



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Niku Pollari

Piirikaavioiden automaattinen generointi teknisten dokumenttien perusteella

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Niku Pollari

Työn nimi: Piirikaavioiden automaattinen generointi teknisten dokumenttien perusteella

Ohjaaja: Matti Perälä

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 55

Tämä opinnäytetyö tehtiin Seinäjoen ammattikorkeakoululle. Työn tarkoituksena oli suunnitella työkalu piirikaavioiden automaattiseen generointiin teknisten dokumenttien perusteella. Sillä pyrittiin säästämään piirikaaviosuunnittelun manuaaliseen työhön kuluvaan aikaan ja vähentämään inhimillisiä virheitä.

Työkalun pohjana toimii Excel, jossa tapahtuu kaikki teknisen datan syöttö ja tiedonkäsittely. Exceliin muodostuu lopputuotteena lehti, jossa on kaikki tarvittavat attribuutit generointia varten. Itse generointi suoritetaan CADMATIC-suunnitteluohjelmistossa syöttämällä Excel-työkalulla luotu datalehti piirikaavioiden automaattiseen generointiin tarkoitettuun osioon.

Työn lopputuloksena saatiin toimiva työkalu, jolla pystyttiin generoimaan piirikaaviot yhdelle syöttöryhmälle kerrallaan. Työkalu päätettiin ottaa käyttöön eräässä yrityksessä.

¹ Asiasanat: Sähkösuunnittelu, Piirikaavio, Excel, CADMATIC

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Machine Automation

Author: Niku Pollari

Title of thesis: Automatic Generation of Circuit Diagrams Based on Technical Documents

Supervisor: Matti Perälä

Year: 2022

Number of pages: 55

The subject of the thesis was given by Seinäjoki University of Applied Sciences. The aim of the thesis was to design and develop a tool for automatic generation of circuit diagrams based on technical documents. The tool was designed to save the time spent on manual labor in circuit diagram design and to reduce human errors.

The tool is based on Excel, where all technical data entry and -processing takes place. The final product in Excel is a sheet with all the requisite attributes for a generation process. The process of generation itself is executed in CADMATIC design software by feeding the created Excel data sheet in the section intended for the automatic generation of circuit diagrams.

The outcome of the thesis was a fully functional tool that can generate circuit diagrams one supply unit at a time. It was decided to implement the tool in a certain company.

¹ Keywords: Electrical design, Circuit diagram, Excel, CADMATIC

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuvioluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite	9
1.3 Työn rakenne	10
1.4 Seinäjoen ammattikorkeakoulu	11
2 SÄHKÖSUUNNITTELU JA OHJELMISTOT	12
2.1 Sähkötekniinen dokumentointi	12
2.2 Sähkösuunnittelun vaiheet	14
2.3 CADMATIC-suunnitteluohjelmisto	16
2.4 Excel	19
2.5 Excel ja CADMATIC yhteistyössä generoinnissa	20
3 SÄHKÖSUUNNITTELUN MODERNISOINNIN SAAVUTTAMINEN.....	22
3.1 Nykyinen toimintamalli	22
3.2 Tavoitetila	22
3.3 Tavoitetilan saavuttaminen.....	22
4 EXCEL-KONFIGUROINTITYÖKALU	24
4.1 Työkalun tarkoitus	24
4.2 Työkalun käyttö	24
5 EXCEL-FUNKTIOT JA -MAKROT TIEDON KÄSITTELYSSÄ.....	28
5.1 Funktioiden ja makrojen hyödyntäminen	28
5.2 Funktiot	28
5.3 Makrot.....	30
6 GENEROINTITYÖKALU JA SEN KÄYTTÖ	35
6.1 Pohjakuvien rakentaminen	35

6.2	Tiedonkäsittely Excelissä	37
6.3	Generointi	42
7	TYÖKALUN LISÄTOIMINNOT	45
7.1	Kuvien massamuokkaus	45
7.2	Tekstityylin vaihto.....	45
7.3	Tekstin lisääminen kuviin	47
7.4	Käyttöohje työkalulle	48
8	TULOKSET.....	49
8.1	Päätavoitteet.....	49
8.2	Tuloksellinen tarkastelu.....	49
8.3	Laadullinen tarkastelu	49
8.4	Kokonaisuuden tarkastelu	50
9	POHDINTA JA YHTEENVETO	51
	LÄHTEET	53

Kuvioluettelo

Kuvio 1. Konfiguraatiotyökalun pääikkuna	24
Kuvio 2. Moottorimoduulin optiot	25
Kuvio 3. Optioiden valintalehden alaosa	26
Kuvio 4. Valitut moduulit listattuna	27
Kuvio 5. IFERROR-, LOOKUP- ja SEARCH-funktiot	29
Kuvio 6. Halutun option etsiminen listasta SEARCH-komennon avulla	29
Kuvio 7. Oikeiden arvojen hakeminen toisen taulukon avulla	30
Kuvio 8. Standardimoduulit	31
Kuvio 9. Projektitietojen syöttö	32
Kuvio 10. VBA-koodimakro tiedonsiirtoon	33
Kuvio 11. Siirretyt tiedot kojeen tieto-osiossa	34
Kuvio 12. Siirretyt tiedot kojeen tieto-osiossa	35
Kuvio 13. Kuvien väliset viittaukset	36
Kuvio 14. Järjestetty moduulilista	38
Kuvio 15. Moduulien datalaatikot	39
Kuvio 16. Esimerkki pohjakuvan valintakoodista	39
Kuvio 17. Muuttuvien viittausten datalaatikot	40
Kuvio 18. Datalaatikoiden viittausparitunnukset	41
Kuvio 19. Muodostettu import sheet	41
Kuvio 20. Electrical DB	42

Kuvio 21. Projektin kansion valinta	43
Kuvio 22. Modulaarisen generoinnin viimeinen vaihe	44
Kuvio 23. Jonotallennuksen avaaminen	46
Kuvio 24. Tiedoston ja tallennusmuodon valinta	46
Kuvio 25. Jonotallennuksen Toiminnot-välilehti	47
Kuvio 26. Makron tekstitiedosto	48

Käytetyt termit ja lyhenteet

Access	Relaatiotietokantaohjelma
ANSI	Yhdysvaltalainen standardien kehitystä valvova organisaatio
Aparaatti	Laite tai kojeisto
Attribuutti	Muuttuva arvo
CENELEC	Eurooppalainen sähköalan standardisointijärjestö
IEC	Kansainvälinen sähköalan standardisointiorganisaatio
Konfigurointi	Halutun kokoonpanon määrittäminen
Makro	Tallennettu sarja komentoja näppäimistöltä
MoMo	Lyhenne sanasta moottorimoduuli
Optio	Lisävaruste
RDBMS	Relaatiotietokannan käsittelyjärjestelmä
SFS	Suomen standardisoimisliitto
SQL	Lyhenne sanoista Structured Query Language, eli relaatiotietokannoilla käytettävä kyselykieli
String	Ohjelmointikielessä käytetty tekstimerkkijono
VBA	Visual basic for applications, eli Microsoftin kehittämä ohjelmointikieli Excelille
Vektori	Tietyn mittainen Excel-rivi tai -sarake

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Työn aiheena on sähkökuvien piirtämisen automatisointi mahdollisimman pitkälle käyttäen apuna Excelin ja CADMATIC-suunnitteluohjelmiston yhteistyötä mahdollistavaa Excel import -ominaisuutta sekä Excelin monipuolisia automaattitoimintoja. Kyseessä on siis piirikaavioiden generoiminen. Nykyään sähköteknisiltä dokumenteilta vaadittavien asioiden lista on pitkä eikä virheitä saa olla. Näitä virheitä ilmenee käytännössä jokaisessa projektissa ihmisen tarkkuuden puutteen vuoksi. Virheet tulee luonnollisesti korjata välittömästi niiden ilmettyä, mikä vie aikaa ja resursseja insinööreiltä. Tämä nykymalliltaan pitkäjänteinen suunnitteluprosessi on jokseenkin vanhanaikainen, sillä on olemassa työkaluja, joilla tätä prosessia voidaan automatisoida ja helpottaa. Tällaisia työkaluja on kuitenkin hyödynnetty vain harvassa paikassa. Työn taustalla on siis tarve nopeuttaa suunnitteluprosessia.

Nykyisellä mallilla kuvat täytyy aina piirtää alusta asti tai kopioida vanhoista projekteista komponentteja, liittää ne uuteen projektiin sekä muuttaa attribuutit yksitellen käsin, pahimmassa tapauksessa satoihin eri kuviin. Sähkökuvien piirtäminen voidaan ajan puutteen vuoksi myös ulkoistaa, mikä puolestaan maksaa yrityksille enemmän. Sähkökuvien piirtämisen automatisointi nopeuttaisi sähkösuunnitteluprosessia huomattavasti, vapauttaisi sähkösuunnittelijoille lisää aikaa tehdä muita tärkeitä työtehtäviä sekä vähentäisi manuaalisessa työssä tehtävien virheiden määrää. Edellä mainittujen asioiden myötä saataisiin myös suurta rahallista hyötyä yrityksille. Työn taustana on siis yleiseen tarpeeseen soveltuva ratkaisu, jolla on reaalielämässä käyttöarvoa. Jatkokehitykselle on myös huomattavasti tarvetta ja mahdollisuuksia. Työssä käytetään esimerkkinä erään yrityksen taajuusmuuttajakaappikojeistoja, joiden piirikaavioiden piirtäminen automatisoidaan CADMATIC-suunnitteluohjelmiston generointiominaisuuksilla ja Excelin automaattitoiminnoilla.

1.2 Työn tavoite

Tavoitteena tutkimukselle on suunnitella kokonaisuus, joka generoi piirikaaviot projekteihin mahdollisimman vähin välivaihein, eli niin pitkälle automatisoituna kuin mahdollista. Kuvat piirretään CADMATIC-suunnitteluohjelmiston generointiominaisuudella haluttujen attribuutien mukaan. Tarvittavat attribuutit haetaan Excelin funktioilla ja makroilla teknisistä

myyntidokumenteista tai vastaavista projektitietoja sisältävistä konfiguraatioista. Tavoitteena on automatisoida vähintään piirikaavioiden piirtäminen. Aikataulun salliessa tehdään myös osaluetteloiden, kaapeliluetteloiden ja kilpiluetteloiden automaattinen generointi. Myös erilaisten pienien makrojen luominen ohjelmistoon sähkösuunnittelun tehostamiseksi on mahdollista. Edellä mainittujen toimien automatisointi säästäisi valtavasti aikaa ja resursseja sähkösuunnittelijoilta, jolloin he voisivat keskittyä muihin työtehtäviin enemmän. Tietokoneen asettaessa attribuutit myös virheiden määrä käytännössä nollaantuu. Ainoat virheet ovat systemaattisia ja ovat pienellä päivityksellä korjattavia.

Työn onnistuessa sitä voitaisiin hyödyntää sähkösuunnittelijoiden työkaluna yrityksissä ja saada täten suurta rahallista hyötyä. Tämä työ perustuu kotimaisesta sekä ulkomaisesta kirjallisuudesta poimittuun teoriaan sekä käytännössä tehtyyn työhön. Lähdekritiikkiin on kiinnitetty huomiota ottamalla vain luotettavia sekä ajankohtaisia lähteitä. Nämä lähteet on käyty huolella läpi ja arvioitu niiden luotettavuus. Esimerkkinä hieman ehkä epätavanomaisesta käytettävästä lähteestä on YouTube-video. Videot on kuitenkin evaluoitu niiden arvioiden, asiasisällön sekä tekijän kanavan tilaajien määrän mukaan. Vanhempia lähteitä on käytetty siinä tapauksessa, jos niiden sisältämää teoriaan ei ole tullut muutoksia. Käytännössä tehtyyn työhön liittyy paljon erilaisten ohjelmien ominaisuuksien kokeilemista sekä yhteensovittamista toisiinsa. Työssä on käytetty kuvia, joista osaa on jouduttu sensuroimaan niiden sisältämän arkaluontoisen ja luottamuksellisen tiedon vuoksi.

1.3 Työn rakenne

Ensimmäisessä luvussa on johdanto, jossa kerrotaan työn taustasta kattavasti. Tähän lukuun kuuluu myös tavoitteiden selkeä asettelu, työn rakenteen määrittely sekä yritysesitys. Luvussa kaksi tutustutaan työhön liittyvien ohjelmien, työvaiheiden ja yleisempien asioiden sisältämiin teorioihin. Tämän jälkeen luvussa kolme on kuvailtu sähkösuunnittelun nykyinen toimintamalli, työssä tavoiteltava lopputila sekä tämän tavoitetilan saavuttamiseen tarvittavat vaiheet. Luvussa neljä kerrotaan työn pohjana toimivasta Excel-pohjaisesta syöttöryhmien konfigurointityökalusta ja sen rakentamisesta. Tämän jälkeen kappaleessa viisi kerrotaan työn kannalta oleellisista Excelin funktioista ja -makroista ohjelman sisäisen tiedonkäsittelyn osalta. Kappaleessa kuusi käydään läpi itse generointityökalun rakentaminen, toiminta ja käyttö. Seuraavana kappaleessa seitsemän kerrotaan generoinnin jälkeiseen kuvien massamuokkaukseen tehdyistä CADMATIC-suunnitteluohjelman makroista. Luvussa kahdeksan

kerrotaan työn tuloksista tavoitteiden ja niiden saavuttamisten kannalta. Viimeisenä on luku yhdeksän, jossa pohditaan työn haasteita, vastaavia töitä, eettisiä kysymyksiä ja jatkokehitysmahdollisuuksia.

1.4 Seinäjoen ammattikorkeakoulu

SeAMK eli Seinäjoen ammattikorkeakoulu on nimensä mukaisesti Seinäjoella toimiva ammattikorkeakoulu. Se tarjoaa kuuden eri koulutusalan koulutustarjontaa sekä tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiopalveluja (Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK), i.a. -a). Tämä mahdollistaa vaikuttavuuden kansainvälisesti, kansallisesti ja alueellisesti. Seinäjoen ammattikorkeakoulun missiona on osaamisen, hyvinvoinnin ja kilpailukyvyn kasvattaminen (SeAMK, i.a. -c). Visionaan sillä on olla paras korkeakoulu opiskelijalle vuonna 2030. Arvoinaan Seinäjoen ammattikorkeakoulu pitää vastuullisuuden, yrittäjähenkisyyden, kansainvälisyyden sekä SeAMK-hengen. Toimintansa Seinäjoen ammattikorkeakoulu aloitti vuonna 1992 (SeAMK, i.a. -b). Suomessa alkoi tuolloin ammattikorkeakoulujen kehittäminen uutena korkeakoulu- muotona. Seinäjoelle tuli tuolloin kokeiluun tekniikan-, liiketalouden-, terveyden-, sosiaali- ja maatalouden alat. Seinäjoen ammattikorkeakoulussa on nykyisin noin 5000 opiskelijaa, 180 opettajaa sekä yli 90 innovaatio-, kehittämis- ja tutkimustoiminnan osalla työskentelevää henkilöä (SeAMK, i.a. -a). Henkilökuntaan kuuluu myös 100 muuta henkilöä.

Seinäjoen ammattikorkeakoulusta valmistuneet opiskelijat ovat arvioineet, että SeAMK on Suomen paras ammattikorkeakoulu AMK-tutkintojen ja ylempien AMK-tutkintojen osalta (SeAMK, 2022). Kärkisijoille SeAMK sijoittui kaikissa kysymysryhmissä. Näitä kysymysryhmiä ovat opiskelutyytyväisyys, oppimisympäristöt, opiskelu, opiskelun tukipalvelut, työelämäyhteydet, palaute ja arviointi. Valtakunnallisessa vertailussa kärkisijoille sijoittui myös SeAMK-tutkinto-ohjelmista tradenomit, konetekniikan insinöörit, agrologit, bio- ja elintarviketekniikan insinöörit, automaatiotekniikan insinöörit sekä terveydenhoitajat. Kyselyt suoritettiin AVOP-kyselynä. AVOP-kysely on ammattikorkeakoulujen rehtorineuvosto Arene ry:n, SAMOK ry:n, Opiskelun ja koulutuksen tutkimussäätiön ja opetus- ja kulttuuriministeriön yhteinen hanke. Tämän kyselyn tulosten avoimena tilastolähteenä toimii Vilpunen, joka on Opetushallinnon tilastopalvelu.

2 SÄHKÖSUUNNITTELU JA OHJELMISTOT

2.1 Sähkötekniinen dokumentointi

Sähköteknisellä dokumentoinnilla tarkoitetaan järjestelmien, teknisten laitteiden tai laitteistojen rakenteiden ja ominaisuuksien esittämistä graafisessa formaatissa jostain tietovälinettä apuna käyttäen (Ruppa & Perkiö, 1996, s. 5). Tietovälineellä tarkoitetaan tässä kontekstissa alustaa, johon luotu graafinen esitys voidaan tallentaa. Näitä voivat olla esimerkiksi tietokoneen kovalevy, paperi, Cd-levy tai vaikka kansanperinteessä tunnettu klubiaskin kansi. Kaikkein yksityiskohtaisin esitystapa sähkötekniisessä mielessä on piirikaavio (Ruppa & Perkiö, 1996, s. 53–57). Piirikaaviolla tarkoitetaan yksityiskohtaista järjestelmän, osajärjestelmän, asennuksen tai laitteen sähkötekniistä kuvausta graafisesti. Tämä esitystapa ei kuitenkaan usein huomioi laitteiden todellista muotoa, sijaintia tai kokoa. Piirikaaviot ovat välttämättömiä sähkölaitteiden sähköisen toiminnan ymmärtämiseksi. Niihin voidaan liittää myös täydentävää tietoa, kuten taulukoita, diagrammeja, ohjelmadokumentteja sekä muita kaavioita. Piirikaavioiden pohjalta luodaan myös kytkentäkaaviot sähköisiä asennuksia varten. Nämä kaaviot toimivat siis käytännössä asennusohjeina sähköasentajille sähköistä laitetta tai -laitteistoa koottaessa. Ilman piirikaavioita ja niiden aktiivista päivittämistä ei asennetun nykyaikaisen aparaatin huoltaminen ja ylläpito olisi mahdollista. Piirikaavio muodostuu siis tyypillisesti komponentteja esittävistä piirrosmerkeistä, niiden välisistä liitännöistä, yksikkötunnuksista, liittintunnuksista, signaalien tunnuksista sekä mahdollisista toimintojen ymmärtämistä helpottavista lisätiedoista.

Yleisesti piirikaaviot voidaan jakaa kolmeen esitystapaan (Ruppa & Perkiö, 1996, s. 53–57). Ensimmäisenä on sidottu esitystapa, jossa komponenttien väliset yhteenkuuluvuudet ovat samalla sivulla, ja ne on piirretty esimerkiksi katkoviivalla toisiinsa. Toisena on vapaa esitystapa, jossa komponentit saavat vapaasti hajota piirustuksen eri puolille, ja niiden keskenäiset yhteydet ilmaistaan yksikkötunnuksien avulla. Viimeisenä esitystapana on koottu esitystapa, jossa toiminnallisesti yhteenkuuluvat osat piirretään toistensa lähelle ja varustetaan esimerkiksi kehäviivalla, joka kertoo komponenttiin liittyvät piirikaavion osat. Tämä esitystapa on yksinkertaisissa piirikaavioissa hyvin havainnollistava, mutta suuremmissa kokonaisuuksissa siitä tulee todella vaikeasti luettava ja sekavaa. Tärkeimpänä ominaisuutena piirikaavioissa on siis niiden selkeys ja luettavuus (Ruppa & Perkiö, 1996, s. 5). Suunnittelua harjoittavan insinöörin on kyettävä lukemaan, tuottamaan ja muokkaamaan sähkötekniisiä dokumentteja,

kuten piirikaavioita. Edellä mainitut toimet ovatkin pääsääntöisesti suunnitteluinsinöörin päätehtäviä. Sähköisten dokumenttien kansainvälisenä kielenä toimii englanti ja siksi sen osaaminen on relevanttia. Tämä asettaa suunnitteluinsinööreille korkean kielitaitovaatimuksen ja ammattisanaston osaaminen on tarpeen. Kansainvälistymisen myötä englannin kieli on kuitenkin yleistynyt ja insinöörien englannin kielen taito on kehittynyt huomattavasti, joten tämä tuottaa harvemmin ongelmia suunnittelun näkökulmasta.

Sähkötekniikan piirustuksen perusvaatimus on yksikäsitteinen määritelmä sen esittämälle laitteelle, osalle tai ohjeelle (Jumpponen, 1999, s. 11–12). On äärimmäisen tärkeää, että sähköpiirustuksia tulkitaan oikein. Pienikin väärintulkinta kuvissa voi johtaa suuriin vahinkoihin esimerkiksi sähköasennuksien suorituksessa. Tämän vuoksi piirustusten laadintaan on luotu yhteisiä sääntöjä ja ohjeita väärintulkintojen estämiseksi. Näitä sääntöjä kutsutaan standardeiksi. Hyvän sähköpiirustuksen yleispäteviksi ohjeiksi lukeutuvat oikeiden tietojen oikein esittäminen, turhan tiedon pois jättäminen kuvan selkeyttämiseksi, standardien mukaiset esitystavat ja piirrosmerkit, hyvän piirtämistekniikan käyttäminen, piirustusohjelmassa käytettävän materiaalin harkittu valinta sekä kopioinnin ja arkistoinnin mahdollistaminen tarvittavalla tekniikalla. Näitä ohjeita noudattamalla ja seuraamalla päästään yleensä laadukkaisiin lopputuloksiin sähköpiirustusten kannalta.

Standardeja laatiessa tekninen määrittely tehdään standardikomiteoiden työryhmissä, joihin osallistuminen on avointa sekä vapaaehtoista (Suomen standardisoimisliitto (SFS), 2015, s. 3). Ensimmäisenä kansainvälisenä standarditoimijärjestönä vuonna 1908 perustettu IEC eli International Electrotechnical Commission pyrkii yhdenmukaistamaan kansainvälistä sähköpiirustuksen ja sähködokumentoinnin käytäntöä ja täten vaikuttaa sähkötekniikan piirustusstandardien kehittämiseen (Ruppa & Perkiö, 1996, s. 5–6). Tämä standarditoimijärjestö onkin vaikuttanut valtavasti mm. Suomen ja Manner-Euroopan sähködokumentointiin, sillä ne seuraavat varsin pitkälle IEC-standardeja. Poikkeuksena IEC-standardeille on Yhdysvaltojen käyttämä ANSI-standardien mukainen piirtämistapa. Tämä aiheuttaa kimurantteja tilanteita sähkötekniisiä dokumentteja lukevalle henkilölle, sillä ANSI-standardit poikkeavat varsin paljon IEC-standardeista. Euroopassa toimiva CENELEC-standardi pyrkii yhdenmukaistamaan Euroopassa käytettyjä standardeja. Suomessa käytetyt SFS-standardit kulkevatkin tämän takia vankassa yhteistyössä CENELEC-standardien kanssa. Tällöin SFS-standardeista käytetään nimeä SFS-EN. Esimerkkinä tästä on sähkötekniikassa käytettyjen dokumenttien laatimisen yleisiä vaatimuksia käsittelevä SFS-EN 61082-1. Tämän standardin mukaan teknisen

dokumentoinnin tarkoitus on antaa informaatiota tarkoituksenmukaisessa formaatissa (SFS, 2015, luku 4.1). Tämän lisäksi se on olennainen keino varmistaa ja todistaa turvallisuus-, ympäristö- ja laatuvaatimusten täyttyminen. Tässä työssä oleellisia lukuja ovat piirikaavioita koskevat mainitun standardin luvun 7.4 alla olevat alaluvut sekä informaation esittämistä koskevat säännöt luvun 5 alla. Esimerkkinä tästä on luvun 5.6 mukaan sivun tunnistaminen, jossa kerrotaan, miten viittaustarkoituksessa dokumentin tunnisteiden lisäksi on käytettävä sivun tunnistetta (SFS, 2015, luku 5.6).

2.2 Sähkösuunnittelun vaiheet

Lehtori Perälän (2022) mukaan lähtötietojen kerääminen alkaa esimerkiksi mekaniikkaan liittyen laitetietojen ja instrumenttien valinnalla. Lähtötiedot voivat kuitenkin muuttua projektin edetessä ja tähän tulee varautua. Tärkeänä osana projektin alkupuolta on selkeät dokumenttien vaihtoaikataulut. Tämä tarkoittaa sitä, että asiakas toimittaa dokumentin, jossa kerrotaan mitä halutaan ja minkälaisella aikataululla. Projektia vetävä yritys toimittaa asiakkaalle projektiin kuuluvia dokumentteja sovittuun määräaikaan mennessä. Asiakkaalta on siis tärkeää vaatia näitä aikatauluja, jotta tiedetään, mihin mennessä esim. kaapelikytkentäluettelon on oltava valmis. Näihin dokumentteihin kuuluvat myös mm. piirikaaviokuvat ja kaapeliluettelot. Miltei jokaisessa projektissa on kuitenkin myöhästymisiä syystä tai toisesta riippuen. Näihin pyritään esittämään aina asiakkaalle järkevä selitys ja olemaan avoimia molemmin puolin. Avoimuus on tärkeä osa asiakkaan kanssa työskenneltäessä. Järkevää olisi myös suunnitelma näiden muutosten varalle. Nämä muutokset tulevat maksamaan enemmän tai vähemmän ja siihen on myös hyvä varautua huolellisesti ja asettaa ehdot. Tähän liittyen on asiakkaan kanssa sovittava siitä, kuuluuko tietty työ sovittuun kauppaan vai onko se lisätyötä. Kommunikaatio-ongelmia pyritään välttämään aktiivisella kommunikoinnilla.

Matti Perälän (2022) mukaan alkutietojen keräämisen jälkeen ne voidaan lähettää organisaation sähkösuunnitteluun, jota ennen on oltava aikataulut ja suunnitelmat tehtynä. Kerätyn datan huolellinen läpikäynti helpottaa suunnittelijoiden ja koko organisaation työtä. Suunnittelun on tiedettävä tarvittavat komponentit ja se, miten kauan niiden toimitus kestää. Esimerkiksi suojarleiden ja PLC-korttien toimitus voi kestää hyvinkin kauan komponenttipulasta johtuen. Nämä on siis tilattava hyvissä ajoin, että ne ehtivät asennukseen. Tämän vuoksi on

pystyttävä vaatimaan asiakkaalta aikatauluja, jonka mukaan komponentit voidaan tilata ja ajoittaa oikein.

Lehtori Perälän (2022) mukaan sähkö- ja instrumenttisuunnittelun suurin työvaihe on laite kerrallaan läpikäytävien asioiden arviointi. Asioiden huolellinen läpikäyminen suunnitteluvaiheessa on todella tärkeää. Ensin voidaan muodostaa suurempi ja karkeampi kuva suunnittelutavasta kokonaisuudesta. Tähän kokonaisuuteen voi kuulua esimerkiksi moottorilähtöjen määrä. Tämän jälkeen voidaan alkaa tarkemmin määrittämään näiden moottorien spesifikaatioita. Asiakkaalla ja viranomaisilla voi olla omat ja eriävät standardit suunnittelun suhteen, sen vuoksi niiden kanssa on oltava todella tarkkana. Esimerkkinä tästä on johdinten värit, jotka voivat vaihdella paljonkin tehtaasta ja asiakkaasta riippuen. Asiakkaan kanssa voi kuitenkin keskustella ja ehdottaa toimivampaa ja yksinkertaisempaa toteutustapaa, jolla voitaisiin säästä molemmin puolin aikaa ja rahaa. Tämä menettely täytyy kuitenkin aina hyväksyttää asiakkaalla ennen sen toteuttamista.

Matti Perälän (2022) mukaan suunnitteluprosessin jälkeen alkavat asennukset. Mikäli asentukseen kuuluu suurempi kokonaisuus, on asentajille toimitettava kyseiseen asennusprosessiin vaadittavat dokumentit. Näihin kuuluvat esimerkiksi kaapelilistat ja -massat, kun aletaan tekemään kaapelihiilyjä. Asennusvaiheessa tapahtuvia suuria muutoksia on pyrittävä välttämään, sillä nämä sekoittavat prosessia usein paljon. Aikataulutus ja työvaiheiden järjestyksen optimointi ovat tärkeitä osia tätä prosessia suoritettaessa. Tarkka aikataulu selkeyttää jokaisen samalla työmaalla työskentelevän henkilön tekemistä. Asiakas on tärkeä saada tyytyväiseksi asennusten osalta. Tämän takia on joskus priorisoitava tärkeimmät asennukset ensin, että saadaan käyttöönotto vauhtiin. Usein tilanne onkin niin, että täydellistä asennusta ei saada ennen käyttöönottoa valmiiksi, vaan se suoritetaan jälkikäteen loppuun. Aikataulutus on myös tässä todella tärkeää.

Lehtori Perälän (2022) mukaan sähkösuunnittelun loppuvaiheessa on kojeistuksen vuoro. Tässä voidaan puhua kuuma- ja kylmäkojeistuksesta. Kylmäkojeistuksella tarkoitetaan sitä, että asennetun kojeiston oikeaa käyttötarkoitusta ei vielä tässä vaiheessa suoriteta. Tämä mahdollistaa kojeiston vapaamman testauksen ja toimivuuden tarkastelun. Kuumakojeistuksella puolestaan tarkoitetaan kojeen operointia oikeassa käyttötarkoituksessa. Esimerkkinä tästä on lämpövoimakuksessa veden pumppaaminen putkia pitkin kuumennusastiaan. Kuumakojeistuksen aikainen testaus on tarkempaa ja vaatii yleensä prosessista vastaavan henkilön luvan. Tässä kohtaa sähkösuunnittelijan työ siirtyy loppudokumentointiin ja

aparaatin käyttö siirtyy käyttöönottajalle ja viranomaisten tarkistettavaksi. Sähkösuunnittelijalle jää tässä kohtaa niin sanottujen punakynien korjaus. Tämä tarkoittaa sitä, kun joku toimihenkilö tehtaalla tekee muutoksia kojeeseen ja piirtää ne kynällä piirikaaviokuvaan ja tämän jälkeen sähkösuunnittelija piirtää ne tietokoneella puhtaaksi piirikaaviokuvaan. Valmiin projektin jälkeen alkaa takuu-aika, jonka aikana toivotaan, että kaikki toimii virheettömästi. Täten vältytään korjauksista johtuvalta ylimääräiseltä työltä.

2.3 CADMATIC-suunnitteluohjelmisto

CADMATIC on kotimainen suunnittelu- ja tiedonhallintaohjelmistojen kehittäjä meri-, laitos- ja rakennusteollisuudelle (CADMATIC, i.a.). Esimerkkinä käyttökohteista on suunnittelun ja tiedonhallinnan tehostaminen laivojen, rakennusten ja prosessilaitosten rakentamisessa. CADMATIC panostaa suuresti asiakasläheisyyteen ja -yhteistyöhön. Asiakaspalvelu ja jatkuva ohjelmistokehitys kuuluvat myös tiiviisti yrityksen portfolioon. Näillä toimilla CADMATIC perustelee menestystään. Kansainvälisyys on suuri osa yhtiön toimintaa, sillä heillä on asiakkaita kaikilla mantereilla, ja työntekijät edustavat kahtakymmentä kansallisuutta kolmessatoista toimistossa yhdeksässä eri maassa. Yrityksen arvoja ovat yhteistyö, asiakkaiden ilahduttaminen, jatkuva kehitys ja asioiden toteuttaminen. Missionaan heillä on asiakkaiden liiketoiminnan, projektien tehokkuuden sekä tuottavuuden vieminen uudelle tasolle. Yhtiön visio on olla tehokkain, älykkäin ja innovatiivisin ohjelmistoratkaisujen kehittäjä.

CADMATIC sai alkunsa vuonna 1993 emoyhtiönsä Elomatic Oy:n sisäisestä projektista. Tässä projektissa kehitettiin 3D-laitossuunnitteluohjelmistoa, jolla pyrittiin parantamaan suunnittelua, visualisointia ja kustannustehokkuutta (CADMATIC, i.a.-a). Kaksi vuotta kestäneen projektin päätteeksi innovatiiviseen 3D-teknologiaan perustuva suunnitteluohjelmisto valmistui. Tämä ohjelmisto toi niin huomattavia positiivisia tuloksia suunnitteluun ja yleiseen tehokkuuteen, että 1990-luvun alussa perustettiin tämän suunnitteluohjelmiston pohjalta CADMATIC Oy. Yhtiön tehtäväksi valikoitui kehitetyn 3D-suunnitteluohjelmiston markkinointi ja kehitys. Samaan aikaan yhteistyö hollantilaisen ohjelmistoratkaisuja kehittävän Numeriek Centrum Groningenin kanssa sai alkunsa. CADMATIC-nimen lisäksi laivanrakennusteollisuuteen perustuva näiden kahden yhtiön kehittämä ohjelmisto nimettiin nimellä NUPAS-CADMATIC. Vuoden 2015 syyskuussa CADMATIC teki yrityskaupat Numeriek Centrum Groningenin kanssa hankkien omistukseensa sen osakkeet ja liiketoiminnan. Nimi NUPAS-CADMATIC yhdistettiin CADAMATIC-nimen alle. Elokuussa vuonna 2019 CADMATIC osti suomalaisen

ohjelmistojärjestelmiin erikoistuneen Kymdata Oy:n, sekä sen sähkö- ja automaatio suunnittelemaan tarkoitettuna ohjelmiston nimeltään CADS. Tämän jälkeen liiketoiminta jaettiin kolmeen osaan, jotka olivat meri-, prosessi- ja rakennusteollisuus (CADMATIC, i.a.-b). Nykyään prosessiteollisuussegmentti kantaa nimeä Prosessi ja teollisuus. Tässä työssä keskitytään tähän segmenttiin kuuluvaan CADMATIC Electrical -kokonaisuuteen, josta kerrotaan enemmän seuraavassa kappaleessa.

CADMATIC Electrical on monipuolinen teollisuuskäyttöön luotu piiri- ja johdotuskaavioiden piirtotyökalu, jolla onnistuu myös taulukoiden, luetteloiden, pääkaavioiden sekä layoutien tuottaminen (CADMATIC, i.a.-c). Monipuolisuutensa ansiosta käyttökohteita on useita. Näistä esimerkkejä ovat ohjaukset koneisiin, automaatiojärjestelmät, instrumentointi, keskuskeskukset, layoutit ja tiedonhallinta (CADMATIC, i.a.-d). CADMATIC Electrical -ohjelmisto käyttää yhteistä tietokantaa kaikilla sen osa-alueilla, mikä mahdollistaa massamuokkaukset ja reaaliaikaisen päivityksen kaikkiin kuviin. Tämä tarkoittaa sitä, että yhtä tietoa muokattaessa se päivittyy kaikkiin samaan tietokannan kuuluviin kuviin ja taulukoihin. Tämän synkronoinnin avulla voidaan luoda erilaisia dokumentteja perustuen valittuihin komponentteihin ja attribuutteihin. Raportit ja luettelot on siis vaivattomasti generoitavissa konfiguraation perusteella.

CADMATIC Electricalin ominaisuuksiin kuuluu Projektipuu-käyttöliittymä, joka mahdollistaa tiimityöskentelyn projektissa. Tämä monen käyttäjän projektin mahdollistava ominaisuus jakaa projektitiedot kaikkien käyttäjien kesken reaaliaikaisesti. Tämä suunnitteluohjelmisto toimii myös hyvin yhteen Excel-tilukkolaskentaohjelmiston kanssa. Älykkäiden tuontitoimintojen avulla voidaan tuoda tietoa Excelin taulukoista ja liittää ne suoraan projektin tietokantaan ilman manuaalista kopioimista. Myös vientipuoli on mahdollista samoilla toiminnoilla: Projektin tiedot ja attribuutit voidaan tuoda Excel-tilukkoon ja toimittaa esimerkiksi asiakkaan määritettäväksi. Nämä asiakkaan muokkaamat tiedot ja attribuutit voidaan sitten palauttaa projektin tietokantaan. Muutetut tiedot korostetaan värikoodeilla niiden paikallistamisen helpottamiseksi. Piirikaaviokuvien luomiseksi on olemassa myös ominaisuus, joka generoi kuvat pohjakuvien, Excel-tilukon ja tietokannan perusteella (CADMATIC, i.a.-e). Tämän avulla voidaan vanhoista kuvista muokata pohjakuvia. Näiden pohjakuvien, Excel-tilukon ja tietokannan perusteella voidaan generoida napin painalluksella uusia piirikaaviokuvia. Tämän ominaisuuden nimi on modulaarinen generointi ja se on keskeinen osa tätä opinnäytetyötä.

CADMATIC käyttää tietokantatoiminnoissaan kahta eri tietokantamallia, jotka ovat Microsoft Access ja Microsoft SQL Server (CADMATIC, i.a.-f). Access-tietokanta on ilmainen, se ei

vaadi erillistä käyttöönottoa, eikä omaa palvelinta. Se on helposti liikuteltavissa eli sen voi ottaa mukaan. Negatiivisina puolina suurissa projekteissa on käytön hidastuminen, etäkäytön puute sekä monikäyttäjäprojekteihin sopimattomuus. SQL puolestaan soveltuu etäkäyttöön ja on samalla ainoa ratkaisu siihen. Se ei myöskään hidastu suuremmissa projekteissa, joten se soveltuu mainiosti suurien tietokantojen käsittelyyn. SQL Server mahdollistaa myös monen käyttäjän projektiin, jolloin tietokanta päivittyy kaikille reaaliaikaisesti. Huonoina puolina SQL-tietokantamallissa on sen maksullisuus perustason jälkeen. SQL:n käyttöönotto ja ylläpito on myös pakollinen osa ja se vie oman aikansa. Oma SQL-palvelin ja jatkuva yhteys siihen ovat myös edellytyksiä tämän tietokannan toiminnalle.

Microsoft Access on relaatiotietokantapohjainen sovellus, jossa on valtava valikoima erilaisia työkaluja (Lambert ym., 2008, s. xi). Näillä työkaluilla voidaan jäljittää, jakaa ja raportoida tietoja myös aloittelijan toimesta. Helppokäyttöisyys on yksi positiivinen puoli tässä tietokantamallissa. Käyttäjällä on pääsy laajaan kirjastoon, jossa on ammattilaisten suunnittelemissa sovellusmalleja. Access-tietokanta toimii yhteen myös mm. muiden Microsoftin lähteiden kanssa. Näitä ovat esimerkiksi Microsoft SQL Server, Microsoft SharePoint Services ja Microsoft Office -järjestelmä. Näiden kehittyneiden ominaisuuksien vuoksi voidaan helposti luoda hienostuneita ja suoritettavissa olevia tietokantasovelluksia, joilla voidaan kerätä ja tutkia tietoa ilman ammattilaisen opastusta tai läsnäoloa.

Microsoft SQL Server on rakenteellinen kyselykieli, joka on standardikieli relaatiotietokantojen luomisessa, ylläpitämisessä, muokkaamisessa ja tietojen kyselemisessä (Hernandez, 2000, s. 15). Se kuuluu RDBMS-relaatiotietokannan hallintajärjestelmiin. SQL:n kolme perusosaa ovat SELECT...FROM, WHERE ja ORDER BY. Kyselyssä käytetyt kentät valitaan SELECT-lausekkeella ja niihin kuuluvat taulut FROM-lausekkeella. Lopuksi haetut tulokset voidaan järjestää haluttuun järjestykseen ORDER BY -lausekkeella. Yleensä tietokantaohjelmat, joissa on käytössä SQL, sisältävät myös graafisen työkalun. Tämän vuoksi syvää perehtymistä SQL-rakenteeseen ei vaadita. SQL on hyvin yleinen nykyaikaisissa tietokantasovelluksissa ja tämän takia esimerkiksi Microsoft Access antaa käyttäjän ensin rakentaa kyselyt graafisella työkalulla, jonka jälkeen luo tästä SQL-lauseen. Tällä lauseella suoritetaan tiedon hakeminen. Kun käytetään Access-tietokantaa kuvan tallennuksen yhteydessä, Access tallentaa myös SQL-lauseen.

2.4 Excel

Excel on Microsoftin kehittämä Office-pakettiin kuuluva laajasti tunnettu, monipuolinen soluihin perustuva taulukkolaskentaohjelma. Excelin perustoimintoihin kuuluu sarakkeiden ja rivien leikkauspisteiden määrittämien solujen datan käsittely ja datan analysointi (Informaation Technology University of Washington (UW-IT), i.a.). Excelin useisiin ominaisuuksiin kuuluu myös käyttöliittymän muokkaus, solujen muotoilu, kaavat, funktiot, tiedon lajittelu, kaaviot sekä kustomoitavat työkalupalkit ja pikanäppäimet. Exceliä käyttää arvioilta noin 500 miljoonaa ihmistä (Suominen & Suominen, 2015, s. 7). Tilastollisten faktojen perusteella tiedetään, että jopa 60 % Excelin käyttäjistä käyttää ainoastaan 20 % Excelin koko potentiaalista. Excel on siis laajasti tunnettu, mutta myös laajasti alikäytetty ohjelmisto.

Usealle tuntematon asia on Excelin VBA-ohjelmointikieli, jolla voidaan tehdä makroja sekä rakentaa Exceliin älyä (Merensalmi, 2007, s. 4). VBA eli Visual Basic for Applications on Microsoftin sovellusohjelmissa käytetty ohjelmointikieli. Excel-työkirja, jossa käytetään VBA-koodia, muuttuu automaattisesti makrotyökirjaksi. Makrotyökirjalla tarkoitetaan siis Excel-työkirjaa, jossa on mukana koodaajan kirjoittamaa ohjelmakoodia (Merensalmi, 2007, s. 14). Makro taas tarkoittaa yleensä sellaista koodia, joka on nauhoitettu. Yksinkertaisena esimerkkinä makrosta on ensimmäisen solun arvon kopioiminen ja liittäminen toiseen soluun. Tämän makron aktivoinnin voi liittää esimerkiksi käyttöliittymään tehtyyn nappiin. Tällöin tätä nappia painamalla saadaan ensimmäisen solun arvo kopioitua ja liitettyä toiseen soluun. Makroa pystyy muokkaamaan VBA-koodin puolella esimerkiksi siten, että samalla vaihdetaan kopioitun ja liitetyn solun fonttia suuremmaksi. Nauhoitettuja ja käsin kirjoitettuja makroja voidaan yhdistää. Excelillä pystyy myös tekemään huomattavasti monimutkaisempia makroja. Tässä työssä tullaan käyttämään sekä tällaisia nauhoitettuja ja käsinkirjoitettuja makroja että niiden yhdistelmiä.

Excelin funktiotoiminnoista yleisimmin tunnettu on SUM eli kahden tai useamman solun arvon yhteenlasku (Held, 2007, s. XV). Tämä ei kuitenkaan ole kuin esimerkki kevyimmästä päästä Excelin funktioista. Kun aletaan yhdistellä funktioita ja kaavoja laajasta valikoimasta, voidaan luoda erittäin komplekseja ja älykkäitä kokonaisuuksia. Hieman monimutkaisempi funktio on SUMIF, ns. ehdollinen yhteenlasku. Tässä voidaan antaa joukko soluja ja laskea niitä yhteen, jos halutut ehdot täyttyvät. Esimerkiksi sarakkeen 20 ensimmäisen solun arvot lasketaan yhteen, jos kyseisten solujen oikealla puolella olevat solut sisältävät stringin eli tekstin ”kyllä”. Jos ainoastaan 19 solun oikeanpuoleiset solut sisältävät tämän stringin,

lasketaan vain nämä 19 solua yhteen. Tässä työssä tullaan käyttämään merkittävästi IF-lauseita, eli funktion ehdollisia toteutumisia haluttujen attribuuttien mukaan valitun tuotekonfiguraation mukaan. Näitä tullaan käyttämään mm. pohjakuvien valintaan. Näihin palataan tarkemmin tulevilla luvuilla.

2.5 Excel ja CADMATIC yhteistyössä generoinnissa

Mikkelän ja Hirvosen (2020) mukaan CADMATIC Electrical -ohjelmiston ja Excelin eräs yhteistoiminto on sähkökuvien automaattinen generoiminen. Tällä tarkoitetaan CAD-kuvien luomista annettujen attribuuttien ja haluttujen muuttujien avulla ilman manuaalista sähkökuvien piirtämistä. Generoiminen voidaan kyseisessä ohjelmassa jakaa kahteen eri osaan. Ensimmäisenä on yksinkertaisempi generoiminen Excelin ja pohjakuvien avulla (CADMATIC, 2013, 0:40). Vaatimuksena tälle on pohjakuva ja Excel-taulukko, jossa on määritetty haluttu pohjakuva sekä sen attribuutit. Näitä attribuutteja voivat olla esimerkiksi sähköpositio tai piirustusnumero. Halutut attribuutit merkitään \$-merkkien sisään pohjakuvaan. Kuvaa generoitaessa nämä attribuutit sitten korvataan halutuilla arvoilla, jotka on esitetty Excel-taulukossa.

Hirvosen ja Mikkelän (2020) mukaan toisena ja hieman monipuolisempana generointimuotona on modulaarinen generointi. Tämä tarkoittaa tietokantapohjaista CAD-kuvien generointia. Käytännössä suurin ero tavalliseen Excel-generointiin on pohjakuvien tallennus omiksi moduuleiksi, joilla on oma tietokanta: Pohjakuva tallennetaan omaksi projektiksi, joka sisältää yhden tietokannan ja yhden pohjakuvan. Tämä mahdollistaa useiden tietokantaominaisuuksia hyödyntävien ominaisuuksien käytön, esimerkiksi viittausten yhdistämisen sivulta toiselle käyttäen apuna viittausparitunnuksia. Viittausparitunnukset ovat viittauksiin asetettavia arvoja, joiden avulla kaksi viittausta voidaan linkittää toisiinsa. Omien moduulien tietokantojen ansiosta viittaukset yhdistyvät älykkäästi toisiinsa generoitaessa, mikäli viittausparitunnukset ovat identtiset. Viittaukset saavat automaattisesti sekä viittaustiedon että tekstin projektiin määritettyjen asetusten mukaisesti. Nämä tietokannat ovat Access-pohjaisia, joten niitä ei voida reaaliaikaisesti muokata usean henkilön toimesta ilman SQL-serveriä (Microsoft, i.a.-a). CADMATIC Electrical -sovelluksen generoitavaa projektia luotaessa voidaan valita halutaanko käyttää Access-tietokantaa vai SQL-serveriä.

Hirvosen ja Mikkelän (2020) mukaan molemmissa generointivaihtoehdoissa itse generoiminen on helppoa ja tapahtuu yhtä nappia painamalla. Generointi vie aikaa liitetyistä

attribuuteista sekä tietokoneen tehosta riippuen noin minuutista kolmeen minuuttiin kuvaa kohden. Tämä prosessi voidaan jättää tietokoneen taustalle toimimaan ja suorittaa esimerkiksi muita työtehtäviä. Tämän vuoksi generointi onkin todella kätevä tapa tehdä sähkökuvat. Hirvosen (2020) mukaan moduuleja käytettäessä voidaan generoinnin jälkeen suorittaa luotuihin kuviin massamuokkauksia esimerkiksi valittujen kaapelien osalta. Myös raporttien tekeminen luonnistuu vaivattomasti CADMATIC Electricalin automaattitoimintojen avulla. Laiteluettelot, kaapelilistat, kaapelikilpitunnukset ja I/O-listat voidaan generoida niin ikään ilman manuaalista työtä. Lopuksi voidaan luoda myös asiakaskuvat DWG- ja PDF-formaateilla. Tässä työssä tullaan käyttämään modulaarista generointia sen monipuolisuuden takia. Tähän liittyviin Excel-taulukkoihin tullaan tekemään älykäs valintamenetelmä, joka valitsee projektiin pohjakuvat sekä niiden attribuutit valitun tuotekonfiguraation mukaan.

3 SÄHKÖSUUNNITTELUN MODERNISOINNIN SAAVUTTAMINEN

3.1 Nykyinen toimintamalli

Nykyisellä toimintamallilla sähkösuunnittelu tehdään manuaalisesti kuva kerrallaan. Kaikkia kuvia ei tästä huolimatta tarvitse kuitenkaan tehdä ihan alusta asti. Vanhoista projekteista voidaan kopioida komponentteja ja jopa kokonaisia kuvia. Näihin tehdään siten tarvittavia muutoksia, sillä useissa organisaatioiden tarjoamissa piirikaavioissa on samankaltainen perusrakenne. Täysin vakaa ja luotettava tämä toimintamalli ei kuitenkaan ole, sillä inhimillisiä virheitä tapahtuu esimerkiksi väsymyksen ja aikapaineen vuoksi (Jones & Towse, 2019). Kyseinen toimintamalli on myös hieman vanhanaikainen, sillä on olemassa keinoja automatisoida piirikaavioiden tuottaminen. Tämä automatisoitu työvaihe olisi tietokoneen suorittama ja sitä kautta myös ihmisen tekemät virheet vähenisivät merkittävästi. Jäljelle jäävät virheet olisivat täten systemaattisia ja helposti korjattavissa. Nykyisen toimintamallin ongelmana on siis sen hitaus ja inhimilliset virheet.

3.2 Tavoitetila

Tavoitetilana on mahdollisimman vaivaton ja luotettava sähkösuunnittelu piirikaavioiden osalta. Tämän toimintamallin tavoitteena on automatisoida piirikaavioiden piirtäminen siten, että käyttäjän tarvitsisi vain valita haluttu tuotekonfiguraatio teknisten dokumenttien perusteella. Tiedon käsittely tapahtuu Excelissä ja itse generointi CADMATIC-suunnitteluohjelmistossa. Sekä piirikaaviokuvien virheiden määrää että niiden tarkistamiseen kuluvaan aikaa pyritään tällä tavoin pienentämään. Taloudellisena tavoitteena on prosessin nopeuttaminen ja näin nopeammat toimituksen piirikaavioille. Näiden toimien avulla voidaan potentiaalisesti voittaa tarjouskilpailuja ja panostaa enemmän muihin suunnitteluprosessin osiin.

3.3 Tavoitetilan saavuttaminen

Tavoitetilan saavuttamiseksi on rakennettava aluksi alusta, jossa voidaan valita haluttu tuotekonfiguraatio. Tämän perusteella voidaan sitten käsitellä tietoa ja muokata sitä tarvittavaan muotoon. Kyseinen tiedonkäsittely tullaan suorittamaan kokonaisuudessaan Excelissä. Tähän tiedonkäsittelyyn käytetään Excelin monipuolisia funktioita ja makroja. Tavoitteena tälle tiedonkäsittelykokonaisuudelle on muodostaa yksi Excel-lehti, jossa on määritettynä kaikki

tarvittavat pohjakuvat ja niiden attribuutit. Pohjakuvia täytyy tehdä kaikille mahdollisille generoitaville variaatioille. Kyseisten pohjakuvien ja niiden attribuutteja sisältävän Excel-lehden avulla voidaan CADMATIC-suunnitteluohjelmassa generoida halutut piirikaaviokuvat muutamalla napin painalluksella.

4 EXCEL-KONFIGUROINTITYÖKALU

4.1 Työkalun tarkoitus

Ennen tämän generointityökalun kehittämistä rakennettiin konfiguraation valintaan ja myyntitarkoitukseen tehty työkalu. Kyseisen työkalun tarkoituksena oli toimia myynnin tukena hintaneuvotteluissa. Perusideana oli yksinkertainen hintojen hakeminen tiedostoluettelosta valitun konfiguraation ja sen optioiden mukaan. Tällä tavoin voitaisiin hintaneuvotteluissa helposti ja vaivattomasti muokata asiakkaan valitsemaa kokoonpanoa ja saada sille välittömästi uusi hinta. Tällöin asiakkaan kanssa käytävissä neuvotteluissa voidaan asiakkaalle tarjota uusi kokoonpano lisävarusteineen ilman hinnan laskemisesta johtuvaa viivettä. Yritykset, joilla on käytössä tällainen myyntityökalu, voisivat käyttää sitä ns. valttikorttina ja potentiaalisesti voittaa kilpailevia yrityksiä tarjouskilpailussa. Tämä myyntityökalu päätettiin integroida kehitteillä olevaan generointityökaluun ja käyttää sitä pohjana generoinnissa.

4.2 Työkalun käyttö

Konfigurointityökalu sisältää valikon, josta valitaan halutut kojeistot, niiden tiedot sekä optiot (kuvio 1). Näihin tietoihin kuuluu halutun kojeiston moduulin tyyppi, jännite, virta sekä mahdollisesti moduulin puolisuuden valinta. Puolisuuden valinta suoritetaan, mikäli kyseinen moduuli on kojeiston ensimmäinen tai viimeinen. Moduulin tyyppeihin kuuluu tasasuuntaaja, syöttöyksikkö ja moottorimoduuli. Teho haetaan VBA-koodista automaattisesti ehdollisten lauseiden avulla perustuen valittuun jännitteeseen ja virtaan. VBA-koodin päätarkoitus on siis manipuloida solun dataa manuaalisesti valittujen solujen arvojen perusteella (Walkenbach, 2013, s. 94). Samalla periaatteella haetaan moduulin MLFB-koodi.

Module	Voltage	Current	Rated Power	MLFB	Options	Price		
MoMo	690V	810 A	800kW		D14+F03+G33+K08+K50+K95+L07+L37+M21+M60+			
AddModule	Parallel		Quide		Options			
Module	Voltage	Current	Rated Power	MLFB	Options	Price	Comment	Number
MoMo	690V	810 A	800kW		D14+F03+G33+K08+K50+K95+L07+L37+M21+M27+M60+M70+M8			1

Kuvio 1. Konfiguraatiotyökalun pääikkuna

Näiden valintojen jälkeen siirrytään valitun kojeen optioiden valintaan painamalla Options-painiketta. Painikkeeseen on liitetty makro-toiminto, joka käynnistää komennon Worksheets("MoMo").Activate. Tämä aukaisee lehden, jossa on lueteltuna kaikki valittavat optiot kyseiseen kojeeseen (kuvio 2). Optiokatalogin oikeassa reunassa näkyy kullekin

lisävarusteelle hinta. Tämä hinta haetaan erilliseltä lehdeltä, johon on listattu kaikki mahdolliset hintavariaatiot kullekin optiolle perustuen valittuun kojeeseen ja sen teknisiin tietoihin. Tämä lista on noin 30 000 riviä pitkä, joten oikean hinnan etsimisessä päädyttiin käyttämään Excelin valmista VLOOKUP-funktiota. Tämä funktio etsii määritetyltä alueelta etsittävän arvon ja palauttaa sen riviltä käyttäjän määrittämän solun arvon (Microsoft, i.a.-b). Jokaiselle hintatiedolle oli oma tunnus, joka muodostui valitun kojeen MLFB-koodista sekä option tunnuksesta. Nämä kaksi tietoa yhdistettiin CONCATENATE- funktiolla ja näin saatiin tarvittava tunnus hintatiedon hakua varten. CONCATENATE-funktio yhdistää siihen syötetyt stringit yhdeksi stringiksi (Microsoft, i.a.-c).

Hintatietotaulukkoa ei voida tässä työssä näyttää lainkaan sen sisältämän arkaluontoisen tiedon vuoksi. Option valinta tapahtuu perinteisellä rasti ruutuun- menetelmällä. Käyttäjä siis valitsee katalogin vasemmasta laidasta halutun lisävarusteen painamalla valintaruutua, jolloin solu saa arvon TRUE (kuvio 2). Jokaisen option rivi on liitetty ehdolliseen muotoiluun, joka muuttaa sen oranssiksi TRUE-arvon löydyttyä. Ehdollinen muotoilu muuttaa solujen ulkomuodon käyttäjän määrittämän ehdon mukaan (Microsoft, i.a.-d).

OPTIONS FOR MOTOR MODULES (MOMO)			
Check	Option	Description	Price €
	Module		
<input type="checkbox"/>	B15	B15=Retrofit	
<input type="checkbox"/>	B44	B44=Document, production flow chart: update every two weeks	
<input type="checkbox"/>	B55	B55=Creation of preliminary and final packing list	
<input type="checkbox"/>	B57	B57=Photo documentation of the ordered units	
<input type="checkbox"/>	D00	D00=Documentation in German	
<input type="checkbox"/>	D02	D02=Customer documentation (circuit, terminal, layout diagram) in DXF format	
<input checked="" type="checkbox"/>	D14	D14=Advance creation of the customer documentation	
<input type="checkbox"/>	D56	D56=Documentation in Russian	
<input type="checkbox"/>	D58	D58=Documentation in English/French	
<input type="checkbox"/>	D60	D60=Documentation in English/Spanish	
<input type="checkbox"/>	D80	D80=Documentation in English/Italian	
<input type="checkbox"/>	D91	D91=Documentation in English/Chinese	
<input type="checkbox"/>	D94	D94=Documentation in English/Russian	
<input type="checkbox"/>	D99	D99=No documentation	
<input checked="" type="checkbox"/>	F03	F03= Converter acceptance with Customer present: Visual acceptance	
<input type="checkbox"/>	F71	F71= Converter acceptance at Customer present: Function test without motor	
<input type="checkbox"/>	F72	F72=Function test without connected motor (device acceptance without customer present)	
<input type="checkbox"/>	F75	F75=Inverter acceptance for Customer presence, Function test with test field Motor under no-load conditions	
<input type="checkbox"/>	F76	F76=Insulation test (in combination with option F78 or F75) device acceptance without customer present	
<input type="checkbox"/>	F77	F77=Acceptance incl. high voltage test and insulation test	
<input type="checkbox"/>	G20	G20=Communication Board CBC10	
<input checked="" type="checkbox"/>	G33	G33=CBE20 PROFINET module for connection to PROFINET IO with 4 RJ45 ports with switch functionality	
<input type="checkbox"/>	G54	4x TM150 temperature sensor evaluation unit	
<input type="checkbox"/>	K01	K01= Safety license for 1 axis	
<input checked="" type="checkbox"/>	K08	K08=Operator panel ADP30	
<input type="checkbox"/>	K46	K46=Interface module for resolver (SMC10)	
<input type="checkbox"/>	K48	K48=Interface module for SIN/COS incremental encoder and absolute encoder (SMC20)	
<input checked="" type="checkbox"/>	K50	K50=Interface module for TTL and HTL incremental encoder (SMC30)	
<input type="checkbox"/>	K51	K51=Voltage Sensing Module Cabinet-mounted VSM10	
<input type="checkbox"/>	K52	K52=Second Sensor Module Cabinet-mounted SMC30 for actual motor speed acquisition	
<input type="checkbox"/>	K75	K75=Additional auxiliary power busbar system (6-pole)	
<input type="checkbox"/>	K82	K82=Terminal module for control of SAFE Torque OFF and SAFE Stop 1 functions	
<input type="checkbox"/>	K87	K87=Terminal Module TM54F	
<input type="checkbox"/>	K88	K88=SAFE Brake Adapter AC 230V	
<input type="checkbox"/>	K89	K89=SAFE Brake Adapter DC 24V	

Kuvio 2. Moottorimoduulin optiot

Hinnat lasketaan yhteen käyttämällä SUMIF-funktiota. Kyseinen funktio palauttaa valittujen solujen summan valintaosion alalaitaan, jos määritetty ehto täyttyy (Exceljet, i.a.). Samalla periaatteella lasketaan yhteen valittujen optioiden lukumäärä ja asetetaan se katalogin alalaitaan käyttäjän näkyviin (kuvio 3). Myös valittujen optioiden koodit tulevat näkyviin listana samaan osioon. Käyttäjän valintojen jälkeen hinnat on laskettu yhteen ja voidaan palata takaisin alkusivulle painamalla Confirm Options- painiketta (kuvio 3). Tämä painike palauttaa muodostuneen kokonaishinnan ja optioiden listan takaisin pääsivulle käyttäjän nähtäväksi ja vaihtaa samalla lehden takaisin pääsivulle.

<input type="checkbox"/>	M91	M91=Marking of all control cable wire ends (incl. X30)	
<input type="checkbox"/>	Q80	Q80=Extension of liability for defects by 12 months to a total of 24 months from delivery	
<input type="checkbox"/>	T58	T58=Rating plate and operator field language English/French	
<input type="checkbox"/>	X30	X30=Customer-specific version	
<input type="checkbox"/>	Y09	Y09=Special paint finish for cabinet in RAL color	
<input checked="" type="checkbox"/>	Y11	Y11=Factory assembly into transport units	
<input type="checkbox"/>	Y33	Y33=Label for system identification, four-line 40 x 180 mm	
Total:	13	D14+F03+G33+K08+K50+K95+L07+L37+M21+M60+M70+M86+Y11	
CONFIRM OPTIONS		CLEAR ALL	

Kuvio 3. Optioiden valintalehden alaosa

Näiden toimien jälkeen on ensimmäinen moduuli konfiguroitu halutuilla teknisillä tiedoilla ja lisäosilla. Moduulin tietojen tarkistuksen jälkeen lisätään se samalla sivulla sijaitsevalle listalle, johon lisätään jokainen syöttöryhmään kuuluva moduuli. Tiedon siirto tähän listaan tapahtuu Add Module -painikkeella. Painikkeeseen on lisätty makro, joka etsii a-sarakkeelta pohjimmaisena arvon ja liittää sen alla olevaan soluun kojeiston tyyppin solusta B2 (kuvio 4). TeachExcel-YouTube-kanavan (2020, 2:45) mukaan tämä tapahtuu käytännössä VBA-koodissa komennolla `Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).Offset(1).Value = [B2]`. Sama komento suoritetaan muillekin valitun kojeen tiedoille ja täten saadaan kyseisen moduulin tiedot siirrettyä tuotelistaan. Kaikki edellä mainitut toimet toistetaan samalla tavalla, kun valitaan seuraavaa kojeiston moduulia.

Käyttäjän valittua kaikki haluamansa moduulit on konfiguraatiolista valmis ja se voidaan esittää asiakkaalle tarjousvaiheessa. Kokonaissumma kertyy kohtaan Total Sum yksinkertaisella komennolla `=SUM(G9:G96)` (kuvio 4). Tässä siis lasketaan yhteen kaikkien valittujen kojeiden hinnat. Käyttäjä voi myös määrittää alennusprosentin kokonaissummalle asettamalla sen kohtaan Discount %. Alennettu hinta tulee näkyviin kohtaan Price after discount kaavalla `=J8*((100-J12)/100)`. Kaavassa vähennetään siis alennusprosentti 100 prosentista ja jaetaan

se sadalla, jolloin saadaan haluttu kerroin alennukselle. Tämä kerroin kerrotaan alkuperäisellä kokonaissummalla ja näin saadaan alennettu hinta. Näiden toimien jälkeen konfiguroitu kokoonpano, eli tuotelista, on valmis hintatietoineen ja se voidaan esittää asiakkaalle. Valitun kokoonpanon perusteella saadaan lisäksi suurin osa tarvittavista teknisistä tiedoista ja parametreista piirikaaviokuvien generoimiseen. Tästä kerrotaan tarkemmin seuraavissa luvuissa.

Module	Voltage	Current	Rated Power	MLFB	Options	Price			
MoMo	690V	810 A	800kW		D14+FB3+G33+K08+K50+K95+L07+L37+M21+M60+M70+M86+Y11			Update	
AddModule		Parallel	Quide		Options				
Module	Voltage	Current	Rated Power	MLFB	Options	Price	Comment	Number	Total Sum
MoMo	690V	810 A	800kW		D14+FB3+G33+K08+K50+K95+L07+L37+M21+M60+M70+M86			1	
MoMo	690V	810 A	800kW		D14+FB3+G33+K08+K50+K95+L07+L37+M21+M60+M70+M86+Y11			2	
MoMo	690V	1270 A	1200kW		D14+FB3+G33+K08+K50+K95+L07+L37+M21+M60+M70+M86+Y11			3	
MoMo	690V	215 A	200kW		D14+FB3+G33+K08+K50+K95+L07+L37+M21+M60+M70+M86+Y11			4	Discount %
SLM	690V	1430 A	1400kW		D14+FB3+M21+M60+M86+Y11			5	
								6	
								7	1
								8	Price after discount
								9	
								10	
								11	

Kuvio 4. Valitut moduulit listattuna

5 EXCEL-FUNKTIOT JA -MAKROT TIEDON KÄSITTELYSSÄ

5.1 Funktioiden ja makrojen hyödyntäminen

Excel-kokonaisuuden tarkoitus tässä työssä on muodostaa ns. import sheet, johon listataan tiedot valituista moduuleista sekä tarpeelliset pohjakuvat. Tämän muodostetun import-lehden avulla voidaan generoida valitun kojeiston piirikaaviokuvat CADMATIC-suunnitteluohjelmistossa. Automaattinen tiedon hakeminen, muokkaaminen ja siirtäminen tapahtuu Excelin makrojen ja funktioiden avulla.

Vaatimuksena Excelin sisäiselle automaattiselle tiedonkäsittelylle ja tätä kautta mahdollisimman vaivattomalle generoinnille olikin siis Excel-funktioiden ja makrojen käyttö työssä. Näiden ominaisuuksien rooli oli muokata käyttäjän syöttämää ja valitsemaa dataa oikeanlaiseksi sekä muotoilla ja siirtää se import-lehdelle. Tätä tiedonkäsittelykokonaisuutta alettiin integroidaan aikaisemmin luotuun konfigurointityökaluun ja jalostamaan sitä eteenpäin. Excel valittiin tämän työn tiedonkäsittelyohjelmaksi, sillä se sisältää laajan kirjon tarvittavia ominaisuuksia tarvittun datan käsittelyyn.

5.2 Funktiot

Kaava tarkoittaa yksinkertaista symbolien sarjaa, joka suorittaa jonkun laskutoimituksen ja palauttaa tämän lopputuloksen samaan soluun, jossa kyseinen laskutoimitus on suoritettu (Salkind & Frey, 2021, s. 30). Esimerkkinä yksinkertaisesta kaavasta on laskutoimitus 1+1. Excelin funktiot taas ovat ennalta määritettyjä kaavoja, joiden tarkoitus on suorittaa tämä määritetty kaava komennon avulla. Exceliin on integroitu yli 500 valmista funktiota, joista noin 100 käytetään erittäin aktiivisesti (Lacey & Ashby, 2018). Yleisimpiä näistä ovat SUM- ja IF-funktiot, joista ensimmäinen laskee yhteen kaikki funktioon määritetyt numerot. Toinen näistä suorittaa määritetyn kaavan, mikäli sille asetettu ehto täyttyy. Kyse on siis ehdollisesta lauseesta.

Tässä työssä yleisimmät Excel-funktiot ovat VLOOKUP, IF, CONCATENATE, SUM ja tämän variaatio SUMIF. VLOOKUP-funktiota käytetään hintatietojen etsimiseen ja siirtämiseen oikeaan paikkaan. IF-funktiolla on useita käyttökohteita tässä työssä, mutta pääasiassa sillä valitaan generoitavaan projektiin oikeat attribuutit manuaalisesti syötettyjen parametrien

perusteella. Näihin attribuutteihin kuuluvat esimerkiksi pohjakuvien tiedostonimet sekä moottorien tiedot. CONCATENATE-funktion tarkoitus on muodostaa käyttäjäystävällinen tiedon visualisointi. Tämä tarkoittaa käytännössä valittujen optioiden kokoamista yhteen helposti luettavaan listaan, josta ne voi kätevästi tarkistaa. Viimeisenä ovat SUM- ja SUMIF-funktiot, joiden avulla lasketaan yhteen esimerkiksi valittujen kojeiden hinnat. SUMIF puolestaan suorittaa samoja edellä mainittuja tehtäviä, mikäli sille määritetty ehto toteutuu. Esimerkiksi luettelosta lasketaan yhteen vain ne hinnat, jotka kuuluvat valituille optioille.

Epätavallisemmin käytettyihin funktioihin kuuluu esimerkiksi IFERROR, joka suorittaa komennon, jos sille määritetty solu palauttaa arvon #NA. Tässä työssä käytettiin kyseistä funktiota yhdessä LOOKUP- ja SEARCH-funktioiden kanssa (kuvio 5).

```
=IFERROR(LOOKUP(1E+100;SEARCH($J$200:$J$207;$F2);$K$200:$K$207);"")
```

Kuvio 5. IFERROR-, LOOKUP- ja SEARCH-funktiot

LOOKUP etsii sille määritetystä vektorista eli arvojonosta käyttäjän määrittämää arvoa (Microsoft, i.a.-e). Mikäli kyseinen arvo löytyy tältä alueelta, palauttaa funktio samalla rivillä olevan arvon seuraavasta sarakkeesta. SEARCH-funktio puolestaan etsii käyttäjän määrittämää tekstiä toisesta pidemmästä stringistä ja palauttaa tämän tekstin paikkatiedon tässä pidemmässä stringissä (Microsoft, i.a.-f). Näitä kaikkia kolmea funktiota käytettiin yhdessä muodostettaessa toiminto, joka etsii tiettyä tekstiä listasta SEARCH-komennolla (kuvio 6).

Options	Price	Number
D14+F03+G33+K08+K50+K95+L07+L37+M21+M27+M60+M70-M86+711		1

Kuvio 6. Halutun option etsiminen listasta SEARCH-komennon avulla

Mikäli tämä teksti löytyi listasta, otettiin etsitty teksti ja haettiin sen arvo toisesta listasta ja palautettiin tämän rivin oikealla puolella olevan sarakkeen arvo LOOKUP-komennolla (kuvio 7).

M80	1170A
M81	1500A
M82	1840A
M83	2150A
M84	2730A
M85	3320A
M86	3720A
M87	4480A

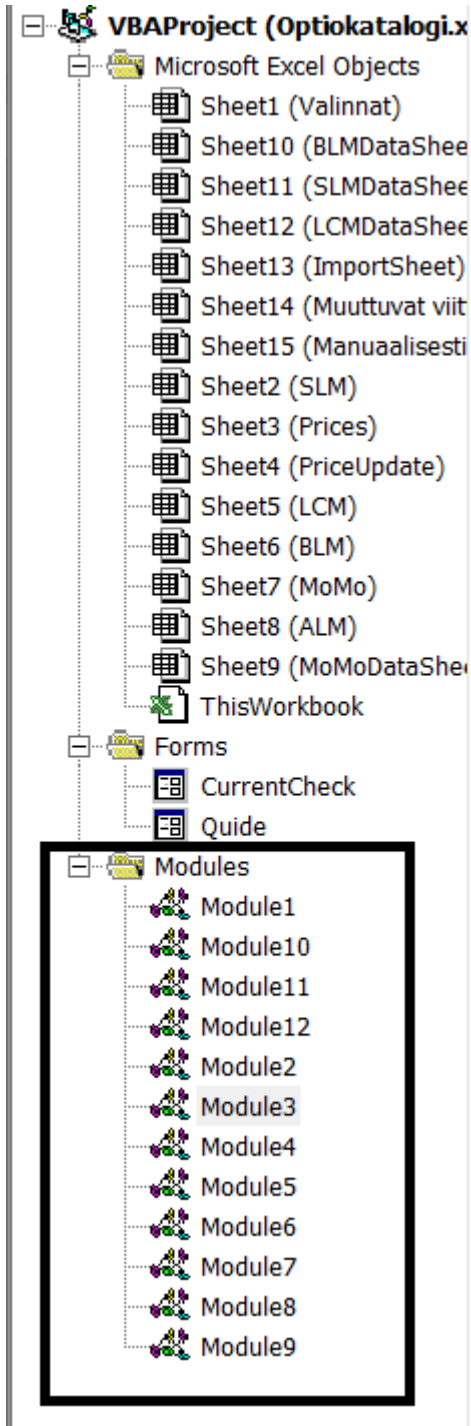
Kuvio 7. Oikeiden arvojen hakeminen toisen taulukon avulla

Mikäli toisen listan arvoa ei löytynyt etsitystä stringistä, funktio palauttaisi normaalisti virheen #NA. IFERROR-komento kuitenkin palauttaa tällöin vain arvon "", eli tyhjän arvon. Tämän koko toimintokokonaisuuden tehtävä on hakea virtakestoisuuden tietoja valittujen optioiden perusteella.

5.3 Makrot

Suurin osa tiedonkäsittelystä tapahtuu kuitenkin VBA-koodissa makrojen avulla. Tässä työssä makroja on kirjoitettu sekä käsin että nauhoittamalla. Nauhoitetut makrot tarkoittavat käytännössä jokaisen käyttäjän suorittaman toimen tallentamista ja tämän muuttamista VBA-koodiksi (Excel Easy, i.a.). Tämä onkin erittäin tehokas työkalu VBA-koodin luomiseen, mikäli käyttäjä ei ole varma, miten haluttu makro luodaan itse koodissa. Tämän työn kannalta oleellisia olivat VBA-editorissa sijaitsevat moduulit, eli organisoidut koodiyksiköt (Emagenit, i.a.). Ne voidaan jakaa kolmeen eri osaan: standardimoduulit, objektimoduulit ja luokkamoduulit. Työn kannalta oleellisia ovat standardimoduulit. Standardimoduulit ovat niin sanottuja yleisen käytön koodisijainteja, joita voidaan käyttää kaikissa Excel-tiedoston sivuissa. Ne voidaan myös liittää jokaiseen painikkeeseen tai muuhun makron aktivoimiseen liitettyyn asiaan. Standardimoduuleja ei siis ole rajoitettu tietyille sivuille. Tämän vuoksi se onkin yleisin käytetty moduuliluokka.

Tässä työssä moduuleja käytetään pääasiassa suuria määriä vaihtoehtoja sisältävien tietojen hallintaan, valintaan ja siirtoon. Pelkillä Excel-funktioilla tämä olisi erittäin raskasta tietokoneelle, ja luodun työkalun käyttäminen olisi hidasta ja toiminta epävarmaa. Tämän vuoksi näiden tietojen käsittely on hoidettu VBA-koodin makrojen avulla ja ne on jaoteltu erillisiksi moduuleiksi (kuvio 8).



Kuvio 8. Standardimoduulit

Esimerkki työssä käytetystä makrosta on moduulissa 11 sijaitseva tiedonsiirtomakro. Makron tehtävä on siirtää käyttäjän valitsevat projektitiedot jokaiselle valitulle kojeelle ja täten yhdistää ne generoitaviin piirikaaviokuvaan. Käytännössä käyttäjä siis valitsee halutut projektitiedot kirjoittamalla ne niille osoitettuun kenttään ja valitsee valintaruuduilla, mitkä tiedot halutaan siirtää kojeistojen tietoihin (kuvio 9). Tämä tiedonsiirtomakro aktivoidaan painamalla Update-painiketta.

Projektitiedot:	
<input checked="" type="checkbox"/> Päiväys	11.1.2022
<input checked="" type="checkbox"/> Kokoonpanovaihe	
<input checked="" type="checkbox"/> Kokoonpanovaiheen pvm	
<input checked="" type="checkbox"/> Kohdetieto 1	
<input checked="" type="checkbox"/> Kohdetieto 2	
<input checked="" type="checkbox"/> Kohdetieto 3	
<input checked="" type="checkbox"/> Projektinumero	
<input checked="" type="checkbox"/> Projektikuvaus	
<input checked="" type="checkbox"/> Välilehti	
<input checked="" type="checkbox"/> Mappinumero	
<input checked="" type="checkbox"/> Suunnittelija	Npo
<input checked="" type="checkbox"/> Tarkastaja	Npo
<input checked="" type="checkbox"/> Hyväksyjä	Npo

(Valitse tiedot jotka haluat syöttää automaattisesti projektiin ja paina "Update")

Kuvio 9. Projektitietojen syöttö

Käyttäjän painaessa Update-painiketta aktivoitu makro alkaa suorittaa sen sisällä olevaa VBA-koodia. Tämä koodi kopioi käyttäjän syöttämän tiedon ja siirtää sen kojeiden tieto-osioihin, mikäli käyttäjä on valinnut sen valintaruudulla (kuvio 10).


```

Sub MoveProjetDataToDataSheets()
'Move data from "Valinnat" project data to Module data sheets
  If Worksheets("Valinnat").Range("L5").Value = True Then
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("L35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("Q35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("V35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("AA35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("AF35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("AK35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("AP35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("AU35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("AZ35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("BE35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("BJ35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("BO35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("BT35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("BY35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("CD35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("CI35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("CN35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("CS35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("CX35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("DC35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("DH35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("DM35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("DR35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("DW35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("EB35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("EG35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("EL35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("EQ35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("EV35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("FA35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("FF35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("MoMoDataSheet").Range("FK35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("BLMDataSheet").Range("L25").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("BLMDataSheet").Range("Q25").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("SLMDataSheet").Range("L35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("SLMDataSheet").Range("Q35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
    Worksheets("LCMDataSheet").Range("L35").Value = Worksheets("Valinnat").Range("N5")
  End If

```

Kuvio 10. VBA-koodimakro tiedonsiirtoon

Näiden toimien jälkeen tiedot on nyt asetettu kaikkiin kojeisiin (kuvio 11). Asetettuja tietoja voidaan tarpeen vaatiessa muokata yksi kerrallaan kojeiden tieto-osioista. Näiden tietojen massamuokkaus on myös mahdollista samalla projektitietojen asettelulla, joka ylempänä kuvattiin (kuvio 9). Esimerkiksi kohdetiedon pyyhkiminen jokaiselta kojeelta tapahtuu jättämällä kohdetiedon syöttöalueen tekstikenttä tyhjäksi, aktivoimalla sen valintaruutu ja painamalla Update-painiketta.

Päiväys	11.1.2022
Kokoonpanovaihe	
Kokoonpanovaiheen pvm	
Kohdetieto 1	
Kohdetieto 2	
Kohdetieto 3	
Projektinumero	
Projektikuvaus	
Välilehti	
Mappinumero	
Suunnittelija	Npo
Tarkastaja	Npo
Hyväksyjä	Npo

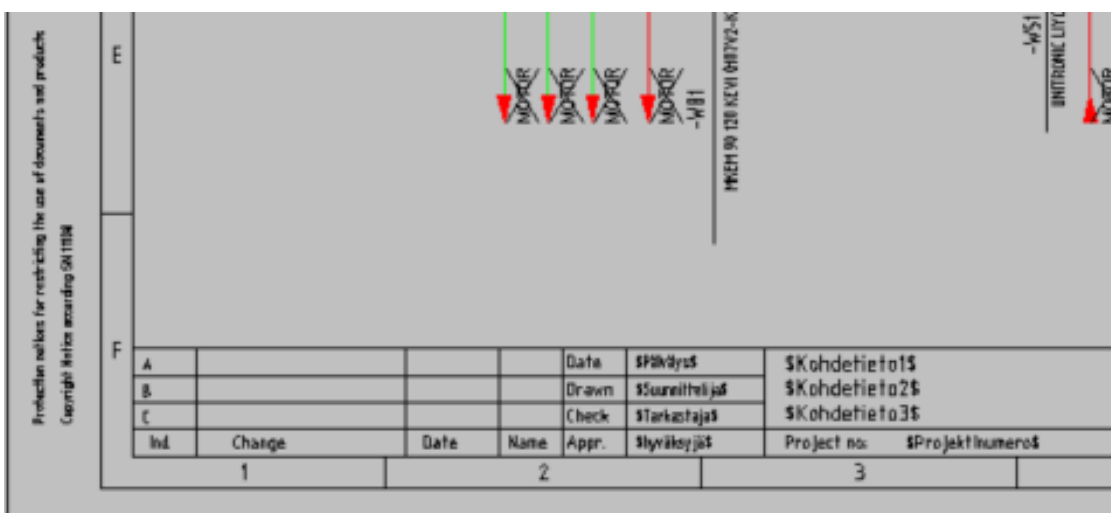
Kuvio 11. Siirretyt tiedot kojeen tieto-osiossa

6 GENEROINTITYÖKALU JA SEN KÄYTTÖ

6.1 Pohjakuvien rakentaminen

Piirikaaviokuvien generointi vaatii edellisissä luvuissa esiteltyjen Excelin funktioiden ja makrojen sekä CADMATIC Electrical -suunnitteluohjelmistoon sisältyvien generointiominaisuuksien yhteistyötä. Tässä työssä käytettiin modulaarista eli tietokantapohjaista generointia. Tämä tietokantamalli on Access-pohjainen, joten siihen voidaan sisällyttää kaikki projektin komponentit ja tiedot. Kuvien generointi vaatii siis tietokannallisia pohjakuvia ja Excel-tiedoston, jossa nämä pohjakuvat valitaan ja asetetaan niille tarvittavat tiedot.

Pohjakuvien tekeminen alkaa kehyksen valinnalla. Pohjakuvat rakennettiin vanhojen projektien pohjalta, joten myös kehykset tulivat niiden kautta. Kehykset sisältävät projektin tietoja, kuten kohteen, suunnittelijan, kokoonpanovaiheen ja päiväyksen. Yrityksen logo on myös yleensä näkyvällä paikalla kehystä laadittaessa. Pohjakuvia rakennettaessa niiden kehykset samaan aikaan standardisoituivat, sillä kaikissa tehdyissä pohjakuvissa käytettiin samaa kehystä. Pohjakuvissa näkyvät tiedot on merkitty \$-merkkien sisään, jotta ne voidaan asettaa Excelissä muodostettujen attribuuttien mukaan (kuvio 12). Tämä toimii niin, että Exceliin listataan haluttu pohjakuva ja haluttu arvo ilman \$-merkkejä. Kyseinen tieto siirtyy generointivaiheessa piirikaaviokuvan vastaavan arvon kohtaan.



Ind	Change	Date	Name	Appr.	Päiväys	Project no.	\$Projektinumero
1							
2							
3							

Kuvio 12. Siirretyt tiedot kojeen tieto-osiossa

Seuraavaksi tehtiin pohjakuviin niihin kuuluvat komponentit ja johdotukset. Kaikille moduulityypeille ja niiden eri variaatioille tehtiin omat pohjakuvat. Kaikki olivat erilaisia kuvia ja sen

takia niitä tulikin yli 100 kappaletta. Komponenttien sisäisistä tiedoista ei tarvinnut tehdä omia variaatioita, koska CADMATIC-generointi mahdollisti tietojen määrittämisen Excelissä. Ilman tätä ominaisuutta pohjakuvia olisi ollut tuhansia ja työ olisi ollut liian työläs toteuttaa. Nämä komponentit valitaan siis Excelin puolella automaattisesti määritetyn konfiguraation perusteella. Exceliin tehty tiedonkäsittely valitsee näiden komponenttien perusteella oikean pohjakuvan.

Komponenttien jälkeen alettiin pohjakuviin työstää kuvien välisiä viittauksia. Näillä tarkoitetaan kuvien johdotuksissa ilmeneviä tekstejä, jotka kertovat missä johdotus jatkuu (kuvio 13). Se voi olla joko samaan kokonaisuuteen kuuluva viittaus tai vaikka esimerkiksi ulkoiselle muuntajalle lähtevä viittaus. CADMATIC Electrical -ohjelmistoon kuuluu viittauksien tekoon tarkoitettu työkalu, jolla voidaan määrittää viittauksien alku ja loppupiste ja se voidaan yhdistää esimerkiksi johtimeen. Tällä työkalulla tehdäänkin yleisesti ottaen kaikki johdotukset sähkösuunnittelussa. Johdotuksen viittauksen tekeminen luo projektin tietokantaan viittausparitunnuksen, jolla viittaukset yhdistetään. Viittausparitunnuksella tarkoitetaan numerosarjaa, jonka avulla voidaan kaksi viittausta yhdistää toisiinsa kuvien selaamista helpottavalla hyperlinkillä: Johdotusta voi seurata viittauksen hyperlinkkiä klikkaamalla, kunhan kuvat ovat samassa tietokannassa ja projektissa.



Kuvio 13. Kuvien väliset viittaukset

Tähän työhön haluttiin mukaan tämä viittausparien toiminnallisuus. Modulaarisen generoinnin tietokantaominaisuuksia oli siis käytettävä. Toiminnallisuus vaati myös tietynlaisen tiedonkäsittelyn Excelissä, jossa valittiin jokaiselle mahdollisesti muuttuvalle viittaukselle oma

viittausparitunnus. Näitä muuttuvia viittauksia oli kuvissa, joissa syöttöryhmän moduulien välinen järjestys vaikutti johdotuksiin. Tällaisia muuttuvia viittauksia oli vain noin viisi prosenttia kaikista viittauksista. Tämän takia siis 95 prosenttiin viittauksista voitiin kirjoittaa kiinteästi siihen vaadittu viittausparitunnus.

Muuttuvien viittauksien tekeminen vaati projektin asetusten muokkaamista. Asetuksista oli asetettava merkityt viittausparitunnukset aktiivisiksi. Tämän jälkeen oli asetettava jokaiselle muuttuvalle viittaukselle ensin tyhjä viittaus johdotuksen molempiin päihin. Seuraavaksi jokaisen viittauksen viittausparitunnuksen tilalle oli laitettava \$-merkkien sisään jokin tunnus, johon yhdistettiin Excelin tiedonkäsittelyssä moduulien järjestyksestä riippuva viittausparitunnus. Tällä tavoin saatiin automaattisesti viittaukset tehtyä kuvien välille, vaikka moduulien järjestystä vaihdettaisiinkin. Näiden toimien jälkeen huomattiin, että viittauksien toiminnallisuus toimi, mutta ne osoittivat välillä väärään suuntaan. Tähän löytyi kuitenkin yksinkertainen ratkaisu. Asetuksista oli asetettava johdotusten suunnat automaattiseksi, jolloin viittaukset osoittivat aina oikeaan suuntaan. Asetuksista haluttiin myös vaihtaa viittauksissa näkyvät tunnukset viittaamaan moduulien kokonaisuuteen. Tämä tarkoitti sitä, että viittauksiin tuli näkymään mihin moduuliin kyseinen viittaus yhdistyi. Näiden toimien jälkeen viittaukset saatiin oikeaan formaattiin generoinnissa.

Pohjakuvien valmistumisen jälkeen ne täytyy vielä kaikki tallentaa moduuleiksi, eli omiksi projekteikseen. Tämä on edellytys modulaariselle generoinnille ja tietokantatoiminnoille, sillä siinä yhdistetään monia pohjakuvia yhdeksi kuvaksi ja lopulta projektiksi. Kyseinen menettely mahdollistaa mm. vaihtuvien viittausten automaattisen asettelun ja tätä kautta vaivattomamman generoinnin. Tämä onkin suurin ero tavallisen Excel-pohjaisen generoinnin ja modulaarisen generoinnin välillä. Moduuliksi tallentaminen tapahtuu asettamalla pohjakuva omaan kansioonsa omalla identifioivalla nimellä. Seuraavaksi sille luodaan oma uusi ja tyhjä tietokanta. Pohjakuvat ovat siten valmiit käytettäviksi omina kansioinaan. Kyseisen kansion nimellä haetaan tarvittava pohjakuva generointivaiheessa. Kansion nimen haku tapahtuu Excelin tiedonkäsittelyssä.

6.2 Tiedonkäsittely Excelissä

Tiedonkäsittely Excelin sisällä alkaa aiemmassa luvuissa esitellyssä konfigurointityökalussa. Aluksi valitaan halutut moduulit valitsemalla ja konfiguroimalla ne yksi kerrallaan.

Painettaessa Update-painiketta moduulin konfiguroinnin jälkeen alkaa tietojen käsittely Excelin funktioissa ja VBA-koodissa.

Aluksi moduulien tiedot siirretään niille kuuluville datalehdille ja järjestetään ne sen mukaan, mitä käyttäjä on etusivulla määritellyt (ensimmäisenä valittu kaikkein vasemmanpuoleisimmaksi jne.). Näiden moduulien järjestäminen tehdään siirtämällä koko moduuliluettelo jokaiselle datalehdelle ja käyttämällä siten sort-funktiota. Tähän funktioon määriteltiin itse järjestys, jonka mukaan se järjesti kullekin datalehdelle tarkoitetut moduulit ylimmäksi. Tämän jälkeen käytettiin filter-funktiota, joka suodatti pois kaikki muut paitsi kyseiselle datalehdelle kuuluvat moduulityypit. Esimerkkinä tästä on moottorimoduulit (kuvio 14).

Module	Voltage	Current	Rated Power	MLFB	Options	Price	Number	Amount of MotorModule
MoMo	690V	810 A	800k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M27-M60-M70-M86-Y11		1	14
MoMo	690V	810 A	800k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		2	
MoMo	690V	1270 A	1200k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		3	
MoMo	690V	215 A	200k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		4	
MoMo	690V	810 A	800k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		8	
MoMo	690V	810 A	800k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		9	
MoMo	690V	215 A	200k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		10	
MoMo	690V	150 A	132k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		11	
MoMo	690V	95 A	75k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		12	
MoMo	690V	150 A	132k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		13	
MoMo	690V	95 A	75k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		14	
MoMo	690V	215 A	200k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		15	
MoMo	690V	95 A	75k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		16	
MoMo	690V	810 A	800k/w		D14-F03+G33+K08+K50+K95-L07+L37-M21-M60-M70-M86-Y11		17	
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	

Kuvio 14. Järjestetty moduulilista

Tämän jälkeen järjestetystä moduuliluettelosta aletaan moduuli kerrallaan siirtää tietoa samalla sivulla oleviin datalaatikoihin. Jokaiselle moduulille on oma datalaatikko (kuvio 15), johon kerätään yksittäisten moduulien tiedot. Osa moduulien tiedoista muodostetaan näiden lähtötietojen avulla. Esimerkiksi moduulin jännitteen ja virran avulla saadaan runkokoko määritettyä ehdollisen lauseen avulla. Muita samalla periaatteella muodostettavia tietoja on DC-kiskojen virtakestoisuudet, sulakkeiden koko ja niiden määrä.

1. Käyttö		2. Käyttö	
Manuaalinen täyttö	Kokonaisuus		
	Sähköpositio		
	Käytön nimitys (1. Kuvausrivi)		
	Käytön tarkempi kuvaus (4. Kuvausrivi)		
	Toimittajan piirustusnumero		
	Piirustusnumero		
	Enkooderi kokonaisuus		
	Enkooderi sähköpositio		
	Enkooderityyppi		
	Enkooderi valmistaja		
	Moottori nimellisteho		
	Moottori nimellisjännite		
	Moottori nimellisvirta		
	Moottori Nimellispyörimisnopeus		
	Moottori MLFB		
	Moottori Optiot		
	DC-Kiskon virtakestoisuus		
	DC-Latauskytkimen virta		
	MoMo Teho	800k/w	800k/w
	MoMo Virta	810 A	810 A
	MoMo Jännite	630V	630V
	MoMo MLFB		
	MoMo Runkokokoko		
	Syöttövirran jännite (2. Kuvausrivi)		
	Latauskytkimen sulakkeiden määrä		
	Latauskytkimen sulakkeiden koko [A]		
	Päiväys	11.1.2022	11.1.2022
Kokoonpanovaihe	ALUSTAVA	ALUSTAVA	
Kokoonpanovaiheen pvm	11.1.2022	11.1.2022	
Kohdetieto 1	SEAMK	SEAMK	
Kohdetieto 2	SEINÄJOKI	SEINÄJOKI	
Kohdetieto 3	TEKNIKKKA	TEKNIKKKA	
Projektinumero	12345678	12345678	
Projekti kuvaus	DEMO	DEMO	
Välilehti	11	11	
Mappinumero	1	1	
Suunnittelija	Npo	Npo	
Tarkastaja	Npo	Npo	
Hyväksyjä	Npo	Npo	

Kuvio 15. Moduulien datalaatikot

Kuvassa 15 esitetyissä datalaatikoissa käsitellään myös pohjakuvien valinta, joka toteutetaan myös ehdollisilla lauseilla. Kuvan valintaan vaikuttaa kyseisen moduulin järjestysnumero, kaikkien moduulien yhteismäärä, moduulin virta ja mahdollisesti siihen valitut optiot (kuvio 16). Optioiden valinta vaikuttaa vain tiettyihin kuviin. Esimerkkinä tästä voisi olla jännitteen seurantaan suunniteltu paneeli. Jos tämä valitaan optioksi, ohjelma valitsee pohjakuvan, jossa tämä paneeli on mukana. Näillä toimilla saadaan automaattisesti asetettua datalehdille generointiin tarvittavaa tietoa. Mikäli datalaatikkoon ei tule tarvittavia tietoja, ei siihen tule myöskään pohjakuvan nimeä näkyviin eikä kyseinen moduuli generoidu.

```
=IFS(AND(L57>=$I$72;L57<>1;L57<>$I$70;L57<>0;L27<>0);"Apujännite_oik_oik_Pohja(1)";AND(L57<=$I$72;L57<>1;L57<>$I$70;L57<>0;L27<>0);"Apujännite_vas_vas_Pohja(1)")
```

Kuvio 16. Esimerkki pohjakuvan valintakoodista

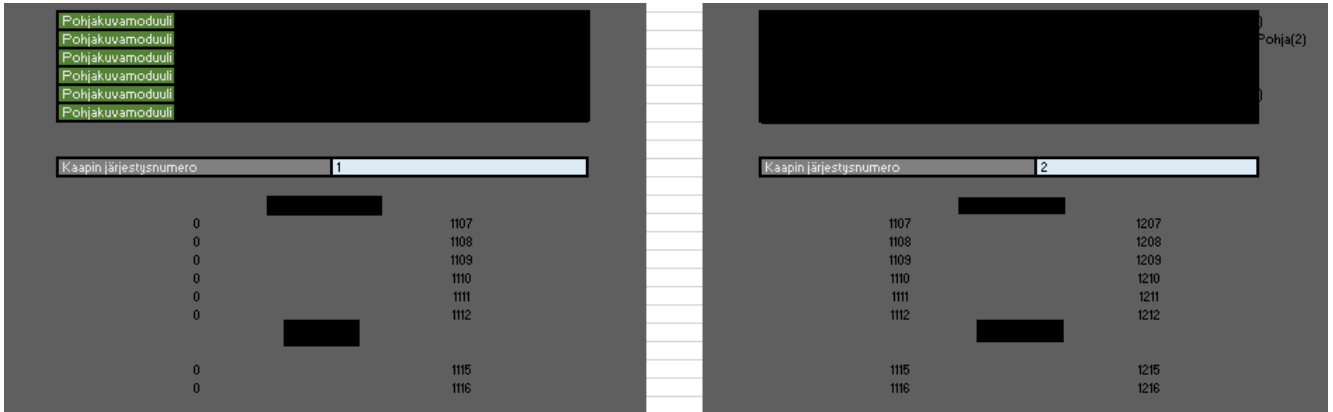
Seuraava vaihe oli asettaa muuttuvat viittausparitunnukset jokaiselle moduulille. Tämä rakennettiin erilliselle Excel-lehdelle sen monimutkaisuuden vuoksi. Ensimmäisenä oli tehtävä omat datalaatikot jokaiselle moduulille. Nämä ovat kuitenkin eri datalaatikoita kuin aiemmassa vaiheessa. Tämän jälkeen oli alkuperäinen moduulien järjestys asetettava myös näihin datalaatikoihin moduulityypeittäin. Tämä onnistui vaivattomasti linkittämällä suoraan pääsivun moduulit tähän listaan solu kerrallaan. Viittausparitunnusten määrittäminen alkoi

vasemmalta nolasta. Jokainen vasemmanpuoleisimman moduulin vasemmanpuoleinen viittausparitunnus oli siis nolla, koska siitä vasemmalle ei enää voi viitata. Tämän jälkeen aloitettiin oikealle päin viittaukset numerosta 1107. Tämän ensimmäisen moduulin oikealle puolelle viittaavat viittausparitunnukset olivat 1107, 1108 jne. Seuraavan moduulin vasemmalle päin viittaavat viittausparitunnukset olivat samat 1107, 1108 jne. (kuvio 17). Tällä tavoin saadaan yhdistettyä kaksi moduulia generoinnissa.

MoMo		MoMo		MoMo	
1		2		3	
Vasen:	Oikea	Vasen:	Oikea	Vasen:	Oikea
0	1107	1107	1207	1207	1307
0	1108	1108	1208	1208	1308
0	1109	1109	1209	1209	1309
0	1110	1110	1210	1210	1310
0	1111	1111	1211	1211	1311
0	1112	1112	1212	1212	1312
	1115	1115	1215	1215	1315
	1116	1116	1216	1216	1316

Kuvio 17. Muuttuvien viittausten datalaatikot

Haasteita muodostui kuitenkin siitä, etteivät kaikki moduulit yhdisty suoraan viereiseen moduuliin, vaan voivat hypätä sen yli siitä seuraavaan moduuliin. Asia oli ratkaistavissa myös ehdollisella lauseella. Jokaisen moduulin vasemmanpuoleisiin viittauksiin asetettiin ehdollinen lause =IF(G\$2="XX";D6). Tämä lause viittaa aina vasemmalla puolella olevaan moduuliin. Mikäli tämän moduulin tyyppi on sellainen, että sen yli hypätään, viittausparitunnukseksi tulee tämän liihypätyn moduulin vasemmalla puolella olevan moduulin oikeanpuoleinen viittausparitunnus. Jokaisen moduulin oikeanpuoleiset viittaukset saadaan ottamalla moduulin vasemmalla puolella sijaitseva viittausparitunnuksen arvo ja lisäämällä siihen 1000. Näin saatiin tehtyä automaattisesti valikoituvat viittausparitunnukset generoitavaan projektiin. Nämä viittausparitunnukset siirtyvät automaattisesti moduulien datalaatikoihin (kuvio 18).



Kuvio 18. Datalaatikoiden viittausparitunnukset

Generointia varten jokaisen moduulin jokainen tieto on saatava samalle sivulle oikean otsikon alle. Tätä varten luotiin ns. import sheet, joka on siis koko tämän luodun Excelin tiedonkäsittelyn lopputulos. Tämä sisältää kaikki tarvittavat tiedot generointia varten oikeassa järjestyksessä. Moduulien tiedot on linkitetty tälle sivulle niille määritettyihin kohtiin.

Peruseriaate tässä on, että jokaiselle tiedolle on sarakkeessa otsikko, ja jokaiselle riville on oma otsikko. Rivien otsikkoina toimivat generoitavien pohjakuvien tiedostonimet ja sarakkeiden otsikkoina toimivat pohjakuvaan syötettävät tiedot, esim. syöttöjännite. Näiden avulla voidaan oikeat pohjakuvat generoida ja niille asettaa oikeat attribuutit. Attribuutit määräytyvät sarakkeen ja rivin otsikkojen mukaan.

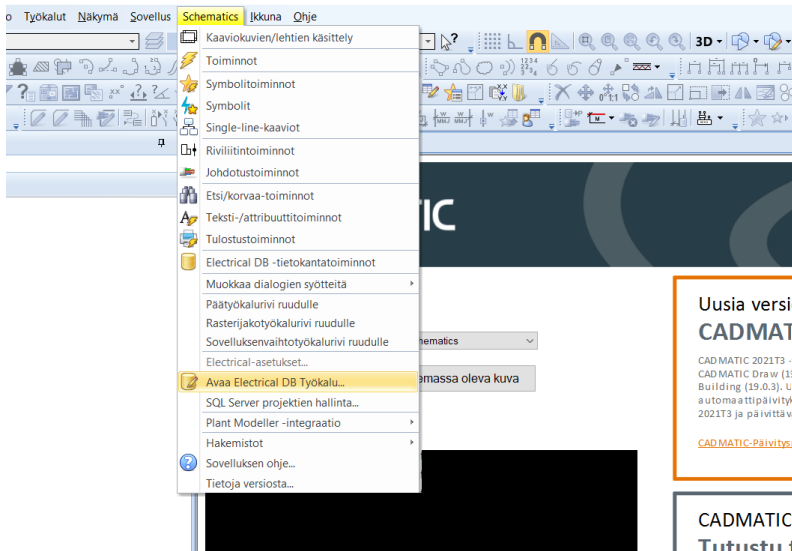
Jokaisen moduulin jokainen tieto on linkitetty datalaatikoista suoraan import sheetille. Pääsivun Update-painike järjestää nämä import sheetin tiedot määritettyyn järjestykseen. Kaikki tärkeät tiedonkäsittelyt tapahtuvat tämän kyseisen painikkeen laukaiseman makron kautta. Import sheetin avulla muodostetut kuvat määräytyvät kuvatiedoston perusteella. Jos esimerkiksi kolmellatoista kuvalla on sama nimi, ne yhdistetään yhdeksi kuvasarjaksi eli kokonaisuudeksi.

Moduuli	Kuvatiedosto	Päiväys	Kohdetieto1	Kohdetieto2	Kohdetieto3	Projektinumero	Kokonaisuus	Sähköpositio	Projektikuvaus
_Syotto__Pohja(1)	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO
	.drw	11.1.2022	SEAMK	SEINÄJOKI	TEKNIikka	12345678			DEMO

Kuvio 19. Muodostettu import sheet

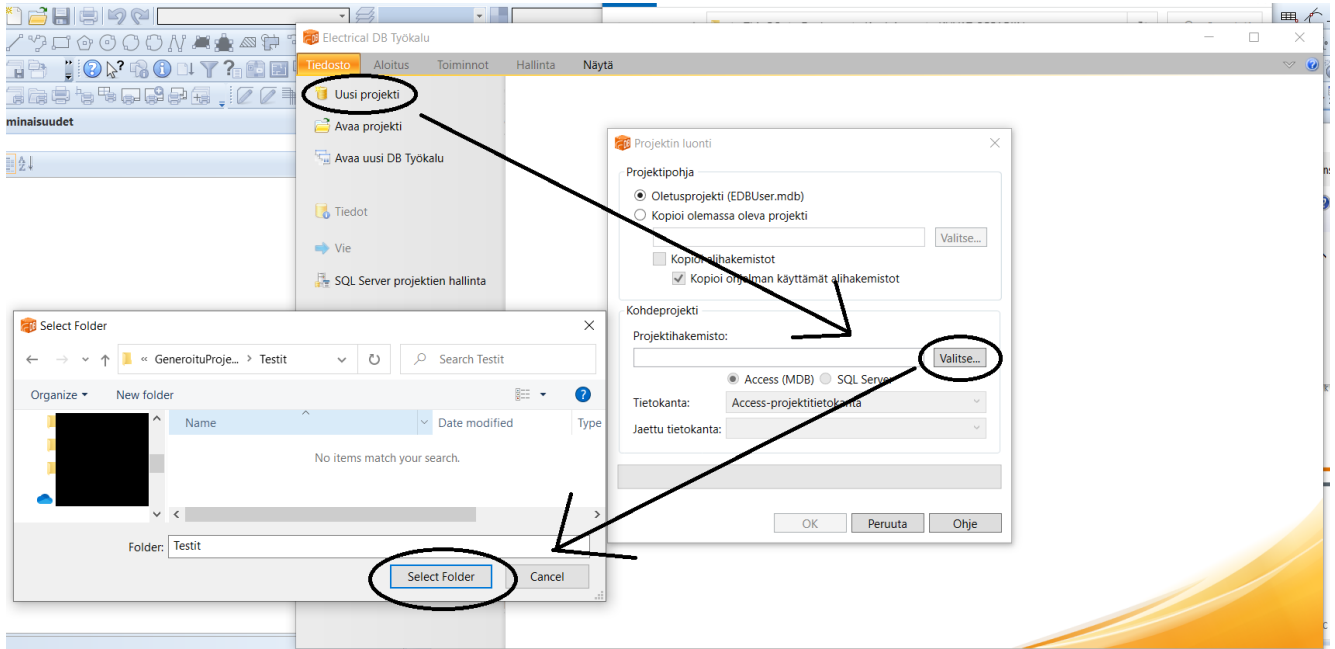
6.3 Generointi

Varsinainen generointivaihe alkaa tämän luodun import sheetin kopioimisella ja liittämällä tyhjään Excel-tiedostoon. Tätä tiedostoa tullaan käyttämään generoinnissa olennaisena osana. Prosessi aloitetaan avaamalla CADMATIC Electrical -suunnitteluohjelmisto ja avaamalla sieltä Electrical DB -työkalu (kuvio 20).



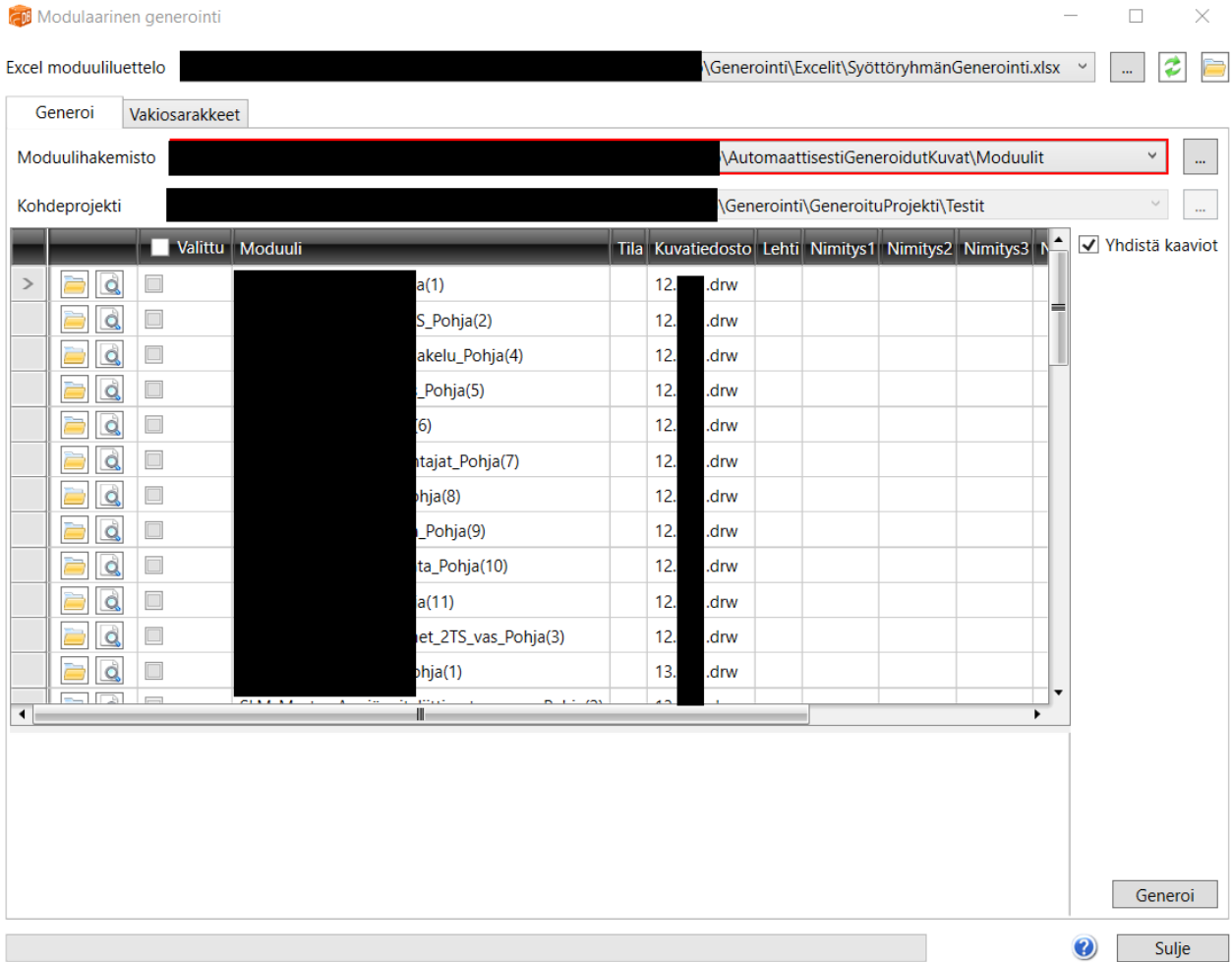
Kuvio 20. Electrical DB

Tämän jälkeen valitaan uusi projekti ja sille projektihakemistosta tiedostosijainti, johon generoitava projekti tullaan tallentamaan (kuvio 21). Näiden toimien jälkeen valitaan Toiminnot-ikkunasta modulaarinen generointi.



Kuvio 21. Projektin kansion valinta

Seuraavaksi avautuvassa ikkunassa valitaan aluksi moduuliluettelo, eli toisin sanoen aiemmassa vaiheessa tyhjään Excel-tiedostoon tallennettu import sheet (kuvi 22). Moduulihakemistoon valitaan kansio, jossa on tähän työhön tehdyt pohjakuvamoduulit kansioittain. Viimeiseksi valitaan kohdeprojektiin tiedostosijainti, johon generoitava projekti halutaan tallentaa. Ohjelma päivittää automaattisesti näkyviin jokaisen generoitavan pohjakuvan. Seuraavaksi painetaan Valittu- ja Yhdistä kaaviot -painikkeita. Tämän jälkeen painetaan vielä Generoi-painiketta, jonka jälkeen ohjelma alkaa generoimaan piirikaaviokuvia valittuun tiedostosijaintiin. Generoinnin loputtua kuvat ovat valmiit ja koko prosessi on saavutettu päätökseen. Kuvat ovat nyt vapaasti käyttäjän käytettävissä.



Kuvio 22. Modulaarisen generoinnin viimeinen vaihe

7 TYÖKALUN LISÄTOIMINNOT

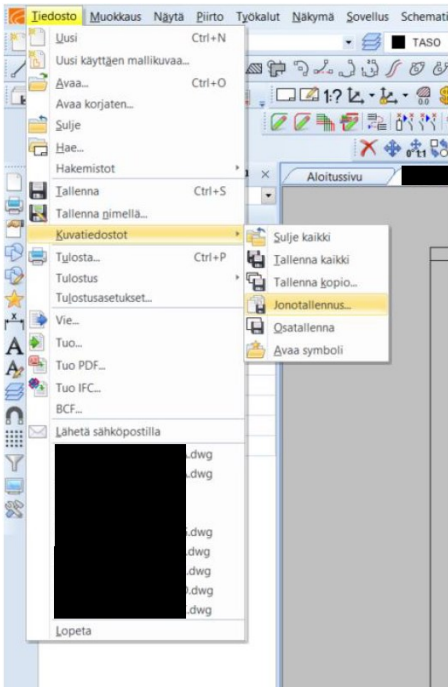
7.1 Kuvien massamuokkaus

Usein kuvia siirrettäessä asiakkaalle voivat niiden formaattien vaatimukset muuttua, esimerkiksi tekstityyliä voi joutua vaihtamaan. Tämä voi aiheuttaa ongelmia tekstien sopivuuden osalta. Tekstit eivät välttämättä mahdukaan asiakkaan vaatimiin mittoihin ja tekstityyliä joudutaan vaihtamaan kuva kerrallaan pahimmillaan useisiin satoihin kuviin. Tämän vuoksi päätettiin tehdä vielä piirikaavioiden massamuokkaukseen kaksi makroa. Nämä makrot toteutettiin CADMATIC Electrical -ohjelmistossa.

Ensimmäisen makron tarkoitus oli vaihtaa tekstityyliä kaikkiin käyttäjän valitsemiin piirikaaviokuvaan ja rajata ne kehysten mukaan. Toinen makro puolestaan asettaisi käyttäjän määrittämän tekstin valittuihin kuviin. Tämä makro oli hieman monipuolisempi, sillä siinä pystyi määrittämään tekstin tason, tekstikoon, paikan, kallistuskulman ja itse tekstin. Molemmat makrot suoritetaan jonotulostuksen kautta, joka on CADMATIC Electricalin ominaisuus kuvien tallennuksessa. Kumpikin näistä makroista toimii tekstitiedostoon kirjoitetun komentojonon kautta.

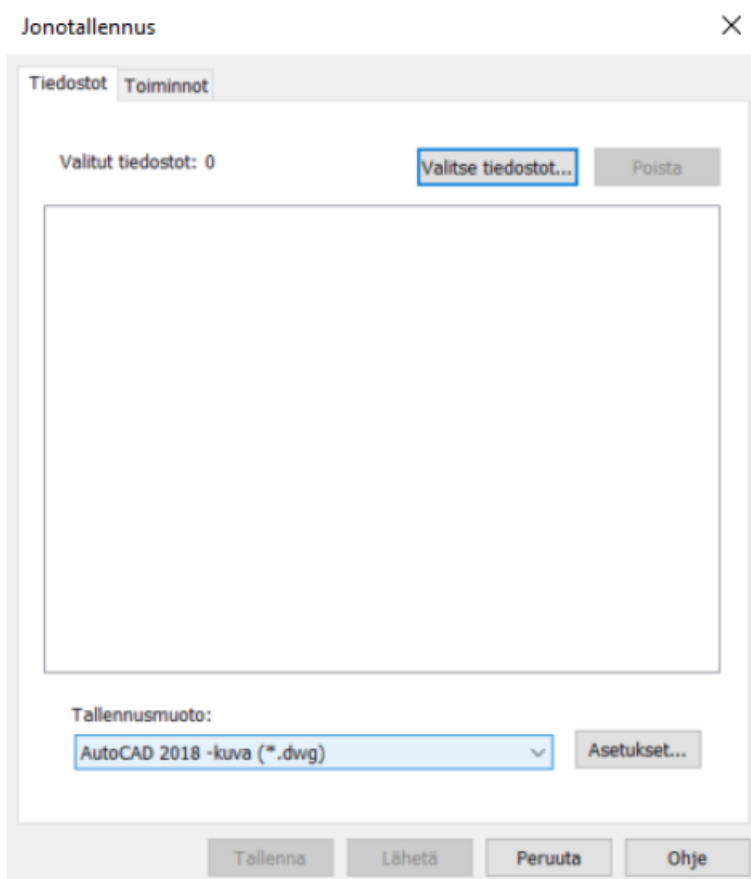
7.2 Tekstityylin vaihto

Ensimmäinen makro toteutetaan avaamalla ensin CADMATIC-jonotallennus (kuvio 23).



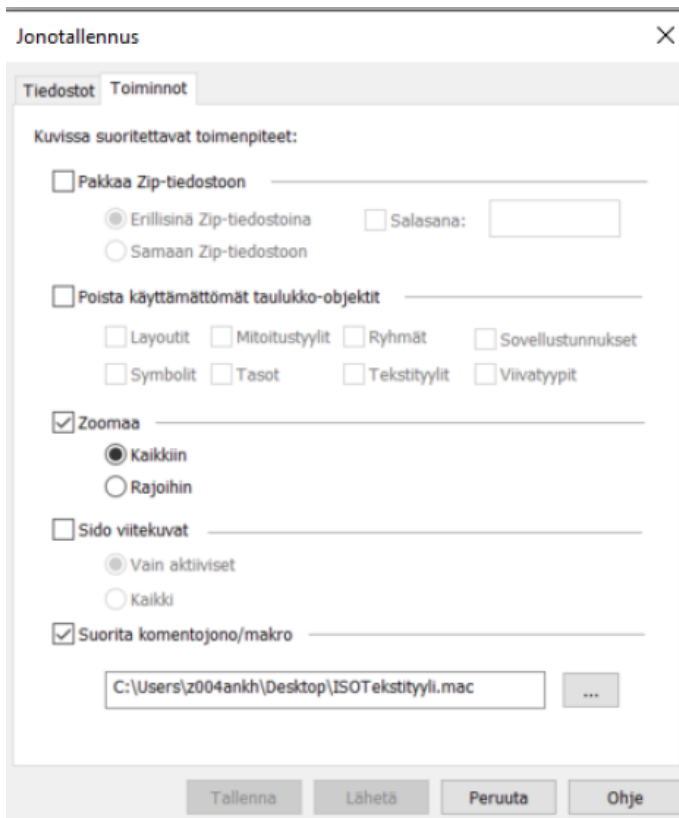
Kuvio 23. Jonotallennuksen avaaminen

Tämän jälkeen valitaan Tiedostot-välilehdeeltä kuvat, joihin halutaan tekstityyliä vaihtaa (kuvio 24). Tässä valitaan myös kuvien tallennusmuoto, esim. DWG-formaatti.



Kuvio 24. Tiedoston ja tallennusmuodon valinta

Seuraavaksi valitaan Toiminnot-ikkuna, josta valitaan kuvien rajaukseen tarkoitettu Zoomaavalintaruutu (kuvio 25). Tässä voidaan rajata joko kaikkiin kuvassa oleviin objekteihin tai vain kehyksiin. Tämän jälkeen valitaan Suorita komentojono -valintaruutu, johon asetetaan tekstitiedostopohjaisen makron tiedostosijainti.



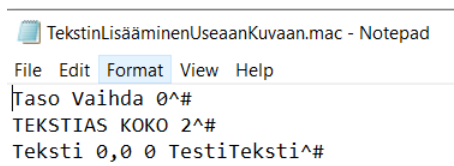
Kuvio 25. Jonotallennuksen Toiminnot-välilehti

Itse makro kirjoitetaan valittuun tekstitiedostoon. Tekstin sisältämän ”TEKSTITYYLI MUOKKAA PERUS ^#Iso^#^#^#^#” -komennon avulla muokataan siis tekstityyli käyttäjän valitsemaan formaattiin. Tässä tapauksessa tämä tekstityyli on nimeltään perus.

7.3 Tekstin lisääminen kuvaan

Toisessa makrossa suoritetaan samat askeleet kuin edellisessäkin makrossa. Tämän makron tekstitiedoston sisältö on kuitenkin erilainen, sillä se suorittaa erilaisen komennon. Tekstitiedostoon kirjoitetaan kolme riviä (kuvio 26). Ensimmäisellä rivillä valitaan tekstin taso, eli mille kuvan tasolle teksti sijoittuu. Toisella rivillä valitaan tekstin koko, normaalisti noin 1,5–2. Kolmannella rivillä asetetaan ensin tekstin koordinaatit. Tämän jälkeen määritetään tekstin kallistuskulma ja lopulta itse teksti. Näillä kolmella komentorivillä saadaan asetettua kaikkiin

valittuihin kuviin tekstit haluttuihin koordinaatteihin. Tämän makron käyttökohde on esim. jonkin huomautuksen lisääminen kaikkiin generoituihin kuviin jälkeensä.



```
TekstinLisääminenUseaanKuvaan.mac - Notepad
File Edit Format View Help
|Taso Vaihda 0^#
TEKSTIAS KOKO 2^#
Teksti 0,0 0 TestiTeksti^#
```

Kuvio 26. Makron tekstitiedosto

7.4 Käyttöohje työkalulle

Itse generointityökalulle, kuten myös näille makroille, tehtiin lopuksi käyttöohjeet, joissa kuvataan yksityiskohtaisesti, miten kyseisiä toimikokonaisuuksia käytetään. Ohjeiden laatiminen koettiin tarpeelliseksi, sillä työkalun ja makrojen käyttö voi olla ilman taustatietoja todella haastavaa. Ohjeiden avulla sähkösuunnittelijoiden pitäisi pystyä käyttämään kyseistä työkalua ja makroja ilman suurempia ongelmia.

Makrojen ohjeet tehtiin digitaalisesti PDF-tiedostoiksi. Generointityökalun ohjeet tulostettiin fyysisiksi ohjeiksi ja niistä tehtiin myös digitaalinen versio PDF-muodossa. Puutteelliset tiedot ja kohdat täytetään ja korjataan ohjeisiin myöhemmin kehitystyönä, mikäli niitä ilmenee.

8 TULOKSET

8.1 Päätaavoitteet

Työn päätaavoitteena oli sähkösuunnitteluprosessin helpottaminen automatisoimalla sitä mahdollisimman pitkälle. Taavoitteena oli myös tehdä tästä käyttökokonaisuudesta mahdollisimman helppokäyttöinen suunnittelijalle. Tätä varten työn lopuksi laadittiin myös ohje tämän generointityökalun käyttöä varten. Työn taavoitteisiin pääseminen vaati paljon Excelin VBA-koodin opettelemista ja kokeilemista käytännössä. Työkalulla generoitaviin sähkökuviin oli myös tutustuttava huolellisesti, sillä niiden kokonaisuus oli ymmärrettävä, että pystyttiin ylipäättään rakentamaan pohjakuvat tälle projektille.

8.2 Tuloksellinen tarkastelu

Tuloksellisesti saatiin aikaiseksi työkalu, jolla onnistuttiin generoimaan piirikaaviokuvat valitulle syöttöryhmälle. Excelin datankäsittely saatiin siihen pisteeseen, että syöttöryhmän moduulit voitiin asetta mihin tahansa järjestykseen ja niiden väliset viittaukset muodostuivat aina oikein. Syöttöryhmän tietojen syöttö Exceliin vie keskimäärin 15–20 minuuttia. Itse datan käsittely Excelissä vain noin sekunnin verran. Generointiprosessi CADMATIC-suunnitteluohjelmistossa vie noin 1–3 minuuttia kuvaa kohden. Arviolta koko prosessi vie aikaa alusta loppuun keskimääräiselle syöttöryhmälle noin 45–60 minuuttia. Lopputuloksena tehtiin myös kaksi makroa generoitujen kuvien massamuokkaamiseen. Näille makroille ja itse generointityökalulle tehtiin myös selkeät käyttöohjeet.

8.3 Laadullinen tarkastelu

Laadullisessa mielessä ajateltuna tämä työ onnistuttiin rakentamaan luotettavaksi ja kohtuullisen helppokäyttöiseksi työkaluksi suunnittelijoiden avuksi. Työssä tutkittua ja käytettyä teoriaa onnistuttiin soveltamaan työn laadun parantamiseksi. Nämä tulokset perustuivat siis aineiston huolelliseen analyysiin ja niiden soveltamiseen konkreettisesti. Lopputulokseksi saatiin innovatiivinen tapa suorittaa piirikaavioiden valmistus.

Tällaista työkalua ei ole ainakaan julkisen tiedon mukaan vielä kehitetty. Laadullisesti ajateltuna tuloksista on merkittävää hyötyä reaalielämässä, sillä inhimillisistä ominaisuuksista

johtuvat virheet vähenivät merkittävästi. Virheitä varmasti paljastuu, kun työtä aletaan käyttää enemmän. Nämä virheet ovat kuitenkin systemaattisia ja korjattavissa. Työn käyttö tulee maksamaan siihen kulutetut tunnit takaisin melko nopeasti. Perusteena tälle on suunnittelu-prosessin huomattava nopeuttaminen.

8.4 Kokonaisuuden tarkastelu

Kokonaisuutena saatiin siis paketti, jolla pystyy generoimaan piirikaaviokuvia teknisten dokumenttien perusteella. Tämä kyseinen työkalu otettiin käyttöön onnistuneesti eräässä yrityksessä. Lisäksi generoitavien kuvien massamuokkaamiseen kehitettiin kaksi makroa, joilla voidaan muokata tekstityyliä ja lisätä tekstejä haluttuihin koordinaatteihin. Generointityökalulle ja makrojen käytölle luotiin myös ohjeet niiden käyttöä varten. Ohjeita noudattamalla voidaan generoida kuvia kenen tahansa toimesta. Vaatimuksena on tietenkin CADMATIC-lisenssi ja tämä generointityökalu. Generoituja kuvia voidaan siten massamuokata samassa ohjelmistossa luotujen makrojen avulla.

9 POHDINTA JA YHTEENVETO

Samasta aihealueesta oli tehty samankaltainen työ, joka käsitteli sähkösuunnittelun tehostamista (Valli, 2021). Kyseisessä työssä kuitenkin käsiteltiin ainoastaan CADMATIC-suunniteluohjelmiston tietokantojen käyttöä ja niiden merkitystä modulaarisessa generoinnissa. Toinen samankaltainen työ käsitteli generointia EXCEL-tiedoston ja pohjakuvien avulla, eli niin sanottua ei-modulaarista generointia (Huhtala, 2021). Näistä kahdesta edellisestä työstä poiketen tässä työssä otettiin tietokantatoimintojen lisäksi käyttöön EXCEL-ominaisuudet, joilla automatisoitiin manuaalinen datan täyttö niin pitkälle kuin mahdollista. Tämä datan käyttö sisälsi tarvittavien tietojen asettamisen EXCEL-tiedostoon jokaiselle pohjakuvulle. Tämä työ on viety pidemmälle ja tehty mahdollisimman käyttäjäystävälliseksi. Tällaista työtä ei ole tehty aiemmin.

Suurin haaste tässä työssä oli ehdottomasti muuttuvien viittauksien toiminnallisuuden rakentaminen. Haasteita tähän toi alkuvaiheessa riittämätön CADMATIC-kokemus, joten sen selvittäminen vei oman aikansa. Muuttuvien viittauksien toimiminen vaati tietokantatoimintojen käyttöönottamisen, modulaarisen generoinnin. Toinen vaatimus näille muuttuville viittauksille oli viittausparitunnusten automaattinen asettaminen EXCEL-ohjelmistossa. Tämän logiikan rakentaminen vei myös melko suuren ajan. Hieman lisähaastetta toi myös tiettyjen arkaluontoisten asioiden poisjättäminen työstä, minkä vuoksi joitain asioita oli esitettävä hieman eri tavoin ja kryptisemmin.

Jatkokehityksenä voitaisiin sisällyttää tähän generointityökaluun kaapeli- ja laiteluetteloiden generointiominaisuudet. Tämän edellytyksenä on myös modulaarinen generointi, eli tietokantatoiminnot on sisällytettävä mukaan. Käytännössä jokaiseen pohjakuvaan olisi lisättävä niissä esiintyvien kaapeleiden ja laitteiden tiedot, jolloin ne päivittyisivät tietokantaan. Tällöin generoinnin jälkeen generoiduissa kuvissa on kaapelit ja laitteet tietokannassa ja niistä voidaan generoida omat luettelot vaivattomasti.

Ainoana eettisenä kysymyksenä tässä työssä on työntekijöiden korvaaminen tällä työkalulla. Realistisesti ajateltuna tällä työkalulla ei kuitenkaan voi korvata sähkösuunnittelijoita edes piirikaavioiden piirtämisen osalta, sillä tämä työ ei varmastikaan ole kaikin puolin virheetön ja täydellinen. Sähkösuunnittelijaa tarvitaan myös tämän työkalun käyttämiseen, eli kyseessä on avustava työkalu sähkösuunnitteluun eikä suunnittelijan korvike. Piirikaaviot täytyy myös aina tarkistaa virheiden osalta.

Työn lähteisiin valittiin vain luotettavia ja asiasisällöltään relevantteja lähteitä. Näihin kuuluivat kirjat, valmistajien verkkosivut, luotettavat foorumit, asiantuntijan haastattelu, tutkimukset, standardit, webinaarit ja videot. Lähteiden ikähaarukka oli vuodesta 1996 aina vuoteen 2022 asti. Vanhimpien lähteiden perusteina toimi niiden asiasisältö, joka ei ole muuttunut merkittävästi niiden julkaisusta lähtien. Lähteitä oli kotimaisia ja kansainvälisiä, eli niitä on haettu laajalti. Jokainen lähde käytiin läpi ja arvioitiin sen luotettavuus.

Kaiken kaikkiaan työ oli haastava, mutta siinä pääsi toteuttamaan omaa osaamistaan käytännössä. Uutta tietoa oppi myös paljon ja sitä pääsi soveltamaan konkreettisesti työkalua rakennettaessa. Työn valmistuttua oli todella palkitsevaa nähdä, että se toimi oikein ja se otettiin käyttöön yrityksessä.

LÄHTEET

- CADMATIC. (13.8.2013). *Mallipiirikaavioiden generointi Excel-tiedoston pohjalta CADMATIC Electrical Schematics-sovelluksessa* [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=g9esMLy6Qac>
- CADMATIC. (i.a.-a). *Yritys*. <https://www.cadmatic.com/fi/yritys/>
- CADMATIC. (i.a.-b). *Process & Industry*. <https://www.cadmatic.com/fi/process-and-industry/>
- CADMATIC. (i.a.-c). *CADMATIC Electrical*. <https://www.cadmatic.com/fi/process-and-industry/process-and-industry-ohjelmistoratkaisut/cadmatic-electrical/>
- CADMATIC. (i.a.-d). *Tiedonhallinta*. <https://www.cadmatic.com/fi/process-and-industry/process-and-industry-ohjelmistoratkaisut/cadmatic-electrical/tiedonhallinta/>
- CADMATIC. (i.a.-e). *Instrumentointi*. <https://www.cadmatic.com/fi/process-and-industry/process-and-industry-ohjelmistoratkaisut/cadmatic-electrical/instrumentointi/>
- CADMATIC. (i.a.-f). *Ajankohtaista*. <https://www.cadmatic.com/fi/ajankohtaista/artikkelit/sql-server-tietokantaratkaisut-electricalissa/>
- Emagenit. (i.a.). *What is a VBA Module and How is a VBA Module Used?*. https://www.emagenit.com/VBA%20Folder/what_is_a_vba_module.htm
- Excel Easy. (i.a.). *Macro Recorder*. <https://www.excel-easy.com/vba/examples/macro-recorder.html>
- Exceljet. (i.a.). *Excel SUMIF Function*. <https://exceljet.net/excel-functions/excel-sumif-function>
- Held, B. (2007). *Microsoft Excel: Functions & Formulas*. Jones & Bartlett. https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=WDjdSSbFJKcC&oi=fnd&pg=PP1&dq=excel+functions&ots=9_Hm7BoONv&sig=tGsENPOEUHVc9_S66R8GOctDhg8&re-dir_esc=y#v=onepage&q=excel%20functions&f=false
- Hernandez, M.J. (2000). *Tietokannat: suunnittelu käytännössä* (T. Kajala, käänt.). Oy Edita Ab, It Press. (Alkuperäinen teos julkaistu 2000)
- Hirvonen, T., & Mikkilä, T. (15.12.2020). *Modulaarinen generointi* [webinaari]. CADMATIC. <https://www.cadmatic.com/fi/ajankohtaista/webinar/recordings/webinaaritallenne-modulaarinen-generointi/>
- Huhtala, J. (2021). *Projektipiirikaavioiden generointi pohjakuvia hyödyntäen*. [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/494129/Projektipiirikaavioiden%20generointi%20pohjakuvia%20hy%c3%b6dynt%c3%a4en.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

- Information Technology University of Washington (UW-IT). (i.a.). *IT Connect: Your connection to information technology at the UW*. <https://itconnect.uw.edu/learn/workshops/online-tutorials/microsoft-office-2010/microsoft-excel-2010/>
- Jones, H.S., & Towse, J.N. (2019). *Why Do People Make Mistakes? Changing the Narrative Around Human Errors Over Email* [sähköinen tietoaaineisto]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/334030503_Why_Do_People_Make_Mistakes_Changing_the_Narrative_Around_Human_Errors_Over_Email
- Jumpponen, E. (1999). *Sähköpiirustuskirja: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto* (4., uudistettu painos). Sähköinfo Oy.
- Lacey, A., & Ashby, D. (8.10.2018). *10 Excel Functions Everyone Should Know*. Harvard Business Review. <https://hbr.org/2018/10/10-excel-functions-everyone-should-know>
- Lambert, S., Lambert III, M., & Preppernau, J. (2008). *Access 2007: Tehokas hallinta* (M. Tapani, käänt.). Readme.fi. (Alkuperäinen teos julkaistu 2007)
- Merensalmi, J. (2007). *Excel VBA: Yrityskäytössä*. WSOYpro/Docendo-tuotteet.
- Microsoft. (i.a.-a). *Microsoft: Ways to share an Access desktop database*. <https://support.microsoft.com/en-us/office/ways-to-share-an-access-desktop-database-03822632-da43-4d8f-ba2a-68da245a0446>
- Microsoft. (i.a.-b). *Microsoft: VLOOKUP function*. <https://support.microsoft.com/en-us/office/vlookup-function-0bbc8083-26fe-4963-8ab8-93a18ad188a1>
- Microsoft. (i.a.-c). *Microsoft: CONCATENATE function*. <https://support.microsoft.com/en-us/office/concatenate-function-8f8ae884-2ca8-4f7a-b093-75d702bea31d>
- Microsoft. (i.a.-d). *Microsoft: Use conditional formatting to highlight information*. <https://support.microsoft.com/en-us/office/use-conditional-formatting-to-highlight-information-fed60dfa-1d3f-4e13-9ecb-f1951ff89d7f>
- Microsoft. (i.a.-e). *Microsoft: LOOKUP function*. <https://support.microsoft.com/en-us/office/lookup-function-446d94af-663b-451d-8251-369d5e3864cb>
- Microsoft. (i.a.-f). *Microsoft: SEARCH, SEARCHB functions*. <https://support.microsoft.com/en-us/office/search-searchb-functions-9ab04538-0e55-4719-a72e-b6f54513b495>
- Perälä, M. (lehtori, Seinäjoen ammattikorkeakoulu). (11.2.2022). *Sähkösuunnittelun vaiheet* [asiantuntijahaastattelu]
- Ruppa, E., & Perkiö, T. (1996). *Sähkötekniinen dokumentointi*. Opetushallitus.

- Salkind, N.J., & Frey, B.B. (2021). *Statistics for People Who (Think They) Hate Statistics: Using Microsoft Excel* (5. painos). SAGE Publications.
https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=SkUrEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=Excel+functions&ots=D-bS5NI-Cq&sig=7DE86SL6HVcStP_Gdf_o6rYuWUc&redir_esc=y#v=onepage&q=Excel%20functions&f=false
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK). (10.2.2022). *Valmistuneet opiskelijat arvioivat SeAMKin toistamiseen Suomen parhaaksi ammattikorkeakouluksi*.
<https://www.seamk.fi/valmistuneet-opiskelijat-arvioivat-seamkin-toistamiseen-suomen-parhaaksi-ammattikorkeakouluksi/>
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK). (i.a. -a). *Organisaatio*. <https://www.seamk.fi/seamk-info/organisaatio/>
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK). (i.a. -b). *SeAMKin toiminta*.
<https://www.seamk.fi/seamk-info/organisaatio/seamkin-toiminta/>
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK). (i.a. -c). *Strategia ja laatu*.
<https://www.seamk.fi/seamk-info/organisaatio/strategia-ja-laatu/>
- Suomen standardisoimisliitto (SFS). (2014). *SFS-käsikirja 619: Tekninen dokumentointi. Sähköpiirustukset, käyttöohjeet ja osaluettelot*. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Suomen standardisoimisliitto (SFS). (2015). *Sähkötekniikassa käytettävien dokumenttien laatiminen: Osa 1: Säännöt* (IEC 61082-1:2014).
- Suominen, S., & Suominen, J. (2015). *Laatua raportointiin Excelillä*. Docendo Oy.
- TeachExcel. (3.3.2020). *#Excel VBA to Select the Next Empty Cell or Row – Macros* [video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=tBXW456R6_E
- Valli, W. (2021). *CADMATIC-OHJELMISTON KÄYTÖN KEHITTÄMINEN SÄHKÖSUUNNITTELUSSA: Kivioja Engineering Oy* [AMK-opinnäytetyö, Centria ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/349379/Valli_Walteri.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Walkenbach, J. (2013). *Excel VBA programming for dummies* (3. painos). Hoboken, N.J.: Wiley. https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=0wCb6tt-8rIC&oi=fnd&pg=PA91&dq=excel+vba&ots=afOTT-1tuf&sig=vfulm0X4NXJfimi39Evp99NU9sc&redir_esc=y#v=onepage&q=excel%20vba&f=false

