



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Johannes Sjöblom

TEHOMUUNTAJAN KÄÄMIKYTKIN-  
HUOLLON PROSESSIN KEHITTÄMI-  
NEN

Tekniikka  
2017

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Johannes Sjöblom
Opinnäytetyön nimi	Tehomuuntajan käämikytkinhuollon prosessin kehittäminen
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	59 + 1 liitettä
Ohjaajat	Kari Jokinen & Janne O. Lehtonen

---

Opinnäytetyö tehtiin Vaasan ABB Oy:lle. Työn tarkoituksena oli kehittää erityisesti käämikytkinhuollon raportointia, sekä tehdä eri mallien huolto-ohjeista tiivistetyt versiot.

Työssä selvitettiin vanhoja huoltoraportteja lukemalla ja asentajia haastatteleamalla huoltojen kohteena olevat käämikytkinmallit, joiden pohjalta päivitettiin raportointiin käytettävää pöytäkirjapohjaa. Pöytäkirjapohja toteutettiin Excelillä muokkaamalla käytössä ollutta vanhaa versiota. Pöytäkirjapohjan päivityksen tarkoituksena oli tehdä siitä älykäs ja käyttäjäystävällinen.

Pöytäkirjapohjaa Excelillä tehdessä huomattiin, että ohjelmaa ei ole välttämättä tarkoitettu niin laajan raporttipohjan tekoon. Pöytäkirjapohjasta saatiin kuitenkin tehtyä sähköistä raportointia helpottava ja nopeuttava.

## ABSTRACT

Author	Johannes Sjöblom
Title	The Development of On-load-Tap Changer Service for Power Transformers
Year	2017
Language	Finnish
Pages	59 + 1 Appendices
Name of Supervisors	Kari Jokinen & Janne O. Lehtonen

---

The thesis was made for ABB Oy Vaasa. The purpose of this thesis was to develop the service of on-load tap changer for power transformers, in particular the reporting. The aim was also to make shortened versions of maintenance guides for different on-load tap changer models.

The different on-load tap changer models subject to maintenance we're determined out by reading old maintenance reports and by interviewing maintenance personnel. Based on this the record used for reporting was updated. The record was made with Excel by editing an old record used for reporting before. The purpose of updating the record was to make it intelligent and user friendly.

When making the record with Excel it was noticed, that the program was not necessarily intended for making such an extensive record. However the record was finished in such way that it made the electronic reporting easier and faster.

---

Keywords	on-load tap changer, voltage reduction, diverter switch, record
----------	---

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Raportointi .....	8
1.2	Pöytäkirjan kehitys.....	8
2	MUUNTAJAN MUUNTOSUHTEEN MUUTTAMINEN .....	9
2.1	Jännitteenaleneman tarkastelu .....	9
2.2	Käämikytkin.....	15
2.2.1	Tehokytkin .....	16
2.2.2	Valitsin .....	20
2.3	Tehovalitsin.....	20
2.4	Väliottokytin .....	21
3	KÄÄMIKYTKIN- JA MOOTTORIOHJAIN TYYPIT.....	23
3.1	ABB:n tyypit.....	24
3.1.1	Tyyppi UBB .....	24
3.1.2	Tyypit UCG ja UCL.....	25
3.1.3	Tyyppi UZ.....	26
3.2	Maschinenfabrik Reinhausen tyypit .....	27
3.2.1	Tyyppi C .....	27
3.2.2	Tyyppi D .....	28
3.2.3	tyypit M ja MS .....	29
3.2.4	Tyypit R ja RM .....	30
3.2.5	Tyyppi V .....	31
3.3	Trafo-Union tyyppi CRND .....	32
4	HUOLTOTOIMET.....	34
4.1	ABB:n käämikytinten huoltotoimet.....	34
4.1.1	Tyypin UBB huoltotoimet.....	34
4.1.2	Tyypin UCG ja UCL huoltotoimet .....	36
4.1.3	Tyypin UZ huoltotoimet .....	37

4.2	Maschinenfabrik Reinhausen käämikytkinten huoltotoimet .....	38
4.2.1	Tyypin C huoltotoimet .....	38
4.2.2	Tyypin D huoltotoimet .....	40
4.2.3	Tyypin M ja MS huoltotoimet .....	41
4.2.4	Tyypin R ja RM huoltotoimet .....	43
4.2.5	Tyypin V huoltotoimet .....	45
4.3	Moottoriohjainten huoltotoimet .....	47
5	PÖYTÄKIRJAPOHJA .....	49
5.1	Toteutustavan selvitys .....	50
5.2	Toteutus .....	51
5.3	Valmis pöytäkirjapohja .....	55
6	POHDINTA .....	57
	LÄHTEET .....	58

## LIITTEET

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Muuntajan sijaiskytkentä	10
<b>Kuva 2.</b> Muuntajan sijaiskytkentä ja käämikytkin	11
<b>Kuva 3.</b> Periaatteellinen vektorikuva jännitteenalenemasta	12
<b>Kuva 4.</b> Muuntaja varustettuna käämikytkimellä	16
<b>Kuva 5.</b> UCG-tyypin tehokytkin	17
<b>Kuva 6.</b> Asennonvaihtosekvenssi kohta a /1, s. 196/	18
<b>Kuva 7.</b> Asennonvaihtosekvenssi kohdat b – c /1, s. 196/	19
<b>Kuva 8.</b> Asennonvaihtosekvenssi kohdat d – e /1, s. 196/	19
<b>Kuva 9.</b> UZ-tyypin käämikytkin	21
<b>Kuva 15.</b> UBB-tyypin käämikytkin /5/	25
<b>Kuva 16.</b> UCG- ja UCL-tyypin käämikytkimet /7, 8/	26
<b>Kuva 17.</b> UZ-tyypin käämikytkin /10/	27
<b>Kuva 10.</b> C-tyypin käämikytkin /12/	28
<b>Kuva 11.</b> D-tyypin käämikytkin /14/	29
<b>Kuva 12.</b> M- ja MS-tyypin käämikytkimet /16, 17/	30
<b>Kuva 13.</b> R- ja RM-tyypin käämikytkimet /19, 20/	31
<b>Kuva 14.</b> V-tyypin käämikytkin /22/	32
<b>Kuva 18.</b> CRND-tyypin käämikytkin	33
<b>Kuva 19.</b> VBA-koodi rivien piilottamisen/näyttämisen makrolle	52
<b>Kuva 20.</b> Tyyppien lisäys VBA:ssa	52
<b>Kuva 21.</b> Makrojen liittäminen tyypeihin	53
<b>Kuva 22.</b> Valintamerkin liittäminen soluihin	53
<b>Kuva 23.</b> Vaihtopainikkeen koodi	54
<b>Kuva 24.</b> Kuvien lisäämisen koodi	54
<b>Kuva 25.</b> PDF:n tallennus- ja lähetyskoodi	55
<b>Taulukko 1</b> Esimerkkimuuntaja 110/21 kV	14
<b>Taulukko 2.</b> Käämikytkin- ja moottoriohjaintyyppien osuus huolloista	23
<b>Taulukko 3.</b> Käämikytkin, huoltokohdat	49
<b>Taulukko 4.</b> Ohjain, huoltokohdat	50

**LIITELUETTELO****LIITE 1. Pöytäkirjapohja**

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää ABB Oy Transformer Servicen käämikytkinhuoltoa ja sen raportointia. Käämikytkintä käytetään muuntajan muuntosuhteen muuttamiseen. Käämikytkinhuoltoja tehdään Vaasan muuntajatehtaan suurmuuntajahuollossa muuntajien perushuoltojen yhteydessä, sekä asiakkaiden luona kentällä. Jokaisesta huollosta tehdään pöytäkirja, johon merkitään suoritettavat huoltotoimenpiteet. Työssä keskitytään käämikytkintyyppeihin, joihin toimeksiantaja suorittaa huoltoja.

## 1.1 Raportointi

Käämikytkinhuollon prosessia on katsottu tarpeelliseksi kehittää, erityisesti raportoinnin kohdalta. Raportoinnissa ollaan siirtymässä käsinkirjoitetuista pöytäkirjoista sähköiseen muotoon. Nykytilassa käsinkirjoitetut pöytäkirjat tallennetaan sähköiseen muotoon joko skannaamalla tai kuvaamalla, jolloin pöytäkirjojen luettavuus kärsii. Tämä tarkoittaa myös ylimääräistä työtä, verrattuna suoraan sähköiseen muotoon kirjoitettuun pöytäkirjaan.

## 1.2 Pöytäkirjan kehitys

Pöytäkirjan kehityksessä haluttiin tehdä pöytäkirjasta helposti muokattava ja käytäjäystävällinen. Muokattavuudella tarkoitetaan pöytäkirjan tiettyjen osien poisjättämistä, riippuen minkä käämikytkintyyppin huollosta ollaan raportoimassa. Käsinkirjoitettavaa pöytäkirjaa käytettäessä ei ole mahdollista jättää tiettyjä kohtia kokonaan pois näkyvistä, vaikka kyseisen huollon kohteena olevasta käämikytkimestä ei kohtien osia löytyisi, tai niihin ei päästäisi käsiksi. Tämän takia asiakkaat saattavat ihmetellä, miksi joitain käämikytkimen osia ei ole huollettu, vaikka siihen ei ole ollut mahdollisuutta. Pöytäkirjapohja tehtiin Excelillä muokkaamalla aiemmin käytössä ollutta pohjaa, joka muokattiin mukautumaan käämikytkintyyppiä valitessa. Pöytäkirjapohjan tekoa varten tutustuttiin Excel VBA-ohjelmointiin.



## 2 MUUNTAJAN MUUNTOSUHTEEN MUUTTAMINEN

Lähes kaikissa muuntajissa käytetään jotain tapaa niiden muuntosuhteen  $\mu = N_1 / N_2$  muuttamiseen käämikierrosten lisäämisen tai vähentämisen avulla. Tämä muutos voidaan tehdä jännitteiselle muuntajalle käämikytkimellä, tai jännitteettömänä väliottokytkimellä. Sähkönsiirtoverkon tehomuuntajissa käytetään yleensä käämikytkintä, koska siirtoverkon tehomuuntajien muuntosuhteen muutto jännitteellisenä on oleellista verkon häiriöttömän toiminnan kannalta. Jännitetasot muuttuvat erisuuruisten tehomäärien siirron seurauksena, siirrettävän tehomäärän kasvaessa jännitteenalenema kasvaa. Jakelumuuntajien muuntosuhteen muuttamiseen käytetään väliottokytkimiä, niiden pienen muuntotarpeen, sekä käämikytkimien kalleuden takia verrattuna väliottokytkimiin. /1/

### 2.1 Jännitteenaleneman tarkastelu

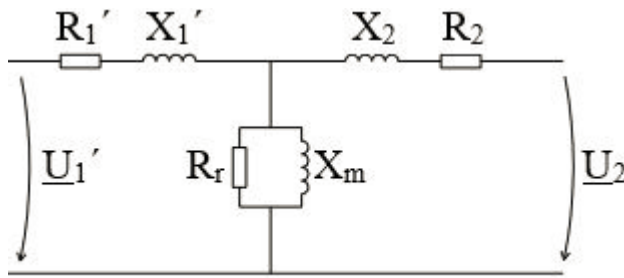
Verkossa kulkevan kuormitusvirran ja verkon impedanssien suuruuksien mukaan tapahtuu jännitteenalenemia verkon eri osissa, esim. siirtojohdoissa ja muuntajissa. Impedanssi  $Z$  voidaan jakaa komponentteihin resistanssi  $R$  sekä reaktanssi  $X$ . Kuvassa 1 muuntajan sijaiskytkentä ja sen komponentit. Jossa  $R_1'$  ja  $X_1'$  kuvaavat ensiökäämin resistanssia ja hajareaktanssia toisioon redusoituna, eli todellinen arvo kerrottuna muuntosuhteen neliöllä  $(N_2/N_1)^2$ .  $X_2$  ja  $R_2$  kuvaavat toisiokäämin resistanssia ja hajareaktanssia, nämä hajareaktanssit kuvaavat sitä hajavuota, joka ei kulje toisen käämin läpi.  $\underline{U}_1'$  kuvaa ensiöjännitettä redusoituna toisiojänniteporttaaseen ja  $\underline{U}_2$  toisiojännitettä.  $R_r$  kuvaa rautahäviöitä, eli hystereesi- ja pyörrevirtahäviöitä ja  $X_m$  magnetointireaktanssia, joka kuvaa päävuota, joka kulkee sekä ensiö- että toisiokäämin läpi rautasydämessä. Komponentit voidaan yksinkertaistaa käsin laskemista varten seuraavien kaavojen mukaan. /2/

$$R_k = R_1' + R_2 \quad (1)$$

$$X_k = X_1' + X_2 \quad (2)$$

$$Z_k = R_k + X_k \quad (3)$$

$$Z_0 = R_r // X_m \quad (4)$$



**Kuva 1.** Muuntajan sijaiskytkentä

Näiden komponenttien avulla voidaan tarkastella muuntajassa tapahtuvaa jännitteenalennemaa  $\Delta U$  laskukaavan avulla. Tällöin muuntajan magneetoimishaaran läpi menevä magneetoimisvirta voidaan olettaa niin pieneksi, että  $R_r$  ja  $X_m$  voidaan tarkastelussa unohtaa. /2/

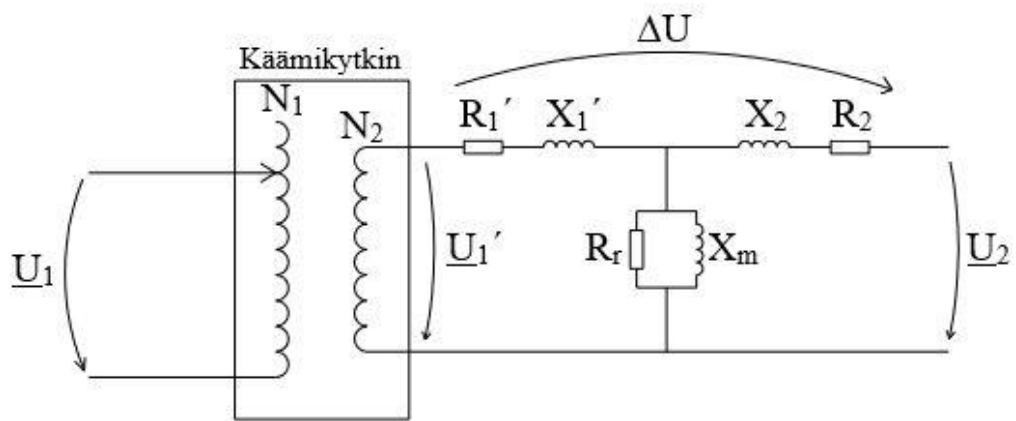
$$\Delta U = R_k * I * \cos\varphi + X_k * I * \sin\varphi \quad (5)$$

Kaavassa  $I * \cos\varphi$  kuvaa pätövirtaa, joka on verrannollinen pätötehoon,  $I * \sin\varphi$  kuvaa loisvirtaa, joka on verrannollinen loistehoon, jännitteen pysyessä nimellisenä. Tämän perusteella voidaan todeta tehonlaadun vaikuttavan verkon eri osiin eri lailla, riippuen kyseisen verkon osan resistanssin ja reaktanssin suuruuksista. /2/

Kuvassa 2 esitetään käämikytkin ja muuntajan sijaiskytkentä, jossa  $N_1$  kuvaa ensiökäämiä, johon käämikytkin on liitetty, ja  $N_2$  toisiokäämiä. Ensiökäämin kierroslukua muuttamalla saadaan toisiokäämin jännitettä  $\underline{U}_2$  säädettyä. Kuvassa 2 on ensin suoraan kierroslukusuhteella jännitteen muuttava ideaalinen muuntaja, jonka toisiojännitettä merkitään  $\underline{U}_1'$ . /2/

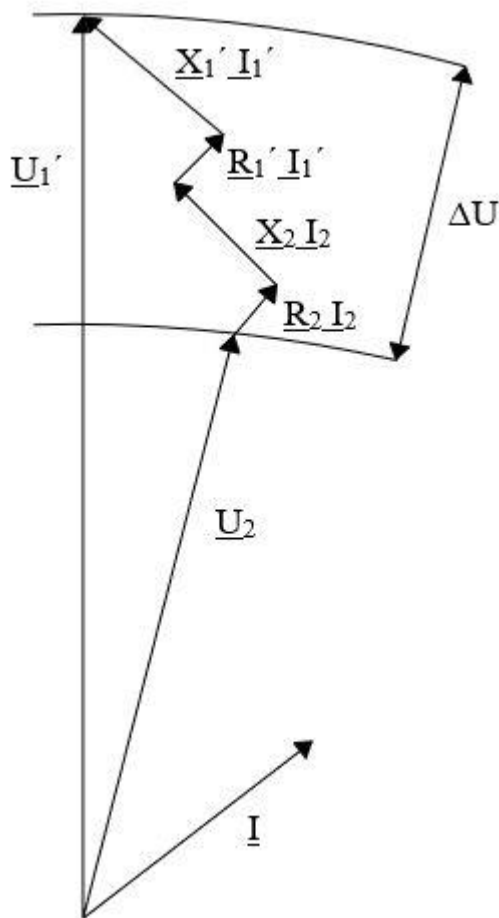
$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_1'}, \text{ josta saadaan } U_1' = \frac{N_2 * U_1}{N_1} \quad (6)$$

Todellinen toisiojännite  $\underline{U}_2$  on  $\underline{U}_1'$  vähennettynä muuntajan oikosulkuimpedanssissa  $Z_k$  tapahtuvalla jännitehäviöllä. Tämän perusteella voidaan todeta, että vähentämällä ensiökäämin  $N_1$  kierroslukua, saadaan toisiokäämin jännitettä  $\underline{U}_2$  nostettua ja päinvastoin. /2/



**Kuva 2.** Muuntajan sijaiskytkentä ja käämikytkin

Kuvassa 3 periaatteellinen vektorikuva muuntajan pitkittäiskomponenteissa tapahtuvasta jännitteenalenuemasta.



**Kuva 3.** Periaatteellinen vektorikuva jännitteenalenemasta

Muuntajille suoritetaan oikosulku- ja tyhjäkäyntikoe, joiden avulla saadaan taulukossa 1 esitetyt arvot. Oikosulkukokeella määritetään oikosulkuimpedanssin ja virtalämpöhäviöiden arvot. Kokeessa muuntajan toisiopuoli oikosuljetaan, ja ensiöpuolelle syötetään jännite  $U_k$ , jolla kulkee nimellisvirran suuruinen oikosulkuvirta  $I_k$ . Suhteellinen oikosulkuimpedanssi  $z_k$  saadaan oikosulkukokeen jännitteen  $U_k$  ja nimellisjännitteen  $U_N$  suhteesta. Oikosulkuimpedanssi  $Z_k$  saadaan suhteellisen oikosulkuimpedanssin ja muuntajan nimellisimpedanssin  $Z_N$  tulosta seuraavien kaavojen mukaisesti. /2/

$$z_k = \frac{U_k}{U_N} \quad (7)$$

$$Z_N = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot I_N} \quad (8)$$

$$Z_k = z_k * Z_N = z_k * \frac{U_N^2}{\sqrt{3} * U_N * I_N} = z_k * \frac{U_N^2}{S_N} \quad (9)$$

Virtalämpöhäviöt  $P_k$  saadaan nimellisvirran  $I_N$  ja ensiö- ja toisiokäämin yhteenlasketun oikosulkuvastuksen  $R_k$  tulosta. /2/

$$P_k = 3 * R_k * I_N^2 \quad (10)$$

Tyhjäkäyntikokeen mittausten perusteella määritetään muuntajan tyhjäkäyntiteho  $P_0$ , joka muodostuu ensiön virtalämpöhäviöistä ja rautahäviöistä, sekä sijaiskytkennän arvot  $R_r$  ja  $X_m$ . Tyhjäkäyntivirran  $I_0$  ollessa usein hyvin pieni, voidaan tyhjäkäyntitehon katsoa olevan  $P_0 \approx P_r$ , jossa  $P_r$  tarkoittaa rautahäviöitä. Kokeessa muuntaja on kuormittamaton ja muuntajaa syötetään nimellisjännitteellä, jolloin mitataan tyhjäkäyntiteho ja virta. /2/

$$P_0 = 3 * \frac{\left(\frac{U_N}{\sqrt{3}}\right)^2}{R_r} = \frac{U_N^2}{R_r} \quad (11)$$

$$R_r = \frac{U_N^2}{P_0} \quad (12)$$

$$I_0 = \frac{S_0}{\sqrt{3} * U_N} \quad (13)$$

$$Z_0 = \frac{U_N}{\sqrt{3} * I_0} \quad (14)$$

$$X_m = \sqrt{\left(\frac{1}{Z_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{R_r}\right)^2} \Rightarrow X_m = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{Z_0^2} - \frac{1}{R_r^2}}} \quad (15)$$

Kokeesta saadaan myös muuntajan suhteellinen tyhjäkäyntiteho  $s_0$ .

$$s_0 = 100 * \frac{S_0}{S_N} \% \quad (16)$$

Tarkastellaan tehonlaadun vaikutusta taulukon 1 esimerkkimuuntajan jännitteen alenemaan.

**Taulukko 1** Esimerkkimuuntaja 110/21 kV

Teho/MVA	P <sub>0</sub> /kW	P <sub>k</sub> /kW	z <sub>k</sub> /%	S <sub>0</sub> /%
10	9,0	60	10	0,40

Lasketaan muuntajan oikosulkuresistanssi ja oikosulkureaktanssi. Ensin lasketaan oikosulkuimpedanssi  $Z_k$  suhteellisen oikosulkuimpedanssin  $z_k$  avulla, sekä suhteellinen oikosulkuresistanssi  $r_k$  virtalämpöhäviöiden  $P_k$  avulla. /2/

$$Z_k = \frac{z_k}{100} * \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{10}{100} * \frac{21\,000^2 \text{ V}}{10\,000\,000 \text{ VA}} = 4,41 \, \Omega \quad (17)$$

$$r_k = 100 * \frac{P_k}{S_n} \% = 100 * \frac{60\,000 \text{ W}}{10\,000\,000 \text{ VA}} \% = 0,6 \% \quad (18)$$

Oikosulkuresistanssi  $R_k$  voidaan laskea virtalämpöhäviöiden ja nimellisvirran avulla, seuraavien kaavojen mukaan. /2/

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} * U_N} = \frac{10\,000\,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} * 21\,000 \text{ V}} = 274,93 \text{ A} \quad (19)$$

$$R_k = \frac{P_k}{3 * I_N^2} = \frac{60\,000 \text{ W}}{3 * 274,93^2 \text{ A}} = 0,26 \, \Omega \quad (20)$$

Oikosulkureaktanssi  $X_k$  saadaan edellisistä Pythagoraan lauseella.

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{4,41^2 \Omega - 0,26^2 \Omega} \approx 4,40 \, \Omega \quad (21)$$

Komponentit  $R_r$  ja  $X_m$  lasketaan seuraavien kaavojen avulla. Ensin lasketaan näennäinen tyhjäkäyntiteho, jonka avulla saadaan tyhjäkäyntivirta, ja tyhjäkäynti-impedanssi. Tyhjäkäyntitehon ja -impedanssin avulla saadaan komponentit  $R_r$  ja  $X_m$ . Komponenttien huomataan olevan niin suuria, että ne voidaan jättää huomioimatta likimääräistarkastelussa. /2/

$$S_0 = \frac{s_0}{100} * S_N = \frac{0,4}{100} * 10\,000\,000 \text{ VA} = 40\,000 \text{ VA} \quad (22)$$

$$I_0 = \frac{S_0}{\sqrt{3} * U_N} = \frac{40\,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} * 21\,000 \text{ V}} = 1,10 \text{ A} \quad (23)$$

$$Z_0 = \frac{U_N}{\sqrt{3} * I_0} = \frac{21\,000 \text{ V}}{\sqrt{3} * 1,10 \text{ A}} = 11\,025 \, \Omega \quad (24)$$

$$R_r = \frac{U_N^2}{P_0} = \frac{21\,000^2 \text{ V}}{9\,000 \text{ W}} = 49\,000 \, \Omega \quad (25)$$

$$X_m = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{Z_0^2} - \frac{1}{R_r^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{11\,025^2 \, \Omega} - \frac{1}{49\,000^2 \, \Omega}}} = 11\,315 \, \Omega \quad (26)$$

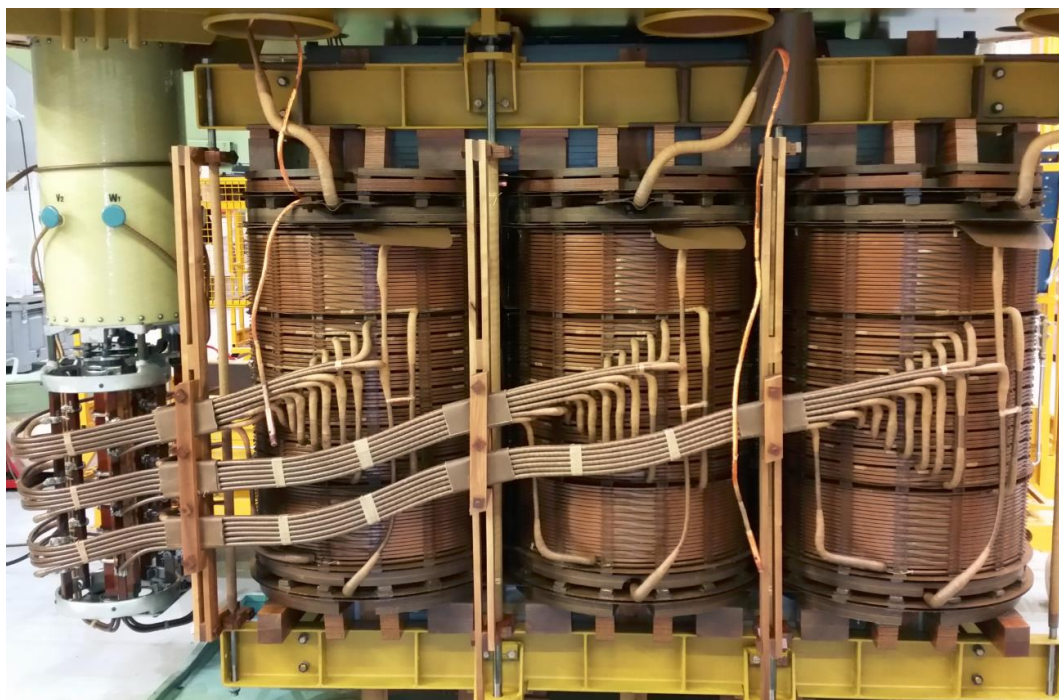
Oikosulkuresistanssin ja oikosulkureaktanssin suuruuksista huomataan oikosulku-reaktanssin olevan yli 16-kertainen verrattuna oikosulkuresistanssiin. Tarkastelemalla jännitteen aleneman kaavaa, nähdään oikosulkureaktanssin kerrottavan loisivirralla. Tämän takia loistehon siirron määrällä on huomattavasti suurempi vaikutus muuntajan jännitteen alenemaan kuin pätötehon määrällä. Tätä jännitteen alenemaa korjataan muuntajan muuntosuhdetta muuttamalla, käämikytkimen avulla.

## 2.2 Käämikytkin

Käämikytkimellä muutetaan muuntajan muuntosuhdetta jännitteellisenä ja kuormitettuna. Muuntosuhdetta muutetaan lisäämällä tai vähentämällä käämien kierroslukua, käämeistä tehtävien haaroitusten avulla. Haaroitukset tehdään yläjännitekäämeihin, koska niissä kulkee pienempi virta kuin alajännitekäämeissä. Haaroitukset johdotetaan käämeiltä käämikytkimen valitsimelle, jossa tehdään säätöasennon valinta. Siirtyminen säätöasennosta toiseen tehdään käämikytkimen tehokytkimessä katkaisematta virran kulkua. Pienemmillä tehoilla käytetään myös käämikytkintyyppiä, jossa asennon valinta ja tehon siirtäminen asennosta toiseen tehdään yhdellä kytkentäjaksolla. Tätä kutsutaan tehovalitsimeksi. Käämikytkintä ohjataan moottoriohjaimen avulla, joka on liitetty käämikytkimeen akselien ja vaihteiden kautta. Moottoriohjain on yleensä asennettu muuntajan kylkeen. Käämikytkintä ohjataan automaattisesti moottoriohjaimen kautta mittaamalla toisiopuolen jännitettä, ja riippuen jännitetasosta, säätökäämityksen kierroslukua lisätään tai vähennetään. Käämikytkimien yleisin säätöalue on  $\pm 9 \times 1,67 \%$ , tätä kutsutaan plus-/miinussäädöksi. /1, 2/

Muuntajan käämeihin tehtävät haaroitukset ja käämikytkimen lisäys nostavat muuntajan hintaa ja alentavat sen käyttövarmuutta. Tämän takia käämikytkimen käyttöä tulisi välttää, jos mahdollista. Muuntaja on perusrakenteeltaan yksinkertainen, eikä siinä ole liikkuvia osia, muuten kuin siinä tapauksessa jos käämikytkin on

asennettu. Käämikytkimen liikkuvien ja kuluvien osien takia, se alentaa muuntajan käyttövarmuutta. Käämikytkin on huomattavasti monimutkaisempi ja kalliimpi kuin väliottokytkin. Kuvassa 4 näkyy muuntaja, jossa on käämikytkin vasemmalla. Kuvassa lasikuitusylinterin sisällä on tehokytkin ja sen alla käämikytkimen valitsin. Kuvasta nähdään käämeiltä valitsimelle johdotettavat haaroitukset. /1/



**Kuva 4.** Muuntaja varustettuna käämikytkimellä

### 2.2.1 Tehokytkin

Tehokytkimellä siirretään kuorma asennosta toiseen katkaisematta virran kulkua. Asentoa vaihdettaessa tehokytkimen koskettimien välille aiheutuu valokaari, tällöin koskettimia ympäröivässä öljyssä tapahtuu hiiltymistä, joka muodostuu valokaaren välittömässä läheisyydessä. Hiiltyminen on suoraan verrannollinen kuormitusvirtaan ja valokaaren keston, tämän takia mahdollisimman pieni toiminta-aika on ihanteellinen. Öljyn hiiltymisen takia tehokytkin sijoitetaan omaan suljettuun säiliöön, jotta koko muuntajan öljy ei pääse saastumaan. Asennosta toiseen siirryttäessä käytetään apuna askelvastuksia, jotka estävät haaroituksia joutumasta oikosulkuun siirtymisen aikana. Askelvastukset mitoitetaan käämien säätöporrasjännitteiden ja nimellisvirran mukaan. Kuvassa 5 UCG-tyypin tehokytkin. /1, 2/

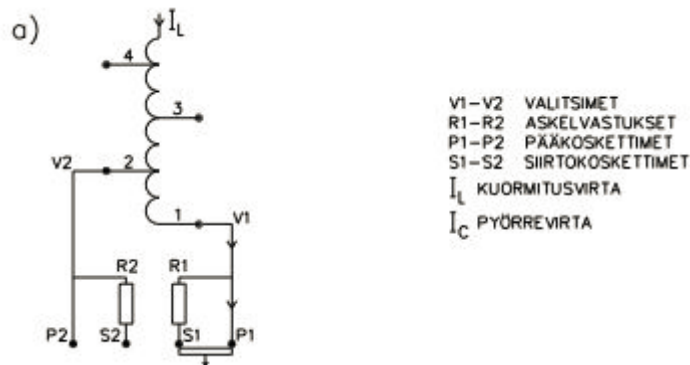




**Kuva 5.** UCG-tyypin tehokytkin

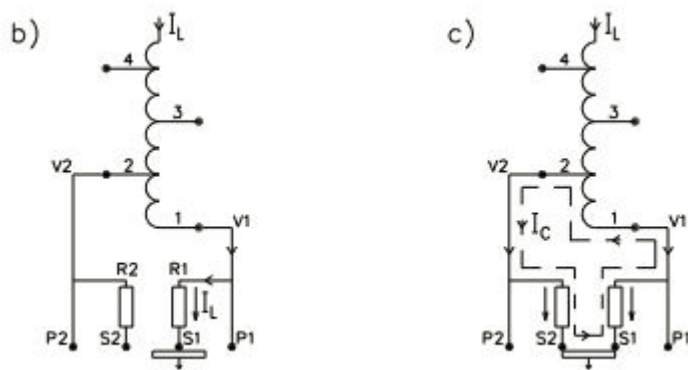
Kuvissa 6 – 8 esitetään sekvenssi asennosta toiseen. Valitsimet V1 ja V2 tarkoittavat valitsimen kytkentävarsia, jotka liikkuvat haaroitusten välillä ja sijaitsevat muuntajakäämien kanssa samassa öljyssä. Askelvastukset R1 ja R2, pääkoskettimet P1 ja P2, sekä siirtokoskettimet S1 ja S2 ovat tehokytkimen osia, joiden avulla tehdään varsinainen tehonsiirto asennosta toiseen. Lähtötilanteessa kohdassa (a) oikeanpuoleinen valitsin on asennossa 1, ja vasemmanpuoleinen asennossa 2, ja kuormitusvirta  $I_L$  kulkee käämin, asennon 1, valitsimen V1 ja pääkoskettimen P1 kautta

tähtipisteeseen. Asennosta 1 asentoon 2 siirryttäessä liikkuva kosketin siirtyy oikealta vasemmalle puolelle. /1, s. 195 – 197/



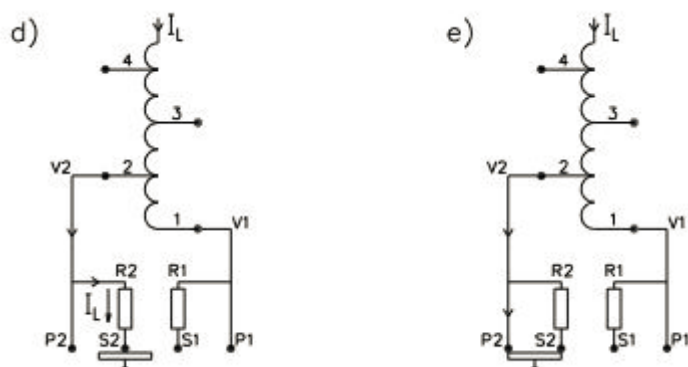
**Kuva 6.** Asennonvaihtosekvenssi kohta a /1, s. 196/

Kohdassa (b) liikkuva kosketin on avannut kosketuksen kiinteän pääkoskettimen P1 kanssa. Näiden kahden koskettimen välille syntyvä valokaari sammuu, kun virran ensimmäinen nollakohta saavutetaan. Tämän jälkeen virta kulkee askelvastuksen R1 kautta. R1 kautta kulkeva virta aiheuttaa palaavan jännitteen liikkuvan koskettimen ja P1 välille. Palaavan jännitteen arvo on  $I_L \cdot R1$ . Tämän takia R1:n arvo olisi hyvä pitää mahdollisimman alhaisena, mutta tarkasteltaessa kohtaa (c) huomataan, että arvon pitäisi olla mahdollisimman iso, pitääkseen pyörrevirran mahdollisimman alhaisena. Tästä johtuen askelvastuksen arvo on kompromissi näiden kahden tilanteen välillä. Kohdassa (c) liikkuva kosketin on kytkeytynyt molempiin askelvastuksiin R1 ja R2, ja pyörrevirta  $I_C$  kulkee asentojen 2 ja 1 välillä. Pyörrevirran arvo on asentojen 2 ja 1 askeljännite jaettuna askelvastusten summalla. Tämän takia askelvastusten summan pitäisi olla mahdollisimman iso, rajoittaakseen pyörrevirtaa. /1, s. 195 – 197/



**Kuva 7.** Asennonvaihtosekvenssi, kohdat b – c /1, s. 196/

Kohdassa (d) liikkuva kosketin on avannut kosketuksen kiinteän siirtokoskettimen S1 kanssa, jälleen syntyvä valokaari sammuu virran nollakohdassa. Palaava jännite on asentojen 2 ja 1 askeljännite vähennettynä askelvastuksen R2 jännitehäviöllä. Kohdassa (e) asennonvaihto on suoritettu, ja kuormitusvirta kulkee valitsimen V2 ja kiinteän pääkoskettimen P2 kautta käämien tähtipisteeseen. /1, s. 195 – 197/



**Kuva 8.** Asennonvaihtosekvenssi kohdat d – e /1, s. 196/

Jos käämikytkimen ohjausta jatkettaisiin asentoon 3, ohjautuisi valitsimen kosketin V1 asentoon 3, ennen kuin tehokytkin suorittaisi edellä mainitut askeleet uudelleen vasemmalta oikealle. /1, s. 195 – 197/

### 2.2.2 Valitsin

Valitsin on häkki tai eristävä sylinteri, jossa on sarja koskettimia, joihin säädettävän käämin haaroitukset kytketään. Valitsimessa on kaksi kosketinvartta, jotka liikkuvat asennosta toiseen haaroituksien välillä. Molemmat kosketinvarret on sähköisesti kytketty tehokytkimen tulonapoihin. Toinen varsista on kytkettynä senhetkiin asentoon ja kantaa kuormitusvirran, tällöin toinen varsista on kuormittamaton ja voi liikkua seuraavaksi tulevaan asentoon. Vapaan varren päästyä paikalleen, voi tehokytkin siirtää kuorman kulkemaan sen kautta. Valitsimen koskettimet eivät katkaise virtaa, jolloin valitsin voidaan sijoittaa samaan öljyyn muuntajakäämien kanssa. /3/

Valitsimissa käytetään kolmea tapaa kierrosluvun säätämiseen, plus-/miinussäätöä, karkea-/hienosäätöä ja lineaarista säätöä. Plus-/miinussäädössä valitsimessa on 3. kosketinvarsi, jota kutsutaan vaihtovalitsimeksi, jolla pääkäämitys voidaan kytkää säätöhaaroitusten toiseen päähän. Tämä kääntää säätöhaaroitusten magneettivuon, jolloin säätöalue saadaan kaksinkertaistettua haaroitusten määrään nähden. Karkea-/hienosäädössä käytetään myös vaihtovalitsinta, mutta tässä sillä kytketään karkea-säätö, joka on säätöhaarointus, jossa on enemmän kierroksia kuin hienosäädön haarointuksissa. Linearisessa säädössä valitsimessa ei ole vaihtovalitsinta, jolloin valitsin kulkee lineaarisesti tehtyjen haaroitusten välillä. /3/

### 2.3 Tehovalitsin

Tehovalitsin on käämikytkintyyppi, jossa asennon valinta ja tehonsiirto tehdään samoilla koskettimilla. Tehovalitsimia käytetään pienemmällä teholla kuin käämikytkimiä, joissa tehokytkin ja valitsin ovat erillisissä tiloissa. Pienemmän tehon seurauksena myös virta on pienempi, ja tämän seurauksena koskettimien kuluminen on vähäisempää kuin suuremmalla teholla. Tästä johtuen on taloudellisesti perusteltua suorittaa asennon valinta ja tehonsiirto samoilla koskettimilla. Tehovalitsimissa kiinteät koskettimet, joihin säätöhaaroitukset tuodaan, on asennettu ympyränmuotoiseen kaareen. Liikkuvat koskettimet kulkevat tätä kaarta pitkin asentojen välillä. Liikkuvia koskettimia on 3, joista uloimmat ovat siirtokoskettimia, joiden ollessa kytkettynä, virta kulkee askelvastusten kautta ja keskimäinen on liikkuva

pääkosketin, jonka kautta virta kulkee asennonvalinnan ollessa lopullisessa tilassa. Liikkuvat koskettimet ovat rullia, jotka liikkuvat kiinteiden koskettimien ylitse. Kuvas-  
sassa 9 on vanha Asean aikainen tehovalitsinperiaatteella (konttikytin) toimiva  
käämikytin. /3/



**Kuva 9.** UZ-tyyppin käämikytin

#### **2.4 Väliottokytin**

Väliottokytintä käytetään muuntajan muuntosuhteen muuttamiseen, muuntajan ollessa jännitteetön. Väliottokytimiä käytetään tavallisimmin jakelumuuntajissa, jolloin voidaan muuntosuhde valita ennen muuntajan asennusta, sähköverkon tiedossa olevien parametrien perusteella tai muutos voidaan tehdä verkon/muuntajan huoltoajankohtana, jolloin muuntaja on saatettu jännitteettömäksi. Väliottokytimiä käytetään myös generaattorimuuntajissa, joissa käytössä ollessaan kuormitus pysyy tasaisena lähellä nimelliskuormitusta. Tämän takia käämikytin ei ole tarpeellinen ja se lisäisi epäluotettavuutta. /1/

Tavallisimmat säätöalueet ovat  $\pm 5$  % tai  $\pm 2 \times 2,5$  %. Väliottokytkintä ohjataan muuntajan kannella olevan ohjaimen (kahva/ratti) avulla. Ohjaimesta lähtee akseli, joka menee muuntajan kannen läpi, ja sen päässä on ratas, joka liikuttaa liukua eri haaroitusten välillä. Kannella olevassa ohjaimessa on lukitus jokaiselle asennolle, ja asentoa muutettaessa on varmistuttava asennon lukittumisesta haluttuun asentoon. Väliottokytkin ei saa jäädä kahden asennon väliin, muuntajan mahdollisen vioittumisen takia. /2/

### 3 KÄÄMIKYTKIN- JA MOOTTORIOHJAIN TYYPIT

Huoltojen kohteena yleisimmin olevia käämikytkintyyppisiä on 12, jonka lisäksi 3-5 tyyppiä, joiden huoltoja tehdään harvemmin kuin vuosittain. Yleisimmät tyypit jakaantuvat ABB:n 4 tyyppiin, MR:n (Maschinenfabrik Reinhausen) 7 tyyppiin ja TU:n (Trafo Union) 1 tyyppiin. Harvoin huoltojen kohteena olevat tyypit koostuvat MR:n B- ja T-tyypeistä sekä Hyundaiin-tyypeistä. Noin 50 % huolloista tehdään MR:n käämikytkimiin, 30 % ABB:n käämikytkimiin, 17 % TU:n käämikytkimiin ja 3 % muihin tyyppisiin.

Moottoriohjaintyyppisiä on 8, jotka jakaantuvat ABB:n 3 tyyppiin, MR:n 4 tyyppiin ja TU:n 1 tyyppiin. Myös moottoriohjaimissa on tyyppisiä, joita huolletaan hyvin harvoin. Taulukossa 2 esitetään huoltojen osuus prosentteina eri käämikytkin- ja moottoriohjaintyyppisille.

**Taulukko 2.** Käämikytkin- ja moottoriohjaintyyppien osuus huolloista

Käämikytkimet			Moottoriohjaimet		
Valmistaja	Malli	Huoltojen osuus %	Valmistaja	Malli	Huoltojen osuus %
ABB	UBB	3,4 %	ABB	BUE	6,3 %
	UCG	6,7 %		BUF	24,4 %
	UCL	1,3 %		BUL	5,6 %
	UZ	21,0 %	MR	ED 100 S	7,5 %
MR	C	6,0 %		MA 2	16,8 %
	D	13,0 %		MA 7	11,3 %
	M	12,1 %		MA 9	11,8 %
	MS	14,8 %	TU	MA-E	16,3 %
	R	0,8 %			
	RM	0,8 %			
	V	2,7 %			
TU	CRND	17,4 %			

Moottoriohjaimet ovat toimintaperiaatteiltaan ja komponenteiltaan varsin samankaltaisia. Suurimmat eroavaisuudet ovat komponenttien sijoittelussa, ja vaihteistojen toteutustavoissa. Lähes kaikista tyypeistä löytyy ainakin seuraavat komponentit: kontaktorit, moottorinsuojakytkin, askelrele, lähi-/kaukokytkin, ohjauskytkin,

mekaaniset rajaesteet, sähköiset rajakatkaisijat, asennonosoitin, toimintolaskuri, lämmitysvastus, akseli käsikammelle ja hätä-seis-painike.

Askelrele antaa ohjaimen suorittaa vain yhden asennonvaihdon kerrallaan, vaikka ohjauskytkintä pidettäisiin pohjassa. Lähi-/kaukokytkimellä valitaan ohjaustapa joko valvomosta tai ohjaimen ohjauskytkimestä. Mekaaniset rajaesteet ja sähköiset rajakatkaisijat estävät ohjainta menemästä olemassa olevien asentojen yli. Asennonosoitin näyttää, missä asennossa käämikytkin on. Toimintolaskuri näyttää kuinka monta asennonvaihtoa käämikytkin on suorittanut käyttöönoton jälkeen. Lämmitysvastus estää kosteutta muodostumasta moottoriohjainkoteloon. Käsikampi voidaan asettaa sille tehtyyn akseliin, jolloin käämikytkintä voidaan ohjata manuaalisesti. Suurimmat erot eri valmistajien moottoriohjaimissa on voimansiirrossa, esim. MR:n moottoriohjaimissa on usein vaihteisto omassa kotelossaan, jossa on myös öljyt, ja moottori on suoraan liitetty tähän vaihteistoon. ABB:n moottoriohjaimissa moottori liitetään hammas- tai kiilahihnalla, rattaiden kautta käämikytkimelle lähtevään akseliin.

### **3.1 ABB:n tyypit**

#### **3.1.1 Tyypit UBB**

Tyyppi UBB on tehovalitsinperiaatteella toimiva käämikytkin, jossa kaikki liikkuvat osat sijaitsevat kytkimen lasikuitusylinterin sisällä. Kytkimen ohjaamiseen käytettävä akseli menee kytkimen kannen läpi. Se on riippukytkin, joka asennetaan riippumaan muuntajasäiliön kannesta. Kytkin on rakennettu kolmesta identtisestä yksivaiheyksiköstä, jotka on asennettu päällekkäin samaksi järjestelmäksi. Järjestelmän läpi menee eristetty akseli, joka liikuttaa yksiköitä samanaikaisesti. Jokaisessa yksivaiheyksikössä on liikkuvat koskettimet, jotka liikkuvat sylinteriin asennettujen kiinteiden koskettimien välillä. Liikkuvat koskettimet koostuvat kahdesta siirtokoskettimesta ja yhdestä pääkoskettimesta. Jokainen liikkuva kosketin koostuu kahdesta sormesta joiden päissä on rullat, ja nämä painautuvat toisiaan vasten jousivoimalla. Rullat liukuvat sylinteriin asennettujen veitsentyylisten kiinteiden koskettimien ylitse. Malli on tarkoitettu pienille maksimissaan 50 MVA tehoille. Kuvassa 15 on UBB-tyypin käämikytkin. /4/





**Kuva 10.** UBB-tyypin käämikytkin /5/

### 3.1.2 Tyypit UCG ja UCL

UCG- ja UCL-tyypit ovat mekaaniselta toiminnaltaan samanlaisia. Erona on tehon kesto UCG:llä 500 MVA saakka ja UCL:llä 700 MVA saakka. Tyypit ovat riippukytkimiä, jotka asennetaan riippumaan muuntajasäiliön kannesta. Tyypeissä on erikseen tehokytkin ja valitsin. Tehokytkin on sijoitettuna lasikuitusylinteriin ja valitsin on kiinnitettyä sylinterin alapuolelle, jolloin se sijaitsee muuntajan kanssa samassa öljyssä. Akseli, joka ohjaa sekä tehokytkintä että valitsinta, kulkee tehokytkimen sylinterin ulkopuolella samassa öljyssä muuntajan kanssa. Akseli päättyy sylinterin alapuolelle, josta tehokytkimen ja valitsimen ohjaukset tehdään rattaiden avulla. Tehokytkimessä on kaksi seinää, joihin kiinteät kontaktit on liitetty. Nämä kontaktit liittyvät sylinterin läpi tuotuihin koskettimiin kynsien avulla, tehokytkinosaa sylinterin sisälle laskettaessa. Liikkuvat koskettimet liikkuvat ”seinältä” toiselle kiinteiden koskettimien välillä, asennonvaihtoja tehdessä. Valitsimen malleja ovat C, III ja F, jotka kaikki voidaan liittää UCG:n kanssa ja III sekä F UCL:n kanssa. Kuvassa 16 on vasemmalla UCG-tyyppi ja oikealla UCL-tyyppi. /6/



**Kuva 11.** UCG- ja UCL-tyypin käämikytkimet /7, 8/

### 3.1.3 Tyypin UZ

Tyyppi UZ on tehovalitsinperiaatteella toimiva käämikytkin. Tyyppi asennetaan omaan metalliseen koteloon muuntajasäiliön ulkopuolelle. Kotelo kiinnitetään muuntajasäiliön seinään joko pulteilla tai hitsaamalla, ja johdotukset tuodaan muuntajasäiliön seinässä olevien läpivientien kautta. Kytkin on rakennettu identtisistä epoksihartsimuotteihin tehdyistä yksivaiheyksiköistä, jotka on asennettu peräkkäin, ja niitä ohjataan samanaikaisesti yksiköiden läpi menevän akselin avulla. Kytkimen kiinteät koskettimet on asennettu muotin ulkokehälle ympyrän muotoon. Liikkuvat koskettimet on liitetty akseliin, ja ne liikkuvat kiinteiden koskettimien sisäpuolella. Koskettimet ovat samanmalliset kuin UBB-tyypissä. UZ-mallista on kaksi mallia UZE ja UZF, joiden erona on kytkimen kallistuskulma muuntajaseinään asennettaessa. UZF-mallissa kytkintä on kallistettu alaspäin, jolloin kytkimen kotelon yläpuolelta, asennusluukun kautta, päästään käsiksi johdotuksiin, jotka vietään muuntajaseinän läpi. UZE-malli on asennettu pystysuoraan, jolloin tätä mahdollisuutta ei ole. UZ-tyypin tehonkesto on 110 MVA. Kuvassa 17 on UZ-tyypin käämikytkin. /9/



**Kuva 12.** UZ-tyypin käämikytkin /10/

## **3.2 Maschinenfabrik Reinhausen tyypit**

### **3.2.1 Tyypit C**

Tyyppi C on tehovalitsinperiaatteella toimiva käämikytkin, jonka valmistus loppui vuonna 1978, ja sen seuraajaksi tuli malli V. Se on riippukytkin, joka asennetaan riippumaan muuntajasäiliön kannesta. Kytkimen sylinterin sisällä, joka erottaa muuntajaöljyn ja käämikytkimen toisistaan, on kaksi sylinteriä lisää, joiden avulla asennonvaihto tapahtuu. Keskimmäinen sylinteri on kontaktisynteri, jonka ulkokehällä on kontaktit, jotka sisimpiä sylintereitä laskettaessa uloimman sisään, liukuvat uloimman sylinterin sisäpinnalla olevien kontaktien päälle. Haaroitukset käämeistä johdotetaan uloimman sylinterin ulkopinnalle. Keskimmäinen sylinteri on tehty kahdesta osasta, tukisynteristä, joka on päällimmäisenä ja kontaktisynteristä, joka on alimmaisena, ja ne liitetään toisiinsa kahden laipan avulla. Liitoskohdassa on kytkimen voimanvaraaja. Kontaktisynterin sisällä on sisimmäinen sylinteri, joka on kytkentäsynteri, ja sen sisällä on kytkentäelementit. Elementeissä on liikkuvat koskettimet, jotka tulevat kytkentäsynterin ulkopuolelle siinä olevista rei'istä. Kytkentäsynteri pyörii kontaktisynterin sisällä olevien koskettimien välillä. Kytkentäsynterin liikkuessa, liikkuvat kontaktit vetäytyvät sisäänpäin. Kontaktisynterin päällä olevan tukisynterin yläpäässä on ratas, johon liitetään moottorihjain ruuvivaihteen avulla. Kuvassa 10 on C-tyypin käämikytkin. /11/



**Kuva 13.** C-tyypin käämikytkin /12/

### 3.2.2 Tyypin D

Tyyppi D on muuntajasäiliön kannesta riippumaan asennettava käämikytkin. Kytkimessä on tehokytkin omassa sylinterissään erotettuna muuntajaöljystä, ja valitsin kiinnitettynä tehokytkinsylinterin alapuolelle samaan tilaan muuntajaöljyn kanssa. Tehokytkinosa on omassa sylinterissään, joka nostetaan pois muuntajaöljyn kanssa kosketuksessa olevan sylinterin sisältä. Sisimmäinen sylinteri koostuu kahdesta osasta, tukisylinteristä, joka on päällimmäisenä ja kontaktisylinteristä, joka on alimmaisena. Ne liitetään toisiinsa laippojen avulla. Tukisylinterin yläpäässä on voiman varaaja, joka viritetään ruuvivaihteella, johon moottoriohjain liitetään kytkimen kansikotelon sivusta. Ruuvivaihte ohjaa myös kahta valitsimelle menevää akselia, jotka kulkevat tehokytkinsylinterin ulkopuolella muuntajaöljyn kanssa samassa tilassa. Kontaktisylinterin sisälle on asennettu vastuselementti ja liikkuvat koskettimet, jotka ovat omassa elementissään. Jokaisen vaiheen liikkuvat koskettimet on asennettu kahden laipan välille, joista lähtee kolme vartta. Näin jokaisen vaiheen liikkuvat koskettimet saadaan jaettua omille 120 asteen alueilleen kontaktisylinterin sisällä. Jokaisen vaiheen liikkuvat koskettimet on jaettu kahdelle 60 asteen alueelle 120 asteen alueen sisällä. Asentoa vaihdettaessa, liikkuvat koskettimet siirtyvät 60

asteen alueiden välillä puolelta toiselle. Malli D on tarkoitettu maksimissaan 400 A virroille, ja sen tuotanto on lopetettu vuonna 1989. Kuvassa 11 on D-tyyppin käämikytkin. /13/

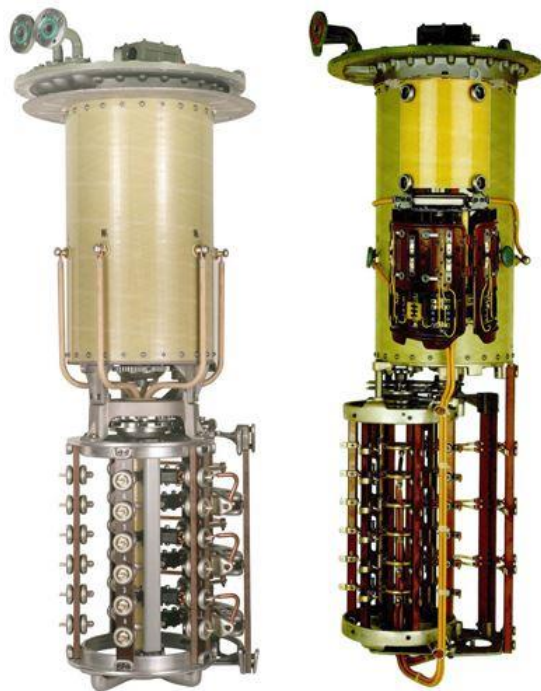


**Kuva 14.** D-tyyppin käämikytkin /14/

### 3.2.3 Tyypit M ja MS

Tyypit M ja MS on muuntajasäilön kannesta riippumaan asennettavia käämikytkimiä. Kytkimissä on tehokytkin omassa sylinterissään erotettuna muuntajaöljystä, ja valitsin kiinnitettynä tehokytkinsylinterin alapuolelle samaan tilaan muuntajaöljyn kanssa. Tyypit ovat mekaaniselta toiminnaltaan ja rakenteeltaan samanlaisia. Tyyppi M on pienemmille virroille, maksimissaan 300 A virroille tarkoitettu ja MS maksimissaan 600 A virroille. Tehokytkinosa koostuu alapäässä olevista kontaktikuorista ja niiden yläpuolella olevista tukipalkeista tai -sylinteristä. Jokaiselle vaiheelle on oma kontaktikuorensa, ja kuorien takana sijaitsevat liikkuvat koskettimet ja askelvastukset. Liikkuvat koskettimet toimivat samanlaisella periaatteella kuin tyyppin D kytkimessä. Kontaktikuorien yläpuolella on voimanvaraaja, josta lähtee akseli, joka menee tukipalkkien tai -sylinterin päällä olevan tukilevyn läpi. Tämä akseli liitetään moottoriohjaimeen, kytkimen kannen päällä olevan vaihteen avulla.

Sama akseli kulkee koko tehokytkinosan läpi sylinterin pohjalla olevaan liittimeen, jonka kautta tehdään valitsimen ohjaus. Kuvassa 12 on vasemmalla M-tyyppi ja oikealla MS-tyyppi. /15/



**Kuva 15.** M- ja MS-tyyppin käämikytkimet /16, 17/

### 3.2.4 Tyypit R ja RM

Tyypit R ja RM on muuntajasäilön kannesta riippumaan asennettavia käämikytkimiä. Kytkimissä on tehokytkin omassa sylinterissään erotettuna muuntajaöljystä, ja valitsin kiinnitettynä tehokytkinsylinterin alapuolelle samaan tilaan muuntajaöljyn kanssa. Tyypit ovat mekaaniselta toiminnaltaan ja rakenteeltaan samanlaisia. Tyyppi RM on pienemmille, maksimissaan 600 A virroille tarkoitettu ja R maksimissaan 1200 A virroille. Tyypien rakenne on samantapainen mallien M ja MS kanssa. Eroavaisuuksiakin on, askelvastukset sijaitsevat kontaktikuorien alapuolella, eikä niiden takana. Sekä malleihin R ja RM on lisätty suojavastukset. Suojavastuksia on yksi joka vaiheella. Suojaava piiri on tehty rajoittamaan transientteja ylijännitteitä tehokytkinkontaktien välillä. Suojaavat vastukset muodostuvat epälineaarisista varistoreista, sekä lineaarisista keraamisista vastuksista. Kuvassa 13 on vasemmalla R-tyyppi ja oikealla RM-tyyppi. /18/



**Kuva 16.** R- ja RM-tyyppin käämikytkimet /19, 20/

### 3.2.5 Tyypin V

Tyyppi V on tehovalitsinperiaatteella toimiva käämikytkin. Se asennetaan riippumaan muuntajasäiliön kannesta. Kytkimen lasikuitusylinterin sisäpinnalla on kiinteät koskettimet, joihin johdotetaan haaroitukset sylinterin ulkopinnalla olevien napojen kautta. Sylinterin sisälle laskettava osa koostuu lasikuituputkesta, jonka päälle on asennettu kytkentäelementit jonoon. Elementeissä on kolme liikkuvaa kosketinrullaa, joiden alla on jouset, jotka työntävät liikkuvia koskettimia sylinterin sisäkehällä olevia kiinteitä koskettimia vasten. Lasikuituputken yläpäähän liitetään jousivoimanvaraaja, joka liittyy moottoriohjaimeen rattaiden ja vaihteiden avulla. Näiden avulla lasikuituputki ja kytkentäelementit saadaan liikkumaan seuraavaan asentoon. Malli on tarkoitettu pienille 200/400 A virroille riippuen kytkimen koosta ja kytkennästä. Kuvassa 14 on V-tyypin käämikytkin. /21/



**Kuva 17.** V-tyypin käämikytin /22/

### 3.3 Trafo-Union tyyppi CRND

Tyyppi CRND on muuntajasäiliön kannesta tai muuntajasäiliön sisällä olevasta haarukasta riippumaan asennettava käämikytin. Kytkimessä on tehokytin omassa sylinterissään erotettuna muuntajaöljystä, ja valitsin kiinnitettynä tehokytinsylinterin alapuolelle samaan tilaan muuntajaöljyn kanssa. Tehokytimen ja valitsimen ohjaamiseen käytettävä akseli voidaan asentaa kulkemaan muuntajakannelta alapäin, tehokytinsylinterin ulkopuolella, jolloin se on muuntajaöljyn kanssa samassa tilassa. Akseli liittyy tehokytinsylinterin ja valitsimen liitoskohdassa olevaan vaihteeseen, josta näiden ohjaus tapahtuu. Akseli voidaan tuoda myös muuntajaseinän läpi, suoraan liitoskohdassa olevalle vaihteelle. Tehokytinkyksikössä liikkuvat kosketinyksiköt on asennettu vierekkäin, ja ulommaisten yksiköiden ulkopuolelle on asennettu niiden askelvastukset levyjen väliin. Liikkuvat koskettimet liikkuvat ”sei-



nältä” toiselle asennonvaihtojen yhteydessä. Tehokytkinyksikön kiinteistä koskettimista lähtee joustavat johtimet, joiden päässä on liittimet, joiden läpi menee ruuvi. Näillä ruuveilla tehdään liitos tehokytkinsylinterin läpi tuleviin läpivienteihin. /23/



**Kuva 18.** CRND-tyypin käämikytkin

## 4 HUOLTOTOIMET

Erityyppisistä käämikytkimistä huolimatta, niihin suoritettavat huoltotoimenpiteet ovat enimmäkseen samat, joskin tyyppien mekaanisten toimintojen ja rakenteellisten eroavaisuuksien takia itse huoltotyön suoritustapa voi vaihdella suuresti. Tärkeimpiä huoltotoimenpiteitä ovat öljyn suodatus, tehokytkimen puhdistus, tehokytkinsylinterin puhdistus, koskettimien tarkistus, askelvastusten tarkistus, tiivisteiden tarkistus ja paine-/virtausreleen tarkistus. Tehokytkimen öljyn saastumisen takia, se on huoltojen yhteydessä suositeltavaa vaihtaa uuteen, tai vähintään suodattaa. Tehokytkin puhdistetaan hiiltyneestä öljystä ja muusta liasta rättilien ja harjan avulla, sama tehdään tehokytkinsylinterille. Tehokytkimen liikkuvien ja kiinteiden koskettimien pintojen paksuus ja kunto tarkistetaan, ja vaihdetaan tarvittaessa. Askelvastukset mitataan, ja arvoja verrataan arvokilven lukemiin. Tiivisteiden kunto tarkistetaan, mieluiten aina vaihdetaan. Käämikytkimen suojalaitteena oleva paine-/virtausrele testataan ja varmistetaan, että maksimiarvon ylittyessä rele laukaisee muuntajan päävirtapiirin.

### 4.1 ABB:n käämikytkinten huoltotoimet

#### 4.1.1 Tyypin UBB huoltotoimet

Käämikytkin asetetaan huoltoasentoon, joka kerrotaan arvokilvessä. Öljy tyhjenetään käämikytkimen kannella olevan venttiilin kautta, jos käämikytkimellä ja muuntajalla on yhteinen paisuntasäiliö, suljetaan venttiili käämikytkimen ja paisuntasäiliön väliltä. Öljyä pumpataan kunnes sitä ei enää tule, tällöin öljyn pinta on laskenut noin 300 mm käämikytkimen kannen alapuolelle, irrotetaan käämikytkimen kannesta paisuntasäiliölle lähtevä putki, sekä muut liitännät. Poistetaan kansi nostamalla sitä ensin ainakin 100 mm suoraan ylöspäin ennen kuin liikutetaan vaakasuoraan. Laitetaan pumpun letku käämikytkimen säiliön pohjalle, ja tyhjennetään loput öljyt. Kannen alapuolella oleva ohjausmekanismi poistetaan, joka on kiinnitetty kulmista neljällä M8 ruuvilla. Jos mallissa on 10 kiinteää kosketinta jokaisella vaiheella, irrotetaan jokaiselta vaiheelta yksi kiinteä kosketin virtakollektorin oikealta puolelta, mekanismin poistamisen jälkeen. Jos mallissa on 12 tai 14 kiinteää

kosketinta jokaisella vaiheella, irrotetaan kaksi kiinteää kosketinta jokaiselta vaiheelta. Tämän jälkeen käännetään tehokytkintä myötöpäivään, kunnes liikkuvat koskettimet ovat melkein kokonaan virtakollektorien päällä kohdalla, josta poistettiin kiinteät koskettimet. Jos kytkimessä on vaihtovalitsin, sen liikkuvat koskettimet käännetään kahden kiinteän koskettimen väliin. Tehokytkintä nostetaan kunnes virtakollektorit ovat irronneet nupeistaan, jonka jälkeen tehokytkintä käännetään poistettujen koskettimien kohdalle, jolloin se saadaan nostettua vapaasti pois säiliöstään. /4/

Puhdistetaan tehokytkin ja sen putkimainen akseli hiilikerrostumista harjalla sekä räteillä ja huuhdellaan puhtaalla öljyllä. Puhdistetaan tehokytkinsäiliö samalla tavalla. Jos öljyä ei vaihdeta uuteen se pitää suodattaa. Tarkistetaan liikkuvien kosketinrullien kulumat. Mitataan kuluneimman rullan halkaisija rullan keskeltä. Jos rullan halkaisija on  $\leq 17$  mm, se pitää vaihtaa. Vaikka rullissa olisi vielä pintaa jäljellä, pitää varmistua siitä, että ne eivät ehdi kulua minimiarvon alle, ennen seuraavaa huoltoa. Mitataan myös kiinteiden koskettimien kulumat. Jos kiinteät koskettimet on tehty kupari-volframista ne pitää vaihtaa, kun pintaa on jäljellä  $\leq 1,5$  tai  $2,0$  mm, riippuen koskettimen koosta. Jos kiinteät koskettimet ovat kuparista, ne pitää vaihtaa kun koskettimen kuluma on  $\geq 7,5$  tai  $6,0$  mm, riippuen koskettimen koosta. Tarkemmat mittaustaulukot ja ohjeet mittaustapaan löytyvät huolto-ohjeesta. Mitataan molemmat askelvastukset jokaiselta vaiheelta yleismittarilla, liikkuvan pääkoskettimen (keskimmäinen kosketin) ja molempien siirtokoskettimien (uloimmat koskettimet) väliltä. Arvot eivät saa erota arvokilven arvoista enempää kuin  $\pm 10$  %. /4/

Tämän jälkeen varmistutaan, että ruuviliitokset eivät ole löystyneet. Poistetaan tehokytkinsäiliöön mahdollisesti joutuneet sinne kuulumattomat esineet. Lasketaan tehokytkin säiliöönsä ja kootaan muut osat, aiemmin kerrottujen ohjeiden mukaan, käännettyssä järjestyksessä. Lopuksi täytetään käämikytkin öljyllä. Öljyntäytön jälkeen pitää pitää minimissään kolmen tunnin seisonta-aika ennen muuntajan käyttöönottoa. /4/

#### 4.1.2 Tyypin UCG ja UCL huoltotoimet

Käämikytkin asetetaan huoltoasentoon, joka kerrotaan arvokilvessä. Jos käämikytkimellä ja muuntajalla on yhteinen paisuntasäiliö, suljetaan venttiili käämikytkimen ja paisuntasäiliön väliltä. Öljy tyhjenetään käämikytkimen kannella olevan venttiilin kautta, venttiilistä lähtee tyhjennysputki käämikytkinsäiliön pohjalle. Poistetaan kansi, ja tyhjenetään letkulla loput öljyt säiliön pohjalta. Nostetaan tehokytkin osittain ja huuhdellaan öljyllä. Huuhtelun jälkeen nostetaan tehokytkin kokonaan ja pyyhitään räteillä. Puhdistetaan tehokytkinsäiliö nylonharjalla, ja huuhdellaan öljyllä. Tämän jälkeen tyhjenetään öljy, ja pyyhitään säiliön pohja ja seinät räteillä. Jos öljyä ei vaihdeta uuteen, se pitää suodattaa. /6/

Tarkistetaan kontaktien asennot. Asennossa ollessaan tehokytkimen liikkuvien ja kiinteiden pääsiirtokoskettimien välillä pitäisi olla 0,5 – 2 mm välykset. Välykset pitää tarkistaa tehokytkimen molemmilta puolilta, kääntämällä se toiseen asentoon putkipihdeillä sen liitoksesta. Jos välykset ovat liian pieniä, niitä voidaan säätää asentamalla messinkilevy tehokytkimen seinälevyn ja kiinteän pääsiirtokoskettimen kannattimen väliin. Messinkilevyjä ei saa asentaa päällekkäin kolmea enempää. Tarkistetaan, että kaikki joustavat liitännät, viritysjouset, liikkuvien koskettimien jouset sekä tehokytkimen ja säiliön väliset liityntäkontaktit ovat hyvässä kunnossa. Tarkistetaan, että ruuviliitokset eivät ole päässeet löystymään. /6/

Tarkistetaan kiinteiden ja liikkuvien siirtokoskettimien kulumat. Uusien koskettimien paksuus on 5,5 mm koskettimen yläpäässä ja 3 mm koskettimen alapäässä. Kosketin pitää vaihtaa, kun koskettimen yläpään paksuus on noin 0,5 mm. Jos koskettimen paksuus on vähän tätä arvoa suurempi, pitää varmistua, että se kestää seuraavaan huoltoon asti. Mitataan askelvastukset tehokytkimen puolelta, jolla kontaktit ovat auki. Mittaus suoritetaan kiinteän pääkoskettimen ja kiinteän siirtokoskettimen väliltä. Käännetään tehokytkin toiseen asentoon, ja suoritetaan samat mittaukset toiselle puolelle. Mittausarvoja verrataan arvokilven arvoihin, ja ne eivät saa erota toisistaan 10 % enempää. /6/

Poistetaan tehokytkinsäiliöön mahdollisesti joutuneet sinne kuulumattomat esineet. Lasketaan tehokytkin säiliöönsä. Tehokytkimessä on ohjainura, joka asetetaan tehokytkinsäiliössä olevan öljyntyhjennysputken kohdalle. Tehokytkintä laskettaessa katsotaan, että tehokytkimessä olevat kontaktit liittyvät tehokytkinsäiliössä oleviin kontakteihin. Varmistetaan, että tehokytkimen ohjaustappi on kytkeytynyt säiliössä olevaan ohjauskiekkoon, ohjaamalla käämikytkintä vähintään kolme asentoa samaan suuntaan. Tehokytkimestä kuullaan selvä ääni, kun se toimii. Vain tehokytkimen yläpäässä olevien jousien kuuluu jäädä kantta varten koneistetun tason yläpuolelle. Asennetaan kansi, jota painetaan tehokytkimen jousia vasten, ja kiristetään ruuvit. Täytetään käämikytkin öljyllä. Öljyn täytön jälkeen pitää pitää minimissään kolmen tunnin seisona-aika ennen muuntajan käyttöönottoa. /6/

#### **4.1.3 Tyypin UZ huoltotoimet**

Jos käämikytkimellä ja muuntajalla on yhteinen paisuntasäiliö, suljetaan venttiili käämikytkimen ja paisuntasäiliön väliltä. Öljy tyhjennetään käämikytkinsäiliön seinässä olevan venttiilin kautta. Tyhjennyksen jälkeen avataan käämikytkinsäiliön etuluukku, ja huuhdellaan käämikytkin ja säiliö öljyllä. Huuhtelun jälkeen pyyhitään säiliö nukkaamattomilla räteillä sekä pyyhitään hiilikerrostumat varovasti epoksivaluista. Jos öljyä ei vaihdeta uuteen, se pitää suodattaa. /9/

Tarkistetaan koskettimien kunto. Tehdään käämikytkimelle asennonvaihto ja tarkistetaan, että liikkuva pääkosketin menee kiinteän koskettimen tasaiselle pinnalle. Liikkuvan pääkoskettimen keskikohdan täytyy mennä vähintään 1 mm tasaisen pinnan sisäpuolelle. Jos tämä ei toteudu, saattavat koskettimet olla löysällä, jolloin ne kiristetään. Jos tämäkään ei korjaa vikaa, on akselin liitoksissa liikaa välystä, jolloin kuluneet osat pitää vaihtaa. Tarkistetaan liikkuvien kosketinrullien kulumat. Käämikytkimestä pitää irrottaa etuluukku lähimpänä olevat kiinteät koskettimet, ja ajaa liikkuvat koskettimet niiden kohdalle, että ne voidaan mitata. Mitataan jokaisen rullan halkaisija rullan keskeltä. Jos rullan halkaisija on  $\leq 17$  mm, se pitää vaihtaa. Vaikka rullissa olisi vielä pintaa jäljellä, pitää varmistua siitä, että ne eivät ehdi kulua minimiarvon alle, ennen seuraavaa huoltoa. Tämän jälkeen ajetaan käämikytkin toiseen asentoon ja asennetaan kiinteät koskettimet takaisin. Mitataan myös

kiinteiden koskettimien kulumat. Jos kiinteät koskettimet on tehty kupari-volframista ne pitää vaihtaa, kun pintaa on jäljellä  $\leq 1,5$  mm tai 1,5 mm (2,5 mm), riippuen koskettimen koosta. Suluissa olevaa arvoa käytetään, jos koskettimen ylä- ja alapuoli on kulunut yhtä paljon ( $\pm 0,5$  mm sisällä toisistaan). Jos kiinteät koskettimet ovat kuparista ne pitää vaihtaa, kun koskettimen kuluma on  $\geq 3,5$ mm (4,0 mm) tai 6,0 mm (6,5 mm), riippuen koskettimen koosta. Tarkemmat mittaustaulukot ja ohjeet mittaustapaan löytyvät huolto-ohjeesta. /9/

Ohjataan käämikytkin asentoon, jossa liikkuvat koskettimet ovat kiinteiden yksittäiskoskettimien kohdalla. Mitataan askelvastukset yleismittarilla liikkuvan pääkoskettimen ja liikkuvien siirtokoskettimen väliltä. Mittausarvoja verrataan arvokilven arvoihin, ja ne eivät saa erota toisistaan 10 % enempää. Tarkistetaan silmämääräisesti, että vastukset eivät ole vahingoittuneet. Tarkistetaan, että ruuviliitokset eivät ole päässeet löystymään. Poistetaan tehokytkinsäiliöön mahdollisesti joutuneet sinne kuulumattomat esineet, ja suljetaan etuluukku. Täytetään käämikytkin öljyllä. Öljyn täytön jälkeen pitää pitää minimissään kolmen tunnin seisona-aika ennen muuntajan käyttöönottoa. /9/

## **4.2 Maschinenfabrik Reinhausen käämikytkinten huoltotoimet**

### **4.2.1 Tyypin C huoltotoimet**

Käämikytkin asetetaan kytkentäkaavion mukaiseen säätöasentoon. Säätöasentoon asettaminen pitää tapahtua ohjaamalla moottoriohjainta myötöpäivään. Suljetaan venttiilit käämikytkimen ja paisuntasäiliön sekä muuntajasäiliön väliltä. Avataan käämikytkimen ilmausruuvi ja avataan tyhjennysventtiili. Lasketaan öljyä niin, että tehokytkimen yläpää on vapaa öljystä. Poistetaan kansi ja nostetaan tehokytkintä, kunnes ruuvivaihe on irrottautunut, jonka jälkeen käännetään tehokytkinyksikköä 15 astetta, jolloin yksikkö saadaan nostettua vapaasti pois. Suljetaan käämikytkimen kansi tehokytkinyksikön noston jälkeen. Koska käämikytkinsäiliö ei ole painetiivis, voi öljyn pinta nousta. Huuhdellaan yksikkö uudella öljyllä, puhdistetaan harjalla, jonka jälkeen huuhdellaan uudelleen puhtaalla öljyllä. /11/

Puretaan yksikön yläpäässä oleva voimansiirto. Käytetyt ruuvit ovat eripituisia, joten niitä ei tule sekoittaa. Poistetaan yksikön kansi, asennonosoittimen putkimainen akseli, ruuvivaihteen ratas, kiinnitysrengas ja laakeri sekä putkimainen vetoakseli. Irrotetaan tukisylinteri ja kontaktisylinteri toisistaan irrottamalla niitä liittävätkäsi laippaa. Jos yksikössä on sisäänrakennettu vaihtovalitsin, kallistetaan tukisylinteriä niin, että vaihtovalitsimen käyttökoneisto irrottautuu, ja nostetaan sylinteri pois. Poistetaan kontaktisylinterin yläpäässä oleva messinkirunko, joka sisältää voimavaraajan. Painetaan epäkeskokampea niin, että liikkuvat koskettimet liikkuvat sisäänpäin, ja asetetaan asennustanko epäkeskokammen vastapäätä olevaan ylempään ajolevyyn, jolloin liikkuvat koskettimet pysyvät sisällä. Hieman myötäpäivään kääntäen painetaan tanko alempaan ajolevyyn. Asetetaan kontaktisylinteri vaaka-suoraan asentoon, ja poistetaan kytkentäsylinteri. Kytkentäsylinteriä pois vedettäessä pitää varoa vahingoittamasta paperilaminoituja osia. Mallin C 350 kohdalla kytkentäsylinteri poistetaan pystysuorassa asennossa. Poistetaan asennustanko kytkentäsylinteristä, jolloin liikkuvat koskettimet palautuvat alkuperäisiin asentoihinsa. Puhdistetaan kytkentäsylinterin ulkopuoli ja kontaktisylinterin sisäpuoli sekä tukisylinteri. Tarkistetaan liukuvat kontaktit ja eristetyt liitännät. /11/

Mitataan askelvastukset liikkuvien pääkoskettimien ja liikkuvien siirtokoskettimien väliltä. Mittausarvoja verrataan arvokilven arvoihin, ja ne eivät saa erota toisistaan 10 % enempää. Tarkistetaan liikkuvien koskettimien kulumat. Mallissa C 250 koskettimet ovat saaneet kulua maksimissaan 3 mm ja mallissa C 350 8 mm. Poistetaan kytkentäelementit kytkentäsylinteristä tarkistusta varten. Poistetaan alempi ajolevy, poistetaan ruuvit, jotka kiinnittävät kytkentäelementit kytkentäsylinteriin. Malleissa C III 250 Y ja C III 350 Y poistetaan tähtipisteliitännän ruuvit. Malleissa C III 250 Δ, C III 350 Δ ja C I ..., poistetaan jokaisen kytkentäelementin virtakokoojan 6 kontaktipäätä. Asetetaan asennustanko uudelleen, ja samaan aikaan painetaan pääkontaktivartta, jonka jälkeen poistetaan kytkentäelementit yksi toisensa jälkeen kytkentäsylinteristä. Merkitään elementit myöhempää asennusta varten. Huuhdellaan kytkentäsylinterin sisäpuoli ja puhdistetaan kytkentäelementit. Tarkistetaan askelvastusten, liikkuvien osien, laakereiden ja jousien kunto. /11/

Kootaan tehokytkeyksikkö käännetyssä järjestyksessä, puhdistetaan ja huuhdellaan käämikytkinsäiliö ja poistetaan likaantunut öljy. Lasketaan tehokytkeyksikkö säiliöön ja suljetaan kansi. Avataan kannen ilmausruuvi ja avataan aiemmin suljetut venttiilit. Täytetään paisuntasäiliö uudella öljyllä alkuperäiselle tasolle. /11/

#### 4.2.2 Tyypin D huoltotoimet

Käämikytkimen tehokytkin voidaan nostaa pois missä asennossa tahansa, mutta suositellaan nostettavan säätöasennossa, koska vain tässä asennossa voidaan suorittaa tarkistustyöt tehokytkeyksen yläpään koneistolle. Suljetaan kaikki sulkuventtiilit paisuntasäiliön, muuntajasäiliön ja käämikytkimen väliltä. Lasketaan öljyä avaamalla ilmausruuvi ja tyhjennysventtiili. Öljyä tyhjennetään niin, että öljynpinta laskee tehokytkeyksen voimanvaraajan alapuolelle. Poistetaan käämikytkimen kansi. Tehokytkin on kiinnitetty neljällä mutterilla, joiden alla on painejouset. Poistetaan ne ja nostetaan tehokytkin pois säiliöstään. Tyhjennetään loput öljyt. /13/

Huuhdellaan käämikytkinsäiliö ja sen yläpää uudella öljyllä ja puhdistetaan ne hiilikerrostumista, ja tyhjennetään säiliö kokonaan öljystä. Tarkistetaan säiliö ja sen liittinkontaktit. Tarkistetaan säiliön yläpäässä oleva Geneva-vaihde, jonka tarkistusta varten joudutaan poistamaan sen päällä oleva vaihdelevy. Ennen levyn poistoa huomioidaan osoitinkiekkujen ja kytkentänavan asento. Levyn alla oleva Genevan nokkapyörä poistetaan. Ennen poistoa huomioidaan nokkapyörän asento. Tarkistetaan rullapultin ja Genevan nokkapyörän rullan radiaalinen vällys, joka ei saa olla 0,6 mm isompi. Asennetaan osat takaisin käännetyssä järjestyksessä. Tarkistetaan painekalvon kunto taipumisen ja korroosion varalta. /13/

Poistetaan tukisyylinterin ja kytkentäsyylinterin liittävä laippa, ja nostetaan tukisyylinteri pois. Puretaan tukisyylinterin yläpään koneisto poistamalla voimanvaraajan kammen sokat, ja voimanvaraajan kiinnittävät neljä mutteria, jonka jälkeen se voidaan nostaa pois. Poistetaan voimanvaraajan vipu ja sen ohjain, jotka on kiinnitetty kahdella ruuvilla kotelon seinään. Poistetaan salpa ja sen laukaisuvipu, jotka on kiinnitetty sokilla. Poistetaan puskurin kannattimet ja kytkinkamman rullapultissa oleva liukulevy. Puhdistetaan tukisyylinteri ja kytkinkamman putki sekä kaikki koneiston osat. Tarkistetaan voimanvaraajan rullapultin ja rullan, sekä nelikulmaisen



liu'un pultin ja nelikulmaisen liu'un välykset. Välykset eivät saa olla 0,6 mm suurempia. Tarkistetaan iskunvaimennusjouset (vaihdetaan 100 000 kytkentätoiminnon jälkeen), voimanvaraajan jousi (vaihdetaan 400 000 kytkentätoiminnon jälkeen) ja salvan jousi. Kootaan koneisto käännettyssä järjestyksessä. /13/

Poistetaan askelvastusyksikkö ja kosketinyksikkö kytkentäsylinteristä. Poistetaan suojaava rengas sylinterin yläpäästä, joka on kiinnitetty kolmella muovipultilla, sekä irrotetaan vastukset kytkevät ruuvit. Nostetaan vastusyksikkö kytkentäsylinteristä, ja huomioidaan asennusasento. Irrotetaan kytkentäsylinterin alapäässä olevat 12 ruuvia, ja nostetaan sylinteri pois kosketinyksikön päältä, huomioidaan asennusasento. Puhdistetaan kytkentäsylinteri, vastusyksikkö ja kosketinyksikkö hiilikerrostumista ja huuhdellaan kaikki osat uudella öljyllä. /13/

Tarkistetaan liikkuvien ja kiinteiden koskettimien kulumat (koskettimien suurin sallittu kuluma 5 mm), sekä liukukoskettimien liikkuvuus ja kunto ja ulostulokontaktit. Tarkistetaan liikkuvien koskettimien joustavien johtimien kunto (vaihdetaan noin 400 000 kytkentätoiminnon jälkeen), sekä vastukset ja kytkentäsylinteri. Ennen kytkentäsylinterin asentamista pitää kosketinyksikkö virittää kääntämällä siihen asetettavaa avainta vastapäivään. Asennetaan sylinteri ja kiinnitetään se ruuvein kosketinyksikköön, ja käännetään avainta myötäpäivään ja sen jälkeen vastapäivään pysähtymiseen asti. Asennetaan vastusyksikkö ja tukisylinteri käänteisessä järjestyksessä ja mitataan askelvastukset. Mitatut arvot eivät saa poiketa 10 % enempää arvokilven arvoista. Nostetaan tehokytkin takaisin käämikytkinsäiliöön ja kiinnitetään se painejousilla ja muttereilla, jotka kiristetään yhden kierroksen päähän kierteiden lopusta. Täytetään käämikytkinsäiliö öljyllä suojareleen putken tasolle, suljetaan kansi ja avataan aiemmin suljetut sulkuventtiilit. Täytetään paisuntasäiliö huoltoa edeltäneelle tasolle. /13/

### **4.2.3 Tyypin M ja MS huoltotoimet**

Käämikytkimen tehokytkin voidaan nostaa pois missä asennossa tahansa. Huomioidaan käämikytkimen asento ennen nostoa, mutta tehokytkin suositellaan nostettavan säätöasennossa, joka on merkitty nuolella moottorihjaimen asennonosoitin-

kiekkoon. Suljetaan paisuntasäiliön ja käämikytkimen välinen sulkuventtiili, ja avataan ilmausruuvi sekä tyhjennysventtiili ja tyhjenetään öljyt. Irrotetaan käämikytkimen kannella olevaan vaihteeseen menevä akseli, ja poistetaan kansi. Poistetaan asennonosoitinlevy, irrottamalla sen akseliin kiinnittävä sokka. Asennonosoitinlevy voidaan asentaa vain oikeaan asentoon. Säätoasennossaan ollessa tehokytkimen akselissa oleva kiila on samalla kohtaa käämikytkimet tukilevyssä olevan kolmionmuotoisen merkin kanssa. Irrotetaan tukilevyn kiinnittävät neljä tai viisi ruuvia (riippuen mallista), ja nostetaan tehokytkin pois säiliöstä. /15/

Puhdistetaan tehokytkin ja käämikytkinsäiliö puhtaalla öljyllä, sekä säiliön tyhjenysputki irrottamalla se ja huuhtelemalla puhtaalla öljyllä ulkoa ja sisältä. Tehokytkin puhdistetaan uudelleen, kun kontaktikuoret on poistettu. Ennen tehokytkimen tarkistuksien aloittamista huomioidaan tehokytkimen jousivoimanvaraajan vivun asento, jotta kokoamisen jälkeen voidaan asettaa tehokytkin samaan asentoon. Mitataan askelvastukset kontaktikuorien puolelta, jossa koskettimet eivät ole kytkeytyneenä. Vastukset mitataan kiinteiden pääkoskettimien ja kiinteiden siirtokoskettimien väliltä, koskettimien ylä- sekä alapäästä. Tehokytkin on käännettävä toiseen asentoon, jotta saadaan mitattua myös toiselta puolelta. Mittausarvoja verrataan arvokilven arvoihin, eivätkä ne saa erota toisistaan 10 % enempää. /15/

Poistetaan ja uudelleenasennetaan kontaktikuoret peräkkäin. KytKentäkuorien poistamiseksi tehokytkin on asetettava keskiasentoon, jossa siirtokoskettimet ovat sulkeutuneina. Vapautetaan jousivoimanvaraaja ja käännetään akselia avaimella niin, että jousivoimanvaraajan virityskelkka on saavuttanut vakaan asennon melkein keskiasennossa. Irrotetaan ensin kytKentäkuoren 4 ulompaa ruuvia, ja sitten 4 sisempää ruuvia, ja poistetaan kytKentäkuori. Poistetaan koskettimien ympärillä olevat kippinäkammiot. Puhdistetaan kontaktikuori ja tehokytkin kontaktikuoren takaa huolellisesti jokaisen kontaktikuoren poiston jälkeen. Kontaktikuorien poiston yhteydessä tarkistetaan koskettimien kunto. Kosketin vaihdetaan, jos sen kuluma on  $\geq 4$  mm ja/tai, jos liikkuvien pääkoskettimien ja liikkuvien siirtokoskettimien kontaktipintojen paksuudessa on  $\geq 2,5$  mm ero. Jos tämä ero on saavutettu, voidaan koskettimien vaihtamisen sijaan myös niiden paikkoja vaihtaa tai jyrsiä niiden pintaa, jotta

saavutetaan tarpeeksi pieni ero koskettimien välille. Tarkistetaan liikkuvat koskettimet liukukontakteihin (= lähtönapa) liittävät joustavat johtimet (varotoimena pitäisi vaihtaa 250 000 kytkentätoiminnon jälkeen). /15/

Kun kaikki kontaktikuoret on huollettu ja asennettu takaisin, puhdistetaan tehokytkimen putkimainen akseli. Irrotetaan tukipalkit ja niiden päässä oleva tukilevy jousivoimanvaraajan kotelosta, jotta päästään käsiksi akseliin. Asetetaan jousivoimanvaraaja jompaankumpaan päähän, jolloin saadaan tilaa pulttien poistamista ja asentamista varten. Akseli puhdistetaan sisä- ja ulkopuolelta huuhtelemalla puhtaalla öljyllä. Osat kasataan käännetyssä järjestyksessä. Kun tehokytkin on kasattu, ohjataan sitä asennosta toiseen useita kertoja, jotta varmistutaan sen mekaanisesta toiminnasta. Lopuksi mitataan vielä askelvastukset uudelleen. /15/

Asennetaan tehokytkin takaisin käämikytkinsäiliöön käännetyssä järjestyksessä. Täytetään säiliö öljyllä tukilevyn tasolle, ja asennetaan kansi. Avataan paisuntasäiliön ja käämikytkimen välinen sulkuventtiili, ja ilmataan säiliö kannessa olevan ilmausruuvien avulla. Ilmataan myös imuputki, ja täytetään paisuntasäiliö huoltoa edeltäneelle tasolle. /15/

#### **4.2.4 Tyypin R ja RM huoltotoimet**

Käämikytkimen tehokytkin voidaan nostaa pois missä asennossa tahansa. Huomioidaan käämikytkimen asento ennen nostoa, mutta tehokytkin suositellaan nostettavan säätöasennossa, joka on merkitty nuolella moottoriohjaimen asennonosoitin kiekkoon. Suljetaan paisuntasäiliön ja käämikytkimen välinen sulkuventtiili, ja avataan ilmausruuvi sekä tyhjennysventtiili ja tyhjennetään öljyt. Irrotetaan käämikytkimen kannella olevaan vaihteeseen menevä akseli, ja poistetaan kansi. Poistetaan asennonosoitinlevy irrottamalla sen akseliin kiinnittävä sokka. Asennonosoitinlevy voidaan asentaa vain oikeaan asentoon. Säätöasennossaan ollessa käämikytkimen yläosassa oleva merkki on samalla kohtaa tehokytkimen tukilevyssä olevan merkin kanssa. Irrotetaan tukilevyn kiinnittävät neljä tai viisi ruuvia (riippuen mallista), ja nostetaan tehokytkin pois säiliöstä. /18/

Puhdistetaan tehokytkin ja käämikytkinsäiliö puhtaalla öljyllä, sekä säiliön tyhjenysputki irrottamalla se, ja huuhtelemalla puhtaalla öljyllä ulkoa ja sisältä. Tehokytkin puhdistetaan uudelleen huolellisemmin, kun kontaktikuoret on poistettu. Ennen tehokytkimen tarkistuksien aloittamista huomioidaan tehokytkimen jousivoimanvaraajan vivun asento, jotta kokoamisen jälkeen voidaan asettaa tehokytkin samaan asentoon. Mitataan askelvastukset kontaktikuorien puolelta, jossa koskettimet eivät ole kytkettyneenä. Vastukset mitataan kiinteiden pääkoskettimien ja kiinteiden siirtokoskettimien väliltä. Tehokytkin on käännettävä toiseen asentoon, jotta saadaan mitattua myös toiselta puolelta. Mittausarvoja verrataan arvokilven arvoihin, eivätkä ne saa erota toisistaan 10 % enempää. /18/

Jokaisessa kontaktikuoressa on 4 liikkuvaa siirtokosketinta. Tarkistetaan koskettimien kulumat. Kosketin vaihdetaan, jos sen kuluma on  $\geq 6$  mm (12 mm kosketinparilla). Ja/tai, jos liikkuvien pääkosketinparien ja liikkuvien siirtokosketinparien kontaktipintojen paksuuksien ero ei ole  $-3 \text{ mm} < X < 3 \text{ mm}$  (liikkuvilla siirtokosketinpareilla a1 ja b1), tai  $-4 \text{ mm} < X < 2 \text{ mm}$  sisällä (liikkuvilla siirtokosketinpareilla a2 ja b2), tai jos siirtokosketinparien kulumien ero on  $< -1$  mm. Koskettimien kulumat mitataan työntömitalla kontaktikuorissa olevien reikien kautta koskettimien kannattimia vasten. Koskettimien pitää olla sulkeutuneena mittausta tehdessä. Tarkemmat mittaushjeet löytyvät huolto-ohjeesta. Jos jokin näistä arvoista on saavutettu, voidaan koskettimien vaihtamisen sijaan myös niiden paikkoja vaihtaa, tai jyrsiä niiden pintaa, jotta arvot saadaan hyväksytyille tasoille. /18/

Poistetaan tukisylinteri, joka on kiinnitetty 8 ruuvilla jousivoimanvaraajan 4 korvakkeeseen. Poistetaan eristävä putkimainen akseli tehokytkimen alemman osan uritetusta akselistä. Puhdistetaan tukisylinteri ja eristävä akseli sisältä ja ulkoa harjalla ja uudella öljyllä. KytKentäkuorien poistamiseksi tehokytkin on asetettava keskiasentoon, jossa siirtokoskettimet (a2 ja b2) ovat sulkeutuneina. Vapautetaan jousivoimanvaraaja ja käännetään akselia avaimella niin, että jousivoimanvaraajan virityskelkka on saavuttanut vakaan asennon keskiasennossa. Kontaktikuoret on merkitty L1, L2, L3 ja samat merkinnät löytyvät ohjauslevyn päältä. KytKentäkuoria asennettaessa ne pitää asentaa oikeille paikoilleen. Irrotetaan askelvastusten johdot

vastusten päästä (johdot jäävät kiinni kytkentäkuoriin). Irrotetaan ensin kytkentäkuoren 4 ulompaa ruuvia, ja sitten 2 sisempää ruuvia, ja poistetaan kytkentäkuori. Poistetaan koskettimien ympärillä olevat kipinäkammiot. /18/

Puhdistetaan kytkentäkuoret, liikkuva kosketinyksikkö, askelvastukset ja suojavastukset huolellisesti öljyllä. Puhdistuksen jälkeen tarkistetaan huolellisesti jännitersitukselle altistuvat eristemateriaalit, mekaanisten tai sähköisten vaurioiden (sähköisten purkauksien jälkien) varalta. Jos jokin eristävä osa on vaurioitunut, on se vaihdettava. Asennetaan kytkentäkuoret omille paikoilleen. Asennuksen helpottamiseksi painetaan siirtokoskettimia sisäänpäin ja asetetaan kaksi pulttia ohjauslevyn päällä oleviin kahteen reikään. Asennetaan kipinäkammiot oikeille paikoilleen, ja kiinnitetään ne väliaikaisesti narun avulla. Kiinnitetään kytkentäkuori kahdella sisemmällä ruuvilla ja katsotaan, että kipinäkammiot asettuvat kytkentäkuoren uriin, ja poistetaan naru. Kiinnitetään loput ruuvit ja poistetaan pultit ohjauslevyn rei'istä. Ohjataan tehokytkintä asennosta toiseen useita kertoja, jotta varmistutaan sen mekaanisesta toiminnasta. Lopuksi mitataan vielä askelvastukset uudelleen, ja asetetaan tehokytkin samaan asentoon kuin se oli poistettaessa. /18/

Tarkistetaan jokaisen vaiheen suojavastus. Tarkistetaan ensin silmämääräisesti vastusten yleinen kunto ja sähköiset liitännät. Mitataan lineaariset vastukset yleismitarilla. Yhden lineaarisen vastuksen arvo on joko  $8 \Omega \pm 20 \%$  tai  $10 \Omega \pm 20 \%$ . Mitataan varistorielementtien jännitehäviö 1 mA tasavirralla. /18/

Lasketaan tehokytkin takaisin käämikytkinsäiliöön ja varmistutaan, että yläosan ja tukilevyn merkit ovat kohdakkain. Asennetaan asennonosoitinlevy, täytetään säiliö öljyllä tukilevyn tasolle, ja asennetaan kansi. Avataan paisuntasäiliön ja käämikytkimen välinen sulkuventtiili, ja ilmataan säiliö kannessa olevan ilmausruuvien avulla. Ilmataan myös imuputki ja täytetään paisuntasäiliö huoltoa edeltäneelle tasolle. /18/

#### **4.2.5 Tyypin V huoltotoimet**

Käämikytkin pitää asettaa säätöasentoon ennen poistamista. Säätöasento on merkitty punaisella nuolella moottoriohjaimen asennonosoittimessa. Säätöasento pitää

saavuttaa ohjaamalla moottoriohjainta myötöpäivään. Suljetaan paisuntasäiliön ja käämikytkimen välinen sulkuventtiili, ja avataan tyhjennysventtiili sekä ilmausruuvi ja tyhjennetään öljyt. Irrotetaan käämikytkimen kannella olevaan vaihteeseen menevä akseli, ja poistetaan kansi. Poistetaan hammaspyörästö, joka on kiinnitetty käämikytkimen koteloon 5 ruuvilla. Huomioidaan hammaspyörien merkkien kohdat, myöhempää asennusta varten. Irrotetaan imuputki ja jousivoimanvaraaja (jousivoimanvaraajan jousisto vaihdetaan varotoimena 300 000 kytKentätoiminnon jälkeen). Poistetaan hammaspyörästön ruuvit, ja nostetaan hammaspyörästö pois. Huomioidaan hammaspyörätön alta paljastuvien tehokytkimen tukipalkkien asento. Poistetaan imuputki, joka menee tehokytkinyksikön läpi käämikytkinsäiliön pohjalle. Tehokytkinyksikköä poistettaessa siihen kiinnitetään nostolaite, joka asetetaan tukipalkkien välissä olevaan loveen, ja kiinnitetään tehokytkinyksikköön 3 pultilla. Ennen tehokytkinyksikön nostoa, pitää vaihtovalitsimen liikkuvat koskettimet asettaa eri vaiheiden kiinteiden koskettimien välille. Tämä tehdään kääntämällä tehokytkinyksikköä myötöpäivään nostolaitteeseen asetettavan kahvan avulla. Nostetaan tehokytkinyksikkö pois. /21/

Huuhdellaan käämikytkinsäiliä öljyllä ja puhdistetaan hiilikerrostumat harjalla, jonka jälkeen huuhdellaan vielä öljyllä ja tyhjennetään säiliö öljystä. Puhdistetaan imuputki sisältä ja päältä harjalla ja räteillä ja huuhdellaan öljyllä. Tehokytkinyksikköä puhdistettaessa käytetään harjaa kytkentäelementtien, askelvastusten, vaihtovalitsimen kontaktikannattimien ja tehokytkinyksikön putken puhdistamiseen ja lopuksi huuhdellaan öljyllä. /21/

Tehokytkinyksikön sisäistä puhdistusta varten pitää poistaa tehokytkinyksikön putken alapään laakeri ja sisäiset suojarenkaat. Sisäisten suojarenkaiden poisto edellyttää kaikkien kytkentäelementtien poistoa, paitsi malleissa V III 350 Y, V III 200 Y ja V III 500 Y sekä kaikissa 6/95 jälkeen toimitetuissa V-tyypin malleissa, joissa on kytkentäelementit kiristyskiinnityksellä. Irrotetaan alapään laakerin 4 ruuvia, ja poistetaan se. Numeroidaan kaikki kytkentäelementit niiden poistettavassa järjestyksessä. Irrotetaan ylemmän suojarenkaan 6 pulttia ja kytkentäelementin 6 ruuvia. Poistetaan jokainen kytkentäelementti putken päältä. Poistetaan putken sisällä ole-

vat suojarenkaat irrottamalla niistä 3 kuusiokoloruuvia. Vedetään suojarenkaat putken sisältä, ja merkitään ne poistetussa järjestyksessä. Puhdistetaan putki sisältä harjalla ja huuhtelemalla öljyllä. Kootaan osat takaisin käännettyssä järjestyksessä. /21/

Mitataan askelvastukset liikkuvan pääkoskettimen ja liikkuvien siirtokoskettimien väliltä. Keskimäinen kolmesta kosketinrullasta on aina liikkuva pääkosketin. Mitatut arvot tulisi olla 0,5 – 20  $\Omega$  välillä. Arvoja verrataan arvokilven arvoihin eikä ne saa erota toisistaan 10 % enempää. Tarkistetaan kosketinrullien halkaisijat työntömitalla, jos jonkin rullan halkaisija on  $\leq 16$  mm tai  $\leq 17$  mm (riippuen mallista) vaihdetaan kaikki kolme kosketinrullaa. Tarkistetaan liikkuvien koskettimien jousten toiminta, sekä tarkistetaan kosketinrullien lähtö- ja pääkontakti. Tarkistetaan laakerilevyjen tai kosketinrullien laakeriholkkien ruuvien kiinnitys. /21/

Tehokytkinyksikön asentaminen käämikytkinsäiliöön tehdään käännettyssä järjestyksessä sen poistoon nähden. Täytetään säiliö öljyllä tukilevyn tasolle, ja asennetaan kansi. Avataan paisuntasäiliön ja käämikytkimen välinen sulkuventtiili, ja ilmataan säiliö kannessa olevan ilmausruuvien avulla. Ilmataa myös imuputki, ja täytetään paisuntasäiliö huoltoa edeltäneelle tasolle. /21/

### **4.3 Moottoriohjainten huoltotoimet**

Ajetaan moottoriohjain toiseen päätyasentoon, ja yritetään ajaa ohjainta päätyasennon yli, jolloin sähköisen rajakytkimen ei pitäisi antaa moottorin käynnistyä. Päätyasennoissa ollessa tarkistetaan myös mekaanisen rajakytkimen toiminta, ajamalla ohjainta käsikammella päätyasennon yli. Tehdään tarkistukset molemmissa päätyasennoissa. Tarkistetaan hätä-seis-painikkeen toiminta painamalla sitä asennon vaihdon aikana. Tarkistetaan askelrele pitämällä ohjauspainiketta painettuna, jolloin ohjaimen pitäisi tehdä vain yksi asennonvaihto, tehdään tarkistus molempiin suuntiin. Tarkistetaan asennonosoittimen toiminta kaikissa asennoissa.

Tarkistetaan kolmivaihemoottorin moottorisuojakytkimen toiminta irrottamalla yksi vaihejohdin, ja ajamalla moottoria, jolloin moottorisuojakytkimen pitäisi kyt-

keä moottorin pois toiminnasta tietyn ajan kuluessa. Jos moottoriohjaimessa on vikavirtasuojattu pistorasia, tarkistetaan sen toiminta. Tarkistetaan laskurin toiminta ajamalla moottoriohjainta molempiin suuntiin ja varmistutaan, että laskurin arvo nousee. Tarkistetaan lämmitysvastuksen toiminta lämpömittarilla, tai käsin kokeilemalla. Tarkistetaan johtimien kiinnitykset. ABB:n moottoriohjaimissa tarkistetaan kiila-/hammashihnan kunto ja kireys, sekä jarrun toiminta. BUE-tyypin ohjaimissa jarrulevyssä oleva merkin pitää pysähtyneenä jäädä  $\pm 25$  asteen päähän jarrukenkien merkistä. Tätä voidaan säätää jarrukenkien pulteilla. BUL-tyypin ohjaimissa rataan loven keskikohdan pitää pysähtyneenä olla  $\pm 2$  mm päässä jarruvarren rullan keskikohdasta. Tätä voidaan säätää jarruvarressa olevan ruuvien avulla. MR:n moottoriohjaimissa tarkistetaan vaihteiston kotelon tiiveys sekä öljytaso.





**Taulukko 4.** Ohjain, huoltokohdat

	Tyyppi	BUE 1	BUE 2	BUF	BUF 3	BUL	ED 100 S	MA 2	MA 7	MA 9	MA 2D	MA-E	UEMKU2W19
SÄHKÖISET TOIMINNOT	Kontaktorit	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Moottorin suojakytkin	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Ohjausrele	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Vaihtokytkin	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Käsiohjaimen kosketin	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Lämpövastukset	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Rajakatkaisijat	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MEKAANISET TOIMINNOT	Rajaesteet	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Hammaspyörästö	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Hammas-/kiilahihna	X	X	X	X	X							
	Viritysjousi			X	X								
	Jousivoimanvaraaja							X					
	Jarru	X	X	X	X	X							
	Asennonosoitin	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Toimintolaskuri	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Liukukytkin	X	X		X	X		X	X	X	X		X	

### 5.1 Toteutustavan selvitys

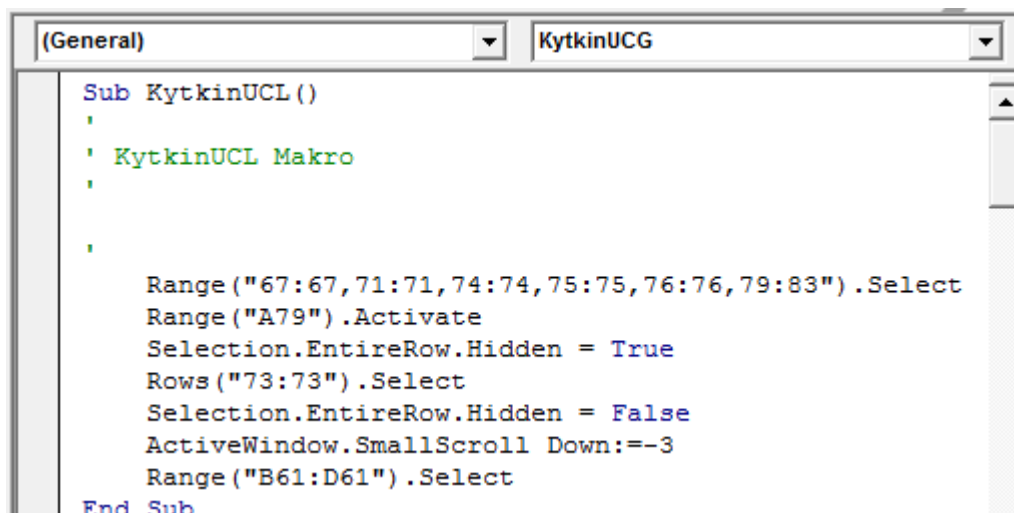
Keskusteltiin toimeksiantajan kanssa mitä pöytäkirjapohjalta haluttiin. Tärkeimmät asiat olivat interaktiivisuus (pöytäkirja päivittyy valitun tyyppin mukaiseksi), helpokäyttöisyys ja käyttöoikeuksien rajaaminen (pääsy muokkaamaan vain tarpeellisia kohtia). Pöytäkirjapohja päätettiin toteuttaa Excelillä, muokkaamalla olemassa oleva pohja halutunlaiseksi.

Aloitettiin tutustumalla Excelin VBA-ohjelmointiin ja makrojen luomiseen. Makron avulla voidaan suorittaa sille määrätty tehtävä automaattisesti, yhdellä liikkeellä ohjelmassa. Aluksi yritettiin toteuttaa pöytäkirjapohja tekemällä jokaiselle käämikytkintyyppille oma pohja erillisille välilehdille, jotka olisi tuotu etusivulle valitsemalla kyseinen tyyppi alasvetovalikosta. Tapa osoittautui ohjelmassa hitaaksi ja raskaaksi, joten idea hylättiin. Paremmaksi tavaksi osoittautui yksinkertaisesti haluttujen rivien piilottaminen, jolla saatiin pohja muokkautumaan eri tyyppien mukaisiksi. Huoltokohtien merkitsemiseen oli muokattavassa pohjassa käytetty valintaruutuja, joita päätettiin myös käyttää, mutta huoltokohtien lisäämisen takia valintaruutujen määrä kasvoi niin paljon, että ohjelma kaatui. Excel liittää valintaruudut asiakirjaan kuvina, ja tämä rasittaa ohjelmaa huomattavasti enemmän kuin tekemällä merkintä vain yksittäisiin soluihin.

## 5.2 Toteutus

Aluksi pöytäkirjapohjaan lisättiin selvitettyt uudet huoltokohdat käämikytkimen ja ohjaimen kohdalle taulukoiden 3 ja 4 mukaan. Käämikytkin- ja ohjaintyypeistä tehtiin listat toiselle välilehdelle, ja nämä nimettiin ”Käämikytkimet” sekä ”Ohjaimet”. Pöytäkirjapohjaan lisättiin kaksi alasvetovalikkoa, joiden ominaisuudet lehden kohtaan ListFillRange lisättiin listojen nimet. Näin saatiin listojen kohdat toiselta välilehdeltä näkymään alasvetovalikoissa visuaalisesti.

Jokaiselle käämikytkin- ja ohjaintyypille tehtiin makro, jolla piilotettiin rivit, joilla oli kyseiselle tyyppille epäolennaisia huoltokohtia. Makrot tehtiin ”Record Macro”-toiminnolla, joka nauhoittaa käyttäjän toimenpiteet ohjelmassa ja kääntää ne Excel VBA-ohjelmointikielelle. Toiminto laitettiin päälle, jonka jälkeen valittiin halutut rivit ja piilotettiin ne, sekä valittiin kyseisen tyyppin rivit, joita ei ollut muilla tyypeillä ja näytettiin ne, vaikka rivit olivatkin jo näkyvissä. Näin saatiin oikeat kohdat tulemaan näkyville myös tilanteissa, joissa valittu tyyppi vaihdettiin toiseen alasvetovalikosta. Kuvassa 19 VBA-koodi makrolle, jossa Range kohdassa valitaan halutut rivit ja piilotetaan ne komennolla `Selection.EntireRow.Hidden = True`. Samalla lailla kohdassa Rows valitaan haluttu rivi ja näytetään se komennolla `Selection.EntireRow.Hidden = False`.



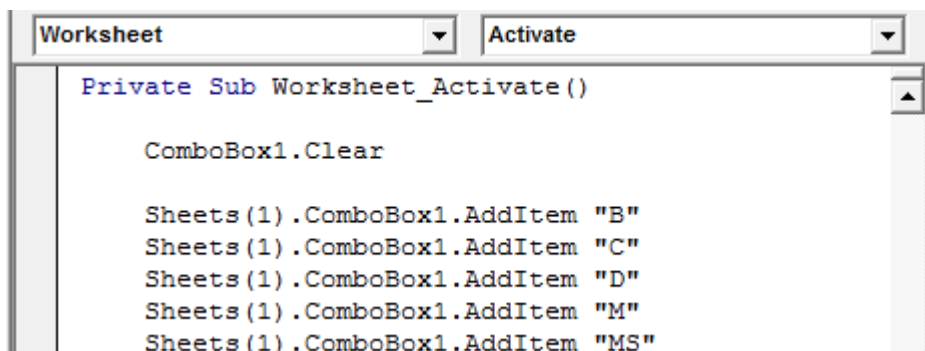
```

Sub KytkinUCL ()
'
' KytkinUCL Makro
'
'
Range ("67:67,71:71,74:74,75:75,76:76,79:83").Select
Range ("A79").Activate
Selection.EntireRow.Hidden = True
Rows ("73:73").Select
Selection.EntireRow.Hidden = False
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-3
Range ("B61:D61").Select
End Sub

```

**Kuva 19.** VBA-koodi rivien piilottamisen/näyttämisen makrolle

Makrot ohjelmoitiin toimimaan valittaessa tietty tyyppi alasvetovalikosta. Ensin lisättiin käämikytkin- ja ohjaintyyppit alasvetovalikoihin myös VBA-koodilla, joiden avulla saatiin makrot suoritettua. Kuvassa 20 koodityyppien lisäämiseen VBA:ssa, missä ComboBox1 on valikko käämikytkimille, nimet heittomerkeissä ovat tyyppiä. Tyypit täytyi lisätä samoilla nimillä, millä ne lisättiin valikkoon aiemmin listan mukaan. Jos tyypit lisättäisiin eri nimillä, ohjelma ei osaisi suorittaa makroja.



```

Private Sub Worksheet_Activate ()

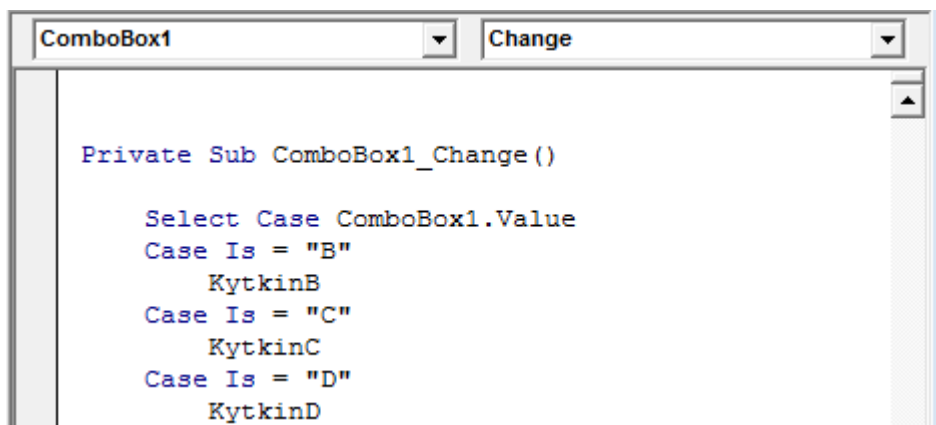
    ComboBox1.Clear

    Sheets (1) .ComboBox1.AddItem "B"
    Sheets (1) .ComboBox1.AddItem "C"
    Sheets (1) .ComboBox1.AddItem "D"
    Sheets (1) .ComboBox1.AddItem "M"
    Sheets (1) .ComboBox1.AddItem "MS"

```

**Kuva 20.** Tyyppien lisäys VBA:ssa

Kun tyypit oli lisätty, Excel-ohjelmoitiin suorittamaan valikosta valittuun tyyppiin liitetty makro. Kuvassa 21 VBA-koodi makrojen liittämiseen tiettyihin tyyppiin, jossa Select Case kertoo valikon mistä valinta tehdään. Case Is kertoo, mikä tyyppi valikosta valitaan, ja minkä makron tämä valinta suorittaa. Esim. valitaan tyyppi ”B”, jolloin suoritetaan makro KytkinB.



```

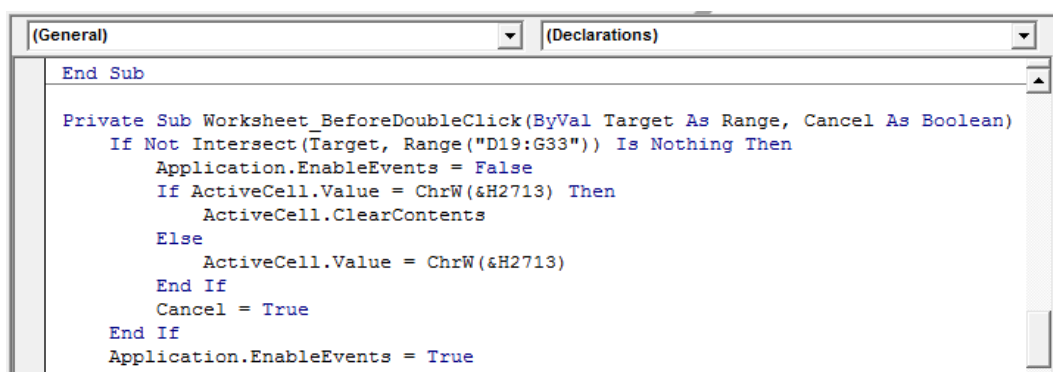
Private Sub ComboBox1_Change ()

    Select Case ComboBox1.Value
    Case Is = "B"
        KytkinB
    Case Is = "C"
        KytkinC
    Case Is = "D"
        KytkinD
    End Select
End Sub

```

**Kuva 21.** Makrojen liittäminen tyyppiin

Huollettavat kohdat merkitään joko tarkastettu, huollettu, uusittu tai ei tarkastettu kohtiin. Merkintään käytetään valintamerkkiä, joka koodattiin VBA-koodilla. Kuvassa 22 koodi valintamerkin liittämiseen soluihin. Merkin liittämiseen/poistamiseen käytetään kaksoisnapsautusta, joka kerrotaan kohdassa Worksheet\_BeforeDoubleClick. Range kohdassa kerrotaan minkä alueen soluihin merkki halutaan liittää. Valintamerkin koodi on ChrW(&H2713). Kuvan 22 koodin mukaan merkki liitetään soluun jos se on tyhjä, tai poistetaan jos solussa on jo merkki.



```

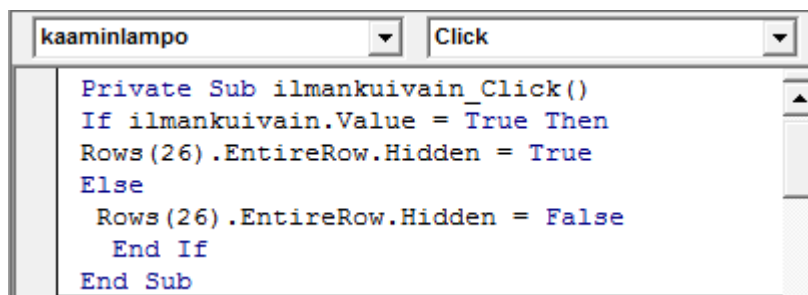
End Sub

Private Sub Worksheet_BeforeDoubleClick(ByVal Target As Range, Cancel As Boolean)
    If Not Intersect(Target, Range("D19:G33")) Is Nothing Then
        Application.EnableEvents = False
        If ActiveCell.Value = ChrW(&H2713) Then
            ActiveCell.ClearContents
        Else
            ActiveCell.Value = ChrW(&H2713)
        End If
        Cancel = True
    End If
    Application.EnableEvents = True
End Sub

```

**Kuva 22.** Valintamerkin liittäminen soluihin

Pöytäkirjassa on myös muuntajan huoltoon liittyvät kohdat, jotka ohjelmoitiin piilottavaksi/näytettäväksi yksittäisillä painikkeilla. Kuvassa 23 koodi kohdan ilmankuivain piilottamiseen/näyttämiseen. Koodissa ilmankuivain\_Click kertoo millä painikkeella ohjaus tehdään. Ohjaamiseen käytettiin vaihtopainiketta, jolloin painaessa painiketta kerran painike aktivoituu ja rivi piilotetaan. Painaessa toisen kerran painike vapautuu ja rivi näytetään.



**Kuva 23.** Vaihtopainikkeen koodi

Pöytäkirjan lisätietoja kohtaan lisättiin myös mahdollisuus liittää kuvia painikkeiden kautta. Kuvassa 24 koodi kuvien lisäämiseen. Koodissa TestInsertPictureInRange on makron nimi, joka määritettiin toimimaan painikkeesta. Range kohdassa kerrotaan, mihin alueeseen kuva liitetään.

```

Sub TestInsertPictureInRange()
Dim picToOpen As String
picToOpen = Application _
.GetOpenFilename("Pics (*.gif; *.jpg; *.bmp; *.tif; *.png), *.gif; *.jpg; *.bmp; *.tif; *.png")
If picToOpen <> "" Then InsertPictureInRange picToOpen, _
Range("B41:D47")
End Sub

Sub InsertPictureInRange(PictureFileName As String, TargetCells As Range)
' inserts a picture and resizes it to fit the TargetCells range
Dim p As Object, t As Double, l As Double, w As Double, h As Double
If TypeName(ActiveSheet) <> "Worksheet" Then Exit Sub
If Dir(PictureFileName) = "" Then Exit Sub
' import picture
Set p = ActiveSheet.Pictures.Insert(PictureFileName)
' determine positions
With TargetCells
t = .Top
l = .Left
w = .Offset(0, .Columns.Count).Left - .Left
h = .Offset(.Rows.Count, 0).Top - .Top
End With
' position picture
With p
.Top = t
.Left = l
.Width = w
.Height = h
End With
Set p = Nothing
End Sub

```

**Kuva 24.** Kuvien lisäämisen koodi

Pöytäkirjan loppuun lisättiin painike, joka tallentaa pöytäkirjan PDF:ä, avaa sähköpostin, ja liittää PDF:n sähköpostiin, jolloin se voidaan lähettää haluttuun paikkaan. Tallennettava PDF nimetään automaattisesti pöytäkirjan alussa olevien asiakkaan tietojen mukaan. Kuvassa 25 koodi PDF:n tallennukseen, nimeämiseen ja lähetykseen.

```

Sub SavePDF()
  Dim strFileName As String
  Dim objApp As Object
  Dim objMsg As Object
  strFileName = Application.GetSaveAsFilename( _
    InitialFileName:="C:/Test/" & Range("B7").Value & "-" & Range("G7").Value
    FileFilter:="PDF Files (*.pdf),*.pdf", _
    Title:="Save As PDF")
  If strFileName <> "False" Then
    ActiveWorkbook.ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
      Filename:=strFileName, _
      OpenAfterPublish:=True
    Set objApp = CreateObject("Outlook.Application")
    Set objMsg = objApp.CreateItem(0)
    objMsg.To = "sahkoposti"
    objMsg.Subject = "aihe"
    objMsg.Body = "viesti"
    objMsg.Attachments.Add strFileName
    objMsg.Display
  End If
End Sub

```

### **Kuva 25.** PDF:n tallennus- ja lähetykoodi

Lopuksi pöytäkirjapohjan otsikko ja muut kohdat, joita ei raportointia tehdessä tarvitse päästä muokkaamaan lukittiin. Näin saatiin pohja käyttäjäystävällisemmäksi, kun raportin tekijä ei pääse tekemään virheitä muokkaamalla vääriä kohtia.

### **5.3 Valmis pöytäkirjapohja**

Liitteenä 1 kuvat valmiista pöytäkirjapohjasta. Pöytäkirjapohjan ensimmäisellä sivulla on muuntajatarkastuksen osuus. Vaaleanharmaalla merkittyihin alueisiin voidaan tehdä muokkauksia. Muuntajatietojen alapuolella sijaitsevien painikkeiden avulla voidaan poistaa niiden nimiset kohdat raportista. Sijainti/ilmastot ja ÖLJYNÄYTTEET kohdissa oleviin vaaleanharmaisiin alueisiin saadaan sijoitettua valintamerkki kaksoisnapsauttamalla niitä hiiren vasemmalla painikkeella. Valintamerkit saadaan samalla lailla myös Tarkastettu, Huollettu, Uusittu ja Ei tarkastettu kohtien alapuolella olevaan alueeseen. Lisätietoja kohdassa on painikkeet Aseta kuva 1 ja Aseta kuva 2, joita painettaessa avautuu ikkuna tietokoneen hakemistosta, josta voidaan valita liitettävä kuva. Liitettävä kuva asettuu automaattisesti Lisätietoja kohdan vaaleanharmaalle alueelle.

Pöytäkirjapohjan toiselta sivulta alkaa käämikytken ja moottoriohjaimen huollon osuus. Ennen käämikytken ja moottoriohjaimen tietoja on kaksi alasetovalikkoa, joista vasemmanpuoleisella valitaan haluttu käämikytken, ja oikeanpuoleisella

moottoriohjain. Tarkastettu, Huollettu, Uusittu ja Ei tarkastettu kohtiin saadaan valintamerkit saman lailla kuin alun muuntajaosuudessa. Lisätietoja kohdassa on painikkeet kuvien liittämiseksi. Pöytäkirjapohjan lopussa on Tallenna ja Lähetä PDF-painike, joka tallentaa raportin haluttuun kansioon PDF:ä, ja avaa sähköpostin, sekä asettaa PDF:n liitteeksi, jonka jälkeen se voidaan lähettää halutulle henkilölle.



## 6 POHDINTA

Työn tavoitteena oli tehdä Vaasan ABB Oy Transformer Servicen käämikytkinhuollolle uusi pöytäkirjapohja huolto raportointiin, sekä tehdä tiivistetyt ohjeet eri käämikytkintyyppien huolto-ohjeista. Pöytäkirjapohja toteutettiin Excelillä, joka ei välttämättä ole parhain ohjelma kyseisenlaisen pöytäkirjapohjan toteuttamiseen, mutta jolla pohja pystyttiin kuitenkin toteuttamaan. Excelin hyväksi puoleksi voidaan katsoa sen yleisyys, ja sen ollessa valmiina toimeksiantajan tietokoneilla, ei tarvinnut asentaa uutta ohjelmaa, eikä kouluttaa sen käyttöä.

Työ aloitettiin tutustumalla vanhoihin huolto raportteihin, joista kartoitettiin käämikytkin ja moottoriohjain tyyppit, jotka olivat huoltojen kohteina. Tämän perusteella hankittiin kyseisten tyyppien saatavilla olevat huolto-ohjeet, ja niihin tutustumalla selvitettiin tyyppien eroavaisuudet, ja päivitettiin pöytäkirjapohja. Työssä jouduttiin tutustumaan myös käämikytkimen teoriaan, koska sitä ei koulussa ollut käsitelty. Tämä osoittautui haasteelliseksi, käämikytkimen teoriaa käsittelevien teoksien vähyden takia. Myös Excel ohjelmointiin jouduttiin syventymään pöytäkirjapohjan toteutustapoja selvittäessä.

Alun ongelmien jälkeen pöytäkirjapohjasta saatiin omasta mielestäni toimiva, kevyt ja käyttäjäystävällinen. Tulevaisuudessa pöytäkirjapohjaa voisi kehittää esim. ohjelmoimalla pöytäkirjapohja hakemaan muuntajan ja käämikytkimen tiedot tietokannasta valmistusnumeron perusteella. Pöytäkirjapohjasta voisi myös muokata mobiililaitteille paremmin soveltuvan version, joka helpottaisi kenttätyön raportointia.

## LÄHTEET

- /1/ Heathcote, M. J. 2007. The J & P Transformer Book. 13. painos. Burlington, MA. Newnes cop.
- /2/ Verkkonen, V. 2005. Sähkökoneet – Muuntajat. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /3/ Transformer Handbook. 2007. 3. painos. Zürich, Switzerland. ABB Ltd.
- /4/ ABB. On-load tap-changers, type UBB Maintenance guide.
- /5/ On-load tap changers type UBB. Viitattu 26.4.2017. <http://ab-bib.cloudapp.net/public/default/product/9AAC750308/presentation>
- /6/ ABB. On-load tap-changers, type UCG Maintenance guide.
- /7/ On-load tap changers type UCG. Viitattu 26.4.2017. <http://ab-bib.cloudapp.net/public/default/product/9AAC30404922/presentation>
- /8/ On-load tap changers type UCL. Viitattu 26.4.2017. <http://ab-bib.cloudapp.net/public/default/product/9AAC30404923/presentation>
- /9/ ABB. On-load tap-changers, type UZE and UZF Maintenance guide.
- /10/ On-load tap changers type UZE. Viitattu 26.4.2017. <http://ab-bib.cloudapp.net/public/default/product/9AAC750309/presentation>
- /11/ Maschinenfabrik Reinhausen. On-Load Tap Changer Type C Inspection instructions.
- /12/ OILTAP C. Viitattu 26.4.2017. [http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP\\_C\\_gr.jpg](http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP_C_gr.jpg)
- /13/ Maschinenfabrik Reinhausen. On-Load Tap Changer Type D Inspection instructions.
- /14/ OILTAP D. Viitattu 26.4.2017. [http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP\\_D\\_gr.jpg](http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP_D_gr.jpg)
- /15/ Maschinenfabrik Reinhausen. On-Load Tap Changer Type M & MS Inspection instructions.
- /16/ OILTAP M. Viitattu 26.4.2017. [http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP\\_M\\_gr.jpg](http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP_M_gr.jpg)
- /17/ OILTAP MS. Viitattu 26.4.2017. [http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP\\_MS\\_gr.jpg](http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP_MS_gr.jpg)

/18/ Maschinenfabrik Reinhausen. On-Load Tap Changers Type R & RM Inspection instructions.

/19/ OILTAP R. Viitattu 26.4.2017. [http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP\\_R\\_gr.jpg](http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP_R_gr.jpg)

/20/ OILTAP RM. Viitattu 26.4.2017. [http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP\\_RM\\_gr.jpg](http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP_RM_gr.jpg)

/21/ Maschinenfabrik Reinhausen. On-Load Tap Changer Type V Inspection instructions.

/22/ OILTAP V. Viitattu 26.4.2017. [http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP\\_V\\_gr.jpg](http://www.reinhausen.com/PortalData/1/Resources/rg/history/OILTAP_V_gr.jpg)

/23/ Trafo-Union. On-load tap-changers Basic Types I to IV Technical List.

/24/ ABB. Motor-drive mechanisms, types BUE and BUL2 Maintenance guide.

/25/ Maschinenfabrik Reinhausen. Motor drive unit MA 7 Inspection instructions.

## LIITE 1



ABB Oy Transformers

MUUNTAJAN  
TARKASTUSPÖYTÄKIRJA

Käsittelijä		Työ n:o		Pöytäkirja n:o	
Asiakas		Asennuspaikka		Tunniste	
Osoite		Muuntajan laji		Valm.n:o / vuosi	
Yhteyshenkilö		Jännite / Teho		kV MVA	
Puh.		Ympäristön lämpötila		°C	
Sijainti/ilmastotila		sisällä		ulkona	
		meri		teollisuus katoksessa	
Kaasu rele		Paine rele		Öljyn korkeuden os.	
		Öljyn lämpö		Käämin lämpö	
		Ylipaine venttiili		Ilman kuivain	
		Väliotto kytkin		Tuuletti met	
		Venttiilit		Radiat torit	
Tarkastukset		Tarkastettu		Huollettu	
		Uusittu		Ei tarkastettu	
		Lisätietoja			
SUOJALAITTEET		Kaasurele			
		Painerele			
		Öljynkorkeuden os.			
		Öljyn lämpö			
		Käämin lämpö			
		Ylipaineventtiili/ rele			
VARUSTEET		Läpiviennit			
		Ilmankuivain			
		Väliottokytkin			
		Tuulettimet			
VUOTO-TARKASTUKSET		Tiivisteet			
		Saumat			
		Venttiilit			
		Radiatortit			
PINTAKÄSITTELY					
ÖLJYNÄYTTIET		Läpilyöntil./ kosteus		Ylä	
		Ala		Kaasu-analyysit	
				Ylä	
				Ala	
				Paisuntasäiliö	
MUUTA:					
Lisätietoja					
Aseta kuva 1					
Aseta kuva 2					
Suorittaja				Pvm	



ABB Oy Transformers

KÄÄMIKYTKIMEN JA OHJAIMEN  
TARKASTUSPÖYTÄKIRJA

YLEINEN		YLEINEN				
Käsittelijä		Työ n:o		Pöytäkirja n:o		
Käämikytkin laji		Ohjaimen laji				
Valm.n:o / vuosi		Valm.n:o / vuosi				
OhjauSJännite		Toimintojen määrä				
TARKASTUKSET KÄÄMIKYTKIN		Tarkastettu	Huollettu	Uusittu	Ei tarkastettu	Lisätietoja
TEHOKYTKIN	Koskettimet					
	Välkyset					
	Joustavat johtimet					
	Öljy					
	Öljynkorkeuden os.					
	Tiivisteet					
	Painekalvo + tiiviste					
	Mekanismi					
	Virtysjouset					
	Jousivoimanvaraaja					
	Iskunvaimennusjouset					
	Epäkeskokampi					
	Askelvastukset					
Ohm/ vaihe	A = X,X Ω	B = X,X Ω	C = X,X Ω			
Varistorit						
Ohm/ vaihe	A = X,X Ω	B = X,X Ω	C = X,X Ω			
VALITSIN	Koskettimet					
	Johtimien kiinnitys					
	Eri-steet					
KÄYTTÖ- AKSELISTO	Tiiviste					
	Nivelet					
RUUMIEN LUKITUS						
VOITELU						
MODIFIOINTI						
TARKASTUKSET OHJAIN		Tarkastettu	Huollettu	Uusittu	Ei tarkastettu	Lisätietoja
SAHKÖISET TOIMINNOT	Kontaktori					
	Moottorin suojakytin					
	Ohjausele					
	Vaihtokytin					
	Käsiohjaimen kosketin					
	Lämpövastukset					
Rajakatkaisijat						
MEKAANISET TOIMINNOT	Rajaesteet					
	Hammaspyörästö					
	Hammas-/kiilalahina					
	Virtysjousi					
	Jousivoimanvaraaja					
	Jarru					

ABB Oy  
Transformer ServiceStrömbergin puistotie 15 C  
PL 666, 65101 Vaasa  
E-mail: etunimi.sukunimi@fi.abb.comPuhelin: 010 22 11  
Y-tunnus: 0763403-0  
Kotipaikka: Helsinki



ABB Oy Transformers

KÄÄMIKYTKIMEN JA OHJAIMEN  
TARKASTUSPÖYTÄKIRJA

	Asennosoitin					
	Toimintolaskuri					
	Liukukytin					
<b>RUUVIEN LUKITUS</b>						
<b>VOITELU</b>						
<b>MODIFIOINTI</b>						
<b>OHJAIMEN KESKITYS</b>						
	Vaihe	Keskitetty	Tarkastettu		Tehokytin as.	Ohjain as.
<b>MUUTA:</b>						
<b>Lisätietoja</b>						
Aseta kuva 1						
Aseta kuva 2						
<b>Suorittaja</b>					<b>Pvm</b>	

Tallenna ja  
Lähetä PDF