



Prosessisähkö- suunnittelutyökalun kehitys

Arttu Terhokoski

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2021

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

TERHOKOSKI, ARTTU:
Prosessisähkösuunnittelutyökalun kehitys

Opinnäytetyö 30 sivua
Huhtikuu 2021

Opinnäytetyössä kehitettiin toimeksiantajayritys AFRY Finland Oy:n tarpeisiin soveltuvaa prosessisähkösuunnittelutyökalua. Työkalun kehitystarve on syntynyt yrityksessä käytön myötä, koska työkalua käytettäessä on huomattu toistuvia työvaiheita, joita voitaisiin automatisoida. Työkalua on kehitetty yrityksessä jo aiemmin ja nyt tarkoituksena oli kehittää sovelluksesta entistä tehokkaampi suunnittelutyökalu. Sovellukseen lisättiin automaattiset keskuslähtökojeiden ja kaapeleiden valinnat. Myös työkalussa olevia luetteloiden tulostustoimintoja kehitettiin soveltumaan paremmin prosessisähkösuunnitteluun. Työkalun käyttöliittymän oli tarkoitus muistuttaa mahdollisuuksien mukaan taulukkolaskentatyökalu Microsoft Exceliä.

Opinnäytetyössä perehdyttiin myös yleisesti prosessisähkösuunnitteluun sekä siinä tuotettaviin dokumentteihin ja suunnittelussa käytettäviin työkaluihin, jotta työkalua osataan kehittää oikeaan suuntaan. Työkalun automaattiset kojevalinnat toteutettiin käyttämällä Excel-funktioita, jotta käyttöliittymä pysyi tavanomaisen Excelin kaltaisena.

Kehitettyä automaattista kojevalintaa testattiin esimerkkipiireillä ja ominaisuus todettiin toimivaksi. Opinnäytetyön aikana kehitettyä työkalua tullaan jatkossa käyttämään prosessisähkösuunnitteluprojekteissa ja siitä kerätään käyttäjäpalautetta, jonka perusteella työkalua kehitetään edelleen tai jonka perusteella tehdään tarvittaessa korjauksia ja parannuksia. Automaattinen kojevalinta vähentää manuaalisten työvaiheiden määrää ja näin tehostaa ja nopeuttaa suunnittelua.

Opinnäytetyössä kehitettävä työkalu on luottamuksellinen, eikä sitä julkaista opinnäytetyössä kokonaisuutena. Sen toimintaperiaatteita kuitenkin kuvaillaan tarvittavan laajasti ja siitä esitetään näyttöleikkeitä ja käyttöesimerkkejä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Automation Engineering

TERHOKOSKI, ARTTU:
Development of a Process Electricity Design Tool

Bachelor's thesis 30 pages
April 2021

The topic of the thesis was to develop a design tool for process electrification for the needs of the client company AFRY Finland Oy. The need to develop the tool had arisen in the company from its use, because when using the tool, repetitive work had been noticed that could be automated. The tool had been developed in the company earlier and the intention was to develop the application into an even more powerful design tool. Automatic selections for the switchgear equipment and cables were added to the application. The list printing functions in the tool were also developed to better suit process electrical design. The interface of the tool was intended to resemble the Microsoft Excel spreadsheet where possible.

The thesis also dealt with process electrical design in general so that the tool could be developed in the right direction. The tool's automatic equipment selections were implemented using Excel functions to keep the interface like conventional Excel.

The developed automatic equipment selection was tested with sample circuits and the feature was found to work correctly. The tool developed during the thesis will be used in process electrical design projects in the future, and user feedback will be collected from it. The tool will be further developed based on feedback or corrections and improvements will be made if necessary. Automatic equipment selection reduces the number of manual work steps and makes designing more efficient and faster.

The tool developed in the thesis is confidential and will not be published in its entirety in the thesis. However, its operating principles are described in sufficient detail and screen clips and usage examples are presented.

Key words: electrical designing, design tool, equipment selection

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	AFRY	7
3	PROSESSITEOLLISUUDEN SÄHKÖSUUNNITTELU.....	8
	3.1 Sähköturvallisuus sähkösuunnittelussa.....	8
	3.2 Prosessisähkösuunnittelun dokumentit	9
	3.2.1 Sähköpääkaavio	9
	3.2.2 Piiri- ja johdotuskaavio.....	10
	3.2.3 Luettelot.....	10
	3.3 Komponenttien valinta.....	11
	3.3.1 Sulakkeet ja katkaisijat	12
	3.3.2 Kytkin-, suojaus- ja ohjauskojeet	13
	3.4 Kaapelien valinta.....	16
4	SUUNNITTELU TYÖKALUJEN HYÖDYNTÄMINEN	19
	4.1 CAD-ohjelmat.....	19
	4.2 3D-mallit ja mallinnukset	20
	4.3 ProElina	21
5	SUUNNITTELU TYÖKALU	23
	5.1 Työkalun toimintaperiaate	23
	5.2 Automaattiset kojevalinnat	24
	5.3 Generointiominaisuus	25
	5.4 Luetteloiden tulostus	26
	5.5 Käyttöohje	26
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	27
	LÄHTEET.....	30

ERITYISSANASTO

nimi	Tässä työssä Excel-työkirjan solualueen valinta
revisio	Dokumentin tietyllä hetkellä olemassa oleva muoto
lisätty todellisuus (AR)	Näkymä, johon on lisätty tietokonegrafiikalla tuotettuja elementtejä (Augmented Reality)
generointi	Tässä työssä dokumenttien automaattinen luominen

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantajayritys AFRY Finland Oy:lle. Opinnäytetyön tekijä työskentelee yrityksessä sähkö- ja automaatio-osastolla harjoittelijana. Työn tarkoituksena on kehittää toimeksiantajayrityksen käytössä olevaa prosessisähkösuunnittelutyökalua. Kehittämistarve työkalun tehostamiselle on syntynyt suunnittelutyötä tehdessä. Prosessisähkösuunnittelussa suunnittelijan aikaa kuluu keskuskomponenttien ja kaapeleiden valintaan. Näiden valintojen automatisointi tehostaa suunnittelutyötä ja siten nopeuttaa työvaiheita ja vähentää inhimillisten virheiden määrää. Keskuskomponenttien ja kaapeleiden tarkoituksen mukainen valinta on oleellinen osa prosessisähkösuunnittelua, koska sillä mahdollistetaan suunniteltavan kokonaisuuden sähköturvallisuus ja energiatehokkuus.

Nykyisellään suunnittelutyökalu mahdollistaa piirien tietojen tallentamisen työkaluun ja piirikaavioiden sekä erilaisten luetteloiden generoimisen. Tässä työssä suunnittelutyökaluun on tarkoituksena kehittää lisää ominaisuuksia tehostamaan suunnittelutyötä. Kehityskohteena ovat automaattinen kojevalinta sekä luetteloitointitoiminto. Kehitystyön tavoitteena on poistaa manuaalisia työvaiheita, jotta suunnittelijan työtuntien tehokkuus voidaan optimoida, kun ennen käsityönä haettu kojietieto haetaan piirille automaattisesti. Luetteloitointitoiminnon luetteloita optimoidaan sopimaan aiempaa paremmin tyypilliseen prosessisähköteollisuuden sähkösuunnitteluprojektiin.

Kehitystyön tuloksena saadaan poistettua manuaalisia työvaiheita ja tehostettua suunnittelijan työskentelyä. Suunnittelutyökalun kehityksen yhteydessä päivitetään työkalun käyttöohjeet ja muutetaan ne vastaamaan yrityksen nykyistä ilmettä. Opinnäytetyössä perehdytään yleisellä tasolla prosessisähkösuunnitteluun ja siinä hyödynnettäviin suunnitteluohjelmiin. Työssä pohditaan suunnittelutyökalujen merkitystä prosessisähkösuunnittelun tehokkuuteen ja vaikutuksiin kokonaiskuvassa. Lisäksi opinnäytetyössä tuodaan esille kehitysehdotuksia ja mahdollisuuksia tulevaisuuden kehitysprojekteja ajatellen.

2 AFRY

AFRY AB on ruotsalainen yritys, joka on yksi Euroopan johtavista suunnittelu- ja konsultointiyrityksistä. AFRY:lla työskentelee n. 16 000 eri alojen asiantuntijaa. Yrityksen merkittävimpiin osaamiskokonaisuuksiin kuuluu rakennettu ympäristö, teollisuus-, energia- ja digitalisaatio-osaaminen. (AFRY n.d.)

AFRY syntyi helmikuussa 2019, kun Ruotsissa 1895 perustettu ÅF-Consult osti suomalaisen vuonna 1958 perustetun Pöyry Oyj:n. AFRY Finland Oy on AFRY:n tytäryhtiö. Suomessa AFRY:lla on n. 2800 työntekijää yhteensä 27 paikkakunnalla. AFRY Finland Oy:n päätoimipaikka sijaitsee Vantaalla. (AFRY n.d.)

Sähkö- ja automaatio-suunnittelu ovat osa AFRY:n prosessiteollisuusdivisioonaa, jonka ydinosaamisalueet ovat:

- Paperi- ja selluteollisuus, metsäteollisuus
- Biopohjaiset ratkaisut, biojalostus
- Kemianteollisuus
- Kaivos- ja metalliteollisuus
- Elintarvike- ja juomateollisuus
- Muu prosessiteollisuus

AFRY tarjoaa suunnittelu- ja konsultointipalveluita asiakkaille kaiken kokoisiin projekteihin. Paikallispalveluyksiköt tuottavat palveluita yleensä lähiympäristöön hyödyntäen paikallistuntemusta, mutta osallistuvat myös yrityksen muihin, suurempiin projekteihin.

3 PROSESSITEOLLISUUDEN SÄHKÖSUUNNITTELU

Yleisesti sähkösuunnittelulla pyritään tuottamaan dokumentit, joiden perusteella voidaan toteuttaa sähköasennukset tai muutokset sähkölaitteistoon. Tarvittavat dokumentit ja materiaalit vaihtelevat suunnittelun kohteen ja tilaajan vaatimusten mukaan. Prosessisähkösuunnittelussa tuotettavia dokumentteja ovat kuitenkin lähes aina, tilaajasta riippumatta, esimerkiksi piirikaaviot, kaapeliluettelot, pääkaavio ja maadoituskaavio. Sähkösuunnittelun pääasiallisena tavoitteena on luoda selkeä dokumentaatio, jonka perusteella sähköasennukset voidaan toteuttaa. Perusteellisesti tehtyä dokumentaatiota voidaan hyödyntää myös asennusten käyttöönoton jälkeen esimerkiksi vikatilanteissa tai muutostöiden yhteydessä. Tarkoituksena on luoda päivitettävä dokumenttikokonaisuus, jonka avulla on mahdollista pysyä ajan tasalla olemassa olevista asennuksista. Tarkoituksenmukaisella sähkösuunnittelulla voidaan edistää sähköturvallisuutta ja laitteiston monipuolista hyödyntämistä koko sen elinkaaren ajan.

3.1 Sähköturvallisuus sähkösuunnittelussa

Sähköturvallisuuslaki edellyttää, että sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava, sekä niitä on huollettava ja käytettävä niin, että:

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.

(Sähköturvallisuuslaki 1135/2016 1:1.6§)

Sähkölaitteisto pitää suunnitella niin, että se on turvallinen normaalitilanteessa, vikatilanteessa, sekä huolto- ja korjaustöiden aikana. Suunnittelija vastaa siitä, että sähkölaitteisto voidaan rakentaa suunnitelmien mukaan voimassa olevien määräysten mukaiseksi ja että se on turvallinen käyttäjilleen. Sähkölaitteiston rakenteet on suunniteltava niin että niiden käyttö on selkeää ja turvallista. Käytän-

nössä tämä tarkoittaa esimerkiksi riittäviä asennustiloja, sopivaa laitteiden ryhmittelyä, käyttö-, huolto- ja turvakytкимиä sekä riittäviä laitteiston osien merkintöjä. (Harsia 2004, 94.)

3.2 Prosessisähkösuunnittelun dokumentit

Prosessisähkösuunnittelussa suunnittelutyön tuloksena syntyy dokumentteja, joiden perusteella voidaan tehdä sähköasennukset suunnitelmien mukaisesti. Yleisimpiä prosessisähkösuunnittelussa tuotettavia dokumentteja ovat muun muassa sähköpääkaavio, piiri- ja johdotuskaaviot sekä erilaiset luettelot.

Pienjännitesähköasennuksia koskevan standardin SFS6000 kohdan 132.12 mukaan ”Jokaisesta sähköasennuksesta on oltava tarpeelliset dokumentit”. Standardi ei siis velvoita tekemään mitään tiettyjä dokumentteja, vaan suunnittelussa tuotettavat dokumentit voidaan valita asiakkaan vaatimusten perusteella tai itse niin, että ne soveltuvat parhaiten tehtävään projektiin. (SFS 6000-1:2017, 12.)

Dokumenttien revisiointi, eli muutosten merkintä ja hallinta on tärkeä osa suunnittelua, jotta tarvittavat toimenpiteet voidaan tehdä tietojen muuttuessa. Dokumentteista tulee suunnittelun aikana useimmiten useampia revisioita, eli dokumenttiin päivitetään tai muutetaan tietoja. Muutosten tulee näkyä dokumenteissa selvästi. Esimerkiksi piirikaavioihin muutokset merkitään revisiopilvellä ja piirikaavion nimiöön merkitään tehdyt muutokset, tekijä sekä päivämäärä.

3.2.1 Sähköpääkaavio

Sähkökeskusten pääjännitteen jakelusta ja pääkomponenteista tehdään pääkaavio. Siinä kaikki johtimet kuvataan yhdellä viivalla. Pääkaaviossa esitetään pääkatkaisijan ja siihen liitettyjen kulutuskojeiden sähkötehot, niiden pääsulakkeet ja käynnistimet. Pääkaavioon merkitään myös keskuksen pääjännite, virta- ja taajuustiedot, liittymisteho sekä syöttökaapelointi. Pääkaavio on sähkökeskuksen yleiskuva, josta saa helposti käsityksen keskuksen rakenteesta ja kokoonpanosta. (Mäkinen ja Kallio 2004, 208.)

3.2.2 Piiri- ja johdotuskaavio

Piiri- ja johdotuskaaviot sisältävät sähköasennusten keskuksen ja kenttään kytkennät, kaapelityypit sekä suojalaitteiden ja keskuskomponenttien tiedot. Piirikaaviot ovat prosessisähköistyksessä yleensä kennokohtaisia, eli kennokeskuksen jokaisella kennolla on oma piirikaavio, jossa edellä mainitut asiat on esitetty. Yksi kenno voi sisältää esimerkiksi katkaisijälähdön moottorille tai vikavirtasuojaryhmän. (Mäkinen ja Kallio 2004, 209.)

Piirikaaviot ovat usein samanlaisia, esimerkiksi samanlaisia suoria moottorilähtöjä voi olla keskuksessa kymmeniä, jolloin piirikaavioita ei ole järkevää tehdä käsin. Tekemällä yhden tyyppiipiirikaavion ja käyttämällä sitä pohjakuvana, voidaan generoida eri tunnuksilla ja komponenttiedoilla olevia piirikaavioita helposti generointityökalun avulla.

3.2.3 Luettelot

Kulutuspistelueltelossa on luetteloituna nimensä mukaisesti laitoksen kulutuspisteet eli laitteet, jotka kuluttavat sähköä. Kulutuspisteluelteloa voidaan pitää prosessisähkösuunnittelun selkärankana ja riippuen projektista, se voidaan saada lähtötietona valmiina tai se tehdään itse lähtötietojen perusteella.

Kaapeliluettelosta nähdään kaapeleiden määrät, niiden tunnuksot, kaapelityypit ja tieto mistä mihin kaapeli vedetään. Kaapeliluettelon perusteella sähköurakoitsija voi hankkia kaapelit ja vetää kaapelit oikeille laitteille. Kaapeliluettelon perusteella tehdään usein erikseen myös kaapelikilpiluetelo, jonka avulla voidaan valmistaa kaapelikilvet asennettaville kaapeleille.

Laiteluettelot, eli mm. turvakytkin-, valaisin- ja moottoriluettelot, ovat tärkeitä laitteiden hankintaa varten. Niistä käy ilmi laitteiden hankintaa ja asennusta varten olennaiset tiedot, kuten laitteen tyyppi, teho ja jännitetaso. Laiteluetteloissa yleensä identifioidaan laitteet laitoksessa käytettävän tunnusjärjestelmän mukaisesti, mikä vaihtelee tilaaja- ja laitoskohtaisesti.

3.3 Komponenttien valinta

Sähkökeskuksen komponenttien valinta tehdään perustuen projektissa käytettävän komponenttivalmistajan valintataulukoihin ja oppaisiin. Kuvassa 1 on ABB:n moottorikäyttöjen kojevalintataulukko, jonka perusteella voidaan luotettavasti valita keskuslähtökojeet tietyille moottorille. Valmistajien kojevalintataulukoiden perusteella voidaan itse tehdä projektille sopiva komponentti- ja kojevalintataulukko, joka helpottaa toistuvaa komponenttien valintaa. Kojevalintataulukot harvoin kattavat jokaista mahdollista piiriä projektista, mutta ne tehostavat suunnittelua huomattavasti, kun suurin osa kojeista voidaan valita kojevalintataulukon perusteella, eikä selvittämällä tarvittavia tietoja aina kojeiden datalehdistä. Kojevalintataulukot parantavat myös suunnittelijan ja asiakkaan välistä yhteisymmärrystä esimerkiksi tilanteessa, jossa asiakas noudattaa omia, normaaleista standardeista poikkeavia, yrityksen sisäisiä tiukempia standardeja. Projektikohtaiset kojevalintataulukot tehdään itse tai ne voidaan saada asiakkaalta valmiina.

Moottorikäyttöjen kojevalintataulukko, 400 V, 80 kA

Huomi! Mitoitus riittävä seuraavalle tehoportaalle 200 kW asti.

Moottorit ABB		Keskukseen kojeet				Sulake						
P	In / [A]	[A] 400V 50Hz /				Kontakt-	Lämpörele			OFA_		
		Moottorin kierr. [r/min]				tori-	Asettelualue / Moottorin kierr. [r/min]				Kytkin-	OFA_
[kW]	750	1000	1500	3000	tyyppi ²⁾	tyyppi	750	1000	1500	3000	varoke ²⁾	[A]
0,09	0,53	-	-	-	A9	TA25TU	0,4-0,63	-	-	-	OS	2aM
0,12	0,63	0,59	-	-			0,4-0,63	0,4-0,63	-	-	32D12	2aM
0,18	0,9	0,75	0,72	-			0,63-1,0	0,63-1,0	0,63-1,0	-		2aM
0,25	1,18	0,92	0,83	0,7			1,0-1,4	0,63-1,0	0,63-1,0	0,63-1,0		2aM
0,37	1,6	1,25	1,12	0,93			1,3-1,8	1,0-1,4	1,0-1,4	0,63-1,0		2aM
0,55	2,4	1,78	1,45	1,33			1,7-2,4	1,3-1,8	1,3-1,8	1,0-1,4		2aM
0,75	2,7	2,4	1,9	1,7			2,2-3,1	1,7-2,4	1,7-2,4	1,3-1,8		4aM
1,1	3,35	3,3	2,55	2,4			2,8-4,0	2,8-4,0	2,2-3,1	2,2-3,1		4aM
1,5	4,5	4,1	3,4	3,3			3,5-5,0	2,8-4,0	2,8-4,0	2,8-4,0		6aM
2,2	5,9	5,4	4,8	4,5			4,5-6,5	4,5-6,5	3,5-5,0	3,5-5,0		10aM
3,0	7,8	6,9	6,5	6			6,0-8,5	6,0-8,5	6,0-8,5	4,5-6,5		10aM
4,0	10	8,7	8,6	7,4	A12		7,5-11	7,5-11	7,5-11	6,0-8,5		16aM
5,5	13,4	11,9	11,1	10,5	A16		13-19	10-14	10-14	7,5-11		16aM
7,5	18,1	15,4	14,8	13,9	A26		13-19	13-19	13-19	13-19		20aM
11	25	23	22	20	A30		18-25	18-25	18-25	18-25		32aM
15	29	31	29	27	A40	TA75DU	22-32	22-32	22-32	22-32	OS	40aM
18,5	36	36	37	33	A50		29-42	29-42	29-42	29-42	63 D12	50aM
22	45	43	42	40	A63		36-52	36-52	36-52	29-42		63aM
30	60	59	56	53	A75	TA80-/-110DU	45-63	45-63	45-63	45-63	OS	80aM
37	74	69	68	64	A95		65-90	65-90	65-90	60-80	125 D12	100aM
45	90	82	83	79	A110		65-90	65-90	65-90	65-90		125aM
55	104	101	98	95	A145	E200DU	60-200					160aM
75	140	140	135	131	A185						OS250D03P	200aM
90	167	163	158	152	A210	E320DU	100-320					200aM
110	202	199	193	194	A260							250aM
132	250	238	232	228	A300						OS400D03P	315aM
160	305	280	282	269	AF400	E500DU	150-500					355aM
200	395	355	349	334	AF460						OS630D03P	500aM
250	470	450	430	410								630aM
315	605	565	545	510	AF580	E800DU	250-800					800aM
355	680	635	610	580	AF750						OS800D03P	800aM

KUVA 1. ABB moottorikäyttöjen kojevalintataulukko (ABB n.d.)

3.3.1 Sulakkeet ja katkaisijat

Prosessisähköistyksessä suojalaitteina käytetään muun muassa sulakkeita ja katkaisijoita. Molempia niistä käytetään esimerkiksi moottorilähtöjen etukojeina, suojaamaan moottoripiirin kaapeleita sekä laitteita oikosululta ja ylikuormituksesta. Katkaisijoita käytetään yleensä suuremmissa ja sulakkeita pienemmissä moottorilähdöissä. Katkaisijat pystyvät avaamaan ja sulkemaan virtapiirin nimellisvirralla ja nimellisvirtaa moninkertaisesti suuremmalla ylivirralla oiko- tai maasulkutapauksissa. Ne viritetään eli virtapiiri suljetaan käsikäyttöisesti tai moottorin ohjaamana ja avataan käsin, moottorin ohjaamana tai automaattisesti ylivirtareleen tai muun suojalaitteen laukaisemana. Katkaisijan asetteluarvot lasketaan laitekohtaisesti niin, että virtapiirin suojalaitteet toimivat oikeassa järjestyksessä oikeaan aikaan. (Mäkinen & Kallio 2004, 101.)

Sulakkeet ovat yksinkertaisia suojalaitteita, joissa niiden sisällä oleva liuska sulaa ja katkeaa riittävän suurella ylikuormituksella. Sulakkeen nimellisvirta on siihen leimattu arvo ampeereina. Sulake ei laukea heti nimellisvirralla, vaan vasta jonkin verran sen ylittyessä ja ylivirran jatkuessa pidemmän aikaa. Sulake laukeaa, eli lanka sulaa nopeasti, jos ylivirran suuruus on esimerkiksi oikosulkutilanteessa korkea. Sulaketyyppejä on erilaisia eli eri toiminta-aikakäyrillä olevia. Sulakkeiden, kuten muidenkin suojalaitteiden selektiivisyys pitää varmistaa suunnitteluvaiheessa. Selektiivisyydellä tarkoitetaan suojalaitteiden oikeaa toimintajärjestystä vika- tai ylivirtatilanteessa. Yleisesti voidaan todeta, että kaksi gG-sulaketta ovat selektiivisiä keskenään, mikäli niiden nimellisvirtojen suhde on vähintään 1,6:1. Tämä kerroin pätee nimellisvirran ollessa yli 16 ampeeria. Esimerkiksi 100 A ja 160 A gG-sulakkeet ovat selektiivisiä keskenään. (Mäkinen & Kallio 2004, 92.)

Yleisimpiä prosessisähköistyksessä käytettäviä sulaketyyppejä ovat:

- gG-sulake, joka on tarkoitettu johdon ylikuormitus- ja oikosulkusuojaksi
- aM-sulake, jota käytetään moottoreiden suojaukseen oikosulkua vastaan. Sulaketyyppi ei sovellu ylikuormitussuojaksi, eli piiriin tarvitaan erillinen suojalaite ylikuormitusta vastaan.
- aR-sulake, jota käytetään puolijohteiden suojaukseen oikosulkua ja ylikuormitusta vastaan. (Mäkinen & Kallio 2004, 94.)

Suunnittelun kannalta tärkeää on valita suojalaite sekä mitoittaa se oikein, jotta sähköasennus on turvallinen. Suojalaitteiden selektiivisyys voidaan varmistaa selektiivisyystaulukoiden avulla tai laskemalla selektiivisyys siihen tarkoitettun ohjelman avulla. Selektiivisyys voidaan todentaa selektiivisyysohjelmalla tuotettavien selektiivisyyskäyrien avulla. Selektiivisyyskäyrät voidaan tarvittaessa lähettää asiakkaalle osana projektin dokumentaatiota.

3.3.2 Kytkin-, suojaus- ja ohjauskojeet

Kytkinvaroke on yleisesti käytetty suurempien moottorilähtöjen keskuskomponentti, jossa yhdistyy kuormankytkin ja varokealusta. Varokealustaan asetetaan sulakkeet, joilla toteutetaan moottorilähdön oikosulkusuojaus. Kytkinvarokkeita käytetään myös esimerkiksi alakeskuslähtöjen tai vikavirtasuojaryhmien etukojeena. Kytkinvarokkeen väännin kiinnitetään keskuksen kanteen, jolloin se on operoitavissa keskusluukun ollessa kiinni. Turvallisuussyistä kytkinvarokkeen väännin myös lukitsee keskusluukun kiinni kytkimen ollessa kiinni-asennossa eli silloin kun keskuslähtö on jännitteinen. Kytkinvarokkeen koko määräytyy suunnitteluvaiheessa lähdön koon mukaan. Yleisesti kytkinvarokkeen mitoituksessa kannattaa varautua vähintään yhtä kokoa suurempaan sulakkeeseen, jolloin lähdön muuttuessa selvittää pienemmillä keskusmuutoksilla. (Mäkinen & Kallio 2004, 119.)

Kontaktori on yksi keskeisimmistä teollisuuden sähköasennusten komponenteista. Niitä käytetään ohjaamaan virtapiirien pääjännitteitä. Kontaktoreissa on yleensä pääkoskettimet kolmelle vaiheelle ja muutama apukosketin, jotka voivat olla avautuvia tai sulkeutuvia. Kontaktoreihin voidaan lisätä lisävarusteena erilaisia apukoskettimia, ajastinyksiköitä ja salpayksiköitä. Kontaktorien käyttöluokkia on erilaisia, ja kontaktoria valittaessa huomioon on otettava kuormituksen tyyppi. Induktiivisella kuormalla (sähkömoottorit ja kuristimet) aiheuttavat kipinöintiä virtapiirin sulkeutuessa, kun taas puhtaalla resistiivisellä kuormituksella ei kipinöintiä juuri synny. Kontaktorien käyttöluokkia ovat:

- AC 1, jota käytetään helpoissa kytkentäolosuhteissa, eli resistiivisten kuormien kytkennöissä, esimerkiksi lämmitysvastuksissa ja sähkönjakelussa.

- AC 2, jota käytetään normaaleissa kytkentäolosuhteissa, esimerkiksi liukurengasmootoreiden käynnistämisisissä.
- AC 3, jota käytetään vaikeissa kytkentäolosuhteissa eli oikosulkumootorin käynnistämisisissä.
- AC 4, jota käytetään erittäin vaikeissa kytkentäolosuhteissa eli oikosulkumootorin tippa- ja nykäyskäyttöissä, vastavirtajarrutuksissa ja suunnanvaihdossa. (Mäkinen & Kallio 2004, 123.)

Kontaktorien etukojeeksi asennetaan katkaisija tai sulakkeet, jotta kontaktoriin ei kohdistu suuria oikosulkuvirtoja. Suuret oikosulkuvirrat kontaktorin jälkeisessä piirissä aiheuttaa suuret hetkelliset avausvoimat koskettimiin, jolloin ne pyrkivät avautumaan. Avautuessaan koskettimien välille syntyy valokaari, joka sulattaa kärjet ja hitsaa ne toisiinsa kiinni. Seurauksena voi olla vaiheiden välinen oikosulku tai maasulku ja koko keskuslähdön tuhoutuminen. (Mäkinen & Kallio 2004, 123.)

Kontaktorien ja lämpöreleen valinnassa on otettava huomioon käytettävä suojauskoordinaatioluokka. IEC 60947-4-1 standardin mukaan suojaukselle on määriteltä kaksi eri koordinaatioluokkaa. Koordinaatio tyyppi 1 edellyttää, että kontaktori tai käynnistin ei saa oikosulkutilanteessa aiheuttaa vaaraa henkilöille tai asennukselle eikä se ole sen jälkeen käyttökelpoinen ilman korjausta tai osien vaihtoa. Koordinaatio tyyppi 2 edellyttää, että kontaktori tai käynnistin ei saa oikosulkutilanteessa aiheuttaa vaaraa henkilöille tai asennukselle ja sen tulee olla sen jälkeen käyttökelpoinen. Kontaktorin koskettimien hitsaantumisen riski sallitaan. Kojeita valittaessa täytyy ottaa huomioon vaadittu koordinaatioluokka ja mitoitaa kojeet sen mukaan. (Pienjännitekojeet, Teollisuuskäyttöjen kojevalinnat n.d.)

Lämpörele eli ylikuormitusrele asennetaan moottoripiireihin ylikuormitussuojiksi. Ne kiinnitetään mekaanisesti kontaktoriin ja sen ohjaukset yhdistetään sähköisesti kontaktorin kelan ohjauspiiriin. Kontaktorin ja lämpöreleen yhdistelmää voidaan kutsua käynnistimeksi. Ylikuormitusrele toimii pienelläkin ylivirralla melko luotettavasti. Lämpörelettä valittaessa pitää tietää piirin nimellisvirta, jonka avulla voidaan valita virta-alueeltaan sopiva lämpörele. Tarkempi laukaiseva virta-arvo valitaan lämpöreleen säädön avulla. Lämpöreleitä valmistetaan 0,1–800 A virta-

alueille. Lämpörelettä ei voida käyttää oikosulkusuojana, joten piiri on suojattava etusulakkeilla tai katkaisijalla. (Mäkinen & Kallio 2004, 118.)

Moottoripiirissä ohjaukseen ja suojaukseen voidaan käyttää erillistä moottoriohjainta. Siemensin Simocode -moottoriohjaimen ja kontaktorin avulla voidaan ohjata moottoria esimerkiksi väylän kautta automaatiojärjestelmästä. Simocode-moottoriohjaimeen kytketään virranmittausmoduuli, joka mittaa moottoripiirin jokaisen vaiheen läpi kulkevaa virtaa. Tarvittaessa ylivirtatilanteessa Simocode katkaisee kontaktorin kiinni -ohjauksen ja näin avaa virtapiirin. Simocode-moottoriohjaimeen voidaan liittää lämpötilanmittaus, jolla voidaan valvoa ylikuumenemista ja sillä voidaan kerätä dataa muun muassa käyttötunneista ja käynnistyskerroista. Niitä on saatavilla monipuolisesti eri liitännöillä ja eri kokoisiin keskuslähtöihin 820 ampeeriin asti. (Siemens n.d.)

Kuormakytkimiä käytetään keskusten pääkytkiminä, kiskostojen ja kaapelien erotuskytkiminä sekä laitteiden erotuskytkiminä odottamattoman käynnistymisen estämiseen eli turvakytkiminä. Kuormakytkinten tulee kestää virtapiirin kytkentä ja katkaisu piirissä esiintyvillä virroilla. Kuormakytkimiä valmistetaan kolmi- ja nelinapaisina. Kuormakytkimissä ei ole suojalaitteita vaan niiden tarkoitus on vain katkaista ja kytkeä sähkö virtapiirissä. SFS6002 standardin mukaan erottamiseen soveltuvat kuormakytkimet on rakennettava niin, että niiden väännin tai vipu ilmaisee kytkimen asennon luotettavasti. Turvakytkimenä käytettävien kuormakytkimien auki-asento on oltava lukittavissa. Moottoria tai muuta laitetta huollettaessa turvakytkin lukitaan auki-asentoon, jolloin laitteen huolto turvallista. Kuormakytkintä mitoittaessa täytyy ottaa huomioon niiden käyttöluokat, joita ovat:

- AC-20, joka soveltuu kytkemiseen ja katkaisemiseen virrattomana.
- AC-21, joka soveltuu resistiivisten kuormien kytkemiseen.
- AC-22, joka soveltuu resistiivisten ja induktiivisten kuormien kytkemiseen.
- AC-23, joka soveltuu moottorikuormitusten ja induktiivisten kuormitusten kytkemiseen. (Mäkinen & Kallio 2004, 118–119.)

Turvakytkimien valinnassa täytyy ottaa huomioon myös sähkömagneettinen suojaus, jota tarvitaan taajuusmuuttajakäytöissä. EMC-suojatun turvakytkimen sisä-

pinta on kauttaaltaan johtavaa metallia, johon kytketään kaapelin maadoitusjohdin. EMC-suojauksen avulla turvakytkimen aiheuttamat sähkömagneettiset häiriöt ympäristöön vähenevät.

3.4 Kaapelien valinta

Sähkösuunnittelussa oikealla kaapelien valinnalla voidaan vaikuttaa sähköturvallisuuteen, energiatehokkuuteen sekä taloudellisuuteen. Kaapelit pyritään mitoittamaan niin, että niiden käyttö on turvallista ja energiatehokasta, mutta niiden poikkipinta-ala pidetään mahdollisimman pienenä, jotta hankinta- ja asennuskustannukset eivät nouse turhaan. Kaapelien valinnassa on tärkeää ottaa huomioon vallitsevat asennusolosuhteet ja vaatimukset esimerkiksi palon- ja kemikaalienkestolle.

”Kaapelien ja johtimien tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- Kaapelin rakenteen on oltava standardien mukainen tai kaapelin rakenteen on vastattava turvallisuustasoltaan standardeissa vaadittua.
- Kaapelien tai johtimien on oltava nimellisjännitteeltään sopivia siihen järjestelmään, johon se asennetaan.
- Johtimien värien osalta on noudatettava standardin SFS 6000 kohdan 514 vaatimuksia.
- Johtimien poikkipintojen (johtavuuksien) tulee olla riittävän suuria.
- Kaapelin on kestettävä asennuspaikan ulkoisten tekijöiden vaikutukset. Keskeisiä huomioon otettavia ulkoisia tekijöitä ovat ympäristön lämpötila, vesi ja vieraat kiinteät aineet, korroosiota tai likaantumista aiheuttavat aineet ja mekaaniset vaikutukset.” (D1 2017, 194.)

Kaapelien riittävä mitoitus on tärkeää ensisijaisesti sähkö- ja paloturvallisuuden kannalta. Kun johtimessa kulkee virtaa, syntyy siinä myös tehohäviöitä, jotka muuttuvat lämmöksi. Mitä pienempi kaapelin poikkipinta-ala on, eli mitä suurempi on kaapelin resistanssi, sitä suurempi tehohäviö kaapeliin syntyy. Liian suuri lämpötila kaapelissa aiheuttaa vaipan eristeiden vaurioitumista ja johdinmetallin pehmenemistä, jolloin seurauksena voi olla tulipalo tai muu laitoksen käyttökeskeytys. (Mäkinen & Kallio 2004, 101.)

Kaapelin mitoitukseen vaikuttaa johdineristeen materiaali. Yleisimmät materiaalit ovat polyvinyylidikloridi (PVC), jolla johtimen suurin sallittu lämpötila saa olla 70°C ja silloitettu polyeteeni (PEX) sekä eteenipropeenikumi (EPR), joilla johtimen suurin sallittu lämpötila on 90°C. PVC-eristeisellä kaapelilla suurin sallittu kuormitusvirta on pienempi verrattuna samalla poikkipinta-alalla olevaan PEX-eristeiseen kaapeliin, johtuen sen lämmönsiirto ja -kesto-ominaisuuksista. (Mäkinen & Kallio 2004, 101.)

Kaapelin lämpötila nousee liian korkeaksi, jos johtimessa kulkee liian suuri virta. Liian suurta lämpöä kaapeliin voi aiheuttaa pidempiaikainen nimellisvirtaa jonkin verran suurempi virta tai oikosulussa hetkellinen suuri oikosulkuvirta. Oikosulku-tilanteessa kaapelille kuitenkin sallitaan huomattavasti suurempi lämpötilan kohoaminen ylikuormitukseen verrattuna. Kaapelin lämpötila voi nousta liian korkeaksi myös, jos mitoituksessa ei ole otettu huomioon asennuksen tai ympäristöolosuhteiden vaikutusta kaapelin jäähtymiseen. Kaapeli ei pääse jäähtymään riittävästi, jos se asennetaan tiukasti nippuun muiden kaapelien kanssa, tai jos se asennetaan esimerkiksi seinäläpiviennissä eristevillan sisään tai maahan. Ympäristön lämpötila voi jossain laitoksien tiloissa olla jopa 50–60°C, jolloin kaapelin mitoitus on tehtävä sen mukaan. Myös kaapelien päälle kertyvä lika ja pöly vaikuttaa kaapelien jäähtymiseen. (Mäkinen & Kallio 2004, 101.)

Kaapelien mitoitus tapahtuu yleisimmin seuraavalla tavalla:

1. Valitaan kaapelin suojalaitteen nimellisvirta laitteen kuormitusvirran mukaan.
2. Valitaan kaapelin poikkipinta-ala kuormitusvirran ja kaapelin asennustavan sekä -olosuhteiden mukaan.
3. Tarkistetaan kaapelin ylikuormitus- ja oikosulkukestävyys.
4. Tarkistetaan kaapelin aiheuttama jännitteenalenema kulutusasteessa.
5. Tarkistetaan laskemalla tai katsomalla standardin taulukoista syötön automaattisen poiskytkennän toteuttaminen. (Mäkinen & Kallio 2004, 101.)

Kaapeleiden mitoitukseen on suunnitteluyrityksissä käytössä erilaisia mitoitusohjelmia, joilla voidaan laskea tarvittavat arvot tietyissä asennusolosuhteissa. Mitoitusohjelmat säästävät suunnittelijan aikaa, kun arvoja ei tarvitse laskea käsin.

Mitoitusohjelmalla voidaan laskea projektin kojevalintataulukoihin soveltuvat kaapelit ja niiden rajapituudet, jolloin kaapeleita ei tarvitse jokaiseen piiriin mitoittaa erikseen. Rajapituudella tarkoitetaan kaapelin maksimipituutta, jonka ylittyessä on kaapeli mitoittettava uudelleen laskemalla.

4 SUUNNITTELUTYÖKALUJEN HYÖDYNTÄMINEN

Sähkösuunnittelussa käytettäviä työkaluja on monia erilaisia, jotka soveltuvat eri käyttötarkoituksiin. Prosessisähkösuunnitteluun kuuluu paljon eri osa-alueita, joten yhden kaiken kattavan suunnittelutyökalun kehittäminen olisi hyvin vaikeaa, jopa mahdotonta. Näitä osa-alueita ovat muun muassa kuvien ja kaavioiden piirtäminen, luettelointi sekä erilaiset mitoituset. Vaikka suunnittelua pyritään automatisoimaan ja tehostamaan jatkuvasti uusilla työkaluilla, on se silti suurelta osin käsityötä ja suunnittelijan täytyy hallita suunnittelukokonaisuus. Ohjelmista ja työkaluista ei ole hyötyä, jos suunnittelija ei osaa hyödyntää niitä tehokkaasti.

4.1 CAD-ohjelmat

Suunnittelussa hyödynnetään lähes aina jotain useista CAD-suunnitteluohjelmista. CAD on lyhenne englanninkielisistä sanoista Computer-aided Design eli tietokoneavusteinen suunnittelu. Useissa sähkösuunnitteluun soveltuvissa CAD-ohjelmissa on nykyään mukana tietokantatoimintoja, joilla voidaan hallita käytettävien komponenttien ja kaapeleiden määriä ja tulostaa erilaisia luetteloita. Ohjelmien sisäiset tietokantatoiminnot ovat hyvin integroituina piirto-ohjelmaan, jolloin materiaalien hallinta on helppoa.

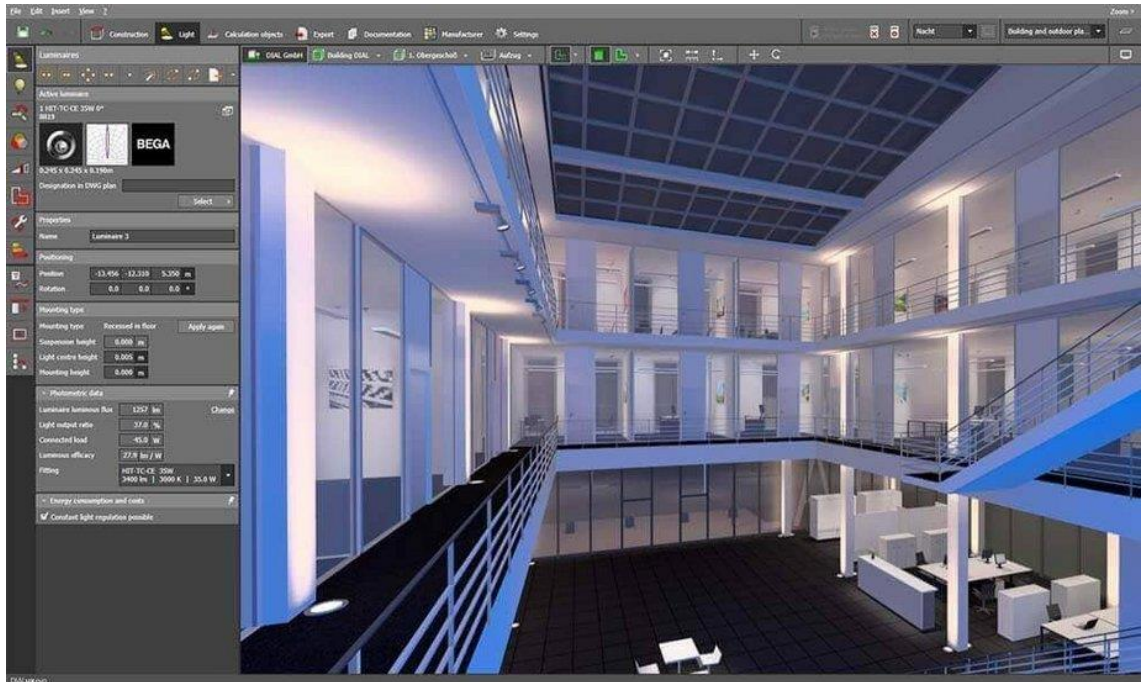
CAD-suunnitteluohjelmilla, kuten esimerkiksi CADMATIC Oy:n CADMATIC Electrical -suunnitteluohjelmalla voidaan generoida kuvia erillisestä Excel-tietokannasta haettavien tietojen ja pohjakuvien perusteella tai vaihtoehtoisesti hyödyntäen sovelluksen omaa tietokantaa. Excel-taulukon avulla generointi tapahtuu käyttäen 'modulaarista generointia', jolloin Excel-taulukon on tallennettu kaikki kuviin generoitavat tekstit. CADMATIC Electrical:n omaa tietokantaa käytettäessä generoitavat tiedot on tallennettu sovelluksen Electrical DB-tietokantaan ja generoitavat tiedot haetaan suoraan sieltä. Tietokantaa voidaan hyödyntää tietojen tallentamisen lisäksi myös tietojen muuttuessa. Esimerkiksi jos koko projektin tunnusjärjestelmä muuttuu, tunnukset voidaan korvata massana eikä jokaista tarvitse korjata erikseen.

Kaupalliset suunnitteluohjelmat on kehitetty yleispäteviksi ja siten mahdollisimman monipuolisiin suunnitteluprojekteihin sopiviksi. Niiden huono puoli kuitenkin on se, ettei niiden omia tietokantasovelluksia voida muokata projektikohtaisesti ja siten mahdollistaa tehokasta käyttöä kaikissa tapauksissa. Tällöin suunnittelua voidaan tehostaa yritysten omilla suunnittelutyökaluilla, kuten tässä opinnäytetyössä kehitetyllä työkalulla, jota voidaan muokata projektin vaatimusten mukaan.

4.2 3D-mallit ja mallinnukset

Suunniteltavasta laitoksesta tehdään usein 3D-malli, jota voidaan hyödyntää muun suunnittelun lisäksi myös sähkösuunnittelussa. Mallista nähdään laitteiden sijainnit ja laitoksen rakenteet. Sen avulla voidaan suunnitella kaapelien pituuksia ja tarvittavia kaapelihyllyjä. 3D-mallien avulla suunniteltava laitos on helppo havainnollistaa kokonaisuutena ja sitä voidaan tutkia monesta näkymästä ja kuvakulmasta. Verrattuna perinteisiin tasokuviin 3D-malli on havainnollisempi ja sähkösuunnittelussa se parantaa suunnittelun laatua muun muassa kaapelimitoitusten osalta.

3D-mallin avulla voidaan suunnitella laitoksen valaistus esimerkiksi DIALux-ohjelmalla. Sillä voidaan mallintaa eri valaistustilanteita ja näin optimoida valaisimien määrä halutulle valaistusvoimakkuudelle. Myös turva- ja poistumistievalaistus voidaan mallintaa, jolloin voidaan jo suunnitteluvaiheessa varmistua, että valaistus on riittävä myös sähkökatkokkien ja muiden vikatilanteiden aikana. DIALux-ohjelmaan voidaan lisätä eri valaisinvalmistajien tuotekatalogeja, joista voidaan mallinnukseen valita sinne suunnitellut valaisimet. Oikeilla valaisinmalleilla tehty mallinnus kuvaa hyvin oikeaa valaistusta, koska ohjelma laskee valaistusvoimakkuuden eri pisteissä valaisimien valonjakokäyrien perusteella. Kuvassa 2 on näkymä DIALux EVO -sovelluksen käyttöliittymästä, jossa on mallinnettu toimistorakennuksen valaistustilanne.



KUVA 2. Toimistorakennuksen valaistustilanne DIALux-ohjelmalla mallinnettuna (DIALux, n.d.)

4.3 ProElina

AFRY Finland Oy:llä on käytössä yrityksessä aiemmin kehitetty ProElina-suunnitteluohjelma. ProElina on osa AFRY:n Virtual Mill -konseptia, jolla hallitaan laitoksen teknisiä tietoja koko laitoksen elinkaaren ajan. Ohjelma on kehitetty alun perin kymmeniä vuosia sitten ja se on suunniteltu tehostamaan ja yhtenäistämään suunnittelua. ProElina ei ole kaupallinen tuote vaan se on tarkoitettu vain AFRY:n käyttöön.

ProElina on kattava, muun muassa sähkösuunnitteluun soveltuva suunnittelusovellus. Suurimmat hyödyt ProElinassa liittyvät suurien massojen hallintaan ja laitoksen tietojen tallentamiseen keskittämiseen. ProElinassa suurimmat hyödyt saavutetaan keskisuurissa ja suurissa projekteissa, joissa on mukana useita eri suunnittelijoita. Kun suunnittelu tehdään yhdessä sovelluksessa ja tiedot ovat tallennettuna samaan paikkaan, virheet vähenevät ja vältetään päällekkäistä suunnittelutyötä. ProElinaan voidaan tuoda tietoja laitteista ja kaapeleista Excelistä, jolloin sen käyttö on tehokasta, vaikka kaikkea suunnittelua ei olisi tehty ProElinassa.

Kuvassa 3 on ProElina-sovelluksen käyttöliittymä, jossa on sovelluksen käyttöä havainnollistamiseksi valittuna maadoituskisko. Kuvan keskivaiheilla on valittuna Cables-välilehti, jossa näkyy kiskoon liitetyt kaapelit. Kaapeleille voidaan määrittää tyyppin ja pituuden lisäksi esimerkiksi halkaisija, jolloin ohjelmalla voidaan laskea, mahtuvatko kaapelit suunnitelluille kaapelihyllyille vai pitääkö hyllyjen määrää tai leveyttä lisätä.

The screenshot shows the Oracle ProElina software interface. The main window title is '10g/v45_bfi/Forms/e020.fmb/3'. The application is titled 'APPLICATION DATA' with the identifier 'E020'. The 'Cables' tab is selected, showing a table of cable items with columns for Srt, Item, Main, Area, Tray, Gate, Max%, and Used%. The table contains the following data:

Srt	Item	Main	Area	Tray	Gate	Max%	Used%
+1	W02						
+2	W03						
+3	W04						
+4	W05						
+5	W06						
+6	W07						
+7	W08						

The interface also shows various form fields for application data, including 'Main Area Name', 'Area Name', 'Sub Area Name', 'Application ID', 'Project', 'Designer', 'Scope', 'Status', 'FU', 'Impl', 'Circuit No', 'Ref ID', 'Name 1', 'Name 2', 'DCS ID', 'DCS Name', 'ExclPwr', 'Applic', 'Power', 'Current', 'Process St', 'Sign Grp1(S)', 'Display', 'Types Control', 'Power 2', 'Current 2', 'Safety', 'Sign Grp2(S)', 'Test Sys', 'Voltage', 'Speed 1', 'Data Group 1', 'MechSupplier', 'Note 1', 'Mounting', 'Speed 2', 'Data Group 2', 'Classific. Code', 'Note 2', 'ProConn', 'Select', 'Long Desc', 'Class', 'MC', 'CA', 'FE', 'MO'. The 'Item LOV From' section is set to 'Current Circuit'. The 'Gable Gates' tab is also visible at the bottom.

KUVA 3. ProElina käyttöliittymä

5 SUUNNITTELUTYÖKALU

Tässä opinnäytetyössä kehitettävä sovellus on Excel-pohjainen ja käyttöliittämältään tavanomaista Excel-työkirjaa muistuttava. Sovelluksen on tarkoitus olla helposti lähestyttävä ja tehokas työkalu prosessisähkösuunnittelijalle pienempiin ja keskisuuriin projekteihin. Sovellusta on kehitetty yrityksessä aiemmin ja siihen on silloin tehty generointiominaisuus piirikaavioille sekä luetteloiden tulostustoiminto hyödyntäen Excelin Pivot-taulukko-toimintoa. Tässä opinnäytetyössä sovellukseen lisättiin automaattisesti toimiva kojeiden valintaominaisuus ja päivitettiin työkalun käyttöohjeeseen uudet ominaisuudet sekä samalla ulkoasu vastaamaan yrityksen nykyistä ilmettä.

5.1 Työkalun toimintaperiaate

Työkalu on käytännössä yksi Excel-tiedosto, joka jakautuu eri välilehdille. Data-välilehti on työkalun pääsivu, johon suunniteltavien piirien tiedot tallennetaan. Se on käytännössä ainoa välilehti, jota suunnitteluvaiheessa muokataan aktiivisesti. Muita välilehtiä ovat kojevalintataulukot sekä erilaiset tulostettavat luettelot, joiden sisältöä käyttäjä voi muokata tarpeen mukaan. Kuvien generointi tapahtuu erillisen Config-välilehden kautta. Kuva 4 on näyttöleike Data-välilehdeeltä, jossa näkyy osa tiedoista, joita piirille voidaan määrittää.

M	N	O	P	Q	R	S	T
MOTOR						SAFETY SWITCH	
m_type	m_v	m_kw	m_a	m_rpm		ss_nbr	ss_type
MOTOR TYPE	VOLTAGE V	POWER Kw	CURRENT A	SPEED RPM	HOOK-UP	SAFETY SWITCH NBR	SAFETY SWITCH TYPE
	400	7,5	19,1	1500		1000-M1-Q2	OTP36T3M
	400	1,1	3,3	1500		2000-M1-Q2	OTP16T3M
	690	15	19	1500		2000-M1-Q2	OTP75T3B
	400	22	45,5	1500		2000-M1-Q2	OTP75T3B

KUVA 4. Näyttöleike työkalun Data-välilehdeeltä

5.2 Automaattiset kojevalinnat

Automaattiset kojevalinnat työkalussa on toteutettu Excel-funktioiden avulla. Automaattisesti valittava koje haetaan kojevalintataulukosta käyttäjän antamien lähtötietojen perusteella. Lähtötietoja ovat muun muassa laitteen teho ja jännite. Automaattinen kojevalinta edellyttää, että käyttäjä on lisännyt lähtötietoina projektille määritellyn kojevalintataulukon, josta tieto voidaan hakea Data-välilehdelle oikeaan soluun. Automaattisen kojevalinnan hyödyt korostuvat, kun samankaltaisia piirejä on useita, jolloin käyttäjän ei tarvitse erikseen käydä hakemassa tietoa kojevalintataulukosta jokaiselle piirille, vaan Data-välilehdellä voidaan kopioida automaattisen kojevalinnan toteuttava funktio haluttuun soluun.

Sovelluksessa automaattinen kojevalinta on tehty

- sulakkeille
- kytkinvarokkeille
- kontaktoreille
- lämpöreleille
- moottorin ohjaus- ja suojauslaite Simocodeille
- turvakytkimille
- kaapeleille

Kojeen valintaa varten sovellukseen tuodaan projektissa käytettävän kojevalintataulukon tiedot neljään eri taulukkoon. Taulukot ovat 400V moottorilähtö, 690V moottorilähtö, 400V taajuusmuuttajalähtö ja 690V taajuusmuuttajalähtö. Opinäytetyössä hyödynnettiin edellisten projektien kojevalintataulukoita, jotka muokattiin työkaluun sopiviksi.

Kojetta valitseva funktio tarkastaa ensin, että onko piirille määritetty taajuusmuuttaja, jonka jälkeen funktio valitsee jännitetason perusteella oikean kojevalintataulukon, josta tieto haetaan. Kojoiden valinta taulukosta tapahtuu suorilla moottorilähdöillä tehon perusteella ja taajuusmuuttajalähdöillä määritetyn taajuusmuuttajan ja kuormatyyppin perusteella. Kaapelin valinnassa funktio ottaa huomioon myös kaapelin rajapituuden, jonka ylittyessä valitaan yhtä kokoa suurempi

kaapeli. Kojevalintataulukoissa tiedot on ryhmitelty Excelissä määriteltäviin 'nimiin', joiden koodista selviää jännitetaso, lähdön ja kojeen tyyppi. Esimerkiksi 400 V moottorilähdön kontaktorit kuuluvat nimeen "Sel_400V_Motor_Contactor".

Kojevalintaominaisuus toteutettiin Excel-funktioilla, jolloin sen käyttö on mahdollisimman lähellä tavanomaisen Excelin käyttöä. Funktiot perustuvat pääosin IFS- ja IF-funktioihin sekä INDEX- ja MATCH-funktioiden yhdistelmiin, joilla tietoa voidaan hakea toisesta taulukosta tehokkaasti. Tietojen haun toisesta kojevalintataulukosta olisi voinut toteuttaa myös esimerkiksi VLOOKUP-funktiolla, mutta koska INDEX- ja MATCH-funktioiden yhdistelmä vaatii vähemmän prosessointia ohjelmalta, päädyttiin käyttämään kyseistä yhdistelmää. (Cheusheva 2022)

Funktiot ovat normaalisti käytössä Data-välilehden ensimmäisessä muokattavassa rivissä, mutta alkuperäiset funktiot ovat tarvittaessa kopioitavissa myös Config-välilehdeltä. Osa toiminnoista, kuten kaapelin valinta olisi ollut helpompi toteuttaa Excel VBA-ohjelmakoodilla, mutta koska tavoitteena oli pitää käytettävyys mahdollisimman lähellä tavanomaista Exceliä, päädyttiin toteuttamaan myös monimutkaisemmat valinnat funktioiden avulla.

5.3 Generointiominaisuus

Sovellukseen aiemmin tehdyllä generointitoiminnolla voidaan generoida piirikavioita pohjakuvan ja Data-välilehden tietojen perusteella. Kuvassa 4 näkyvät punaiset tekstit ovat viittauksia generoitaviin teksteihin. Samat punaisella värillä olevat tekstit ovat pohjakuvassa ja niiden paikalle generoituu kyseisessä sarakkeessa oleva tieto oikealta riviltä. Generointiominaisuus toimii sovelluksessa hyvin ja siihen ei ollut tässä opinnäytetyössä tarvetta tehdä muutoksia, lukuun ottamatta käyttöohjetta. Käyttöohjeeseen päivitettiin ohjeistus puhdistaa pohjakuva (Autocad Purge-komento) ennen generoinnin aloittamista. Sovelluksen käytön yhteydessä on tullut esille, että pohjakuvan sisältäessä paljon ylimääräistä dataa, generoinnissa saattaa esiintyä ongelmia. Ongelmat saattavat esiintyä generoinnin aloittamisessa tai generoitavien kuvien sisällössä.

5.4 Luetteloiden tulostus

Luetteloiden tulostus on toteutettu Excelin Pivot-taulukko toiminnolla. Taulukkoon haetaan halutut tiedot Data-välilehdeltä. Käyttäjä voi muuttaa luetteloissa näkyviä tietoja tarpeen mukaan helposti taulukon ominaisuuksien kautta. Opinnäytetyössä päivitettiin taulukoiden ulkoasu ja sisältöjä sopimaan aikaisempaa paremmin prosessisähkösuunnittelun tarpeisiin. Esimerkiksi taulukoihin lisättiin otsikkotaulut, jotta luetteloita voidaan käyttää sellaisenaan lisäämällä vain projektin tiedot otsikkotauluun. Kuva 5 on näyttöleike moottoriluettelosta, jossa näkyy tietoja esimerkkipiirien moottoreista sekä osa keskuslähtökojeista. Taulukot ovat muokattavissa projektikohtaisesti, mutta ne soveltuvat useimpiin käyttökohteisiin sellaisenaan.

LOOP/CIRCUIT NAME	MOTOR NUMBER	MOTOR NAME	VOLTAGE V	POWER Kw	CURRENT A	SPEED RPM	MCC TYPE	MCC NUMBER	MCC SECTION	FUSE
MOOTTORIPIIRI 2	2-M1	MOOTTORI	690	11	14	1420	DIRECT	MCC1	-03-03	25aM
MOOTTORIPIIRI 3	1-M2	MOOTTORI	400	11	24	1420	DIRECT	MCC1	-03-04	40aM
MOOTTORIPIIRI 4	2-M2	MOOTTORI	690	11	14	1420	DIRECT	MCC1	-03-05	25aM
MOOTTORIPIIRI 5	1-M3	MOOTTORI	690	45	52	1420	DIRECT	MCC1	-03-06	80aM
MOOTTORIPIIRI 6	2-M3	MOOTTORI	690	45	52	1420	DIRECT	MCC1	-03-07	80aM
MOOTTORIPIIRI 7	1-M4	MOOTTORI	400	11	24	1420	DIRECT	MCC1	-03-08	40aM
MOOTTORIPIIRI 8	2-M4	MOOTTORI	690	11	24	1420	DIRECT	MCC1	-03-09	25aM

KUVA 5. Moottoriluettelo

5.5 Käyttöohje

Työkalun kehittämisen yhteydessä käyttöohjeen ulkoasu päivitettiin vastaamaan yrityksen nykyistä ilmettä. Vanhat työohjeet on tehty ennen Pöyryn ja ÅF-Consultin fuusioitumista AFRY:ksi, joten ulkoasu ei vastannut yrityksen nykyistä ilmettä. Käyttöohjeeseen lisättiin ohjeet automaattisen kojevalinnan käyttöön. Käyttöohjeesta selviää ohjelman käyttöön vaadittavat tiedostot. Lisäksi siinä selitetään ohjelman toiminta niin, että käyttäjä, jolla on sähkösuunnittelijalle tavanomaiset Excel- ja Autocad -taidot, osaa käyttää työkalua ohjeen perusteella. Automaattisten kojevalintojen osalta käyttöohjeeseen lisättiin myös ohjeet työkalun projektikohtaiseen muokkaukseen, jotta se onnistuu helposti ilman kojevalintafunktioiden muokkausta.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tutustuminen yleisellä tasolla prosessisähkösuunnitteluun ja siinä tuotettaviin dokumentteihin auttoi ymmärtämään paremmin kehitettävän työkalun tarpeellisuutta. Prosessisähkösuunnittelua on tehty vuosikymmeniä ja sitä on kehitetty jatkuvasti. Dataa komponenteista, laitteista ja kaapeleista on niin paljon, että niiden hallinta keskitetysti – tässä tapauksessa yhdellä sovelluksella – poistaa ylimääräisiä työvaiheita ja tehostaa suunnittelua huomattavasti. Kaikkien prosessisähköistysprojektin piirien tietojen tallentaminen samaan Excel-tiedostoon nopeuttaa paitsi suunnittelutyötä, myös tietojen päivittämistä ja tarkastusta.

Työkaluun kehitetty automaattinen kojevalinta -toiminto osoittautui esimerkkipiireillä testattaessa toimivaksi ja suunnittelua nopeuttavaksi. Tulevaisuudessa ominaisuutta testataan käytännössä prosessisähkösuunnitteluprojekteissa. Työkalun lisäksi myös käyttöohjetta tullaan testaamaan ja mahdollisesti parantamaan niin, että sen avulla voidaan aloittaa työkalun käyttäminen ilman muuta koulutusta tai neuvontaa. Automaattisen kojevalinnan ansiosta suunnittelijalta jää manuaalisia työvaiheita pois ja myös inhimillisten virheiden mahdollisuus vähenee. Tällä hetkellä automaattinen kojevalinta toimii moottoripiireillä sekä taajuusmuuttajapiireillä, jotka edustavat suurta osaa prosessisähkösuunnittelun piireistä. Jokaiselle erilaiselle piirille kyseinen ominaisuus olisi vaikeaa ja tarpeetonta, koska piirejä on niin paljon erilaisia.

Automaattinen kojevalinta -toiminto pystyttiin toteuttamaan tavoitteiden mukaisesti niin, että käyttöliittymä pysyi Excelin kaltaisena ja toimintoa voidaan käyttää helposti kopioimalla kojevalinnan toteuttavaa funktiota haluttuihin soluihin. Jos ominaisuuden toteuttamiseen olisi käytetty Excelin VBA-koodia, olisi se ollut helpompi toteuttaa, mutta käyttäjän näkökulmasta se olisi monimutkaistanut ohjelman käyttöä. Nyt käyttö on yksinkertaista, eikä vaadi erityisosaamista. Tavoite pitää käyttöliittymä Excelin kaltaisena perustuu suunnittelijoiden toiveeseen pitää työkalu helposti lähestyttävänä ja yksinkertaisena, siten että mahdollisimman moni suunnittelija voi sitä hyödyntää kokemuksesta riippumatta.

Tulevaisuudessa ohjelmaa tullaan kehittämään käyttäjäpalautteen ja kehitysehdotusten perusteella. Jatkossa työkalun mahdollinen kehityskohde voisi olla esimerkiksi kojeiden valinta puhtaasti resistiivisille kuormille, joita ovat esimerkiksi sähkölämmitykset. Ohjelmaan voisi kehittää myös ominaisuuden, jolla voidaan lukita tietyt solut, jolloin niitä ei pääse enää muokkaamaan ilman lukituksen poistamista. Tämä edistäisi työkalun käytettävyyttä vähentämällä virheiden määrää. Excelissä tiettyjen solujen tietojen palautus ei onnistu automaattisesti vaan ne täytyy hakea varmuuskopiosta.

Suunnittelutyökalujen merkitys suunnittelutyössä on kasvanut jatkuvasti viime vuosikymmenten aikana digitalisaation myötä. Aiemmin suunnittelu on tehty paikallisesti kynällä ja paperilla, mutta nykyaikaisilla työkaluilla tehokasta suunnittelutyötä voi tehdä ajasta ja paikasta riippumatta. Suunnittelutyökalujen kehitystyö mahdollistaa laitosten tehokkaamman suunnittelun, jolloin suunnittelijan aikaa vapautuu yhä tärkeämpien asioiden, kuten ympäristöystävällisyyden ja energia- tehokkuuden suunnitteluun. Suunnittelutyökalujen oikealla käytöllä voidaan ehkäistä esimerkiksi keskuskomponenttien virheellisiä valintoja, jotka aiheuttavat haittaa sekä taloudelle että ympäristölle. Vallitseva komponenttipula ja pitkät toimitusajat aiheuttavat lisää painetta virheiden välttämiseksi komponenttien valinnassa. Oikeat kojevalinnat auttavat myös pysymään aikataulussa, jolloin työvoiman resursointi helpottuu työmaalla.

Yleistynyt etätyökäytäntö on parantanut yritysten valmiutta tuottaa suunnittelu- ja konsultointipalveluita asiakkaille tehokkaasti ilman, että työntekijä on sidottuna tiettyyn paikkaan. Esimerkiksi testauksia ja käyttöönottoja voidaan tehdä osittain etänä toimistolla tai työntekijän kotona, jolloin säästetään matkustamiseen kuluva aikaa ja rahaa. Haittapuolena etätyöskentelyllä on esimerkiksi tarkastusten laatu ja tarkkuus, jotka saattavat kärsiä, kun työntekijä ei ole tilanteessa paikalla. Kaikkea tietoa ja tilannekuvaa on vaikea välittää pelkän videokuvan ja äänen välityksellä.

Tulevaisuuden mahdollisuuksia suunnittelualalla ovat esimerkiksi tekoälyä hyödyntävät suunnittelutyökalut ja lisätty todellisuus (AR), jonka avulla esimerkiksi muutosten suunnittelu olemassa olevaan laitokseen voisi helpottua. Lisätyn todellisuuden avulla esimerkiksi kaapelihyllyjen ja kaapelien lisääminen 3D-malliin

ja tietokantoihin voitaisiin tehdä työmaalla mobiilisovelluksen avulla. Mobiilisovellusten hyödyntäminen suunnittelussa edellyttää suunnitteluohjelmayritysten tuotekehitystä ja panostusta sovelluksiin. Tekoälyn avulla suunnittelutyötä voisi tehostaa niin, että tekoälyä hyödyntävä suunnittelutyökalu tekee itse suunnitteluratkaisuja edellisten projektien datan perusteella ja suunnittelija vain tarkastaa tai muuttaa tietokoneen tekemiä suunnitelmia.

LÄHTEET

ABB n.d. Moottorikäyttöjen kojevalintataulukko. Pdf-dokumentti. Viitattu 28.3.2022. <https://library.e.abb.com/pub-lic/1abd154b2449aa5fc12571e2002cce20/Valintataulukot.pdf>

AFRY. n.d. Tietoa meistä. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2022. <https://afry.com/fi-fi/tietoa-meista>

Cheusheva S. 2022. INDEX & MATCH in Excel - better alternative to VLOOKUP. Viitattu 28.3.2022. <https://www.ablebits.com/office-addins-blog/excel-index-match-function-vlookup/>

D1 2017. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Espoo: Sähköinfo Oy.

DIALux. n.d. DIALux is the software for your professional lighting design. Verkkosivu. Viitattu: 28.03.2022. <https://www.dialux.com/en-GB/dialux>

Harsia, P. 2004. Sähkösuunnittelun käsikirja. Espoo: Sähköinfo Oy.

Mäkinen, M. & Kallio, R. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Nimien hallinnan käyttäminen Excel. n.d. Microsoft. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2022. <https://www.support.microsoft.com/fi-fi/office/nimien-hallinnan-k%C3%A4ytt%C3%A4minen-excel-4d8c4c2b-9f7d-44e3-a3b4-9f61bd5c64e4>

Pienjännitekojeet, Teollisuuskäyttöjen kojevalinnat. ABB Oy. n.d. Helsinki. Viitattu 28.3.2022.

SFS 6000-1. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Perusperiaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 28.3.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Siemens n.d. SIMOCODE pro 3UF7 motor management and control devices. Verkkosivu. Viitattu: 28.03.2022. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/de/Catalog/Products/10024436#Overview>

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Viitattu 28.3.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>