat myös AEC-ohjelmapakettiin. Näitä ohjelmia ovat muun muassa BIM Collaborate/ BIM Collaborate Pro, Takeoff ja Docs.

Autodesk Docs:in avulla muokataan ja tehdään revisiovertailua etenkin pdf, dwg ja Revit-tiedostoilla. Autodesk Docs:issa kaikki käyttäjät voivat tarkastella piirustuksia ja malleja ilman, että omistaisivat kyseiselle tiedostomuodolle sopivan ohjelman. Tämä vähentää huomattavasti ylimääräistä ajankulua, sillä kaikki projektiin liittyvät ongelmat ratkaistaan yhdellä alustalla. BIM Collaborate mahdollistaa saman Revit-mallin muokkauksen monen eri käyttäjän välillä reaaliajassa (Arkance Systems Finland Oy, n.d.).

5.2 Hyödyt Revit:illä suunnittelulla

Monet suunnitteluohjelmat eivät mahdollista tehokasta yhteistyötä yrityksen ja asiakkaan välillä, sillä käytettävät ohjelmistot eivät ole keskenään yhteensopivia. Työssä havaittujen tulosten perusteella todetaan, että Autodesk:in tuotteiden yhteensopivuuden avulla voidaan vahvistaa monien eri yritysten yhteistyötä.

Tietomallinnuksen osalta Revit on erittäin monipuolinen ohjelmakokonaisuus, sisältäen BIM:in kuusi eri ulottuvuutta: ”3D” kolmiulotteinen malli; ”4D” kolmiulotteinen malli aikataulutuksella; ”5D” 4D-malli määrätiedoilla ja kustannuksilla; ”6D” tietomalli energia-analyysillä; ”7D” tietomalli kiinteistöhallinnalla; ”8D” turvallisuustekijöillä/huomioilla ja riskienhallinnalla (Hamil, 2021).

Revit on laaja-alainen ohjelma, jolla pystytään korvaamaan muita suunnitteluohjelmia, kuten Autocad ja Inventor, lähes täysin. Lisäosat mahdollistavat Revit:in yhteensopivuuden monien muiden Autodesk:in tuotteiden, kuten Inventor Professional:in, Autocad:in, BIM 360:n ja Navisworks:in kanssa. Revit:in tukemien tiedostomuotojen skaala on laaja, kattaen jopa 20 eri muotoa. Revit:in omia tiedostomuotoja ovat RVT, RFA, RTE sekä RFT. Muita ohjelmassa tuettavia tiedostomuotoja ovat muun muassa DGN, DWF, DWG, DXF, IFC, SAT, SKP, BMP, PNG, JPG, JPEG, TIF, ODBC, HTML, TXT, sekä gbXML. Kuten muitakin Autodeskin tuotteita, myös Revit:iä on mahdollista kokeilla 30 päivän ajan maksutta. Myös useiden teknillisten tutkintoalojen korkeakoulut tarjoavat käyttöoikeuden Revit:iin opintoaikana.

- ✓ **Parametriset komponentit**
Sijoita seinät, ovet ja ikkunat avoimeen, graafiseen ja parametrisoituun järjestelmään suunnittelua ja muotoilua varten.
- ✓ **Worksharing-työryhmäominaisuus**
Tallenna, synkronoi, tarkista ja päivitä toita keskitetysti jaettuun malliin Revit-projektin yhteistyöympäristössä.
- ✓ **Luettelot**
Taulukoiden avulla voit entistä paremmin siepata, suodattaa, lajitella, näyttää ja jakaa projektitietoja.
- ✓ **Yhteentoimivuus**
Revit tuo, vie ja linkittää yleisesti käytettyjä BIM- ja CAD-tiedostomuotoja, joita ovat esimerkiksi IFC, 3DM, SKP, OBJ ja monet muut.
- ✓ **Merkinnät**
Viesti suunnittelutavoite tehokkaasti 2D- ja 3D-merkintä-, mitoitus- ja kuvitustyökalujen avulla.
- ✓ **Yleiset parametrit**
Upota suunnittelutavoite kaikkiin projektin parametreihin, jotka koskevat säde- ja halkaisijalukkuja sekä tasapainorajoituksia.
- ✓ **Kehittäjän työkalut ja ratkaisut**
Laajenna Revit-toiminnallisuutta Dynamolla, API-käyttöoikeudella, kehittäjäratkaisulla ja BIM-sisällöllä Autodesk App Storessa.
- ✓ **Generatiivinen suunnittelu Revitissä**
Arvioi ja vertaile suunnitteluvaihtoehtoja suuressa mittakaavassa generatiivisen suunnittelun avulla Revitissä. Saatavana vain AEC Collectionin tilaajille.
- ✓ **Näkyvyysasetukset ja ohitukset**
Hallitse näkyvyyttä piilottamalla, paljastamalla ja korostamalla rakennuselementtejä. Käytä ohituksia ulkoasun mukauttamiseen.
- ✓ **3D-massantutkiminen monimutkaisten muotojen tekemiseen**
Luo työmaakohtaisia muoto-, profiili- ja luonnostutkimuksia Revitin nykyisessä paikassa sijaitsevassa massantutkimisympäristössä ja käytä ladattavia massaperheitä standardoimaan ja toistamaan geometriaa projektin sisällä.
- ✓ **Vakiomuotoinen ja mukautettu perheisältö**
Lataa sisältöä Autodesk-pilvestä Revit-projektiin tai luo omia rakennuskomponenttien kirjastoja.
- ✓ **Räätälöinti ja mukauttaminen**
Mukauta käyttöliittymä sopivaksi määritettävien pikanäppäinten, nauhojen ja työkalurivien avulla.

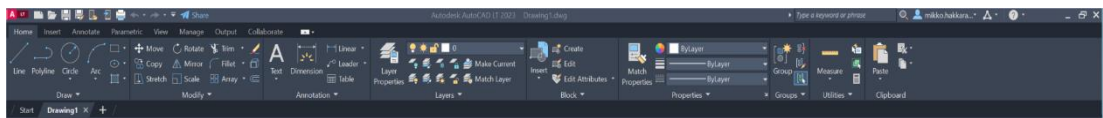
Kuva 16 (Autodesk Oy, n.d.)

5.2.1 Eroavaisuudet Autocad:iin

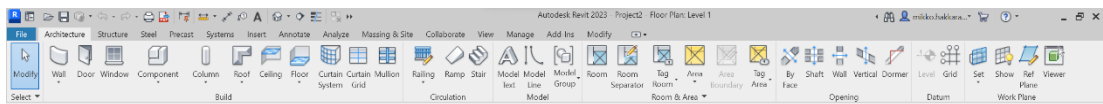
Revit sekä Autocad ovat molemmat Autodesk'in tuotteita ja kuuluvat Autodesk'in arkkitehtuuri- ja rakennesuunnitteluohjelmistoihin. Autocad'in ja Revit'in suurimpana erona ovat niiden erilaiset käyttökohteet sekä -tarkoitukset: Revit:issä työskennellään yhdessä suuressa projektitiedostossa, kun taas Autocad:issa jokainen piirustus on erillinen tiedosto. Revit-ohjelman avulla luodaan täydentäviä kolmiulotteisia kokoonpanoja, joiden avulla pystytään tarkemmin havainnollistamaan yksityiskohtainen sähköasemakokonaisuus. Revit:issä keskitytään rakennusmallin suunnitteluun, josta luodaan lopulliset piirustukset (Autodesk Oy, n.d.).

Toisin kuin Revit:illä, Autocad:illä ei yleisesti mallinneta kolmiulotteisia kokonaisuuksia. Tietyillä lisäosilla Autocad:ia on kuitenkin mahdollista soveltaa myös kolmiulotteisessa suunnittelussa. Primäärisuunnittelun osalta Autocad:ia käytetään enimmäkseen kaksiulotteisessa layout-suunnittelussa, johon Autocad:ia on hyödynnetty muun kaksiulotteisen suunnittelun tapaan jo kymmeniä vuosia.

Kuvia 17 ja 18 tarkastellessa voidaan huomata Autocad ja Revit-ohjelmien valikon ja käyttöliittymän olevan hyvin erilaiset. Jo valikot itsessään kertovat ohjelmien käyttötarkoituksista: Autocad on suunniteltu prosessiteollisuuden tehtäviin ja tarkempaan layout-suunnitteluun, siinä missä Revit on selkeästi enemmän suunnattu rakennus- ja infrastruktuurisuunnittelun päämääriin.



Kuva 17 Autocad'in ylävalikko (Hakkarainen, 2022)

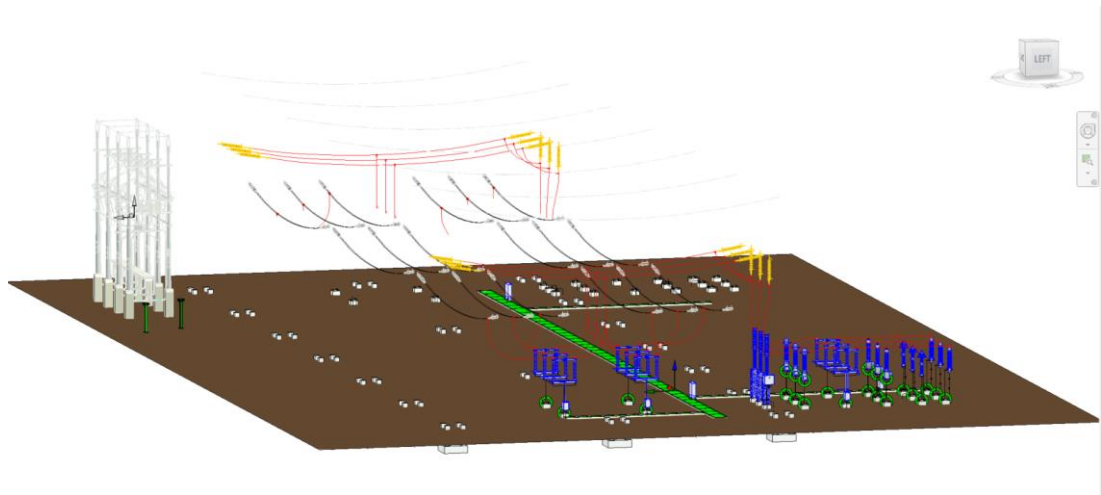


Kuva 18 Revit'in ylävalikko (Hakkarainen, 2022)

6 PRIMÄÄRISUUNNITTELU REVIT:ILLÄ

6.1 Sähköaseman malli Revit:issä

Sähköaseman mallin toimivuutta Revit:issä tutkitaan yhteistyökumppanin tarjoaman Revit Project-tiedostotyyppisen sähköasemamallin avulla. Mallia tutkittaessa huomataan Revit:in olevan haasteellinen ohjelman käyttöä aloittelevalle käyttäjälle sen monialaisten ominaisuuksien vuoksi. Revit:in käyttöä sekä tutkintaa yksinkertaistavat kuitenkin Autodesk:in verkkosivuilta löytyvät ohjelmakohtaiset ohjeet sekä vinkit.



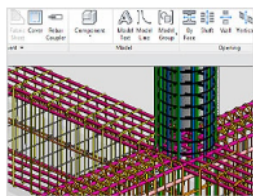
Kuva 19 Tuotuja sähköaseman komponentteja Revit:issä (Hakkarainen, 2022)

Tutkittavina kohteina ovat Inventor:ista tuotujen mallien toimivuus ja liikuteltavuus Revit-mallissa. Inventor:in ja Revit:in yhteensopivuutta tutkitaan käytännössä ja huomataan olennaisia etuja sekä toimivia menetelmiä mallien tuonnin ja sijoittelun yhteydessä (tarkemmin osiossa 7.1).

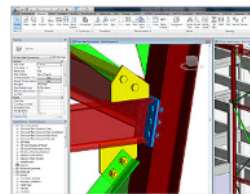
Kuvan 19 sähköasemamallin vasempaan reunaan on onnistuneesti sijoitettu Inventor:ista tuotuja kolmiulotteisia sähköaseman komponenttimalleja. Sähköaseman malli on tarkoituksellisesti karsittu puutteelliseksi tietosuojan ylläpitämiseksi. Tutkimustulosten kannalta Revit-pohjainen malli on välttämätön.

6.2 Metallirakenteiden suunnittelu

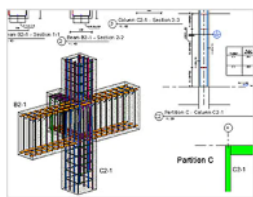
Metallirakenteiden suunnittelun osalta Revit tarjoaa useita työkaluvaihtoehtoja. Näitä työkaluja ovat *Structural Columns*, *Beams*, *Beam Systems*, *Structural Connections*, *Detailed Steel Modeling*, *Trusses* sekä *Bolts*. *Structural Columns* (rakennepilarit) -työkalun avulla lisätään pystysuuntaisia elementtejä rakennusmalleihin. *Beams* (palkki) -työkalua käytetään rakennusmallin kantavien rakenteiden lisäämiseen. *Beam Systems* (palkkijärjestelmät) -työkalulla taas lisätään kehyslementtejä, jotka koostuvat yksittäisistä palkeista. *Structural Connections* (rakenneyhdistely) -työkalulla yhdistetään olemassa olevat rakenteet yhdeksi kokonaisuudeksi. *Detailed Steel Modeling* (yksityiskohtainen teräsmallinnus) -työkalu mahdollistaa yli sadan vakiorakenneliitostyypin käytön. *Trusses* (ristikot) -työkalulla luodaan eriäviä ristikkomaisia tukirakenteita. Kiinniketarviketyökalu *Bolts* sisältää vakio/hienokierteiset, tuumaiset sekä metriset, kiinnitystarvikkeet. Kaikki esitellyt työkalut löytyvät Revit:in ylävalikoista (kuva 18) (Autodesk Oy, n.d.).



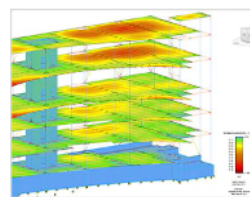
Betonirauδοitukset
Mallinna 3D-betonirauδοitukset edistyksellisessä tietomallinnusympäristössä. Luo täsmällisiä vahvistussuunnitelmia ja tuotantopiirustusten dokumentointeja, joissa on myös raudoitusten taivutusluettelot.



Työnkulut suunnittelusta teräsrakenteisiin
Voit yhdistää terässuunnittelun ja detailjoinnin työnkulut. Voit määrittää suunnitelman tavoitteet entistä yksityiskohtaisemmin teräsrakenteiden osalta Revitin mallinnuksella.



Rakenteiden analysointi
Luo tarkkoja, yksityiskohtaisia dokumentaatioita teräs- ja betonirakenteiden suunnitelmista. Mallinnusten elementit tulevat suoraan rakennustietokannasta.



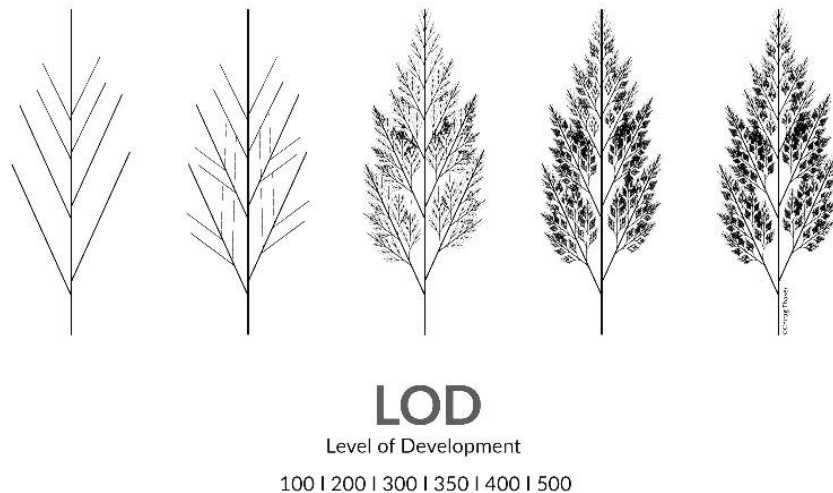
Rakenteiden analysointi
Suorita rakenteiden analysointi ja vie sen tulos analyysimallin kanssa analysointi- ja suunnittelusovelluksiin samalla kun luot Revitissä fyysistä mallinnusta.

Kuva 20 Revit:in rakennesuunnitteluosa-alueet (Autodesk Oy, n.d.)

Revit:in rakennesuunnittelun yhteyteen saatavia lisäosia/laajennuksia ovat Advance Steel-metallirakenneohjelma sekä Precast-betonirauδοitusohjelma. Kolmiulotteiseen mallinnukseen tarkoitettuna Advance Steel:in avulla voidaan automatisoida toistuvat rakenteet sekä liitostavat (Autodesk Oy, n.d.). Precast-laajennusta hyödynnetään betonielementtien ja raudoitusten suunnittelussa. Precast-työkalu auttaa luomaan piirustukset tukirauδοituksista sekä huomioimaan rakenteellisia kuormia (Autodesk Oy, 2022).

6.3 Huomioitavaa Revit-suunnittelussa

Sähköasemamallin kasvaessa on tarkasteltava, millaisella tarkkuudella yksittäiset komponentit on kannattavinta mallintaa. LOD (Level Of Development) -tasoja on yhteensä kuusi: 100, 200, 300, 350, 400 ja 500. LOD-tasoilla voidaan radikaalisti vaikuttaa kokonaisen mallin tiedostokokoon. Liian tarkaksi mallinnettu kokonaisuus voi asettaa haasteita työskentelylle tietokoneiden suorituskyvyn rajan ylittyessä. Suuri tiedostokoko vie myös ylimääräistä tilaa verkkopalvelimilta. Yleisimmin LOD-tasona käytetään vähintään LOD 300-tasoa, mutta useimmiten LOD300 ja LOD 400-tasojen välimuotoa LOD 350 (United BIM Inc, n.d.).



Kuva 21 Mallinnus tarkkuus luokat (United BIM Inc, n.d.)

Yrityksen sisäiseen käyttöön on tulevien sähköasemaprojektien kannalta järkevintä kehittää mallipohja (*template*). *Template* koostuu asetuksista ja parametreista, joiden avulla samankaltaisia projekteja voidaan suorittaa nopeammalla aikataululla. Täten mallipohjan runkoa voidaan helposti soveltaa muihin projekteihin. Parametrien avulla Revit-mallia voidaan myös parannella. Yleisimpiä tietomallinuksessa käytettyjä parametrejä ovat *Family*, *Global*, *Shared* ja *Project*-parametrit. *Family*-parametrit ovat yhden *Family*-tiedostomuodon käytettävissä. Yksittäinen *Family* kattaa esimerkiksi telien korkeuden. *Global*-parametrit ovat käytössä vain kyseisessä projektissa. *Shared* ja *Project*-parametrit ovat jaettavia parametrejä, muodostaen oman tekstitiedostonsa. (Similä, 2019).

6.4 Muutokset ja haasteet koskien Revit-mallia

Sähköaseman primäärisuunnittelu Revit:issä tuo mukanaan ongelmia sekä puitteita, jotka on helpompi ratkaista/suunnitella toisissa 3D-ohjelmissa. Inventor:ista siirretty kokoonpano toimii yhtenä kokonaisena kappaleena, hankaloittaen tuodun mallin muokkaustoimia. Revit:iin siirrettyä kokoonpanoa ei ole jälkeempään mahdollista jakaa osiin; käyttäjä joutuu tyytymään yhtenäiseen osaan.

Haasteita suunnittelussa aiheuttaa myös korkeajännitekaapeleiden ja kiinnikkeiden suunnittelutyökalun sekä maadoitus- ja ukkosensuojausmallien puuttuminen. Näiden työkalujen puuttuminen johtuu Revit:in pääasiallisesti rakennussuunnittelun päämääriin tarkoitettu ympäristöstä. Revit:issä ei ole esiasennettua kirjastoa, josta löytäisi edellä mainittuja komponentteja tai tarvikkeita tehokkaan mallintamisen avuksi. Esimerkiksi standardilaitteet, telineet sekä johtimet tulee aluksi suunnitella toisilla kolmiulotteisilla mallinnusohjelmilla, jonka jälkeen ne on mahdollista tuoda Revittiin ja muodostaa suurempi kokonaisuus.

Kustannuslaskennan kannalta on tärkeää pystyä havainnoimaan tarvikekustannuksia, kuten johtimien pituuksien laskentaa. Keski/korkeajännitekaapelit ovat arvokkaita, minkä vuoksi on erittäin olennaista, etteivät suunniteltujen johtimien pituudet poikkea todellisesta tarpeesta. Kehittämällä Revit:in *Conduict*-työkalua omiin tarpeisiin voi sen käyttö kaapelityökaluna johdotusten tehokkaaseen mallintamiseen olla tulevaisuudessa mahdollista (Snajderov & Saudagar, 2019). Johdotusten kääntösaiteen huomioidulla on myös suuri merkitys, sillä kaapelit eivät taivu 90 asteen kulmaan.

Revit:iä käyttämällä kaikki mallit voidaan tuoda samaan kokonaisuuteen, saaden aikaan kattavan mallin esiteltäväksi urakoitsijoille ja asiakkaille. Revit:iä ei kuitenkaan ole mielekäästä tai realistista käyttää ainoana primäärisuunnittelun ohjelmistona, etenkin ilman perinpohjaista käyttökokemusta ohjelmasta.

7 REVIT:IN YHTEENSOPIVUUS AUTODESK INVENTOR:IN KANSSA

7.1 Yhteensopivuus ja ongelmat

Autodesk:in kehittäjät pyrkivät luomaan ohjelmistoistaan yhteensopivia eri ominaisuuksien ja lisäosien avulla. Inventor:in ja Revit:in oletustiedostomuodot eivät itsessään ole täysin sopivia keskenään. Tiettyjen lisäosien avulla Inventor:illa luodut kappaleet on kuitenkin mahdollista tuoda Revit:iin, mikä tekee Revit:istä ja Inventor:ista keskenään yhteensopivia. Inventor-ohjelmalla tuotettuja Autodesk Inventor Part (.ipt) ja Autodesk Inventor Assembly (.iam) -tiedostoja voidaan tuoda Revit Interoperability Component-lisäosan avulla Revit:iin. Interoperability Component lisäosan avulla voidaan muuntaa tuotavat tiedostot Revit Family (RFA)-muotoon. Muutettavan kokoonpanon kaikki yksittäiset osat on löydyttävä tiedostosta, jotta Revit:iin muutettu malli pysyy ehjänä ja kokonaisena. Inventor-mallin muuttaminen RVT-tiedostomuotoon tapahtuu Inventorin *Export to Revit*-valinnoilla. *Export to Revit*-komennon jälkeen on mahdollista valita, kuinka tarkkana malli muunnetaan RVT-muotoon.

Yhteensopivuus ohjelmien välillä ei itsessään ole ongelma: haasteellisuus esiintyy tuotujen mallien sijoittelussa. Haasteelliseksi tuotujen mallien sijoittamisen tekee yhtenäinen muoto: Revit näkee tuodun mallin vain yhtenä kokonaisuutena eikä kokoonpanona, mikä vaikeuttaa sijoittamista. Suurten mallien muuttamisen nopeuteen voidaan helpoiten vaikuttaa *Visual Style*-valikosta löytyvillä tekstuurivaihtoehdoilla. Yksityiskohtaisemman mallin muuttamisessa kuluu huomattavasti enemmän aikaa kuin vähemmän tarkan mallin kanssa. Muuttaessa Revit-malleja *Import*-tyylillä takaisin Inventor-malleiksi on apuna käytettäviä tyylejä kaksi: referenssitiedoston käyttö ja tiedoston *convertaaminen* (muuttaminen). Molempiin tiedostomuodon muutossuuntiin on valittavissa, halutaanko koko kokoonpano vai vain osa sitä muuttaa toiseen ohjelmaan (Autodesk Oy, 2021).

7.2 Merkittävimmät erot

Kaiken kaikkiaan Revit on erittäin monipuolinen sovellus, jolla voidaan tarpeen tullen korvata toisia sovelluksia lähes täysin. Revit myös tukee useita kymmeniä tiedostomuotoja, tehden siitä toiminnallisesti yhteensopivan muiden suunnitteluohjelmien kanssa.

Yksinomaan kappaleiden ja metalliosien mallintamiseen Inventor on ohjelmana helpokäyttöisempi ja yksinkertaisempi kuin Revit. Inventor:in ominaisuudet keskittyvät myös tarkemmin komponentti/osatasolle. Inventor ei kuitenkaan kokonaisuutena ole yhtä laaja-alainen ja monipuolinen kuin Revit. Revit:iä voidaan tietyissä tapauksissa käyttää jopa yksittäin primäärisuunnittelun tarkoituksiin. Täten toinen suunnitteluohjelma ei välttämättä ole tarpeellinen, jos Revit:iä osaavia henkilöitä on yrityksessä jo useampia. Revit:in kokonaisuudessaan laaja ympäristö ei kuitenkaan aina ole yritykselle tarpeellinen, jolloin järkevintä on harkita esimerkiksi pelkän Inventor:in tai vastaavan ohjelman käyttöä.

Kaikkiaan Inventor:in ja Revit:in kaltaisten ohjelmien väliset erot johtuvat niiden alkuperäisestä suunnitellusta käyttötarkoituksesta. Revit on pääasiallisesti tarkoitettu suurten rakennusten ja infrastruktuurien tietomallintamiseen, siinä missä Inventor on metallisten osien ja levyrakenteiden suunnitteluohjelmistojen parhaimmista (Inventor vs Revit, 2022). Huomioitavaa on myös hintaerossa: vuodessa Inventor:in lisenssi kustantaa 2886 €, Revit:in 3358 € (Autodesk Oy, n.d.).

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tutkittiin Autodesk:in Revit-ohjelman soveltuvuutta sähköaseman primäärisuunnittelussa sekä vertailtiin eri primäärisuunnitteluohjelmistojen eroja ja hyötyjä. Työn sisältö perustuu sekä omalle tutkimukselle Revit- ja Inventor-ohjelmien parissa että lähdeaineistolle, jota hyödynnetään teoreettisena tukena työlle. Pääasiallisena tutkimuskohteena työssä oli Revit:in ja Inventor:in yhteensopivuus primäärisuunnittelun tavoitteiden huomioiden. Opinnäytetyö on pohjustava avaus tietomallinnuksen tutkimukselle primäärisuunnittelun ympäristöissä. Työn tuloksena on myös yksityiskohtainen ohje mallien tuomiseen Inventor:ista ja Revit:iin, jota yritys voi jatkossa hyödyntää työskennellessään Revit:in kanssa (liite).

Revit-ympäristöä tutkittaessa huomattiin, että Revit poikkeaa ensisijaisten käyttökohteidensa vuoksi huomattavasti toisista konealan kolmiulotteisista suunnitteluohjelmista. Tarvittavan osaamisen löytyessä Revit:iä on kuitenkin mahdollista hyödyntää tehokkaasti primäärisuunnittelussa. Revit:in ensisijaisia hyötyjä ovat tietomallinnusohjelman monipuolisuus sekä yhteensopivuus muiden Autodesk-tuotteiden kanssa, mikä mahdollistaa dynaamisen suunnittelun sekä monipuolisen yhteistyön yrityksen ja asiakkaan välillä.

Työn tulokset ovat odotettuja ja hyödyllisiä opinnäytetyön yhteistyötahoille. Revit-ohjelman tutkimusta sekä käyttöä primäärisuunnittelussa tullaan kehittämään jatkossa yrityksen ja yhteistyökumppaneiden kanssa. Työ sisältää salatun liitteen, joka toimii ohjeena tutkimuksessa käsiteltyjen muutostöiden suorittamiseen.

Opinnäytetyön aikana olen kerännyt arvokasta ammatillista tietoa ja taitoa tutkituista ohjelmista sekä niiden käyttötarkoituksista ja -sovelluksista. Sähköasemien tarkempi käsittely kartutti tuntemustani komponenteista, minkä koen itselleni antoisaksi. Työn tekeminen auttoi myös ymmärtämään kolmiulotteisen suunnittelun eri ulottuvuuksia, joihin en ollut aiemmin perehtynyt. Opinnäytetyön tekeminen on kehittänyt paitsi tiedonhankintataitojani, myös valmiuksiani kirjoittaa raportteja tulevaisissa ammatillisissa tehtävissä. Kaiken kaikkiaan opinnäytetyön merkittävin ammatillinen anti on ollut

tietomallinnusohjelmiin perehtyminen, niistä tiedon kerääminen sekä taito hyödyntää kerättyjä tietoja tulevaisuuden työtehtävissä.

LÄHTEET

ABB Oy. (17.8.2000). Sähköasemat, kojeistot ja muuntamot. TTT-käsikirja 2000–07. Haettu 15.10.2022 osoitteesta http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/13_S%84hk%94asemat-kojaistot-muuntamot.pdf

ABB Oy. (3.10.2012). Kompensointi [valokuva]. MNS – modulaarinen pienjännitekojeistojärjestelmä: Ratkaisu sähkönjakeluun teollisuudessa, voimalaitoksissa ja marine-sovelluksissa. ABB. https://library.e.abb.com/public/04c0cc9633c5e151c1257aaa003a2d26/MNS%20FI%201TFC902032N1801%20owres_03102012.pdf

ABB Oy. (27.5.2015). ABB ja Turku Energia Sähköverkot Oy yhteistyöhön: ABB modernisoi Turun suurimman sähköaseman. STT Info. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/abb-ja-turku-energia-sahkoverkot-oy-yhteistyohon-abb-modernisoi-turun-suurimman-sahkoaseman?publisherId=4270&releaseId=28467945>

ABB Oy. (14.8.2017). Kuva 6 [valokuva]. Jännitesuojaus ja -ohjaus: REU615 Ostaajan opas. ABB. https://library.e.abb.com/public/959c689a4249472db4940346fab23cae/REU615_pg_758318_FIa.pdf?x-sign=8ar2C4AOZZaduuWSKDO+VA-hOOTrks+JJ3ppe0b/kVLFNiH/kCUWhHt874zvJWSBo

Arkance Systems Finland Oy. (n.d.). Autodesk Construction Cloud. Haettu 31.10.2022 osoitteesta <https://arkance-systems.fi/ohjelmistot/autodesk/autodesk-construction-cloud/>

Arkance Systems Finland Oy. (n.d.). Revit. Haettu 31.10.2022 osoitteesta <https://arkance-systems.fi/ohjelmistot/autodesk/revit/>

Autodesk Oy. (2021). To Import a Revit Model as an AnyCAD Reference Model. <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor/learn->

[explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/Inventor-Help/files/GUID-6172EDDE-55AF-4C03-B701-685538420A3A-htm.html](https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/Inventor-Help/files/GUID-6172EDDE-55AF-4C03-B701-685538420A3A-htm.html)

Autodesk Oy. (2022). Structural Modeling. <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-Model/files/GUID-8DBD5510-BB44-48E8-A37F-6D370234E23A-htm.html>

Autodesk Oy. (n.d.). Revit: BIM-ohjelmisto suunnittelijoille, rakentajille ja tekijöille. Haettu 26.10.2022 osoitteesta <https://www.autodesk.fi/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

Autodesk Oy. (n.d.). Revit vs. Autocad. Haettu 31.10.2022 osoitteesta <https://www.autodesk.com/solutions/revit-vs-autocad>

Autodesk Oy. (n.d.). Revitin tärkeimmät ominaisuudet [kuvakaappaus]. Autodesk. Haettu 1.11.2022 osoitteesta <https://www.autodesk.fi/products/revit/features>

Autodesk Oy. (n.d.). Autodesk-tuotteet. Haettu 3.11.2022 osoitteesta <https://www.autodesk.fi/products>

Autodesk Oy. (n.d.). Mitä Revitillä voi tehdä [kuvakaappaus]. Revit. Haettu 5.11.2022 osoitteesta <https://www.autodesk.fi/products/revit/structure>

Autodesk Oy. (n.d.). Advance Steel: Explore the edge of design. Haettu 8.11.2022 osoitteesta https://www.autodesk.com/products/advance-steel/overview?us_oa=dot-com-us&us_si=70a7234d-d61b-42b4-8838-81a44b63c929&us_pt=Advance%20Steel&us_at=Yleiskatsaus&term=1-YEAR&tab=subscription&plc=ADSTPR

BTB Transformers Oy. (n.d.). Suurmuuntajat [valokuva]. Haettu 18.10.2022 osoitteesta <https://www.btbtransformers.com/fi/muuntajat/#!/transformer-section-2>

Co-Engineering Oy. (n.d.) Co-Engineering logo [valokuva]. Co-Engineering. Haettu 14.10.2022 osoitteesta <https://www.co-engineering.fi/>

Esala, M. (2015). 110kV:n kytkinlaitoksen suunnitteluprosessi [AMK-opinnäytetyö, Vaasan ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/92566/110kV_kytkeinlaitoksen_suunnitteluprosessi.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Eurolaite Oy. (n.d.). Valuhartsieristeiset muuntajat. Haettu 18.10.2022 osoitteesta <https://www.eurolaite.fi/sahkotekniikan-tuotteet/muuntajat/keskijanniteverkkojen-muuntajat/valuhartsieristeiset-muuntajat/>

Hamil, S. (2021). BIM dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained. NBS. <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>

Hietalahti, L. (2013). Sähkövoimatekniikan perusteet. Amk-kustannus Oy Tammer-teknikka.

Korpinen, L. (toim.). (1998). Sähkövoimatekniikkaopus. Haettu 20.10.2022 osoitteesta <http://leenakorpinen.com/fi/julkaisut/opetusaineistoja/>

Orrberg, M. (toim.). (2018). Yliaallot ja kompensointi (2., uudistettu painos). Sähköinfo. Haettu 20.10.2022 osoitteesta <https://www.sahkoinfo.fi/product/1515>

Rudus Oy. (n.d.). Sähkölínjan ja sähköaseman perustukset. Haettu 28.10.2022 osoitteesta <https://www.rudus.fi/tuotteet/infraelementit/sahkolinjan-ja-sahkoaseman-perustukset>

Savon voima Oyj. (n.d.). Loissähkö ja sähkön laatuun vaikuttavat yliaallot. Haettu 24.10.2022 osoitteesta <https://savonvoima.fi/yrityksille-ja-yhteisolle/sahko-verkko/loissahko-ja-sahkon-laatu/>

SDI2024.10. (n.d.). Ylijännitesuojasetti. Ensto. Haettu 24.10.2022 osoitteesta <https://www.ensto.com/fi/sahkoverkonrakennus/tuotteet/ilmajohtoverkot/keskijanniteratkaisut/ensto-avojohto/yljannitesuojat/sdi2024.10/>

Similä, H. (2019). Revit-suunnitteluohjelman käyttöönotto sähkösuunnittelussa [AMK-opinnäytetyö, Oulun ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/171106/Simila_Henri.pdf?sequence=2

Snajderov, K., Saudagar, A. (2019). BIM: The Future of Substation Design [video]. Autodesk. <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/BIM-Future-Substation-Design-2019#video>

Software Advice Inc. (n.d.). Inventor vs. Revit. Haettu 1.11.2022 osoitteesta <https://www.softwareadvice.com/construction/inventor-profile/vs/revit/>

Stek Ry (n.d.). IP-luokitus. Haettu 21.10.2022 osoitteesta <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/>

Taimi, J. (2019). Ohje sähköasemien ja muuntamoiden maadoitusten suunnitteluun [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/172447/Taimi_Joonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Tampereen Vera Oy. (n.d.). Teollisuus ja kiinteistöt [valokuva]. Tampereen Vera. Haettu 17.10.2022 osoitteesta <https://tampereenvera.fi/palvelut/teollisuus-ja-kiinteistot/>

Tumelius, H. (2016). Sähköasemarakentaminen [AMK-opinnäytetyö, Lapin ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/106688/Tumelius_Henrik.pdf?sequence=1

United BIM Inc. (n.d.). BIM Level of Development | LOD 100, 200, 300, 350, 400, 500. Haettu 4.11.2022 osoitteesta <https://www.united-bim.com/bim-level-of-development-lod-100-200-300-350-400-500/>

Ylitalo, E. (2015). Sähköaseman kunnossapidon kannattavuus [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/103912/Ylitalo_Erkka.pdf?sequence=1