



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mika Kivijärvi

KÄÄMIKYTKIMEN
SUUNNITTELUTYÖKALU

ABB Oy

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mika Kivijärvi
Opinnäytetyön nimi	Käämikytkimen suunnittelutyökalu
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	40 + 1 liite
Ohjaaja	Osku Hirvonen ja Toni Perälä

Käämikytkin valitaan tilauslomakkeessa listattujen tietojen mukaan. Suunnittelutyökalun tarkoituksena on toimia suunnittelijan apuna ja varmistaa, että muuntajan rakenteeseen lisätään aina oikean käämikytkimen 3D-malli. Valmis työkalu on layout-pohjainen käyttöliittymä, jonka toimintaa ohjataan parametrisesti relaatioiden avulla.

Suunnittelutyökalun käyttöliittymän ohjelmoinnissa käytettiin Creo Parametric -suunnitteluohjelmaa. Creo on suunniteltu erityisesti parametrisen ohjelmoinnin ympärille. Työssä mallinnettiin uusia osia ja kehitettiin alkuperäisiä 3D-malleja. Layoutiin ohjelmoitiin tilauslomaketta vastaavat valintaikkunat, joihin suunnittelija syöttää oikeat tiedot.

Layoutista pyrittiin tekemään mahdollisimman yksinkertainen ja käyttövarma. Käyttöliittymä huomauttaa vääristä valinnoista ja kertoo mitkä vaihtoehdot ovat mahdollisia. Työkalusta tuli onnistunut ja se tulee jatkossa varmistamaan, että 3D-mallin valinta osuu aina tilauslomaketta vastaavaan käämikytkimeen.

ABSTRACT

Author	Mika Kivijärvi
Title	Design Tool for On-Load Tap Changers
Year	2020
Language	Finnish
Pages	40 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Osku Hirvonen and Toni Perälä

The on-load tap changer is selected based on the information listed in the order form. This design tool was made to assist the design engineer and ensure that the correct 3D-model of the on-load tap changer will be added to the structure of the transformer. The finished tool is a layout-based interface that is controlled by parameters and relations.

The programming of the tool was done with Creo Parametric. Creo is a design program that is particularly made for parametric programming. The thesis consisted of programming relations, 3D-modeling new parts and improving old ones. The design engineer will fill in the layout selections with the correct values.

The idea was to make the layout as simple and reliable as possible. The interface informs the user if the values are incorrect and tells which values are possible. The tool works well and in the future usage, it will ensure that the 3D-model of the on-load tap changer is always corresponding to the values of the order form.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	9
2	ABB	10
	2.1 ABB Suomessa	10
	2.2 ABB:n muuntajatehdas	10
3	MUUNTAJA	11
	3.1 Toiminta	11
	3.2 Rakenne	11
	3.2.1 Aktiiviosa	11
	3.2.2 Teräsosat	12
	3.2.3 Läpiviennit	14
	3.2.4 Varusteet	14
	3.3 Koestus	14
4	KÄÄMIKYTKIMEN TOIMINTA JA RAKENNE	15
	4.1 Säiliön sisäpuoliset osat	16
	4.2 Säiliön ulkopuoliset osat	16
5	CREO PARAMETRIC	17
	5.1 Top-down-suunnittelu	17
	5.2 Ohjelmoitavuus	17
	5.3 Layout	18
	5.4 Parametrit	18
	5.5 Relaatiot ja ohjelmakoodi	20
6	MUUNTAJAN SUUNNITTELU	21
	6.1 Laskenta	21
	6.2 Layout-suunnittelu	21
	6.3 Rakennesuunnittelu	21
	6.4 Käämikytkimen valinta	22
7	TYÖN SUUNNITELMA JA TAVOITTEET	24

7.1	Vähimmäisvaatimukset.....	24
7.2	Tarvittavat ominaisuudet	24
8	TYÖN ETENEMINEN	25
8.1	Aloitus.....	25
8.2	Suunnitteluvaihe	25
8.3	Käytännönsuus.....	26
8.3.1	Moottoriohjaimet ja ylälaippa.....	26
8.3.2	Ulkopuolisten osien kokoonpano.....	29
8.3.3	Diverterien ohjelmointi	30
8.3.4	Selektorien ohjelmointi	33
8.3.5	Sisäpuolisten osien kokoonpano	34
8.4	Viimeistely.....	36
9	SAADUT TULOKSET	37
10	YHTEENVETO	39
	LÄHTEET.....	40

LIITTEET

KUVALUETTELO

Kuva 1. Aktiiviosa.....	12
Kuva 2. Säiliö.....	12
Kuva 3. Kansi.....	13
Kuva 4. Paisuntasäiliö.....	13
Kuva 5. Läpivientejä.....	14
Kuva 6. Käämikytkin.....	15
Kuva 7. Esimerkki layoutiin tehdystä valintataulukosta.....	18
Kuva 8. Esimerkki parametreistä.....	19
Kuva 9. Esimerkki IF-lauseista ohjelmakoodissa.....	20
Kuva 10. Moottoriohjainten 3D-mallit.....	27
Kuva 11. Ylälaipan 3D-malli.....	27
Kuva 12. Ylälaipan ja oheiskomponenttien kokoonpano.....	28
Kuva 13. Luurankomallin rakenne.....	29
Kuva 14. Ulkopuolisten osien kokoonpano.....	30
Kuva 15. Diverterien family table.....	31
Kuva 16. Esimerkki diverterejä ohjaavista relaatioista.....	32
Kuva 17. Diverterin 3D-malli.....	32
Kuva 18. Selektorien interchange-kokoonpano.....	33
Kuva 19. Esimerkki selektoreja ohjaavista relaatioista.....	34
Kuva 20. Sisäpuolisten osien kokoonpano.....	35
Kuva 21. Esimerkki valmiista kokoonpanosta.....	36

LIITELUETTELO**LIITE 1.** UCG-käämikytkimen layout

LYHENTEET JA TERMIT

ABB	Asea Brown Boveri
3D	Kolmiulotteisuus (three-dimensional)
OLTC	Käämikytkimen englanninkielinen lyhenne (on-load tap changer)
UCG	ABB:n yleisin käämikytkintyyppi, tämän työn ensisijainen kehityskohde
Diverteri	Englanniksi diverter switch on käämikytkimen sisäisen kokoonpanon yläosa, joka ohjaa sen alla olevan valitsinosan kytkentää
Selektori	Englanniksi tap selector on käämikytkimen sisäisen kokoonpanon koskettimellinen alaosa, joka toimii kytkimen valitsinosana
Layout	3D-mallin ohjelmointiin käytettävä alusta, jossa parametrit ja relaatiot ovat helposti muokattavissa
Parametri	Mitalle tai piirteelle annettava syöttöarvo
Relaatio	Ohjelmoitava suhde asioiden välillä
IF-lause	Ohjelmointilause relaatioiden toteutumiselle
Top-down	Mallinnustekniikka, joka alkaa loppukokonaisuuden suunnittelusta
Luurankomalli	Koordinaatistoista, tasoista, akseleista ja pisteistä tehty rakenne, johon mallit paikoitetaan
Origo	3D-mallin tasojen risteyspiste ja nollakohta

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajan, ABB Oy:n muuntajatehtaan tavoitteena on kehittää käämikytkimelle toimiva suunnittelutyökalu. Työssä hyödynnetään Creo Parametric -suunnitteluohjelman layout-ominaisuutta.

Suunnittelu on muuntajatehtaalla pitkälle vietyä. Layoutin valintojen avulla jokaiselle erikoismuuntajalle saadaan tehtyä haluttu rakenne. Muuntajan pääkomponenteille on jo tehty toimivat layoutit, mutta käämikytkimelle ei ole vielä vastaavaa ratkaisua.

Suunnittelija katsoo käämikytkimen arvot tilauslomakkeesta ja valitsee niiden perusteella niitä vastaavan käämikytkimen. Nykyisellä ratkaisulla voi käydä niin että muuntajaan tilataan väärä käämikytkin. Pahimmassa tapauksessa kun sitä ollaan asentamassa, huomataan ettei se enää mahdukaan suunniteltuun säiliöön. Silloin joudutaan tekemään kalliita rakennemuutoksia.

Tämän suunnittelutyökalun tarkoituksena on varmistaa, että käämikytkimen valinta osuu aina oikeaan. Tarvittavat arvot syötetään layoutin valintaikkunoihin. Kun valinnat on täytetty, seuloutuu vaihtoehdoista niitä vastaavan käämikytkimen 3D-malli.

2 ABB

ABB on teollisuuskonserni, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. Yhtiö syntyi vuonna 1988 ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin yhdistäessä sähkötekniset liiketoimintansa. ABB on yksi maailman johtavista teknologia-alan yrityksistä. /1/

2.1 ABB Suomessa

ABB:n suomalaiset juuret ulottuvat vuoteen 1899, kun Gottfrid Strömberg perusti nimeään kantaneen yrityksen. 1900-luvun ensimmäisen puolikkaan aikana Strömberg oli jo Suomen suurimpia teollisuusyrityksiä.

Vuonna 1983 Kymi-Kymmenen ja Strömberg fuusioituivat ja nimeksi tuli Kymi-Strömberg. Kolme vuotta myöhemmin yritys siirtyi Asealle, joka tästä pari vuotta eteenpäin yhdistyi Brown Boverin kanssa muodostaen nykyisen ABB-konsernin. /2/

Nykyään ABB työllistää Suomessa yli 5000 henkilöä 20 eri paikkakunnalla. Suurimmat yksiköt sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa, Porvoossa ja Haminassa. /3/

2.2 ABB:n muuntajatehdas

Vaasassa muuntajia on valmistettu vuodesta 1947 lähtien. Muuntajatehtaalla valmistetaan sähkölaitos- ja erikoismuuntajia. Tehtaan yhteydessä on myös kunnossapitoa ja oma suunnittelutoimisto, jossa erikoismuuntajat suunnitellaan ja räätälöidään asiakkaiden tarpeiden mukaan. /4/

Marraskuussa 2019 ABB Oy Transformers siirtyi ABB Power Gridsiksi osana divestointiprosessia, jossa liiketoiminta siirtyy japanilaiselle Hitachille vuoden 2020 aikana. /5/

3 MUUNTAJA

Muuntaja on yksi sähköverkon avainkomponenteista. Se muuttaa jännitteen verkoon sopivalle tasolle. Muuntajia löytyy kaikkialta missä sähköä tuotetaan, siirretään ja kulutetaan. /4/

3.1 Toiminta

Muuntajan toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Kun muuntajan ensiökäämiin kytketään vaihtojännite, muodostuu rautasydämeen muuttuva magneettivuoto. Kun magneettivuoto lävistää samalla sydämellä olevan toisiokäämin, indusoituu jännite siihen ja teho saadaan ulos.

Ensiökäämissä oleva yläjännite on muuntajan suurin jännite. Toisiökäämissä oleva alajännite on muuntajan pienempi jännite. Jännitteiden suuruudet ovat suoraan verrannollisia käämien kierroslukujen suhteeseen. Ensiö- ja toisiovirrat puolestaan ovat kääntäen verrannollisia kierroslukujen suhteeseen. /6/

3.2 Rakenne

Muuntajan rakenne muodostuu aktiiviosasta, joka asennetaan säiliöön. Säiliön lisäksi muita teräsosia ovat kansi ja paisuntasäiliö. Näiden lisäksi muuntajassa on läpivientejä ja muita lisävarusteita.

3.2.1 Aktiiviosa

Aktiiviosa (Kuva 1) koostuu rautasydäimestä ja käämityksistä. Sydän koostuu pystysuuntaisista pylväistä, jotka yhdistetään toisiinsa ylä- ja alapäästä ikeiden avulla. Kolmivaihemuuntajissa pylväitä on normaalisti kolme ja yksivaihemuuntajissa kaksi kappaletta.

Pylväät valmistetaan erikokoisista sydänlevyrainoista, joita ladotaan portaittain mahdollisimman pyöreän muodon aikaansaamiseksi. Sydänlevyinä käytetään kidesuunnattua muuntajalevyä, koska niissä magneettivuoto kulkee helposti pituussuunnassa, mutta kohtaa suuren vastuksen poikittaissuunnassa.

Käämit ovat pystysuoria lieriöitä ja ne valmistetaan puhtaasta kuparista tai sähköalumiinista. Eristys tehdään muuntajapaperilla. Erikoismuuntajissa voi olla yläjännitekäämin jatkeeksi kytketty säätökäämi ja useampia alajännitekäämityksiä. Koonpanossa ylä- ja alajännitekäämit eristetään prespaanilieriöiden avulla. /6/



Kuva 1. Aktiiviosa.

3.2.2 Teräsosat

Aktiiviosa tarvitsee ympärilleen säiliön (Kuva 2), joka toimii muuntajan runkona, öljysäiliönä ja suojaa sääolosuhteilta. Se tehdään joko aaltolevysäiliönä, jolloin seinien aaltoelementit toimivat jäähdyttiminä tai teräslevysäiliönä, jossa on lisänä jäähdytystä hoitavat radiaattorisäiliöt.



Kuva 2. Säiliö.

Kun säiliössä on pohja ja seinät, tarvitaan siihen vielä erillinen kansi. Kansi on joko hitsattava tai pulteilla kiinnitettävä. Kanteen tehdään erilaisia laippoja, joihin tarvittavat varusteet asennetaan (Kuva 3).



Kuva 3. Kansi.

Säiliössä olevan aktiiviosan on oltava aina kokonaan öljyn peitossa. Koska öljyn lämpötila nousee ja tilavuus kasvaa, tarvitaan sille erillinen tila. Tähän käytetään paisuntasäiliötä (Kuva 4).

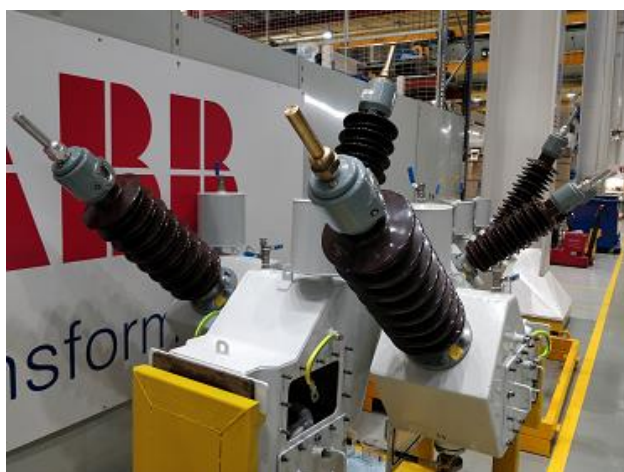
Se mitoitetaan niin, että öljyn lämpötilan ollessa korkeimmillaan, on se lähes täynnä, ja kun öljy on kylmää niin sitä on kuitenkin vielä riittävästi säiliön pinnan yläpuolella. Paisuntasäiliö asennetaan yleensä kannattimilla kannen päälle tai viis-tosti säiliön yläpuolelle. /6/



Kuva 4. Paisuntasäiliö.

3.2.3 Läpiviennit

Muuntaja kytketään sähköverkkoon läpivientien (Kuva 5) kautta. Ne asennetaan yleisimmin muuntajan kannelle, mutta välillä myös vaakatasossa muuntajan kylkeen. Yleisimpiä ovat posliiniläpiviennit. Niissä on posliinieristin, jonka sisällä on kupari- tai messinkitanko. Muita malleja ovat kondensaattori-, pistoke- ja kiskoläpiviennit. /6/



Kuva 5. Läpivientejä.

3.2.4 Varusteet

Edellä mainittujen lisäksi muuntajaan asennetaan erilaisia varusteita, joilla mitataan, seurataan ja säädetään muuntajan toimintaa. Varusteita ovat radiaattorit, virtamuuntajat, kaasureleet, ylipaineventtiilit, öljynkorkeudenosoittimet, lämpömittarit, ilmankuivaimet, käämikytkimet ja väliottokytkimet. /6/

3.3 Koestus

Valmistuksen ja kokoonpanon jälkeen muuntajalle tehdään loppukokeet. Jotta muuntaja voidaan toimittaa asiakkaalle, on sen läpäistävä kaikki sille asetetut vaatimukset. Loppukokeet tehdään IEC 60076 -standardin mukaan ja kokeet on jaettu rutiini-, tyyppi- ja erikoiskokeisiin. /6/

4 KÄÄMIKYTKIMEN TOIMINTA JA RAKENNE

Käämikytkin (Kuva 6) on erikoismuuntajiin asennettava lisävaruste. Sen avulla voidaan säätää kuormitetun muuntajan jännitettä toiminnan aikana. Käämikytkimen toimintaa ohjataan moottoriohjaimen avulla.

Säätökäämin ulosotot johdotetaan käämikytkimen koskettimille useimmiten kuparikaapelien avulla. Käämikytkimen avulla voidaan vaihtaa käämin virrallisten kierrosten määrää ja sen myötä jännitteisen muuntajan muuntosuhdetta voidaan muuttaa. /6/

Käämikytkimen rakenne koostuu säiliön sisäpuolella ja ulkopuolella olevien komponenttien kokoonpanosta. Eri mallien yhteispituus vaihtelee pääosin kahden metrin molemmin puolin. Yleisimmin käämikytkimiä on yksi, mutta myös kahden ja kolmen käämikytkimen rakenteet ovat mahdollisia.



Kuva 6. Käämikytkin.

4.1 Säiliön sisäpuoliset osat

Säiliön sisällä on selektori eli valitsinosa, joka vaihtaa virtaa koskettimien välillä lennosta. Diverteri eli kytkinosa ohjaa selektorin toimintaa siten että jännitteen vaihdon aikana se rajoittaa virran kulkua ja estää näin kipinöinnin. Näin ei tule valokaarta, kun liuku irtoaa koskettimesta. Valokaari aiheuttaa kaasua, ja sitä ei haluta muuntajan sisälle öljyn sekaan.

Selektorin alaosaan voidaan kiinnittää myös tie-in-resistori ja sen ohjausta säätelevä pot switch. Tie-in-resistori on vastus, jota käytetään, kun tiedetään että jännitteen voimakkuus vaihtotilanteessa on liian korkea valitsimelle. Pot switch kytkee tie-in-resistorin päälle vain niissä tilanteissa, kun sitä tarvitaan. /7/

4.2 Säiliön ulkopuoliset osat

Ylälaippa on kannen päällä muuntajan ulkopuolella. Se kiinnitetään pulteilla kansikokoonpanoon asennettavaan kiinnityslaippaan. Ylälaipassa on laippaliitoskoh-
tia, joihin voidaan asentaa tarvittavia oheiskomponentteja ja -laitteita. Niitä ovat yleisimmin erilaiset venttiilit öljyn- ja ilmansäätöä varten. Muita laitteita ovat lämpötilasensori, painerele, termostaattikytkin, ylipaineventtiili ja näiden erilaiset yhdistelmät.

Ylälaipassa on myös asennusreikä kulmavaihteelle. Kulmavaihteeseen kiinnitetään pysty- ja vaakakäyttöakselit. Laipan läpi säiliön sisään kiinni tuleva kulmavaihde ohjaa diverterin akselia ja siten säiliön sisällä tapahtuvaa käämikytkimen toimintaa.

Pystyakselin alapäässä on kiinni moottoriohjainyksikkö. Sillä ohjataan käämikytkimen toimintaa. Sähköinen viesti muutetaan mekaaniseksi akselien liikkeeksi ja sähköiseksi diverterin ja selektorin väliseksi toiminnaksi. /7/

5 CREO PARAMETRIC

Creo Parametric on yhdysvaltalaisen PTC:n kehittämä 3D-suunnitteluohjelmisto. Ennen vuotta 2011 ohjelma tunnettiin nimellä Pro/ENGINEER.

5.1 Top-down-suunnittelu

Top-down-suunnittelun tärkein yksittäinen osa on luurankomalli. Se on koordinaatioista, tasoista, akseleista ja pisteistä tehty rakenne, johon kokoonpanon 3D-mallit paikoitetaan. Sen avulla kaikki osat ovat järkevästi paikoitettuina toisiinsa nähden, jolloin ne ovat helposti muokattavissa.

Top-down-suunnittelu tarkoittaa kokoonpanon suunnittelun aloittamista valmiiksi mietitystä kokonaisuudesta. Kun päämitat ja muut rakenteen kokoon vaikuttavat piirteet ovat jo etukäteen selvillä ja luurankomalli on tehty, voidaan eri osien malleja sovittaa tämän alueen sisälle. /8/

On myös tärkeää miettiä, miten mallin eri osat linkittyvät toisiinsa. Linkityksissä puhutaan yleensä vanhemmista ja lapsista. Lapsipiirteet ovat riippuvaisia vanhemmistaan ja seuraavat niiden mukana. Osakohtaisessa mallinnuksessa voidaan myös miettiä, saako joitain piirteitä liitettyä yhteen, jolloin osan mallipuusta tulee yksinkertaisempi.

5.2 Ohjelmoitavuus

Creo on kehitetty erityisesti parametrystä ohjelmointia varten. Ohjelma antaa käyttäjälleen mahdollisuuden määrittää piirteitä ja parametrejä erittäin monipuolisesti.

Creon vahvuuksia ovat parametrisuuden lisäksi myös kokoonpanojen helppous ja mallinnuspuolella unite, eli pursotusten yhdistystekniikka. Creon 3D-mallissa pursotus voidaan tehdä ns. kappaleen sisään, jolloin se oikeasti laskee sen automaattisesti esimerkiksi pyöreää ulkopintaa vasten. /9/

5.3 Layout

Layout on 3D-mallin ohjelmointiin käytettävä alusta, johon liitetään kaikki parametrit ja relaatiot helposti muokattavaan muotoon (Kuva 7). Monipuolisen layoutin teko vaatii paljon työtä ja aikaa, mutta toimivana se on erittäin hyödyllinen suurempien kokoonpanojen ohjauksessa.

Muuntajatehtaalla hyödynnetään layouteja osana top-down-suunnittelua. Muuntajan eri kokoonpanoille on tehty omat layout-alustat. Ne toimivat työkaluina, joiden avulla suunniteltavaan kokonaisuuteen voidaan valita mahdollisista osista jokaiseen projektiin parhaiten sopivat.

5. TOP SECTION	COMPONENT	ANGLE
5.1. MOUNTING TYPE	1	
BT - TOP SECTION ACCESSORIES		
5.2. CONNECTION A	3	0.0
5.3. CONNECTION B	3	0.0
5.4. CONNECTION C	3	0.0
5.5. CONNECTION D	3	0.0
5.6. CONNECTION E	3	0.0

Kuva 7. Esimerkki layoutiin tehdystä valintataulukosta.

5.4 Parametrit

Creossa on käytössä neljäntyyppisiä parametrejä (Kuva 8). Niiden tarkoitus on toimia ohjelmoinnin apuna relaatioiden kautta.

Real numberia käytetään, kun parametrille halutaan antaa mikä tahansa syötettävä numeroarvo. Sitä käytetään useimmin helpottamaan muuttuvien mittojen määrittämistä. Muuttuvia mittoja voivat olla esimerkiksi osien halkaisijat, pituudet ja eri piirteiden väliset etäisyydet.

Toinen numeerinen parametri on Integer, joka voi saada arvokseen minkä tahansa kokonaisluvun. Se on hyödyllinen esimerkiksi tilanteissa, joissa layoutin kautta on

mahdollisuus valita useamman eri komponentin väliltä, mikä niistä halutaan lisätä mallin rakenteelle. Yksi komponentti valitaan syöttämällä arvoksi 1 ja toinen taas arvolla 2 tai 3.

String-parametrin määrittämisessä käytetään tekstiä. Sen avulla voidaan esimerkiksi valita suoraan kirjoittamalla halutun vaihtoehdon tiedostonimi. Se on hyödyllinen Creon family table -ominaisuuden kanssa. Family tablessä voi olla satoja samannimiä mallin variaatioita, joiden tiedostonimessä viimeinen merkki on juokseva numero. Näissä tapauksissa string-parametrin käyttäminen helpottaa mallien keskinäistä vaihtoa huomattavasti.

Näiden lisäksi käytössä on YES/NO-parametri. Sitä käytetään ohjelmassa määrittämään, lisätäänkö jokin komponentti rakenteelle. YES-valinnalla komponentti paikoitetaan automaattisesti ennalta määritettyyn paikkaan, kun taas NO-valinta jättää komponentin pois.

Name	Type	Value	Design...	Access	Source
DIVERTER_LENGTH	Real Number	992.000000	<input type="checkbox"/>	Lock...	Relation
UCG_TAP_SEL_MODEL	String	UCG_TAP_SEL...	<input type="checkbox"/>	Lock...	Relation
POSITIONS	Integer	9	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Def...
TAP_SELECTOR_LENGTH	Real Number	795.000000	<input type="checkbox"/>	Lock...	Relation
OLTC_TYPE_AUTO	String	0	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Def...
OLTC_TYPE_DIV	String	OLTC_DIVERT...	<input type="checkbox"/>	Lock...	Relation
OLTC_TYPE_TAP	String	UCG_TAP_SEL...	<input type="checkbox"/>	Lock...	Relation
UCG_POT_SWITCH_MODEL	String	UCG_POT_SWI...	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Def...
POT_SWITCH	Yes No	NO	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Def...
TIE_IN_RESISTOR	Yes No	NO	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Def...
SHORT_VERSION	Yes No	YES	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Def...
NOTE_CON_B	String		<input type="checkbox"/>	Lock...	Relation

Kuva 8. Esimerkki parametreistä.

5.5 Relaatiot ja ohjelmakoodi

Relaatiot ovat parametrien ja muiden laskennallisten arvojen avulla määriteltyjä ehtoja. Luurankomallin koordinaatitot, tasot ja muut piirteet voidaan sitoa relaatioihin, jolloin ne muuttuvat automaattisesti parametrien muutoksesta. Relaatioissa voidaan laskukaavojen lisäksi käyttää myös IF-lauseita ja Boolean algebraa.

IF-lauseella ohjelmoidaan lauseen sisällä olevien ohjelmarivien toteutumista. Esimerkiksi kahden tarvittavan ehdon toteutuessa IF-lauseen sisältö toteutuu. IF-lauseen sisällä voidaan myös käyttää ELSE:ä.

Boolean algebraa hyödynnetään usein IF-lauseen yhteydessä. Yleisimpiä funktioita ovat konjunktio-merkintä AND, disjunktio OR ja negaatiokomplementti NOT. /10/

Nämä englanninkieliset valinnat tarkoittavat yksinkertaisesti sitä, mitä ne ovat myös suomeksi käännettyinä. IF on jos, ELSE on muuten, AND on ja, OR on tai ja NOT on ei.

Kokoonpanomalleissa kaikki rakenteelle lisätyt osat löytyvät kokoonpanon muokattavasta ohjelmakoodista (Kuva 9). Ohjelmakoodin avulla osat voidaan liittää parametreihin.

```

IF TOP_SEC_CON_E == 1
  ADD PART TEMP_RELAY
  INTERNAL COMPONENT ID 142
  PARENTS = 59(*)
  END ADD
END IF

IF TOP_SEC_CON_A == 2
  ADD PART UCG_DRAIN_VALVE
  INTERNAL COMPONENT ID 41
  PARENTS = 33(#5)
  END ADD
END IF

```

Kuva 9. Esimerkki IF-lauseista ohjelmakoodissa.

6 MUUNTAJAN SUUNNITTELU

Erikoismuuntajan suunnittelu vaatii lähes aina uuden suunnitteluprosessin. Suunnittelun nopeuttamiseksi työtehtävät on jaettu eri vaiheisiin. Erilaiset työtehtävät jaetaan laskijoiden, layout-suunnittelijoiden ja rakennesuunnittelijoiden kesken.

6.1 Laskenta

Suunnitteluprosessi aloitetaan laskelmalla, jossa määritetään muuntajan suunnittelun kannalta tärkeimmät yksityiskohdat. Laskija laskee aktiiviosalle oikeanlaiset mitat ja sähköiset arvot. Muuntajan kokonaisuutta aletaan suunnittelemaan laskelman tietojen perusteella.

6.2 Layout-suunnittelu

Layout-suunnittelussa hyödynnetään muuntajan pääkomponentteja varten tehtyjä layout-tiedostoja. Jokaisen layoutin syöttökentät täytetään laskelman mitoilla ja arvoilla. Niiden perusteella muuntaja rakentuu suunnitteluohjelmassa yhdeksi kokonpanoksi.

Säiliön layoutissa määritetään mitat ja muut tiedot mm. seinä- ja pohjaelementeille, paisuntasäiliölle sekä tarvittaville varusteille. Kannen layoutissa määritetään siihen kuuluvien varusteiden lisäksi esimerkiksi läpivientien valinnat. Vastaavasti aktiiviosan sähköiset arvot syötetään sydämen layoutiin.

Layout-suunnittelija tekee muuntajan kokoonpanorakenteesta mitta- ja kuljetuspiirustukset. Mittapiirustuksessa kerrotaan muuntajan tärkeimmät mitat, painot ja tilavuudet sekä listataan tarvittavat varusteet osaluetteloon. Kuljetuspiirustukseen merkitään painopiste, kuljetuspaino ja nostoihin tarvittavat tiedot.

6.3 Rakennesuunnittelu

Rakennesuunnittelu jaetaan sähköiseen ja mekaaniseen suunnitteluun. Sähköinen suunnittelu koostuu aktiiviosa- ja johdotussuunnittelusta, kun taas mekaaninen suunnittelu koostuu teräsosien ja muiden mekaanisten komponenttien suunnittelusta. Rakennesuunnittelu aloitetaan layout-suunnittelun valmistuttua.

Rakennesuunnittelun aikana muuntajan rakenteeseen voidaan vielä tehdä tarvittavia muutoksia esimerkiksi asiakkailta saatujen kommenttien perusteella. Mahdolliset muutokset ovat usein pieniä, mutta myös isompia säätöjä voidaan vielä tehdä tässä vaiheessa.

Rakennesuunnittelijan tehtävänä on tehdä kaikista osista ja kokoonpanoista omat valmistuspiirustukset. Piirustuksissa esitetään kaikki tarvittavat tiedot valmistusta varten. Rakennesuunnittelun yhteydessä kiinnitetään huomiota myös käytettävien materiaalien ominaisuuksiin ja pyritään kustannustehokkaisiin ratkaisuihin.

Kun piirustukset ovat valmiita, siirtää rakennesuunnittelija muuntajan rakenteen ja piirustukset linkitystyökalulla Creo Parametricistä suunnittelunhallintajärjestelmään. Muuntajatehtaalla käytetään ABB:n Mechanical Design System -järjestelmää. Rakenne listautuu piirustusten osaluetteloiden mukaiseen järjestykseen ja jokaisen osan tiedot ja piirustukset ovat siten helposti saatavilla.

Valmiista rakenteesta ilmoitetaan ostotiimille, josta piirustukset toimitetaan alihankkijoille valmistusta varten. Jos osiin tai piirustuksiin pitää tuotantovaiheen aikana tehdä muutoksia, tehdään niistä piirustukseen kirjattava revisiomuutos. Revisiomuutokseen kirjataan tehdyt muutokset ja sama tieto kirjataan myös Mechanical Design Systemiin. Tieto tästä välitetään ostolle, josta päivitetty piirustukset toimitetaan alihankkijoille.

6.4 Käämikytkimien valinta

ABB:llä on käämikytkimien valinnalle oma ohjelmisto. Laskija määrittää käämikytkimien sähköiset arvot laskelman muiden tulosten perusteella. Valinnat tehdään vaihtamiselle, tyypille, kytkennälle, eristystasolle, jännitteelle ja virralle.

Samassa yhteydessä voidaan määrittää tarvittaessa myös kulmavaihteen kulmarvo ja käyttöakselien pituudet. Ne voidaan myös ohjata esitettäväksi piirustuksissa. Lopuksi valitaan tarvittavat oheiskomponentit ja ylälaipan asennustapa.

Ohjelmisto tekee valintojen perusteella tilauslomakkeen. Lomakkeessa näkyy ensimmäisenä määritetyn käämikytkimien tuotekoodi. Tuotekoodista selviää suoraan

käämikytkimen tyyppi sekä vaihtamis- ja kytkentätavat. Moottoriohjainyksikölle tehdään vastaavalla tavalla oma tilauslomake.

Suunnitteluvaiheessa tilauslomakkeen mukainen käämikytkimen 3D-malli lisätään muuntajan rakenteeseen. Tässä opinnäytetyössä tehtävän työkalun tarkoituksena on varmistaa, että 3D-malli vastaa aina tilauslomakkeen tietoja.

Muuntajatehtaalla käytetään yleisimmin UCG-tyyppistä käämikytkintä. Muita ABB:n kytkimiä ovat mm. VUBB, UCL ja UCD. Välillä käytetään myös Reinhausenin käämikytkimiä.

7 TYÖN SUUNNITELMA JA TAVOITTEET

Suunnitelmana on tehdä parametrisesti toimiva layout-tuotekonfiguraattori, josta valinnat saadaan tehtyä. Näiden lisäksi ohessa parannetaan myös nykyisiä vakio-ratkaisuja mm. tarkentamalla osien 3D-malleja.

Tavoitteena on, että valmis suunnittelutyökalu on helppokäyttöinen ja monipuolisesti säädettävä. Sen on oltava toimintavarma ja osattava rajata pois kaikki vääränlaiset yhdistelmät.

7.1 Vähimmäisvaatimukset

Ensisijaisesti työssä on tarkoitus tehdä toimiva layout UCG-tyypin käämikytkimille. UCG-tyypin käämikytkin on yleisin ABB:n käyttämistä käämikytkimistä. Vuosina 2017 – 2019 erilaisia käämikytkimiä tilattiin 192 kappaletta. Niistä 148 kappaletta oli UCG-tyyppisiä.

Suunnittelutyökalun tarkoituksena on tehdä layout-tiedostosta pohja, johon lisätään myöhemmin välilehtiä myös muille ABB:n käyttämille käämikytkimille.

Layoutin avulla tehtävästä kokoonpanosta tehdään koko muuntajan rakenteeseen lisättävä oma käämikytkimen asennus-alikokoonpano ja sen alle paikoitetaan käämikytkin ja muut oheiskomponentit.

7.2 Tarvittavat ominaisuudet

Layoutiin tehdään valintavaihtoehdot kytkennälle, valitsijalle, vaihtamiselle, eristystasolle, virralle ja jännitteelle. Näiden lisäksi ylälaippaan tehdään valinnat laippaliitännöihin releille ja venttiileille. Muita valintoja tehdään myös moottoriohjainyksikölle, pot switchille ja tie-in-resistorille.

Joissain tilanteissa kannen tai säiliön kalustustavarat rajoittavat moottoriohjaimen paikoitusta ja akselien asentoa. Siksi layoutiin lisätään luurankomallin avulla tasot, joilla moottoriohjaimen paikkaa voidaan säätää. Samalla akselien paikoitukset opetetaan seuraamaan kulmavaihteen ja moottoriohjaimen asentoa.

8 TYÖN ETENEMINEN

Työ jaettiin neljään eri vaiheeseen. Aloitusvaiheessa perehdyttiin tehtävään työhön ja siinä käytettäviin Creon ominaisuuksiin. Suunnitteluvaiheessa tehtiin yksityiskohtaisemmat suunnitelmat tulevista käytännönsuuden sisäisistä työvaiheista. Käytännönsuudessa suoritettiin suunnitellut työvaiheet ja lopuksi työ viimeisteltiin viimeistelyvaiheessa.

8.1 Aloitus

Kun lähtötietojen perusteella asetetut tavoitteet ja vaatimukset oli listattu, alkoi työ vielä syvällisemmällä perehtymisellä aiheeseen. Perehtymisessä käytiin läpi ABB:n materiaaleja käämikytkinten teoriasta ja teknisistä tiedoista. /7/

Ensimmäisten päivien aikana harjoiteltiin opinnäytetyössä oleellisena osana olevien IF-lauseiden ja relaatioiden käyttöä yhdessä family tablen kanssa. Harjoituksessa tehdystä family tablestä näki, miten yhden kappaleen rakennetta voi muuttaa listaamalla yksittäiselle mitalle useampia eri arvoja. Relaatioihin tehdyt IF-lauseet määrittivät, mikä mitoista valikoitui missäkin tilanteessa.

8.2 Suunnitteluvaihe

Suunnitteluvaiheen aluksi katsottiin vielä tarkemmin läpi, mitä valmiilta suunnittelutyökalulta tullaan tarvitsemaan. Tärkeintä oli saada kaikki käämikytkimen eri mallit toimiviksi yhdestä layoutista. Kaikki osien 3D-mallit piti käydä läpi ja päivittää mahdollisimman keveiksi tiedostoiksi. Käämikytkimen vanha kokoonpano oli niin iso, että käämikytkimellisissä muuntajissa jopa koko 3D-mallin lataus ja pyörittely ruudulla oli hitaampaa.

Suunnitelmaksi muodostui muiden muuntajan pääkomponenttien tapaan yhden asennuskokoonpanon tekeminen. Asennuskokoonpanon alle suunniteltiin paikoitettavaksi kaksi alikokoonpanoa. Alikokoonpanoja olivat käämikytkimessä säiliön ulkopuolella olevien osien kokoonpano ja säiliön sisäpuolella olevien osien kokoonpano.

Ulkopuolen kokoonpanoon tulee ensimmäisenä paikoittaa kannen laippaan kiinnitettävä käämikytkimen ylälaippa. Ylälaippa tehdään omana kokoonpanona ja sen liitoksiin paikoitetaan tarvittavat oheiskomponentit. Seuraavaksi ulkopuolen kokoonpanoon paikoitetaan kulmavaihde, käyttöakselit ja moottoriohjainyksikkö.

Sisäpuolen kokoonpanoon tulee paikoittaa diverteri, selektori, tie-in-resistori ja pot switch. Molempiin alikokoonpanoihin tehdään luurankomalli, joka ohjaa osien liikkettä, mutta samalla toimii myös erinomaisena kiinnitysalustana. Tämä mahdollistaa sen, ettei eri osia tarvitse paikoittaa suhteessa toisiinsa, jolloin ne ovat tarvittaessa helpommin vaihdettavissa vaikuttamatta toisen osan kiinnitykseen.

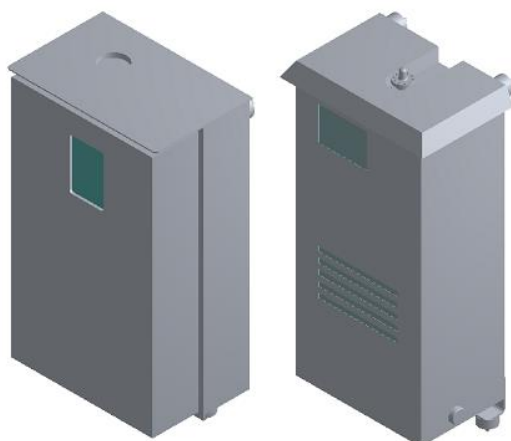
Kokoonpanojen osat ohjelmoidaan layoutiin parametrien, relaatioiden ja ohjelmakoodien avulla. Relaatioihin listataan IF-lauseiden sisällä olevilla parametreilla eri diverterien ja selektorien mahdolliset valinnat. Sinne lisätään eri laskutoimituksia ohjaamaan layoutin valintojen toimintaa. Ylälaipan oheiskomponentit ohjelmoidaan sen oman kokoonpanon ohjelmakoodiin ja valinnat ohjataan parametrien avulla layoutin valintoihin.

8.3 Käytännöosuus

Suunnitteluvaiheen jälkeen työ jatkui koko opinnäytetyön päävaiheeseen eli käytännöosuuteen. Se sisälsi 3D-mallinnusta, ohjelmointia ja komponentteja vertailevaa tutkimusta. Alaotsikoissa käydään läpi työn etenemistä vaiheittain.

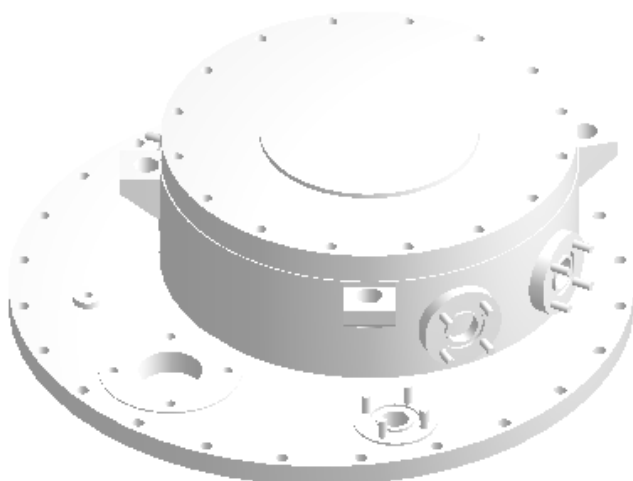
8.3.1 Moottoriohjaimet ja ylälaippa

UCG-käämikytkimessä käytetään kahdentyyppisiä moottoriohjainyksiköitä (Kuva 10). Niiden lyhenteet ovat BUL2 ja BUE2. Vanhoissa 3D-malleissa rakenteen kaikki osat olivat erillisinä. 3D-mallit mallinnettiin uudestaan yksinä kokonaisuuksina, jotta tiedostoista tulisi kevyempiä.



Kuva 10. Moottoriohjainten 3D-mallit.

Ylälaipan malli (Kuva 11) oli tehty Creon vanhalla Pro/ENGINEER-versiolla, joten piirteiden säädöt oli hyvä päivittää nykyisen version kanssa samanlaisiksi. Koordinaatistoista tehtiin uudet versiot ja ne määritettiin samoihin paikkoihin vanhojen kanssa. Tämän jälkeen tehtiin koordinaatistot ylälaipan laippaliitoksille. Niihin parametroitiin pyörivät koordinaatistot, jotta käyttäjä saa itse valita oheiskomponenttien asennot jo layoutin täyttövaiheessa. Lopuksi käytiin läpi ylälaipan koko mallipuu ja siivottiin sieltä kaikki ylimääräinen pois.



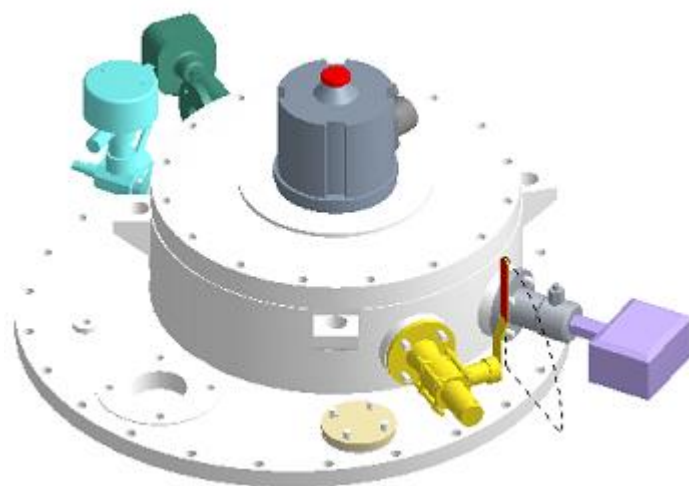
Kuva 11. Ylälaipan 3D-malli.

Oheiskomponenteista muutama oli jo aikaisemmin mallinnettu yksityiskohtaisemmaksi ja osa vastasi jo hyvinkin tarkasti ABB Componentsin piirustusten mittoja ja muotoja. Loput eivät olleet niin yksityiskohtaisia ja mm. venttiilien kahvat osoitautuivat 3D-malleissa liian lyhyiksi. Nämä 3D-mallit päivitettiin tarvittavilla yksityiskohdilla ja oikeilla mitoilla ABB Componentsin piirustusten mukaan. /11/

Tämän jälkeen alkoi tutustuminen kokoonpanomallissa olevaan ohjelmakoodiin. Ylälaippa paikoitettiin uuteen alikokoonpanoon ja sen jokaiseen laippaliitoskohtaan lisättiin yksi kappale jokaista oheiskomponenttia. Ne listautuivat lisäysjärjestyksessä ohjelmakoodiin.

Jokaisen kappaleen lisäykselle tehtiin IF-lause, joka toteutuu, kun layoutissa annettava parametrin numeroarvo vastaa kyseisen osan numeroa. Esimerkiksi jos laippaliitokseen A halutaan lisätä lämpörele, niin silloin layoutissa annetaan A-kohtaan numeroarvoksi 1.

Edellä mainittujen oheiskomponenttien valintojen lisäksi ylälaipan kokoonpanoon (Kuva 12) paikoitettiin vielä ylipaineventtiili. Sen valintaa ohjataan YES/NO-parametrillä.



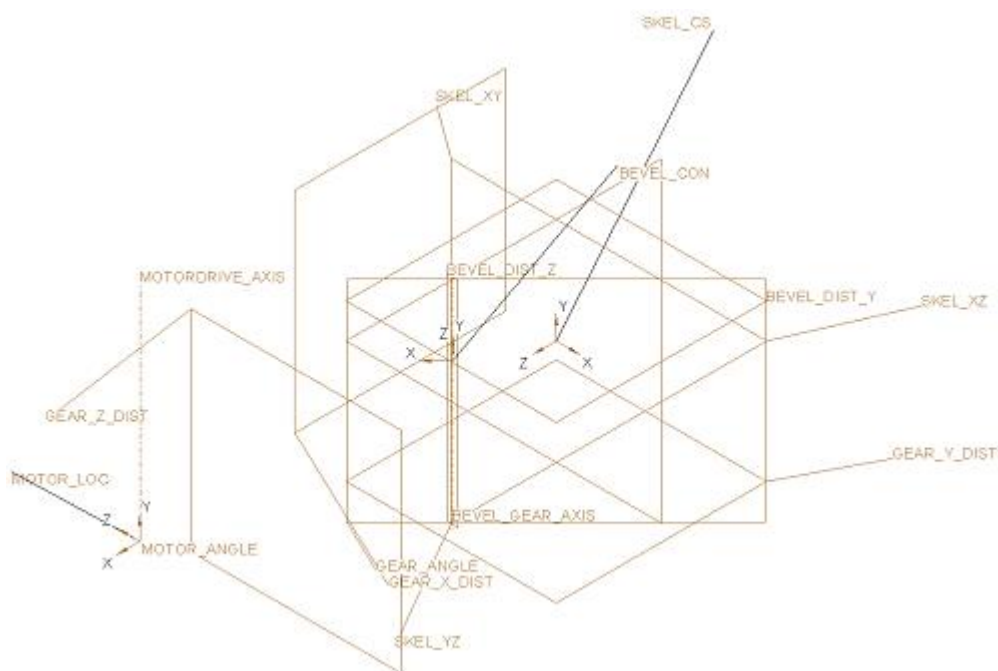
Kuva 12. Ylälaipan ja oheiskomponenttien kokoonpano.

8.3.2 Ulkopuolisten osien kokoonpano

Seuraavaksi alkoi luurankomallin optimointi ulkopuolisten osien kokoonpanoa varten. Luurankomallissa piti olla origossa sijaitsevan koordinaatiston ja sen tasojen lisäksi paikoituskoordinaatistot sekä kulmavaihteelle, että moottoriohjaimelle (Kuva 13).

Kulmavaihteen asennusreikä pysyy ylälaipassa aina samassa paikassa, joten koordinaatisto on asetettuna 332 millimetrin päähän origon tasosta. Koordinaatisto pyörii reiän akselin ympäri ja se on aina akselien suuntaisesti.

Moottoriohjaimelle on kolme tasoa ja niiden risteyskohdassa on sen paikoituskoordinaatisto. Tasojen etäisyyksimitat otetaan origon tasosta ja siten moottoriohjaimen paikkaa voidaan säätää parametrien avulla pituus-, leveys- ja korkeussuunnassa. Layoutiin tehtiin valintaikkunat moottoriohjaimen tyypille ja paikoitukselle.

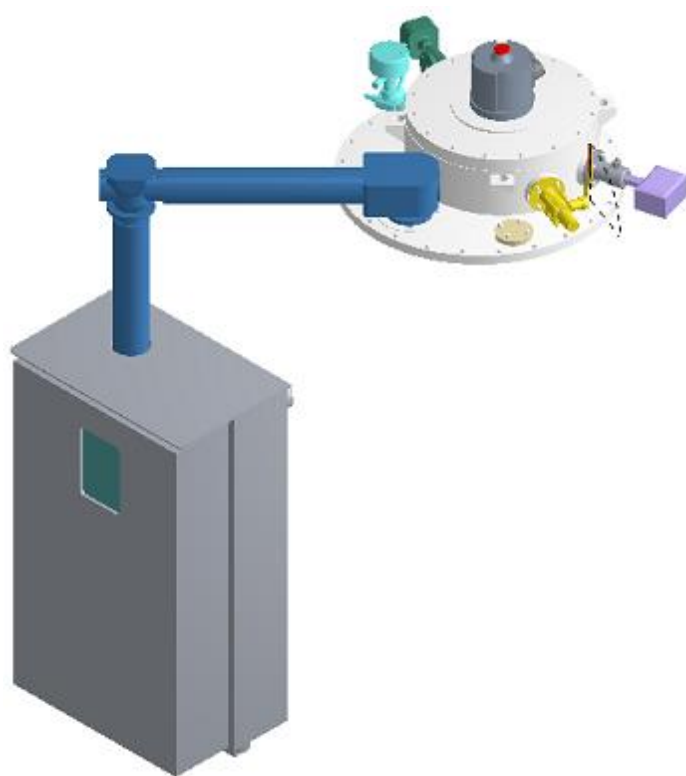


Kuva 13. Luurankomallin rakenne.

Käyttöakselien pituudet tehtiin toimimaan relaatioiden avulla. Vaaka-akselin pituus sidottiin kiinni kulmavaihteeseen ja pystyakseli vastaavasti moottoriohjaimeen.

Akselit paikoitettiin seuraamaan moottoriohjaimen paikkaa. Näin akselien pituudet ja kulmavaihteen kulma muuttuvat automaattisesti, kun moottoriohjaimen paikkaa muutetaan (Kuva 14).

Kulmavaihteen kulmalle ja akselien asennolle on asetettu rajoite ylälaipan oheiskomponenttien takia. Akselit saavat olla maksimissaan 10 astetta vaakasuoran asennon yli. Tätä varten layoutin relaatioihin tehtiin trigonometrinen laskukaava, joka seuraa kulman arvoa ja kertoo sen ruudulla moottoriohjaimen valintaikkunoiden alla.



Kuva 14. Ulkopuolisten osien kokoonpano.

8.3.3 Diverterien ohjelmointi

Diverterin 3D-malli oli tehty family tablellä. Family tablen taulukossa jokainen rivi on yksi instanssi. Tässä kaikki instanssit olivat erilaisilla arvoilla olevia mallin variaatioita (Kuva 15).

Muuttuvia arvoja ovat käämikytkimen tyyppi, vaihtamis- ja kytkentätavat, eristystaso, virta, jännite, kiinnitystapa ja lyhyemmän käämikytkimen valinta. Family tablessä on listattu kaikki eri yhdistelmillä toteutuvat 3D-mallit. Diverterien välisiä eroja ovat esimerkiksi kokonaispituus ja purkaussuojien lisäys.

Type	Instance Name	...	TAP_SEL	SWITCHING	CONNECTION	INSUL_LEVEL	CURRENT	STEP_VOLT	MOUNTING	SHORT_VERS
	OLTC_DIVERTER_UCG_CC									NO
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-9_CC	III	L	N	1050	MAX300	MAX 1500	COVER	YES	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-10_CC	III	L	N	1050	MAX300	MAX 1500	ACTIVE	YES	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-11_CC	III	L	N	1050	MAX300	> 1500	COVER	*	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-12_CC	III	L	N	1050	MAX300	> 1500	ACTIVE	*	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-173_CC	III	L	N	380	>300,MAX600	MAX 1500	COVER	*	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-174_CC	III	L	N	380	>300,MAX600	MAX 1500	ACTIVE	*	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-175_CC	III	L	N	380	>300,MAX600	> 1500	COVER	*	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-176_CC	III	L	N	380	>300,MAX600	> 1500	ACTIVE	*	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-177_CC	III	L	N	650,750	>300,MAX600	MAX 1500	COVER	*	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-178_CC	III	L	N	650,750	>300,MAX600	MAX 1500	ACTIVE	*	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-179_CC	III	L	N	650,750	>300,MAX600	>1500	COVER	*	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-180_CC	III	L	N	650,750	>300,MAX600	>1500	ACTIVE	*	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-181_CC	III	L	N	1050	>300,MAX600	MAX 1500	COVER	*	
	OLTC_DIVERTER_UCG_III-182_CC	III	L	N	1050	>300,MAX600	MAX 1500	ACTIVE	*	

Kuva 15. Diverterien family table.

Jokainen family table on muokattavissa Excelissä. Taulukosta tallennettiin kopio, jotta sitä voitaisiin käyttää tukena relaatioiden kirjoituksen aikana. Diverterin toimintaa ohjataan layoutin relaatioista.

Excelien ja ABB:n Compas-työkalulla tehdyn tutkimustyön aikana selvisi, että diverterin family tablessä oleva virran arvo toimii ohjaavana arvona ja valintaa määräävä virta valitaan selektorin perusteella. Diverterissä määräävänä toimii se, onko kyseessä lyhyempi vai pidempi käämikytkin.

Pituudet on merkitty ABB Componentsin piirustuksiin, mutta ne voi nähdä myös diverterin instansseista. Lyhyempi malli toteutuu, kun virta on suurimmillaan 300 ampeeria samalla kun jännite on suurimmillaan 1500 voltia. Tähän poikkeuksen tekee E,T-kytkentä, jossa lyhyempi malli toteutuu 900 ampeeriin asti. /7, 12/

Näiden tietojen perusteella jokaiselle diverterille kirjoitettiin IF-lause. Oikea 3D-malli valikoituu, kun layoutiin syötettävien parametrien arvot vastaavat IF-lauseen sisällä määritettyjen parametrien arvoja (Kuva 16). Layoutiin lisättiin taulukko,

jossa on syöttökentät diverterin parametreille. Ne tehtiin tilauslomakkeen mukaiseen järjestykseen, jotta täyttäminen olisi mahdollisimman yksinkertaista.

```
IF TAP_SEL == 2 & (SWITCHING == 2 | SWITCHING == 3) & CONNECTION == 3 & (INSUL_LEVEL == 2 | INSUL_LEVEL == 3) \
& SHORT_VERSION == YES & STEP_VOLT <= 1500 & MOUNTING == 2
UCG_DIVERTER_MODEL = "OLTC_DIVERTER_UCG_III-154_CC"
DIVERTER_LENGTH = 1095
COMBINATION_DIVERTER = TRUE
ENDIF
```

```
IF TAP_SEL == 2 & (SWITCHING == 2 | SWITCHING == 3) & CONNECTION == 3 & (INSUL_LEVEL == 2 | INSUL_LEVEL == 3) \
& SHORT_VERSION == NO & STEP_VOLT > 1500 & MOUNTING == 1
UCG_DIVERTER_MODEL = "OLTC_DIVERTER_UCG_III-155_CC"
DIVERTER_LENGTH = 1209
COMBINATION_DIVERTER = TRUE
ENDIF
```

Kuva 16. Esimerkki diverterejä ohjaavista relaatioista.

Osa instansseista voi toteutua useammalla kuin yhdellä parametrin arvolla. Jokaista yhdistelmää on kuitenkin vain yksi kappale, joten oikeilla syöttöarvoilla tulee aina oikean diverterin 3D-malli (Kuva 17).

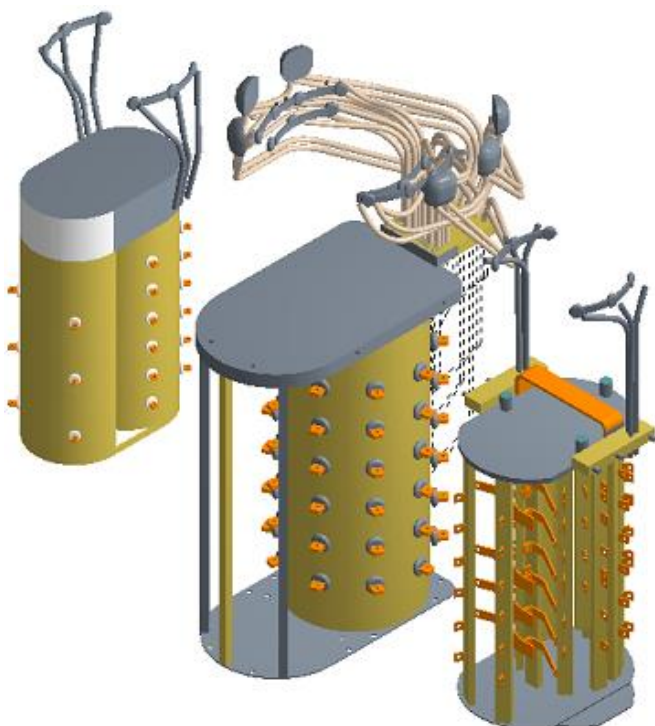


Kuva 17. Diverterin 3D-malli.

8.3.4 Selektorien ohjelmointi

Selektorien 3D-mallit oli myös tehty family tablen instansseina. Divertereistä poiketen erityyppiset selektorit olivat erillisinä 3D-malleina. Niistä tehtiin interchange-kokoonpano, jotta niitä voidaan vaihtaa keskenään sisäpuolisten osien kokoonpanomallissa (Kuva 18).

Interchange-kokoonpanossa kaikkiin 3D-malleihin määritetään oma referenssipiste. Kaikkiin valittiin referenssipisteeksi koordinaatisto, josta selektori kiinnitetään diverterin alaosaan. Nyt käämikytkimen tyyppin vaihtuessa selektori kiinnittyy automaattisesti oikeaan kohtaan.



Kuva 18. Selektorien interchange-kokoonpano.

Selektorin family tablet olivat vastaavia kuin diverterissä. Muuttuvia arvoja ovat vaihtamis- ja kytkentätavat, virta ja kytkentäpisteiden määrä. Kaikille selektoreille kirjoitettiin IF-lauseet samalla tavalla kuin divertereille (Kuva 19). Layoutiin lisättiin uusi syöttökenttä kytkentäpisteiden parametrille.

```
IF TAP_SEL == 2 & SWITCHING == 3 & CONNECTION == 1 & CURRENT = < 600 & POSITIONS == 9
UCG_TAP_SEL_MODEL = "UCG_TAP_SELECTOR_III-208<UCG_TAP_SELECTOR_III>"
TAP_SELECTOR_LENGTH = 1139
COMBINATION_TAP_SEL = TRUE
ENDIF
```

```
IF TAP_SEL == 2 & SWITCHING == 3 & CONNECTION == 1 & CURRENT = < 600 & POSITIONS == 11
UCG_TAP_SEL_MODEL = "UCG_TAP_SELECTOR_III-209<UCG_TAP_SELECTOR_III>"
TAP_SELECTOR_LENGTH = 1139
COMBINATION_TAP_SEL = TRUE
ENDIF
```

Kuva 19. Esimerkki selektoreja ohjaavista relaatioista.

8.3.5 Sisäpuolisten osien kokoonpano

Sisäpuolisten osien kokoonpanoa (Kuva 20) varten hyödynnettiin samaa luurankomallia, jota käytettiin ulkopuolisten osien kokoonpanossa. Siihen lisättiin koordinaatit diverterin ja selektorin pituuksille. Molempien pituuksille tehtiin muuttuvat real number -parametrit, jotka muuttuvat relaatioissa määritettyyn mittaan.

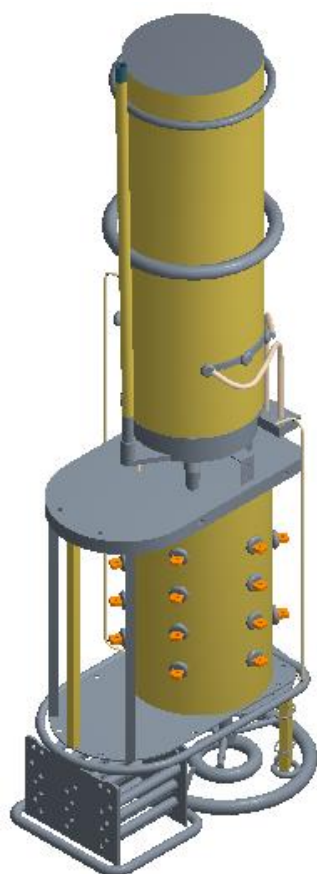
Diverteri paikoitettiin luurankomallin origoon, jolloin se oli juuri oikeassa paikassa siihen kiinnittyvään ylälaippaan nähden. Selektori paikoitettiin kiinni diverterin pituuden mukaan tehtyyn koordinaatistoon. Näin selektori seuraa, missä diverterin alapää menee, vaikka 3D-malli muuttuu lyhyemmän ja pidemmän välillä.

Selektorin pituutta seuraava koordinaatisto on lisävarusteiden asennusta varten. Se tarvitaan myös layoutiin käämikytkimen koko mitan laskua varten. Lisävarusteita ovat tie-in-resistori ja sen toimintaa ohjaava pot switch. Piirustuksissa kokonaispiirustuksen otetaan huomioon vain diverterin ja selektorin yhteispituus, joten käyttäjän pitää itse huomioida lisävarusteiden mitat.

Osille tehty ohjelmointi piti tarkistaa vertailemalla yhdistelmien kokonaispituuksia ABB Componentsin piirustuksissa oleviin mittoihin /11/. Piirustuksia käytiin läpi myös Mechanical Design Systemistä ja ABB:n StartPoint-järjestelmästä. 3D-mallin mitat vastasivat piirustusten mittoja, joten ohjelmointi vaikuttaa luotettavalta.

Layoutiin haluttiin myös mahdollisuus valita käämikytkimen osat tiedostonimien perusteella. Valinta ohittaa syöttökenttiin syötetyt arvot ja lisää halutun osan, vaikka yhdistelmä ei olisi muuten mahdollinen. Se on hyödyllinen tulevaisuudessa, jos tulee tarve kokeilla jotain uutta ja erilaista yhdistelmää.

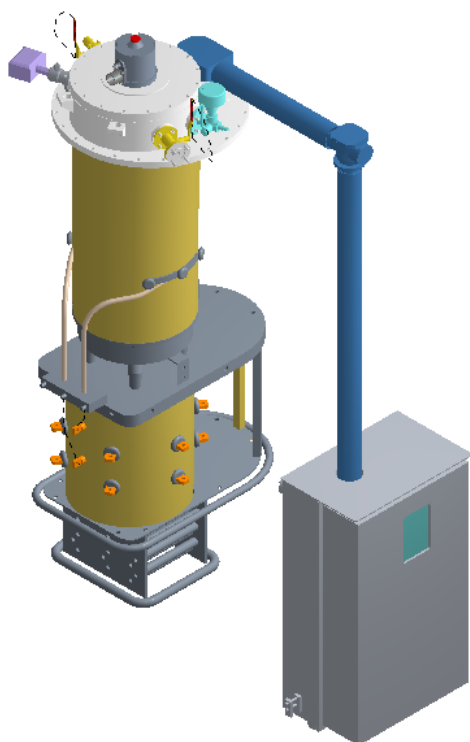
Lopuksi lisävarusteet paikoitettiin kiinni selektorin koordinaatistoon. Niille tehtiin liikkuvat koordinaatistot, joiden avulla käyttäjä saa itse paikoittaa ne haluttuihin kohtiin x-, y- ja z-suunnissa. Layoutissa paikoitusmitat ovat automaattisesti nollassa ja osien lisäystä ohjataan YES/NO-parametrillä.



Kuva 20. Sisäpuolisten osien kokoonpano.

8.4 Viimeistely

Viimeistely alkoi pääkoonpanon tekemisellä. Ulko- ja sisäosien alikokoonpanot paikoitettiin kiinni toisiinsa (Kuva 21). Tähän ei tarvittu luurankomallia, koska alikokoonpanot eivät tule liikkumaan suhteessa toisiinsa. Diverterin yläpinta on aina kiinni ylälaipan alapintaa vasten.



Kuva 21. Esimerkki valmiista kokoonpanosta.

Käytännönsuuden aikana layouttiin oli lisätty tarvittavat parametrit alustaviin taulukoihin. Taulukot viimeisteltiin järjestelmälliseen muotoon ja ne otsikoitiin tilauslomakkeen mukaiseen järjestykseen. Käytön helpottamisen kannalta taulukon sarakkeet tehtiin niin, että kaikki syötettävät arvot ovat pystysuorasti samassa linjassa.

Layouttiin tehtiin lopuksi havainnollistavia 2D-kuvia. Niiden tarkoitus on osoittaa, mitä taulukoiden syöttökentillä voidaan säätää. Kaikki layoutin sisältö saatiin sovitetu Creossa A3-kokoisen lomakkeen sisään ja se on selkeä myös A4-kokoisena tulostuksena (Liite 1). Näin layoutista voidaan tarvittaessa ottaa kopio suoraan ilman tulostusasetuksien säätöä.

9 SAADUT TULOKSET

UCG-tyyppin käämikytkimelle saatiin tehtyä valmiiksi oma layout, josta valinnat saadaan tehtyä helposti ja nopeasti. Layout tehtiin ulkoasultaan sellaiseksi, että käyttö olisi mahdollisimman yksinkertaista. Työkalu on toimintavarma, kun käyttäjä saa itse valita ja syöttää kaikki arvot.

Lisävalintojen avulla voidaan helposti valita tarvittavat oheiskomponentit sen sijaan, että ne pitäisi paikoittaa yksitellen kokoonpanoon. Infotekstit ja 2D-kuvat toimivat suunnittelijan apuna, jos jonkin syöttöarvon vaikutus on muuten epäselvä. Komponenttien kääntömahdollisuus kannatti myös lisätä tulevaisuutta varten, kun osia ei enää paikoiteta manuaalisesti.

Käämikytkimen kokoonpanomalli saatiin tehtyä huomattavasti kevyemmäksi tiedostoksi ja se tulee osaltaan parantamaan muuntajan 3D-mallin liikuttelua ja lyhentämään sen latausaikaa. Esimerkiksi moottoriohjainten mallintaminen yksiksi osiksi vähensi osien määrää.

Kaikki UCG-käämikytkimen suunnitteluun tarvittava materiaali löytyy yhdestä kansioista. Käämikytkimen asennuskokoonpano on tehty samanlaiseen muotoon kuin kaikki muut muuntajan asennuskokoonpanot. Se voidaan paikoittaa kiinnikannen laippaan ja kaikki muu liikkuu automaattisesti luurankomallin avulla.

Parametrit nimettiin kuvaamaan muutettavaa kohdetta mahdollisimman hyvin. Jos layoutissa tullaan säätämään jotain, onnistuu se ilman suurempaa perehtymistä aiheeseen. Relaatiokoodista tuli suhteellisen laaja, kun jokaiselle instanssille lisättiin oma IF-lause. Kokeneempi ohjelmoija olisi voinut tehdä koodin huomattavasti lyhyempään muotoon, mutta tämä ulkoasu on käyttöystävällisempi ja helpommin muokattavissa layoutia pääosin käyttäville koneinsinööreille.

Saadut tulokset ovat hyviä ja kaiken kaikkiaan layout tulee helpottamaan käämikytkimeen liittyvää suunnittelua. Kaikista tärkeintä on, että se tulee karsimaan pois vääränmallisten käämikytkinten tilauksen. Koko käämikytkimen mitan näyttämisen layoutissa auttaa myös hahmottamaan, miten se tulee sopimaan säiliöön.

Jatkokehityksenä tullaan tekemään muutamia lisäyksiä kansikokoonpanon layoutiin. Käämikytkin kiinnitetään kannessa olevaan kiinnityslaippaan ja niiden väliin tulee tiiviste. Paikoitukset tehdään 3D-mallissa koordinaatistojen avulla. Kannen layoutiin tullaan tekemään valinnat käämikytkimen kiinnityslaipalle ja tiivisteelle. Tavoitteena on, että kiinnityslaippa ja tiiviste valikoituvat automaattisesti käämikytkimen layoutissa valitun käämikytkimen mukaan.

Lisäksi kannen layoutiin tullaan tekemään kulmavaihteen tukiraudalle relaatio, jonka avulla se paikoitetaan käyttöakselien asennon mukaan. Näiden jatkokehitysten jälkeen layoutiin tehdään uudet sivut muille käämikytkintyypeille. Ne tehdään vastaavalla tavalla kuin tässä opinnäytetyössä tehty UCG-tyyppi.

10 YHTEENVETO

Tavoitteisiin listatut asiat ja suunnitellut työvaiheet saatiin toteutettua hyvällä lopputuloksella. Suunnittelutyökalusta tuli onnistunut ja sen toiminta vaikuttaa luotettavalta. UCG-käämikytkimen kansio tullaan siirtämään muuntajatehtaan järjestelmiin, josta se on kaikkien suunnittelijoiden käytettävissä osana layout-suunnittelua.

Olen tyytyväinen saatuihin tuloksiin ja siihen, että onnistuin saamaan työkalusta toimivan. Ennen työn aloitusta minulla ei ollut aikaisempaa kokemusta relaatioiden ohjelmoinnista tai IF-lauseiden käytöstä. Parametrit olivat tulleet vähän tutummiksi kesätöissä ja koulun ohella tehtyjen töiden aikana. IF-lauseet ja relaatiot olivat kuitenkin hyvin ymmärrettävissä aiheeseen perehtymisen jälkeen.

Sain opinnäytetyön aikana erittäin hyvää tukea, ohjausta ja opastusta. Kokonaisuudessaan työ oli todella opettavainen ja opin paljon suunnitteluun, mallinnukseen ja ohjelmointiin liittyvistä yksityiskohdista. Ymmärrän nyt, miten hyödyllisiä layoutit ovat suunnittelun tehokkuudessa. Tehokkuus on tärkeässä osassa siinä, että Suomessa ja Vaasassa voidaan suunnitella ja valmistaa muuntajia kilpailukykyisesti.

Työn edistyessä opin itsenäisesti selvittämään, mistä koodissa olleet vikatilanteet johtuivat ja mitä muutoksia niiden korjaamiseksi tuli tehdä. Työ eteni ilman suurempia vastoinkäymisiä. Suurin muutos piti tehdä, kun diverterien IF-lauseisiin piti tehdä virta-arvon tilalle lyhyemmän käämikytkimen valinta. Se aiheutti vähän lisätyötä, kun kaikki diverterit piti käydä läpi. Hyödynsin muutostyössä aiemmin tallentamaani family tablen Excel-kopiota.




Lisätyöltä olisi välttytty, jos olisin perehtynyt paremmin diverterien ja selektorien ominaisuuksiin ennen ohjelmoinnin aloitusta. Se pitää ottaa huomioon, kun muiden käämikytkintyyppien layouteja ohjelmoidaan.

Haluan kiittää ABB:n muuntajatehdasta mielenkiintoisesta ja monipuolisesta opinnäytetyön aiheesta. Olin aluksi epäileväinen osaamisestani sähköiseen käämikytkimeen liittyvään työhön. Myös ohjelmointi oli uutta, mutta lopulta kokonaisuudessa oli myös iso osa vaiheita, joissa koneinsinöörin opinnoista oli paljon hyötyä.

LÄHTEET

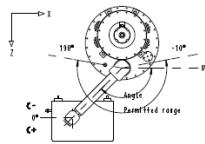
- /1/ About ABB. ABB. Viitattu 11.02.2020. <https://new.abb.com/about>
- /2/ Suomalaiset juuret: Strömbergin jalanjäljillä vuodesta 1889. ABB. Viitattu 11.02.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>
- /3/ ABB Suomessa. ABB. Viitattu 11.02.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- /4/ ABB Oy, Transformers. Varmaa virtaa maailmanlaajuisesti. ABB. Viitattu 12.02.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/transformers>
- /5/ ABB Power Grids Finland Oy. ABB. Viitattu 12.02.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-power-grids-finland>
- /6/ Muuntajatekniikan perusteet. ABB:n sisäinen koulutusmateriaali. Viitattu 14.02.2020.
- /7/ Technical guide. On-load tap-changers, type UC. ABB. Viitattu 01.03.2020. <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1ZSC000562-AAW&LanguageCode=en&DocumentPartID=&Action=Launch>
- /8/ Top-Down Design: And Its History. Design Engine. Viitattu 17.02.2020. <https://design-engine.com/top-down-design-brief-history/>
- /9/ Creo Parametric. PTC. Viitattu 17.02.2020. <https://www.ptc.com/en/products/cad/creo>
- /10/ Boolean Algebra. Wolfram Mathworld. Viitattu 17.02.2020. <http://math-world.wolfram.com/BooleanAlgebra.html>
- /11/ On-load tap changers type UCG. ABB Components. Viitattu 04.03.2020. <https://new.abb.com/products/transformers/transformer-components/tap-changers-and-switches/conventional-on-load-tap-changers/on-load-tap-changers-type-ucg>
- /12/ Compas Product Selector. ABB. Viitattu 04.03.2020. <http://compasproductselector.abb.com/compasweb/Compas.aspx>

LIITE 1 (UCG-käämikytkimen layout)

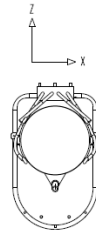
1. TAP CHANGER GENERAL DATA		NOTES
AC/AD - ELECTRIC DATA/PLACEMENT		See the additional table for detailed characteristics and technical data
1.1. CONNECTION	1	1 = N / 2 = E,T / 3 = B (1-PHASE) / 4 = B (2-PHASE)
AG - TYPE OF SWITCHING		 Linear switching  Reversing change-over selector plus/minus  Change-over selector coarse/fine
1.2. SWITCHING	1	1 = L (Linear) / 2 = R (Plus/Minus) / 3 = D (Coarse/Fine)
BA - OLTC TYPE DESIGNATION		
1.3. TAP SELECTOR	1	1 = C / 2 = III / 3 = I
1.4. INSULATION LEVEL	1	1 = 380 / 2 = 650 / 3 = 750 / 4 = 1050
1.5. SHORT VERSION	FALSE	
BC - ELECTRICAL DATA		
1.6. NUMBER OF POSITIONS	11	
1.7. STEP VOLTAGE	1200.0	
1.8. RATED THROUGH CURRENT	300.0	

2. TAP CHANGER MODEL NAMES		NOTES
2.1. USE AUTOMATIC SELECTIONS ACCORDING TO GENERAL DATA	TRUE	
2.2. DIVERTER SWITCH MODEL NAME	OLTC_DIVERTER_UCG_C-5_CC	
2.3. INSERT DIVERTER LENGTH	1192.0	
2.4. TAP SELECTOR MODEL NAME	UCG_TAP_SELECTOR_C-2<UCG_TAP_SELECTOR_C>	
2.5. INSERT SELECTOR LENGTH	959.0	

3. MOTOR-DRIVE AND SHAFT ANGLES		NOTES
3.1. MOTOR-DRIVE X DISTANCE	930.0	Distance from bevel gear in X-direction (mm)
3.2. MOTOR-DRIVE Y DISTANCE (HEIGHT)	1200.0	Vertical shaft length (mm)
3.3. MOTOR-DRIVE Z DISTANCE	-88.0	Distance from bevel gear in Z-direction (mm)
3.4. BEVEL GEAR ANGLE	-5.4	Current angle display
3.5. MOTOR-DRIVE UNIT	2	1 = BUL / 2 = BUE
3.6. MOTOR-DRIVE ROTATION ANGLE	90.0	Motor-drive unit rotation

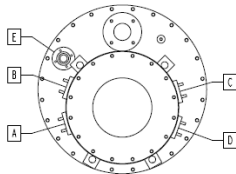


4. TIE-IN-RESISTOR AND POT SWITCH		NOTES
4.1. ADD TIE-IN-RESISTOR	FALSE	
4.1.1. MOVE IN X-DIRECTION	0.0	
4.1.2. MOVE IN Y-DIRECTION	0.0	
4.1.3. MOVE IN Z-DIRECTION	0.0	
4.1.4. ROTATION ANGLE	0.0	
4.2. ADD POT SWITCH	FALSE	
4.2.1. MOVE IN X-DIRECTION	0.0	
4.2.2. MOVE IN Y-DIRECTION	0.0	
4.2.3. MOVE IN Z-DIRECTION	0.0	
4.2.4. ROTATION ANGLE	0.0	

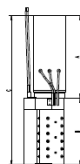


5. TOP SECTION AND ACCESSORIES		NOTES
BO - TOP SECTION		
5.1. MOUNTING TYPE	1	1 = COVER / 2 = ACTIVE
BT - SUPERVISORY DEVICES (SEE LISTING)	COMPONENT	ANGLE
5.2. CONNECTION A	9	0.0
5.3. CONNECTION B	6	0.0
5.4. CONNECTION C	2	0.0
5.5. CONNECTION D	1	0.0
5.6. CONNECTION E	2	0.0
5.7. ADD PRESSURE RELIEF DEVICE	FALSE	0.0

POSSIBLE TOP SECTION ACCESSORIES		
0	Blind cover	
1	Thermoswitch and temperature relay	
2	Drain valve	
3	Air release valve	
4	Temperature sensor	
5	Temp sensor and air release valve	
6	Pressure relay	
7	Temp sensor and pressure relay	
8	Filter drain valve	
9	Empty connection	



6. TAP CHANGER LENGTH		
6.1. DIVERTER SWITCH LENGTH (A)	1192.0	
6.2. TAP SELECTOR LENGTH (B)	959.0	
6.3. TOTAL TAP CHANGER LENGTH (C)	2151.0	



NOTE: Tie-in-resistor and pot switch dimensions not considered in the length display