



# Sähkösuunnittelu- ja mallinnus- prosessin kehittäminen

Santeri Toiviainen

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2021

Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Sähköinen talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Sähköinen talotekniikka

TOIVIAINEN, SANTERI:  
Sähkösuunnittelu- ja mallinnusprosessin kehittäminen

Opinnäytetyö 38 sivua  
Huhtikuu 2021

---

Taloteknisessä suunnittelussa tietomallien hyödyntäminen on yleistynyt huomattavasti edellisen vuosikymmenen aikana. Perinteiseen kaksiulotteiseen suunnitteluun verrattaessa tietomallipohjaisessa suunnittelussa on enemmän huomioitavia asioita laadukkaan lopputuloksen aikaansaamiseksi. Mallinnusprojektien mukanaan tuomat toimintatavat ja työkalut asettavat paljon uusia vaatimuksia sähkösuunnittelijoille. Tietomallinnusalojen ja -ohjelmien käyttötaidot ovat olennaisessa osassa tehokasta suunnittelua. Myös henkilökunnan jatkuva osaamistason ylläpito on yhä tärkeämmässä asemassa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Granlund Häme Oy. Tavoitteena oli selvittää yrityksen nykytilanne ja mahdolliset kehityskohdat sähkösuunnittelussa ja tietomalliprojekteissa. Selvitys tehtiin vertaamalla nykyisiä toimintatapoja yrityksen sisäisiin ohjeistuksiin ja aiheeseen liittyviin julkisiin vaatimuksiin sekä määräyksiin. Lisäksi tietoa kerättiin haastattelemalla suunnittelijoita ja projektipäälliköitä. Selvitysten perusteella oli tarkoitus tehdä tiivis ohjeistus suunnittelu- ja mallinnusprosessien tehostamiseksi yrityksen sähkösuunnittelijoiden käyttöön. Lisäksi työn pohjalta on tarkoitus luoda muistilista tietomallinnusprojektin läpiviemiseksi. Opinnäytetyössä käytettävä tietomallinnusohjelma on Cadmatic Electrical-ohjelmisto. Tietomallin sisäisessä tarkastelussa käytetään Navisworks Manage-ohjelmistoa. Viralliset yhdistelmämallin tarkastelut suoritetaan Solibri Model Checker-ohjelmistolla.

Opinnäytetyön pohjalta luodaan yrityksen käyttöön tarkka sisäinen ohje suunnitteluprosessin- ja tietomallinnuksen tehostamiseksi. Työlle asetettuihin tavoitteisiin päästiin hyvin, mutta lopullinen tulosten analysointi voidaan suorittaa vasta saatujen kokemusten perusteella. Sisäiseen käyttöön luotavat dokumentit ovat yrityksen omaisuutta, joten niitä ei julkaista opinnäytetyön yhteydessä.

---

Asiasanat: sähkösuunnittelu, tietomallinnus, kehittäminen

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
Electrical Building Services

TOIVIAINEN, SANTERI:

Development of the Electrical Design and Building Information Modeling Process

Bachelor's thesis 38 pages

April 2021

---

In building services design, the utilization of building information models has become much more common over the past decade. Compared to the traditional two-dimensional design, there are more things to consider in data model based design to achieve a high-quality result. The new design tools brought by modeling place a number of new demands on electric designers.

The purpose of this thesis was to find out the current situation of the Granlund Häme Oy and to suggest improvements for electrical design and modelling projects. Furthermore, upkeeping the designers' level of competence and the ability to use building information modeling programs were an essential part of this study.

The study was carried out by comparing the current operating methods of the company with their internal guidelines and the related public requirements and regulations. In addition, information was obtained by interviewing more experienced designers and project managers.

Based on this thesis, a detailed internal guide and a checklist for the use of the company was created to make the design process and building information modeling more efficient. The goals set for the thesis were well achieved, but the final analysis of the results can be done only after the introduction of the internal guide.

---

Key words: electrical design, building information modeling, development

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	GRANLUND HÄME OY .....	7
3	SÄHKÖSUUNNITTELU JA TIETOMALLINNUS .....	8
3.1	Taloteknisen suunnittelun vaiheet .....	9
3.2	Yleiset tietomallivaatimukset .....	10
4	SÄHKÖSUUNNITTELU JA TIETOMALLINNUS KONSERNISSA .....	12
4.1	Tutkimus rakennusten digitaalisista kopioista .....	12
4.2	Tietomallinnusohjelmistot .....	13
5	SUUNNITTELUPROSESSIN KEHITTÄMINEN .....	15
5.1	Projektien hallinta ja edistymisen seuranta .....	15
5.2	Mallidokumentit .....	17
5.3	Valaisinkirjasto- ja luettelo .....	18
5.4	Massaluettelot ja määrälaskenta .....	18
6	TIETOMALLINNUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN .....	21
6.1	Kerrosasetusten luominen .....	22
6.2	Sähkönjakelu, keskuslaitteet ja johtotiet .....	24
6.3	Valaisinten lisätiedot ja mallinnus .....	25
6.4	Asennuskalusteet ja muut järjestelmät .....	26
6.5	Mallitilojen suunnittelu .....	27
6.6	Yhdistelmämalli ja törmäystarkastelu .....	28
6.7	Tietokantatoimintojen hyödyntäminen .....	30
6.8	Määrälaskenta tietomallista .....	31
6.9	Reikävarausten mallinnus .....	32
6.10	Tietomalli urakkalaskennassa ja rakentamisvaiheessa .....	33
6.11	Tietomalli rakennuksen käytössä ja ylläpidossa .....	34
7	TULOSTEN KÄSITTELY .....	35
8	POHDINTA .....	36
	LÄHTEET .....	37

**LYHENTEET JA TERMIT**

2D	kaksiulotteinen
3D	kolmiulotteinen
BIM	tietomalli (Building Information Model)
CAD	tietokoneavusteinen suunnittelu (Computer Aided Design)
IFC	tiedonsiirtostandardi (Industry Foundation Classes)
LVI	lämpö, vesi ja ilmastointi
RAU	rakennusautomaatio
YTV2012	yleiset tietomallivaatimukset 2012

## 1 JOHDANTO

Projektin toteuttamisen tarpeet ovat muodostuneet suunnitteluprosessin kehittyessä monipuolisempaan ja pidempijaksoisesti hyödynnettävään suuntaan. Tavoitteina on jokaisen projektin kohdalla samanlaiset käytännöt projektin vaiheesta tai sen suunnittelijasta riippumatta. Käytäntöjen ja toteutustapojen yhtenäistäminen vaikuttaa tehostavasti suunnitteluun ja positiivisesti koko yrityksen asiakaskokemuksiin. Asiakkaan kokemuksen kannalta tärkeitä seikkoja ovat aikataulu, tasainen laatu ja virheettömyys. Virheet ja muut epäkohdat voidaan myös välttää ylläpitämällä suunnittelijoiden ajantasaista tietoutta uusimmista vaatimuksista ja erilaisille asiakastyypeille asetetuista sisäisistä tavoitteista. Tavoitteena on tuottaa asiakkaalle suunnitelmat korkealaatuisina ja periaatteeltaan samanlaisena kohdekohtaisesti räätälöitynä.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Granlund Häme Oy. Työn tarkoituksena on kehittää yhtiön sähköosaston suunnittelu- ja tietomallinnusprosessia samalla toimien osana perehdytystä uusille työntekijöille. Työtä voidaan myös hyödyntää tukena ja kertauksena kokeneemmille sähkösuunnittelijoille. Pää tavoitteena on tunnistaa asiakkaalle arvoa tuottavat työt ja havaita suunnittelu- ja mallinnusprosessin nykytilanteesta löytyvät ongelmakohdat. Työssä käsitellään toteutusehdotuksia havaittujen ongelmien ratkaisemiseksi. Toissijaisesti ensimmäisessä vaiheessa havaittujen ongelmien ratkaisun yhteydessä kerätään yhteen oleelliset asiat sisäisen tietomallinnusohjeiston luomiseksi. Ohjeistuksen tavoitteena on sähkösuunnittelun toimintatapojen yhtenäistäminen, suunnitelmien laadun varmistaminen ja toistuvien virheiden poistaminen. Tuloksena saavutetaan kustannustehokkaat ja laadukkaat suunnitelmat.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään yleisesti suunnittelussa ja tietomallinnuksessa käytettäviä toimintatapoja ja vaatimuksia. Lisäksi perehdytään Granlund konsernin ja tytäryhtiö Granlund Häme Oy:n toimintatapoihin erilaisissa suunnittelun vaiheissa sekä tietomallinnuksessa. Työn loppuosassa esitetään kehitysehdotuksia, tehdään toimintasuunnitelma tietomallinnusprojektien tehostamiseksi ja pohditaan tietomallipohjaisen suunnittelun tulevaisuuden näkymiä.

## 2 GRANLUND HÄME OY

Työn toimeksiantaja Granlund Häme Oy on osa Granlund konsernia. Konsernin päätoimialoja ovat taloteknisen suunnittelun lisäksi konsultointi, ohjelmistokehitys, isännöinti ja korjausrakentamisen osasto. Granlund Oy on perustettu vuonna 1960 nimellä Insinööritoimisto Olof Granlund Oy. Nykyisellä nimellään tunnettu konserni aloitti toimintansa vuonna 2001. Tällä hetkellä konserniin kuuluu emoyhtiön lisäksi 14 tytäryhtiötä, joista osa toimii myös ulkomailla. Suomessa toimipisteitä on useilla kymmenillä paikkakunnilla. Granlund konserni työllistää tällä hetkellä yli 1000 asiantuntijaa. (Granlund Oy, 2020)

Tytäryhtiö Granlund Häme Oy tarjoaa asiantuntijapalveluita Kanta-Hämeen alueella. Yhtiön palveluihin kuuluvat sähkö-, LVI-, ja RAU-suunnittelu sekä talotekninen konsultointi ja valvonta. Hämeen toimistot sijaitsevat Riihimäellä osoitteessa Tempelikatu 8 ja Hämeenlinnassa osoitteessa Keilakatu 1. Hämeenlinnan aluetoimisto on perustettu vuonna 2014. Granlund Häme Oy aloitti toimintansa vuonna 2008 nimellä Granlund Riihimäki Oy. KHTT-suunnittelu Oy liittyi osaksi Granlundia loppuvuodesta 2019 laajentaen samalla Hämeenlinnan toimintaa huomattavasti. Granlund Häme Oy työllistää kokonaisuudessaan noin 20 henkilöä, joista suurin osa työskentelee Hämeenlinnan aluetoimistossa. (Granlund Oy, 2020)

### 3 SÄHKÖSUUNNITTELU JA TIETOMALLINNUS

Rakennushankkeessa sähkösuunnittelija toimii alansa asiantuntijana, joka esittää vaihtoehtoisia ratkaisuja moniin alakohtaista erityistietämystä vaativiin asioihin. Tavoitteena on toteuttaa suunnitelmat, joiden avulla pystytään luomaan energiatehokas, sähköturvallinen ja toimiva kokonaisuus asetettujen tavoitteiden pohjalta. Lisäksi yhteistyö muiden talo- ja rakennusteknisten alojen kanssa on oleellisessa osassa rakennus- ja käyttövaiheen onnistunutta kokonaisuutta. Sähkösuunnittelijan tulee olla tietoinen alaa koskevista standardeista, jotta lopputulos on kaikkien säännösten mukainen. (Harsia & Autio, 2004, 92-93)

Rakennusten tietomallinnuksen tarkoituksena on useiden toisistaan erillisten piirustusten sijaan hyödyntää yhtenäistä 3D-mallia (kuva 1). Perinteisen tarkasteltavan 3D-mallin lisäksi tietomallista saadaan selville nimityksensä mukaisesti näkyvien objektien lisäksi hyödyllistä informaatiota, kuten laitteelle määritellyt tuotetiedot. Suunnitelmat pystytään esittämään yksityiskohtaisella tasolla, jolloin virheiden määrä suunnitteluvaiheessa saadaan minimoitua. Mallista havaittavien muutostarpeiden tekeminen suunnitteluvaiheessa on ajankäytöllisesti tehokasta sekä edullista. Tietomallinnuksen yleistyessä voidaan aikaa käyttää enemmän parempien ratkaisujen optimointiin samalla kun siirreltävien asiakirjojen määrää voidaan vähentää tietomalliin sisällytettyjen asennusdetaljien ja muun informaatio ansiosta. Mallinnusta voidaan pitää siis perinteisen suunnittelun kehittyneenä versiona. (MagiCAD Group, 2020)

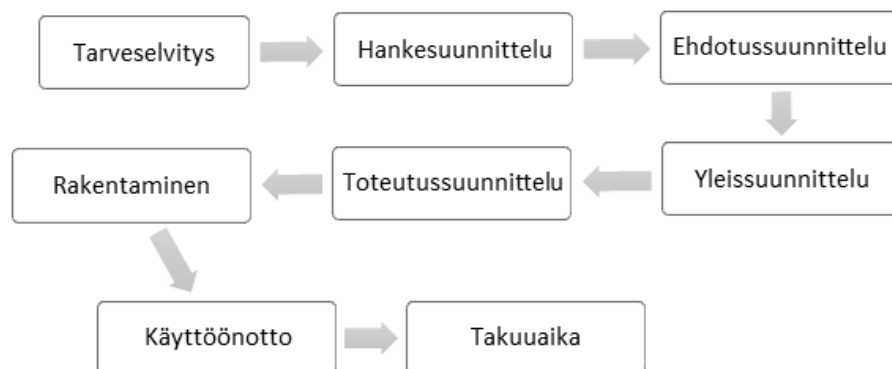


KUVA 1. Leikkauskuva rakennuksen yhdistelmämallista



### 3.1 Taloteknisen suunnittelun vaiheet

Talotekniikan suunnitteluprosessi voidaan jakaa vastaaviin osiin rakennushankkeen vaiheiden kanssa (kuva 2). Päävaiheet jaetaan neljään osaan, joita ovat investoinnin valmistelu, luonnossuunnittelu, toteutussuunnittelu sekä toteutus. Talotekniset suunnittelualat ovat projektien edetessä riippuvaisia toisistaan ilmenevien tarpeiden ja toisille aloille ilmoitettavien lähtötietojen takia. (Harsia & Autio, 2004, 54)



KUVA 2. Suunnitteluprosessin vaiheet

Ensimmäisiin vaiheisiin sisältyy tarveselvitys ja hankesuunnittelu. Vaiheiden tarkoituksena on selvittää hankkeen tarpeellisuus. Taloteknisen suunnittelijan tehtävät rajautuvat tässä vaiheessa vielä karkeisiin järjestelmien tilatarpeiden esittämiseen, tilan käyttötarkoituksen mukaisten vaatimusten selvittämiseen sekä alustaviin kustannusarviointeihin. Hankesuunnitteluvaiheessa määritetään hankkeelle tarkemmat tavoitteet tilaajan tekemän tarveselvityksen pohjalta. (TATE 18, 2017)

Hankkeen edetessä ehdotus- ja luonnossuunnitteluvaiheeseen aloitetaan suunnitteluratkaisujen ja teknisten järjestelmien valinnat. Tarkoituksena on selvittää sellaiset vaihtoehdot, joilla asetetut tavoitteet saavutetaan. Esitietoina käytetään jo aikaisemmissa vaiheissa laadittuja, tilaajan hyväksymiä dokumentteja. Luonnossuunnitelmien hyväksymispäätöksen jälkeen toteutussuunnitteluvaiheessa laaditaan tarkat toteutussuunnitelmat. Urakkamenettelyä käytettäessä toteutus-

suunnitteluvaiheessa laaditaan urakoitsijoiden valintaa varten urakkalaskenta-aineisto. Toteutussuunnitelmien pohjalta tehdään myös rakentamispäätös. (Harsia & Autio, 2004, 30, 34)

Toteutusvaihe sisältää hankkeen rakentamisen lisäksi käyttöönoton ja takuuajan toimenpiteet. Rakentamisvaiheessa suunnittelijan tehtävänä on varmistaa toteutuksen eteneminen suunnitelmien mukaisesti sekä vastata toteutusosapuolten kysymyksiin liittyen suunnitteluratkaisuihin. Käyttöönotto ja takuuajana tehtävät ovat suunnittelijan osalta suunnittelua täydentäviä tehtäviä. Käyttöönottovaiheessa testataan järjestelmien toiminta tavoitteiden mukaiseksi ja varmistetaan asetettujen laatumääritelmien täyttyvyys. (TATE 18, 2017)

### **3.2 Yleiset tietomallivaatimukset**

Hankkeissa noudatettavat määräykset tietomallinnuksen osalta on määritelty yleisissä tietomallivaatimuksissa. Uusin versio vaatimuksista on julkaistu vuonna 2012. Kokoelmassa on yhteensä 14 osaa, joista osa 4 liitteineen käsittelee taloteknisen suunnittelun tietomallinnusta. Osassa on esitetty noudatettavat vähimmäisvaatimukset mallinnukselle ja mallien tietosisällölle. Määritelmät toimivat hyvänä pohjana ja niihin voidaan esittää tapauskohtaisesti lisävaatimuksia. Suunnittelun alkaessa ensisijaisesti tilaaja määrittelee millä tasolla projekti mallinnetaan. Mallinnusta voidaan hyödyntää projektin eri vaiheissa monella tavalla. Projektin alkuvaiheissa tehdään harvoin vielä tarkasteltavassa muodossa olevaa tietomallia. Tilavaraukset taulukoituna ovat kuitenkin jo osa tietomallinnusprosessia. (YTV2012, Osa 4., 2012)

Vuoden 2021 alussa on päivitetty julkilausuma yleisten tietomallivaatimusten päivittämisestä vanhasta YTV2012 versioon YTV2020. Julkilausuman allekirjoittamisen myötä yritykset ovat tuoneet esiin tietomallivaatimusten päivittämisen ajankohtaisuuden ja merkityksellisyyden rakennusalan kehittymiselle. Vaatimusten päivityksessä olisi muun muassa tarkoitus ottaa tietomallit paremmin huomioon uudis- ja saneerauskohteissa kiinteistöjen koko elinkaaren ajalle. Lisäksi nykyisessä versiossa havaitut puutteet voitaisiin täydentää kehittyneemmillä rat-

kaisuilla. Päivitys tarvitsee kuitenkin valtiollista tukea ja investointeja hankkeeseen. Investointien tuloksena päivityksen myötä saataisiin tehokkaampia mallinusta hyödyntäviä toimintatapoja, sekä tietomallien hyödyntämistä lisättyä rakennusvalvonnassa ja yhteisissä tietojärjestelmissä. (buildingSMART Finland, 2021)

## 4 SÄHKÖSUUNNITTELU JA TIETOMALLINNUS KONSERNISSA

Tietomallipohjaisen suunnittelun perusteita on alettu kehittämään jo 1990-luvun puolivälistä alkaen, jotta kaikki suunnittelu kohtaisi lopulta yleisten tietomallivaatimusten määräykset. Tarkoituksena on luoda tietomalleista standardisoituja sekä avoimia tilaajille heidän haluamillaan tavoilla. Granlund on ollut osana IFC-standardien kehitystä sen alusta alkaen. (Granlund Oy, 2019)

Granlund Oy:ssä on konsernitasolla laadittu laajat ohjeistukset koskien suunnittelun osa-alueita ja vaiheita. Sisäisten ohjeiden tarkoituksena on pitää suunnittelutyön laatu korkeana ja visuaalisesti mahdollisimman yhtenevänä. Ensisijaisesti projekteissa noudatetaan työn tilaajan omia cad-piirtämisen ohjeistuksia. Kuitenkin esimerkiksi sähkösuunnittelussa käytettävissä ohjelmistoissa on eroja, joten konsernin ohjeistukset toimivat tällöin hyvänä pohjana yrityskohtaisille ohjeistuksille ja hyödynnettäville toimintatavoille.

Suunnitteluvaiheessa tietomallit jaetaan Granlund Oy:ssä kahteen osaan. Ensimmäisessä vaiheessa ehdotus- ja yleissuunnitteluvaiheessa tehdään sähkösuunnittelussa tilavarauksia keskuksille ja muiden järjestelmien laitteistoille, määritetään pääpiirteittäin johtotiet sekä mallinnetaan tarkemmin sovitut mallihuoneet- ja tilat tilaajalle hyväksyttäväksi. Toisessa vaiheessa siirrytään toteutussuunnitteluun, jossa noudatetaan pääasiallisesti YTV2012 mukaisia ohjeistuksia. Tietomallit tehdään kuitenkin aina tilaajan vaatimalla tasolla huomioiden kaikki tarpeet ja toivomukset.

### 4.1 Tutkimus rakennusten digitaalisista kopioista

Granlund toteutti keväällä 2020 laajan tutkimuksen rakennusten digitaalisten kaksosten tilanteesta ja niiden käyttämisestä Suomessa. Pelkkään tietomalliin verrattuna rakennuksen digitaaliseen kaksoseen on liitetty reaaliaikaista mittausdataa, jolloin saadaan ajantasainen kopio rakennuksesta virtuaalisessa muodossa. Virtuaalisen mallin kehitystasosta ja kattavuudesta riippuen tietoa voidaan saada

kattavasti esimerkiksi sisäilmaolosuhteista sekä rakennuksen hyvinvoinnista ker-  
tovista mitattavista suureista. Digitaalisten kaksosten hyödyt rakennuksen elin-  
kaaren aikana painottuvat rakennusten yllä- ja kunnossapitoon sekä erilaisten  
korjauksien suunnitteluun. (Granlund, 2020)

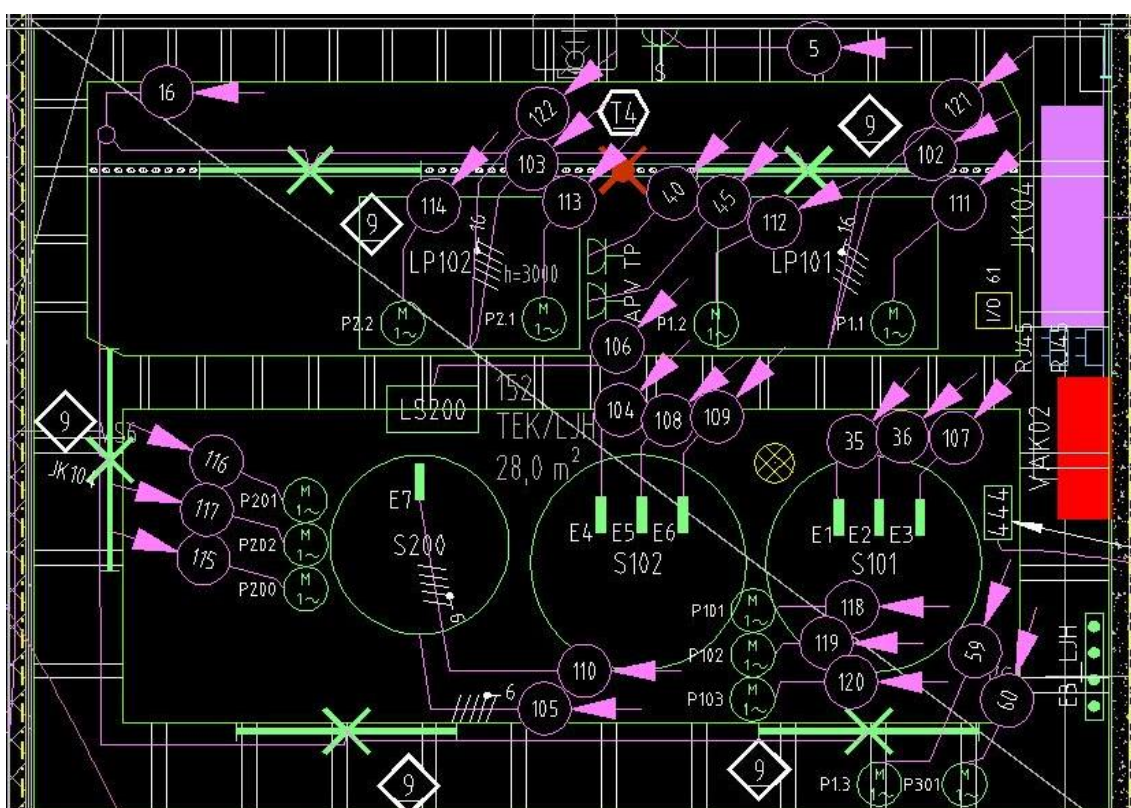
Tutkimuksesta selviää, että älykkäiden tietomallien yleistymisen on ollut hitaam-  
paa muutama vuosi sitten tehtyihin ennusteisiin verrattuna. Rakennusten digitaalisten kopioiden kehitystyötä tullaan tulevaisuudessa viemään eteenpäin kahdella vaihtoehtoisella tavalla. Ensisijaisesti tarkoituksena on aloittaa pienistä ratkai-  
suista, joita kehitetään paremmaksi kokemuksen karttuessa. Toissijaisena vaih-  
toehtona on kehittää suoraan ratkaisu, josta saadaan vastaukset kaikkiin ongel-  
miin rakennuksen elinkaaren aikana. Tutkimuksen seminaaritulaisuudessa esite-  
tyistä vaihtoehdoista ensisijainen oli huomattavasti suositumpi ratkaisu. Uusien  
toimintatapojen rauhallisella käyttöönotolla pystytään ratkaisemaan ongelmat te-  
hokkaammin, jolloin myös tulevaisuudessa valmistuva ratkaisu on toimivampi.  
(Dooley, 2020)

## **4.2 Tietomallinnusohjelmistot**

Tietomallinnuksessa käytettävät apuohjelmat voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan. Suunnitteluohjelmiin ja tietomallien tarkasteluohjelmiin. Suunnitteluohjel-  
milla tehdyistä suunnitelmista luodaan tietomalli ohjelmistojen sisäisten työkalu-  
jen avulla. Tarkasteluohjelmilla voidaan katsella suunnittelualojen tietomalleja  
erikseen tai luoda yhdistelmämalli kaikkien projektin suunnittelualojen toimitta-  
mista tietomalleista. Ohjelmistoilla voidaan myös luoda erilaisia tarkastuskritee-  
rejä törmäyksille ja dokumentoida epäkohdat tarpeen mukaisesti.

Konsernitasolla Granlund Oy:llä on käytössä tietomallipohjaisessa suunnitte-  
lussa useita ohjelmia. Ohjelmistot ovat kaikki myös tytäryhtiöiden hyödynnettä-  
vissä tarpeen mukaisesti. Granlund Häme Oy:n sähköosastolla on käytössä  
suunnittelussa tietomallinnusohjelmistona Cadmatic Electrical ja Autodesk MagiCAD.  
Tarkasteluohjelmoina käytetään suunnittelutyön aikana mallien sisäisessä tarkas-  
telussa Navisworks Managea ja virallisissa tietomalliprojekteissa yhdistelmämal-  
lien tarkastelussa Solibrin Model Checker.

Tässä opinnäytetyössä tietomallinnusalueisiin liittyvät suunnittelun ohjeistukset ja esimerkit on käsitelty Cadmatic Electrical-ohjelman näkökulmasta (kuva 3). Cadmatic Electrical on tehokas ja jatkuvasti kehittyvä sähköisten järjestelmien suunnitteluun tarkoitettu IFC-sertifioitu tietomallinnusalue. Ohjelmistoon on asennettu yhtiökohtaisesti räätälöity tietomalli- ja tuotetietokantapaketti. Suunnitteluprojektia aloitettaessa useimmin käytetyt tuotetiedot löytyvät projektista valmiina ja niiden projektikohtainen muokkaus on tehokasta ja helppoa. Tuotetietokantapaketin käyttöönoton jälkeen on lyhyessä ajassa saavutettu huomattavaa suunnittelun tehokkuuden kasvua. Yritys- ja suunnittelijakohtainen ohjelman räätälöinti jatkuu suunnitteluprojektien tarpeiden kehittyessä.



KUVA 3. Lämmönjakuhuoneen sähkötasopiirustus toteutussuunnitteluvaiheessa

## 5 SUUNNITTELUPROSESSIN KEHITTÄMINEN

Sähkösuunnittelun tehostaminen on pitkäaikainen prosessi jatkuvasti kehittyvien työkalujen takia. Päivittyvät ohjelmistot ja uudet ominaisuudet muodostavat tietyin aikavälein henkilöstön koulutustarpeita suunnitteluprosessin periaatteiden pysyessä kuitenkin lähtökohtaisesti samana. Tärkeässä asemassa suunnittelun tehokkuuden ylläpidossa ovat erityisesti henkilöstön koulutustason ylläpito, ohjeistuksien huolellinen seuranta ja uusien sekä päivittyneiden standardien noudattaminen. Ohjelmistojen päivitysten yhteydessä tulisi saada tieto suunnittelijoille uusista ja muuttuneista ominaisuuksista sekä opastus päivityksissä tulleisiin suunnittelua tehostaviin toimintoihin. Tiedon suunnittelijoille voisi välittää yleisesti kaikkien ohjelmistojen puolesta esimerkiksi IT-tukihenkilön ylläpitämä lista päivityksistä ja niiden sisällöstä.

Seuraavissa kappaleissa on käsitelty yrityksen käytössä olevia projektien hallintajärjestelmiä sekä niiden käyttöä erilaisissa projekteissa. Osioissa on myös eritetty näkemyksiä ja toimintaehdotuksia suunnittelun ja projektinjohton toiminnan tehostamiseen. Suunnitteluprosessissa tehokas ajankäyttö ja huolellisuus ovat tärkeä osa laadukkaan lopputuloksen saavuttamista. Tehokkaalla ajankäytöllä saavutetaan projekteissa tavoitteet niille määritetyissä aikamääreissä. Tämä varmistaa, että sisäiselle dokumenttien tarkistukselle jää riittävästi aikaa. Loppuvaiheen kiireen vähentämisellä voidaan välttää jälkepäin tehtävät suunnitelmien korjaus- ja muutostarpeet.

### 5.1 Projektien hallinta ja edistymisen seuranta

Konsernissa on käytössä projektien hallinnassa Visma Solutions Oy:n kehittämä Valueframe-järjestelmä. Järjestelmä otettiin käyttöön alkuvuodesta 2020, joten yrityskohtainen räätälöinti on vielä käynnissä. Valueframe-järjestelmässä on laajasti projektipäälliköiden ja esihenkilöiden käytössä olevia ominaisuuksia projektien seurannan avuksi. Esimerkiksi tuntikirjauksien kautta pystytään seuraamaan projektien etenemistä ja vertaamaan sitä resursointiin.

Dokumenttien hallintaa, asiakirjalueteloita ja muutostoimenpiteitä varten on käytössä M-Files Oy:n kehittämä dokumenttienhallintaohjelma. Sovellukseen on keskitetty projektidokumenttien hakutoiminnot sekä linkitykset verkkolevyille. Asiakirjaluetelot ja muutoslehdet luodaan myös M-Files:n kautta. Projektin asiakirjalueteloa tehdessä määritellään cad-asiakirjoihin linkitettävien nimiöiden tiedot, piirustusnumerointi ja muut yksilöivät tiedot. Julkaistavaan asiakirjaluetteloon voidaan määrittää kaikki tarvittavat dokumentit. Dokumenttienhallinnalla mahdollistetaan valmistuneiden projektien sisäinen arkistointi ja järkevät hakutoiminnot.

Yrityksessä osastojen välinen sekä muu sisäinen viestintä ja tiedonjako on toteutettu Microsoft Teams:iin luoduilla projektikohtaisilla tiimeillä. Tiimissä kaikki projektiin osallistuvat henkilöt voivat jakaa suunnittelun etenemisen kannalta oleellisia tietoja. Tiimin sisällä olevat kanavat on jaettu alakohtaisesti ja kanavissa käsitellään asioita aihekohtaisten otsikoiden alla. Planneriin projektipäällikkö määrittää suunnittelijoille tehtävät ja aikataulun niiden suorittamiseksi. Työnjaolla ja välitavoitteiden määrittämisellä projektin eteneminen pysyy järkevänä ja suunnittelijat tietävät tulevien vaiheiden aikataulun.

Ennen suunnittelun aloittamista järjestetään projektin aloituskokous. Kokouksessa käydään läpi projektikohtaiset lähtötiedot ja tiedossa olevat tavoitteet. Yleisesti jokaisessa projektissa on tavoitteena tehokas ajankäyttö. Projektipäällikkö luo aikataulun, joka perustuu tilaajan tai muun toimeksiantajan antamaan aikatauluun ja projektille resursoituihin tuntimääriin. Suunnitelmien valmistumisen aikataulutuksessa on huomioitava sisäiset tarkastukset, ulkopuolisten valvojien kommentoinnit sekä mahdollisten yllättävien muutosten aiheuttamat viivästykset.

Suunnitelmien tarkastuksessa ensimmäinen vaihe on sähkösuunnittelijan suunnittelun aikana suorittama jatkuva omatarkastus. Suunnittelun vaiheiden valmistuessa suunnittelija suorittaa omatarkastuksen esimerkiksi pdf-tulosteista tarkastamalla suunnitelmat kokonaisuudessaan hyväksytyjen mallihuoneiden, sekä huonekorttien mukaisesti. Suunnittelijan omatoimisen tarkastuksen jälkeen suunnitelmat ovat valmiina projektipäällikön tarkastusta varten. Suunnitel-



mat viedään omatarkastuksen korjausten jälkeen .pdf muotoisena projektiarkistosta löytyvään projektipäällikön tarkastus kansioon. Suunnitelmien laadun varmistamiseksi ja työn tehostamiseksi sisäinen tarkastus tulee suorittaa huolellisesti. Sisäisen tarkastuksen tarve tulee kuitenkin määritellä projektityyppikohtaisesti suunnittelijan kokemuksen mukaan.

## 5.2 Mallidokumentit

Tietomallinnuksen näkökulmasta mallidokumenttien käyttö perustuu periaatetasolla jokaisessa projektissa käytettävään perusmateriaaliin. Tarkoituksena on helpottaa suunnittelijan työtä paljon toistoa vaativissa työvaiheissa sekä nopeuttaa työskentelyä sellaisten dokumenttien kohdalla, jotka ovat kohdetyypeittäin hyvin samanlaisia. Valmiita, hyväksi todettuja ja tarkastettuja pohjia käytettäessä vältetään mahdollisten virheiden siirtyminen projektista seuraavaan. Tämän opinnäytetyön toteutuksen aikana yrityksessä tehtiin myös mallidokumenttien toteutukseen ja käyttöön liittyvää opinnäytetyötä. Opinnäytetöistä on tarkoitus laatia yrityksen sähkösuunnittelijoille kattava ohjeistus sekä 2D että 3D suunnittelun toimintatavoista.

Mallidokumenttien käyttö tietomallinnuksessa on haasteellista, koska jokainen projekti on erilainen. Tietokantapohjaisia malleja pystytään hyödyntämään hyvin luokittelemalla esimerkiksi keskuskaavioiden rakenteet kohdetyyppiakohtaisesti. Käytännössä tietoteknisten järjestelmien periaate- ja järjestelmäkaaviotyyppisiä mallidokumentteja ei pystytä tietomallinnuksessa hyödyntämään tehokkaasti, koska niistä harvoin on tarvetta tehdä tietomallia. Järjestelmäkaavioissa mallipohjia voidaan hyödyntää tehokkaasti, mutta projektiakohtaisesti täytettävät tiedot tulee merkitä selkeästi. Toimintatavalla varmistetaan se, että tiedot päivitetään aina kyseisen kohteen mukaiseksi eikä virheellisiä tietoja jää kaavioihin. Ongelmana on usein samankaltaisesta projektista käytetty kaaviopohja, jota ei ole täysin muokattu uuden kohteen mukaiseksi.

### 5.3 Valaisinkirjasto- ja luettelo

Valaistussuunnittelu on tärkeässä osassa kohteen visuaalisuuden ja tarkoituksenmukaisen toimivuuden kannalta. Suunnittelussa aikaa kuluu valaisinten valintaan ja uudentyypisissä valaistustilanteissa suunnittelun ajankäyttö korostuu, ellei suunnittelijalla ole käytettävissä joitain vaihtoehtoja toteutusehdotusten tekemiseen. Suunnittelijoiden keskuudessa nousee usein esiin kysymyksiä koskien valaistusratkaisujen vaihtoehtoja erilaisiin tiloihin ja tilanteisiin.

Valaisinkirjaston avulla olisi mahdollista kerätä hyviä ratkaisuja ja toimiviksi todetuista valaisimista kaikki oleellinen tieto kohdetyyppi- ja tilakohtaisesti. Kirjastossa olisi hyvä esittää valaisimen perustietojen ja käyttökohde-esimerkkien lisäksi linkki valmistajan sivuille, suunnitteluohjelmiston tasopiirustus symboli sekä 3D -mallikirjastosta löytyvä symboli tietomallia varten. Lisäksi valaisinvalmistajilta tulisi kerätä suuntaa antavat hintatiedot valaisinkirjastoon helpottamaan valintoja esimerkiksi tilanteessa, jossa tilaaja on antanut toiveen edullisesta toteutuksesta. Valaisinkirjaston toteutus sisäiseen käyttöön voisi olla esimerkiksi palvelin pohjaisena sovelluksena. Tällöin suunnittelija pääsisi tarpeen mukaan lisäämään ja muokkaamaan tietoja.

### 5.4 Massaluettelot ja määrälaskenta

Luotettavien luetteloiden tekeminen sähkösuunnittelussa alkaa jo projektin dokumenttien luomisen yhteydessä. Kaikki korko- ja tyyppitiedot tulee olla tarkasti määritelty, jotta tietokoneavusteisesta laskennasta saadaan mahdollisimman todenmukaiset tulokset. Projektin aloituskokouksessa tulee sopia luetteloiden ja laskennan tarkkuus. Pelkkä kojeiden määrälaskenta on huomattavasti helpompi toteuttaa verrattaessa tarkan kaapelimääräluettelon tekemiseen. Haasteena metrimääräisten tuotteiden automaattisessa laskennassa on tasokuvien johdotusvaiheessa huomioitavat todenmukaiset kaapelointireitit, korkoerot ja johtoteiden käyttö. Lisäksi perusprojekteissa ei yleensä kaikkia heikkovirtakaapelointeja tasopiirustuksiin suunnitella. Mikäli kaapeloinneista tehdään tarkka metrimääräinen luettelo niin heikkovirtakaapelointien suunnitteluun kuluva aika on huomioitava projektin tuntiresursointien yhteydessä.

Cadmatic Electrical:issa kaapeloinnin korkotiedot määritellään johdottaessa automaattisesti tai manuaalisesti. Automaattitoiminnolla on huomioitava, että aloituskorko määräytyy johdotuksen aloitusobjektiin määritellyn korkotiedon mukaan. Siirryttäessä johtotielle kaapeloinnin korko määräytyy johtotien asennuskorkeuden mukaisesti. Lisäksi määritellään laskennassa huomioitavat kytkentävarat ryhmämerkintäsymbolin tietojen määrittämisen yhteydessä tai DB-tietokantatyökalun kautta. Manuaalisesti johdotettaessa jokainen korkomuutos pitää huomioida johdotustyökalun kautta muutettavan korkotiedon kautta oikeaksi.

Suunnitelmista luetteloita tehdessä on huomioitava laskettavat alueet ja oikeiden dokumenttien valinta laskentaa varten (kuva 4). Määräluettelon luontivaiheessa valitaan luetteloitavat asiat ja luetteloon kirjattavat tiedot. Valittavien tietojen osalta tulee huomioida, että saman tyyppisiä objekteja voidaan laskennassa esittää useammalla rivillä johtuen laskennassa eriteltävistä attribuuttitiedoista. Määräluettelon tulosta voidaan parantaa poistamalla mahdolliset ylimääräiset päällekkäiset komponentit Electrical:in työkalun avulla.

KUVA 4. Tietojen valinta määrälaskentaa varten

Ohjelmistojen luomiin massaluetteluihin on aina suhtauduttava kriittisesti, koska niitä ei pystytä tehokkaasti tarkastamaan. Suuntaa antava tarkastus voidaan suorittaa pohjapiirustuksista laskemalla manuaalisesti pienen alueen määrät ja vertaamalla niitä ohjelmiston luomaan määräluetteloon samasta rajatusta alueesta. Tämäkään keino ei kuitenkaan sulje pois mahdollisia virheitä muissa osissa tai dokumenteissa. Luetteloiden ja laskentadokumenttien tilaus suunnitelmien lisäksi tulee tietää heti toteutussuunnitteluvaiheen alussa. Vastuukysymykset ja muut oleelliset asiat on syytä määritellä jo tarjousasiakirjoissa epäselvyyksien välttämiseksi.

## 6 TIETOMALLINNUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN

Tietomallin lisääminen projektin dokumentteihin on ollut sähkösuunnittelussa tunnettu vaihtoehto jo jonkin aikaa. Täydellisesti ohjeistuksien mukaisesti tehdyt mallinnusprojektit ovat silti edelleen suhteellisen uusi käsite osana projektin havainnollistamista ja elinkaariajattelua. Tietomallinnus kehittää suunnittelun kokonaisuutta yhteistyömäisempään suuntaan ja mahdollistaa osapuolten välisen helpomman tiedonsiirron. Tiedonsiirtoon liittyviä ongelmia ovat esimerkiksi alustavien reittisuunnitelmien muuttuminen. Ongelmaksi voi myös muodostua suunnittelun edetessä muilta suunnittelualoilta tulevien olennaisten tietojen riittämättömän välittäminen sähkösuunnittelijalle. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi laitteiden tehotiedot ja sijainnit.

Suunnitteluvaiheessa ongelmia pystytään välttämään reaaliaikaisella törmäystarkastelulla ja ajantasaisen tietomallin sisältämällä laitetiedoilla. Reaaliaikaisen tietomallin käytöllä pystytään myös nopeasti reagoimaan havaittuihin ongelma-kohtiin. Yhdistelmämallien törmäystarkastelussa voidaan aikaa säästää myös tarkasteluohjelmilla suoritetuissa taloteknisten suunnitelmien törmäystarkasteluissa. Ongelmakohdat nähdään kolmiulotteisesti realistisessa ympäristössä, jolloin vaihtoehtoisten ratkaisujen tekeminen helpottuu.

Sähkösuunnittelussa huolellisesti tehdyn tietomallin yhdistäminen projektin dokumentteihin vaatii enemmän ajankäytön resursointia etenkin toteutussuunnitteluvaiheessa. Resursoidun työn määrä on sidoksissa suunnittelun hintaan ja alalla kilpailu perustuu usein tarjouksissa määriteltyihin kokonaiskustannuksiin. Oikein käytettynä ohjelmistojen monipuolisten tietokantatoimintojen hyödyntäminen kuitenkin minimoi mallinnukseen kuluvan ylimääräisen ajan.

Granlund Häme Oy:n sähkösuunnitteluosaston projekteissa yhä useammasta kohteesta tehdään perustasoinen tietomallinnus, joka sisältää vähintään valaisimet, johtotiet ja keskuslaitteet. Perustason tietomalli tehdään sisäistä tarkastusta varten, vaikka tilaaja ei sitä vaatisi. Tilaajilla on erilaisia cad-ohjeistuksia ja vaatimuksia tietomallin sisällölle sekä tarkkuudelle. Ensisijaisesti projekteissa noudatetaan työn tilaajan vaatimuksia ja ohjeistuksia. Tilaajan vaatimukset saattavat







muuttua kesken projektin ja lähes poikkeuksetta tällaisissa tilanteissa vaativampaan suuntaan. Tietomallinnettavissa projekteissa tulisi tilaajalta kerätä sähkösuunnitteluun vaikuttavia olennaisia asioita lähtötietolomakkeen muodossa. Toimintatavalla tehostettaisiin suunnittelun etenemistä ratkaisuisissa, joissa tilaajalta tarvitaan tietoja suunnittelun etenemistä varten. Suunnittelutyön ja tietomallin sisällön tarkka määrittely on tärkeää heti suunnittelutyön alkuvaiheessa. Aloituskokouksessa selviää kohteen mallinnuksen taso sekä tilaajan esittämät vaatimukset dokumenttien suhteen.

Mallinnuksessa on huomioitava, että malli on mahdollisesti työmaalla urakoitsijan käytössä esimerkiksi urakkasopimusdokumenteissa määritellyllä nimikkeellä asennusta tukeva dokumentti. Kaikki suunnittelu- ja mallinnusratkaisut on siis oltava myös toteutettavissa. Ongelmia tuottaa työmaalla käytössä olevien laitteiden soveltuvuus tietomallien tarkasteluun sekä negatiiviset asenteet uusia ja kehittyviä ratkaisuja kohtaan.

Tässä työssä käsitellään tietomallinnusprosessin kehittämistä yleisesti sekä Cadmatic Electrical -ohjelmalla suunniteltaessa. Seuraavissa kappaleissa on esitetty vaiheittain YTV2012 vaatimuksia ja ohjeistuksia koskien tietomallinnusta sähkösuunnittelussa. Vaiheisiin on lisätty suunnitteluohjelmakohtaisia huomioitavia asioita ja mallinnusta tehostavia toimenpide-ehdotuksia.

## **6.1 Kerrosasetusten luominen**

Taloteknisten suunnitelmien IFC-tiedostojen korkeusasemana käytetään samoja absoluuttisia korkoja arkkitehdin tietomallin kerroskohtaisten korkojen kanssa. (YTV2012, Osa 4., 2012) Mallinnettavan projektin suunnittelu aloitetaan samalla tavalla kuin normaali 2D suunniteltava projekti. Suunnittelutiedostoja luodessa arkkitehdin suunnitelmat tuodaan viitekuviksi tiedostokohtaisesti kerroksittain. Projektin kerrostiedot määritellään arkkitehdin absoluuttisten korkotietojen mukaan rakennuksen alimmalle kerrokselle. Ylempien kerrosten korkotieto voidaan määrittellä myös absoluuttisen korkotiedon mukaisesti tai vaihtoehtoisesti suhteellisena korkona alimpaan kerrokseen (kuva 5).

Kerrostunnus	Kuvaus	Korko [mm]	Kerroskorkeus [mm]	Tiedosto	
4	Vesikatto	85182	10	<a href="#">115160_20400.drw</a>	
3	3. kerros (ullakko)	81939	3243	<a href="#">115160_20300.drw</a>	
2	2. kerros	78339	3600	<a href="#">115160_20200.drw</a>	
1	1. kerros	74439	3900	<a href="#">115160_20100.drw</a>	
-1	Alapohja	72994	1445	<a href="#">115160_20000.drw</a>	
0	Kohdistuskuutio	0	72994	<a href="#">SAH-kohdistuskuutio.drw</a>	

KUVA 5. Projektin kerrostietojen määrittely

Sähkösuunnitelmista luotaessa IFC-tiedostoja valitaan luontivaiheessa tiedostoon vietävät objektit (kuva 6). Laajuus riippuu projektikohtaisesti määritellystä tasosta. IFC-tiedostot liitetään projektiin, jolloin niiden päivittäminen onnistuu suoraan DB-tietokantatyökalusta. Ohjelmasta viedään mallinnettavat objektit IFC-tiedostoon. Tiedostot luodaan kerroskohtaisesti helpottamaan tarkastelua. Lisäksi luodaan yksi tiedosto, joka sisältää rakennuksen kaikki osat ja kerrokset. Kaikki kerrokset sisältävän sähkömallin päivitys kestää kauemmin, joten suunnitteluvaiheessa päivitetään tarkastelua varten vain työn alla olevaa kerrosta. Suuremmissa projekteissa tarkastelua varten tehdään kerroskohtaiset IFC-tiedostot. Suunnittelutyö tehostuu ja aikaa säästyy, kun päivitetään vain työstettävän kerroksen tiedostoa tarkastelua varten. Koko projektin IFC luodaan tarkempaa tarkastelua ja esimerkiksi kerrosten välisten johtoteiden tarkastelua varten. Projektiin liitettävät IFC-tiedostot nimetään ensisijaisesti tilaajan ohjeistuksen mukaisesti.

IFC vienti (2x3) X

Vie

Kerrosmäärittelyn mukaan Rakennus:  Kerrokset...  
 Kerros:

Avoinna oleva kuva:  
 Kerrosmäärittelyn mukaan  
 Muu määrittely: Kerros:   
 Kerroskorkeus:  Lattiakorko:

Rakennuspaikka (IfcSite) Rakennus (IfcBuilding)  
 Nimi:  Nimi:   
 X:  X:   
 Y:  Y:   
 Z:  Z:

Vie myös asemapiirustuksen objektit IFC:hen

IFC:hen vietävien suodatus asetusryhmällä  
 Asetusryhmä:

Vietävät osat

Sähköpisteet  Lämmityspatterit  Kaapelihyllyt   
 Valaisimet  Kattolämmityselementit  Johtokanavat, putket ja muut   
 Keskukset  Kosketin- ja virtakiskot  Valaisinripustuskiskot  
 Tilat  Reikävaraukset  
 Lattiakorot suhteellisia kerrokseen  Syvennykset  Ulkonemat  
 Alapohjan paksuus 3D-mallissa:  Reikägeometria:   
 Sewatek:

IFC-versio:

Suorita 3D-generointi ennen IFC-tiedoston luontia  
 Poista toiminnon generoimat 3D-elementit IFC-tiedoston kirjoituksen valmistuttua  
 Lisää IFC-tiedosto projektin dokumentiksi

Tallennettavat Property Setit...

KUVA 6. IFC-tiedostoa luodessa valitaan tiedostoon vietävät rakennukset, kerrokset, osat sekä suodatukset

## 6.2 Sähkönjakelu, keskuslaitteet ja johtotiet

Taloteknisessä suunnittelussa kaikki pää-, jako ja ryhmäkeskukset sekä niihin verrattavat laitteistot mallinnetaan yksinkertaisin 3D-objektein mahdollisimman todenmukaisia mittoja noudattaen. Keskuslaitteisiin luetaan mukaan myös ristikentäkaapit sekä muut heikkovirtalaitteiden keskusyksiköt. Johtoteiden osalta mallinnetaan todellista kokoa vastaavien mittojen mukaisilla objekteilla kaikki kaapelihyllyt, ripustuskiskot, johtokourut ja lattiakanavat. Edellä mainittuihin objekteihin ei normaalitilanteessa vaadita mallinnettavaksi kannakkeita tai muita tuotteen kokoon suuresti vaikuttamattomia lisälaitteita ja komponentteja. (YTV2012, Osa 4., 2012)



Keskusten enimmäismittojen määrittely on tärkeää heti projektin alkuvaiheessa. Mahdolliset kokotietojen kasvatustarpeet suunnittelun edetessä ilmoitetaan arkitehdille. Keskukset tulee olla mahdollista asentaa niille varattuihin tiloihin myös seinien ja ovien asennuksen jälkeen. Keskusten nimeäminen tapahtuu ensisijaisesti tilaajan ohjeistuksien mukaisesti, mutta useimmiten uudiskohteissa voidaan käyttää konsernin sisäisiä ohjeita dokumenttien nimeämisestä. Keskuksen tunnus sisältää pääsääntöisesti kerrostiedon ja juoksevan numeroinnin. Saneerauskohteissa riippuen saneerauksen laajuudesta voidaan käyttää kaikkien keskusten kohdalla uutta nimeämistä. Mikäli vain osa keskuksista uusitaan, suositellaan käytettäväksi samaa nimeämisperiaatetta vanhojen keskusten kanssa.

Johtoteiden osalta olennaista on kokotietojen lisäksi määritellä oikea asennuskorko. Ylimääräisten risteilyjen välttämiseksi kannattaa muiden taloteknisten järjestelmien suunnittelijoiden kesken sopia alustava järjestelmien korkomaailma jo suunnittelun alkuvaiheessa. Pääsääntöisesti muutosjoustavuuden kannalta pyritään sähköjärjestelmien johtotiet sijoittamaan alakattorakenteissa ensimmäiseksi alaslasketun kattopinnan yläpuolelle.

### **6.3 Valaisinten lisätiedot ja mallinnus**

Mallinnettaessa valaisimia käytetään ensisijaisesti valaisinvalmistajan tarjoamaa mallikohtaista 3D-objektia. Mikäli valaisintyyppikohtaista mallia ei ole saatavilla voidaan käyttää vastaavien mittojen mukaista valaisintyyppiä tai mahdollisesti myös pelkkää ohjelmalla luotua yksinkertaista 3D-objektia. Suunnitteluohjelmistoihin voidaan ladata valaisinvalmistajien objektikirjastot tai valmistajan nettisivuilta käytettävän valaisimen 3D objekti .dwg-muodossa. (YTV2012, Osa 4., 2012)

Tavalliset ja yleisesti käytetyt valaisimet löytyvät helposti ohjelmistojen objektikirjastoista. Yksinkertaisen muotoisille valaisimille voidaan suunnittelun ajankäytön tehostamiseksi käyttää koon havainnollistamiseksi yksinkertaista kulmikasta tai pyöreää 3D-objektia, joka ei sisällä tarkkaa muotogeometriaa. Erikoisempien valaisinten tapauksessa, ehdotettaessa tiettyä valaisinmallia tai mallihuoneen tapauksessa käytetään ensisijaisesti kyseisen valaisinmallin tarkkaa 3D-mallia.

Tarkkojen 3D mallien käytössä ongelmana voi olla tiedostokoon kasvaminen liian suureksi, mikä hidastaa mallin tarkastelua ja lataamista merkittävästi. Yksityiskohtaiset 3D mallit valaisimista ovat usein ladattavissa valmistajan tai maahantuojan kotisivuilta.

Valaisimen tuotemallille lisätään valmistajan tietoja, sähkö- tai tuotenumero, asennustapa, valon väriämpötila sekä linkki tuotteeseen valmistajan verkkosivuilla (kuva 7). Lisättäessä edellä mainitut tiedot valaisimet tuotemallille, ne tuostuvat automaattisesti myös tietokantatyökalulla luotuun valaisinluetteloon. Valaisinmallin verkkosivulinkityksessä voi olla ongelmana sivun osoitteen tai mallinimen muuttuminen. Tällöin linkkiä ei pystytä enää hyödyntämään. Tärkeää on siis myös nimetä valaisimen tuotemalli yksilöivästi. Suunnittelun ja toteutusvaiheen aikaväli on todennäköisesti niin lyhyt, että suuria muutoksia ei ehdi tapahtua. Kuitenkin suoran linkin hyödyt laskenta- ja urakkavaiheessa ovat suuremmat kuin riski linkin toimimattomuudesta.

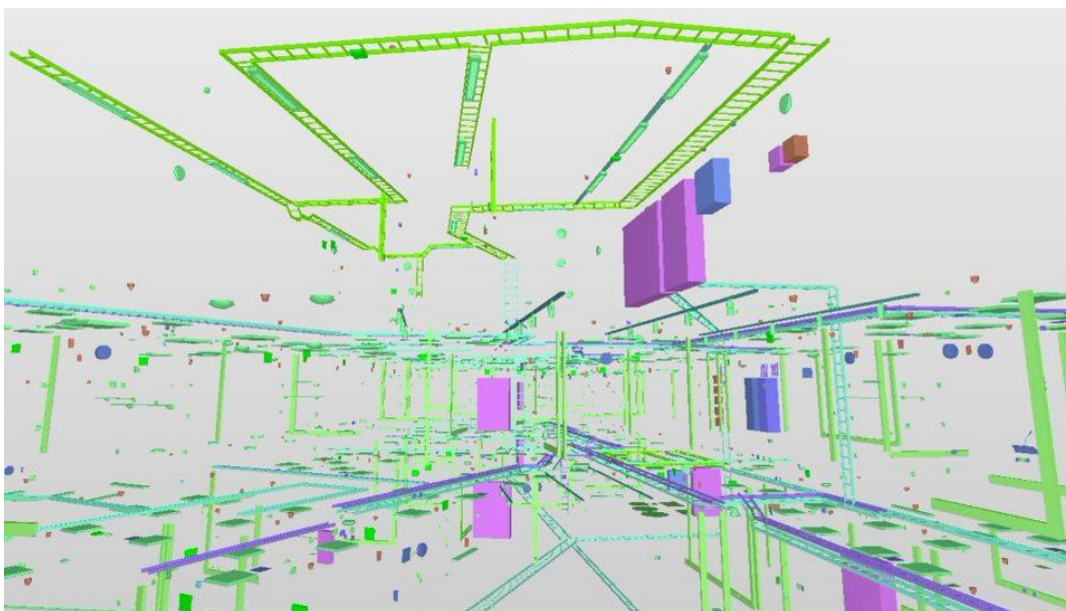
Pinnit	Tuotetiedot	Lisätiedot	Kilvet	Lohkot
Nimi	Arvo	Attribuutti		
Valmistaja	Airam	E_MANUFACTURER		
Tyyppi	Plata IP20 40W/840 DA2 PCMP WH	E_TYPE		
Tyyppinumero	4209528	E_TYPENUMBER		
Ohjaustapa	DALI	E_CONTROL_METHOD		
Teho	40W	E_POWER		
Väriämpötila	4000K	E_COLOR_TEMPERATURE		
Asennustapa	T-lista	E_INSTSTYLE		
Kanta		E_SOCKET		
Linkki tuotetietoihin	<a href="https://www.airam.fi/fi/tuote/v6921-8725/4...">https://www.airam.fi/fi/tuote/v6921-8725/4...</a>	E_LINK		
Seloste	POS 1 Moduulivalaisin, uppo	E_LEAFLET		

KUVA 7. Valaisimen tuotemallin lisätiedot

#### 6.4 Asennuskalusteet ja muut järjestelmät

Yleisesti vähän tilaa vievien laitteiden, kojeiden ja kalusteiden 3D-objekteja ei vaadita mallinnettavaksi. Tällaisia objekteja ovat kytkimet, pistorasiat ja suurin osa muista asennuskalusteista. Poikkeuksia on esitetty seuraavassa luvussa ”6.5 Mallitilojen suunnittelu”. Poikkeuksiin luetaan myös näkyvissä alakattoasennuksissa mallinnettavat alakattopintaan asennettavat komponentit kuten liiketunnistimet ja kaiuttimet. (YTV2012, Osa 4., 2012)

Asennuskalusteiden tarkempaa mallinnusta voidaan hyödyntää sisäisessä tarkastelussa esimerkiksi tilanteessa, jossa sähkösuunnittelun lisäksi on tilattu massa- ja määräluettelot (kuva 8). Jokaiselle eri korkoon ja seinätyyppiin asennettavalle kalusteelle luodaan tällöin projektin alkuvaiheessa oma tuotemalli. Määrälaskennassa tuotemalleille on tärkeää merkitä myös asennustapa. Eri korkoihin asennettavia tuotteita on helppo lisätä projektin edetessä tarpeen mukaan. Symboleille tulee määritellä oikeat korkotiedot, vaikka niitä ei mallinneta. Toimintatavalla vältetään mahdolliset virheet ja epäselvyydet asennuskoroissa rakennusvaiheessa. Asennuskalusteiden mallinnuksessa huomioitavia asioita on käsitelty lisää seuraavassa luvussa.



KUVA 8. Asennuskalusteet sisältävä sähkömalli sisäistä tarkastusta varten

## 6.5 Mallitilojen suunnittelu

YTV2012 mukaisesti jo yleissuunnitteluvaiheessa tehdään kohteesta määritellyistä mallihuoneista tai -alueista tietomalli. Tarkoituksena on varmistua suunniteltujen komponenttien mahtumisesta niille varattuihin tiloihin. Mallitiloihin mallinetaan kaikki tilavaraukset ja tilan toiminnallisesti merkitykselliset komponentit sisältäen myös pistorasiat ja kytkimet. Normaalitapauksissa asennuksien kaapelointeja tai putkituksia ei mallinneta edes määritellyissä mallitiloissa. (YTV2012, Osa 4., 2012)

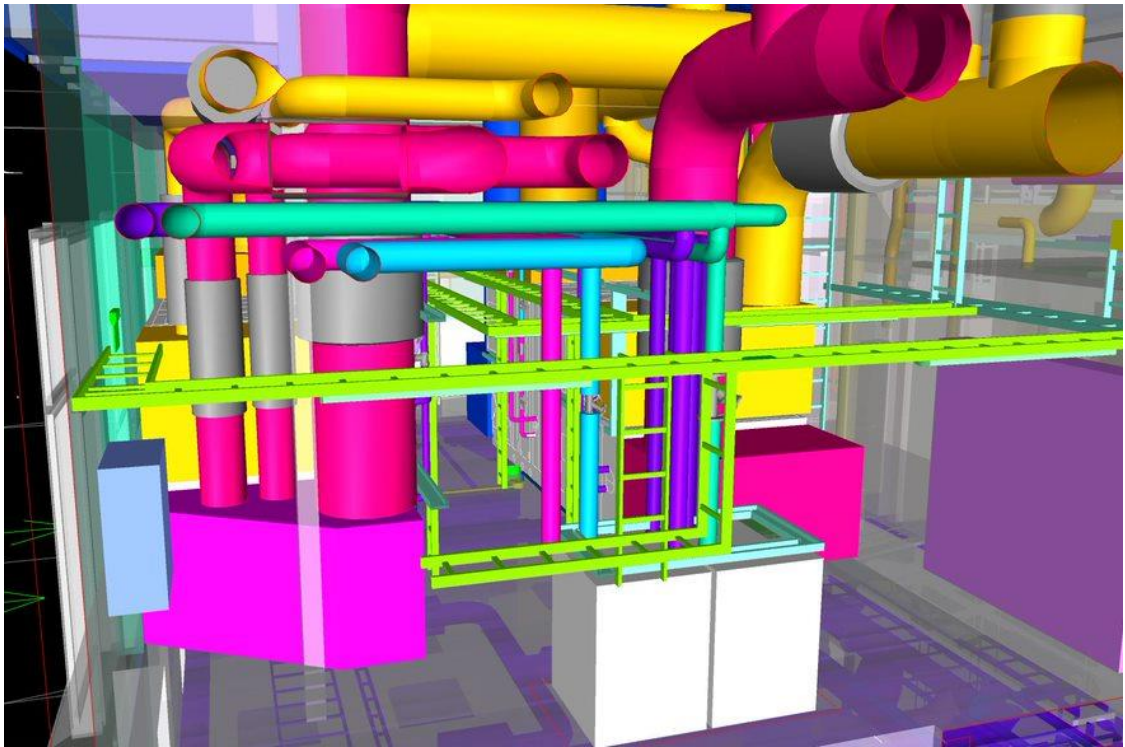
Asennuskalusteita mallinnettaessa on huomioitava seinäpintaan päällekkäin asennettavien kojeiden 3D-objektin sijoitus 2D-objektiin nähden. Normaalisti seinälle sijoitettavat kojeet piirretään tasopiirustukseen alimmaiseksi asennettava lähimmäksi seinää. Tällä tavalla virhe saattaa syntyä ylemmäksi asennettavien kojeiden 3D-objektin kohdistuspisteen ollessa samassa pisteessä 2D-objektin kanssa. Suunniteltaessa Cadmatic Electrical:illa ohjelma tunnistaa päällekkäiset objektit viereen sijoitustoimintoa käytettäessä. Sijoitettaessa tarkastus kannattaa kuitenkin tehdä generoimalla 3D-objekti symbolille ja tarkastamalla tämän oikea sijainti.

## 6.6 Yhdistelmämalli ja törmäystarkastelu

Projektissa tietomallinnukseen osallistuvien suunnittelijoiden on tehtävä yhtenäinen linjaus mallien yhteensovituksesta. Alkuvaiheessa määriteltyjen asioiden noudattaminen projektin edetessä on olennainen osa toimivan tietomalliprojektin onnistumista. Toimiva yhteistyö korostuu suunnittelualojen välillä ja sen avulla pystytään välttämään turhat, toistuvat korjaukset. (Jäväjä & Lehtoviita, 2016)

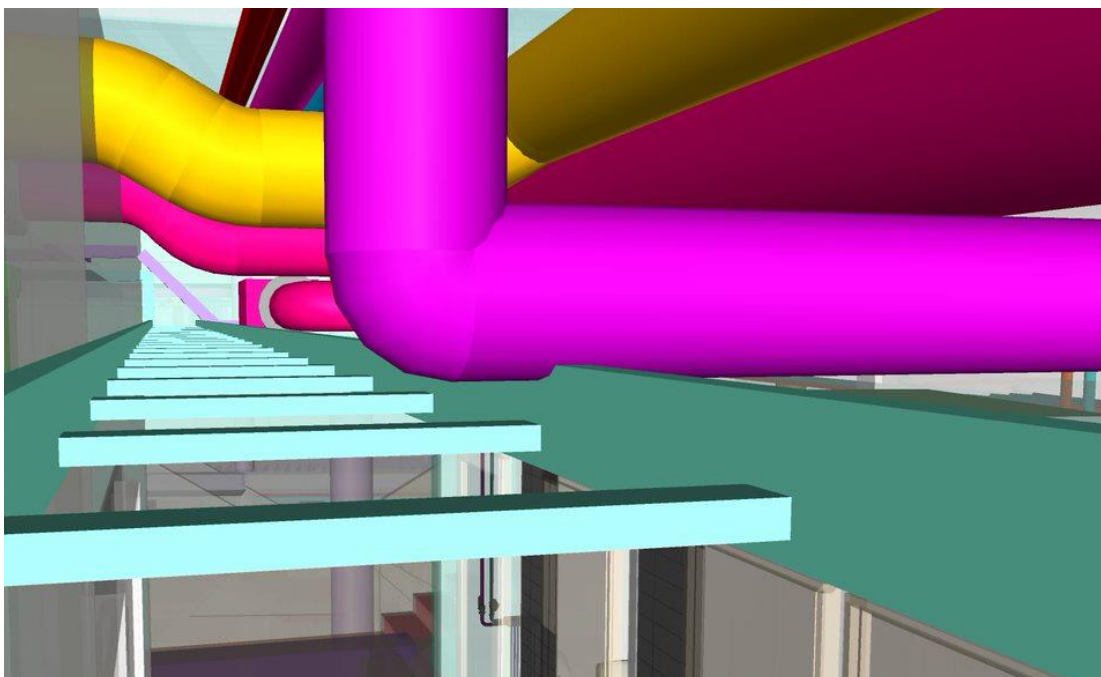
Jokaiseen mallinnettavaan kohteeseen tulee rakennuttajan toimesta nimetä tietomallikoordinaattori. Koordinaattori vastaa yhdistelmämallien kasaamisesta, sekä mahdollisesti mallissa havaittujen virheiden raportoinnista suunnittelualoille. Lisäksi koordinaattorin tehtäviin voi kuulua mallinnuskokousten hallinnointia, sekä tietomallinnuksen tukihenkilönä toimimista. (YTV2012, Osa 1., 2012)

Virallisten tietomallikokousten ulkopuolella sisäisessä tarkastelussa tehdään yhdistelmämalli tuomalla kaikkien osallistuvien suunnittelualojen luomat mallit yhteen arkkitehdin mallintamaan rakennukseen (kuva 9). Sisäisessä yhdistelmämallien tarkastelussa käytetään Autodesk Navisworks Managea ja virallisissa tietomallinnettavissa projekteissa Solibrin Model Checker-ohjelmistoa. Ohjelmilla voidaan tarpeen mukaan tehdä automaattinen törmäystarkastelu. Runkoreittien kohdalla tarkastelu on helppo suorittaa myös leikkaamalla mallit sopivasta kohdasta ja käymällä läpi taloteknisten järjestelmien osalta ahtaimmat paikat. Järjestelmien yhteensovitus aloitetaan jo sähkösuunnittelun luonnosvaiheessa suunnitteleamalla pääreitit johtoteille ja sijoittamalla keskuksat niille varattuihin tiloihin.



KUVA 9. Leikkauskuva ilmanvaihtokonehuoneen yhdistelmämallista

Talotekniset suunnittelijat suorittavat keskenään yhteensovituksen suunnittelemiensa järjestelmäkokonaisuuksien kesken. Virallisen yhdistelmämallin tarkastelu tehdään suunnittelijoiden kesken tai kolmannen osapuolen toimesta. Asennuskalusteita tai muita huomattavan vähän tilaa vieviä komponentteja ei huomioida törmäystarkastelussa. Tarkastelussa sallitaan pienet risteilyt ja viistämiset, mutta ne eivät ole silti toivottuja (kuva 10). Risteilyistä huolimatta järjestelmät pitää pystyä asentamaan työmaalla siten, että vaikutusta aikatauluun tai kustannuksiin ei synny. (YTV2012, Osa 4., 2012)



KUVA 10. Esimerkki sallitusta taloteknisten järjestelmien risteilystä

Sisäisten yhteensovituksen vaatimukset tulisi määrittää projektin aloituskokouksessa ja työvaiheiden aikataulutuksen yhteydessä. Projektin edetessä suunnittelijalla tulisi vastaan vaatimus yhteensovituksen ja törmäystarkastelun suorittamiseksi. Toimintatapa toisi ongelmakohtat esiin hyvissä ajoin, jolloin niiden ratkaiseminen olisi mahdollisesti yksinkertaisempaa. Yhteensovitusten ja sisäisten törmäystarkastelujen tekemisestä jäisi toimintatavalla muistiin projektikohtaisesti suoritusaikataulu ja havaitut ongelmat. Riittävällä dokumentoinnilla voidaan havaita toistuvat ongelmat ja pyrkiä poistamaan ne jo suunnittelun alkuvaiheessa.

## 6.7 Tietokantatoimintojen hyödyntäminen

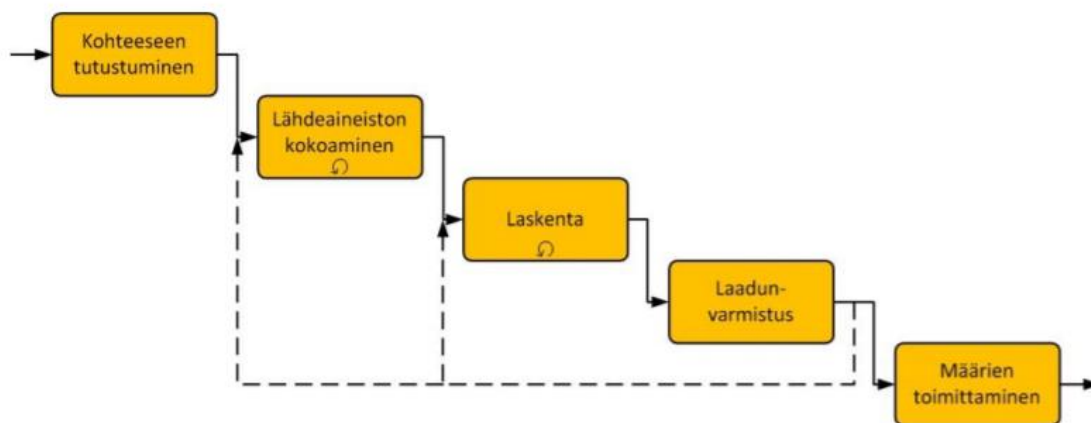
Suunnitteluohjelmistoissa olevia toimintoja käytetään tehostamaan suunnittelua ja integroimaan hyödyllinen tieto suunnitelmiin. Cadmatic Electrical -ohjelmiston tietokantatoimintoja pystytään hyödyntämään monipuolisesti suunnittelun alusta lähtien. Yksinkertaisimmillaan kaikki projektiin liittyvät dokumentit ovat kytköksissä toisiinsa, joten suunnitelmien välisiä ristiriitoja pystytään välttämään hyvin. Yleisimmin suunnittelussa DB-tietokantatyökalua käytetään projektin tuotemallien ja ryhmittelyjen luomiseen sekä muokkaamiseen.

Granlund Häme Oy:n sähköosastolla otettiin alkuvuodesta 2020 käyttöön yhtiölle räätälöity tuotetietokantapaketti. Paketti asennetaan suunnittelijakohtaisesti CAD-tukihenkilön ohjeistuksen mukaisesti konsernin verkkolevyltä löytyvästä polusta. Tuotetietokantapaketti sisältää kaikki yleisimmin käytetyt tuotemallit ja niitä pystytään muokkaamaan projektikohtaisesti. Projektin alkuvaiheessa selvästi ylimääräiset tuotemallit kannattaa poistaa projektista, jotta tiedostojen käyttö pysyy tehokkaana. Tietokantapaketin käyttöönoton jälkeen on jo lyhyellä aikavälillä saavutettu huomattava suunnittelun tehokkuuden kasvu kaikkien mallipaketin käyttöön perehtyneiden suunnittelijoiden keskuudessa. Rajoittavaksi tekijäksi on muodostunut laitteistojen tehokkuus uudenlaisessa suunnittelukäytössä. Tehoitteeseen riittämättömät tietokoneet eivät sovellu raskaiden ohjelmien jatkuvaan käyttöön. Tämä aiheuttaa latausaikojen pidentymisen ja käyttönopeuden hidastumisen kautta ylimääräistä odotusaikaa.

## **6.8 Määrälaskenta tietomallista**

Tietomallista määrälaskennat suoritetaan tietokoneavusteisesti perinteisten manuaalisten menetelmien sijaan. Laskenta voidaan suorittaa suunnittelualakohtaisista osamalleista tai yhdistelmämallista. Mallista ei kuitenkaan voida laskea kaikkia hankkeen aikana tarvittavia määrätietoja sillä tietomallista tehtävän määrälaskennan prosessi eroaa merkittävin osin perinteisistä tasokuvista tehtävästä laskennasta. (YTV2012, Osa 7., 2012)

Prosessikuvauksesta sähkösuunnittelun tapauksessa kohteeseen tutustuminen ja lähdeaineiston kokoaminen tapahtuu suunnitteluprosessin edetessä. Laskentavaihe ja laadunvarmistus voidaan suorittaa useasti erilaisilla menetelmillä luotettavien tulosten saamiseksi (kuva 11).



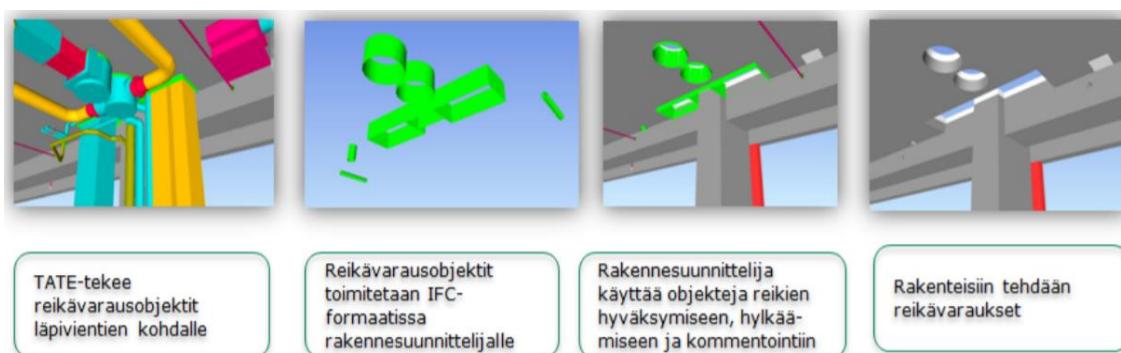
KUVA 11. Tietomallista suoritettavan määrälaskennan prosessikuvaus (YTV2012, Osa 7., 2012)

Kolmiulotteisesta mallista ohjelmistoilla tehty määrälaskelma tarjoaa huomattavasti tarkempia tuloksia verrattaessa perinteisistä 2D-suunnitelmista tehtyihin määrälaskelmiin. (MagiCAD Group, 2020) Tietomallista tuotettavassa määräluettelossa on huomioitava, että IFC-tiedostosta siihen tarkoitettulla sovelluksella laskettavat määrät huomioivat vain IFC-tiedostoon viedyt komponentit, kojeet ja symbolit. Luetteloiden ja laskentadokumenttien tilaus suunnitelmien lisäksi tulee tietää heti toteutussuunnitteluvaiheen alusta asti. Vastuukysymykset ja muut oleelliset asiat on syytä määritellä jo tarjousasiakirjoissa epäselvyyksien välttämiseksi.

## 6.9 Reikävarausten mallinnus

Mallipohjaisten reikävarausten sekä elementtien sähkövarausten tekeminen ja vastuut on aina sovittava projektikohtaisesti. Automaattisten reikävarausten luonnin sijaan suositellaan mallinnettavien reikien sijoitusta manuaalisesti luotettavamman lopputuloksen takaamiseksi. Taloteknisen suunnittelijan tehtäviin kuuluu tehdä 3D-reikävarausobjektit rakennesuunnittelijan toimittamaan malliin läpivientien kohdalle (kuva 12). Reikävarauksista tehdään oma projektin muista malleista erillinen IFC-tiedosto kerroskohtaisesti. (YTV2012, Osa 4., 2012)





KUVA 12. Reikävarausten prosessikuvaus (YTV2012, Osa 1. Täydentävä liite., 2012)

Varausobjektiin liitetään kokotiedot ja tekijän tunnistetiedot. Rakennesuunnittelijan tulisi ilmoittaa reikävarauksen tekijälle, mikäli reiän tekeminen kyseiseen paikkaan ei onnistu tai sitä on siirrettävä. Sähkösuunnittelija muuttaa reikien sijoitusta kommenttien perusteella ja toimittaa päivitetyt IFC-tiedostot takaisin rakennesuunnittelijalle. Pääsääntöisesti kokonaan elementin lävistävät reiät tulee toimittaa objekteina. Koloukset ja muut varaukset esitetään perinteisin menetelmin. (YTV2012, Osa 4., 2012) Reikäobjekteissa on usein projekteissa sovittu, että alle 50 mm reikiä ei mallinneta. Reikien mallinnusperiaatteet tulee kuitenkin sopia aina projektikohtaisesti.

## 6.10 Tietomalli urakkalaskennassa ja rakentamisvaiheessa

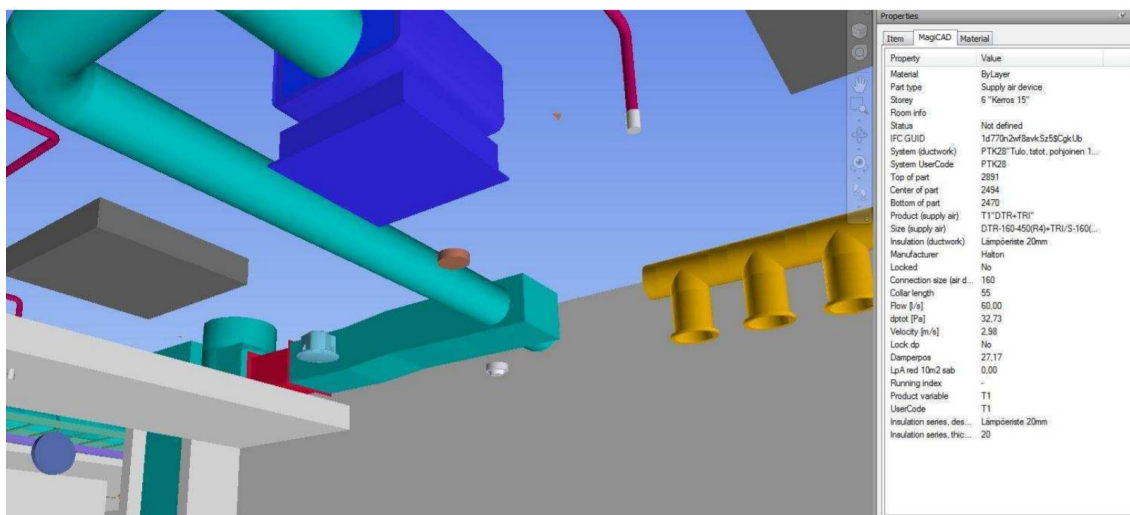
Projektin siirtyessä rakennusvaiheeseen, yhdistelmä tietomalli voidaan jakaa myös urakoitsijalle tarkasteltavaksi asennusta tukeväksi dokumentiksi. Suurin osa yhteensovituksen ratkaisuista on luotu jo suunnitteluvaiheessa. Oleellista onkin, että tietomalli on ajantasainen muiden suunnitelma-asiakirjojen kanssa. Urakka-asiakirjoissa määritellään tietomallin luovuttaminen urakoitsijan käyttöön ja mahdollisesti eteenpäin aliurakoitsijalle. (YTV2012, Osa 13., 2012)

Rakennusvaiheessa tietomallia voidaan hyödyntää esimerkiksi ahtaissa konehuoneissa sekä muissa tarkkaa järjestelmien sijoittelua vaativissa tiloissa. Suunnitteluvaiheessa tehdyt ratkaisut jalkautuisivat hyvin myös toteutukseen, jos tietomallia pystyisi käyttämään tehokkaasti asennusvaiheessa. Projektin edetessä ja suunnitelmien päivittyessä tulee tällöin lisää päivitettäviä dokumentteja.

## 6.11 Tietomalli rakennuksen käytössä ja ylläpidossa

Tietomallien hyödyntäminen rakentamisen jälkeen rakennuksen käytössä, ylläpidossa ja isännöinnissä tarkoittaisi sitä, että tietomallia pystyisi hyödyntämään koko rakennuksen elinkaaren ajan. Tehokkaimmin tietomalleja pystytään hyödyntämään, jos rakennushankkeen aikaisiin malleihin päivitetäisiin rakennusaikeiset muutokset. Lisäksi tulisi huomioida kiinteistön ylläpidon tarpeet mallien tietosisällön suhteen. (YTV2012, Osa 12., 2012)

Ylläpito saisi laitetiedot, valaisintiedot muutostiedot tietomallin kautta selvitettyä tehokkaasti (kuva 13). Tarkastelussa voidaan käyttää yksinkertaisia ohjelmia, mutta haasteena tietomallin päivittämisessä muutosten mukaiseksi olisi oikeiden suunnitteluohjelmistojen käyttö myös ylläpidon toimesta. Tällä hetkellä tietomallin hyödyntäminen suunnitteluvaiheen jälkeen oman kokemuksen mukaan jää vähäiseksi. Nykyiset verkossa sijaitsevat projektipankit mahdollistaisivat rakennuksen yhdistelmämallin liittämisen osaksi projektin luovutettavia asiakirjoja ja tätä kautta hyödynnettäväksi rakennushakkeen valmistumisen jälkeen.



KUVA 13. Laitetietojen selaus tietomallin katseluohjelmalla (YTV2012, Osa 12., 2012)

## 7 TULOSTEN KÄSITTELY

Tietomallinnus mahdollistaa suunnitteluvaiheessa erittäin tarkan työn. Tarkkuus on tärkeä osa laadukasta lopputulosta, mutta voiko suunnitelmat koskaan olla liian tarkkoja? Suunnittelijan on siis tasapainoteltava jokaisessa työvaiheessa riittävän tarkkuuden ja tehokkaan sekä järkevän ajankäytön välillä. Samalla on kuitenkin tuotettava laadukkaat suunnitelmat, joiden avulla toteutus pystytään tekemään. Suunnittelun tarkkuutta määritellessä onkin huomioitava työmaalla syntyvät toleranssit, vaikka suunnitelmia seurattaisiinkin tarkasti. Odottamattomat ongelmat työmailla ovat myös mahdollisia, joten niiden selvittämiseen on myös varauduttava.

Tämän opinnäytetyön tuloksena on tiivistetty pohja ja perusteet yrityksen sisäisen suunnittelu- ja mallinnusprosessin kehittämiseen luotavaan dokumenttiin. Tuloksia voidaan käyttää hyödyksi yrityksen päivittäisissä toiminnoissa ja erilaisissa sisäisissä koulutusmateriaaleissa. Työn aikana huomattiin, että suunnitteluprosessissa pitäisi pystyä selkeästi merkitsemään toimintaketjun puutteet ja löytämään ratkaisut niihin. Työssä käsitellyt sähkösuunnittelu- ja tietomallinnusprosessien kehittämisen toimenpiteet tarkennetaan yrityksen toiminnan mukaiseksi. Tavoitetilan saavuttaminen ja tulosten soveltaminen käytännössä aloitetaan työn julkaisun jälkeen.

Tarkkaa tulosten analysointia ei voida vielä suorittaa, sillä lopullinen kehitystyö tullaan suorittamaan opinnäytetyön julkaisun jälkeen. Tulosten hyödyntäminen on kuitenkin tarpeellista, koska suunnittelu- ja mallinnusprosessin nykytilanteen selvittäminen on olennainen osa kehitystyön aloittamista. Lisäksi yhteen kootut tiedot ja toimintatapojen kehitysehdotukset soveltuvat hyvin suunnittelun kehittämiseen. Opinnäytetyö ei tällaisenaan anna riittävästi tuloksia työhön, sillä jatkotoimenpiteenä on tarkoitus jalostaa toimiva kokonaisuus tämän työn pohjalta. Lopulliseen käyttöön ottoon vaaditaan lisätutkimuksia ja tarkempien ohjeistuksien laatimista. Sisäiseen käyttöön luotavat dokumentit ovat yrityksen omaisuutta, joten niitä ei julkaista opinnäytetyön yhteydessä.

## 8 POHDINTA

Opinnäytetyön aihetta suunnitellessa oma mielenkiinto sähkösuunnittelussa visuaalisemman toteutuksen tuottamiseen oli tärkeässä osassa. Tietomallinnus on myös visuaalisempi toteutus perinteiseen sähkösuunnitelmaan verrattuna, joten sitä kautta aihe tuntui luontevalta ja erittäin mielenkiintoiselta. Työn tavoitteena oli selvittää Granlund Häme Oy:n sähköosaston suunnittelu- ja mallinnusprosessin nykytila. Selvitys sisälsi suunnittelun etenemisen perusrakenteen, toimintatavat sekä suunnittelussa ja mallinnuksessa eniten aikaa vievät työvaiheet.

Tarkoituksena oli toimintatapoja tehostamalla ja kehittämällä saada suunnittelun eri osa-alueissa käytetty ylimääräinen aika minimoitua. Tavoitteena oli luoda kaikille suunnittelijoille hyvä perusta suunnittelun tueksi. Työn pohjalta oli myös tarkoitus tuottaa tietomallinnusohje uusille työntekijöille ja tueksi kokeneille suunnittelijoille mallinnusprojekteja varten. Perustietojen ja toimintatapojen hallinnalla saatiin jokaiselle suunnittelijalle hyvät lähtökohdat tietomalliprojektin läpi viemiseen. Työssä käsiteltiin myös nykyisiä tietomallinnusvaatimuksia ja ehdotettiin niihin yhtiökohtaisia tarkennuksia sekä suunnittelussa huomioitava asioita. Tämän opinnäytetyön puitteissa asetettuihin tavoitteisiin päästiin ja työn pohjalta voitiin alkaa tarkempaa ohjeistusta luomaan yhtiön sähkösuunnittelijoiden käyttöön.

Tulevaisuuden näkymät ovat hyvät tietomallinnuksen käytön ja sen kehittymisen suhteen. Käyttö tulee varmasti lisääntymään työkalujen ja toiminnan kehittyessä nykyisestä suunnitteluvaiheeseen keskittyneestä mallien hyödyntämisestä. Suunnitteluvaiheessa huolellisesti luotu tietomalli voisi olla käytössä koko rakennuksen elinkaaren ajan rakentamisesta huoltotoimenpiteisiin ja kunnossapitoon. Tavoittilan saavuttamiseksi on kuitenkin vielä tehtävä paljon kehitystyötä ja kaikkien projektien osapuolten on ymmärrettävä tietomallin kehitysvaiheen aiheuttamat ongelmat. Lisäksi haasteena tietomallien yleistymiselle ovat esimerkiksi tavat tehdä niin kuten aina ennenkin, puutteelliset tietotaidot ja negatiiviset asenteet uusia toimintatapoja kohtaan.

## LÄHTEET

buildingSMART Finland, 2021. BuildingSMART julkilausuma YTV2020 päivityksen merkityksellisyydestä. Luettu 6.2.2021.

<https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2020/12/YTV2020-julkilausuma-paivitetty-29.1.2021.pdf>

Dooley, K., 2020. Building Digital Twins, Granlund Oy.

Granlund Oy, n.d. Granlund sisäinen materiaali, Helsinki: Granlund Oy.

Granlund Oy, 2020. Granlund konsernin kotisivut. Luettu 10.1.2021.

<https://www.granlund.fi/uutiset/juhlavuottaan-viettava-granlund-on-60-vuotiaana-vireassa-kasvuiassa/>

Granlund Oy, 2020. Granlund konsernin kotisivut. Luettu 10.1.2021.

<https://www.granlund.fi/yhteys/hameenlinna/>

Granlund, U., 2020. Granlund Oy, Uutiset. Luettu 21.1.2021.

<https://www.granlund.fi/uutiset/rakennusten-digitaaliset-kaksoset-yleistyvat-kayttajien-tarpeiden-ehdoilla/>

Harsia, P. & Autio, I., 2004. Sähkösuunnittelun käsikirja. Espoo: Sähköinfo Oy.

Jäväjä, P. & Lehtoviita, T., 2016. Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Helsinki: Rakennustieto Oy.

MagiCAD Group, 2020. Mitä on BIM?. Luettu 10.1.2021.

<https://www.magicad.com/fi/bim/>

TATE 18, 2017. Taloteknisen suunnittelu tehtäväluettelo. Rakennustieto Oy.

YTV2012, Osa 1., 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa1. Yleinen osuus. Luettu 18.1.2021.

[https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_1\\_yleinen\\_osuus.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf)

YTV2012, Osa 1. Täydentävä liite., 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 1. Yleinen osuus, Osa 4. Talotekninen suunnittelu, Täydentävä liite. Luettu 14.1.2021.

[https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YTV2012\\_Taydentava\\_liite\\_SKOL\\_TATE\\_mallinnusvaatimuksia.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YTV2012_Taydentava_liite_SKOL_TATE_mallinnusvaatimuksia.pdf)

YTV2012, Osa 4., 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 4. Talotekninen suunnittelu. Luettu 22.1.2021.

[https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_4\\_tate.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_4_tate.pdf)

YTV2012, Osa 7., 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 7. Määrälas-kenta. Luettu 2.2.2021.

[https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_7\\_maaralaskenta.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_7_maaralaskenta.pdf)

YTV2012, Osa 12., 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 12. Tietomallien hyödyntäminen rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana. Luettu 14.1.2021.  
[https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_12\\_yllapito.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_12_yllapito.pdf)

YTV2012, Osa 13., 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 13. Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa. Luettu 14.1.2021.  
[https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_13\\_rakentaminen.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_13_rakentaminen.pdf)