



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Valtteri Rytömaa

Sähkösuunnitelmien esitystapojen kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinööriytyö

30.11.2019

| | |
|--|---|
| Tekijä Otsikko | Valtteri Rytömaa Sähkösuunnitelmien esitystapojen kehittäminen |
| Sivumäärä Aika | 25 sivua + 1 liite 30.11.2019 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | talotekniikka |
| Ammatillinen pääaine | sähköinen talotekniikka |
| Ohjaajat | lehtori Jarno Nurmio sähkösuunnittelija Henri Waaramaa |
| <p>Insinööriyössä selvitetään sähkötulosteiden havainnollistamisen parannusmahdollisuuksia. Tätä tavoitetta lähdettiin tavoittelemaan Revit-ohjelmiston tuomilla lisäominaisuuksilla. Työn edetessä Revitin ominaisuuksista keskityttiin mallinnus- sekä väritulostamiseen.</p> <p>Työssä käydään läpi vaihe vaiheelta Revit-ohjelmiston tasonäkymien sekä mallinnusnäky- mien tulostusprosessi. Tämän lisäksi esitetään vaiheittain view templatella tehtävien näky- mämuutosten toimintaa sekä esitetään filttareiden luonti ja käyttötarkoitus. Työssä tehtiin myös Granlund oy:lle oma view template projekteihin käytettäväksi. Tämä sisältää järjes- telmäkohtaiset väriasetukset sekä tasonäkymä- sekä mallinnusnäkyvätulostamiseen.</p> <p>Väritulosteiden käyttö on sähköurakoinnissa toistaiseksi vähäistä ja työssä pohdittiin väri- tulosteiden hyötyjä sekä haittoja. Lopputuloksena todettiin väritulosteiden olevan hyvä mal- lintamistulosteisiin sekä tiloihin, joissa on useampia jännitetasoja johtoteissä.</p> | |
| Avainsanat | Sähkösuunnittelu, tietomalli, Revit |

| | |
|---|--|
| Author Title | Valtteri Rytömaa Improving the Illustration of Electrical Designs |
| Number of Pages Date | 25 pages + 1 appendix 30 November 2019 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Building Services Engineering |
| Professional Major | Electrical Building Services |
| Instructors | Jarno Nurmio, Senior Lecturer Henri Waaramaa, Electrical Designer |
| <p>In this Bachelor's thesis we explored the possibilities of improving the illustration of electrical prints. This goal was pursued with the additional features provided by Revit software. As the work progressed, the features in Revit that was mostly focused on were modeling and color printing.</p> <p>The Bachelor's thesis introduced, step-by-step, the process of printing level views as well as modeling views on Revit software. In addition, a guide was created in the final year project to show how to changes made on the View template affects the model, as well as how filters are created and used. The project also made a unique view template to be used in projects, which includes system-specific color settings for both level view and modeling view printing.</p> <p>The use of color prints in electrical contracting, is at the moment, limited. The thesis considered the benefits and disadvantages of color prints. As a result, colour prints were found to be good for modeling prints as well as in areas with multiple voltage levels in the wiring.</p> | |
| Keywords | electrical building services, BIM, Revit |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Tietomallinnus yleisesti | 1 |
| 2.1 | YTV2012 | 2 |
| 2.2 | Talotekniikan tietomallinnusvaatimukset | 2 |
| 2.3 | Tietomallien käyttö taloteknisessä suunnittelussa | 3 |
| 3 | Suunnitteluohjelmat | 3 |
| 3.1 | MagiCAD for Revit | 3 |
| 3.2 | CADS-Electric | 4 |
| 3.3 | MagiCAD for Autocad | 5 |
| 3.4 | Tulevaisuuden näkymät | 5 |
| 4 | MagiCAD for Revit | 5 |
| 4.1 | Tasotulostus | 5 |
| 4.1.1 | Scope box | 6 |
| 4.1.2 | Crop View | 9 |
| 4.2 | Mallinäkömman tulostus | 9 |
| 4.3 | Leikkauskuvat | 10 |
| 4.4 | Tulostuspohja | 11 |
| 5 | View template | 12 |
| 5.1 | Visibility / Graphic overrides | 14 |
| 5.1.1 | Model categories ja annotation categories | 15 |
| 5.1.2 | Filters | 16 |
| 6 | Väritulosteet | 19 |
| 6.1 | Kustannus | 20 |
| 6.2 | Ongelmat | 20 |
| 6.3 | Värinäkö | 21 |

| | | |
|-----|---|----|
| 6.4 | Hyötysuhde | 22 |
| 7 | Revitin muita hyödyllisiä asioita | 23 |
| 7.1 | Massalaskenta Revitissä | 23 |
| 7.2 | Huoltoalue | 23 |
| 8 | Yhteenveto ja pohdintaa | 24 |
| | Lähteet | 25 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. Johtoteiden mallinnusvärivaatimukset | |

Lyhenteet

| | |
|------------|---|
| 2D | kaksiulotteinen |
| 3D | kolmiulotteinen |
| CAD | Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu |
| IFC | Industry Foundation Classes, kansainvälinen avoin tiedonsiirtostandardi |
| LVI | lämpö-, vesi ja ilmanvaihtojärjestelmät |
| Magiacad | MagiCAD talotekniikan suunnitteluun tarkoitettu erillinen lisäosa AutoCAD-, sekä Revit-ohjelmistoille |
| Progman Oy | MagiCAD Group:n vanha nimi |
| YTV | Yleiset tietomallivaatimukset 2012 |

1 Johdanto

Työn tarkoituksena on selvittää uudenlaisten työmaata tukevien sähkösuunnitelmien luontia. Insinööriyön suunnitteluohjelmaksi valikoitui MagiCAD for Revit, sen sisäänrakennetun mallinnusominaisuuden perusteella sekä koska itselleni ei ollut käyttökokeusta tästä ohjelmasta. MagiCAD for Revitin käyttö on myös lisääntynyt sähkösuunnittelijoiden työkaluna viime vuosina, ja tämä antoi hyvän lähtökohdan ohjelmaan perehtymiseen. Suuret eroavaisuudet toimintatavoissa verrattuna MagiCAD for AutoCAD ja CADSiin vaikeuttavat ohjelman käyttöönottoa. Tämän takia laadittiin myös ohje, Revitin tulostusnäkyvien toteuttamiseen, sekä niiden muokkaamiseen.

Uudenlaisten sähkötulosteiden puolesta työ kohdistettiin väritulostukseen sekä mallinnusnäkyvätulosteiden mahdollisuuteen. Väritulostaminen on aiemmin ollut pääosin esimerkiksi huoltokirjadokumenteissa esiintyvä ominaisuus. Työssä selvitetään tämän syitä sekä väritulostuksen mahdollisuuksia tulevaisuudessa.

Insinööriyöni toimeksiantaja on Granlund Oy. Yritys on jatkuvasti kehittyvä ja kasvava kiinteistö- ja rakennusalan asiantuntijakonserni. Granlund on perustettu vuonna 1960 ja työllistää satoja asiantuntijoita ympäri Suomen. Granlund on markkinajohtaja esimerkiksi LVI-, sairaala- ja konesalisuunnittelussa sekä tarjoaa laajaa asiantuntemusta myös ohjelmistokehityksessä. [9]

2 Tietomallinnus yleisesti

Tietomallinnuksen päätavoitteena on rakennusalan töissä tukea suunnittelua ja rakentamista koko rakennushankkeen ajan. Tietomallintamisen avulla voidaan selkeyttää päätöksentekoprosesseja, helpottaa havainnollistamista ja yhteensovittaa eri suunnittelualojen suunnitelmia. Tämä mahdollistaa enemmän dynaamista työskentelyä eri suunnittelualojen välillä sekä helpottaa alojen välistä kommunikaatioita. Yleisenä tavoitteena on tehostaa rakentamisen aikaista toimintaa työmaalla. Tietomallinnus selkeyttää rakentamisen tavoitteita ja parantaa työmaaturvallisuutta. [2, s. 5.]

2.1 YTV2012

Yleiset tietomallinnusvaatimukset 2012 (YTV2012) on neljätoistaosainen julkaisusarja, joka pitää sisällään tietomallinnusta koskevia perusasioita, käsitteitä ja vaatimuksia. Arkkitehti, rakenne- ja talotekniseen suunnitteluun on aineiston omat osat sekä vaatimukset. Yleisvaatimuksena on myös määritelty, että julkisissa hankkeissa eri alojen suunnittelijoiden on käytettävä mallinnusohjelmia, jotka tukevat vähintään IFC 2x3 -tiedostomuotoa. [2, s. 5–6]

IFC-tiedosto on avoin tiedonsiirtomuoto, jolla voidaan siirtää tietomalleja ohjelmistojen välillä. Tällä hetkellä käytetään yleisesti versiota IFC 2x3, vaikka tiedostosta on julkaistu monia eri versioita. Uusin versio on tällä hetkellä IFC 4 Add1, joka julkaistiin vuonna 2015. [11]

2.2 Talotekniikan tietomallinnusvaatimukset

Yleiset tietomallinnusvaatimukset 2012 osassa 4 on määritelty taloteknisen suunnittelun vaatimukset. TATE-malleja julkaistaessa on varmistettava, ettei mallissa ole muiden suunnittelijoiden objekteja, vaikka niitä olisi käytetty referensseinä. Suunnittelija on vastuussa oman työnsä vaatimusten- ja sopimuksenmukaisuuden tarkistamisesta, mutta tietomallit voidaan myös tarkistaa prosessin aikana kolmannen osapuolen toimesta. [3]

Todellisten mittojen mukaan tulee mallintaa johtotiet. Kannakoinnin mallintamista johtoteille ei vaadita. Keskukset, kaapit ja sähkön pääjakeluun liittyvät komponentit ja laitteistot tulee mallintaa mitoiltaan vähintään todellisiksi tai suunnittelijan arvioimiksi yksinkertaisiksi 3D-objekteiksi. Valaisimissa tulisi ensisijaisesti käyttää suunnitteluohjelmien objektikirjastosta valmiita valaisinmalleja, mutta niiden puuttuessa riittää, että käytetään mitoiltaan vastaavaa valaisintyyppiä. [3, s. 28–29.]

Vähän tilaa vieviä komponentteja, kuten kytkimiä tai pistorasioita ei välttämättä tarvitse mallintaa 3D-geometriansa osalta paitsi erikseen sovituisissa mallihuoneissa tai -alueissa. Asennuskaapeleita ja putkia ei mallinneta lainkaan kolmiulotteisesti. Asennuskalusteita ei huomioida törmäystarkasteluissa. [3, s. 29.]

Mikäli turvajärjestelmiä mallinnetaan, luodaan ne omaan malliinsa tietoturvallisuuden nimissä. Rakennusautomaation komponentit luodaan joko omaan malliin tai osaksi sähkömallia, mutta kummassakin tapauksessa komponenttien oikea sijoitus on rakennusautomaatiosuunnittelijan vastuulla. Liitteessä 1 on tarkemmin esitetty eri komponenttien tietomallinnuksen vaatimukset, geometriset tarkkuustasot sekä tietosisällöt. [3, s. 29–32.]

2.3 Tietomallien käyttö taloteknisessä suunnittelussa

Taloteknisessä suunnittelussa tietomallia käytetään pääosin törmäystarkasteluihin eri suunnittelualojen välillä sekä asennusten toteutettavuuden suunnitteluun. Tietomallipohjainen suunnittelu mahdollistaa myös massalaskennan toteuttamisen suunnitteluohjelman kautta. Tätä mahdollisuutta käytetään toistaiseksi vähän vanhojen tottumusten johdosta.

3 Suunnitteluohjelmat

Tällä hetkellä Suomessa sähkö- ja automaatiosuunnittelussa hallitsevana suunnitteluohjelmana on CADS [4]. MagiCAD for AutoCAD on LVI-suunnittelussa suosituin suunnitteluohjelmisto sekä toiseksi suurin sähkö- ja automaatiosuunnittelussa. Molemmassa suunnitteluohjelmassa on sisäänrakennettu 3D-suunnitteluominaisuus. Ohjelmat mallintavat kaapeliteiden lisäksi myös kaikki objektit sekä mahdollisesti johdotuksen, mikä tekee siitä erittäin raskaan tietokoneelle. Kun halutaan nähdä sähkötikkaiden reittejä, käännetään suunnittelutiedosto IFC-muotoon ja tutkitaan kohtaa erillisellä mallin tarkasteluun tarkoitetulla ohjelmistolla.

3.1 MagiCAD for Revit

MagiCAD for Revit on viime vuosina yleistynyt suunnittelussa sen kolmiulotteisen mallinnusympäristön takia. Ohjelma on rakennettu toimimaan mallinnussuunnittelua varten. Revit myös tiivistää eri suunnittelualojen suunnitteluprosessia mahdollistamalla talotekniikan objektien liittämisen osaksi koko rakennuksen mallia, jos natiivimalli on tehty

Revitillä. Muissa ohjelmissa eri suunnittelualojen suunnitelmat ovat vain toistensa päälle lisättyjä malleja. Tämä siis tarkoittaa Revitin osalta sähkösuunnittelijalle sitä, että sähkökalusteet liittyvät parametrisesti esimerkiksi seinään, kattoon tai asennuskouruun. Arkkitehdin muuttaessa katon tai seinän paikkaa myös sähkökaluste siirtyy sen mukana. Tämä helpottaa mallin ylläpitoa sekä poistaa suunnitteluajan käyttöä eri objektien oikean koron varmistamiseksi.

Tämän insinööriyön aikana käytettiin Revitin versiota 2019. Tässä versiossa projektia ei voi tallentaa vanhempaan versioon ja uudemman version tiedostoa ei voi avata vanhemman ohjelman versiolla. Tämä tarkoittaa, että jokaisella projektia tekemässä olevalla osapuolella on oltava sama versio ohjelmasta. Tämä ongelma on näkyvin suurissa, monen vuoden projekteissa, joissa joko pitää koordinoida yhteinen päivä päivitykselle tai käyttää monta vuotta vanhaa versiota ohjelmasta. Revit-lisenssit ovat vuosiversio kohtaisia. Tämä voi olla suurikin ongelma pienemmille suunnittelutoimistoille, jotka tarvitsevat useamman vuoden lisenssejä suhteessa enemmän kuin isompi organisaatio.

Revitin workshare-ominaisuus mahdollistaa arkkitehdin ja TATE-suunnittelun työskentelyn yhteisessä revit ympäristössä pilven kautta. Tämä tarkoittaa, että kaikki tekevät työtä samassa mallissa, jossa voidaan tehdä reaaliaikaisia törmäystarkasteluja. Tämä myös poistaa tietomallien sekä muiden suunnittelualojen suunnittelutiedostojen päivittämiseen käytetyn ajan. Workshare myös mahdollistaa saman tason muokkausta monen eri ihmisen toimesta samaan aikaan. CADS ja AutoCAD-ohjelmistoissa vain yksi kerrallaan voi tehdä muutoksia tiedostoon. [1]

3.2 CADS-Electric

CADS-Electric on Kymdatan kehittämä suunnitteluohjelmisto, joka on Suomessa käytetyin sähkö- ja automaatio suunnittelujärjestelmä. CADS liittyi syksyllä 2019 CADMATIC groupiin. Vaikka Suomessa CADS on käytetyin, ei se ulkomailla ole yhtä suuressa suosiossa kuin MagiCAD Revitille ja AutoCADille. CADS-ohjelmistoon on myös saatavilla LVI-suunnitteluun käytettävä HEPAC ja arkkitehti- ja rakennesuunnittelun mallintava työkalu HOUSE. CADS-ohjelmistolla pystytään toteuttamaan talotekninen suunnittelu kokonaisuudessaan 2D-, 3D- sekä tietomallipohjaisesti. [4]

3.3 MagiCAD for Autocad

MagiCAD for AutoCAD -ohjelma on toiseksi yleisin sähkö- ja automaatio suunnitteluun käytetty suunnitteluohjelma Suomessa. MagiCAD on lisäosa Autodeskin AutoCAD-ohjelmistoon. Magicadilla pystytään toteuttamaan LVIS-suunnittelu kokonaisuudessaan 2D-, 3D- sekä tietomallipohjaisesti. MagiCAD-ohjelman tietokannassa on kattava määrä eri laitevalmistajien tuotteiden tuotetietoja, joihin on määritelty erittäin tarkasti laitteistojen koot sekä laitteiden tekniset tiedot. [5]

3.4 Tulevaisuuden näkymät

Näistä kolmesta suurimmasta ohjelmasta parhaat sähkökuvien esitystavan parantamismahdollisuudet ovat toistaiseksi Revit-ohjelmistossa. Mallinnusnäkökuvan tulostus on Revittiin sisäänrakennettuna, mikä antaa etumatkaa uudentyyppisille tulosteille. Ennen kuin on piirretty esimerkiksi keittiöstä detaljipiirustus asennuksista, voidaan nyt suoraan sähkösuunnitelmasta tulostaa detalji, ilman lisätöitä. Detaljia on joutunut päivittämään erikseen, kun muutoksia sähkötasoon on tehty, mutta Revitissä muutokset siirtyvät suoraan detaljin tulosteeseen. Revitin-workshare ominaisuus tuo projekteille myös omaa dynaamisuuutta sujuvamman kommunikaation ja tiedonsiirron kautta.

4 MagiCAD for Revit

4.1 Tasotulostus

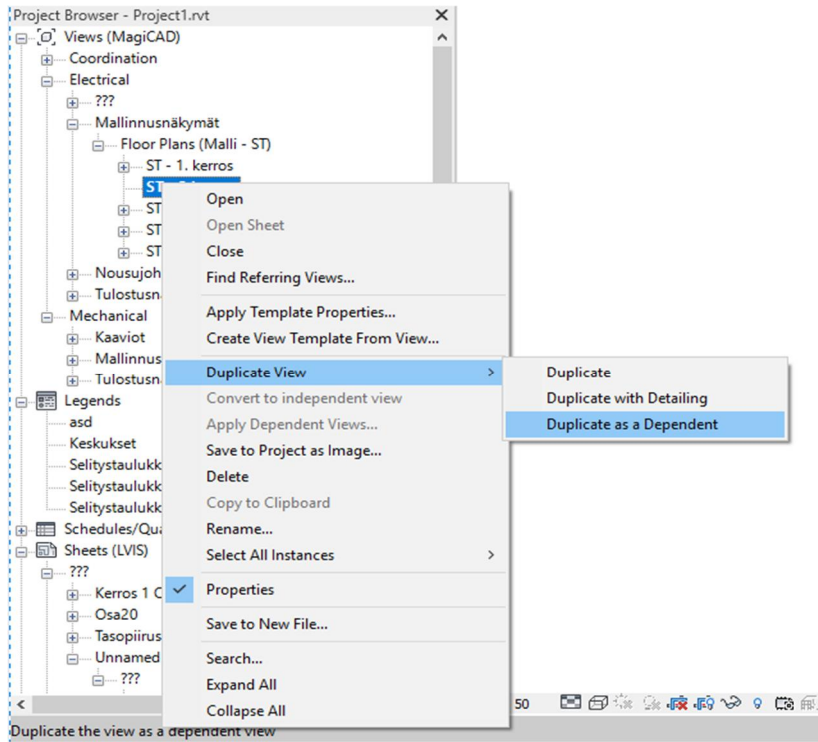
Revitin tulostusasettelu poikkeaa vahvasti totutuista AutoCADin ja CADSin tulostusasetteluista. Siinä missä edellä mainituissa ohjelmistoissa tulostettava taso tehdään layouteihin lisättävillä viewporteilla, Revitissä rajataan suoraan työstettävään tasokuvaan scope box -toiminnolla haluttu tulostettava alue, jota käytetään dependent-tason rajauksessa. Tämä mahdollistaa Revitissä kertaalleen rajatun alueen käyttämisen useissa eri tulosteissa. Tämä nopeuttaa työskentelyä, jos näytettävää aluetta halutaan muuttaa, koska muutos tapahtuu kaikissa tulostustasoissa, joissa on kyseistä aluetta käytetty. AutoCAD-

ja CADS -ohjelmistoissa pitää käydä muuttamassa tulostusalueen koon muutos jokaiseen layoutiin erikseen.

Revitissä tulosteiden rajaamisen jälkeen alueet viedään sheeteille, jotka vastaavat AutoCADin layouteja. AutoCAD ja CADS ohjelmistoista tuttua freeze-toimintoa ei Revitistä suoranaisesti löydy. Jos halutaan Revitissä rajata esimerkiksi, että kuvassa näkyvät ai-noastaan keskukset sekä johtotiet, tämä tapahtuu view templatien kautta. Seuraavissa luvuissa käydään läpi, miten Revit-ohjelmassa tulostaminen käytännössä onnistuu.

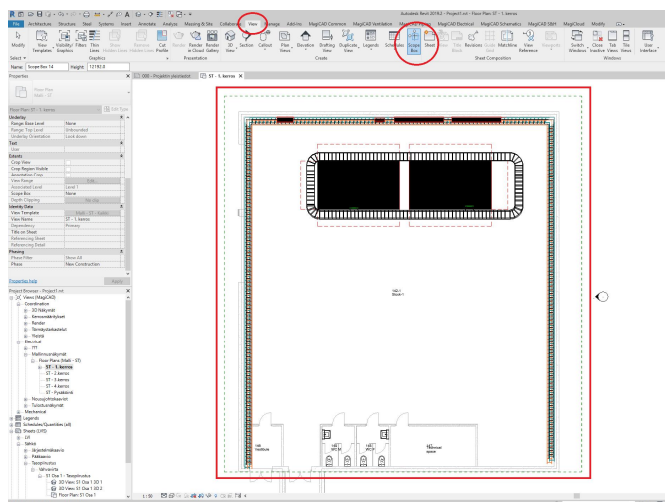
4.1.1 Scope box

Revitissä halutun tulostusikkunan rajaamiseen on kaksi erilaista tapaa. Ensimmäinen tapa on scope box -toiminto. Aloitetaan menemällä suunnittelutasoon, johon halutaan rajata tulostettava alue. Tämän jälkeen valitaan oikealla hiiren painalluksella Project browserista kyseinen suunnittelutaso oikealla hiirenpainalluksella ja valitaan ”Duplicate View”, minkä jälkeen ”Duplicate as Dependent” (kuva 1). Duplicate as dependent -toiminto luo kopion suunnittelusta tasosta ja päivittää sitä aina, kun alkuperäiseen tasoon tehdään muutoksia. Toiminto on hyvin samalainen kuin viewport magicadissä. Tämän luodun näkymän voi syöttää tulostusikkunaan vain kerran. Tämän vuoksi joudutaan luomaan niin monta dependent-näkymää, kuin on tulostettavia suunnitelmia. Samaa scope boxia voidaan kuitenkin käyttää useammassa dependent-näkymässä.



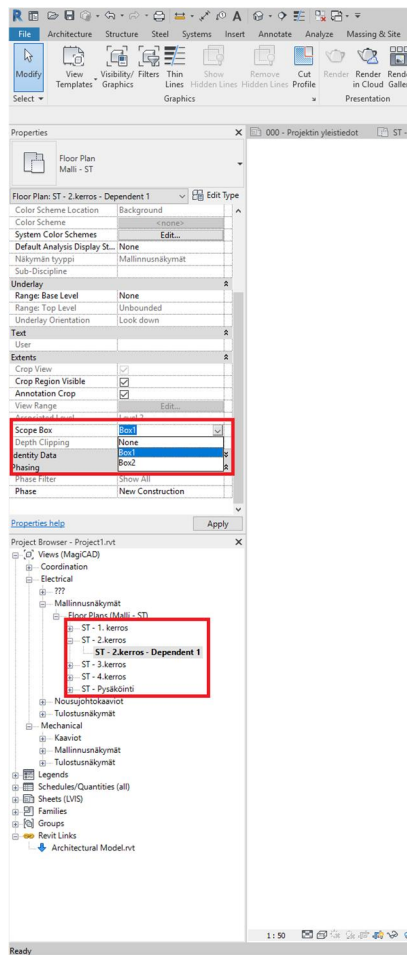
Kuva 1. Sähkötason kopioiminen riippuvaksi

Dependent-tason luomisen jälkeen voidaan luodussa näkymässä, tai alkuperäisessä näkymässä rajata haluttu tulostusalue scope box -toiminnolla. Scope box -toiminto löytyy view-välilehdeltä. Haluttu alue rajataan näkymään (kuva 2). Rajatun alueen mittoja sekä paikkaa voidaan myöhemmin muuttaa.



Kuva 2. Sähkötasosta rajataan scope box -toiminnolla haluttu tulosteesta näkyvä alue

Rajattu alue lukitaan pin-toiminnolla paikalleen estämään sen siirtymistä. Luotu alue saa automaattisesti nimen, jolla on juokseva numero. Alueen nimi kannattaa vaihtaa tunnistettavaksi, kuten lohkon tunnus. Johdonmukainen nimeäminen on varsinkin suurissa projekteissa välttämätöntä. Seuraavaksi valitaan tehty dependent-näkymä. Properties sivupalkista etsitään kohta scope box (kuva 3) ja vetovalikosta valitaan haluttu rajattu alue. Rajauksen valitsemisen jälkeen nimetään dependent-näkymä nimellä, jolla sen tunnistaa myöhemmin, kuten kerros sekä lohkon tunnus. Jos tiedetään, mitä näkymässä halutaan esittää, kannattaa sekin merkitä näkymän nimeen. Dependent view -tiloissa voidaan työskennellä samalla tavalla kuin AutoCADin ja CADSin layout-tiloissa.



Kuva 3. Properties-sivupalkki ja scope box -valinta

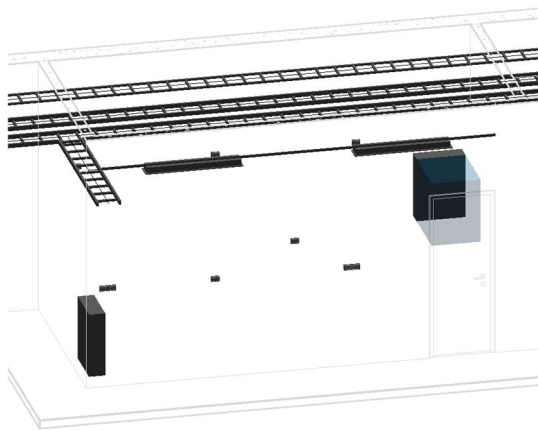
Näitä vaiheita toistetaan niin monesti, että saadaan kaikki halutut näkymien osat omiin dependat-näkymiin. Dependent näkymä ei itsessään ole vielä tulostettava näkymä, vaan se liitetään myöhemmin tulostettavalle pohjalle.

4.1.2 Crop View

Crop view -toiminto toimii saman tyyppisesti kuin scope box. Erona on että crop view vaikuttaa vain yhteen näkymään. Kopioidaan haluttu näkymä as dependant -toiminnolla, kuten aiemmassa kohdassa. Tämän jälkeen avataan kyseinen ikkuna ja rajataan sivulla näkyvien crop region -viivojen avulla haluttu alue. Alue lukitaan siirtämisen estämiseksi. Periaatteessa crop view toiminto on hyvin samanlainen kuin viewport-toiminto muista suunnitteluohjelmista, sillä erolla että dependent-taso ei ole valmiina tulostusikkunassa.

4.2 Mallinäkymän tulostus

Revit mahdollistaa suoraan mallinnusnäköistä tulosteen luomisen. Tulostusikkuna päivittää itsensä samalla tavalla kuin normaalit tasopiirustukset. Tämä mahdollistaa vaikeasti havainnollistettavien asennusten selventämisen normaaliin sähkötulosteeseen (kuva 4).



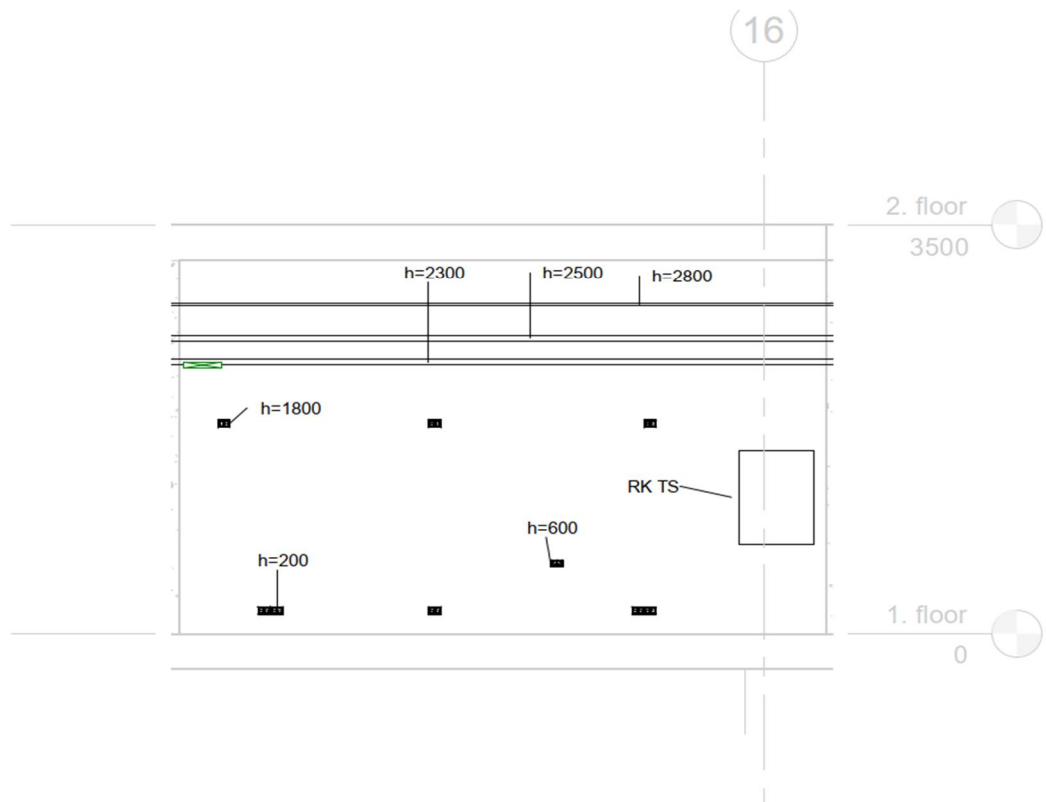
Kuva 4. Esimerkimallista otettu tuloste

Mallinäkömään tulostusikkuna saadaan aikaiseksi hieman eri tavalla kuin normaaliin tasotulosteeseen. Siirrytään Revitin omaan mallinnusnäkömään. Tämän jälkeen mallinnustilassa ohjataan näkymä siihen paikkaan, josta halutaan tuloste. Kun näkymä on halutun näköinen, kopioidaan projektipuussa 3D-näkymä "duplicate as detailing".

Näkymä nimetään ja siirretään projektipuussa sille määrättyyn paikkaan. Tämän jälkeen kameraa voidaan vielä kohdistaa haluttuun suuntaan. Hyvän kulman ja etäisyyden jälkeen valitaan alapalkista kohta lock 3D-view. Nyt näkymä pysyy samassa kohtaa, ja sitä voidaan käyttää tulosteissa. Kuvassa näkyy mahdollisesti asetuksista riippuen rajauslaatikon viivoja sekä muita mallin kuuluvia osia. Näkömään asetuksia saadaan muutettu view templatejen avulla.

4.3 Leikkauskuvat

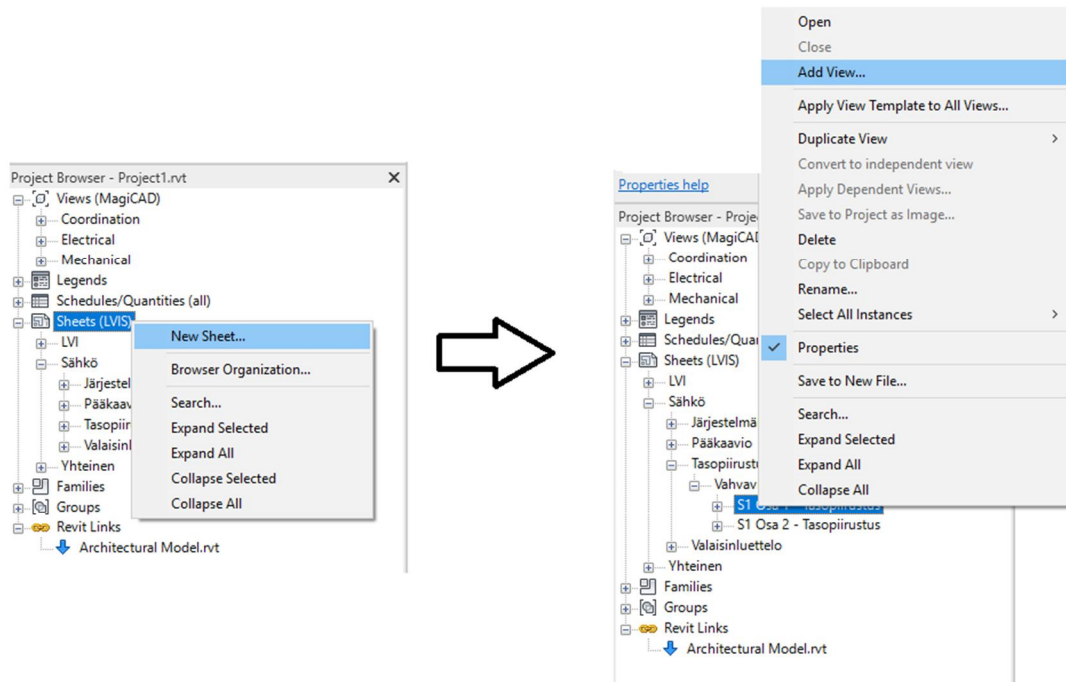
Leikkauskuvat on aikaisemmin jouduttu tekemään erikseen arkkitehdin toimittamiin leikkauskuviin. Section on Revitin oma työkalu leikkauksia varten. Mallintamiseen perustavan suunnitteluun ansiosta sähkökuvassa on todellisissa paikoissa pistorasiat sekä muut objektit. Tarkan suunnittelun ansiosta saadaan leikkauskuva suoraan tasosta ilman suurempaa työtä. Leikkauskuvat eivät ole myöskään ole arkkitehdin toimittamien kuvien varassa, vaan voidaan tehdä leikkaus mistä tahansa mallinnetusta kohdasta. Revitin leikkaukset myös päivittyvät automaattisesti tulostusikkunaan, joka vähentää lisätyötä objektien muuttuessa. Tasokuvan tulosteeseen voidaan suoraan liittää haluttu leikkauskohta. Tämä estää ristiriitaisten dokumenttien leviämistä työmaalla ja pitää leikkauskuvat ajan tasalla. Sähkötulosteissa on usein vain vähän tyhjää tilaa, minkä vuoksi ne eivät aina mahdu tulosteeseen. Vaikka leikkauksille tehdään omat tulosteet, on niiden päivittäminen helpompaa Revitissä kuin CADs- tai AutoCAD-ohjelmistoissa. Kuvassa 5 on esitetty leikkauskuva suoraan Revitin omalla toiminnolla.



Kuva 5. Revitistä saadun tulosteen näkymä section tool työkalulla

4.4 Tulostuspohja

Tulostusnäkyvien luonnin ja rajauksen jälkeen ne voidaan liittää tulostuspohjaan. Project browserista valitaan kohta Sheet ja oikealla hiirenpainikkeella valitaan New sheet. Aukeavasta ikkunasta valitaan käytettävä paperikoko. Tulostusnäkyville voidaan nyt antaa halutut tiedot Properties-lehdellä. Tulostusnäkyä siirretään projektipuussa haluttuun paikkaan. Sitten valitaan oikealla hiiren painikkeella painamalla Add View ja etsitään aiemmin tehty mallinnus- tai tasonäkymä (kuva 6).



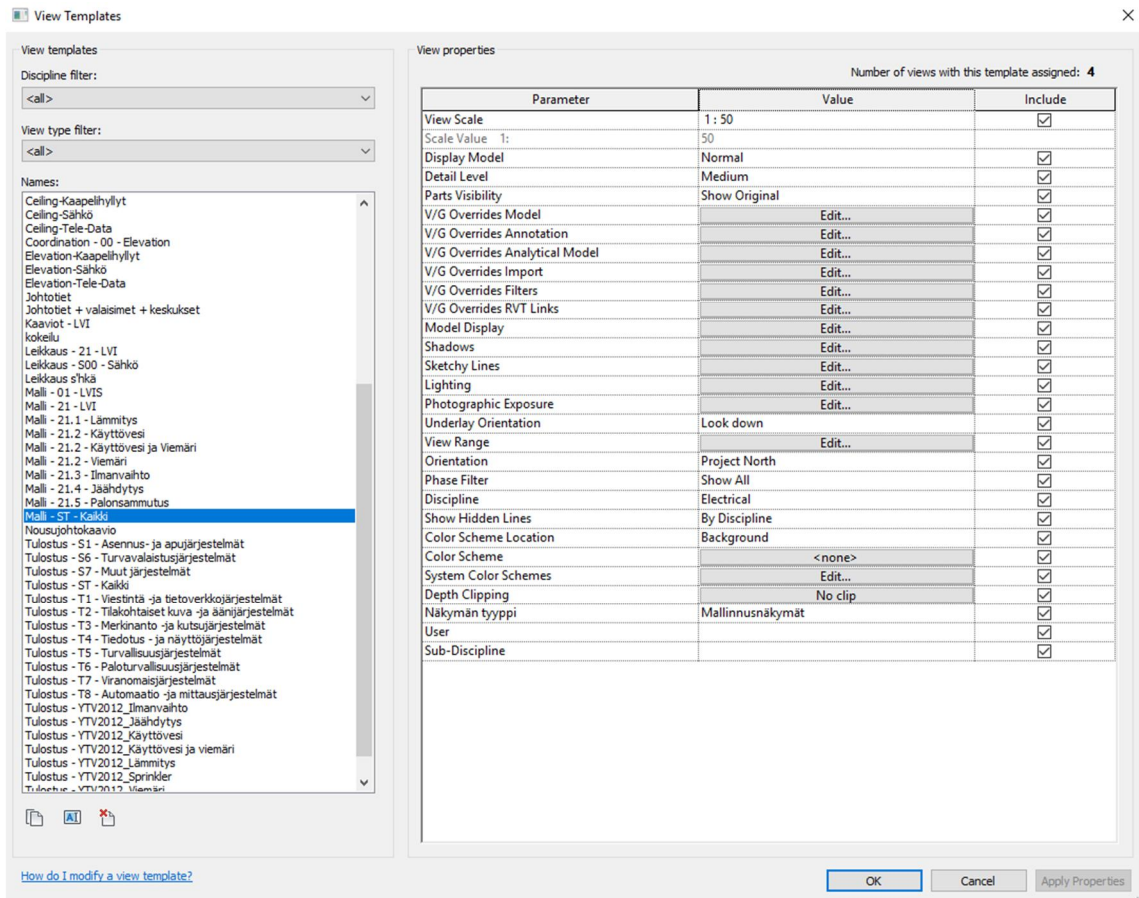
Kuva 6. Tulostusnäytteen tuonti ja mallinnus- tai tasonäkymän liittäminen

Vaihtoehtoisesti projektipuusta voidaan suoraan vetää mallinnus- tai tasonäkymä haluttuun tulostus ikkunaan. Tehtyyn tulostusnäytteen lisätään ja sommitellaan siististi kaikki haluttavat näkymät. Jokaiselle näkymälle voidaan antaa yhteinen tai oma view template, mikä vaikuttaa siihen, mitä ja miten näkymässä halutut asiat näkyvät.

5 View template

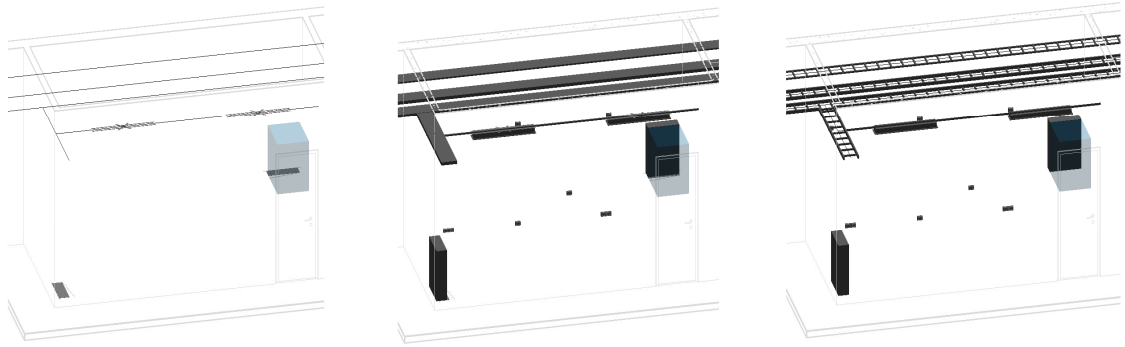
View template määrittelee kaiken, mitä tasoissa sekä mallinnusnäytteenä nähdään. Tässä insinööritöissä on tarkoitus luoda Granlundille tavalliseen sähkösuunnitteluun tarvittavat view templatet, jotka voidaan ottaa käyttöön alkavissa projekteissa. MagiCAD for Revit -ohjelmistoon on lisätty monia view templateja Progman oy:n toimesta. Nämä view templatet on tehty eri järjestelmille, näkymille ja suunnittelualoille. View template määrittelee objektien tasojen värit, paksuudet ja näkyvyyden. Samaa view templatea voidaan käyttää mallinnus- ja tasonäytteenä, mutta tämä ei ole käytännössä mahdollista. Samaa view templatea käytettäessä pintapistorasias näkyisi tasokuvassa uppomallisena.

Tämän takia tehdään taso-, leikkaus- ja mallinnusnäkyville omat view templatet. Tulostusnäkyville myös tehdään vastaavat view templatet.



Kuva 7. View template -valikko

Valmista view templatea voidaan projektissa kopioida pohjaksi, mikäli muutoksia pitää tehdä. Koska view templatet ovat projekti kohtaisia, muutos tarpeen ilmetessä kannattaa käytetty view template kopioida ja uudelleen nimetä. Tällöin view templatien muokkaus ei muuta näkymäasetuksia muissa näkymissä. Tärkeimmät kohdat view templateissa ovat skaala, detail level sekä kaikki näkymiin vaikuttavat Visibility / Graphics -kohdat (kuva 7). Detail level vaikuttaa, kuinka yksityiskohtaisesti Revit mallintaa suunnitellun objektin (kuva 8).



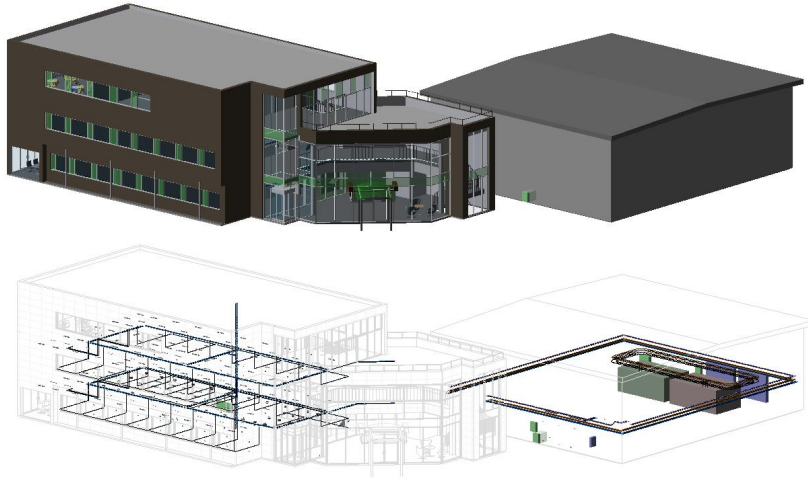
Kuva 8. Detail level coarse→medium→fine

Kokonaan uutta view templatea ei voi tehdä, vaan se perustuu aina johonkin näkymään. Tämä tarkoittaa, että kannattaa suoraan kopioida valittu view template pohja ja muuttaa sitä halutulla tavalla. Näkymistä, joissa ei ole vielä valittu view templatea, voidaan myös tehdä muutoksia ja tallentaa se myöhemmin view templateksi, mutta poistamalla taso, ennen tallentamista, poistuu myös kaikki tehty työ. Tallentamisen jälkeen view templatea muokataan täysin samalla tavalla kuin kopioitua view templatea.

Muokkausmahdollisuudet löytyvät view-välilehdeltä, josta valitaan view templates jonka alavalikosta valitaan manage view templates. Tässä kohtaan päätetään, millaiselle näkymälle uusi view template on tulossa. Kuvassa x on tasonäkymän view template. Mallinnus- ja leikkausnäkyvien view templateissa on pieniä muutoksia, mutta perusasetukset ovat samat.

5.1 Visibility / Graphic overrides

Visibility / Graphic overrides on view templaten kohta, jossa voidaan vaikuttaa objektien esitystapoihin. Näistä valikoista saadaan myöskin tietyt objektityypit pois näkyvistä, sekä liitekuvien näkyvyyden kontrollointi. Liitekuvia voidaan haalentaa tai poistaa näkyvistä tätä kautta (kuva 9).



Kuva 9. Liitteen näkyvyys normaalisti sekä underlay asetus päällä

5.1.1 Model categories ja annotation categories

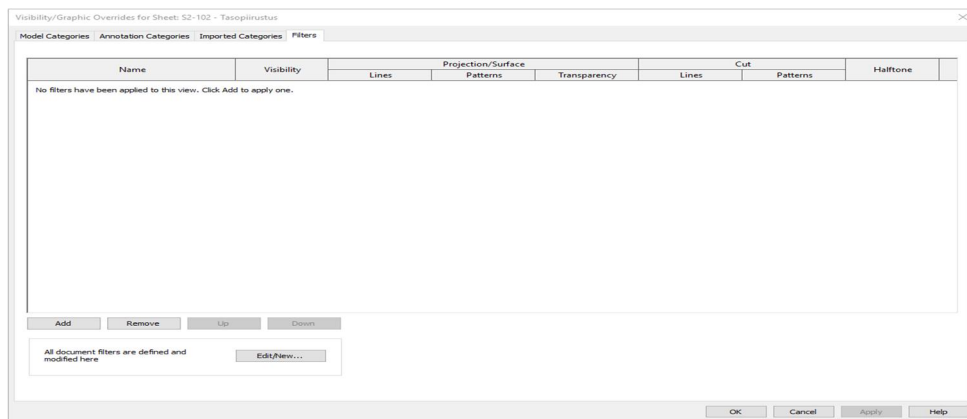
Näissä välilehdissä kontrolloidaan, mitä kaikkea näkymissä näkyy. Model category pitää sisällään kaikki objektien päätyypit, kuten kaapelihiyllyt, ovet ja ilmastointikanavat. Tästä valikosta voidaan piilottaa eri suunnittelualojen objekteja ottamalla täppä pois visibility-kohdasta. Samasta valikosta voidaan määrittää erilaisia asioita objektiryhmille. Projection/surface-kohdassa voidaan määrittää esimerkiksi, että kaikki ovet näkyvät näkymässä keltaisena. Objektien näkyvyyttä voidaan myös himmentää, jolloin niiden takana olevat objektit näkyvät paremmin. Objekteille vois myös määrittää muista poikkeavan detail levelin.

Annotation categories pitää sisällään objektien lisätietoihin koskevia asioita, kuten kor-
komerkintöjä tai section boxin viivoja. Näillä asetuksilla siis määritellään, mitkä objektien tagit näkyvät ja minkä paksuisia sen viivat ovat. Annotation categories pitää sisällään myös rajaustyökalujen, kuten section ja scope box, viivoitukset. Näiden työkalujen viivoja ei haluta tulostusnäkyseen, ja se onkin osasy siihen, miksi tulostamisessa ja työskennellessä käytetään eri view templatea.

5.1.2 Filters

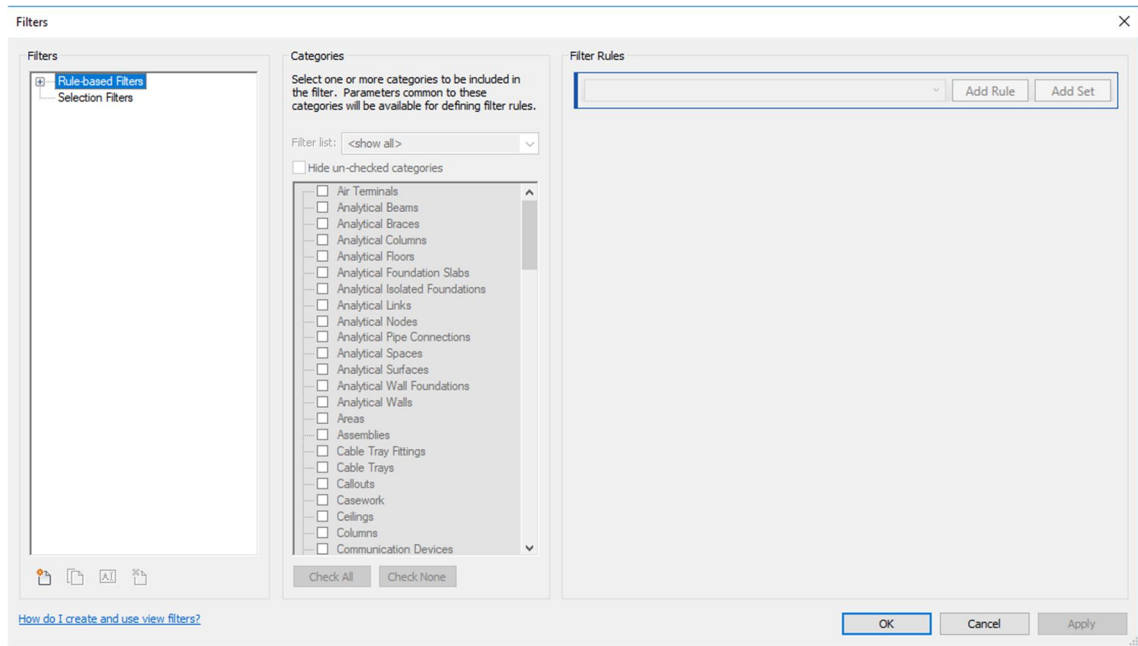
Filtterit luovat mahdollisuuden moninaiselle muokkaukselle Revitissä. Niillä voidaan esimerkiksi kontrolloida järjestelmien värejä, kappaleiden näkyvyyttä sekä viivojen esitystapaa. Filtterit voivat koskea tiettyjä objekteja tai tiettyä järjestelmää. Filttereillä voidaan luoda myös erilaisia ehtoja objekteille, kuten johtotie näkyy haaleammin mallintamiskäytössä, mikäli johtotie on jonkin tietyn korkeuden alapuolella tai yläpuolella. Jokaiseen filtterin voidaan luoda useampi kuin yksi ehto. Filttereiden määrittelemät asetukset yliajavat model- ja annotation-categories tehtyjen muutosten yli. Seuraavissa luvuissa on ohjeistettu uuden filtterin tekeminen. Tehtävä filtteri on johtotien esityksen muokkaus sen järjestelmä tunnuksen mukaan.

Filters-välilehti näyttää tyhjältä, mikäli on aloittanut näkymästä, mihin mitään ei ole tehty tai valitussa pohjassa ei ollut filttereitä (kuva 10).



Kuva 10. V/G override filters -ikkuna

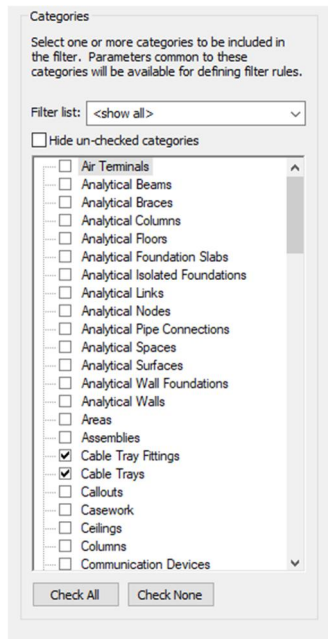
Valitaan edit/new. Tästä näkymästä saadaan luotua ehtoja, joilla kontrolloidaan, mitä objekteja tai järjestelmiä kyseinen filtteri koskee (kuva 11).



Kuva 11. Uuden filterin luonti-ikkuna

Valitaan rule-based filters, jonka jälkeen vasemmasta alakulmasta valitaan "New". Nimitetään filteri halutulla tavalla. Tässä insinööriyössä päätettiin nimetä sähkön filterit MagicAD for Revitin asettamien järjestelmätunnusten mukaan. Järjestelmätunnukset eivät ole S2010-nimikkeistön mukaiset.

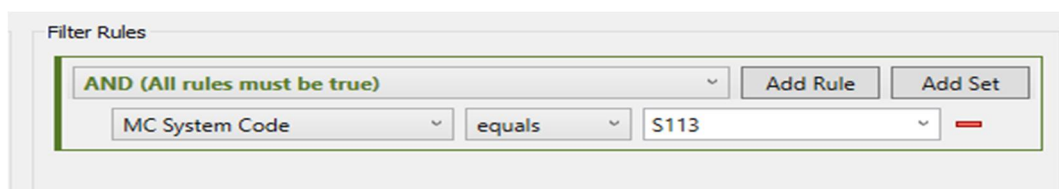
Seuraavaksi valitaan "Categories"-kohdasta haluttu järjestelmä. Johtotietä tehtäessä valitaan "Cable Tray Fittings ja Cable Trays" (kuva 12). Tämä valinta kertoo ohjelmalle, mitä objektiluokkia se katsoo, kun kyseistä komentoa suorittaa.



Kuva 12. Vaikuttavien järjestelmien valinta-ikkuna

Samaan filtteriin voidaan luoda useampi eri sääntö, joten esimerkiksi kaikki varavaoi-
maan kuuluvat objektit voidaan lisätä yhden filterin alaisiksi. Tämä vähentää filtereiden
määrää reippaasti, mutta poistaa yksittäisten objektiluokkien muokkauksen itsenäisesti.

Tämän jälkeen päästään ”Filter Rules” -kohtaan, josta voidaan määrittää parametrit,
joilla ohjelma tunnistaa halutun laitteen. Järjestelmien, kuten varavoima, turva ja data,
väriä tehdessä riittää, että käyttää vain yhtä sääntöä. Valitaan vetolaatikosta haluttu pa-
rametri, jonka ohjelma tarkistaa objektilta. Järjestelmille valitaan MC Sytem Code. Tässä
kohtaa tulee tietää, millaista datasetistä tulevaa järjestelmäkoodausta kyseinen projekti
käyttää. Esimerkiksi S2010-nimikkeistössä on annettu palonkestäville kaapelihyllyjärjes-
telmille tunnus S113 (kuva 13).



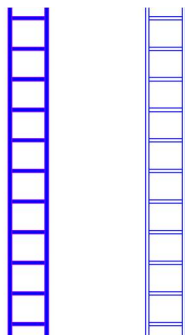
Kuva 13. Filterin säännön luonti-ikkuna

Nyt palataan takaisin välilehdelle V/G filters. Seuraavaksi valitaan add, ja sen jälkeen valitaan tekemämme filttteri. Tämän jälkeen välilehdelle ilmestyy tekemämme filttter (kuva 14).

| Name | Visibility | Projection/Surface | | | Cut | | Halftone |
|---------------------|-------------------------------------|--------------------|----------|--------------|-------|----------|--------------------------|
| | | Lines | Patterns | Transparency | Lines | Patterns | |
| 001 Johtotiet turva | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | <input type="checkbox"/> |

Kuva 14. Valmis filter

Nyt voidaan määrittää tehdyllä filttterillä kaikkiin S113-järjestelmätunnuksen omaaviin hyllyihin komentoja. Visibility määrittää, näkykö filttterin alle kuuluvat objektit näkyvässä. Lines-kohdassa voidaan määrittää kappaleiden ääriiviivojen paksuutta, esitystapaa ja värejä. Tätä kohtaa käytetään pääasiassa tasotulosteiden muokkaamiseen. Patterns-kohdassa voidaan määrittää kappaleiden pinnoille uuden värin. Patterns-valikosta valitaan patterniksi solid fill ja alemmasta laatikosta valitaan haluttu väri (kuva 15). Tällä hetkellä objekteille liittyy pelkkä pintavärin määrittäminen. Patterns-kohta on syy miksi mallintamis- ja tasonäkymät käyttävät eri view templatea. Patternin väriä muokkaamalla mallintamisnäkyvässä voidaan muuttaa objektien kuten johtoteiden väriä. Transparency-kohdasta voidaan määrittää kappaleen läpinäkyvyyttä.



Kuva 15. Pattern solid fill ja no override tickkaalle

6 Väritulosteet

Rakennusalalla on pitkä historia mustavalkoisista työpiirustuksista. Syitä tähän on ollut väritulosteiden hinta, piirustusten luettavuus ja väristandardin puuttuminen. Huoltokirjan dokumenteissa käytetään yleisesti värikuvia, mutta rakentamisen aikaisiin tulosteisiin

tämä ei ole vielä levinnyt. Tässä luvussa pohditaan väritulosteiden mahdollisia ongelmia, hyötyjä rakentamisessa sekä tuotantokustannuksia.

6.1 Kustannus

Työmaalle tilattavat tulosteet ovat yleisesti rakennuttajan vastuulla. Hintaero on väri- ja mustavalkotulosteilla noin 30–40%. Tämä tarkoittaisi kohtuu suurta menoerää rakennuttajalle, mikäli kaikki kuvat siirtyisivät väritulosteiksi. Tämä myös tarkoittaa, että rakennuttajan kanssa pitää sopia väritulosteista, eikä urakoitsijan. Kustannusvaikutus saattaa siis vaikeuttaa väritulosteiden leviämistä. Projektissa, joissa on vain yksittäisiä väritulosteita, pitää olla tarkkana tilauksen yhteydessä, jotta ei vahingossa tilaa niitä mustavalkoisina muiden kanssa. [6;7.]

Kustannuksiin voi myös lukea sen suunnitteluajan, joka menee eri järjestelmien tarkistukseen ja varmistamiseen. Projektissa on tarkistettava, että jokainen objekti on oikeassa järjestelmässä. Väreissä voi myös olla projektikohtaisia eroja, mikä saattaa sekoittaa suunnittelijaa, joka tekee montaa eri kohdetta samaan aikaan. Varmaa tietoa ei myöskään ole siitä, miten view templatejen väri filtit reagoivat Revitin tuleviin päivityksiin. Suurin kustannus työnantajille tulee suunnittelijoiden kouluttamisesta. Vaikka yhtiöllä on valmis view template, voi siihen tulla projektikohtaisia muutoksia. View templaten filtit eivät ole normaalin mustavalkotulostamissuunnittelun kannalta kovinkaan olennainen osa ohjelmaa. Tämä tarkoittaa tarkempaa koulutusta henkilöstölle.

6.2 Ongelmat

Vaikka väritulosteet auttavat tulosteiden lukemisessa, on niitä tehdessä otettava huomioon värien sävyt. Kirkkaat ja tummat värit erottuvat tulosteessa eri tavalla, ja mahdollinen pimeähkö huone vaikuttaa värien erottuvuuteen toisistaan. Eri värien päällekkäisyyden erottaminen voi joillakin väreillä olla hankalaa.

Värejä järjestelmille ei ole myöskään standardoitu. Tämä tarkoittaa, että jokaisella suunnittelijalla voi olla käytössä eri värikoodaus. YTV 2012 on määritellyt liitteen 1 mukaisesti esimerkiksi vain muutamalle eri johtotiejärjestelmälle järjestelmän värin. Kohteessa,

joissa käytetään esimerkiksi neljää eri jänniteluokkaa, ei ole standardia sille minkävärinä hyllyt tulisi esittää mallinnustulosteessa. Tämä tarkoittaa, että jokainen suunnittelija on myös vastuussa kokeilemaan, että värit, joita käytetään, näkyvät tulosteissa hyvin.

6.3 Värinäkö



Kuva 16. Esimerkki miten värisokea voi nähdä perinteiset liikennevalot ,[10].

Ihmiset voivat nähdä värejä eri tavoin (kuva 16). Tällä on merkitystä sähkökuvia suunniteltaessa, jos itse suunnittelija tai sähköasentaja on lievästi värisokea. Punavihervärisokeutta yleisesti testataan sähköasentajatutkinnon alussa, mutta insinööritutkinnon jälkeen haettavassa luvassa tätä ei testata. Periaatteessa on mahdollista, että värisokea henkilö saisi suoritettua sähköasentajan pätevyyden, mutta tämä on äärimmäisen

epätodennäköistä. Suomen työnäköseuran mukaan asentajalla voi olla lievä värisokeus [8]. Suunnittelussa suunnittelijalla voi mahdollisesti olla värisokeus, mikä vaikeuttaa väritulosteiden luomista, mutta koska objekteille annetaan järjestelmätunnuksia mistä ilmenee objektin tarkoitus. Punavihervärisokeus ei ole myöskään ainoa värisokeuden laatu. Muut värisokeudet ovat sen verran marginaalisia, ettei tämä ei vaikuta kuin yksittäistapauksissa.

6.4 Hyötysuhde

Väritulosteiden ajankäyttö on projektissa suhteellisen pieni, jos projektissa piirretään jokin objekti oikealle järjestelmätunnukseksi. Tämä tarkoittaa, ettei kuvassa olisi ns. tyhmää objektia. Objekteille annettuja järjestelmätunnuksia voidaan myös hyödyntää massalaskennassa.

Asentajalle normaalin tasopiirustuksen hyödyt riippuvat suoraan piirustuksen sekavuudesta. Piirustus, jossa on esitetty useita eri järjestelmiä, voi olla vaikealukuinen. Värien avulla voidaan poistaa tekstejä järjestelmistä sekä luoda mallintamislähtökuvasta värillinen tuloste. Kuvan luettavuus on kuitenkin otettava huomioon. Värit näyttävät erilaisilta riippuen käytettävän lampun värintoistokyvystä, jotta eri värit ovat tunnistettavissa. Tämä saattaa olla työmaalla suurempikin ongelma talviaikaan.

Parhaat edut saadaan tiloissa, jossa on useampia jännitetasoja johtoteissä ja keskukissa. Tällöin väritulosteet helpottavat jakelun havainnollistamista, mikä helpottaa kaapeleiden reititystä johtoteillä. Jos on käytössä arkkitehdin natiivimalli, johon arkkitehti on tehnyt värimääritykset, voi projektikuvien esityksissä olla hyötyä siitä, että urakoitsija osaa valita oikean väriset kalusteet ja vastaavasti tilaaja voi kommentoida aineistoa helpommin kuin 2D-tulosteesta. 3D-tuloste on myös varmasti loppukäyttäjän/tilaajan näkökulmasta selkeämpi, koska niille ei välttämättä ole ollenkaan tuttua lukea sähköpiirustuksia, mutta loppukäyttäjä/tilaaja voi joutua kuitenkin niiden perusteella kertomaan esim. kalusteiden sijoituksia.

Värilliset tasokuvat voivat lyödä itsensä läpi nopeallakin aikataululla, mutta toistaiseksi suurin hyöty saadaan mallintamislähtökuvien tulosteista, joilla voidaan tarkennetaan vaikeita asennuspaikkoja sekä sekavia asennuksia.

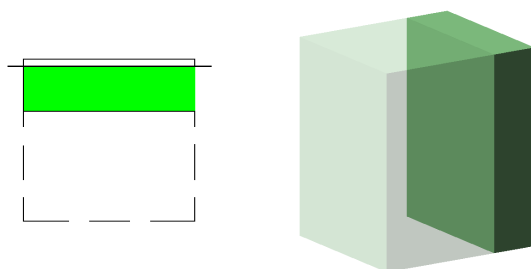
7 Revitin muita hyödyllisiä asioita

7.1 Massalaskenta Revitissä

Revitissä saadaan tehtyä massalaskenta järjestelmien mukaan. Järjestelmätunnukset on valmiiksi annettu kaikille objekteille, mikä ei tuo lisätyötä massalaskentaan. Tulosteisiin voidaan myös liittää näkymän massojen määrät.

7.2 Huoltoalue

Huoltoalueella tarkoitetaan laitteen tai keskuksen vaatimaa tilaa, jonka pitää olla tyhjä kiinteistä esineistä käytön aikana. Revitissä keskuksille voidaan määrittää haluttu huoltoalue properties valikon kautta. Lisäämällä haluttu parametri saadaan tasokuvaan keskuksen eteen oma alue, josta käy ilmi vaadittu tila. Tämä ominaisuus on hyvä ahtaissa tiloissa, jonne muidenkin alojen suunnittelijat tuo omia laitteitaan kuten laite ja huoltotiloissa. Tämä helpottaa talotekniikan suunnittelijoiden kommunikaatiota, kun suoraan tasosta ja mallista näkee toisen suunnittelualan tilatarpeet. Huoltoalue näkyy tasossa katkoviivana ja myös mallinnusnäkyvässä haalennettuna laatikkona (kuva 17).



Kuva 17. Huoltoalue keskukselle

8 Yhteenveto ja pohdintaa

Tämän insinööriyön alkuperäinen tarkoitus oli tutkia mahdollisuuksia uusien sähkötulo-
teiden luontiin. Työn edetessä työn aihe kohdennettiin ohjelmaan, jolla on parhaat tä-
mänhetkiset työkalut työn toteuttamisessa. Tämä ohjelma on MagiCAD for Revit. Magi-
CAD for Revit on Granlundilla pikkuhiljaa yleistyvää suunnitteluohjelmaa, jolle haluttiin
luoda yhtenäinen view template projekteihin, sekä ohje, miten muokata view templatea.
Työssä tehtiin myös ohje erilaisten tulosteiden toteuttamista varten.

Oma kokemus, sekä yleistieto Revitistä ja sen käytöstä oli hyvin vähäistä. Työn aikana
käyttökokemusta karttui todella paljon, ja alussa vaikealta tuntuneet asiat, kuten projek-
tipuu, alkoivat tuntua tutulta ja turvalliselta. MagiCAD for AutoCAD- ja CADs-ohjelmisto-
jen käyttämisestä on hyötyä Revitin käytössä, mutta monet perusasiat on toteutettu eri
tavalla, mikä vaikeuttaa oppimista. Suurimpana ongelmana pitäisin Revitissä komento-
linjan puutetta.







Mallintamistulosteita ei tällä hetkellä missään projektissa vaadita tietomallien takia.
Vaikka tulosteita ei vaadita, voi niistä olla todella suuri apu asentajalle sekä havainnoi-
listamisen apu käyttäjälle suunnitteluvaiheessa. Granlund haluaa pysyä kehittyvän alan
kärjessä, ja tästä syystä päätettiin luoda suunnittelijoille ohje, minkä avulla pystyy luo-
maan kätevästi mallinnustulosteita. Vaikka työssä tehtiin view template Granlundin käyt-
töön, on se suunniteltu vain tavallisiin sähkötulosteisiin. Tämän insinööriyön avulla
suunnittelija osaa muokata view templatea haluamukseen. Vaikka tämä insinööriyö kes-
kittyy sähkösuunnitteluun, voidaan ohjeita myös soveltaa muidenkin taloteknisten alojen
suunnittelutyössä, kun käytetään Revit ohjelmistoa.

Väritulosteet tavallisessa sähkösuunnittelussa saattavat saada tulevaisuudessa tuulta
alleen helpomman toteutuksen johdosta. Vie kuitenkin aikaa ennen kuin työmaalta pyy-
tämällä pyydetään kokonaisuudessa suunnitelmia värillisinä. Monijännitetiloiissa väritu-
losteet tulevat mahdollisesti yleistymään havainnollistamisen helpottamiseksi, mutta
tämä on todella pieni osa kaikesta sähkösuunnittelusta. Mallintamiskäytöstä saatavat
tulosteet tulevat todennäköisesti myös yleistymään vaikeiden paikkojen suunnittelussa
ja havainnollistamisessa.

Lähteet

- 1 Koulutusmateriaali, MagiCAD Electrical for Revit MEP versio 2018. 26.9.2017. Progman Oy
- 2 Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 1. Yleinen osuus. 2012. RT 10-11066. Helsinki: Rakennustieto
- 3 Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 4. Talotekninen suunnittelu. 2012. RT 10-11066. Helsinki: Rakennustieto
- 4 CADS. 2019. Verkkoaineisto <<http://www.cads.fi>> Luettu 20.10.2019
- 5 MagiCAD. 2019. Verkkoaineisto. Progman Oy. <<https://www.magicad.com/fi/>>. Luettu 12.10.2019
- 6 Rakennuspiirustukset. Verkkoaineisto. Kopio-Raksa Oy <<https://raksakuvat.fi/kauppa/rakennuspiirustukset/>> Luettu 15.10.2019
- 7 Rakennuspiirustukset. Verkkoaineisto. Grano Oy <<https://www.grano.fi/palvelut/rakentaminen-ja-teollisuus/rakennuspiirustukset>> Luettu 17.10.2019
- 8 Värinäkö ja työ. 2010. Verkkoaineisto. Suomen työnäköseura <<http://www.tyonako.fi/tyonakeminen/varinako/>> Luettu 30.10.2019
- 9 Yritys Granlund Oy. Verkkoaineisto. < <https://www.granlund.fi/>> Luettu 25.10.2019
- 10 How people with different kinds of color blindness see the world. Verkkoaineisto <<https://brightside.me/wonder-curiosities/how-people-with-different-kinds-of-color-blindness-see-the-world-256510/>> Luettu 25.10.2019
- 11 Standardit. Verkkoaineisto. BuildingSMART Finland <<https://buildingsmart.fi/standardit/>> Luettu 25.9.2019

Liite 1. Johtoteiden mallinnusvärivaatimukset

| 3D | SYSTEEMI | ACAD VÄRI |
|---|----------------------|--------------|
|  | JOHTOTIET, SÄHKÖ | 123 |
|  | JOHTOTIET, TELE | 181 |
|  | JOHTOTIET, TURVA | 31 |
|  | LATTIAKANAVAT, SÄHKÖ | 65 |
|  | LATTIAKANAVAT, TELE | 225 |
|  | JAKELUKISKOT, SÄHKÖ | 241 |

Kuva Säh-verkoston värit. YTV 2012, osa 4 talotekniikka suunnittelu.