

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Tuomas Löppönen

3D-MALLINTAMISEN VAIKUTUKSET SÄHKÖSUUNNITTELU-  
URAKKAAN – Case Etteplan Design Center Oy

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2014**  
**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p. (013) 260 6800

Tekijä  
Tuomas Löppönen

Nimeke  
3D-mallintamisen vaikutukset sähkösuunnittelu-urakkaan

Toimeksiantaja  
Etteplan Design Center Oy

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä tutkittiin 3D-mallintamisen vaikutuksia sähkösuunnittelu-urakkaan verrattuna perinteiseen kaksiulotteiseen sähkösuunnitteluun. Perinteisessä sähkösuunnittelussa sähköpistesijoitukset piirretään kaksiulotteiseen tasokuvaan, josta ei selviä pisteiden sijoituskorkeudet ellei sitä erikseen merkitä. Sähkösuunnitelmista voidaan luoda kohteen kolmiulotteinen malli eli tietomalli. Yhä useampien kohteiden suunnitelmista luodaan tietomalli.

Tutkimuksen tukemiseksi tutkittiin myös mitä tulee ottaa huomioon 3D- eli tietomallia varten tehtävässä sähkösuunnittelussa ja mitä hyötyjä ja haittoja tietomallintamisesta on. 3D-mallinnusprosessi-luvusta tuli myös 3D-mallintamisen opas työn toimeksiantajan, Etteplan Design Center Oy:n, käyttöön. Huomioon otettavien asioiden ja haittojen avulla selvitettiin työtä hidastavat tekijät, jotka ovat myös asiakkaan kustannuksia lisääviä tekijöitä suunnitteluvaiheessa. Tutkimus toteutettiin case-tutkimuksena liittyen erään koulun suunnitteluprojektiin. Tiedonhankintamenetelmiin kuului projektin aikana havainnoimisen lisäksi haastattelemisen ja alan dokumenttien tutkiminen.

Tutkimustuloksista kävi ilmi, että tietomallintamisen vuoksi sähkösuunnitteluun kuluu tässä tapauksessa 20 prosenttia enemmän aikaa kuin perinteisessä sähkösuunnittelussa. Sähkösuunnittelussa kulunut aika on suoraan suhteessa asiakkaan kustannuksiin kyseisessä vaiheessa. Kasvaneet kustannukset kompensoidaan myöhemmissä vaiheissa syntyvillä säästöillä, joita aiheuttaa tarkemman suunnittelun ja suunnittelijoiden yhteistyön ansiosta. Tulevaisuudessa tietomallintamista voidaan hyödyntää vielä enemmän tietotekniikan ja ohjelmien kehittyessä. Jatkotutkimuksia aiheesta voisi tehdä eri ohjelmien tietomallin hyödyntämisestä ja muiden rakentamisen vaiheiden ja muiden suunnittelualojen kannalta.

Kieli  
suomi

Sivuja 32

Asiasanat  
sähkösuunnittelu, tietomallintaminen, 3D-mallintaminen, vaikutukset, MagiCAD



**THESIS**  
**May 2014**  
**Degree Programme in Electrical Engineering**  
Karjalankatu 3  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. +358 (13) 260 6800

Author  
Tuomas Löppönen

Title  
Effects of 3D-Modeling on Electrical Planning Project

Commissioned by  
Etteplan Design Center Oy

Abstract

In this thesis the effects of 3D-modeling to electrical planning compared to traditional two-dimensional planning were studied. In the traditional electrical planning points are drawn in two-dimensional layout, in which the vertical placement cannot be determined unless it is particularly marked on the point. A three-dimensional model of the subject, also known as building information model can be created from the electrical plans. Increasingly, building information models are created from plans of subjects.

To support the research things to be considered in electrical planning for 3D- or building information model and the advantages and disadvantages of building information modeling process were also studied. The 3D-modeling process section became also a guide to 3D-modeling to commissioner, Etteplan Design Center Oy. The factors that slow planning and thus increase the expenses of the client were discovered with the help of these things to be considered and the disadvantages. The study was executed as a case-research related to a planning project of a certain school. During the project data acquisition methods consisted of observation, interviews and examining the documents in the field.

According to the results of the study in this case building information modeling causes that 20 percent more time is consumed in electrical planning compared to traditional electrical planning. Time consumed in electrical planning is directly proportional to the expenses of the client at this stage. Increased expenses are compensated by savings gained in later stages which are generated by more accurate planning and co-operation of designers. In the future building information modeling process can be even more beneficial when information technology and programs develop. As further research, utilization of building information model in different programs and the effects of other stages and other planning fields could be suggested.

Language  
Finnish

Pages 32

Keywords  
electrical planning, 3D-modeling, building information modeling, effects, MagiCAD

# Sisältö

KÄSITTEET .....	5
1 Johdanto .....	6
1.1 Tutkimusmenetelmä .....	7
1.2 Toimeksiantajan esittely .....	8
2 3D-mallintamisen perusteet .....	9
3 3D-mallintamisprosessi .....	9
3.1 Origon asettaminen .....	10
3.2 Objektien sijoittaminen.....	11
3.3 Objektien 3D-mallit .....	13
3.4 Johtotiet .....	16
3.5 3D-mallin luominen sähkösuunnitelmasta .....	19
4 3D-mallin hyödyntäminen suunnittelussa.....	21
5 Vaikutukset .....	24
6 Pohdinta.....	26
6.1 Tietomallintamisen kehittäminen.....	27
6.2 Valaistussuunnittelun kehittäminen.....	28
6.3 Jatkotutkimus ehdotukset .....	30
Lähteet.....	31

## Käsitteet

**3D** on lyhenne sanoista “three dimensional”, joka tarkoittaa suomeksi kolmiulotteista.

Sähkösuunnittelussa **tasokuvalla** tarkoitetaan kaksiulotteista kuvaa, jonka pohjana eli viitekuvana toimii yhden kerroksen kaksiulotteinen rakennussuunnitelma. Kuvaan suunnitellaan sähköpisteet niitä kuvaavilla objekteilla, johdotukset piirtämällä viivoja ja johtoreitit niitä kuvaavilla objekteilla. Tasokuvassa on vain kaksi ulottuvuutta, joten siinä voidaan kuvata vain pituus- ja leveysakselit.

**Leikkauskuvalla** tarkoitetaan kaksiulotteista kuvaa, joka on nimensä mukaisesti leikkaus kyseessä olevasta rakennuksesta. Leikkauskuvassa näkyy korkeus, mutta vain toinen pituus- ja leveysakseleista.

**Aksonometrisessä kuvassa** näkyy kolme ulottuvuutta eli pituus, leveys ja korkeus. Aksonometrisessä kuvassa viitekuvana voi olla monta kerrosta. Sitä käytetään kuitenkin yleensä järjestelmäkaavioiden kuvaamiseen, koska suurilla sähköpiste- ja johdotusmäärillä kuvasta tulee hyvin epäselkeä.

**3D-malli** on kolmiulotteinen mallinnus kohteesta. 3D-mallin avulla suunnitelmien havainnointi on helppoa. 3D-mallista selviävät kaikkien suunniteltujen pisteiden ja johtoreittien sijainnit kolmiulotteisesti. 3D-malliin voi liittää samanaikaisesti sähkösuunnitelmat ja LVI-suunnitelmat. 3D-mallista käytetään myös tietomalli-nimitystä.

**IFC** (Industry Foundation Classes) on CAD-ohjelmien yhteinen tietomallien kuvaustapa. Tällä tiedostomuodolla voidaan malleja siirtää ohjelmistosta toiseen. Tutkimuksen teko hetkellä yleisimmin käytetty versio on IFC 2x3, jota myös tämän työn tutkimuksessa on käytetty. [1; 3, s. 1]

**AutoCAD** on CAD-ohjelma-perhe, jota on kehitetty 18 ohjelmasukupolven ajan ja sitä voi käyttää eri suunnittelualoilla. [4]

**MagiCAD** on AutoCAD-pohjainen eri suunnittelualoille erikoistettu suunnitteluohjelma, jolla voi hyödyntää tietokantoja ja tietomallintamista. [5]

**DiaLUX** on valaistussuunnitteluohjelma, jota käytetään valaistussuunnittelussa. Sillä voi tarkastaa, onko suunnitellun valaistuksen valaistusvoimakkuus riittävä tietyssä tilassa. DiaLUX-ohjelmalla voi laskea myös muita valaistukseen liittyviä suureita, mutta yleisin on kuitenkin valaistusvoimakkuus.

**Valaistusvoimakkuus** on SI-järjestelmän mukainen suure, jonka yksikkö on luxi. DiaLUX-ohjelma antaa valaistusvoimakkuuslaskennan tulokset tilasta lukusikäyrinä.

**Johtotiellä** tarkoitetaan kaapelihyllyä, -kanavaa, kourua tai putkea, jossa voi kulkea useampi kuin yksi kaapeli.

**Kaapeli** tarkoittaa sähköjohtoa, joka sisältää useita johtimia.

**Sähköpiste** tarkoittaa sähkölaitetta, kuten pistorasiaa, valaisinta, jakorasiaa tai moottoria. Sähköpisteet kuvataan suunnitteluohjelmissa ja suunnitelmissa symboleilla, joita kutsutaan myös objekteiksi.

## 1 Johdanto

Sähkösuunnittelussa on siirrytty käsin piirtämisestä tietokoneavusteiseen suunnitteluun 80- ja 90-luvun aikana. Siitä asti suunnitteluohjelmat ovat kehittyneet vuosi vuodelta kovaa vauhtia. Uusin kehitystyön tulos on ollut 3D-mallintaminen. Myös 3D-mallintamista kehitetään koko ajan ja etenkin sen hyödyntämismahdollisuuksia.

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin 3D-mallintamisen vaikutuksiin sähkösuunnittelussa. Tämän opinnäytetyön päätutkimuskysymys on: miten 3D-

mallintamisen vaatiminen vaikuttaa sähkösuunnitteluprojektiin. Lisäksi työtä varten oli määritelty kolme kysymystä, joiden ratkaiseminen auttoi vastaamaan päätutkimuskysymykseen. Nämä kolme kysymystä ovat

- mitä täytyy ottaa huomioon kun sähkösuunnitelmasta laaditaan 3D-malli
- mitä työtä hidastavia ja vaikeuttavia tekijöitä mallintamiseen liittyy
- mitä hyötyä mallintamisesta on

Kysymyksiin vastaamisen lisäksi opinnäytetyöstä oli tarkoitus tulla 3D-mallintamisen ohje toimeksiantajalle, joka on Etteplan Design Center Oy. Työohje on suunnattu työntekijöille, jotka osaavat käyttää AutoCADia tasokuvan piirtämiseen, mutta eivät ole vielä tutustuneet MagiCADiin ja sen ominaisuuksiin 3D-mallintamisessa. Toimeksiantajan pyynnöstä työssä ei esitetä tarkempia tietoja suunnittelukohteesta eikä siihen liittyviä kustannuslaskelmia.

Tämä työ rajoittuu tietyn koulun suunnitteluvaiheen vaatimaan laajuuteen ja käytettävien ohjelmien osalta MagiCAD-suunnitteluohjelmaan. Työssä käsitellään 3D-mallintamista pääasiassa vain sähkösuunnittelun kannalta. 3D- eli tietomallintamisesta on tehty muitakin opinnäytetöitä, koska tietomallintaminen oli ajankohtaisin tietokoneavusteiseen suunnitteluun liittyvä tutkimuksen tekohelellä. Muista aiheeseen liittyvistä opinnäytetöistä kuitenkin vain pieni osa liittyi sähkötekniseen suunnitteluun ja niistä yksikään ei liittynyt MagiCAD-pohjaiseen suunnitteluohjelmaan. Koska aiheesta oli kuitenkin tehty muitakin opinnäytetöitä, tässä työssä ei käyty perusteellisesti tietomallintamisen perusteita läpi.

## 1.1 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyössä käytetään kvalitatiivista eli laadullista tutkintamenetelmää ja tämä tutkimus on strategialtaan case- eli tapaustutkimus, koska tässä työssä tutkitaan tietyn koulun sähkösuunnitteluprosessia. Tapaustutkimuksessa hankitaan intensiivistä tietoa yksittäisestä rajatusta tapauksesta. Laadullisessa tutkimuksessa ja tapaustutkimuksessa ominaista on että aineistoa kerätään mm. havainnoin, haastatteluin ja dokumentteja tutkien. [8, s. 134-135; 9, s. 71-72]

Olen kerännyt tietoa tätä työtä varten noin puoli vuotta työskentelemällä erään koulun sähkösuunnitteluprojektissa, joka oli määrä toteuttaa 3D-mallintamiskelpoisena. Projektia varten olen kerännyt tietoa pääasiassa kyselemällä tai haastatteleamalla kokeneempia työntekijöitä ja toimimalla heidän kanssaan projektissa. Tätä tiedonkeruumenetelmää kutsutaan havainnoinniksi tai tarkemmin sanottuna osallistuvaksi havainnoinniksi, jossa tutkija toimii aktiivisesti tiedonantajien kanssa. [9, s. 81-83]

## **1.2 Toimeksiantajan esittely**

Toimeksiantajana työlle toimii Etteplan Design Center Oy. Etteplan on teollisten laitteistojen suunnitteluun ja teknisen tuoteinformaation ratkaisuihin ja palveluihin erikoistunut asiantuntijayritys. Etteplan kuuluu Pohjoismaiden johtaviin suunnittelutoimistoihin. Asiantuntijoita Etteplanilla on Suomessa, Ruotsissa, Hollannissa ja Kiinassa. Etteplanilla on yli 40 toimistoa ja jokaisella toimistolla on omat päämarkkinasegmenttinsä. Etteplanin suunnittelupalvelut voidaan jakaa viiteen eri osa-alueeseen eli segmenttiin. Ne ovat: infrastruktuuri, liikerakentaminen, teollisuuden prosessit sekä energialaitosten ja teollisuustekniikan suunnittelu. Etteplanin päämarkkinasegmentti on teollisuuden laitteet, mutta oma näkemykseni on, että Imatran toimistolla ”muut kuin asuinrakennukset” -segmentti, eli johon tämäkin koulu kuuluu, on vähintään yhtä tärkeä.

Olen työskennellyt Etteplan Design Center Oy:ssä toukokuusta 2013 asti Imatran toimistolla. Etteplanin Imatran toimistolla työskentelee 25 työntekijää. Toimiston projekteista 80 prosenttia tehdään Luoteis-Venäjällä ja 20 prosenttia suomessa sijaitseviin kohteisiin. Tietomallintamista käytetään molempien maiden projekteissa.



## 2 3D-mallintamisen perusteet

3D-malli eli tietomalli luodaan eri suunnittelualojen suunnitelmista ja sen tavoite on suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestävä kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaari-prosessin tukeminen. Tietomalleja voidaan hyödyntää koko rakennuksen elinkaaren ajan, suunnittelun alusta valmiin rakennuksen käyttöön ja ylläpitoon. [2, s. 5]

Tietomalleja voidaan käyttää mm. investointipäätösten tukena, energia-, ympäristö- ja elinkaarianalyysiin, rakennettavuuden analysoimiseen ja rakennushankkeiden tietojen hyödyntämiseen käytön ja ylläpidon aikana. Tämän työn kannalta tärkeitä tietomallintamisen mahdollistamia asioita ovat suunnitelmien havainnollistaminen, laadunvarmistus, tiedonsiirron parantaminen ja suunnitteluprosessin tehostaminen, koska työssä keskitytään tietomallintamisen vaikutuksiin suunnitteluvaiheeseen sivuten myös mahdollisia hyötyjä rakennusvaiheessa. [2, s. 5]

Malli luodaan IFC-tiedostomuotoon, joka on avoin tiedonsiirtomuoto. Tämä mahdollistaa eri suunnittelualojen yhteistyön riippumatta heidän käyttämistä ohjelmistaan. Mallia luodessa täytyy ymmärtää että IFC-tieto siirtyy parametreina, geometriana tai molempina. Suunnitelmat tehdään lähes aina kerroksittain, joten suunnitteluohjelmalle on kerrottava jokaisen kerroksen sijoituspiste, etteivät kerrokset ole päällekkäin 3D-mallissa. Samalla tavalla on otettava huomioon esimerkiksi seinään asennettavien laitteiden sijoituskorkeudet. [2; 3]

## 3 3D-mallintamisprosessi

Tässä luvussa kerrotaan, mitä asioita 3D-mallintamista varten täytyy ottaa huomioon sähkösuunnitelmia piirrettäessä. Luku toimii myös oppaana sähkösuunnitteluprojekteihin, joissa vaaditaan 3D-mallintamista eli tietomallintamista.

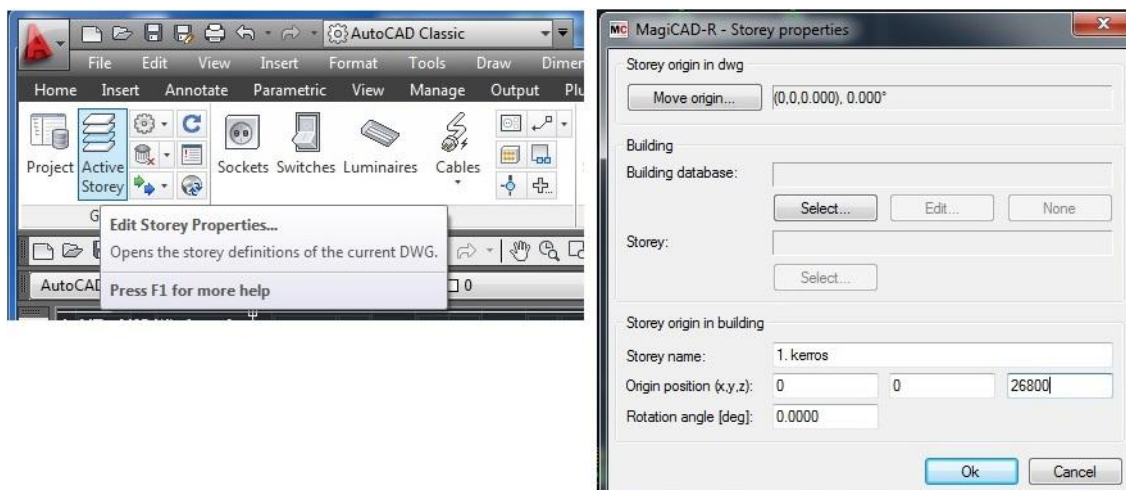
Perinteisesti sähkösuunnitelmat tehdään vain kaksiulotteiseen eli tasokuvaan. 3D-mallin lisäksi käytettyjä ovat esimerkiksi aksonometriset kuvat. 3D-malli luodaan tasokuvaan tehdystä suunnitelmasta. Tästä syystä perinteistä sähkösuunnitelmaa tehtäessä täytyy ottaa huomioon koko ajan 3D-mallin asettamat vaatimukset.

### 3.1 Origon asettaminen

Useissa rakennuksissa on monta kerrosta ja näin ollen niistä joudutaan piirtämään monta tasokuvaa. Lähes aina jokaiseen kerrokseen tulee sähkölaitteita, joten 3D-mallia varten on määriteltävä, mihin kerrokseen kukin tasokuva kuuluu. Jokaiselle tasokuvalla on siis asetettava z-akselin nollataso, eli origo, kyseessä olevan kerroksen yleisimmälle lattian korkeudelle.

On myös mahdollista että yhdessä tasokuvassa, eli käytännössä kerroksessa, on enemmän kuin yksi lattian korkeus. Tällaisissa tapauksissa on otettava huomioon poikkeavat kerroskorkeudet sähköpisteiden korkeuksia asettaessa. Esimerkiksi jos origo on asetettu korkeuteen 7500 ja samassa tasossa on huone, jonka lattian pinta on korkeudessa 8500, on kaikkiin kyseisen huoneen seinään asennettavien sähköpisteiden korkeuteen lisättävä yksi metri normaaliin korkeuteen nähden.

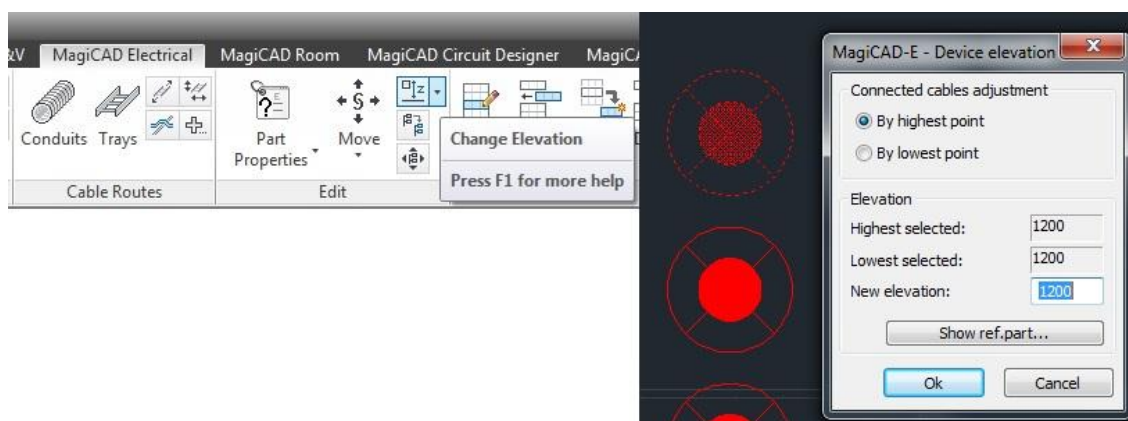
MAGiCAD:ssä origon asettaminen tapahtuu ”Active Storey”-valikossa. Sen saa auki kuvassa 1 nähtävästä ikonista. Kuvasta voidaan nähdä myös itse valikko. Kuvan valikossa z-akselin nollapisteeksi on valittu 26800 millimetriä. [7]



Kuva 1. Origion asettaminen

### 3.2 Objektien sijoittaminen

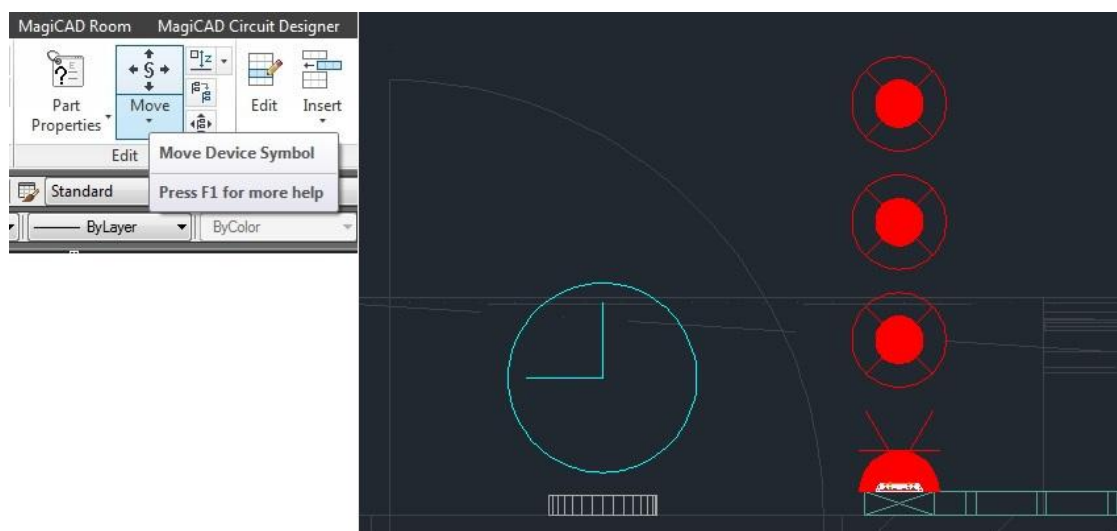
Perinteisessä sähkösuunnitelmassa näkyy kaksiulotteisesti mihin objektit, eli sähköpisteet sijoitetaan. Siitä ei kuitenkaan selviä, millä korkeudella sähköpiste sijaitsee, ellei sitä merkitä erillisellä viiteviivalla. Sähköpisteitä sijoitetaan hyvin harvoin lattian korkeudelle, joten sähkösuunnitelmaa tehdessä 3D-mallia varten on määritettävä jokaisen pisteen korkeus z-akselin nollatasosta.



Kuva 2. Objektin korkeuden määrittäminen

Pisteiden korkeuden saa määritettyä klikkaamalla kuvassa 2 nähtävää ikonia "MagiCAD electrical" -valikosta. Sitten valitaan objekti, jonka korkeus halutaan muuttaa tai asettaa, ja syötetään korkeus kohtaan "New elevation". [7]

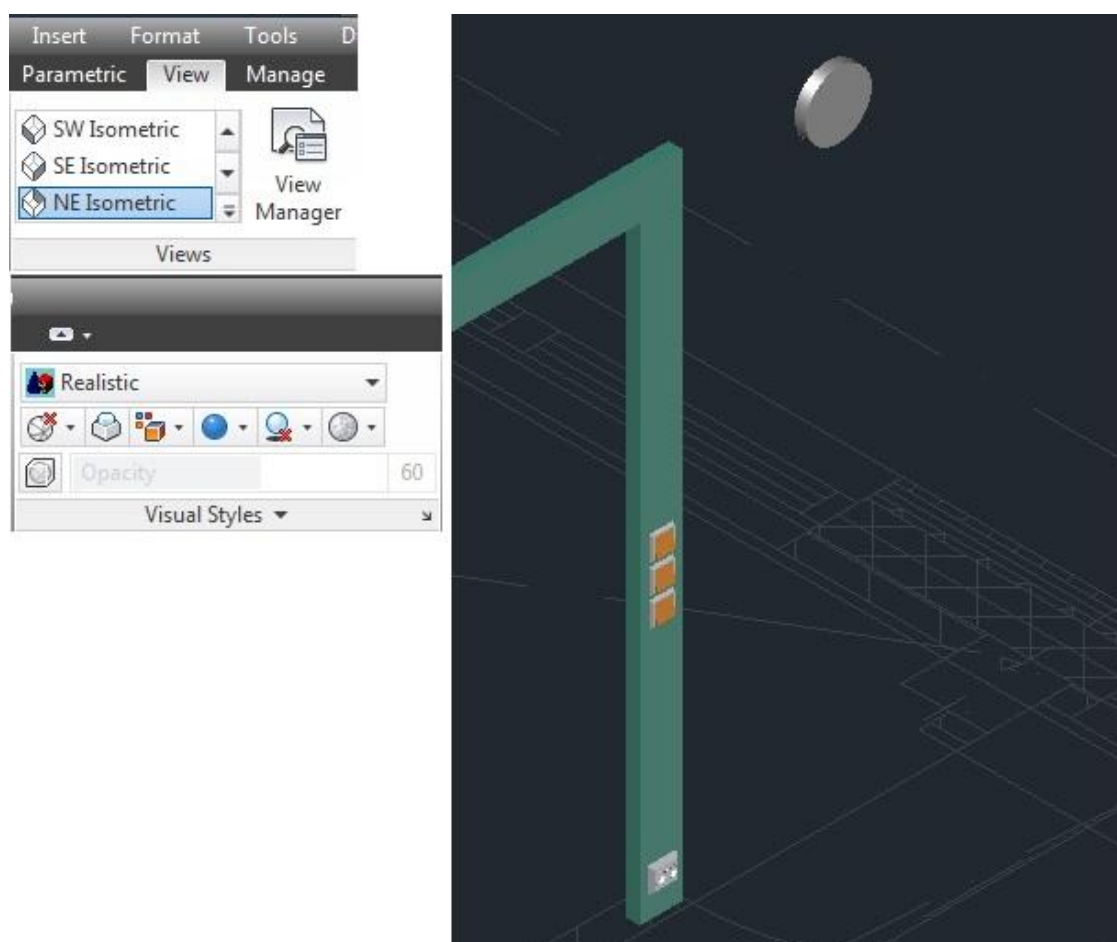
Sähkösuunnitelmassa sähköpisteiden päällekkäisyys seinässä kuvataan pi-noamalla objektit torneiksi, kuten voi nähdä kuvassa 3. Tällöin objektit ovat ku-vainnollisessa paikassa realistisen sijaan. 3D-mallia luotaessa jokaiselle sähkö-pisteelle, jonka objekti on kuvainnollisessa paikassa, on määritettävä erikseen myös 3D-objektin sijainti. 3D-objekti kertoo siis sähköpisteen realistisen sijain-nin. Jos 3D-objektia ei sijoiteta erikseen, seinässä olevat sähköpisteet näyttävät leijuvan ilmassa 3D-mallissa.



Kuva 3. 3D-objektin sijoittaminen

3D-objektin sijoittamisen saa aktivoitua kuvassa 3 nähtävästä ikonista. Kuvassa nähdään myös harmaana 3D-objekti ja värillisenä 2D-objektit. 3D-objektit sijoi-tetaan tässä tapauksessa seinään ja 2D-objektit jätetään omille paikoilleen, ettei tasokuvan havainnollisuus huonone. [7]

Objektien sijoittamisen onnistumisen voi tarkastaa kuvassa 4 nähtävästä "View"-valikosta valitsemalla jokin isometrisistä eli aksonometrisistä kuvakulmis-ta. Kuvan voi myös tarvittaessa muuttaa realistisemmaksi valitsemalla "Visual styles" -valikosta "2D-wireframe":n tilalle "Realistic", kuten kuvassa 4 on tehty.

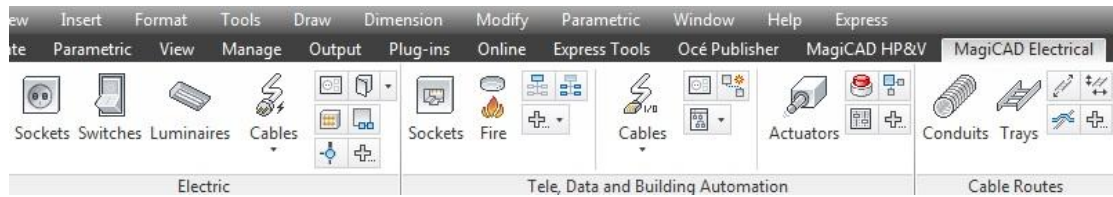


Kuva 4. 3D-objektien sijoitusten tarkastaminen

### 3.3 Objektien 3D-mallit

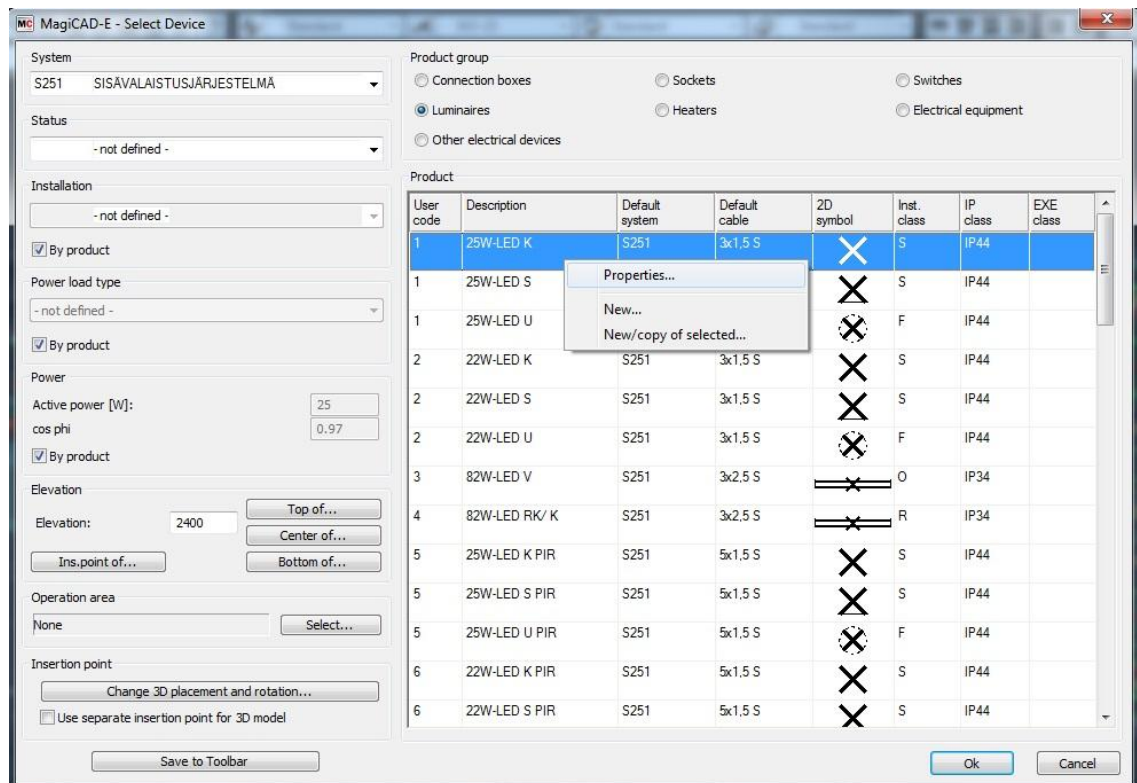
Jotta sähkösuunnitelman 3D-malli olisi mahdollisimman havainnollinen, on jokaiselle sähköpisteelle määritettävä oma 3D-mallinsa. MagiCAD-ohjelmassa on objektikirjasto, josta voi valita kullekin sähköpisteelle oman 3D-mallin. Objektien 3D-malleja voi myös ladata valmistajien sivuilta tai luoda itse, mikäli riittävän havainnollista mallia ei löydy objektikirjastosta.

Sähköpisteen tietoihin pääsee käsiksi ”MagiCAD electrical” -valikosta, jonka voi nähdä kuvasta 5. Pisteet on luokiteltu ryhmittäin ja jokainen ikoni avaa kyseisen ryhmän tuotetietokannan.



Kuva 5. "MagiCAD electrical" -valikko

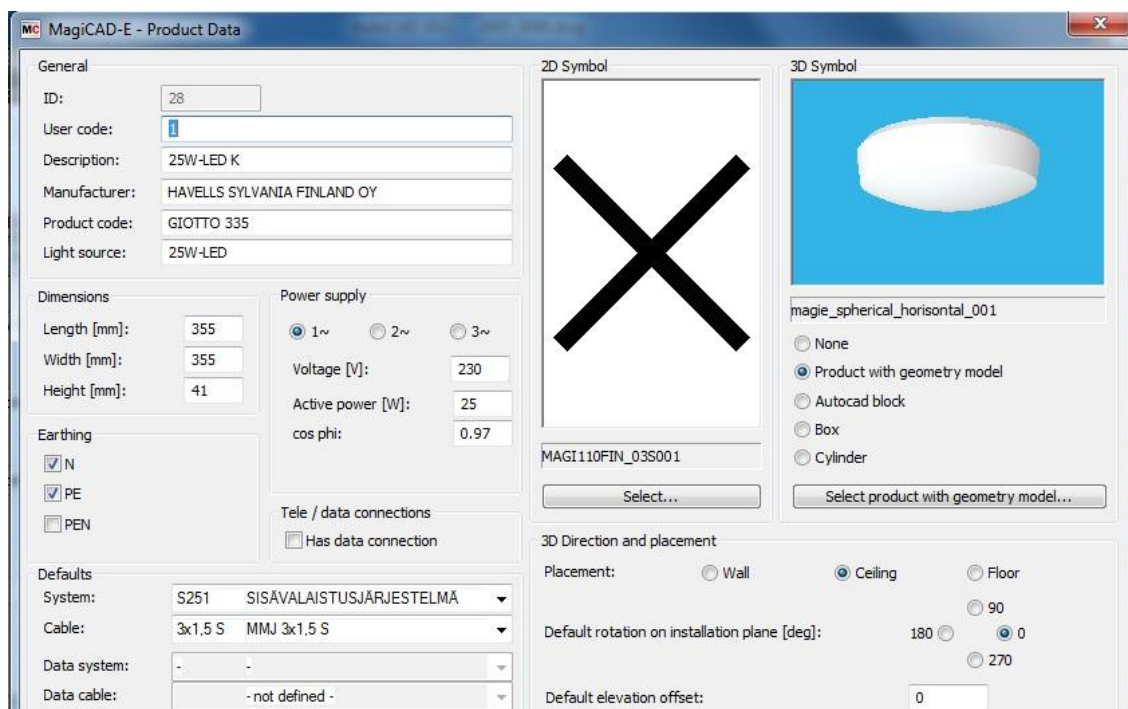
Kuvassa 6 voi nähdä valaisinryhmän tuotetietokannan. Siihen on listattu kaikki projektissa käytettävät valaisimet ja niille on annettu omat valaisinpositionsa. Yhden sähköpisteen tuotetietoihin pääsee käsiksi valitsemalla kyseisen valaisimen ominaisuudet eli "properties".



Kuva 6. Valaisimien tuotetietokanta

Kuvassa 7 olevassa tuotteen tiedot -ikkunassa määritellään tuotteelle tiedot, jotka koetaan tärkeiksi projektin kannalta. Tietoja voi myös lisätä tai muuttaa jälkeinpäin. 3D-mallintamisen kannalta tärkeää on tuotteen 3D-malli eli geometrinen malli. Sen voi luoda itse laatikon tai sylinterin muotoiseksi objektiksi valitsemalla "3D Symbol" -valikosta laatikon eli "box" tai sylinterin eli "cylinder". Näillä valinnoilla objektin dimensiot mukailevat "dimensions"-

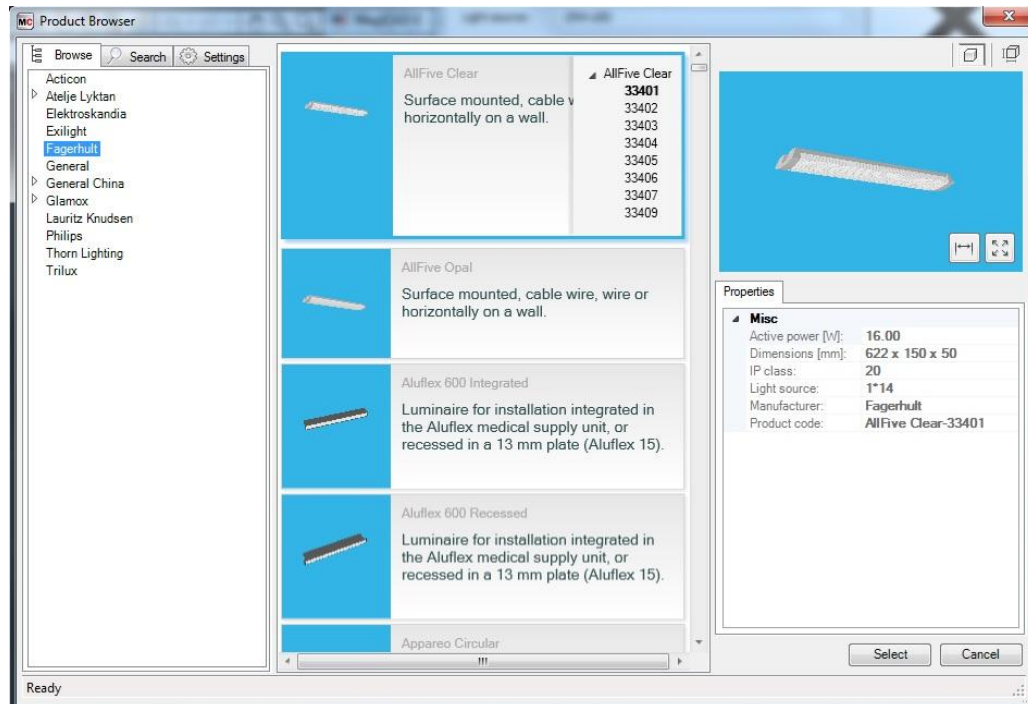
valikkoon asetettuja pituus-, korkeus- ja leveystietoja. Sylinterivalinnalla pituustiedolla ei luonnollisesti ole merkitystä.



Kuva 7. Tuotteen tiedot ja 3D-malli

Valitsemalla ”3D Symbol” -valikosta ”Select product with geometry model”, avautuu aiemmin mainittu objektkirjasto. Kuvassa 8 nähtävästä objektkirjastosta voi etsiä kyseisen tuotteen 3D-objektin tai valita jonkin muun tuotteen 3D-objektin, joka riittävästi muistuttaa kyseistä tuotetta.





Kuva 8. Objektikirjasto

### 3.4 Johtotiet

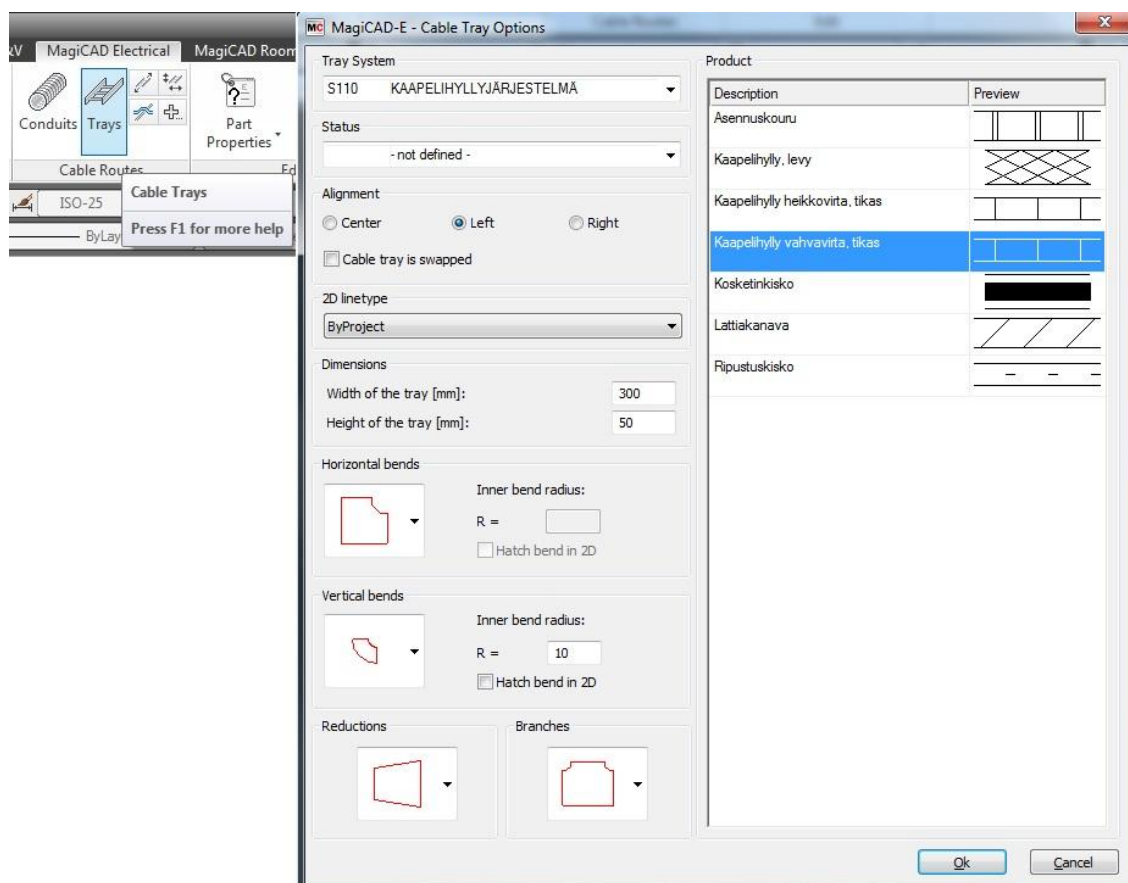
Tasokuvan sähkösuunnitelmassa johtotiet kuvataan piirtämällä johtoreittiä x- ja y-koordinaatistossa ja nousut ja laskut kuvataan niille määritetyillä piirrosmerkeillä. Tasokuvan johtoteiden piirrosmerkit on nähtävissä kuvassa 7. 3D-mallia varten myös nousut ja laskut täytyy piirtää kuten tasokuvan x- ja y-tasoissa. [6]



Kuva 7. Johtoteiden piirrosmerkit



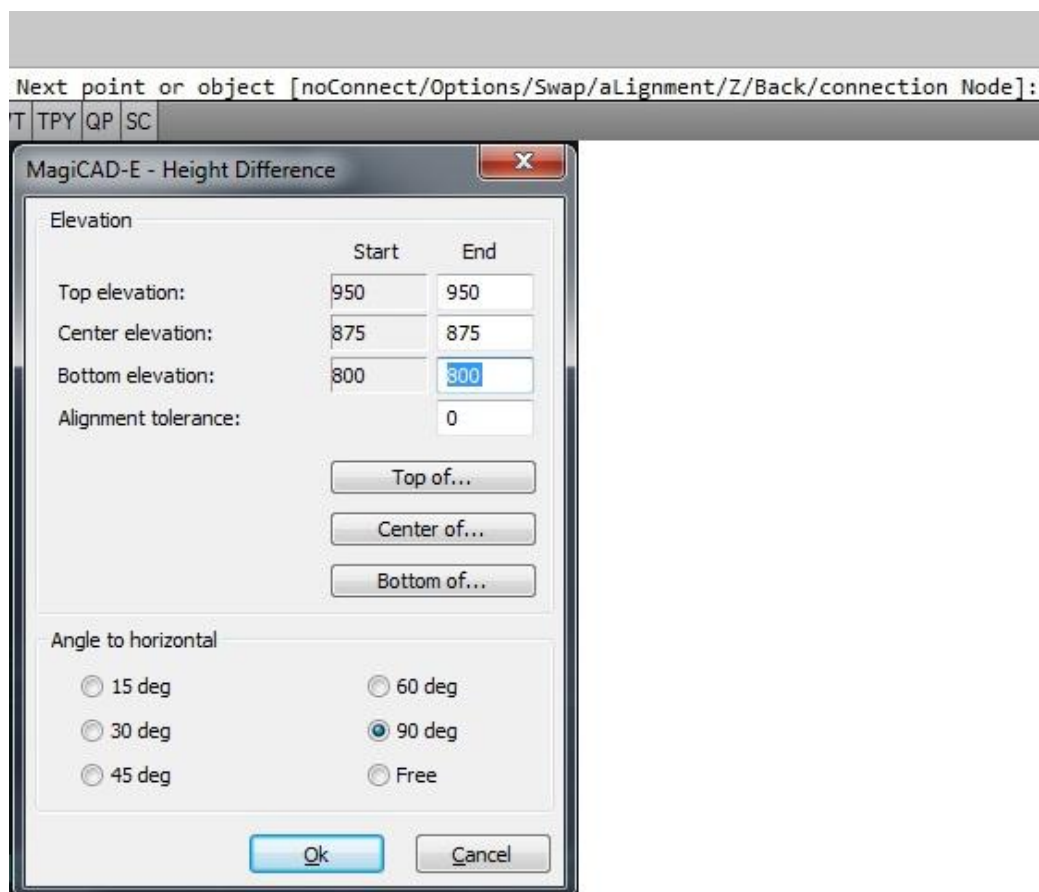
3D-mallissa ei ole piirrosmerkkejä pystysuorille johtoteille, joten ne on tehtävä piirtämällä z-akselin suuntaisesti. Johtoteiden piirtäminen onnistuu avaamalla johtotievalikon ”Cable routes” -kohdassa olevasta ikonista. Kuvassa 8 nähtävässä johtotievalikossa voi määrittää johtoteiden ulkoasut, oletuskorkeuden ja koon. [7]



Kuva 8. Johtotievalikko

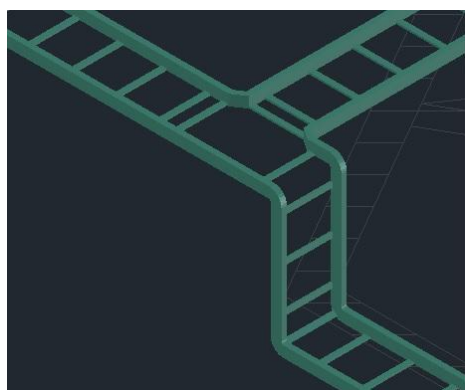
Kun johtotie ja sen ominaisuudet on valittu johtotietä voi piirtää x- ja y-akselistossa. Johtotien lähtöpisteen valinnan jälkeen on nähtävissä eri komennot johtoteitä piirtäessä. Niistä ”options” vie takaisin johtotievalikkoon ja ”z” aloittaa piirtämisen z-akselin suuntaisesti. Kuvassa 9 on nähtävissä komennot sekä z-akselinsuuntaisenpiirtämisen-ikkuna. Ikkunassa näkyy lähtöpiste ja muuttamalla loppupisteen tiedot, ohjelma piirtää johtotietä halutun matkan. Ikkunassa huomion arvoinen seikka on, että siinä näkyy kolme korkeuteen liittyvää lukua. Tässä tapauksessa piirretään johtokourua, jonka korkeus on 150 millimetriä. Näin ollen kourun alimmasta kohdasta keskikohtaan ja keskikohdasta ylimpään

kohtaan on 75 millimetrin matka. Yhtä lukua muuttamalla, muuttuvat kaikki muutkin loppupisteen luvut.



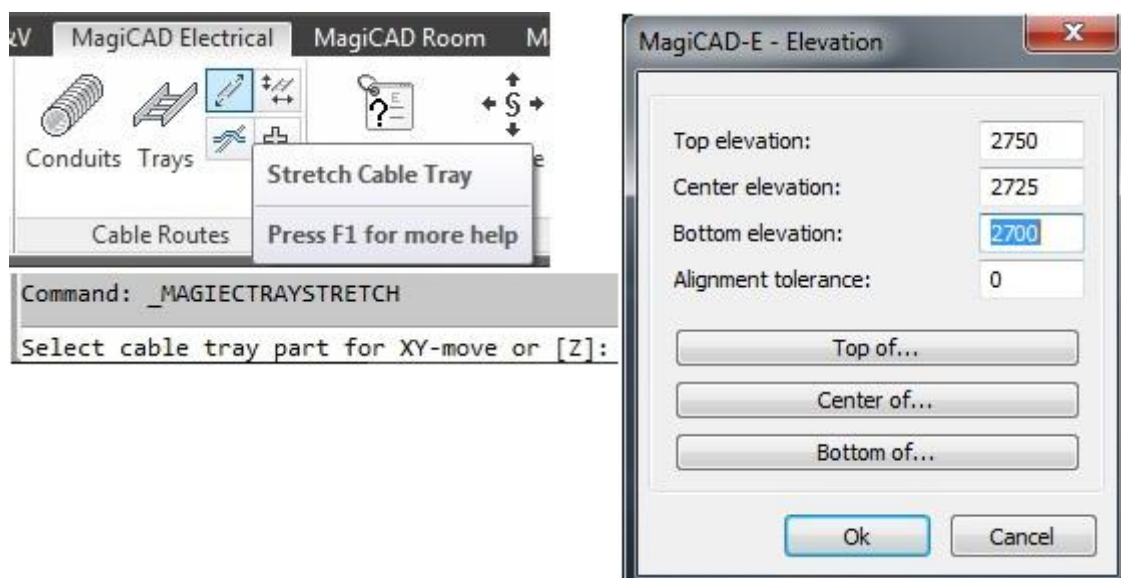
Kuva 9. Johtotien piirtäminen z-akselin suuntaisesti

Myös johtoteiden piirtämisen onnistumisen voi tarkastaa aksonometrisestä kuvasta. Kuvassa 10 näkyy yksi esimerkki kaapelihyllyn piirtämisestä rakennuksen alakattojen mukaan. Kuvasta 4 voi nähdä johtokourusta esimerkin aksonometrisenä.



Kuva 10. Kaapelihyllyjen tarkastelu aksonometrisesti

Mikäli johtotietä täytyy muokata piirtämisen jälkeen esimerkiksi muuttuneen katokorkeuden takia, onnistuu se helpoiten kaapelihyllyn venytys eli "stretch cable tray" -toiminnolla, jonka ikoni ja komento näkyvät kuvassa 11. Komennolla voi liikuttaa johtotietä oletuksena x- ja y-akselin suuntaisesti, mutta myös z-akselin suuntaisesti antamalla johtotien valinnan jälkeen komento "z". Tällöin ilmestyy kuvan 11 oikeassa laidassa näkyvä ikkuna, johon voi määrittää johtotien uuden korkeuden. [7]



Kuva 11. Johtotien sijoituksen korjaaminen

Kaapelihyllyn venytys -toiminto toimii myös muille johtoteille. Toiminto on erittäin käytännöllisesti toteutettu, sillä se ei riko johtotien rakennetta, vaan venyttää sitä. [7]

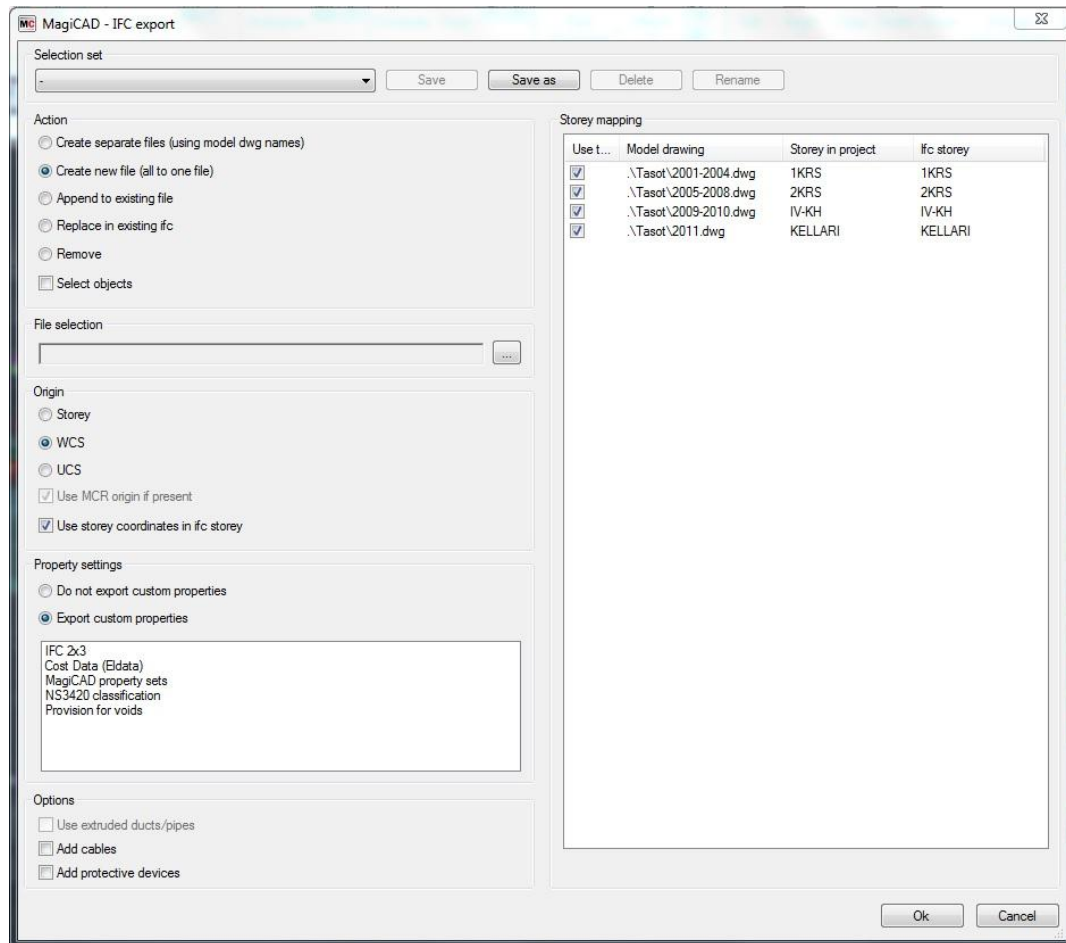
### 3.5 3D-mallin luominen sähkösuunnitelmasta

3D-mallin eli IFC-tiedoston luomiseen on oma työkalunsa MagiCAD-ohjelmassa. Se löytyy "MagiCAD electrical" -valikosta kuvassa 12 nähtävän "export"-ikonin alta. Työkalun nimi on "IFC Export" eli suomennettuna IFC-tiedostoon vienti.



Kuva 12. 3D-mallin luominen

"IFC Export" -ikoni avaa kuvassa 13 nähtävän "IFC Export" -valikon, jossa tehdään IFC-tiedostoa koskevat valinnat. Valikon "Action"-kohdassa voidaan päättää esimerkiksi tehdäänkö uusi tiedosto vai päivitys olemassa olevaan kuvaan. "Storey Mapping" -osassa päätetään mitkä kerrokset sisällytetään IFC-tiedostoon. Lisäksi voidaan päättää mitä versiota käytetään tiedostomuunnokseen ja sisällytetäänkö 3D-malliin kaapelit. Yleisesti käytettävä versio on toistaiseksi IFC 2x3 ja kaapelit jätetään useimmiten pois kuvasta selkeyden vuoksi. [1; 7]



Kuva 13. 3D-mallin luomisvalikko

Tiedostomuunnoksen lopputulos on siis IFC-tiedosto. Sen voi avata esimerkiksi Tekla BIMsight -ohjelmalla. Kyseisellä ohjelmalla voidaan avata samanaikaisesti tarkasteluun monen eri suunnittelualan IFC-tiedostot.

## 4 3D-mallin hyödyntäminen suunnittelussa

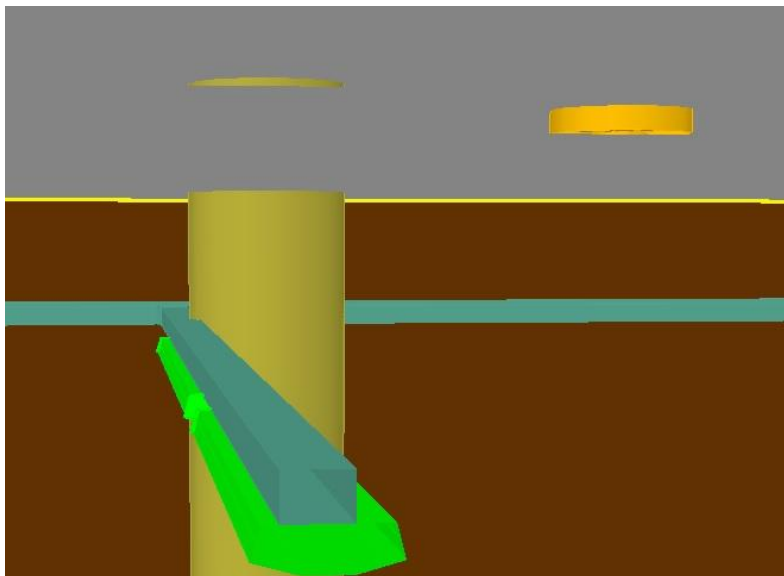
Tässä luvussa kerrotaan kuinka 3D-mallia voi hyödyntää suunnitteluvaiheessa. Tietomallia voidaan hyödyntää enemmän myöhemmissä rakennuksen vaiheissa, kuten 3D-mallintamisen taustat -luvussa kerrottiin.

3D-mallia, johon on tuotu rakennussuunnitelmat, sähkösuunnitelmat ja LVI-suunnitelmat, voidaan hyödyntää suunnitteluvaiheessa tarkastelemalla 3D-mallista törmäyskohtia eri suunnittelualojen välillä. 3D-malli auttaa myös ha-

vainnollistamaan esimerkiksi johtoreittejä ja suunnittelija voi tarkastaa mallista, onko suunnitelma piirretty oikein. Koska 3D-malli pakottaa sijoittamaan objektit niiden realistisille paikoille, on myös johtojen ja johtoreittien pituuslaskennat tarkemmat kuin kaksiulotteisessa suunnittelussa.

Tietomallia voi myös hyödyntää kalustekuvien teossa. Normaalisti näin tehdään vain tärkeimmissä tiloissa. Kalustekuvat auttavat eri alojen suunnittelijoita hahmottamaan tilan seinien varustelun ja sijoittamaan omat pisteensä niiden avulla. Kalustekuvia käytetään myös rakennusvaiheessa. Tietomallin avulla voitaisiin helposti liittää kalustekuviin myös seiniin sijoitettavat sähköpisteet ja johtokourut. Tämä auttaisi urakoitsijoita rakennusvaiheessa ja parantaisi laadunvalvontaa. [10; 13; 14]

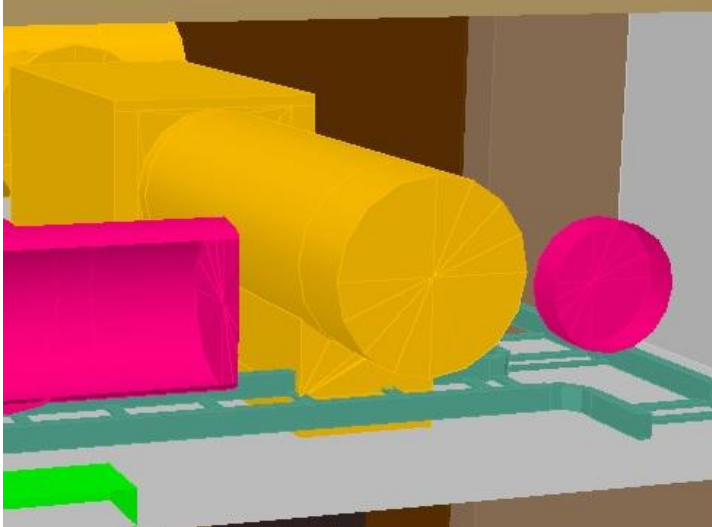
Törmäyskohtien avulla voidaan tarkastella onko sähköpiste tai johtoreitti sijoitettu oikeaan kohtaan vertailemalla sähkö- ja rakennesuunnitelmia. Tekla BIMsight-ohjelmalla voidaan tehdä leikkauskuvia koko rakennuksesta ja liikkua rakennuksen sisällä. Kuvassa 14 nähdään leikkauskuva rakennuksen sisältä ja valaisinripustuskisko, joka törmää arkkitehdin suunnittelemaan pilariin, sekä savunilmaisain, joka on jäänyt alakaton sisälle.



Kuva 14. Rakenne- ja sähkösuunnitelmien vertailu 3D-mallissa

3D-mallin avulla voidaan myös tarkastella sähkö- ja LVI-suunnitelmien törmäyskohtia. Esimerkiksi kaapelihylly voi törmätä ilmanvaihtoputkeen, koska kaksi-

ulotteiseen kuvan selkeänä pysymiseksi ei suunnitella sähkö- ja LVI-suunnitelmia samaan kuvaan. Tämä tapaus konkretisoituu kuvassa 15, jossa ilmanvaihtokanava törmää kaapelihyllyyn.



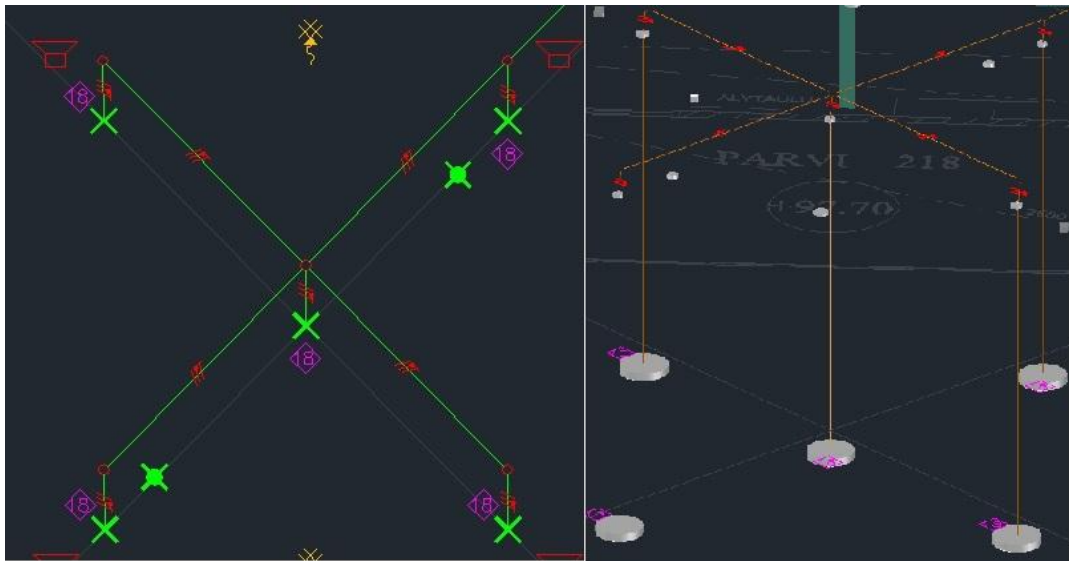
Kuva 15. LVI- ja sähkösuunnitelmien vertailu 3D-mallissa

Mahdollisten törmäyskohtien löytäminen kohteen suunnitteluvaiheessa antaa mahdollisuuden korjata virheitä muuttamalla kaapelihyllyn korkeutta tai kiertämällä putki, johon se törmää. Tämä nopeuttaa huomattavasti asentajien työtä kohteen rakennusvaiheessa. Usein on myös mahdollista pyytää LVI-suunnittelijaa sijoittamaan putkensa tai laitteensa eri paikkaan, jos se on sähköpisteen tai johtoreitin luonnollisella paikalla. Kentällä LVI-asentajien on huomattavasti hankalampaa alkaa tekemään muutoksia, joten suunnittelijoiden yhteistyön lisääntyminen 3D-mallin ansiosta voi helpottaa asentajien työtä merkittävästi.

Ilman 3D-mallin luomista LVI-putkien ja kaapelihyllyjen törmäämiskohtia tarkastellaan leikkauskuvista. Leikkauskuvista nähdään kuitenkin vain pieni osa koko kohteesta. Leikkauskuvia piirretään suurissakin kohteissa yleensä alle kymmenen kappaletta, joten niiden avulla voidaan tehdä alustavat tilanvaraukset eri suunnittelualueille, mutta ei kunnollista törmäystarkastelua.

Uusissa suunnitteluohjelmissa, kuten MagiCADissa, on massalaskentaohjelma, jonka avulla voi laskea kuinka paljon kohteessa tarvitaan eri kaapeleita, johto-

kanavia tai sähkölaitteita. Kun suunnitelmat tehdään vain kaksiulotteisesti, ei sähköpisteiden asennuskorkeudesta tai johtoreittien pystysuuntaisesta pituudesta tarvitse välittää, mutta 3D-mallintamisessa täytyy. Tämä vaikuttaa huomattavasti massalaskennan tarkkuuteen. Kuvassa 16 näkyy kuinka yhden tilan johdotussuunnitelma näkyy kaksiulotteisena ja kolmiulotteisena ja kuvasta voi päätellä, että massalaskennassa kaapeleiden pituudet eroavat huomattavasti. Kaapeleiden pituudet vaikuttavat myös ohjelman tekemiin automaattisiin oikosulkulaskelmiin.



Kuva 16. 2D- ja 3D-suunnittelmien vertailu kaapeleiden pituuden kannalta

## 5 Vaikutukset

Aiemmin mainitut asiat, joita täytyy ottaa huomioon 3D-mallia varten, mutta ei tarvitse ottaa huomioon perinteisessä kaksiulotteisessa suunnittelussa, lisäävät huomattavasti suunnittelu-aikaa. Periaatteessa kaikki seinään sijoitettavat sähköpisteet täytyy sijoittaa kahteen kertaan x- ja y-koordinaatistossa, ensin 2D-objekti ja sitten vielä 3D-objekti. Lisäksi kaikille sähköpisteille täytyy asettaa oikea asennuskorkeus. Nämä toimenpiteet lisäävät sähköpisteiden sijoittamiseen kuluvan ajan jopa kaksinkertaiseksi perinteiseen sähkösuunnitteluun verrattuna. Tutkittavan projektin rakennus on koulu ja kouluissa sähköpisteiden sijoittamiseen varattava aika on noin 1/5 koko suunnitteluvaiheen ajankäytöstä, joten



koko suunnitteluvaiheeseen varattava aika kasvaa noin 20 prosentilla. Suunnitteluvaiheen ajankäyttö on suoraan verrannollinen asiakkaan suunnitteluvaiheen kustannuksiin. [10; 11]

Sähköpisteiden sijoittamiseen varattava aika vaihtelee suunnittelukohteittain, esimerkiksi teollisuusvarastoilla aikaa varataan noin puolet kouluihin verrattuna. Tällöin myös suunnitteluvaiheeseen varattava aika kasvaa puolet vähemmän eli kymmenen prosenttia. Sähköpisteiden sijoitteluun varattava aika on verrannollinen kohteen monimuotoisuuteen ja varustelutasoon. Jos kohteen tilat ovat monotonisia eli toisistaan poikkeamattomia, sähköpisteiden sijoittamiseen kuluu huomattavasti vähemmän aikaa kuin kohteeseen, jonka tilojen muoto ja varustelu vaihtelee. [10; 11]

Lisäksi 3D-mallin ja siinä näkyvien törmäyspisteiden tarkasteleminen vie aikaa ja etenkin tarkastelun aiheuttamat korjaukset. Myös muihin muutostöihin, kuten arkkitehdin tekemien muutosten aiheuttamiin, kuluu enemmän aikaa, mikäli se vaatii sähköpisteiden uudelleen sijoittamista.

Toisaalta 3D-mallin luominen ja tietomallintaminen lisää suunnittelijoiden välistä yhteistyötä ja laadunvarmistusta sekä nopeuttaa asentajien työtä rakennusvaiheessa. Lisäksi tietomallia käytetään monissa muissa rakennuksen analysointiin, käyttöönottoon ja ylläpitoon liittyviin tehtäviin. Tietomallin avulla saadaan myös pidettyä kaikkien suunnittelualojen dokumentit samassa paikassa. Kirjaamalla rakennuksen käytön aikana tehtävät muutokset tietomalliin, voidaan tietomallia hyödyntää mahdollisten remonttien aikana.

Tietomallin käytölle täytyy määrittää koordinoija, joka ohjaa tietomallin päivittämistä, etsii törmäyskohtia ja päättää kuka väistää törmäyskohdissa. Päivittämisen oikein ajoittamisella saadaan tietomalli pysymään kokoajan mahdollisimman ajantasaisena ja sillä voidaan estää turhan työn tekeminen. Kun vain yksi ihminen etsii törmäyskohtia, vältetään siltä että eri alojen suunnittelijat tekevät korjauksia samanaikaisesti ja vain huomatakseen että toinen teki turhaa työtä tai törmäämällä uudestaan molempien väistettyä. Samasta syystä on hyvä että

joku muu taho, kuin itse suunnittelijat, päättää kuka väistää törmäystilanteissa.  
[12]

Aiemmassa luvussa kerrottiin kuinka 3D-mallintaminen vaikuttaa kaapeleiden pituuteen. Kun suunnitelmat luodaan 3D-mallia varten, kaapeleiden pituuksiin saadaan laskettua myös vertikaaliset kaapelivedot. Massalaskennan lisäksi kaapeleiden pituuksia käytetään ohjelmassa olevassa automaattisessa oikosulkulaskennassa. Mitä tarkemmin kaapelien pituudet pitävät paikkansa, sitä paremmin myös oikosulkulaskennat pitävät paikkansa. Myös tämä lisää laadunvarmistusta.

## 6 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia 3D-mallintamisen vaikutuksia sähkösuunnitteluun ja lisäksi toimia oppaana toimeksiantajalle sekä tarkastella tietomallin hyödyntämisessä kehitettäviä asioita. Seuraavassa luvussa pohdin mitä kehitettävää löysin opinnäytetyötä tehdessäni.

Opinnäytetyössä onnistuttiin keräämään huomioonotettavia asioita 3D-mallia varten tehtävissä sähkösuunnitelmissa. Huomioonotettavat asiat kirjattiin oppaan muotoon, jotta sitä voitaisiin hyödyntää tulevilla projekteilla. Oppaan hyödyllisyys voidaan todeta vasta sitten, kun riittävän moni on sitä käyttänyt.

Huomioonotettavat asiat tietysti hidastavat suunnittelua ja niiden dokumentointia. Kun aikaa kuluu enemmän, tulee myös asiakkaalle lisää kustannuksia. Näitä lisäkustannuksia kuitenkin kompensoivat mallintamisesta saatavat hyödyt. Vaikka suunnitteluvaiheessa kustannukset ovat 10–20 prosenttia suuremmat, niin rakennus-, käyttöönotto- ja ylläpitovaiheissa säästetään hyödyntämällä tietomallia.

Keräsin tietoa opinnäytetyötä varten työskentelemällä siihen liittyvässä projektissa puoli vuotta. Tämän puolen vuoden aikana opin todella paljon sähkösuun-

nittelusta tietomallia varten ja tietomallista yleisesti. Itse opinnäytetyötä tehdessäni syvensin tietämystäni tietomallintamisesta ja selvitin siitä johtuvia kustannuksia. Opinnäytetyöprosessi myös kehitti minua tutkijana ja sen ansiosta opin paljon tutkimuksen käsitteitä ja menetelmiä.

## 6.1 Tietomallintamisen kehittäminen

3D-mallin luominen ja tietomallintaminen on vielä uusi asia rakennuskohteen suunnittelussa, joten sen hyödyntämisessä on vielä parantamisen varaa. Kuten aiemmin mainittiin, tietomallia käytetään kalustekuvien tekoon vain tärkeimmissä tiloissa. Tietomallia voisi hyödyntää kaikissa tiloissa, ja lisätä siihen vielä sähköpisteet ja johtotiet, mutta tietokoneiden prosessointiteho ei riitä silloin enää mallin pyörittämiseen. [13] Tietotekniikan kehittyessä prosessoreista tulee tehokkaampia ja tietomalleista kevyempiä, joten luultavasti tulevaisuudessa saadaan kalustekuvat suoraan tietomallista sähkösuunnitelmien kera. Kalustekuvat parantavat suunnitelmien havainnollisuutta ja lisäävät laadunvarmistusta. Normaalisti sähkösuunnitelmat sisältäviä kalustekuvia ei tilata kuin pakosta, mutta ainoastaan siitä syystä ettei niistä tulisi lisäkustannuksia. [10]

Usein myös rakennuksen tilojen korkeudet muuttuvat suunnitteluvaiheen aikana tai niitä ei ole merkitty ollenkaan. Kummassakin tapauksessa kaikkien kattoon asennettavien sähköpisteiden korkeutta on muutettava, joskus useaankin kertaan, suunnitteluvaiheen aikana. Pisteiden korkeuksien muuttaminen vie aina ylimääräistä aikaa ja suurentaa virheiden mahdollisuutta, esimerkiksi jos suunnittelija unohtaa muuttaa jonkin sähköpisteen korkeutta.

Mainitsin aiemmin, että samassa kerroksessa voi olla monta eri lattiakorkeutta ja se vaikeuttaa ja hidastaa sähköpisteiden sijoittamista. Mielestäni ohjelmaan voisi luoda rajaustyökalun, jolla voisi eritellä eri lattiakorkeudet omaavat tilat. Tällöin sähköpisteiden korkeudet voisi asettaa normaalisti, eikä korkeuteen tarvitsisi summata lattiakorkeuden erotusta origoon nähden.

Yksi tietomallin käyttötarkoituksista on, että saadaan kaikkien suunnittelualojen tiedot samaan malliin ja uskoakseni myös että eri alojen suunnittelijat voivat hyödyntää sitä. Toistaiseksi näin ei kuitenkaan ole. Arkkitehti ja rakennesuunnittelijat luovat yhteisymmärryksessä rakennuksesta tietomallin, johon muiden alojen suunnittelijoiden suunnitelmat voidaan siirtää. Muiden alojen suunnittelijat eivät kuitenkaan pysty hyödyntämään tätä rakennuksen tietomallia omien suunnitelmiansa laatimiseen. LVI-suunnittelijat luovat oman rakennusmallinsa, jota he käyttävät laskelmien tekoon yhdessä suunnitelmiansa kanssa. Myös sähkösuunnittelijat joutuvat tekemään niin ja asiaa avataan lisää Valaistussuunnittelun kehittäminen -luvussa. [10; 14]

## 6.2 Valaistussuunnittelun kehittäminen

Valaistuksen onnistuminen on iso osa koko rakennuksen käytettävyydestä. Tästä syystä valaistuksen laaduntarkistusta on käytetty jo ennen tietomalleihin siirtymistä valaistussuunnitteluohjelmien avulla. DiaLUX-ohjelmaa käytetään valaistussuunnittelussa ja sen avulla voi tarkastaa täyttääkö suunnitellun valaistuksen valaistusvoimakkuus tilan asettamat valaistusmääräykset.

Perinteisesti tilan valaistuksen valaistusvoimakkuuden tarkistaminen DiaLUX:lla vaatii huomattavan määrän työtä. Tila täytyy ensin mallintaa ohjelmassa luomalla se kolmiulotteisesti vastaamaan riittävästi suunniteltua tilaa. Tässä saa mennään paljon aikaa, mikäli mallinnus halutaan tehdä ns. viimeisen päälle. Normaalisti tilan kokonaisvalaistusvoimakkuuteen vaikuttaa kuitenkin hyvin vähän esimerkiksi seinissä olevat pilarit.

Valaistusvoimakkuuteen vaikuttaa huomattavasti pintojen valonheijastuskyky, eli heijastuskerroin. Heijastuskertoimet on syytä asettaa tilan pinnoille mahdollisimman lähelle todellista heijastuskykyä. Heijastuskertoimet ovat kuitenkin erittäin harvoin sähkösuunnittelijan, tai muidenkaan suunnittelijoiden, tiedossa, joten ne määritetään asettamalla tilan pinnoille värit. Suuripiirteinen väritieto saadaan yleensä kysymällä arkkitehdiltä.

Kun tila on mallinnettu, sijoitetaan siihen suunnitellut valaisimet, niille suunnitelluille paikoille. Tämän jälkeen voidaan aloittaa valaistuslaskenta, jossa selviää ennen kaikkea valaistusvoimakkuuskäyrät.

Mikäli arkkitehdin luoman tietomallin ja sähkösuunnittelijan tekemät suunnitelmat voitaisiin tuoda DiaLUX-tiedostoon, saataisiin valaistussuunnitelmaan tuotua kerralla koko rakennuksen malli ja valaisimet. Näin säästyttäisiin valaisinten sijoittamisilta ja työläiltä tilojen mallintamisilta. Periaatteessa rakennussuunnitelmat voisivat sisältää myös pintojen värit tai heijastuskertoimet. [10]

Perinteisesti yhden tilan valaistussuunnittelun tarkastamiseen kuluu niin paljon aikaa, että se tehdään yleensä vain muutamalle tärkeälle tilalle. Kun käytettäisiin suunnitelmien DiaLUX-tiedostoon tuontia, saataisiin samalla vaivalla valaistuslaskelmat rakennuksen kaikkiin tiloihin. Samalla vaivalla tarkoittaa tietenkin mikäli kaikkien tilojen pintojen värit eli heijastuskertoimet olisi valmiiksi asetettu tietomalliin.

Valaistuslaskentaa käytetään tarkastamisen lisäksi myös valaistuksen suunnitteluun suunnitteluvaiheen alussa. Esimerkiksi kouluissa on paljon samankokoisia huoneita, joiden valaistusvoimakkuuden vaatimukset ovat samanlaisia. Yhteen näistä tiloista suunnitellaan valaistus valaistuslaskennan avulla, jolloin samaa valaistusta voidaan käyttää kaikkiin vastaaviin tiloihin.

Jos tietomallin voisi siirtää DiaLUX:iin, juuri tällaisista samankaltaisista huoneista voisi mallintaa yhden jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jolloin huoneen 3D-mallia voisi hyödyntää valaistussuunnittelussa. Uskon myös että arkkitehdilla on huoneiden värimaailmasta jo tässä vaiheessa jonkinlainen ajatus. Näin valaistuksen laatu olisi varmistettu jo ennen kuin tilojen valaistusta olisi piirretty.

### 6.3 Jatkotutkimus ehdotukset

Omassa opetussuunnitelmassani oli kaksi kurssia teknistä piirtämistä ja kummallakaan kurssilla ei puhuttu ollenkaan 3D- tai tietomallintamista. Tietomallintaminen on ajankohtaisin asia teknisen piirtämisen alalla ja siksi halusin tehdä siihen liittyvän opinnäytetyön. Opinnäytetyön tekeminen antoi minulle myös ideoita jatkotutkimuksia varten.

Huomasin tutkimukseni aikana, että kaikki ohjelmat eivät tue tietomallia, joten yksi tutkimuskohde voisi olla eri ohjelmien kyky hyödyntää tietomallia. Minun opinnäytetyöni keskittyi suunnitteluvaiheen vaikutusten tarkasteluun sähkösuunnittelun osalta. Sähkösuunnittelun osalta voitaisiin tutkia myös suunnitteluvaiheen jälkeisten vaiheiden vaikutuksia ja myös muiden suunnittelualojen kannalta.

## Lähteet

1. BuildingSMART Finland 2014. Standardit. 2014.  
<http://www.buildingsmart.fi/5>. [Luettu 5.4.2014.]
2. Henttinen, T. Yleiset tietomallivaatimukset Osa 1 Yleinen osuus. 2012.  
<http://www.buildingsmart.fi/8>. [Luettu 6.4.2014.]
3. M.A.D. (Micro Aided Design Oy). IFC-tiedonsiirto. 2013.  
[http://www.mad.fi/mad/tiedostot/pdf/kasikirja16/YS.IFC\\_web.pdf](http://www.mad.fi/mad/tiedostot/pdf/kasikirja16/YS.IFC_web.pdf).  
[Luettu 6.4.2014.]
4. Autodesk Inc. 2014.  
<http://www.autodesk.com/products/autodesk-autocad/> [Luettu 20.4.2014.]
5. Progman Oy. Miksi MagiCAD. 2013.  
<http://www.magicad.com/fi/%C2%ADcontent/%C2%ADmagicad-%C2%ADlyhyesti#> [Luettu 20.4.2014.]
6. AutoCAD help. Version F.205.0.0, AutoCAD Mechanical 2012 SP2.  
Integroitu AutoCAD-ohjelmaan. [Luettu 20.4.2014.]
7. Progman Oy. 2012. MagiCAD Electrical opiskelumateriaali. 2012.  
Ei saatavilla julkiseen käyttöön. [Luettu 20.4.2014.]
8. Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. Tutki ja kirjoita. 2009.  
15. painos. Tammi. Helsinki. [Luettu 25.4.2014.]
9. Tuomi, J. & Sarajärvi, A. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. 2009.  
6. painos. Tammi. Helsinki. [Luettu 25.4.2014.]
10. Siimes, T. Sähkösuunnittelija. Etteplan Design Center Oy. Haastattelu.  
24.4.2014.

11. Lavi, J. Sähkösuunnittelija. Etteplan Design Center Oy. Haastattelu. 23.4.2014
12. Lammi, P. Toimipistepäällikkö. Etteplan Design Center Oy. Haastattelu. 24.4.2014.
13. Markku, S. Arkkitehti. HT-arkkitechdit Oy. Haastattelu. 29.4.2014.
14. Korhonen, L. Rakennesuunnittelija. Insinööritoimisto PKP Oy. Haastattelu. 25.4.2014.