



Betonielementtien sähkösuunnittelu- prosessin kehitys

Niila Piilonen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2025

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma (AMK)

Piilonen, Niila

Betonielementtien sähkösuunnitteluprosessin kehitys

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Toukokuu 2025**, 42 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tutkittiin betonielementtien sähkösuunnitteluprosessin kehittämistä hyödyntämällä tietomallipohjaista suunnittelua. Työn tavoitteena oli selvittää, voidaanko prosessia tehostaa, vähentää manuaalista työtä ja virhemahdollisuuksia sekä parantaa suunnittelun laatua. Sekä haluttiin selvittää, miten uusi toimintatapa vaikuttaa sähkö- ja rakennesuunnittelijoiden työnjakoon. Tutkimus toteutettiin soveltavana tutkimuksena, jossa aineistona käytettiin kirjallisuutta, standardeja, käytännön testauksia ja toimeksiantajan aiempia projekteja.

Testausten ja analyysien perusteella todettiin, että tietomallipohjainen suunnittelu on mahdollista toteuttaa ja sillä on potentiaalia kehittää nykyistä suunnitteluprosessia. Tietomallien avulla voidaan vähentää suunnittelijan työssä mahdollisia inhimillisiä virheitä ja helpottaa eri suunnittelualojen välistä yhteistyötä. Uusi toimintatapa vaatii kuitenkin vielä jatkokehitystä ja toimintatapojen vakiointia, jotta se voidaan ottaa tehokkaasti käyttöön. Lisäksi osa työvaiheista siirtyy sähkösuunnittelijalta rakennesuunnittelijalle, mikä edellyttää muutoksia vastuunjaossa. Kokonaisuudessaan työ osoitti, että tietomallipohjainen suunnittelu voi parantaa betonielementtien sähkösuunnittelun tehokkuutta ja laatua.

Avainsanat (asiasanat)

Sähkösuunnittelu, betonielementtien sähkösuunnittelu, tietomallinnus

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Piilonen, Niila

Development of the Electrical Design Process for Concrete Elements

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2025, 42 pages.

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The thesis examined the development of the electrical design process for concrete elements by utilizing data modeling. The aim was to determine whether the process could be improved by enhancing efficiency, reducing manual work and the potential for errors, and improving the quality of design. And the study aimed to determine how the new approach would affect the division of responsibilities between electrical and structural designers. The research was conducted as applied research, using literature, standards, practical testing, and previous projects from the commissioning company as source material.

Based on the tests and analyses, it was found that model-based design is feasible in practice and has the potential to improve the current design process. Data modeling can reduce human errors in the designer's work and facilitate cooperation between different design disciplines. However, the new approach still requires further development and standardization of practices in order to be efficiently utilized. In addition, some design tasks would shift from the electrical designer to the structural designer, which necessitates changes in the division of responsibilities. Overall, the study demonstrated that model-based design can improve both the efficiency and quality of electrical design in concrete elements.

Keywords/tags (subjects)

Electrical designing, electrical design of concrete elements, data modeling

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

Johdanto	3
1 Tutkimusasetelma	3
2 Betonielementit	6
2.1 Betonielementtirakentamisen historiaa	6
2.2 Erilaiset elementtityypit	7
2.3 Elementtirakentamisen edut	8
3 Sähkövarausten elementtisuunnittelu yleisesti	9
3.1 Sähkövaraukset ja asennustarvikkeet	9
3.2 Piirustusmerkinnät	13
3.3 Suunnitelmien tarkkuus	14
4 Lähtötilanne	16
4.1 Nykyinen toimintamalli	16
4.2 Virhemahdollisuudet	20
5 Vaihtoehtoinen toimintamalli	21
5.1 Yleiset tietomallivaatimukset	21
5.2 Tietomalli	22
5.3 Tietomallipohjainen suunnittelu	22
5.4 Revit	23
5.4.1 MagiCAD For Revit	23
5.4.2 Revit-mallintamisen soveltaminen	23
5.4.3 Ongelmakohdat	26
5.5 AutoCAD	27
5.5.1 MagiCAD For AutoCAD	27
5.5.2 AutoCAD-mallintamisen soveltaminen	27
5.5.3 Ongelmakohdat	29
5.6 Vastuunjako tietomallipohjaisessa suunnittelussa	30
5.7 Edut	32
6 Suunnittelutapojen vertailu	33
6.1 AutoCAD ja Revit	33
6.2 Nykyinen toimintamalli ja tietomallipohjainen suunnittelu	34
7 Haasteet ja ongelmakohdat	36
8 Yhteenveto	36
8.1 Pohdinta	36

8.2 Jatkokehitysideat.....	38
Lähteet	40
Liitteet	42

Kuviot

Kuvio 1. Erityyppisiä ontelolaattoja	8
Kuvio 2. Kuva Elementtisuunnittelu.fi verkkosivulta elementtitehtaasta	9
Kuvio 3. Esimerkkikuvia upotettavista kojerasioista.....	10
Kuvio 4. Esimerkkikuvia upotettavista jakorasioista.....	10
Kuvio 5. Esimerkkejä erilaisista rasianysistä ja rasioiden yhdyskappaleesta.....	11
Kuvio 6. Esimerkkikuvat betonivalussa käytettävistä pääteholkeista	11
Kuvio 7. Kuminen magneetilla varustettu päätevaraus.....	12
Kuvio 8. Betonivalussa käytettäviä rasioiden kiinnitysmagneetteja	12
Kuvio 9. Polystyreenilla toteutettuja varauksia	13
Kuvio 10. Suunnittelun vaiheet.....	17
Kuvio 11. Leikkaus tasomuotoisesta elementtikaaviosta elementin V-112 kohdalta	18
Kuvio 12. V-112 elementin elementtisuunnitelma.....	19
Kuvio 13. Elementti tasonäkymästä.....	25
Kuvio 14. Elementti sivunäkymästä Section-työkalulla	25
Kuvio 15. Elementti AutoCAD tasonäkymässä.....	28
Kuvio 16. Elementti AutoCAD sivunäkymässä	29
Kuvio 17. Teklalla tuotettu tuloste sähkövarausten elementtisuunnitelmasta	31

Taulukot

Taulukko 1. Betonielementin sähkövarausten piirrosmerkit	14
Taulukko 2. Rasioiden sijaintien toleranssit.....	15
Taulukko 3. Varausten sijaintien minimimitat elementteissä	15

Johdanto

Tietomallipohjainen teknisten sähkösuunnitelmien laadinta on ollut jo pitkään käytetty tapa suunnitella. Tietomallintamista suunnittelussa hyödynnetään etenkin juuri uudisrakentamisessa. Elementtien sähkövarausten suunnittelussa sitä ei ole vielä hyödynnetty laajamittaisesti. Tähän yhtenä syynä voidaan olla mahdollisesti pitää käytettävien työkalujen puutetta. Tämänhetkisillä työkaluilla tietomallipohjainen suunnittelu kuitenkin olisi mahdollista.

Suoraan tietomallipohjaiseen betonielementtien sähkövarausten suunnitteluun ei näyttäisi vielä löytyvän aiempia opinnäytetöitä tai muita tutkimuksia. Aihetta on kuitenkin sivuttu joissakin elementtien sähkösuunnitteluun liittyvissä opinnäytetöissä. Muun muassa Mikael Er (2019, 28–29) mainitsee työssään lyhyesti tietomallipohjaisen suunnittelutavan hyödyntämisen etuja ja mahdollisia ongelmakohtia.

Opinnäytetyön aiheeksi valittiin betonielementtien sähkösuunnitteluprosessin kehitys, sillä siinä nähtiin selkeä kehityksen mahdollisuus. Sähkövarausten laadinnassa betonielementteihin on useita virheen mahdollisuuksia, koska toteutus tehdään manuaalisesti piirtämällä erilliseen suunnitelmaan. Kun tarkastellaan sähkösuunnittelua yleisesti, nähdään että suunnitelmat toteutetaan etenkin rakennusalalla nykyään hyvin pitkälti tietomallipohjaisesti. Betonielementtien sähkövarausten suunnittelun kohdalla asia ei vielä kuitenkaan ole näin.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää olisiko betonielementtien sähkövarausten suunnittelua mahdollista kehittää. Työn tutkimusasetelma on käyty läpi tarkemmin luvussa 1.

1 Tutkimusasetelma

Granlund Oy

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Granlund Oy. Granlund Oy on vuonna 1960 Olof Granlundin Helsingissä perustama insinööritoimisto, joka toimi alun perin nimellä Insinööritoimisto Olof Granlund Antti Oksanen. Yrityksen tavoitteena on tehdä tulevaisuudesta kestävä ja älykäs yhdessä asiakkaiden kanssa. Pääkonttori sijaitsee Helsingin Malmilla. Yrityksessä työskentelee yli 1500 ammattilaista ja toimipisteitä löytyy 30 ympäri Suomen. Yhtiön palvelut kattavat laajalti kiinteistö- ja

rakennusalan. Palveluita ovat talotekninen suunnittelu, isännöinti, energiapalvelu, kiinteistöjohtaminen, ympäristöalan konsultointi, rakennuttaminen ja valvonta sekä palvelut ja ohjelmistot kiinteistöjohtamiseen. (Kohti kestävää ja älykästä tulevaisuutta n.d.)

Opinnäytetyön Aiheen taustalla on Granlund Oy:n tarve kehittää elementtien sähkösuunnittelua. Opinnäytetyö on osa Granlundin aktiivista kehittämistoimintaa. Innovaatio ja kehitystoiminta toimii merkittävänä osana Granlundin toimintaa. Se kattaa n. 6–8 prosenttia liikevaihdosta. Yhtenä tärkeimpänä innovaatioiden tavoitteena yrityksellä on löytää parhaat ratkaisut loppukäyttäjää ajatellen. (Innovaatiot n.d.)

Tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tunnistaa betonielementtien sähkösuunnitteluprosessissa esiintyviä virheiden mahdollisuuksia sekä löytää ratkaisuita virheiden minimoimiseksi ja manuaalisten työvaiheiden vähentämiseksi. Tavoitteena oli siis selvittää nykyiseen suunnittelutapaan nähden vaihtoehtoisia tehokkaampia toimintatapoja ja työkaluja sähkövarausten laatimiseen elementtisuunnitelmiin. Yhtenä tavoitteena oli myös selvittää, kuinka vastuunjako muuttuisi sähkösuunnittelijan ja rakennesuunnittelijan välillä.

Tutkimuskysymykset

Työtä aloittaessa on tärkeää määritellä tavoitteet, joita kohti halutaan tutkimusta kohdistaa. Tutkimuskysymykset ovat hyvä tapa keskittää tiedonhakua ja tutkimusta. (Liukko & Perttula 2024b) Tässä opinnäytetyössä pyrittiin löytämään vastauksia useisiin kysymyksiin, jotka on esitetty alla. Tutkimuskysymysten avulla työtä ohjattiin kohti konkreettisia ja hyödyllisiä tuloksia, jotta tuloksia voidaan hyödyntää tulevaisuudessa aiheen jatkokehittämisessä.

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksiksi valittiin:

1. Kuinka tietomallipohjainen tapa suunnitella on mahdollista toteuttaa?
2. Kuinka putket, rasiat, varaukset ja pääteholkit käytännössä onnistuisi lisätä tietomalliin?

3. Saako tietomallipohjaisella tavalla parannettua suunnittelun laatua ja tehokkuutta? Miten?

4. Kuinka sähkö- ja rakennesuunnittelun työvaiheet muuttuisivat mahdollisen uuden toimintatavan myötä? Siirtyykö työvaiheita sähkösuunnittelijalta rakennesuunnittelijalle tai toisinpäin?

Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyö toteutettiin soveltavana tutkimuksena eli tutkimuksellisenä kehittämistyönä. Tämä menetelmä valittiin, koska tavoitteena oli löytää ja kehittää uusi tapa toteuttaa sähkösuunnittelua. Työn tulokset perustuvat käytännön testaukseen ja toimintatapojen vertailuun. Aineistoa on kerätty olemassa olevasta kirjallisuudesta, standardeista, testauksista muodostuneista tuotoksista sekä toimeksiantajan projektien toteutuneista suunnitelmista.

Tutkimuksellinen rajaus

Tässä työssä keskityttiin nimenomaan betoniseinäelementtien sähkövarausten sähkösuunnittelu-prosessin kehittämiseen. Kehityskohteenä oli 3D-mallintamalla tehtyjen suunnitelmien tekeminen. Tehtyjä suunnitelmia oli myös tavoitteena vertailla keskenään sekä vertailla uutta toimintatapaa nykyiseen toimintamalliin. Tavoitteena ei ollut luoda ohjetta uudelle toimintatavalle. Työssä kuitenkin käsitellään testauksissa hyödynnettyjä työkaluja ja toimintatapoja sekä pohditaan, kuinka suunnittelu voidaan toteuttaa. Sähkösuunnitelmien läpivientivarausten suunnittelu opinnäytetyössä ei ollut kehityskohteenä. Opinnäytetyön tutkimustulosten hyödyntäminen on mahdollista myös toimeksiantaja yrityksen ulkopuolella.

Luotettavuus ja eettisyys

Lähteiden paikkaansa pitävyys työssä varmistettiin hyödyntämällä tunnettujen alan toimijoiden materiaalia sekä Suomessa käytössä olevia standardeja. Työn edetessä pidettiin toimeksiantajaorganisaation sisällä opinnäytetyötä tukemassa olleiden asiantuntijoiden kanssa palavereita, joista työhön saatiin näkökulmia ja tarkennuksia. Opinnäytetyössä tehdyissä käytännön testauksissa saatiin konkreettista materiaalia tulosten tueksi.

Tekoälyä hyödynnettiin työssä muun muassa ideointiin ja rakenteen tarkastelussa sekä kokonaisuuden muotoilussa. Työn lopullinen sisältö kuitenkin perustuu standardeihin, ohjeisiin, kirjallisuuteen ja tutkimustuloksiin. Liukon ja Perttulan (2024a) mukaan tekoälyä voi hyödyntää oppimistehävissä sekä opinnäytetyössä. Sen hyödyntäminen on sallittua tekstin kieliasuntarkistamisessa, tiedonhaun ideoinnissa ja suunnittelussa sekä teemojen/rakenteiden suunnittelussa ja ideoinnissa.

2 Betonielementit

Betonielementit ovat olleet rakentamisessa yksi vaikuttavimmista kehityksen kohteista kaikenlaisessa rakentamisessa niiden vakioitumisen ja nykypäivänä pitkälle automatisoituneen valmistusprosessin myötä. Betonielementit ovat laajasti rakentamisessa hyödynnettäviä rakenteita. Niillä mahdollistetaan kustannustehokkaat ja lyhyemmät rakennusajat silloin kun koko rakentamisen ketju toimii yhteistyössä. (Teollinen valmisosarakentaminen 2020.)

2.1 Betonielementtirakentamisen historiaa

Betonielementtirakentamista alettiin kehittämään Suomessa sodan tuoman uudelleen rakentamisen kysynnän vuoksi. Viljo Revellin suunnittelema Palace-talo (toimii nykyään Hotellina) oli Suomessa ensimmäinen rakennus, jossa julkisivuelementtejä hyödynnettiin. Tämä valmistui vuonna 1952. Helsingin Yliopiston Porthania-rakennus oli yksi ensimmäisistä täselementtirakennuksista, joka valmistui noin viisi vuotta Palace-talon jälkeen. Sen suunnitteli arkkitehti Aarne Ervin. (Betonielementit n.d.; Elementtirakentamisen historia 2020.)

Suomessa asuinrakentamiseen kehitettiin ennen 1970-lukua avoin BES-järjestelmä, jonka käyttöä myöhemmin laajennettiin myös muuhun rakentamiseen (Elementtirakentamisen historia 2020). BES-järjestelmä perustuu kantaviin pääty- ja väliseiniin. BES-järjestelmä on betonielementtistandardi, jossa standardoitiin betonielementit ja niiden liitosdetaljit. (Betonielementit n.d.)

1980-luvulla standardointia jatkettiin toimitila- ja teollisuusrakentamiseen, jolloin laadittiin Runko-BES-aineisto. 1970-luvulla alkaneessa ja nopeasti kasvaneessa elementtirakentamisessa visuaalinen puoli jäi hyvin laatikkomaiseksi. Kehityksen myötä 1990-luvulle mentäessä betonirakentaminen alkoi monimuotoistumaan. (Betonielementit n.d.; Elementtirakentamisen historia 2020.)

Kehitys elementtirakentamisessa on jatkunut 2000-luvulla, mutta BES- ja Runko-BES-järjestelmiä hyödynnetään edelleen tänäkin päivänä. Julkisivuissa erilaiset elementtien pintaratkaisut mahdollistavat yhä erilaisempia elementtien hyödyntämistapoja. (Betonielementit n.d.) Tietomallipohjainen suunnittelun hyödyntämisen on yleistynyt myös elementtisuunnittelussa (Elementtirakentamisen historia 2020).

2.2 Erilaiset elementtityypit

Elementtityyppejä on monenlaisia. Perustuselementteihin kuuluvat muun muassa anturaelementti, sokkelielementit ja pilarielementit eli pilarit. Laattaelementtejä ovat muun muassa alapohjalaatta, jännitetty laattaelementti ja ontelolaatta. Seinäelementit kattavat väliseinät, ruutuelementit, sisäkuorielementit, nauhaelementit ja kuorielementit. Muita elementtityyppejä ovat parveke-elementit, porrasedimentit, hissikuilun elementit ja erikoiselementit. (Elementtitunnukset 2023.)

Seinäelementti

Seinäelementit ovat käytössä ulkoseinän sisäkuoressa, väliseininä ja kellarin maanpaineseininä. Elementtiseiniä tehdään raudoitettuina sekä radioittamattomina. Muun muassa asuinrakennuksissa elementtien rasitukset yleensä pysyvät niin pieninä, ettei raudoitusta välttämättä tarvita. Seinäelementit voivat olla joko jäykistäviä tai puristettuja rakenteita. (Seinät 2023.)

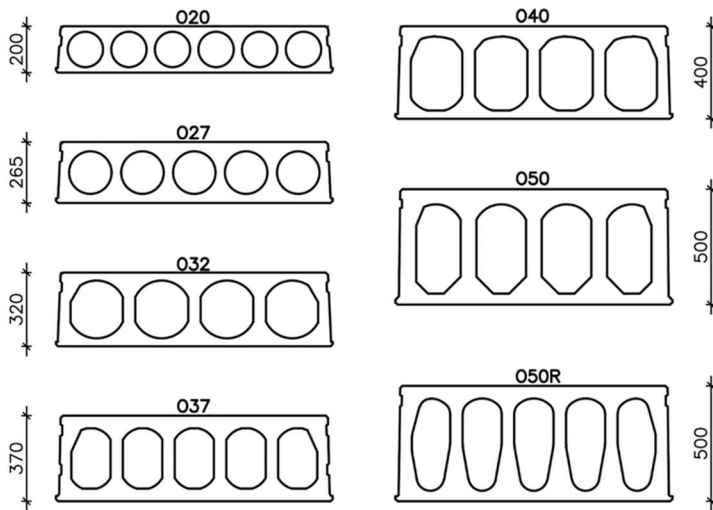
Betonielementtiseinissä tulee ottaa huomioon myös sähköistyksen. Sähkövarausten suunnittelun elementtipiirustuksiin tekee sähkö- tai elementtisuunnittelija. Näistä toinen osapuoli sekä päärakennesuunnittelija tarkistavat tehdyt suunnitelmat. Tällä vältetään muun muassa raudoitusten ja rasioiden mahdollinen törmääminen. (Seinät 2023.)

Ontelolaatta

”Ontelolaatta on yleisin elementtilaattatyyppi, jota käytetään betonirunkoisissa rakennuksissa.” (Ontelolaatat 2024). BES-järjestelmän kehityksen mukana myös ontelolaattojen kehitys kasvoi ja

aluksi olikin eri levyisiä elementtejä käytössä, mutta niistä sittemmin luovuttiin (Elementtirakentamisen historia 2020). Nykyään vakioleveytenä käytetään 1200 mm ja paksuus vaihtelee käyttötaroituksen mukaan (Ontelolaatat 2024).

Kuviossa 1 on esitetty ontelolaattojen yleisimpiä tyyppejä sekä valmistuspaksuuksia. Näiden lisäksi on myös vähemmän käytetty O15 laattatyyppi, jonka paksuus on 150 mm (Ontelolaatat 2024).



Kuva 1. Ontelolaattojen yleisimmät perustyyppit.

Kuvio 1. Erityyppisiä ontelolaattoja (Ontelolaatat 2024)

2.3 Elementtirakentamisen edut

Etuja betonielementtirakenteiden käytössä ovat valmistettavuuden lisäksi muun muassa kustannustehokkuus sekä lämmön ja äänen eristävyys (Teollinen valmisosarakentaminen 2020). Elementtirakentaminen on yleisesti edullisempaa perustuen lyhyempään rakennusaikaan ja hukkamateriaalin minimointimahdollisuuksiin. Elementtirakentamisella rakennusaikaa saadaan lyhennettyä vakioituneella prosessilla. (Betonielementit n.d.)

Elementit mahdollistavat niiden valmistuksen sisätiloissa, jolloin työskentely tapahtuu sisällä eikä esimerkiksi ilmasto vaikuta elementtien valmistukseen (Betonielementit n.d.). Kuviossa 2 on esimerkkikuva elementtitehtaan hallista.



Kuvio 2. Kuva Elementtisuunnittelu.fi verkkosivulta elementtitehtaasta (Elementtirakentamisen historia 2020)

3 Sähkövarausten elementtisuunnittelu yleisesti

Betonelementtien suunnittelu vaatii yhteistyötä eri suunnittelualojen kesken, jotta suunnitelmista tulisi mahdollisimman virheettömät. Suunnitteluvirheet ja virheellisten suunnitelmien perusteella toteutettujen ratkaisujen korjaaminen työmaalla on työlästä ja aiheuttaa kustannustehottomuutta. Elementtien suunnitteluun liittyviä suunnittelualoja ovat arkkitehtisuunnittelu, rakennesuunnittelu, LVI suunnittelu sekä sähkösuunnittelu. (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011, 5.)

Betonelementtien sähkövarausten suunnitteluprosessissa on mukana vain sähkö- ja rakennesuunnittelija.

3.1 Sähkövaraukset ja asennustarvikkeet

Betonelementeissä käytettävät sähköasennustarvikkeet koostuvat jako- ja kojerasioista, sähköasennusputkista, rasianyysistä sekä pääteholkeista. Elementtien valmistuksessa hyödynnetään myös kojerasiatukia, joilla rasia saadaan elementin yläpintaan. (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011, 7–8.)

Elementtien valussa hyödynnetään erilaisia magneetteja ja varauksille tarkoitettuja kumisia magneetilla varustettuja tai muovisia kappaleita. Näillä elementtiin toteutetaan varaukset, johon putkien päät tulevat. (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011, 8.)

Jako- ja kojerasiat

Sähkötarvikemarkkinoilta löytyy runsaasti upotettavia jako- ja kojerasioita, jotka sopivat betonielementeissä hyödynnettäväksi. Kuviossa 3 ja 4 esimerkkejä betonielementeissä hyödynnettäviä jako- ja kojerasioista.



Kuvio 3. Esimerkkikuvia upotettavista kojerasioista (Asennustarvikkeet n.d., muokattu)



Kuvio 4. Esimerkkikuvia upotettavista jakorasioista (Asennustarvikkeet n.d., muokattu)

Rasianysä ja pääteholkki

Sähköputkituksia varten tarvitaan erilaisia putkitustarvikkeita, joilla putket päätetään tai jatketaan. Kuvioissa 5 ja 6 on esitetty erilaisia rasianysiä ja putken päättämiseen käytettyjä holkkeja, jotka mahdollistavat sekä helpottavat putkitusta ja rasioiden liittämistä toisiinsa.



Kuvio 5. Esimerkkejä erilaisista rasianysistä ja rasioiden yhdyskappaleesta (Asennustarvikkeet n.d., muokattu)



Kuvio 6. Esimerkkikuvat betonivalussa käytettävistä päteholkeista (Asennustarvikkeet n.d., muokattu)

Varaukset ja magneetit

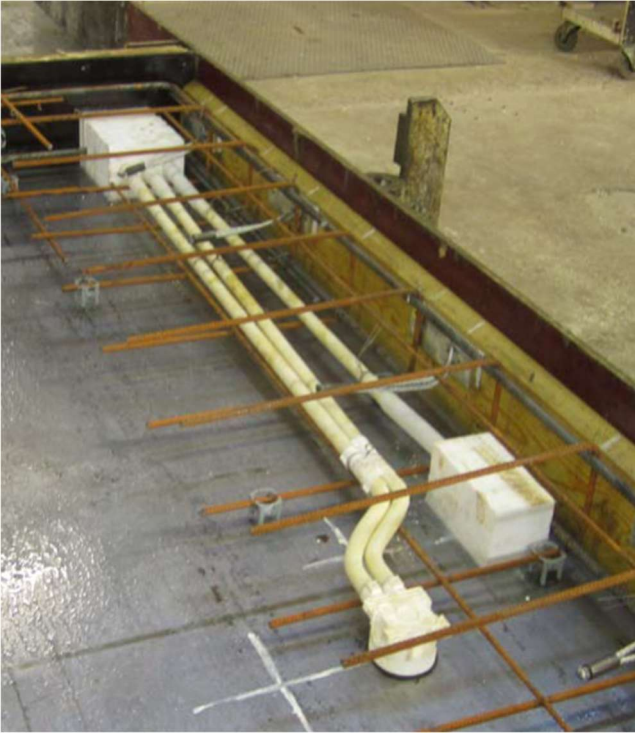
Betonelementtivalussa hyödynnetään erilaisia kumisia varausmuotteja, joilla voidaan toteuttaa muun muassa WM2 eli päätevaraus. Kuviossa 7 on esimerkki WM2 varauksesta. Jako- ja jakorasioiden valun aikaiseen kiinnitykseen löytyy magneetteja, joilla rasiat saadaan helposti kiinnettyä metallimuottiin. Kuviossa 8 on erilaisia rasioiden kiinnitykseen tarkoitettuja magneetteja. Kuviossa 9 varauksia on toteutettu polystyreenimuovilla. Polystyreeniä hyödynnetään etenkin varausten ja päätevarausten toteuttamiseen.



Kuvio 7. Kuminen magneetilla varustettu päätevaraus (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011, 8)



Kuvio 8. Betonivalussa käytettäviä rasioiden kiinnitysmagneetteja (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011, 8)






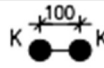






















Kuvio 9. Polystyreenilla toteutettuja varauksia (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011, 19)

3.2 Piirustusmerkinnät

Taulukkoon 1 on koottu betonielementti suunnitelmissa käytössä olevien sähkötarvikkeiden ja erilaisten varausten piirrosmerkit. Kuten kaavion yläreunassa kerrotaan, piirrosmerkit erotellaan tummalla taustalla, riippuen kummalla puolella elementtiä rasia tulisi olemaan. Eli tummalla taustalla olevat ovat katsontasuunnasta elementin toisella puolella. Yrityksillä saattaa olla myös omia piirrosmerkkejä käytössä, joita ei tässä ole esitetty.

Taulukko 1. Betonielementin sähkövarausten piirrosmerkit (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011, 11)

Etupinnassa	Takapinnassa	
 K	 K	Kojerasia (ABB AU3.2; Schneider Electric JR00)
 2xK	 2xK	2 kojerasiaa toisissaan kiinni Yhdyskappale ABB PMR71; Schneider Electric JL71)
 100 K K	 100 K K	Kojerasiat vakioetäisyydellä Yhdyskappaleet ABB PMR490, PMR502; SE JL85, JL100 (Heikkovirta-/vahvavirtarasiat)
 S	 S	Kaksoiskojerasia, huom. asennussuunta (ABB AU17.2; Schneider Electric JR20)
 J	 J	Jakorasia (ABB AU19; Schneider Electric JR08)
 W1	 W1	Varaus 150x160x120 (lev x kork x syv)
 W2	 W2	Varaus 270x160x120 (lev x kork x syv)
 W3	 W3	Varaus 340x160x120 (lev x kork x syv)
 WM1	 WM1	Päätevaraus 75x125x50 (lev x kork x syv), 1 putki (alakatot, kaapistojen yläliistat)
 WM2	 WM2	Päätevaraus 100x125x50 (lev x kork x syv), 2 putkea (alakatot, kaapistojen yläliistat)
		Jatkosholkki (ABB AJ16, AJ20, AJ25; Schneider Electric RJM16, RJM20, RJM25)
		Päättehokki (ABB AJ5.16, AJ5.20)
		Putkinyssä (ABB AN16, AN20, AN25; Schneider Electric JN20, JN25)

3.3 Suunnitelmien tarkkuus

Sähkörasioille on annettu toleransseja, joiden tarkkuudella suunnitelmat tulisi toteuttaa. Erityisesti märkätiloissa ja keittiössä tulee mitoitus tehdä tarkasti, jotta sähkökalusteet eivät ole tilaan tulevien kalusteiden edessä (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011, 6). Suunnitelmissa tulee olla mittaviiva rasioille tai niiden varauksille, joiden avulla elementtitehtaalla varaukset sijoitetaan elementtiin. Taulukossa 2 esitetään rasioiden sijainneille valmistustoleransseja.

Taulukko 2. Rasioiden sijaintien toleranssit (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011, 6)

Sähkörasioiden valmistustoleranssi [mm]	Normaaliluokka	Erikoisluokka
Rasian sijainti		
• pinnan suunnassa	± 15	± 10
• syvyyssuunnassa	± 5	± 5
• rasiaryhmässä	± 5	± 5
Rasiaryhmän kiertymä	± $\frac{\text{rasiaryhmän pituus}}{40}$ kuitenkin enintään 4 mm	± $\frac{\text{rasiaryhmän pituus}}{40}$ kuitenkin enintään 4 mm

Taulukossa 3 on esitetty suositeltavia mittoja eri elementin osista sähköasennuksille ääneneristävyyden, raudoituksen sekä elementin kestävyuden kannalta. Näiden lisäksi kapean elementin ovipielen alareunaan ei tule sijoittaa W1, W2 tai W3 varausta (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011, 6). W1, W2 ja W3 varaukset ovat elementtien ylä- ja alapäässä hyödynnettäviä varauksia sähköasennuksia varten. Niillä voidaan toteuttaa muun muassa elementistä toiseen jatkuvan purituksen tekeminen.

Taulukko 3. Varausten sijaintien minimimitat elementteissä (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011, 6)

Sähköasennusten mitoitus	mm
etäisyys elementin reuna-vaarnan pohjasta rasian keskelle	minimi 80
etäisyys huoneen nurkasta	minimi 300
huoneistojen välisessä seinässä eripuolilla elementtiä olevien rasioiden väli	minimi 200
varauksen väli elementin yläreunaan	90
ovenpielen leveys	minimi 300
väliseinäelementin alareunan varauksen syvyys	120

4 Lähtötilanne

4.1 Nykyinen toimintamalli

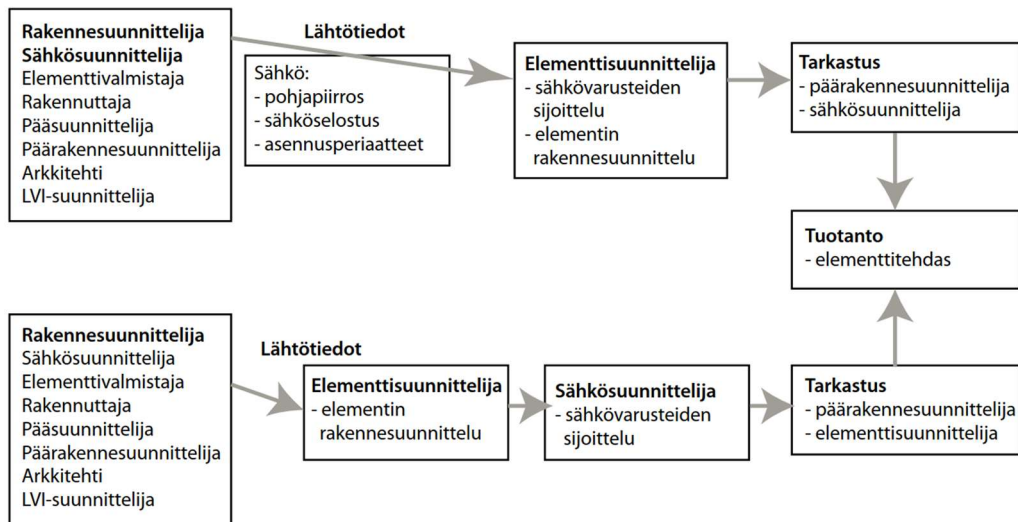
Betonielementtien sähkövarausten suunnittelu 2D-muodossa elementin 3D-mallista luodun naamakuvan DWG-tiedoston pohjalle on yksinkertainen tapa toteuttaa betonielementtien sähkövaraukset. DWG-tiedosto (AutoCAD Drawing) on AutoCAD-ohjelmistossa ja muissa CAD (Computer-Aided Design) -sovelluksissa käytettävä tiedostomuoto. Nykyisessä toimintamallissa sähkösuunnittelijalla on manuaalista työtä useassa sähkövarausten laadinnan vaiheessa.

Yritykset ovat tehneet omia ohjeita elementtien sähkövarausten laadintaan. Muun muassa Sweco talotekniikka Oy:ltä löytyy oma ohjeistus. Swecolla on myös käytössä elementtisuunnitelmien laadintaa helpottava lisäosa AutoCADissa, jolla saadaan luotua varausten mittaviivat automaattisesti. (Korhonen 2019) Myös tämän työn toimeksiantajayritykseltä löytyy elementtien sähkövarausten laadintaan yksinkertainen ohjeistus.

Betonielementtisuunnitelmien laadinnassa voidaan käyttää monia sähkösuunnittelussa käytettyjä ohjelmistoja. Näitä on muun muassa AutoCAD ja Cadmatic. Rakennesuunnittelijat käyttävät elementtien suunnittelussa muun muassa Teklaa.

Halutut toimintatavat voivat vaihdella rakennesuunnittelijoiden välillä, joten ne yleensä sovitaan projektikohtaisesti sähkö- ja rakennesuunnittelijan välillä. Tähän kuuluu muun muassa elementtisuunnitteluprosessin alkaessa aikataulun sopiminen, jonka mukaan edetään.

Betonielementtien sähkövarausten suunnittelu voidaan toteuttaa eri tavoin riippuen suunnittelijoista, projektista ja lähtökohdista. Kuviossa 10 elementtisuunnittelun prosessi on kuvattu kahdella eri tavalla, joista toisessa sähkösuunnittelija tekee rasioiden ja varausten sijoittelun ja toisessa rakennesuunnittelija tekee nämä (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011).

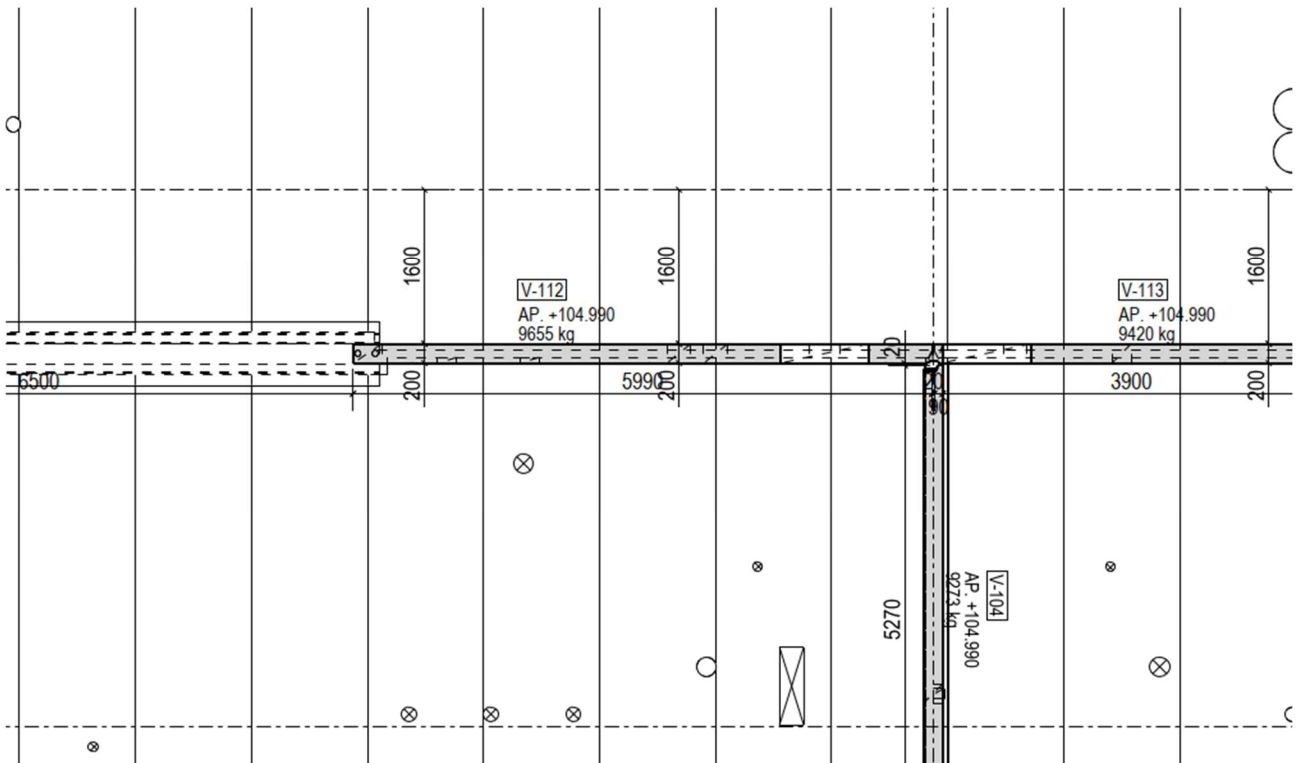


Kuvio 10. Suunnittelun vaiheet (Palolahti, Stagnäs & Valjus 2011, 5)

Työvaiheet elementtisuunnitelmien laadinnassa

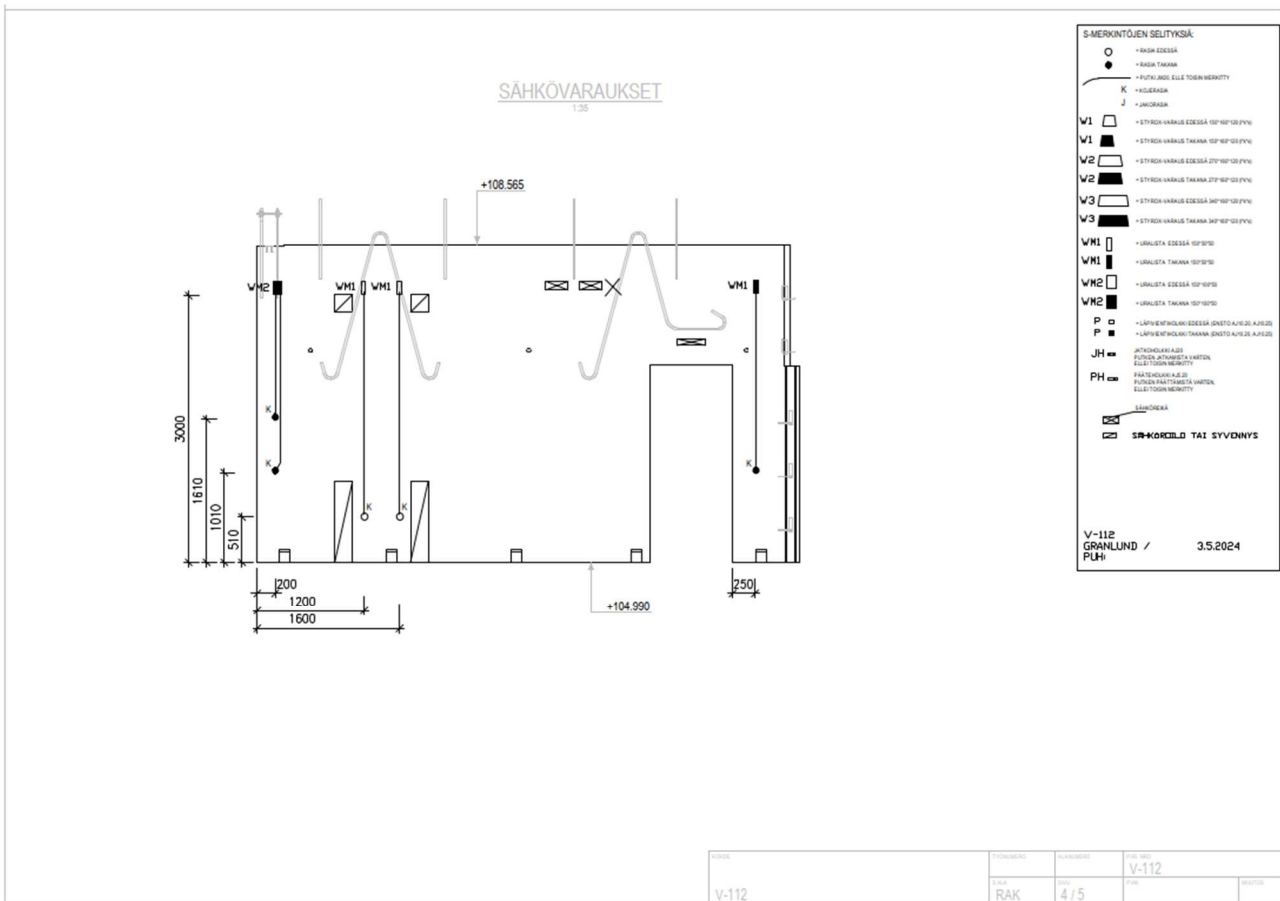
Elementtisuunnitteluprosessin alkaessa rakennesuunnittelija toimittaa sähkösuunnittelijalle elementtien naamakuva DWG-tiedostot ja elementtikaaviot tasomuotoisena jokaisesta kerroksesta sekä leikkauskuvat rakennuksen väli- ja ulkoseinistä. Leikkauskuvista voidaan tarkastella, kuinka muun muassa päällekkäiset elementit asettuvat.

Sähkösuunnittelija katsoo elementin sijainnin ja katsontasuunnan rakennesuunnittelijan toimittamasta tasomuotoisesta elementtikaaviosta. Kuviossa 11 on leikkaus toimeksiantajan toteutuneen esimerkkinä käytetyn kohteen elementtikaaviosta, jossa näkyy tarkasteltava elementti V-112. Tämän jälkeen suunnittelija tarkistaa mahdollisen eron elementin alareunan ja lattiatason väliltä sekä tarkistaa rasian koron ja mittaa rasioiden sijainnin sähkötasopiirustuksesta elementin reunaan. Näiden pohjalta suunnittelija piirtää viivanpiirto-työkalulla putkitukset sekä symboleilla rasiat ja varaukset. Lopuksi suunnitelmaan lisätään vaaka- ja pystysuuntaiset mittaviivat elementin reunoista sähkövarauksiin sekä mahdolliset huomiotekstit.



Kuvio 11. Leikkaus tasumuotoisesta elementtikaaviosta elementin V-112 kohdalta

Sähkösuunnittelija toimittaa elementtisuunnitelmat rakennesuunnittelijalle tarkastettavaksi ja kommentoitavaksi. Kuviossa 12 on esimerkki elementin V-112 sähkövarauksille tarkoitetusta sivusta elementtisuunnitelmista. Kuviossa 12 elementin yläreunassa näkyvät reikävaraukset (esimerkiksi suorakulmiot ruksilla) tulevat rakennesuunnittelijan toimittamaan elementin naamakuvaan jo aiemmin toteutetun reikäkiertoprosessin kautta. Reikäkiertoprosessi on työvaihe, jossa LVI-, sähkö ja rakennesuunnittelija suunnittelevat elementteihin tulevat läpiviennit, esimerkiksi sähköhylllyille ja IV-kanaville.



Kuvio 12. V-112 elementin elementtisuunnitelma

Seuraavana työvaiheena rakennesuunnittelija tarkistaa suunnitelmat mahdollisten muutostarpeiden varalta muun muassa rasia/putkitus elementin raudoituksen tiellä. Rakennesuunnittelija lähettää kommentit ja mahdolliset muutostarpeet sähkösuunnittelijalle, joiden pohjalta muutokset tehdään. Tämä toistuu siihen saakka, kunnes molemmat osapuolet hyväksyvät suunnitelmat.

Yleensä elementtien varauksia suunniteltaessa sähkötasopiirustuksiin on suunniteltu sähköpisteet ja merkitty niiden asennuskorkeudet, joiden pohjalta elementtisuunnittelu toteutetaan. Suunnitelua helpottaa, jos tasopiirustuksiin on suunniteltu myös kaapeloinnit. Niiden pohjalta voidaan helpommin hahmottaa elementtiin tarvittavat sähköputket.

4.2 Virhemahdollisuudet

Sähkösuunnittelijan työssä on paljon virhemahdollisuuksia suunniteltaessa 2D-tasokuvaan manuaalisesti piirtämällä. Rasian, putkituksen ja varauksen puuttuminen on yleinen virhe suunnittelussa. Suunnittelu vaatii runsaasti silmämääräistä tarkastelua suunnitelmista varsinkin silloin, kun sähkötasot suunnitelmat on tehty ennen kuin elementtisuunnitelmia tehdään. Sähkösuunnittelijan työn lisäksi luonnollisesti rakennesuunnittelijalla tulleet virheet vaikuttavat suunnitelmien lopputuloksiin. Elementin valmistuksessa ja asennuksessa elementtivalmistajan ja rakennusurakoitsijan virheet näkyvät yhtä lailla lopputuloksessa.

Elementtitunnuksen väärin tulkitseminen joko väärään paikkaan tai oikealle paikalle mutta väärälle puolelle elementtiä on selkeä virhemahdollisuus. Rakennesuunnittelijan virhe suunnitelmissa, esimerkiksi virheellinen elementtitunnuksen merkintä, voi myös olla syytä tähän. On myös mahdollista, että vierekkäisten elementtien alapinnan ja lattiakoron välinen mitta on eri vierekkäisissä elementeissä ja tämä jää huomaamatta sähkösuunnittelijalta.

Tarkempaa sähkörasioiden sijoittelua vaativissa elementeissä, esimerkiksi keittiössä sähkörasian sijoittelu menee virheellisesti kalusteen eteen. Tämä voi johtua muun muassa keittiökalusteiden projektiokuvien väärin tulkinnasta, rasian virheellisestä asettelusta suunnitelmaan tai virheellisistä keittiökalusteiden projektiokuvista.

Esimerkkinä porraskäytävissä kerroksesta kerrokseen jatkuvat putkitukset ovat yksi selkeä virheen mahdollisuus piirrettäessä 2D-muodossa. Kun molempien kerrosten elementit eivät ole samassa kuvassa, on hankalampi hahmottaa meneekö alemman elementin putki kohdalleen ylemmän elementin varauksen kanssa. On myös mahdollista elementistä toiseen jatkuvaa putkea suunniteltaessa laittaa erikokoiset putket eri elementtiin, jolloin kaapelin asentaminen ei onnistu. Tähän syytä voi olla esimerkiksi pitkä aikaväli eri kerrosten elementtien suunnittelussa tai asennusputken merkinnän puuttuminen suunnitelmasta.

Suunnitteluvaiheen virheiden paikkaaminen työmaalla ei ole kustannustehokasta, joten on pyrittävä mahdollisimman laadukkaisiin suunnitelmiin. Ongelmia aiheuttavat erityisesti mahdollisesti puuttuvat jako- tai kojerasiat sekä niiden putkitukset. Puuttuvia rasioita ja putkituksia voidaan

myös korvata asennuskourulla. Tämä helpottaa puutteellisten sähköpisteiden lisäämistä elementtiseinään jälkepäin.

Elementtisuunnitelmissa puutteelliset naamakuvat sekä virheellinen mittakaava aiheuttavat virheitä sähkösuunnittelussa. Elementtivalmistajalla mahdollisia virheitä voivat olla muun muassa varausten sijaintien heitto, puutteelliset asennukset, varaus väärällä puolella elementtiä, varaus ei tule suunnitelmien mukaisesti elementin päätyyn vaan sen kylkeen tai putket ovat valmistuksessa menneet tukkoon. On myös mahdollista, että rakennusurakoitsija asentaa elementin väärin. On siis paljon virhemahdollisuuksia, joita ei suoraan sähkösuunnittelijan työssä voida välttää.

5 Vaihtoehtoinen toimintamalli

5.1 Yleiset tietomallivaatimukset

YTV 2012 yleisiä tietomallivaatimuksia käytetään Suomessa laajalti rakennushankkeissa vaatimusten perustana ja niitä tarkennetaan usein tilaajan erillisvaatimuksissa. Isommilta toimijoilta löytyy myös omia ohjeita tietomallivaatimuksille.

Sähköasennusputkitusten 3D-mallintamista ei vaadita, ellei näin olla erikseen sovittu. Kohteita, missä näitä mahdollisesti vaaditaan, on esimerkiksi elementtirakenteilla toteutettavat kohteet. Näissä tapauksissa siitä ohjeistetaan tekemään erillinen projektikohtainen toimeksianto. (Järvinen, Laine, Kaleva & Heljomaa 2012, 29–30.)

Jako- ja kojerasioiden geometrialle ei ole 3D-mallinnus vaadetta, jonka mukaan tulisi suunnitelmat toteuttaa. Niitä ei siis tarvitse suunnitelmissa esittää muuten kuin sijainti tasokuvissa 2D-symbolina, ellei toisin ole sovittu. Sähkökalusteille muun muassa pistorasioille ja kytkimille vaaditaan geometria mallihuoneisiin sekä tietosisältönä laitteen tyyppi. (Järvinen, Laine, Kaleva & Heljomaa 2012, liite 1.)

5.2 Tietomalli

Rakennuksen tietomalli eli BIM (Building Information Modeling) on teknologia, jonka avulla kyetään luomaan rakennuksesta todellista vastaava virtuaalinen malli ominaisuustietoineen. Ihanteellisessa tilanteessa rakennuksen tietomallintaminen tukee koko sen elinkaarta aina suunnittelusta rakennuksen purkuun. Tietomalli mahdollistaa myös erilaisten ratkaisujen testaamisen, hankkeeseen liittyvien osapuolten keskinäisen viestinnän sekä suunnitelmien tehokkaamman tarkistuksen ennen kuin suunnitelmat lähtevät toteutukseen. Sillä mahdollistetaan laadukkaammat ja täydellisemmät suunnitelmat. (Mitä on BIM? n.d.)

5.3 Tietomallipohjainen suunnittelu

Tietomallipohjainen suunnittelu tarkoittaa suunnitelmien luomista hyödyntämällä tietomallintamista. 3D-suunnittelussa tehdään varausten sijoittelu 3D-symboli edellä eli Sähköpisteitä sijoitellessa asetellaan 3D-symboli kohdalleen. Kun 3D-symbolit ovat kohdallaan voidaan 2D-symbolit järjestellä MagiCAD lisäosista löytyvillä työkaluilla. AutoCADissa tähän on Move Device Symbol -työkalu ja Revitissä Symbol Organiser -työkalu.

Tietomallipohjaisessa suunnittelussa täytyy Rakenne- ja sähkösuunnittelijan välille sopia komponenttien tietokentät, joista rakennesuunnittelija pystyy hakemaan suunnitelmaan näkymään tulevat tekstit. Tähän hyvänä esimerkkinä on jokaiseen jako- ja kojerasian yhteyteen laitettava kirjain J tai K, joka kuvaa onko rasia jako- vai kojerasia. Tämä koskee kaikkia piirrosmerkkejä, jotka on esitetty taulukossa 1 pois lukien pääteholkit, jatkosholkit ja putkinsät.

Tietomallipohjaisessa sähkösuunnittelussa kojerasioita sekä sähköputkia ei normaalisti esitetä tietomallissa. Se tuo osaltaan suunnittelutyöhön ylimääräistä työtä. Tämän lisäksi elementtisuunnitelmien vaatima tarkkuus vaatii rasioiden 3D-objektien riittävän tarkan sijainnin määrittämisen esimerkiksi keittiön rasioita sijoitellessa. Samaan tapaan varausten sijaintien riittävä tarkkuus vaaditaan nykyisessäkin toimintamallissa, mutta hieman eri suunnitteluympäristössä.

5.4 Revit

Revit on Yhdysvaltalaisen Autodeskin valmistama BIM-ohjelmisto. Revit mahdollistaa mallintamisen 3 ulotteisesti. Revit-ohjelmiston käytöllä voidaan tehostaa yhteistyötä sujuvamman projektinhallinnan avulla sekä projektin suunnittelutoimialojen yhdistämisellä. (Autodesk Revit: BIM-ohjelmisto kaikenlaiseen suunnitteluun ja valmistukseen n.d.)

5.4.1 MagiCAD For Revit

MagiCAD For Revit on suomalaisen vuonna 1983 perustetun MagiCAD Groupin (entinen nimi Progran) kehittämä ohjelmisto LVIS suunnitteluun ja laitevalmistajille. MagiCAD:lta löytyy ohjelmistoja myös AutoCAD ja BricsCAD alustoille. (Mahdollistamme poikkeuksellisen lopputuloksen n.d.) Sähkösuunnitteluun liittyen MagiCAD For Revit ohjelmistosta löytyy MagiCAD Electrical -sovellus, jota hyödynnetään juuri sähkö-, valaistus-, tele-, ja datajärjestelmien laskennassa ja suunnittelussa.

MagiCAD for Revit ohjelmistoon vuoden 2021 versioon lisättiin back box -työkalu, jolla voi lisätä kojerasiat uppoon asennettaville pistorasioille, kytkimille, jakorasioille ja muille sähkökojeille tai laitteille (MagiCAD for Revit Release notes for version 2021 2020, 7). MagiCADista löytyy myös putkien mallintamiseen tarkoitettu Conduit-työkalu.

5.4.2 Revit-mallintamisen soveltaminen

Suunniteltaessa mallintamalla voidaan rakennesuunnittelijan malli tuoda sähkösuunnittelumallin pohjalle. Näin saadaan elementit 3D-malliin näkyviin ja varausten kohdistaminen on huomattavasti yksinkertaisempaa, kun kaikki elementit ovat näkyvissä oikeilla paikoillaan. Rakennesuunnitelman ollessa kohdistettu oikein, tulee elementit kohdalleen ja elementit oikeaan lattiakorkoon.

Sähkökalusteet luotiin ja mallinnettiin testauksissa hyödyntämällä MagiCAD for Revit lisäosaa ja sen sisältämiä lisäominaisuuksia. Hyödynnettäviä tuotteita ovat Conduit-työkalu eli asennusputkien mallintamiseen tarkoitettu työkalu. MagiCAD for Revit lisäosan Install Product -valikon kautta saadaan suunniteltua erilaiset sähköpisteet, esimerkiksi kytkimet ja pistorasiat, ja niiden avulla jako- ja kojerasiat. Varaukset saadaan toteutettua luomalla niille omat komponentit, joita voidaan lisätä malliin.

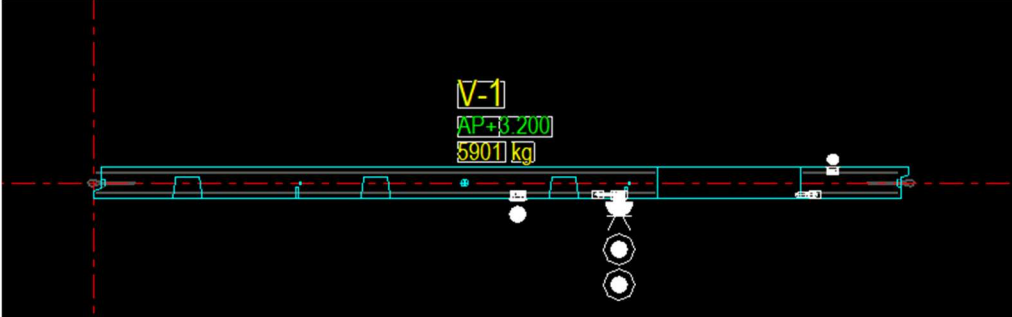
Jako- ja kojerasioiden lisääminen tulee suoraan jo pistesijoittelussa, silloin kun 3D-objektit mallinetaan kohdalleen ja hyödynnetään Back box -ominaisuutta. Back box tarkoittaa esimerkiksi seinään uppoasennettavan pistorasian taakse tulevaa kojerasiaa. Revitissä sen lisääminen on melko vaivatonta varsinkin, jos projektissa vaaditaan sähköpisteiden sijoittelu malliin oikeille sijainneille. Kun kalusteen 3D-objekti asetetaan seinäpintaan oikeaan paikkaan, tulee kojerasia sen yhteydessä seinään. Tarvittaessa sähkörasioita voidaan siirrellä kohdalleen vielä Section-näkymässä, jotta ne ovat kohdallaan elementtisuunnitelmissa. Section-näkymä on leikkaus halutusta kohtaa mallista sivusuunnassa, jolloin elementtiä ja sen sähkö asennuksia on yksinkertainen käsitellä. Elementtisuunnittelu voi vaatia hieman tarkempaa rasioiden sijainteja, joka hidastaa rasioiden sijoittelua.

Päätevarausten toteuttamisessa testattiin myös reikävaraus työkalun hyödyntämistä. Tämä työkalu on siitä hyvä, että se on pidemmälle kehitetty, kun mietitään kuinka Tekla sen havaitsee ja käsittelee sillä tehtyjä varauksia. Reikävaraus työkalu toimii paremmin, koska sitä hyödynnetään jo paljon reikävarausten tietomallipohjaisessa laadinnassa. Sitä ei kuitenkaan tulisi hyödyntää tässä, jotta ei sekoiteta reikäkiertoprosessia.

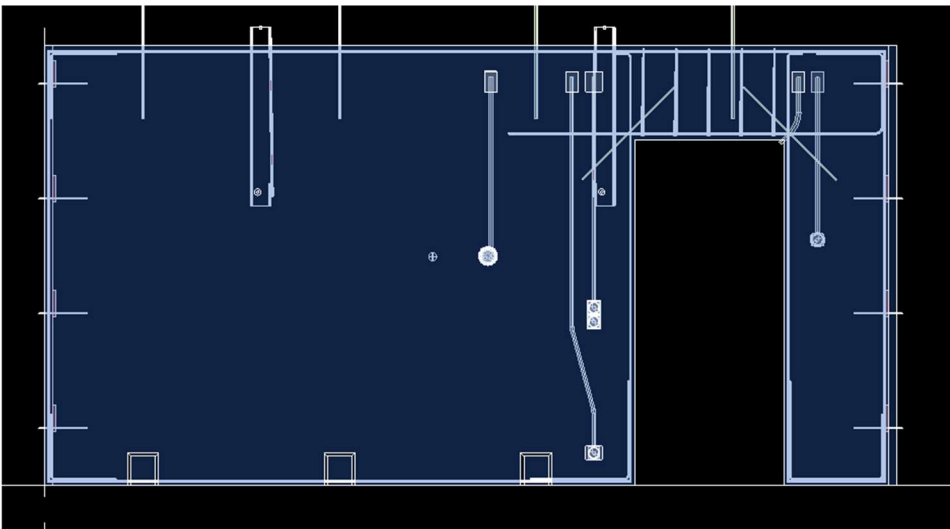
Asennusputkien lisääminen malliin onnistuu esimerkiksi tekemällä Section-näkymä halutun Seinän tai seinien kohdalle. Jos ja kun rakennesuunnittelijan elementtisuunnitelmat on tuotu sähkösuunnitelmien pohjalle, kannattaa elementin läpinäkyvyyttä kasvattaa, jotta seinän sisään lisättävät asennukset näkyvät ja niitä on helpompi käsitellä. Section-näkymässä voi asennusputkia alkaa piirtämään esimerkiksi kojerasian kyljestä siihen tarkoitettuun tartuntapisteestä ylöspäin ja tehdä mahdolliset tarvittavat mutkat putkeen. Putket voi kaikki piirtää erikseen tai kopioida samankaltaiset ja venyttellä ne oikean mittaisiksi ja muotoisiksi. Kopioidessa täytyy huomioida etupuolella ja takana olevat varaukset, jotta putki on oikealla puolella elementtiä 3D-mallissa.

Varaukset, päätevaraukset ja jatkos- ja pääteholkit voidaan lisätä tasonäkymässä elementtiin ja kohdistaa ne Section-näkymässä halutuille paikoille. Tässä täytyy ottaa huomioon kummalle puolelle elementtiä varaus halutaan sijoittaa, jotta varaus ei olisi virheellisesti väärällä puolella.

Opinnäytetyön testauksissa tietomallintamista kokeiltiin yksittäiseen elementtiin. Kuviossa 13 on kuvankaappaus Revitin tasonäkymästä toteutetuilla sähkövarauksilla. Kuviossa 14 on sama elementti sivustapäin hyödyntäen Section-työkalua.



Kuvio 13. Elementti tasonäkymästä



Kuvio 14. Elementti sivunäkymästä Section-työkalulla

Elementtiin tulevien sähköasennusten lisäksi elementtisuunnitelmissa on erilaisia varausten tunnuksia ja tekstejä tarkennusta vaativille asennuksille. Elementtisuunnitelmissa olevat varausten erilaiset merkinnät esimerkiksi WM1 päätevarauksenyhteydessä tai asennuksia tarkentavat tekstit saadaan näkyviin lopullisiin elementtisuunnitelmiin Teklan kautta, kun rakennesuunnittelija on konvertoinut sähkövaraukset Teklaan.

Elementtisuunnitelmissa olevat varausten mittaviivat saadaan lisättyä Teklassa rakennesuunnittelijan toimesta kalusteiden tartuntapisteiden mukaan elementin reunasta. Mittaviivojen ja erilaisten tekstikenttien lisääminen olisivat prosessissa yhden sähkösuunnittelijalta rakennesuunnittelijalle siirtyvät työvaiheet.

Opinnäytetyön yhteydessä toteutetuissa sähkösuunnittelijan ja rakennesuunnittelijan välisissä testauksissa hyödynnettiin komponentin ominaisuuksista Product variables Pv-5 tietokenttää, jolla saatiin varausten tunnus objektiin. Pv-5 eli product variable on ”tuotteen” tietokenttä, joka voidaan määritellä tuotetta luodessa tai muokatessa sen tietoihin. Juuri tällaista tietokenttää käytettiin, jotta uusia symboleja lisätessä malliin tulee tämä tunnus tuotteen ominaisuuksista automaattisesti mukaan. Tunnusten tietokentästä poiketen erilaisten huomiotekstien lisäämiseen käytettiin yksittäisen objektin MC Object variable -tietokenttää, joka on oma jokaisella malliin lisätyllä objektilla. Nämä valittiin, jotta tunnukset tulisivat valmiiksi objekteihin ja tekstit saadaan lisättyä manuaalisesti niitä tarvittaessa.

5.4.3 Ongelmakohdat

Myös uudessa testatussa elementtien sähkösuunnittelun toimintatavassa havaittiin haasteita. Haasteiden havaitseminen on apuna toimintatavan jatkokehittämisessä ja siksi niiden esilletuominen on tärkeää.

Ensinnäkin sähköpisteiden ja varausten asettelu vaatii hieman enemmän aikaa, koska tavoitteena on kuitenkin saada varaukset mallinnettua elementtisuunnitelmien vaatimalla tarkkuudella.

Putkea mallinnettaessa Section-näkymässä eli sivunäkymästä suoraan rasian kyljestä saadaan putki oikeaan syvyyteen elementtiin. Jos putkitusta ei aloita jako- tai kojerasiasta sijoittuu section-näkymän leikkauskohdan pintaan, jolloin putki täytyy siirtää tasonäkymässä kohdalleen elementtiin. Tämän takia kannattaa putkitukset mallintaa suoraan rasian tartuntapisteestä.

Testauksissa käytettyyn Pv-5 tietokenttään ei saada asennusputkissa lisättyä tietoa, koska Conduit työkalu ja ominaisuudet on hieman eri tavalla toteutettu kuin laitteiden ja komponenttien. Tähän voisi löytyä muitakin ratkaisuja ja vakiointi tapoja, jolla putkeen lisätty tunnusmerkintä tai teksti saadaan IFC:n kautta Teklaan.

5.5 AutoCAD

AutoCAD on CAD (Computer-aided Design) eli tietokone avusteinen suunnitteluohjelmisto. Tämä on myös Autodeskin tuottama ohjelmisto. Sitä voidaan käyttää 2D- ja 3D-mallintamiseen ja -suunnitteluun. (Autodesk AutoCAD: suunnittelu- ja luonnosohjelmisto, johon miljoonat luottavat n.d.)

5.5.1 MagiCAD For AutoCAD

MagiCAD For AutoCAD on Suomalaisen MagiCAD Groupin kehittämä ohjelmisto LVIS-suunnitteluun ja laitevalmistajille. (Mahdollistamme poikkeuksellisen lopputuloksen. n.d.) LVIS-lyhenne tulee sanoista lämpö, vesi, ilma ja sähkö.

Sähkösuunnitteluun liittyen MagiCAD For AutoCAD ohjelmistosta samaan tapaan kuin Revitissä löytyy MagiCAD Electrical sovellus, jota hyödynnetään sähkö-, valaistus-, tele-, ja datajärjestelmien laskennassa ja suunnittelussa. MagiCAD:iltä löytyy myös AutoCAD ohjelmistolle putkien mallintamiseen tarkoitettu Conduit-työkalu sekä koje- ja jakorasioiden lisäämiseen Back Box -ominaisuus.

5.5.2 AutoCAD-mallintamisen soveltaminen

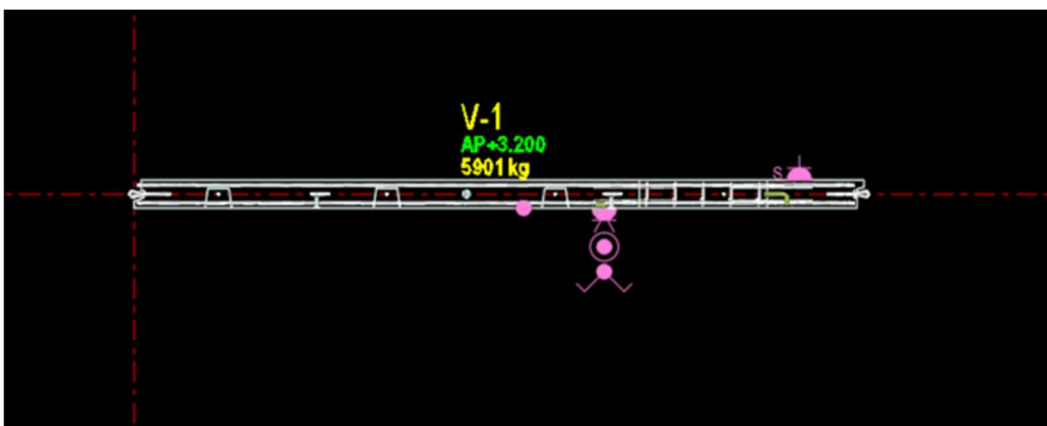
Samanlailla kuin Revitiä hyödyntäessä AutoCADissa saadaan tuotua rakennussuunnitelmat sähkösuunnitelmien pohjalle helpottamaan varausten sijoittelua. AutoCAD ohjelmistossa on monia samantapaisia ominaisuuksia kuin Revitissä, joilla elementtien sähkövarausten mallinnus pystytään toteuttamaan. MagiCAD for AutoCAD ohjelmistossa on mahdollisuus lisätä Back Box eli koje-rasia sähkökalusteen taakse. Sekä putkituksia varten löytyy samantapainen Conduit-työkalu.

Koje- ja jakorasioiden mallinnus onnistuu sijoittamalla Electrical Devices -valikon kautta haluttu sähköpiste siihen tasopiirustukseen seinäpintaan, johon se halutaan. Koje- ja jakorasiat saadaan kalusteille, esimerkiksi pistorasioille, lisäämällä Default Back Box -tuote pistorasioille properties-valikon kautta. Kun tarvittavat rasiat on lisätty suunnitelmaan, voidaan niiden vaak- ja pystysuuntaista sijaintia vielä tarvittaessa tarkentaa sivunäkymässä. Tähän voidaan hyödyntää muun muassa MagiCAD:in Side View -työkalua. Kuviossa 16 on esimerkki näkymästä Side View -työkalulla.

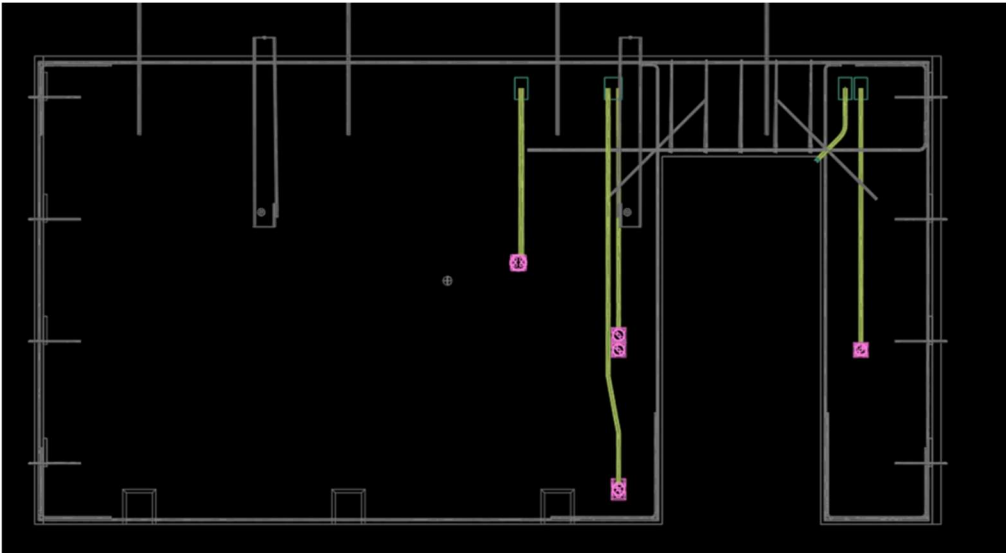
Varausten lisääminen onnistuu samaan tapaan kuin rasioiden, eli varaukset asetellaan elementtiin oikealle puolelle. Kun halutut varaukset on lisätty, voidaan ne käydä kohdistamassa sivunäkymässä. Tässä korkosijainnin voi määrittellä jo varausta lisätessä tasopiirustukseen muun muassa alakaton yläpuolelle samaan korkoon tulevien päätevarausten osalta. Päätevarausten toteuttamisessa testattiin myös AutoCADissa reikävaraustyökalun hyödyntämistä.

Putkitus tehdään ohjelmistosta löytyvällä Conduit-työkalulla. Tämä työkalu on tarkoitettu juuri sähköputkien mallintamiseen. Pystysuuntaiset putkitukset voidaan lisätä tasonäkymässä aloittamalla putken mallinnus halutusta paikasta ja hyödyntämällä Conduit-työkalussa olevaa Z-komentoa. Tällä saadaan luotua pystysuuntaiset putkitukset. Putkien osalta kannattaa tasonäkymässä luoda kaikki tarvittavat putket tarvittavilla paksuuksilla ja mutkilla. Sivunäkymässä näitä luotuja putkia voidaan venyttellä ja kopioida tarpeen mukaan.

Opinnäytetyössä testattiin myös AutoCADilla mallintamista samaan yksittäiseen elementtiin kuin Revitillä. Kuviossa 15 on kuvankaappaus AutoCADissa tasonäkymästä toteutetuilla sähkövarauksilla. Kuviossa 16 on sama elementti sivustapäin hyödyntäen Side View -työkalua.



Kuvio 15. Elementti AutoCAD tasonäkymässä



Kuvio 16. Elementti AutoCAD sivunäkymässä

Elementtiin tulevien tekstien ja tunnusten sekä mittaviivojen lisääminen tapahtuu samaan tapaan kuin Revitillä toteutettuihin suunnitelmiin. Elementtisuunnitelmissa olevat varausten mittaviivat saadaan siis lisättyä Teklassa rakennesuunnittelijan toimesta.

Sähkösuunnittelijan ja rakennesuunnittelijan välisissä testauksissa hyödynnettiin AutoCADissa tuotteen ominaisuuksista Product variables P5-tietokenttää, jolla saatiin varausten tunnus objektiin. P5 eli product variable on ”tuotteen” tietokenttä, joka voidaan määritellä tuotetta luodessa tai muokatessa sen tietoihin. Juuri tällaista tietokenttää käytettiin, jotta uusia symboleja lisätessä malliin tulee tämä tunnus tuotteen ominaisuuksista automaattisesti mukaan. Tunnusten tietokentästä poiketen erilaisten tekstien lisäämiseen käytettiin yksittäisen objektin O2-tietokenttää, joka on oma jokaisella malliin lisätyllä objektilla. O2 eli object variable on yksittäisen objektin tietokenttä, johon suunnittelijalla on mahdollisuus lisätä tietoa käsin. Nämä valittiin, jotta halutut tunnukset tulevat valmiiksi objekteihin ja että halutut tekstit voidaan lisätä manuaalisesti niitä tarvittaessa.

5.5.3 Ongelmakohdat

Putkien mallintaminen on haastavaa AutoCADissa, koska niiden lisääminen pystysuunnassa ei onnistu suoraan sivunäkymässä. Tämän takia on käytettävä Conduit-työkalussa olevaa Z-ominaisuutta, jolla saa mallinnettua putkia viistoon tai pystysuoraan.

AutoCADissa on samaan tapaan ongelma asennusputkien tietokenttien kanssa kuin Revitissä eli testauksissa käytettyyn tietokenttään ei saada asennusputkissa lisättyä tietoa. Myös syyt ongelmaan ovat samatyypiset kuin Revit-ohjelmistossa. AutoCADissa esiintyy myös muut ongelmat kuin Revitissä.

5.6 Vastuunjako tietomallipohjaisessa suunnittelussa

Tietomallipohjaisessa suunnittelussa elementtisuunnitelmien loppuunsaattaminen onnistuu Teklassa rakennesuunnittelijan toimesta elementtitehtaille lähetettävään muotoon. Se kuitenkin vaatii rakennesuunnittelijalta työvaiheita, joita rakennesuunnittelija ei normaalisti toteuta.

Tässä vaihtoehtoisessa toimintamallissa osa sähkösuunnittelijan elementtisuunnitelmien laadinnan työvaiheista siirtyy rakennesuunnittelijalle. Siirtyviä työvaiheita ovat sähkövarausten mittavii-vojen lisääminen suunnitelmaan sekä varausten tunnusten ja huomiotekstien lisääminen vakioiduista tietokentistä. Näiden lisäksi varausten asennuspuolen määrittely tapahtui testauksissa Teklassa tunnistamalla onko varaus etupinnan puolella. Tässä tavassa on kuitenkin mahdollisuus, että pienenkin sähkösuunnittelijan mallinnusvirheen takia varaus tulee virheellisesti väärälle puolelle elementtiä lopulliseen suunnitelmaan.

Rakennesuunnittelijan työvaiheet

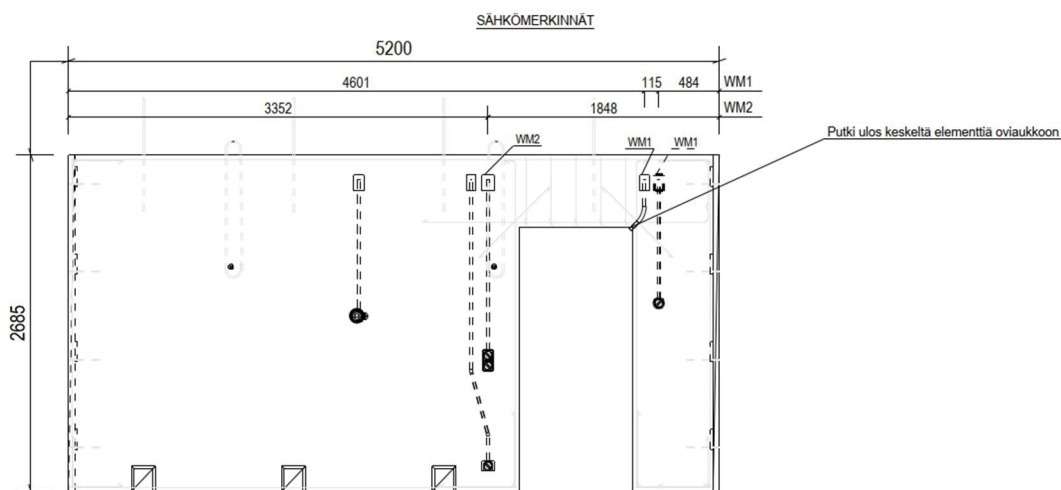
Sähkösuunnittelijan laatima IFC muotoinen elementtisuunnitelma saadaan Teklassa konvertoitua siitä löytyvällä Convert IFC objects -työkalulla. Tällä työkalulla saadaan päivitettyä myös muun muassa varauksiin tehdyt sijainnin muutokset.

Konvertoidut varaukset on liitettävä elementtiin, johon ne on suunniteltu. Teklasta löytyy Assembly-työkalu, jolla varauksista ja elementistä saadaan luotua kokonaisuus. Tämä mahdollistaa varausten käsittelyn yhdessä elementin kanssa.

Kun elementit ja niiden varaukset ovat valmiit, voidaan niistä luoda dokumentit. Teklan luomista näkymistä yksi on sähkövarauksia varten, kuten nykyisessäkin toimintamallissa. Tähän Tekla luo tehtyjen automaattisten asetusten, hakutoimintojen ja filttereiden avulla rasiat, putket, varaukset,

erilaiset tekstit ja mittaviivat. Teklassa saadaan määriteltyä kuinka Tekla käsittelee ja luo eripuolilla olevia varauksia. Testauksissa etupuolella olevat varaukset tuotiin hieman elementin pinnasta läpi, jotta Tekla ymmärtää ne varmemmin oikein. Tekla saa tekstejä varten haettua IFC-mallista sähkösuunnittelijan lisäämistä tietokentistä Teklan tietokenttiin, joista ne voidaan tuoda kuvaan.

Kuvio 17 on kuvankaappaus testauksissa saadusta testitulosteesta. Siitä voi hyvin nähdä, kuinka tekla pystyy mittaamaan varausten paikat. WM1, WM2 ja oviaukkoon tulevan putkituksen tekstikentät on toteutettu juuri näillä Teklassa löytyvien automatisointityökalujen avulla. Testauksissa saatiin Teklalla elementin etupinnan mukaan määriteltyä kuinka sähkövaraukset esitetään tulosteessa. Kaikki katkoviivoilla esitetyt ovat elementin etupinnan alla. Eli myös putket tulee katkoviivoilla. Kuvio 17 nähdään, että jako- ja kojerasiat ovat tulosteessa käytännössä vain mustia pisteitä. Tämä vaatii kehittämistä, jotta Teklalla tehdyt tulosteet olisivat luettavampia.



Kuvio 17. Teklalla tuotettu tuloste sähkövarausten elementtisuunnitelmasta

Vaikka työvaiheita siirtyy, on nekin mahdollista automatisoida melko pitkälle Teklassa. Varsinkin mittaviivat saadaan luotua automaattisesti. Tekstien ja tunnusten sijoittelua saattaa joutua kuitenkin Teklassa tekemään, jotta suunnitelmista saadaan helposti luettavat. Lisäksi sähkösuunnittelijan täytyy käydä lisäämässä huomiotekstit objektien vakioituihin tietokenttiin.

Vastuunjaon muutosten ehkäisemiseksi voisi sähkösuunnittelija käydä itse Teklassa lisäämässä tuloiteisiin mittaviivat, varausten tunnuksat ja erikoisemmat tekstikentät. Tämä tietysti vaatisi, että sähkösuunnittelija hallitsee Teklan. Tekla ei yleensä ole ollut sähkösuunnittelijan käytössä. Tämän takia voisi olla tehokkaampi, että tehtäisiin hieman muutosta vastuunjaossa.

5.7 Edut

Testausten perusteella voidaan todeta, että uusi toimintatapa toisi monenlaisia etuja elementtien sähkösuunnitteluun. Revitissä voidaan elementtisuunnitelmille luoda oma näkymä, jossa suunnittelu voidaan toteuttaa. Tämän erillisen näkymän kautta on mahdollista tehdä rakennesuunnittelijalle lähetettävä IFC-malli. AutoCADissa varaukset voidaan sijoitella kerros kerrallaan ja luoda näistä lopuksi koko rakennuksen kattava IFC-malli. Näin ei tarvita kuin yksi tiedosto rakennesuunnittelijalle, josta voidaan koko rakennuksen elementtisuunnitelmat luoda. Tämä on siis mahdollista Teklassa, kun varaukset konvertoidaan Teklaan ja liitetään manuaalisesti yksittäisiin elementteihin niihin kuuluvat varaukset.

Kun elementtisuunnitelmat tehdään sähkösuunnittelumallin pohjalle, vähentää se puuttuvien koje- ja jakorasioiden mahdollisuuden elementtisuunnitelmissa. Puuttuvat putkitukset ja muut varaukset ovat silti mahdollisia, koska ne täytyy erikseen lisätä suunnitelmiin elementtisuunnitelmia varten. Puuttuvat tai virheelliset putket ja varaukset on kuitenkin helpompi havaita, kun elementtissä näkyy päivittynyt koje- tai jakorasia.

Uuden toimintamallin avulla voitaisiin testausten perusteella saada vähennettyä sähkösuunnittelijan elementtisuunnittelussa esiintyvä inhimillisen virheenmahdollisuus, kun sähkösuunnittelijan ei tarvitse toteuttaa elementtien sijainnin ja katsontasuunnan tarkastelua.

Elementin alapinnan ja lattiakoron välisen eron mittaamista ei tarvitse toteuttaa, kun rakennesuunnitelmat tuodaan malliin. Lisäksi mahdollisten vierekkäisten elementtien alapinnan ja lattiakoron välinen mitta vierekkäisissä elementeissä ei vaikuta tietomallipohjaisessa suunnittelussa.

Testausten perusteella tietomallipohjainen suunnittelu mahdollistaa elementtien välisen putkituksen suunnittelun virheettömämmin. Mallissa saadaan elementit näkymään helposti samaan kuvaan, jolloin elementtien ja niihin tulevien putkitusten ja varausten hahmottaminen ja sijoittelu on

helpompaa. Tähän hyvä esimerkki on porraskäytävissä kerrosten väliset putkitukset. Kerrosten välisissä elementtien varausten suunnittelussa AutoCADissa voidaan tuoda esimerkkinä ylemmän kerroksen suunnitelma viitekuvana alempaan kerrokseen ja nostaa se oikeaan korkoon. Näin saadaan helposti tarkasteltua myös AutoCADissa kerrosten välisten varausten sijainnit oikeille kohdalle elementteihin.

Suunniteltaessa elementtien sähkövaraukset malliin ei sähkösuunnittelijan tarvitse sähkövarausten elementtisuunnitelmille luoda erillistä dokumenttia. Suunnitelmiin tehtyjen muutosten tekeminen ja huomioiminen on myös elementtisuunnitelmissa helpompi, kun sähköpisteiden muutos tehdään vain yhteen tiedostoon.

Rakennesuunnittelijan ja sähkösuunnittelijan on helpompi tehdä törmäystarkastelua suunnittelun aikana, kun sähköpisteet ovat 3D-objekteina 3D-mallissa. Tällöin havaitaan paremmin varausten todelliset muodot ja mitat, mikä auttaa varausten hahmottamisessa. Useat edellä kuvatut tietomallipohjaisen suunnittelun edut voivat vähentää virheitä, parantaa sähkösuunnittelun laatua, sujuvoittaa suunnitteluprosessia ja vähentää manuaalista työtä.

6 Suunnittelutapojen vertailu

6.1 AutoCAD ja Revit

Kun vertaillaan AutoCADin ja Revitin hyödyntämistä juuri elementtisuunnitelmien tietomallipohjaisessa laadinnassa, on Revit parempi ratkaisu. Siihen on monia puoltavia perusteluita.

AutoCADin ja Revitin tiedostomuodot ja rakenteet eroavat hieman toisistaan. AutoCADissa käytettävä DWG-tiedostomuoto kattaa sähkösuunnittelussa yleensä vain yhden kerroksen sähköasennukset. Revitin yksi RVT-tiedostomuoto kattaa taas sähkösuunnitelmien osalta yleensä koko rakennuksen sähköasennukset. Tämä helpottaa kerrosten välisten asennusten/varausten laadintaa, koska Revitissä voidaan vain luoda leikkausnäkyä. Leikkausnäkyästä nähdään suoraan useamman kerroksen elementit, ja siinä voi suunnitella kaikkien päällekkäisten elementtien sähkövaraukset samassa näkymässä. AutoCADissa taas täytyy yhden kerroksen DWG-tiedostoon liittää toisen kerroksen DWG ja käydä mallintamassa eri kerrosten sähkövaraukset niiden omiin DWG-tiedostoihin.

AutoCADissa ainakin tätä opinnäytetyötä tehdessä oli sähköputkien piirto hieman hankalampaa kuin Revitissä. AutoCADissa ei pystysuuntaisen putkien piirtäminen onnistunut suoraan sivunäkymästä, vaan ne jouduttiin piirtämään tasonäkymästä hyödyntäen Conduit-työkalussa olevaa Z-toimintoa. Pystysuuntaiset putket saatiin luotua määrittelemällä korkoarvot manuaalisesti, mikä oli työläämpää toteuttaa.

Revitissä putkea mallinnettaessa sivunäkymässä rasian kyljestä suoraan, tarttuu putki rasiaan ja sähköpistettä tasonäkymässä siirrettäessä siirtyy siinä kiinni oleva putki mukana. AutoCADissa putken mallinnus rasiasta on hankalampaa, koska putken lisääminen sivunäkymässä ei onnistu.

6.2 Nykyinen toimintamalli ja tietomallipohjainen suunnittelu

Betonielementtien sähkövarausten suunnittelu vaatii sähkösuunnittelijalta melko paljon työtä riippumatta toteutustavasta. Nykyisessä 2D-muotoisessa toimintatavassa on kuitenkin enemmän sähkösuunnittelijalla manuaalista työtä, jotka voivat aiheuttaa virheitä suunnittelijan työssä. Näitä ovat muun muassa elementin katsontasuunnan tarkistus, elementin ja lattiakoron tarkistus, sekä rasioiden sijainnin katsominen tasopiirustuksesta.

Tietomallipohjaisessa elementtien sähkövarausten suunnittelussa tarvitaan nykyiseen toimintatapaan poiketen vain rakennesuunnittelijan malli, jonka pohjalta elementtisuunnitelmat voidaan toteuttaa. Nykyisessä suunnittelutavassa rakennesuunnittelijalta tarvitaan elementtien naamakuvat, seinien leikkauspiirustukset sekä tasopiirustus mallinen elementtikaavio. Tästä voidaan suunniteltaessa katsoa elementin sijainti ja katsontasuunta.

Katsontasuuntaa ja elementin sijaintia ei tarvitse erikseen tietomallipohjaisessa suunnittelussa tarkistaa, koska rakennesuunnittelijan mallissa elementit on sijoitettu suoraan niiden omille paikoilleen. Samaan tapaan elementin alareunan ja lattiakoron tarkistusta ei tarvitse erikseen tehdä. Malli mahdollistaa myös alakaton esittämisen samassa kuvassa, missä varauksia suunnitellaan, mikä helpottaa sähkösuunnittelijan työtä. Kun samaan näkymään saadaan rakennuksen kaikki elementit, helpottaa se elementtien välisien sähkövarausten suunnittelussa.

Tietomallipohjaisessa suunnittelussa koje- ja jakorasioiden sijoittelu pystytään tehdä jo sähköpiste sijoittelussa, jolloin rasiat tulevat lisätyn sähköpisteen mukana suunnitelmaan. Tämä helpottaa

myös suunnitelmien muutosten ja päivitysten tekemisessä, kun rasiat päivittyvät suoraan myös sähkön elementtisuunnitelmiin. Ratkaisu poistaa mahdollisuuden puuttuvista jako- ja kojerasioista.

Elementtien sähköputkitukset ja varaukset täytyy kuitenkin lisätä edelleen erikseen. Niiden lisääminen suunnitelmiin on kuitenkin helpompaa, kun kaikki tarvittavat jako- ja kojerasiat on sijoiteltu. On silti edelleen mahdollista, että sähkösuunnittelijalla jää virheellisesti pois suunnitelmista tarvittavia putkia tai varauksia. Vaikkakin putkien mallintaminen voi olla hieman työläämpää kuin 2D kuvaan viivojen piirto, tuo mallintaminen paljon työskentelyä tehostavia ominaisuuksia.

Tietomallipohjainen suunnittelu ei vaadi sähkösuunnittelijalta erillistä suunnitelmaa elementtivarauksille, vaan ne saadaan suunniteltua jo olemassa oleviin sähkösuunnittelumalliin tai tasopiirustuksiin. Tämä auttaa dokumenttien päivittämisessä, kun suunnitelmat pohjautuu samaan malliin.

Tietomallipohjaisessa toimintatavassa nykyiseen toimintatapaan poiketen mittaviivat, varausten tunnuksat ja tekstit lisättäisiin tulosteisiin Teklassa, joka tuo omat haasteensa. Niiden lisäämiseen vaaditaan sähkösuunnittelijalta erillisten tekstikenttien sisällön lisäämistä halutun komponentin vakioituun tietokenttään, jotta tulosteeseen saadaan halutut tekstit. Varausten tunnuksat voidaan lisätä komponenteille niin, ettei niitä tarvitse käsin lisätä malliin. Mittaviivojen, varausten tunnuksien ja tekstien lisääminen saadaan kuitenkin hyvin pitkälle automatisoitua Teklassa. Eli se ei oleellisesti rakennesuunnittelijaa työllistä.

Siirtyvät vastuut kuitenkin tuovat oman haasteensa tietomallipohjaisessa suunnittelussa. Tämä on haasteellista toteuttaa, koska sähkösuunnittelija ja rakennesuunnittelija ovat yleensä eri yrityksistä. Se vaatii suunnittelijoiden välistä sopimusten tarkastelua ja muuttamista. Jos suunnittelijat ovat samasta yrityksestä, tämä ei ole niinkään haaste.

Sähkövarausten laadinta 2D muodossa on hyvin yksinkertainen, tuttu ja vakiintunut tapa toteuttaa betonielementtien sähkövaraukset. Vaihtaminen tietomallipohjaiseen suunnittelutapaan vaatisi suunnittelijoilta uusien toimintatapojen ja mahdollisesti työkalujen opettelua. Pitkällä tähtäimellä tietomallipohjaista suunnittelua voisi olla kannattavaa hyödyntää, kun toimintatavat ja ohjeet ynnä muut ovat vakioituneet.

7 Haasteet ja ongelmakohdat

Toteuttaminen on haastavampaa tietomallipohjaisesti varsinkin silloin, kun rakennesuunnittelija ja sähkösuunnittelija ovat eri yrityksistä. Syinä on vastuunjaon muutosten vaikutus suunnittelijoiden työmäärään sekä muuttuneet toimintatavat. Tämä voisi kuitenkin olla mahdollista, kun toimintatavat saadaan vakioitua ja sopimustekniset asiat sovittua.

Nykyisessä toimintamallissa koje- ja jakorasioiden symbolit ovat huomattavasti yksinkertaisempia kuin 3D-mallinnuksessa hyödynnettävät rasiat, jotka kuvaavat rasioiden todellisia muotoja. Tähän voisi olla ratkaisuna ainakin yksinkertaisempien 3D-symbolien hyödyntäminen. Revitissä ja AutoCADissa ei kuitenkaan pysty Back Box -symboliksi luomaan suoraan yksinkertaista lieriötä tai kuutiota. Hakemiston kautta lisäämällä voidaan Back Box -symboliksi lisätä oma 3D-symboli.

Varausten, putkien, koje- ja jakorasioiden objekteissa hyödynnettävien tietokentät tulisi tarkastella ja vakioida, jotta ne eivät tuota ongelmia. Teklassa yhdellä objektilla voi olla vain yksi viiteviiva, joka saattaa tulla joissain kohdissa ongelmaksi. Esimerkiksi, jos päätevarauksella on tunnus ja jokin huomioteksti sen yhteydessä, ei tällöin saada tuotua kuvaan kuin toinen näistä.

Tekla tunnistaa hyvin elementin pinnassa olevat objektit niin, että ne eivät ole elementin sisässä. Sähkösuunnittelussa sähkövarausten sijoittelussa tulleet millien heitot ei saisi olla ongelma luodessa Teklalla lopullisia elementtisuunnitelmien tulosteita. Vaikkakin Revitissä on ominaisuus, jolla objekteja lisätessä tuotteet voidaan asentaa tarkasti seinäpintaan. Tässä olisi hyvä olla jonkinlainen tunnistus, jolla sähkövaraus tunnistetaan ja merkitään esimerkiksi elementin keskikohdan mukaan oikealle puolelle. Projektin edetessä tulevat mahdolliset seinien liikkumiset tai paksuuksien muutokset aiheuttavat tässä myös virheenmahdollisuuden.

8 Yhteenveto

8.1 Pohdinta

Työn tavoitteena oli saada selville olisiko elementtisuunnitelmien toteuttaminen mahdollista tietomallipohjaisesti, mitä työkaluja siinä voisi hyödyntää ja millaisia muutoksia suunnitteluprosessiin

mahdollisesti tulisi, kun suunnitelmat toteutetaan uudella tavalla. Samalla tutkittiin tehostaako tämä vaihtoehtoinen toteutustapa sähkösuunnittelua elementtisuunnittelun osalta.

Tietoperustassa avattiin betonielementtien historiaa, hyötyjä ja hyödyntämistä rakentamisessa Suomessa. Työn alussa käytiin myös läpi yleisesti sähkövarausten elementtisuunnitteluun liittyviä asioita: asennustarvikkeet, piirustusmerkinnät ja suunnitelmien tarkkuudet. Nykyinen toimintamalli avattiin, jotta siihen pystyttiin vertailemaan tietomallipohjaista toimintatapaa.

Työn testauksissa saatiin tuotettua tietomallipohjaisesti Revitiä tai AutoCADia sekä Teklaa hyödyntäen elementtisuunnitelmat. Opinnäytetyössä esiteltiin, millaisia työkaluja testauksissa käytetyistä ohjelmistoista hyödynnettiin sähkövarausten mallintamiseksi elementtisuunnitelmiin. Myös Teklassa rakennesuunnittelijalta vaadittavia työvaiheita tarkasteltiin.

Päätavoitteena oli vertailla nykyistä toimintamallia ja tietomallipohjaista suunnittelua. Vertailun perusteella selvitettiin tietomallipohjaisen suunnittelun tehokkuutta ja laatua parantavat mahdollisuudet. Tulosten perusteella tietomallipohjainen suunnittelutapa mahdollistaa virheettömämpien suunnitelmien laadinnan poistamalla sähkösuunnittelijan työstä runsaasti manuaalista työtä.

Tietomallipohjainen suunnittelu mahdollistaa sähkösuunnittelijalle tehokkaamman suunnitteluympäristön. Tämän mahdollistaa mallissa mahdollisuus esittää samassa näkymässä rakennuksen kaikki elementit, alakatto ja jo aikaisemmin sähköpistesijoittelussa asetellut koje- ja jakorasiat. Tämän lisäksi ei tarvitse tehdä esimerkiksi lattiakoron, katsontasuunnan ja elementin sijainnin tarkastuksia erillisistä suunnitelmista.

Vaikkakin testauksissa saatiin luotua sähkövarausten elementtisuunnitelmien vaatimat merkinnät tietomallipohjaisesti, vaatii se vielä toimintatapojen kehitystä ja vakiointia, jotta siitä saadaan järkevä työkalu ja työskentelytapa. Alaluvussa 8.2 Jatkokehitysideoita on esitetty työssä vastaan tulleita käyttökelpoisuuteen vaikuttavia kehityskohteita.

8.2 Jatkokehitysideat

Tietomallipohjaisen suunnittelun hyödyntäminen elementtien sähkövarausten suunnittelussa ei kuitenkaan vielä ole tehokkaasti hyödynnettävissä oleva tapa toteuttaa suunnitelmia. Opinnäytetyön tulosten perusteella tietomallipohjainen suunnittelu vaatii vielä jatkokehitystä, jotta sitä voitaisiin hyödyntää tehokkaasti. Tähän on avattu kehityskohteita, jotka tulivat opinnäytetyötä tehdessä vastaan.

Komponenteissa hyödynnettävien tietokenttien selvittäminen ja vakiointi. Työssä käytiin läpi tietokenttiä, joita testauksissa hyödynnettiin, mutta tuli myös esille, että eri komponenteissa tietokenttien hyödyntäminen on hieman poikkeavaa.

Teklan hyödyntämistä elementtien sähkövarausten laadinnassa voisi tutkia, koska Teklassa on mahdollisuus mallintaa komponentteja. Tässä ongelmana on kuitenkin se, ettei Tekla ole yleisesti sähkösuunnittelijoiden keskuudessa hyödynnetty ohjelmisto. Uuden ohjelmiston opettelu ei ole kannattavaa, varsinkaan kun sitä hyödynnetään vain joskus yksittäisessä työvaiheessa.

Koje- ja jakorasioiden esitysmuotoa tulosteisiin olisi hyvä yksinkertaistaa. Yksi tapa tähän voisi olla yksinkertaisempien koje- ja jakorasioiden 3D-symbolien hyödyntäminen. Se vain vaatisi hieman lisätyötä sähkösuunnittelijalle, kun symbolit täytyisi määrittää halutuiksi.

Varausten asennuspuolen tunnistamiseen kannattaisi miettiä varmatoimisempi ratkaisu. Testauksissa varaukset saatiin tunnistettua elementin etupinnan mukaan. Virheitä suunnitelmiin kuitenkin tulee heti, jos etupintaan tuleva sähkövaraus on virheellisesti aseteltu kokonaan elementin sisään. Sekä projektin edetessä muuttuvat seinien sijainnit ja paksuudet tuovat saman virhemahdollisuuden.

Tietomallipohjaisia suunnitelmia voitaisiin mahdollisesti hyödyntää elementtitehtaalla. Tehdasympäristö ei välttämättä kuitenkaan elementtivalmistuksessa ole kovin puhdasta, joten tietokoneen tai tabletin käyttäminen siellä voi olla hieman haastavaa. Tätä voisi silti tutkia, koska tietomallipohjainen suunnitelma on havainnollistavampi.

Kun tietomallipohjaista elementtien sähkövarausten laadintaa on kehitetty tarvittavin osin, olisi siitä hyvä laatia toimintaohjeet ja prosessinkuvaus niin sähkö- kuin rakennesuunnittelijoille. Tämä helpottaisi huomattavasti tietomallipohjaisen suunnittelun käyttöönottoa, kun ollaan uutta toimintatapaa ottamassa käyttöön.

Lähteet

Asennustarvikkeet. N.d. ABB. Viitattu 3.2.2025.

<https://www.asennustuotteet.fi/products/asennustarvikkeet>.

Autodesk AutoCAD: suunnittelu- ja luonnohjelmisto, johon miljoonat luottavat. N.d. Autodesk.

Viitattu 17.4.2025. <https://www.autodesk.com/fi/products/autocad/overview>.

Autodesk Revit: BIM-ohjelmisto kaikenlaiseen suunnitteluun ja valmistukseen. N.d. Autodesk.

Viitattu 11.2.2025. <https://www.autodesk.com/fi/products/revit/overview>.

Betonielementit. N.d. Kivifaktaa. Viitattu 28.2.2025. <https://kivifaktaa.fi/suomea-rakentamassa/betonielementit/>.

Elementtirakentamisen historia. 2020. Betoniteollisuus ry. Viitattu 28.2.2025. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>.

Elementtitunnukset. 2023. Betoniteollisuus ry. Viitattu 15.3.2025. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/elementtitunnukset>.

Er, M. 2019. Betoni elementit sähkösuunnittelijan näkökulmasta. Opinnäytetyö. Viitattu 23.3.2025.

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201902072093>.

Innovaatiot. N.d. Granlund. Viitattu 22.3.2025. <https://www.granlund.fi/meista/innovaatiot/>.

Järvinen, T., Laine, T., Kaleva, K. & Heljomaa, K. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Rakennustieto. osa 4 Talotekninen suunnittelu. Viitattu 10.2.2025. <https://drive.buil-dingsmart.fi/s/S2p59nX27yZ2LzM>.

Kohti kestävä ja älykästä tulevaisuutta. N.d. Granlund. Viitattu 27.2.2025.

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

Korhonen, E. 2019. Betonielementtien sähkösuunnittelu. Opinnäytetyö. Viitattu 22.4.2025.

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201904266077>.

Liukko, S. & Perttula, S. 2024a. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tekoälyn käyttö oppimistehtävissä ja opinnäytetyössä Jyväskylän ammattikorkeakoulun raportointiohje. Viitattu 23.4.2025.

<https://help.jamk.fi/raportointiohje/fi/3-kirjoittamisprosessi/tekoalyn-kaytto-oppimistehtavissa-ja-opinnaytetyossa/>.

Liukko, S. & Perttula, S. 2024b. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tutkimusasetelma. Jyväskylän ammattikorkeakoulun raportointiohje. Viitattu 29.3.2025. <https://help.jamk.fi/raportointiohje/fi/4-opinnaytetyon-rakenne/4-2-opinnaytetyon-runko-osa/4-2-4-tutkimusasetelma/>.

MagiCAD for Revit Release notes for version 2021. 2020. MagiCAD Group. Viitattu 2.2.2025.

<https://portal.magicad.com/Downloader.ashx?id=7175&type=product>.

Mahdollistamme poikkeuksellisen lopputuloksen. N.d. MagiCAD Group. Viitattu 8.2.2025.

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

Mitä on BIM? N.d. Trimble Solutions Corporation. Viitattu 10.2.2025.

<https://www.tekla.com/fi/ajankohtaista/artikkelit/mit%C3%A4-on-bim>.

Ontelolaatat. 2024. Betoniteollisuus ry. Viitattu 28.2.2025. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>.

Palolahti, T., Stagnäs, M. & Valjus, J. 2011. Betonielementtien sähköasennukset. Tampere: Suomen Rakennusmedia. Opas betonielementtien sähköasennuksille. Viitattu 13.2.2025.

Seinät. 2023. Betoniteollisuus ry. Viitattu 15.3.2025. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/seinat>.

Teollinen valmisosarakentaminen. 2020. Betoniteollisuus Ry. Viitattu 28.2.2025. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen>.

Liitteet