



Hannu Reponen

Ohjeistus tietomallipohjaista suunnittelua varten

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tutkinto-ohjelman nimi

Insinööriyö

30.5.2021

Tiivistelmä

Tekijä: Hannu Reponen
Otsikko: Ohjeistus tietomallipohjaista suunnittelua varten
Sivumäärä: 21 sivua
Aika: 30.5.2021

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat: Lehtori DI Osmo Massinen

Insinööriyön tarkoitus oli tutkia tietomallipohjaisen suunnittelun käytäntöjä ja ongelmakohtia ja selvittää niiden pohjalta hyviä toimintamalleja onnistuneen suunnittelu-projektin aloittamiseen erityisesti käyttäen MagiCAD- ohjelmistoa.

Työ toteutettiin tutkimalla lähdekirjallisuutta sekä osallistamalla käytännön tietomallisuunnitteluprojekteihin. Työssä pohdittiin myös vaihtoehtoisia tapoja tiettyihin vakiintuneisiin toimintatapoihin.

Työn tuloksena löydettiin useita mahdollisia ongelmakohtia tietomallipohjaisessa suunnitteluprosessissa ja niihin löydettiin ratkaisuja. Johtopäätöksenä tietomallipohjaisessa suunnittelussa on ongelmakohtia, jotka toistuvat projektista toiseen ja tiedostamalla ne etukäteen ja valmistelemalla projektin aloitus huolellisesti, voidaan suunnitteluprosessi viedä läpi vaivattomammin ja välttää ylimääräisen työn tekemistä. Löydettiin myös vakiintuneita käytäntöjä, joita muuttamalla kustannuksia ja työn määrää olisi mahdollista vähentää.

Avainsanat: tietomalli, MagiCAD, talotekniikka, sähkösuunnittelu, IFC

Abstract

Author: Hannu Reponen
Title: Instructions for Model-Based Engineering
Number of Pages: 21 pages
Date: 30 May 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisor: Osmo Massinen, Senior Lecturer

The purpose of the study was to research customs and most common issues of model-based engineering and find solutions to successfully start an engineering project using particularly MagiCAD program.

The study was carried out by researching source material and by participating in model-based engineering projects in practice. Alternative methods to carry out specific established practices were also studied.

As a result, several possible issues were found and solved concerning model-based engineering processes. As a conclusion it can be stated there are recurring issues from project to another concerning model-based engineering and by being aware of those issues beforehand and by organizing the start of the project thoroughly, the project can be carried out more effortlessly and unnecessary work can be avoided. By changing some established practices, there is possibility to reduce expenses and amount of work.

Keywords: Information Model, MagiCAD, building services engineering, electrical engineering, IFC

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yleistä tietomallisuunnittelusta	1
2.1	Tietomallisuunnittelun historia	1
2.2	Tietomallisuunnittelun edut	2
2.3	MagiCAD-ohjelma	3
3	Tietomallisuunnittelun toteutus	4
3.1	Tietomallisuunnitelmaprojektin MagiCAD-pohjainen suunnittelu	4
3.2	Kerroskorot	5
3.3	IFC-malli	6
3.4	L1-vaihe (Ehdotussuunnittelu)	7
3.5	L2-vaihe (Yleissuunnittelu)	8
3.6	Mallipalaverit ja seuranta	9
3.7	Urakkalaskenta-aineisto ja yhteensovitus	9
3.8	Työmaa-aikainen mallikäytäntö	11
3.9	As Built-malli	11
3.10	Yleisimpiä ongelmakohtia	12
3.10.1	Aliresursoitu mallikoordinointi (arkkitehti)	12
3.10.2	Liian myöhään aloitettu yhteensovitus	13
3.10.3	Liian harvoin suoritettu yhteensovitus	13
3.10.4	Lähtötietojen riittämätön sovittu määrä	14
3.10.5	Eroavat näkemykset mallin laajuudesta ja tarkkuudesta	15
3.10.6	Muutokset arkkitehdin koordinaateissa	18
4	Yhteenveto	20
	Lähteet	21

Lyhenteet

IFC	<i>Industry Foundation Classes</i> . Rakennusalan standardi oliopohjaisen tiedon siirtämiseen eri ohjelmistojen välillä.
DWG	Tiedostotyyppi, joka on yleisesti käytössä CAD-ohjelmistoissa.
MEP	<i>Mechanical, electrical and plumbing</i> . MagiCAD-ohjelman tietokanta, joka sisältää kaikki projektin tiedot.
IFC2x3	IFC-standardin nykyään yleisimmin käytössä oleva versio
TaTe	Talotekniikka. Sähkö, LVIS ja muu talotekniikka.

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoitus on tutkia tietomallipohjaista suunnittelua ja selvittää siinä esiintyviä yleisimpiä ongelmakohtia sekä etsiä toimintamalleja, joiden avulla tietomallipohjainen suunnittelu saadaan aloitettua mahdollisimman helposti, nopeasti ja tehokkaasti. Opinnäytetyössä keskitytään erityisesti tarkastelemaan asiaa sähkösuunnittelun ja MagiCAD-ohjelmiston näkökulmasta kuitenkin sivuten muitakin suunnittelualoja ja -ohjelmistoja tarpeen mukaan. Tutkimus suoritetaan osallistumalla tietomallipohjaisiin suunnitteluprojekteihin. Tämän lisäksi työssä käytetään kirjallista aineistoa, joka aihepiirin verrattain nopean muutostahdin vuoksi on pääosin digitaalista, Internetistä ja tietokannoista löytyvää materiaalia.

2 Yleistä tietomallisuunnittelusta

2.1 Tietomallisuunnittelun historia

Tietomallisuunnittelun juuret ulottuvat niinkin kauas kuin 60-luvulle, jolloin osatiin jo visioida tietokoneella suoritettavasta objektipohjaisesta mallinnuksesta ja Ivan Sutherlandin Sketchpad-sovellusta vuodelta 1963 pidetään modernin CAD-suunnittelun esi-isänä. (1.)

Varsinaisesti tietokoneavusteinen suunnittelu, CAD yleistyi 70- ja 80-luvuilla, jolloin kehitystä vauhdittivat omalta osaltaan kylmä sota ja valtioiden välinen kilpavarustelu. (1.)

Ensimmäisiä varsinaisia tietomallisovelluksia oli Charles Eastmanin Building Description System, joka sisälsi monia nykyään käytössä olevia elementtejä kuten graafinen käyttöliittymä, ortografinen- ja perspektiivinäkymä, kirjasto projektiin lisättävistä elementeistä ja valmistajan ja materiaalityypin sisältävä tietokanta. Tullessa 80-luvun alkuun oli kehitetty jo useita erilaisia tietomallisovelluksia. (1.)

Kehitys oli nopeaa Yhdysvalloissa, mutta silloisessa Neuvostoliitossa vaikutti kaksi ohjelmoijaa, jotka määrittivät tietomallin, kuten se tänä päivänä tunnetaan. Leonid Raiz sekä Gábor Bojár, Revitin ja ArchiCAD:n perustajat. ArchiCAD kehitettiin Unkarissa vuonna 1982, ja siitä muodostui ensimmäinen tietomallisovellus, joka oli saatavilla kotitietokoneelle. Autodesk REVIT omalta osaltaan mullisti tietomallisuunnittelun tuomalla suunnitelmiin mukaan ”neljännen ulottuvuuden”, ajan. Tietomalliin voitiin lisätä aikatauluja tietomallien pohjalta sekä simuloida rakennusprosessia. Myöhemmin Revitissä otettiin käyttöön malli, jossa on yksi keskustiedosto, malli, jota arkkitehdit ja insinöörit pystyvät yhdessä työstämään. (1.)

Arkkitehtien ja insinöörien käyttämien useiden erilaisten ohjelmien mallien yhdistäminen oli haastavaa. Vaihtelevat tiedostomuodot aiheuttivat tiedon katoamista, kun malleja yhdisteltiin. Erityisesti tietomallien kohdalla, sillä tieto on hierarkista ja täsmällistä. Tätä tehottomuutta vastaan kehitettiin International Foundation Class (IFC) tiedostomuoto vuonna 1995. (1.)

Autodesk organisoi kahdentoista yksityisen yrityksen allianssin todistamaan useiden rakennusteollisuuden käyttämän ohjelman välisen täyden tiedonvaihdon edut. Nämä yritykset olivat suunnittelu- ja rakennusalalta, sekä ohjelmistokehityksestä. Tuloksena yritykset saavuttivat kolme tärkeää päätelmää. Yhteen toimivuus oli käytännöllistä ja sillä oli suuri kaupallinen potentiaali. Toiseksi kaikkien standardien tuli olla avoimia ja kansainvälisiä. Kolmanneksi allianssin täytyi olla avoin kaikille kiinnostuneille ympäri maailman. (2)

2.2 Tietomallisuunnittelun edut

Tietomallinnuksen tavoite on tehostaa suunnittelua ja rakentamista sekä lisätä laatua ja turvallisuutta. Tietomalleja voidaan hyödyntää koko rakennuksen elinkaaren ajan suunnittelun alusta lähtien, jatkuen aina käyttöön ja ylläpitoon. Tietomallisuunnittelulla saavutetaan monia etuja. Sen avulla voidaan vertailla ratkaisujen toimivuutta, kustannuksia ja laajuutta investointipäätöksien tueksi.

Tietomallit parantavat tiedonsiirtoa, tehostavat suunnitteluprosessia ja mahdollistavat laadunvarmistuksen. (3, s. 5.)

Suunniteltaessa hiemankin monimutkaisempaa kohdetta tietomallinnuksen edut tulevat esille. Pääreittien suunnittelu yhteistyössä muiden suunnittelijoiden kanssa helpottuu, kun ratkaisut säännöllisin väliajoin yhteensovitetaan ja mietitään ratkaisuja törmäyksien ennaltaehkäisyyn ja olemassa oleviin ristiriitoihin ja ongelmatilanteisiin. MagiCAD-ohjelmalla tietomallin luominen on vaivatonta, mikäli suunnittelu päätetään alusta asti tehdä mallintamalla. Perinteiseen 2D-suunnitteluun erona on sähkösuunnittelun osalta, että kaikille symboleille määritellään korot. MagiCAD osaa määritellä automaattisesti symboleille oletuskorot, joten jokaista symbolia ei tarvitse erikseen määritellä.

Vaikka suunnittelua ei olisi tilattu mallinnettavana, on silti monesti järkevää tehdä suunnittelu mallinnusta silmällä pitäen. Tietomallivalmis suunnitelma helpottaa suunnittelutyön tarkastusta ja varmistaa, että suunnitelmat ovat toimivia

2.3 MagiCAD-ohjelma

MagiCAD on Progman Oy:n suomessa kehittämä taloteknisen suunnittelun CAD-ohjelmisto. Ensimmäinen MagiCAD-versio tuli markkinoille vuonna 1998 ja IFC2x3 -sertifikaatin se sai vuonna 2007. (4.)

MagiCAD on AutoCADin pohjalla toimiva suunnitteluohjelmisto. Se sisältää kattavat työkalut sekä sähkö- että LVI-suunnitteluun. Sähkösuunnittelijan apuna on ominaisuudet sähkö-, tele- ja datajärjestelmien piirtoon ja laskentaan, kaapelien ja kaapelihyllyjen mallinnukseen, keskuskaavioiden laatimiseen ja muokkaamiseen. MagiCADissa on myös toiminnot sähkötekniikan laskujen suorittamiseen ja piirustusten tarkastamiseen sekä synkronointimahdollisuus kaavioiden, mallin ja tasokuvien välillä. (4.)

Ohjelmistossa on monipuoliset toiminnot tietomallipohjaiseen suunnitteluun ja se sisältää laajan BIM-objektitietokannan, joka sisältää yli miljoona laitevalmistajien tarkastamaa LVIS-tuotetta. (4.)

3 Tietomallisuunnittelun toteutus

3.1 Tietomallisuunnitelmaprojektin MagiCAD-pohjainen suunnittelu

Uutta tietomallisuunnitelmaprojektia aloittaessa voidaan, kohteesta riippuen, aloittaa joko täysin alusta tai käyttää pohjana toista, samankaltaista projektia. Vanhaa projektia käyttämällä saadaan helposti käyttöön useimmat tarvittavat piirrosmerkit, asetukset ja järjestelmät. Jos päädytään käyttämään olemassa olevaa projektia pohjana, on noudatettava suurta huolellisuutta, ettei toisen projektin projektikohtaisia tietoja jää nykyiseen projektiin.

Kummalla tavalla vain aloittaessa, on hyvä käydä ennen itse piirtämisen aloittamista läpi projektin MEP-tiedosto. MEP-tiedosto sisältää kaikki projektin kannalta oleelliset tiedot, jotka ovat sitten käytössä jokaisessa projektiin liitetyssä piirustuksessa. MEP-tiedosto sisältää kaikki piirrosmerkit, kaapelit sekä esimerkiksi erilaiset automaattiset tekstit, kuten keskustunnukset ja symbolien korkomerkinnät. Piirrosmerkit on hyvä käydä läpi ja varmistaa, että projektissa tarvittavat tärkeimmät piirrosmerkit ovat tietokannassa valmiina. Piirrosmerkkeihin kannattaa tässä vaiheessa määritellä myös oletuskorko niiden symbolien osalta, joissa se on relevantti tieto. Samasta piirrosmerkistä kannattaa tehdä myös useampi versio eri korkotiedoilla, jos se on tarpeellista. Esimerkiksi pistorasiassa voi olla oletuskorko 200 mm ja 1900 mm pyykinpesukoneen ja kiuvausrummun pistorasioita varten.

Valaisimet on myös hyvä määritellä etukäteen, mikäli vain niiden tyypit ovat tiedossa. Valaisimien korot ovat yksi eniten vaihtelevista asioista tietomallisuunnittelussa johtuen alakattojen eri korkeuksista, talotekniikasta ja vaihtelevista erikoisratkaisuista. MagiCAD ei sisällä toimintoa, jossa symboliryhmän korkoa voidaan muuttaa tietty määrä ylös tai alaspäin, mutta tämä onnistuu valitsemalla

symbolit ja siirtämällä niitä AutoCAD:n MOVE-komennolla koordinaatiston Z-suunnassa.

Saatavilla olevat lähtötiedot määrittelevät suuresti, kuinka paljon projektin alussa on mielekästä määritellä projektin asetuksia. Mikäli arkkitehtipohjat ja korot ovat alustavia, ei välttämättä ole järkevää määritellä näitä vielä.

Suunnitteluryhmässä kaikkien suunnittelijoiden on syytä seurata mallia, eikä vain käyttää 2D-kuvia. On paljon helpompi hahmottaa tilavarauksia ja pääreittejä, kun suunnitelman saa visualisoitua monesta suunnasta. Muiden suunnittelijoiden symbolit ja merkinnät eivät välttämättä anna oikeaa kuvaa niiden vaatimasta tilasta 2D-näkymässä, mutta 3D-näkymässä asia hahmottuu nopeasti. Tämä tietenkin vaatii sitä, että käytettävissä oleva malli on oikein tehty ja ajan tasalla.

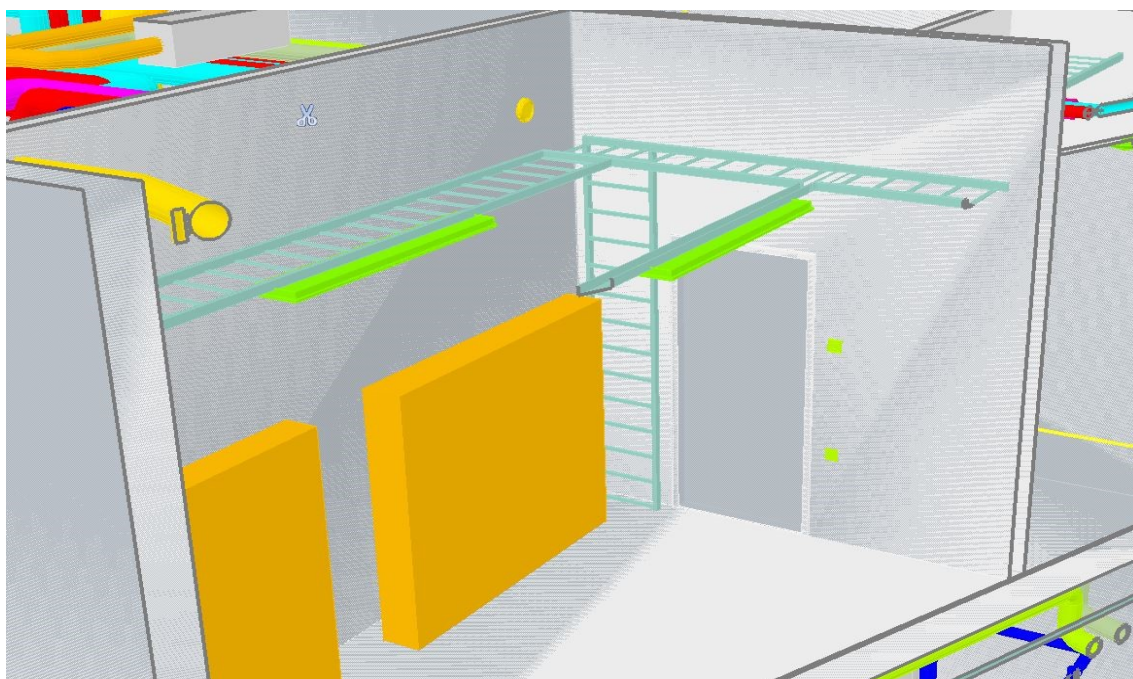
3.2 Kerroskorot

Suunnitelmissa tärkeässä osassa ovat eri kerrosten ja alueiden korot. Arkkitehti yleensä määrittelee käytettävät kerroskorot absoluuttisina korkoina, jotka on usein merkitty arkkitehtipohjiin. MagiCAD sisältää toiminnon, jossa voidaan määritellä kerroskorot, kaikille kerroksille erikseen ja sen jälkeen IFC-tiedostoa luodessa valita mihin kerrokseen mikäkin tasokuva kuuluu. Tasokuvissa kalusteiden, valaisimien ym. Korot määritetään suhteellisina korkoina ts. suhteessa kyseisen kerroksen nollakorkoon. Tämä on pääosin selkeä tapa ja helpottaa korkojen määrittelyä, koska välttyään asettamasta esimerkiksi neljännen kerroksen valaisimelle absoluuttinen korko +45600. Asiassa on kuitenkin toinenkin puoli, nimittäin kun suunnitellaan alueita, joiden nollakorko eroaa muista alueista. Tällaisia alueita ovat mm. porraskäytävät ja asuntojen korotetut tai madalletut osat. Näitä alueita suunnitellessa on erityisen tärkeää muistaa, mikä on kyseisen tasopiirustuksen nollakorko. Jos valokatkaisin laitetaan olohuoneen osaan, joka on 600 mm alempana, on sen oikea korko silloin 400 mm, vaikka se todellisuudessa onkin metrin korkeudella lattiasta. MagiCAD:n nykyinen versio sisältää työkalun, jolla voidaan rakennuksen tietty alue määritellä muuta

rakennusta alemmaksi tai ylemmäksi, jolloin objektien korot määräytyvät automaattisesti oikein.

3.3 IFC-malli

Kun suunnitelmat ovat siinä vaiheessa, että on aika luoda ensimmäinen tietomalli, täytyy suunnitelmat käydä läpi tietomallikoordinaattorin tai TaTe-tehtäväluettelon mukaan. Yleensä tässä vaiheessa pitää tehdä törmäystarkasteluja muiden talotekniikan suunnitelmien kanssa ja varmistaa tilavarausten riittävyys ja reittien toimivuus (kuva 1).



Kuva 1. Tilavaraukset ja sähköreitit keskushuoneessa.

IFC-malli luodaan MagiCAD:n "Import/Export"-toiminnolla. Tavallisesti sähkösuunnitelmista mallinnetaan keskukset, johtoreitit ja katossa sijaitsevat valaisimet. Mallihuoneiden osalta mallinnetaan myös kaikki kalusteet ja seinällä olevat valaisimet.

MagiCAD:in "export IFC"-valintaruudussa on lukuisia valintoja. Ensinnäkin luotavan IFC-tiedoston nimi. Mikäli aikaisempi IFC-tiedosto on olemassa, voidaan

valita myös, että tähän tiedostoon lisätään nykyiset objektit ja tiedot tai voidaan valita, että edellinen tiedosto korvataan uudella. Viimeinen vaihtoehto on yleensä paras, sillä usein on tarpeellista luoda IFC-tiedosto useaan kertaan ja jokaisen luonnin jälkeen tarkastella saatua mallia sopivalla IFC-katseluohjelmalla ja varmistaa, että kaikki on niin kuin kuulukin.

IFC-tiedoston luonnissa valitaan myös käytettävä koordinaatisto. ”IFC-Storey” käyttää MagiCAD:in omia kerrosasetuksia koordinaatteina. WCS käyttää World-koordinaatistoa ja UCS on sillä hetkellä vallitsevana oleva User-koordinaatisto, eli käyttäjän itsensä määrittelemä koordinaatisto.

”Storey Mapping”-kohdassa valitaan DWG-tiedostot, joista malli luodaan. Mikäli on valittu, että luotava malli lisätään aikaisempaan malliin, tai korvataan aikaisempi malli, MagiCAD hakee kerrostiedot tästä tiedostosta ja sen jälkeen voidaan määritellä näitä kerroksia DWG-tiedostoihin. Mikäli käytössä on arkkitehtimalli, tällä tavalla kerroskorot ovat varmasti arkkitehdin määrittelemällä tavalla.

Option-kohdasta valitaan käytettävä malli. Nykyisin käytetään lähes yksinomaan IFC 2X3 mallia, mutta luonnollisesti tämä valitaan tietomallikoordinaattorin määrittelemällä tavalla.

IFC-malliin valitaan mitkä objektit halutaan malliin mukaan. Tähän vaikuttaa suunnitteluvaihe ja se ollaanko mallintamassa esimerkiksi mallihuoneita. Nämä valinnat tehdään ”Object selection”-kohdassa.

3.4 L1-vaihe (Ehdotussuunnittelu)

Ehdotussuunnitteluvaiheessa tehdään vaihtoehtoisia karkeita ehdotuksia suunnitelmiksi. Mikäli talotekniikan asiantuntijoita käytetään jo tässä vaiheessa, voidaan tehdä kuntokartoituksia, mikäli kyseessä on saneerauskohte. Sähkösuunnittelija määrittelee alustavat tilatarpeet, pääreitit sekä tilaa vievät kanavat ja johtoreitit niin, että arkkitehtoniset vaatimukset säilyvät. (3, s. 14.)

Sähkösuunnittelija kartoittaa tässä vaiheessa mm. liittymävaihtoehdot, sähkönjakeluratkaisut, valaistusratkaisut, energianmittausjärjestelmän toteutuksen, teleyjärjestelmien toteutuksen, vaihtoehtoisia ratkaisuja palo-, savunpoisto- ja murtoilmaisujärjestelmille.

Sähkösuunnittelijan tehtäviin saattaa myös kuulua energian tavoitekulutuksen laskenta eri vaihtoehtojen välillä, mallihuoneen mallinnus sekä 2D-leikkaukset. Mallihuoneen avulla voidaan tehdä esimerkiksi valaistusmittauksia ja visualisointeja, joiden avulla voidaan tutustua tuleviin tiloihin ja vertailla erilaisia kalustusratkaisuja. Eri suunnittelualojen ratkaisuvaihtoehtoja vertaillaan, yhteensovitetaan ja suoritetaan suunnitelmien ristiintarkastus pääsuunnittelijan johdolla. (3, s.14.)

Ehdotussuunnitteluvaihe jää usein väliin ja siirrytään suoraan yleissuunnitteluvaiheeseen.

3.5 L2-vaihe (Yleissuunnittelu)

Yleissuunnitteluvaiheessa ehdotusvaiheessa valittua ratkaisua lähdetään kehittämään. Sähkösuunnittelija määrittelee sähkö- ja tietoliikennejärjestelmien osille tilavaraukset.

Yleissuunnitteluvaiheessa on sallittua ja hyväksytyä muuttaa kaikkea. Tässä vaiheessa on tarkoitus tutkia eri mahdollisuuksia ja hakea tilannetta, jota halutaan rakentaa. Toteutusvaiheessa tämä ei enää ole mahdollista. (5.)

Yleissuunnitteluvaiheessa tulee aloittaa eri suunnittelualojen mallien yhteistarkastelu. Sähkösuunnittelun näkökulmasta tärkeää on varmistaa, että järjestelmien tilavaraukset on otettu huomioon. Yleissuunnittelun jälkeen tietomallit sisältävät jo valtaosan toteutussuunnitteluvaiheessa tarvittavista tiedoista. (3, s.16.)

Sekä sähkö-, että LVI-suunnittelussa on tärkeää toimittaa arkkitehdille mahdollisimman tarkat tilavaraukset niin, että arkkitehti saa tietoonsa, kuinka paljon

enintään tilaa eri järjestelmille tarvitaan. Näin arkkitehti pystyy määrittämään mm. alakattojen korot, joita taas TaTe-suunnittelu tarvitsee edetäkseen mallintamisessa.

On myös mahdollista lähettää arkkitehdille alakattoon tulevien järjestelmien paikat, vaikka alakattokuvia ei vielä olisikaan saatavilla. Näin arkkitehti voi merkitä alakattokuvaan valmiiksi esimerkiksi valaisimien paikat, niin että ne sopivat alakattojakoon ja sähkösuunnittelijan on helppo tehdä malli sen perusteella ja välttyä valaisimien siirtelyltä jatkossa.

3.6 Mallipalaverit ja seuranta

Ennen suunnittelukokousta on usein tarpeellista pitää suunnittelijakokous, jossa selvitetään suunnitelmien tilanne tietomallien avulla ja puututaan mahdollisiin ongelmakohtiin. Ennen suunnittelijakokousta tietomallit toimitetaan tietomallikoordinaattorille yhdistämistä varten. Sähkösuunnittelijan on tarkastettava omien järjestelmien sopivuus varattuihin tiloihin sekä suorittaa niiden törmäystarkastelu. (6, s. 6.)

Kaikkien alojen suunnittelijoiden on toivottavaa ilmoittaa muille suunnittelijoille tekemistään muutoksista. Sähkösuunnittelijan on hyvä tarkastaa ensi tilassa muiden suunnittelijoiden muutosten vaikutus omiin suunnitelmiinsa (6, s. 9). Mikäli suunnitelmien muutos aiheuttaa huomiota vaativan ongelman, täytyy tietomallikoordinaattoriin olla ensi tilassa yhteydessä, mielellään hyvissä ajoin ennen suunnittelijakokousta.

3.7 Urakkalaskenta-aineisto ja yhteensovitus

Urakkalaskenta-aineisto on suunnitelmien se vaihe, kun suunnitelmat lähtevät urakoitsijoille laskentaan. Laskennassa urakoitsijat määrittelevät aineistosta massat ja työn määrän ja laskevat sen perusteella urakkatarjouksen. Urakka-aineiston on tärkeää olla mahdollisimman tarkka niiltä osin, kun se vaikuttaa urakan hintaan.

Yleinen käytäntö rakennusalalla on toimittaa urakkalaskenta-aineisto tilaajalle PDF-muodossa. PDF-muoto tasokuvista on kaksiulotteinen näkymä suunnitelmista, ja siitä puuttuu suuri osa mallinnettavasta tiedosta kuten kalusteiden ja johtoreittien korkotiedot (ellei erikseen ilmoitettu) sekä tiedot massoista.

Tilaaaja toimittaa aineiston urakkakilpailussa mukana oleville urakoitsijoille. Jokainen urakoitsija laskee tämän jälkeen aineistosta massat ja muut urakkatarjouksen hintaan mahdollisesti vaikuttavat asiat. Koska aineisto toimitetaan pääsääntöisesti ainoastaan PDF-muodossa, laskevat kaikki urakoitsijat työläästi, kukin erikseen, täysin samoja asioita, jotka olisi mahdollista saada tietomallista esiin erittäin helposti.

Mikäli urakkalaskenta-aineistosta puuttuu olennaista tietoa, joudutaan nämä asiat usein tekemään rakennusvaiheessa lisätöinä, jotka ovat kalliita tilaajalle tai suunnittelutoimistolle. Urakan kokonaisbudjetti on useissa tapauksissa erittäin tiukka, joten tilaajan kannalta on paljon parempi tilanne, jos urakoitsija hyvittää esimerkiksi suunnitelmissa olevat ylimääräiset valaisimet, kuin toisinpäin.

Ennen urakkalaskenta-aineiston luovuttamista on kriittisen tärkeää suorittaa vielä yhteensovitus, jolla varmistetaan, että eri suunnittelualojen viimeisimmätkin muutokset on huomioitu omissa suunnitelmissa. Urakoitsijat, jotka saavat urakkalaskentamateriaalin, eivät yleensä pääse käsiksi tietomalliin, vaan tekevät tarjouksen 2D-tulosteiden, kaavioiden ja luetteloiden perusteella. Näin ollen heillä ei ole mahdollisuutta huomata mahdollisia ristiriitoja, törmäyksiä tai puutteita, jotka tietomallissa ovat näkyvillä.

Urakkalaskenta olisi mahdollista toteuttaa tehokkaammin, mikäli hyödynnettäisiin suunnitteluohjelman tuottamaa tietoa hyväksi. MagiCAD - ohjelmasta on mahdollista saada lähes kaikki tieto, jota urakoitsijat laskevat työläästi käsin tai tarkoitukseen tehdyllä ohjelmistolla. Näitä tietoja ovat mm. valaisinmassat, kaapelien määrä, sähkökalusteiden tyypit ja massat, johtoreittien tyypit ja pituudet sekä kaikkien edellä mainittujen korkotiedot.

Mikäli urakoitsijoilla olisi käytössä kaikki ohjelmiston tietokannasta saatu tieto, vähenisi urakkalaskennassa käytettävä aika merkittävästi sekä virheellisten urakkatarjousten riski pienenesi. Suunnitelmat on kuitenkin tehtävä tarkasti, jotta tällä tavalla saatava tieto on luotettavaa. Jos suunnitelmiin on esimerkiksi vahingossa jäänyt samoja symboleja päällekkäin, laskee ohjelmisto massat väärin, ellei tätä mahdollisuutta oteta huomioon.

3.8 Työmaa-aikainen mallikäytäntö

Projektissa on sovittava tietomallin työmaa-aikaisesta käytöstä ennen rakentamisen aloittamista. Rakentamisen aikana tietomallia ylläpidetään ja varmistetaan, että se on yhdenmukainen muiden suunnitelma-asiakirjojen kanssa. Muiden suunnitelmien päivittyessä, on myös malli päivitettävä vastaavin osin. Mikäli urakoitsija huomaa tietomallissa virheen tai puutteen, on hänen ilmoitettava tästä suunnittelijalle. Suunnittelijan velvollisuus on korjata virheet ja puutteet ja toimittaa uusi versio tietomallista. Tämän lisäksi suunnittelijan on tiedotettava kaikkia muita osapuolia, joita muutos koskee, jotta voidaan varmistaa mallin yhteensopivuus. (6, s. 6, 7, s. 8–9.)

3.9 As Built-malli

As Built-malli, eli toteumamalli tarkoittaa sellaista mallia, joka kuvaa sitä, kuinka rakennus on todellisuudessa rakennettu. Toteutussuunnitteluvaiheen suunnitelmiin joudutaan lähes poikkeuksetta tekemään muutoksia ja korjauksia, koska tietomallia ei ole suunnitteluvaiheessa mahdollista, eikä edes järkevää tehdä niin tarkaksi, että se vastaisi täysin valmista rakennusta. Tähän vaikuttaa jo YTV 2012:n vaatimukset mallin laajuudesta ja tarkkuudesta. Sähkön osalta, ellei erikseen sovita toisin, ei asennuskalusteita mallinneta, kuin mallihuoneen osalta ja kaapeleita ja putkituksia ei mallihuoneessakaan. (8, s. 29.)

As Built-malli luodaan toteutusvaiheen jälkeen yhdistämällä eri suunnittelualojen toteutusta vastaavat mallit yhdeksi ja luomalla siitä yhdistelmämalli.

Kun tietomallista luodaan tuotemalli, joka sisältää koko rakennuksen elinkaarta koskeva tieto, mistä materiaaleista ja tuotteista rakennus on tehty. Se toimii käyttö- ja ylläpitovaiheessa huoltokirjastona, kun suunnitellaan rakennukseen toimenpiteitä. (9.)

3.10 Yleisimpiä ongelmakohtia

3.10.1 Aliresursoitu mallikoordinointi (arkkitehti)

Pääsuunnittelijalla, yleensä arkkitehdilla, on vastuu suunnitelmien yhteensovittamisesta. Suunnittelussa käytettävien tietomallien myötä suunnitteluryhmään tarvitaan tietomallikoordinaattori, jonka tulee olla kokenut ja jolla on riittävä asiantuntemus tietomallintamisesta ja projektinhallinnasta. Tietomallikoordinaattorin tehtäviä ovat:

- tietomallinnuksen päämäärien, tavoitteiden ja laajuuden kuvaaminen
- vastuiden, velvollisuuksien, ja tehtävien selvittäminen osapuolille
- tietomallinnustehtävien ohjeistaminen, koordinointi ja ohjaus
- raportointi hankkeen johdolle ja/tai suunnittelujohtolle
- sovittaessa yhdistelmämallin luominen ja tietoteknisen yhteensovittamisen varmistaminen.

Rakennuttajan tehtävänä on nimetä tietomallikoordinaattori. Tietomallikoordinaattorin rooli on suunnittelussa erittäin tärkeä. Tietomallikoordinaattori pitää huolen, että suunnitelmien yhteensovitus ensinnäkin aloitetaan tarpeeksi aikaisin ja toiseksi, että yhteensovitusta tehdään tarpeeksi usein. Tämän lisäksi tietomallikoordinaattorin on tärkeää seurata, että yhdistelmämallissa havaitut huomiot yhteensovitetaan ja korjataan ajallaan. Jos koordinaattori jättää tehtäviään tekemättä, heijastuu se väistämättä koko tietomallisuunnitteluun. Mallit ovat epätäydellisiä, virheellisiä ja aikataulut eivät pidä. Tietomallinnus menettää tällöin merkityksensä, eikä sen avulla päästä puuttumaan niihin ongelmiin ja asioihin, joita varten se on haluttu ottaa käyttöön alun perin projektiin. Ongelmien ilmaantuessa korostuu pääsuunnittelijan lopullinen vastuu yhteensovittamisesta.

3.10.2 Liian myöhään aloitettu yhteensovitus

Jos yhteensovitus aloitetaan liian myöhään, on vaarana, että eri suunnittelualueiden suunnitelmat ovat jo niin pitkällä, että mahdollisten ongelmakohtien korjaaminen vaatii laajoja muutoksia suunnitelmiin. Mikäli suunniteltu keskus ei mahdukaan oletetulle sijainnille, eikä lisätilaa ole mahdollista saada, keskuksen sijainti täytyy siirtää mahdollisesti täysin toiseen paikkaan, mikä taas osaltaan vaikuttaa sähköreitteihin. Tällaisten muutosten kerrannaisvaikutukset voivat olla suuret. Kun yhteensovitus tehdään tarpeeksi usein, pysyvät muutokset pieninä ja paremmin hallittavina.

Kun tehdään vähänkään isompi muutos tietomalliin, voidaan tehdä nopea väliyhteensovitus virallisten yhteensovitusten välillä. Sähkösuunnittelija lähettää mallin, jossa on ehdotettu muutos muille suunnittelijoille, jotka tarkastavat aiheuttaako muutos yhteentörmäyksiä tai ongelmia suhteessa heidän nykyisiin malleihinsa. Tämä käytäntö vaatii hieman töitä, mutta toisaalta vähentää yhteensovituksessa mahdollisesti havaittuja ongelmia jo ennakkoon.

3.10.3 Liian harvoin suoritettu yhteensovitus

Se mikä on tarpeeksi usein tehty yhteensovitus, riippuu valtavasti kohteesta. Pienissä, yksinkertaisissa kohteissa saatetaan selvittää yhdellä yhteensovittamisella, kun taas vaikeissa, monimutkaisissa kohteissa yhteensovitusiteraatiokierroksia saatetaan tarvita lukuisia. Jos yhteensovitus osoittautuu hankalaksi, on tärkeää, että yhteensovitusta tehdään riittävän usein. Jos yhteensovitusten välillä on pitkä aika, on mahdollista, että eri osapuolien suunnitelmat ovat muuttaneet niin radikaalisti, että suunnitelmia ei enää saa sovitettua yhteen pienillä viilaamisilla, vaan esimerkiksi pääreitit voidaan joutua siirtämään kokonaan eri paikkaan tai iso sähkökeskus joudutaan jakamaan osiin. Mikäli suunnittelija päätyy tekemään suuren muutoksen suunnitelmiin, on hänen viipymättä informoitava muita suunnittelijoita, joita asia koskee ja neuvoteltava mahdollisesta yhteensovituksen tarpeesta.

Yhteensovitus liian harvoin voi johtua myös tietomallikoordinaattorista riippumattomista syistä. Esimerkiksi rakennukseen tehtävä välttämätön iso muutos. Tällaisten isojen muutosten on luonnollisesti mentävä tilaajan/rakennuttajan ja pääsuunnittelijan hyväksynnän kautta jo kustannuskysymystenkin vuoksi, ja se luo haasteita aikatauluille, jotka ovat rakennuslalle tyypilliseen tapaan yleensä tiukat. Edellä mainitun tilanteen sattuessa, tietomallikoordinaattorin on oltava tilanteen tasalla ja vaatia nopeita päätöksiä ja suunnitelmapäivityksiä, jotta muut suunnittelijat pääsevät tekemään omat muutoksensa ja ristiin tarkastelut sekä lopulta suorittamaan yhteensovitus.

3.10.4 Lähtötietojen riittämätön sovittu määrä

Kaikessa suunnittelussa on ensisijaisen tärkeää saada tarvittavat lähtötiedot niin tilaajalta, rakennuttajalta kuin muilta suunnittelijoiltakin. Näihin tietoihin luokituvat mm. tilaajakohtaiset suunnitteluohjeet, rakennuksen pohjakuvat, varustelutaso, LVI- ja RAU-laitteiden tarvitsemat sähköt sekä halutut sähkölämmitys- ja sulatusjärjestelmät.

Arkkitehdin pohjakuvat ovat tärkeää olla niin tarkat kuin mahdollista. Uudiskohhteessa seinät voivat siirtyä ja seinän paksuus muuttua. Saneerauskohteessa arkkitehtipohjat voivat olla epätarkkoja johtuen vanhojen piirustusten puutteista tai rakennukselle tehtyjen muutosten dokumentoimattomuudesta.

Suunnittelijan on selvitettävä, mitkä lähtötiedot ovat kriittisiä suunnittelun onnistumisen kannalta ja pidettävä huoli, että näitä vaaditaan. Jos tilaaja ei heti alussa ilmoita esimerkiksi jostakin suuritehoisesta sähköjärjestelmästä, joka halutaan rakennukseen, voi sen lisääminen myöhemmin kasvattaa keskuksen kokoa, hyllyreittien tarvetta ja liittymäkaapelin kokoa. Keskusten tilavaraukset ovat yleensä ensimmäinen mallinnettava asia ja keskusten koon suureneminen voi vaatia keskustilan suurentamisen, joka monessa tapauksessa on hankalaa tai jopa mahdotonta.

Eräs tärkeimmistä tarvittavista lähtötiedoista on alakattojen korot. Alakattojen korot ovat alkuvaiheessa yleensä lähinnä viitteellisiä ja saattaa tarkentua lopulliseen muotoon vasta urakkalaskentasarjaan ja sen lisäksi muuttua vielä moneen kertaan rakentamisen aikana, kun talotekniikka ei puutteellisten lähtötietojen takia mahdukaan alakaton yläpuolelle, kun ilmastointiputket ja sähköhylyt ovat kasvaneet kokoa.

3.10.5 Eroavat näkemykset mallin laajuudesta ja tarkkuudesta

Yleiset tietomallivaatimukset YTV 2012 (Common BIM requirement, COBIM) on Senaatti-kiinteistöjen vuoden 2007 julkaistujen tietomallivaatimusten päivitys. Hankkeen rahoittajina olivat Senaatti-kiinteistöjen ja buildingSMART:n lisäksi useita kiinteistöjen omistajia, rakennuttajia, ohjelmistotaloja ja rakennusliikkeitä. YTV 2012 14-osainen ohjesarja, jossa annetaan vähimmäisvaatimukset mallinnukselle ja mallien tietosisällölle. Nämä vaatimukset on tarkoitettu kaikissa rakennushankkeissa käytettäväksi niin haluttaessa. Vähimmäisvaatimusten lisäksi on mahdollista esittää tapauskohtaisia lisävaatimuksia.

YTV 2012 on oikein käytettynä ja kaikkien osapuolten ymmärtäessä sen sisällön ja käyttötarkoituksen yhdenmukainen ja selkeä. Mallinnusvaatimukset voidaan tehdä YTV 2012:n tietomallivaatimukseen viitaten suunnittelusopimuksissa. Mikäli sopimuksessa ei ole tarkennettu mallin tarkkuutta ja laajuutta YTV 2012 vähimmäisvaatimusten lisäksi, voi suunnittelun edetessä tulla näkemyseroja näistä asioista. YTV 2012:n vaatimuksissa on selkeästi ja johdonmukaisesti esitetty vaatimukset eri talotekniikan osien ja järjestelmien osalta. Sähköjärjestelmien osalta suurinta osaa järjestelmistä ja komponenteista ei mallinneta ollenkaan tai mallinnetaan vain mallihuoneistoon tai -kerrokseen.

Sähkösuunnittelijan on tärkeää tutustua YTV 2012:n vaatimukseen ja sisäistää ne kohdat, jotka ovat olennaisia oman suunnittelualan osalta, jotta voi mahdollisten erimielisyyksien ilmetessä viitata sovittuihin tietomallivaatimukseen ja suunnittelusopimukseen. Tietomallivaatimuksia voidaan suunnittelun edetessä tarkentaa, mutta tämä on suunnittelijan kannalta suunnittelusopimuksen

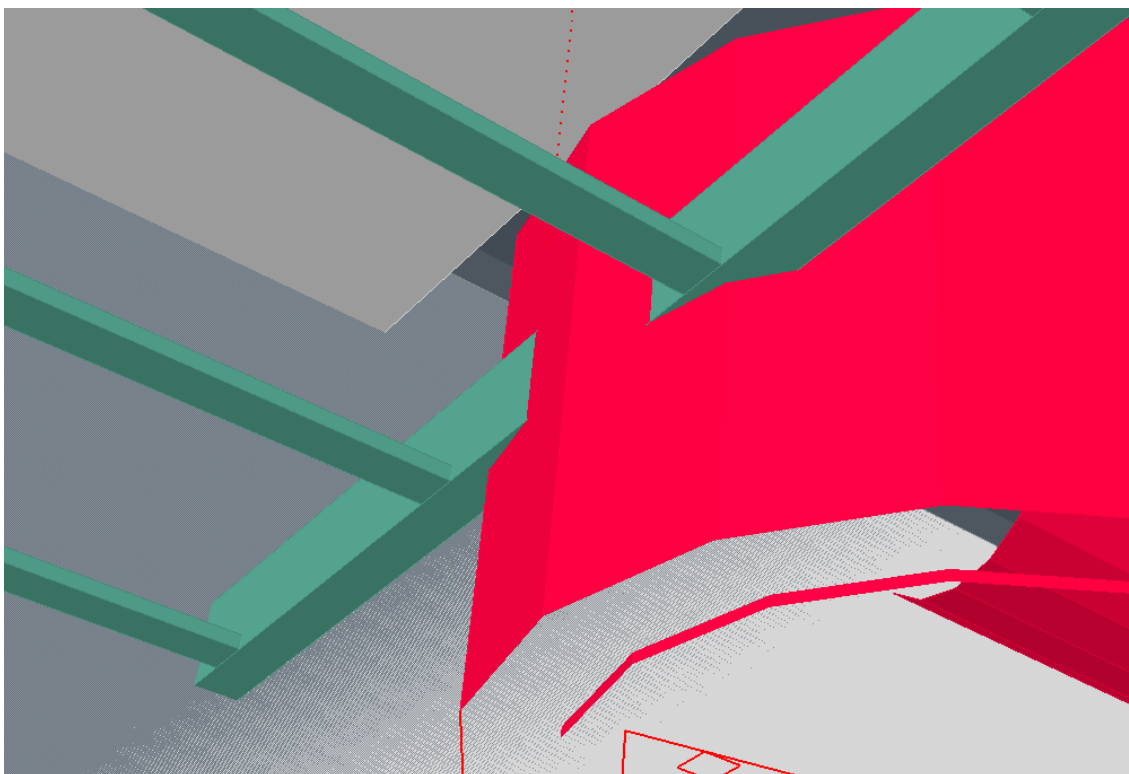
ulkopuolista lisätyötä, mikäli tietomalli halutaan laajempaan tai tarkempaan, kuin YTV 2012 ja suunnittelusopimus määrittelevät.

Geometrian tarkkuuden toleranssiksi on määritelty mallihuoneissa- ja alueissa TaTe-suunnittelun osalta 50 mm

Taulukko 1. YTV 2012:n mukaiset geometrian tarkkuustasot (8, liite 1 s. 1)

Komponentti / tehtävä	Yleissuunnittelu				Toteutussuunnittelu			
	2D	BIM	Geometrian tarkkuustaso	Tietosisältö	2D	BIM	Geometrian tarkkuustaso	Tietosisältö pääverkostojen ja järjestelmien osalta
TATE								
TATE-vaatimusmalli			kts. Tekstiosuuden kappale 3	kts. Tekstiosuuden kappale 3			kts. Tekstiosuuden kappale 3	kts. Tekstiosuuden kappale 3
2D-leikkaukset	x		Putkistojen, kanavien, kaapelihyllyjen, valaisinten jne. komponenttien toleranssi 1cm. Kannakointi esitettävä. Eristyspaksuus mukana.	Leikkaukset tehdään vähintään peruskäytävistä. LVI-suunnittelija koordinoi TATE-leikkaukset	x		Putkistojen, kanavien, kaapelihyllyjen, valaisinten jne. komponenttien toleranssi 1cm. Kannakointi esitettävä. Eristyspaksuus mukana.	Leikkaukset tehdään vähintään peruskäytävistä, ikkunapenkeistä, kullujen ulostuloista, TATE-tekniikkakerroksista (kellarit, putkitunnelit jne.). LVI-suunnittelija koordinoi TATE-leikkaukset
Reikävarausobjektit					x	x	Oikea sijainti, toleranssi 0cm	Mitat, urakoitsijatieto, abs.korkoasema
Näkyvät alakattoasennukset					x	x	Arkkitehdin alakattokuvan mukaisessa paikassa. Mallinnetaan kaikki alakattopintaan asennatavat komponentit (ilmaisimet, valaisimet, kaiuttimet, päätelaitteet jne.).	kts. Taulukon muut kohdat. Onnistuneeseen mallinnukseen tarvitaan arkkitehdin alakatto mallinnettuna sekä alakattoruutujako ja laitesijoitus 2D-alakattopiirustuksessa
Mallihuoneet ja -alueet		x	kts. Tekstin kappale 4.3, toleranssi 5cm	kts. Tekstin kappale 4.3		x	Toleranssi 5cm.	kts. Taulukon muut kohdat. Onnistuneeseen mallinnukseen tarvitaan arkkitehdin sekä rakennesuunnittelijan malli
Palvelualuekaaviot	x		Tilojen mukaisesti. Jos tilaobjekti pitää jakaa useampaan palvelualueeseen, tekee TATE-suunnittelija sen omana työnä	Palvelualueiden tunnistetilarühmäkohtaisesti (esim. "IV-kone 301TK01, Toimistot 1-3. krs")	x		Tilojen mukaisesti. Jos tilaobjekti pitää jakaa useampaan palvelualueeseen, tekee TATE-suunnittelija sen omana työnä	Palvelualueiden tunnistetilarühmäkohtaisesti (esim. "IV-kone 301TK01, Toimistot 1-3. krs")

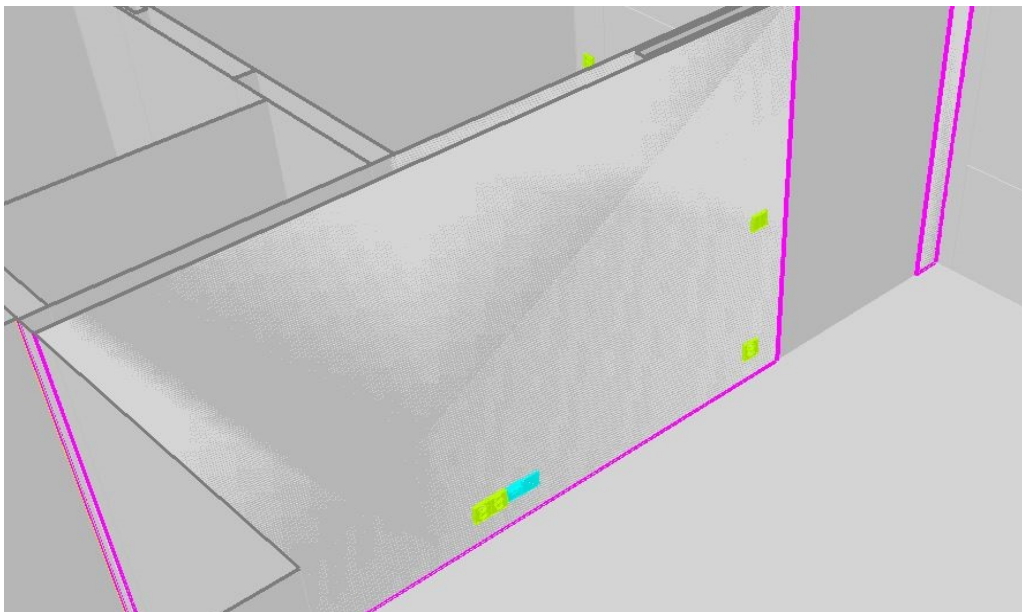
Sähkösuunnittelussa suunnittelu tehdään keskuksia ja johtoreittejä lukuun ottamatta pääosin symbolien avulla. Mikäli pistorasiat, kytkimet ja muut kalusteet piirrettäisiin tasokuvaan todellista kokoa vastaavana, ne olisivat pienen kokonsa vuoksi huonosti luettavissa. tämänkin vuoksi 50 mm toleranssi on varsin riittävä tarkkuustaso (kuva 2).



Kuva 2. Sallittu 50 mm:n leikkaus sähköhyllyn ja ilmanvaihtokanavan välillä.

Elementtisuunnittelussa sähköpisteiden ja läpivientien sijainti ja korkotiedot on oltava tarkalleen oikein. Tietomallin tarkkuus ei sähkösuunnitelmien osalta yleensä riitä elementtisuunnittelun vaatimaan tarkkuuteen, vaan elementtisuunnitelmiin piirretään sähköpisteistä, putkituksista ja rei'istä tiedot todellisilla mitoilla ja sijainneilla.

Arkkitehti- rakenne- ja LVI-suunnitelmat ovat pääsääntöisesti tehty todellisilla mitoilla. Tämän vuoksi näiden suunnittelualojen suunnittelijoille, pääsuunnittelija mukaan lukien saattaa olla epäselvää mitä YTV 2012:n tarkoittama tarkkuustaso tarkoittaa. Jos pistorasia leikkaa hieman lämpöpatteria, voidaan se kuitenkin 50 mm toleranssi huomioiden asentaa kyseiseen paikkaan. 2D-tasokuvista luodut IFC-mallit luovat MagiCAD-ohjelmalla 3D-objektit 2D-symbolien paikalle, jolloin esimerkiksi kaksi vierekkäistä pistorasiaa ovat IFC-mallissa kaukana toisistaan. Mallihuonetta luotaessa tämä täytyy ottaa huomioon ja siirtää tarvittaessa 3D-objektit niin, että 50 mm minimitoleranssivaatimus täyttyy (kuva 3).



Kuva 3. Sähköpisteiden 3D-objektit todellisia sijainteja vastaavasti.

Vaikka vielä ei ole tarkkaa tietoa, minkälaista ja miten rakennetaan, voidaan TaTe-suunnittelijoilta vaatia toteutustason suunnitelmia, koska projektinjoh-tourakoitsija haluaa kilpailuttaa TaTe-urakoinnin kiinteällä hinnalla. Toteutusta-son suunnitelmat tehdään siis aivan liian aikaisessa vaiheessa.

Tähän ongelmaan yhdeksi ratkaisuvaihtoehdoksi Tero Järvinen Granlund Oy:stä on laatinut ohjeistuksen ”TaTe-mallinnus rinnakkaisen suunnittelun ja to-teutuksen hankkeissa”, jossa toteutussuunnitelmat tehdään rakentamisen tar-peiden ja muiden alojen suunnittelun edistymisen tahdissa. (5.)

3.10.6 Muutokset arkkitehdin koordinaateissa

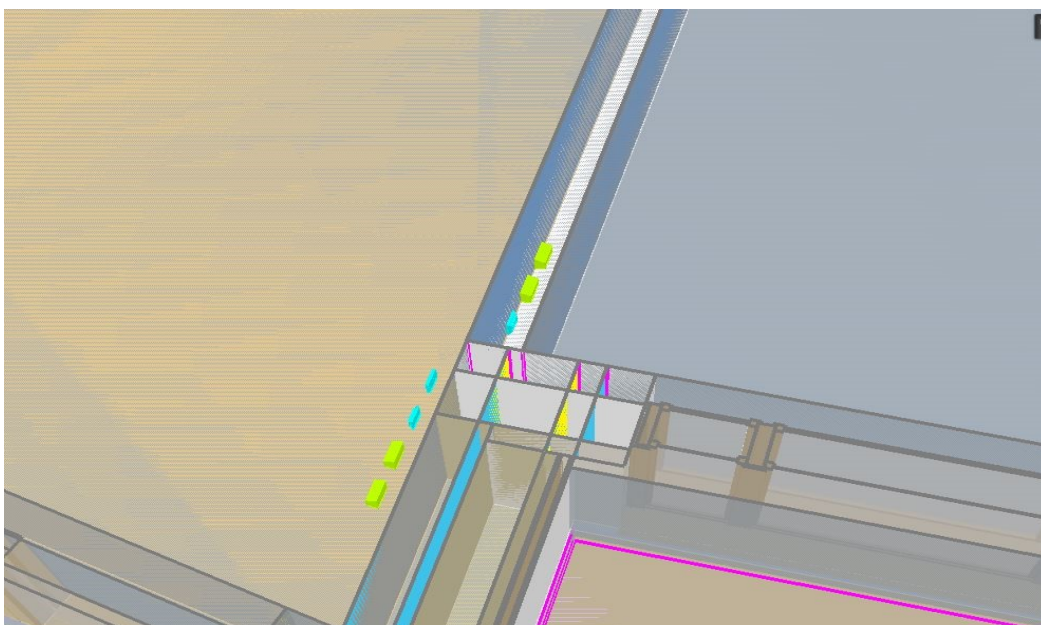
Kun suunnittelu tilataan tietomallinnettavana, on tärkeää pitää ennen suunnitte-lun aloitusta suunnittelijoiden kokous, jossa tietomallikoordinaattori/pääsuunnit-telija kertoo käytettävät koordinaatit ja origon paikan. Tämän jälkeen nämä lyödään lukkoon, eikä niihin tehdä muutoksia kuin erittäin painavista syistä.

Kerroskorot luonnollisesti saattavat muuttua ja rakennuksen paikka elää alustavista suunnitelmista, mutta nämä muutokset on käytävä läpi mahdollisimman pian ja niin, että ne ovat koko suunnitteluryhmälle selvät.

Kun tietomalli on ensimmäisen kerran luotu arkkitehdin antamien koordinaattien mukaan, on seuraavat mallit helppo muodostaa, mikäli koordinaatit pysyvät samoina. Jos koordinaatteja muutetaan, joudutaan joissain tapauksissa sähkösuunnitelmat siirtämään käsipelillä uuteen paikkaan. Tämä muodostaa virheen mahdollisuuden etenkin, mikäli koordinaatit ovat myös kääntyneet z-akselin suhteen.

$$b = \frac{\alpha}{360^\circ} 2\pi \quad (1)$$

Kaavasta 1 voidaan laskea, että jos koordinaatit ovat kääntyneet, niin 0,05 asteen virhe tarkoittaa 100 metriä pitkässä talossa 87,3 mm virhettä. Virheen takia osa sähkökalusteista tai -laitteista voi jäädä rakenteiden sisään piiloon (kuva 4). Hankalissa ja ahtaissa paikoissa tämä voi tarkoittaa hankalia ongelmia yhteensovituksessa, mikäli virhettä ei huomata ajoissa.



Kuva 4. Koordinaatiston virheen vuoksi osa sähköpisteistä on seinän sisällä ja osa irti seinästä.

4 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin hyvää tapaa tietomallipohjaisen suunnittelun aloittamiseksi sekä ratkaisuja tietomallipohjaisen suunnittelun yleisimpiin ongelmiin. Työssä tutkittiin suunnittelussa vallitsevia erilaisia käytäntöjä ja etsittiin toimivia tapoja aloittaa onnistunut tietomallisuunnittelu. Työssä havaittiin, että sähkösuunnittelu muodostaa vain yhden osan onnistuneesta tietomallisuunnittelusta ja onnistunut suunnittelu vaatii kaikkien suunnittelijoiden ja tietomallikoordinaattorin saumatonta yhteistyötä. Havaittiin myös, että rakennusalalla on paljon vakiintuneita käytäntöjä, jotka ovat osin vanhentuneita ja jotka hidastavat ja hankaloittavat sekä suunnittelua, että urakointia.

Työssä havaitut sähkösuunnittelua koskevat asiat huomioonottamalla sähkösuunnittelija voi omalta osaltaan vaikuttaa koko suunnitteluprosessin sujuvuuteen ja esimerkiksi tuoda hyvää tietomallisuunnittelukulttuuria myös muille suunnittelualoille.

Lähteet

- 1 Quirk Vanessa. A Brief History of BIM. 2012. Verkkoaineisto. ArchDaily. <<https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>> Luettu 30.1.2019.
- 2 History. 2019. Verkkoaineisto. buildingSMART. <<https://www.buildingsmart.org/about/about-buildingsmart/history/>> Luettu 13.5.2019.
- 3 Yleiset tietomallivaatimukset 2012 (YTV2012) osa 1 Yleinen osuus. BuildingSMART Finland.
- 4 MagiCAD. 2019. Verkkoaineisto. Progran Oy. <<https://www.magicad.com/en/>> Luettu 20.6.2019.
- 5 Järvinen Tero. Tate mallinnus rinnakkaisen suunnittelun ja toteutuksen hankkeissa. 2018. Verkkoaineisto. Blogger. <<http://tietomalli.blogspot.com/2018/08/TaTe-mallinnus-rinnakkaisen.html>> Luettu 13.5.2019.
- 6 Yleiset tietomallivaatimukset 2012 osa 13 Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa. BuildingSMART Finland.
- 7 Yleiset tietomallivaatimukset 2012 osa 12 Tietomallien hyödyntäminen rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana. BuildingSMART Finland.
- 8 Yleiset tietomallivaatimukset 2012 osa 4 Talotekninen suunnittelu. BuildingSMART Finland.
- 9 Tuotemallitieto rakennusprosessissa. Verkkoaineisto. PRO IT. <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/tiedotteita/proit_esite_no1.pdf> Luettu 15.5.2019.