



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ari Panu

# KATKAISIJASOVITTEIDEN TARKASTUSOHJE

Tekniikka  
2020

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Ari Panu
Opinnäytetyön nimi	Katkaisijasovitteiden tarkastusohje
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	47 + 1 liite
Ohjaaja	Timo Männistö

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on varmistaa ABB:n keskijännitekatkaisijoiden ja näiden sovitteiden vaatimusten mukainen rakenne ja laatu.

Työssä tutustutaan yleisellä tasolla keskijännitekatkaisijoiden käyttötarkoitukseen ja ominaisuuksiin, keskittyen tyhjö- sekä SF<sub>6</sub>-keskijännitekatkaisijoihin. Erityisesti tarkastellaan katkaisijoiden ominaisarvoja sekä standardien vaatimia ominaisuuksia ja testauksia, ja verrataan kirjallisuudesta ja standardeista koottua tietoa ABB:n käyttämiin standardeihin ja sisäisiin ohjeisiin.

Kerätystä tiedosta luodaan ABB Oy Electrification Servicelle katkaisijasovitteiden tarkastusohje, jolla yritys voi varmistua katkaisijasovitteiden noudattavan nykyisiä voimassaolevia vaatimuksia.

Työn aikana nykyinen tarkastusprosessi käytiin tarkasti läpi, mutta mitään isoja puutteita ei löytynyt.

Tarkastusohjeet on tehty tarkastusprosessin kannalta mahdollisimman loogiseksi ja useille eri katkaisijasovitteille soveltuviksi. Tarkastusohjeet toimivat tarkastajan muistilistana ja ovat tehokkaita työkaluja, kun yritys kouluttaa uusia työntekijöitä suorittamaan katkaisijasovitteiden rutiinitarkastuksia.

## ABSTRACT

Author	Ari Panu
Title	Inspection Instructions for Medium Voltage Circuit Breaker
Year	2020
Language	Finnish
Pages	47 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Timo Männistö

---

The task of the thesis was to make sure that the current medium voltage circuit breaker inspection methods are up to date and that the inspection meets all standards and requirements set on it. From collected information, the purpose was to create step-by-step inspection instructions for a wide variety of different medium voltage circuit breakers. This thesis also presents medium voltage circuit breakers in general, focusing on vacuum and SF<sub>6</sub>-gas circuit breakers.

The main reason for commissioning this thesis was the lack of inspection instructions. With step-by-step instructions, it is easier to go through inspection process systematically with less risk of forgetting anything.

In this thesis, relevant IEC standards were studied along with other electrical literature, and the step-by-step inspection instructions were made to cover many different circuit breaker models. The current inspection process was reviewed and new guidelines were made to keep the inspection process as smooth as possible.

The inspection instructions made in this thesis works as a checklist for experienced personnel and they are very useful tools when the company is introducing the inspection process to new personnel.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

1	JOHDANTO .....	8
2	YLEISTÄ KESKIJÄNNITEKATKAISIJOISTA .....	9
	2.1 Katkaisijoiden luokat .....	11
	2.2 Katkaisijan rakenne.....	12
	2.3 SF <sub>6</sub> -katkaisija .....	14
	2.4 Tyhjökatkaisija.....	18
	2.5 Koneisto .....	20
	2.6 Katkaisijasovitteet.....	25
	2.7 Apusähköpiirit.....	28
3	KATKAISIJOIDEN TEKNISIÄ OMINAISUUKSIA.....	34
4	KATKAISIJAN OMINAISARVOT JA RUTIINITESTAUUS .....	37
	4.1 Katkaisijasovitteen tarkastus, ominaisarvot.....	40
	4.2 Katkaisijasovitteen tarkastus, rakenne .....	41
	4.3 Katkaisijasovitteen tarkastus, ohjaus .....	42
5	YHTEENVETO .....	46
	LÄHTEET .....	47

LIITTEET

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Sähköverkon rakenne. /3/ .....	9
<b>Kuva 2.</b> Verkkomuodot. /4/ .....	10
<b>Kuva 3.</b> ABB HD4 SF <sub>6</sub> -katkaisija. /6/ .....	14
<b>Kuva 4.</b> SF <sub>6</sub> -eristeisen katkaisijan pilarin rakenne. /6/ .....	15
<b>Kuva 5.</b> Koskettimien avautuminen. /6/ .....	16
<b>Kuva 6.</b> ABB VD4-tyhjökatkaisija. /8/ .....	18
<b>Kuva 7.</b> Tyhjökatkaisijan pilarin rakenne. /7/ .....	19
<b>Kuva 8.</b> Ilman vaihtojännitelujuus ilmanpaineesta riippuvana. /7/ .....	20
<b>Kuva 9.</b> ABB HD4-katkaisijan koneisto. /6/ .....	21
<b>Kuva 10.</b> ABB VM1-katkaisijan koneisto. /9/ .....	23
<b>Kuva 11.</b> ABB VM1-katkaisijan toimilaite. /10/ .....	24
<b>Kuva 12.</b> ABB UniGear-keskijännitekojeisto Vaasan Sähkön sähköasemalla. ...	25
<b>Kuva 13.</b> ABB MH-kenno ja MH-katkaisijasovite. ....	26
<b>Kuva 14.</b> ABB Retrofit 3D-renderöinti. /12/ .....	27
<b>Kuva 15.</b> Strömberg META-kennon katkaisijapäivitys, 3D-renderöinti. /12/ .....	28
<b>Kuva 16.</b> HD4-katkaisijan piirikaavio. /13/ .....	30
<b>Kuva 17.</b> VM1-katkaisijan piirikaavio. /14/ .....	32
<b>Kuva 18.</b> Kondensaattorin nopea purkaus. /9/ .....	33
<b>Kuva 19.</b> ABB Is-rajoitin. /15/ .....	35
<b>Kuva 20.</b> Oikosulkuvirta. /15/ .....	35
<b>Kuva 21.</b> Katkaisijan tarkastuskytkentä. ....	43
<b>Kuva 22.</b> Katkaisijan apukoskettimien tarkastus. ....	44
<b>Taulukko 1.</b> Pienimmät sallitut vapaan ilmvälän arvot. /16/ .....	42

**LIITELUETTELO****LIITE 1. Tarkastusohjeiden sisällysluettelo**

**KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET**

ABB	ASEA Brown Boveri Ltd
AC	Vaihtovirta
AJK	Aikajälleenkytkentä
DC	Tasavirta
HD4	ABB:n SF <sub>6</sub> -katkaisija
IEC	Kansainvälinen sähkötekniikan standardoimisjärjestö (International Electrotechnical Commission)
$I_{thr}$	Terminen oikosulkuvirta
k	Avauskerroin
KJ	Keskijännite
PJK	Pikajälleenkytkentä
pl.	Pois lukien
SF <sub>6</sub>	Rikkiheksafluoridi
$U_d$	Jännitelujuus
VD4	ABB:n tyhjökatkaisija
VM1	ABB:n tyhjökatkaisija magneettisella koneistolla

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty ABB Oy Distribution Solutions Electrification Servicelle Vaasan tehtaalle. ABB muodostettiin tammikuussa 1988 sulauttamalla yhteen ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin sähkötekniset liiketoiminnot 50:50-omistusperiaatteella. Nyt ABB on johtava teknologian edelläkävijä, jonka tarjonta kattaa niin sähköistystuotteet, robotit ja liikkeenohjauksen kuin teollisuusautomaation ja sähköverkkoratkaisut. /1/ ABB:n Distribution Solutions –liiketoimintalinja Suomessa kehittää, valmistaa, myy ja markkinoi sähköjakeluverkon suojaeleitä sekä ohjaus-, automaatio- ja valvontalaitteita. /2/

Vaasassa Electrification Service – yksikössä valmistetaan pienjännitekojeistojen laajennuksia, maadoituskytkimiä, erottimia, moottoriohjaimia, aktiivisesta tuotannosta poistuneita suojaeleitä (ns. Classic-mallit) sekä katkaisijasovitteita. Keskijännitekojeistoihin yksikössä tehdään MH-kojeistojen laajennuksia, sekä jonkin verran laitteiden huoltoja ja korjauksia.

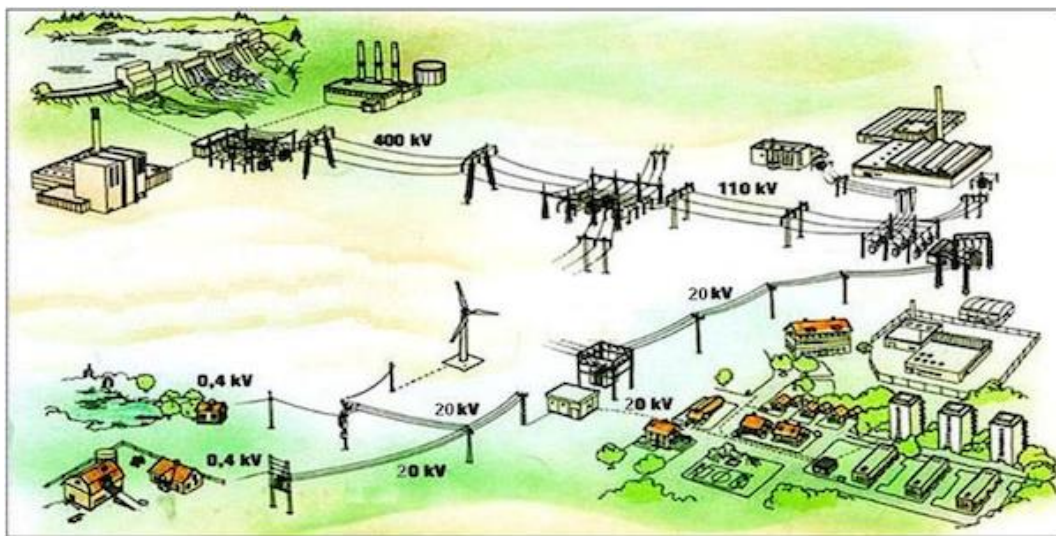
Keskijännitekatkaisijoita valmistetaan täysin uusiin asennuksiin sekä vanhoihin kojeistoihin retrofit-asennuksina. Retrofit-asennuksessa vanha katkaisija korvataan täysin uudella katkaisijalla, jolloin voidaan edelleen käyttää vanhaa kojeistoa. Kustannustehokkuutta lisää edelleen lyhyt käyttökatko aika verrattuna vanhan katkaisijan täyshuoltoon sekä uusien katkaisijoiden luotettavampi tekniikka ja parempi hallittavuus.

Opinnäytetyön tarkoituksena on varmistaa katkaisijasovitteiden vaatimustenmukaisuus ja tutkia mahdollisia keinoja tehostaa katkaisijoiden tarkastusprosessia nopeampien läpimenoaikojen saavuttamiseksi.



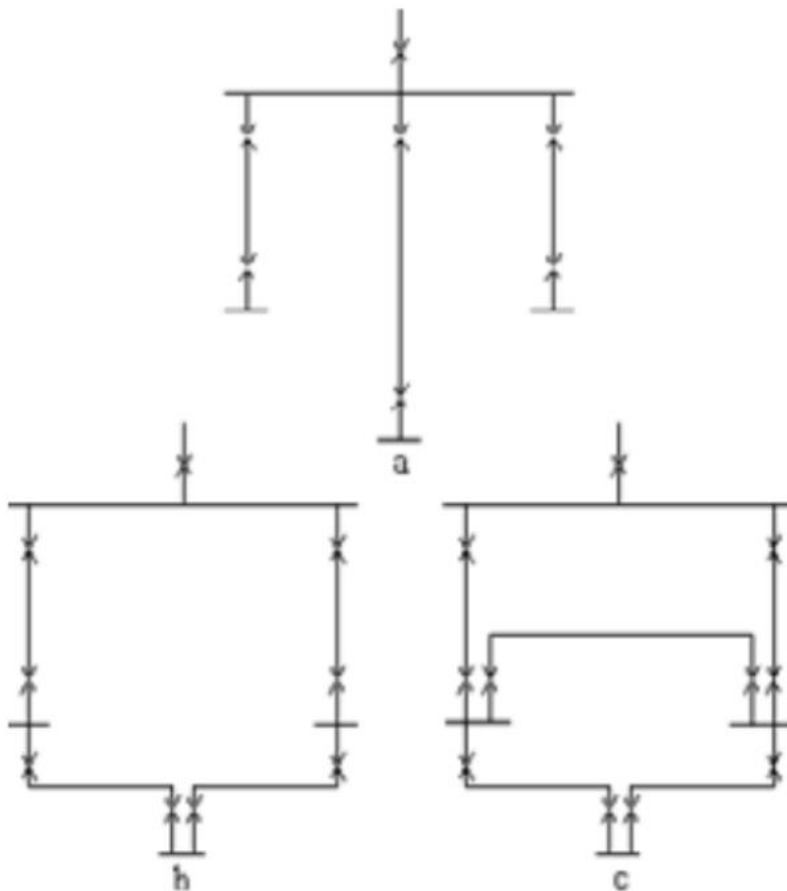
## 2 YLEISTÄ KESKIJÄNNITEKATKAISIJOISTA

Sähköverkot jaetaan tyypillisesti siirto- jakelu- ja pienjänniteverkkoihin jännitetason mukaan (**Kuva 1.**). Sähkön siirto voimalaitoksilta syöttöasemille tehdään suurjännitteellä, jolloin jännitetasot ovat 400 kV, 220 kV tai 110 kV. Sähkön jakelu syöttöasemilta pienjännitemuuntamoille tehdään keskijännitteellä, jolloin jännitetasot ovat 1-36 kV. Suomessa yleisesti käytetty keskijännite on 20 kV, mutta joissain kaupungeissa on vielä käytössä myös 10 kV:n keskijännite. Pienjänniteverkko on alle alle 1 kV:n, yleisimmin 400 V verkko, jolla asiakas kytketään sähköverkkoon.



**Kuva 1.** Sähköverkon rakenne. /3/

Sähköverkot voidaan toteuttaa säteittäisesti, jolloin sähköä syötetään vain yhdestä suunnasta tai silmukkaverkkona, jolloin sähköä voidaan syöttää useammasta eri suunnasta (**Kuva 2.**). Katkaisijoita käytetään verkon topologian muuttamiseen, mutta katkaisijan tärkein tehtävä on vikatilanteessa oikosulkupiirin katkaiseminen. Siksi katkaisijan on kestävä verkossa esiintyvät oikosulkuvirrat kaikissa tilanteissa, sekä myös kiinniohjaus oikosulkua vasten.



**Kuva 2.** Verkkomuodot. /4/

Kuvassa 2 on esitetty erilaiset verkkomuodot: a) säteittäinen verkkomuoto. b) ja c) silmukoitu verkkomuoto. Kuvissa lyhyet vaakasuorat viivat kuvaavat kuormituspisteitä ja X:t kytkinlaitteina käytettäviä katkaisijoita. /4/

Silmukkaverkon käyttövarmuus on parempi, sillä yhden johdon vikaantuminen ei vielä aiheuta sähkökatkoa. Lisäksi jännitteenalenema ja tehohäviöt ovat silmukkaverkossa pienempiä. Silmukoidun rakenteen haittapuolina ovat suuremmat oikosulkuvirrat ja suojauksen monimutkaisuus. Siirto- ja keskijänniteverkot rakennetaan silmukkaverkoiksi. Kantaverkossa johtorengas pidetään yleensä suljettuina. Alue- ja keskijänniteverkoissa johtorengas pidetään normaalisti avoimena. Rengasmuotoa käytetään lähinnä vianetsinnässä ja verkon kytkeä muuttaessa. Pienjänniteverkot rakennetaan maaseudulla kustannussyistä lähes pelkästään säteittäisiksi. Kaupungeissa ne ovat yleensä silmukoituja, mutta niitä käytetään säteittäisesti. /4/

## 2.1 Katkaisijoiden luokat

IEC 62271-100 standardin mukaisesti katkaisijat luokitellaan kuuteen eri luokkaan ominaisuuksien perusteella seuraavasti:

- **Katkaisijaluokka E1:**  
Katkaisija, joka on sähköisiltä ominaisuuksiltaan perustasoa eikä kuulu luokkaan E2.
- **Katkaisijaluokka E2:**  
Katkaisija, joka on suunniteltu siten, että se vaatii erittäin vähän huoltoa, ja että sen päävirtapiirin koskettimet kestävät koko katkaisijan odotettavissa olevan käyttöiän ajan. Sähköisiltä ominaisuuksiltaan kehittyntä tasoa.
- **Katkaisijaluokka C1:**  
Katkaisija, jolla on alhainen todennäköisyys valokaaren uudelleen syttymiseen kapasitiivisen virran katkaisussa. Osoitettu erityisillä tyyppitesteillä.
- **Katkaisijaluokka C2:**  
Katkaisija, jolla on erittäin alhainen todennäköisyys valokaaren uudelleen syttymiseen kapasitiivisen virran katkaisussa. Osoitettu erityisillä tyyppitesteillä.
- **Katkaisijaluokka M1:**  
Katkaisija, jolla on normaali mekaaninen kestävyys. Tyypitestattu 2 000 toimintakerralle.
- **Katkaisijaluokka M2:**  
Katkaisija, jolla on kehittynyt mekaaninen kestävyys. Tyypitestattu 10 000 toimintakerralle. Erityisesti suurille kytkentätiheyksille. Vaatii erittäin vähän huoltoa.

Katkaisijaluokkien yhdistelmätkin ovat mahdollisia, mikäli katkaisijaa ei pystytä ominaisuuksien perusteella luokittelemaan selvästi yhteen luokkaan. Tällöin luokitus tulee ilmoittaa aakkosjärjestyksessä, esim. C1-M2.

Lisäksi katkaisijat luokitellaan kahteen luokkaan niiden käyttökohteen mukaan:

- Katkaisijaluokka S1:  
Katkaisija, joka on tarkoitettu käytettäväksi maakaapelijärjestelmässä.
- Katkaisijaluokka S2:  
Katkaisija, joka on tarkoitettu käytettäväksi ilmajohtojärjestelmässä tai maakaapelijärjestelmässä, jossa on suora yhteys ilmajohtoihin.

## 2.2 Katkaisijan rakenne

Katkaisukammiossa käytettävä väliaine osallistuu sekä valokaaren sammuttamiseen että mahdollisesti katkaisukohdan jännitteisten osien eristämiseen katkaisijan muista osista. Sen perusteella katkaisijat voidaan jakaa muun muassa seuraaviin ryhmiin (suluissa on ilmaistu pääasiallinen valmistuskausi):

- Öljykatkaisijat (bulk-oil circuit-breakers, 1905-1950)
- Vähäöljykatkaisijat (oil-minimum circuit-breakers, 1930-1985)
- Paineilmakatkaisijat (air-blast circuit-breakers, 1930-1970)
- SF<sub>6</sub>-katkaisijat, kaasukatkaisijat(1975-)
- Tyhjökatkaisijat (vacuum circuit-breakers, 1980-). /5/

Tässä työssä ei tarkastella vanhimpia katkaisijatyyppejä, mutta todetaan, että keskijänniteverkoissa on edelleen käytössä vanhoja vähäöljykatkaisijoita, joita uusitaan nykyaikaisilla kaasu- ja tyhjökatkaisijoilla. Paineilmakatkaisijat ovat olleet pääasiassa käytössä suurjänniteverkoissa ja niitäkin on edelleen käytössä. Vanhat paineilmakatkaisijat korvataan nykyään SF<sub>6</sub>-katkaisijoilla. ABB:n katkaisijamallistossa HD4 on jousiviritteinen SF<sub>6</sub>-katkaisija, VD4 on jousiviritteinen tyhjökatkaisija ja VM1 on magneettisella koneistolla ohjattu tyhjökatkaisija. Näihin katkaisijatyyppeihin perehdytään myöhemmin tässä työssä.

Käyttäjän näkökulmasta katkaisijan tyyppillä ei ole juurikaan merkitystä, sillä ulkoisesti katkaisijat ovat hyvin samankaltaisia ja katkaisijan käyttäminen

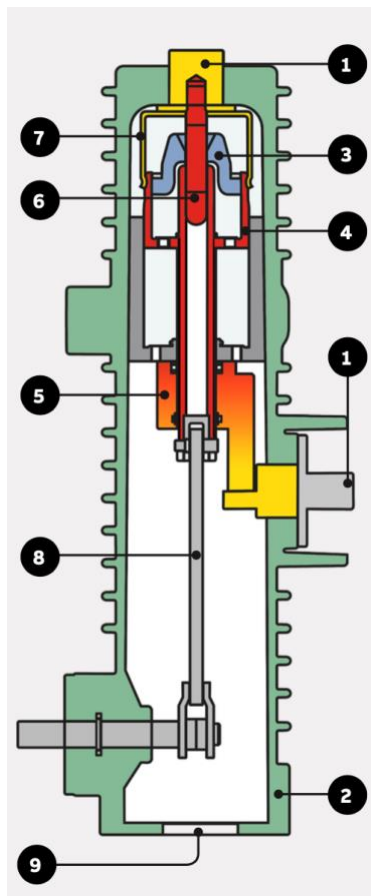
katkaisijan tyypistä riippumatta on hyvin samankaltaista. ABB:n vakiovarusteisen keskijännitekatkaisijan etupaneelissa on ohjauskytkimet, katkaisijan tilatiedon osoitin, jousen asennonosoitin (pl. VM1) ja toimintakertalaskuri. Joitain lisävarusteita on saatavilla, muun muassa alijännitekela ja HD4-katkaisijan kaasupaineen ohjausyksikkö, joka ilmaisee kaasupaineen tason LED-valolla ja avaa sekä lukitsee katkaisijan auki kaasupaineen laskiessa riittämättömälle tasolle. Sekä HD4- että VD4-katkaisijat ovat sähköisen virityksen lisäksi myös manuaalisesti viritettävissä, VD4 etupaneelin läpi kiinteästi virituskoneistolle viedystä kahvasta ja HD4 katkaisijan mukana toimitettavalla erillisellä kammella. Magneettisella koneistolla toimiva VM1-katkaisija on hätätilanteessa mahdollista avata mukana toimitettavalla kammella, normaalitilanteessa katkaisijaa ohjataan vain sähköisesti. Jousiviritteisen katkaisijan virituskoneisto pyrkii pitämään kiinniohjausjousen jatkuvasti viritettynä, ja aloittaa virittämisen automaattisesti ohjausjännitteen kytkeydyttyä. Kun katkaisija on kiinni, kiinniohjausjousi virittyy uudelleen. Ilman tätä ominaisuutta pikajälleenkytkennät eivät olisi mahdollisia. Aukiohjausjousi virittyy katkaisijan pääkoskettimien sulkeutuessa, joten sen virittymiseen ei kulu ylimääräistä aikaa eikä se näin ollen vaikuta katkaisijan toiminta-aikajaksoihin.

### 2.3 SF<sub>6</sub>-katkaisija

Tässä kappaleessa perehdytään SF<sub>6</sub>-katkaisijan (**kuva 3.**) rakenteeseen ja toimintaperiaatteeseen. SF<sub>6</sub>-katkaisijan pilarin rakenne (**kuva 4.**) on monimutkaisempi verrattaessa tyhjökatkaisijan pilariin, sillä pääkoskettimien avautuessa valokaari ohjataan pääkoskettimilta erityisien valokaarikoskettimien välille.



**Kuva 3.** ABB HD4 SF<sub>6</sub>-katkaisija. /6/

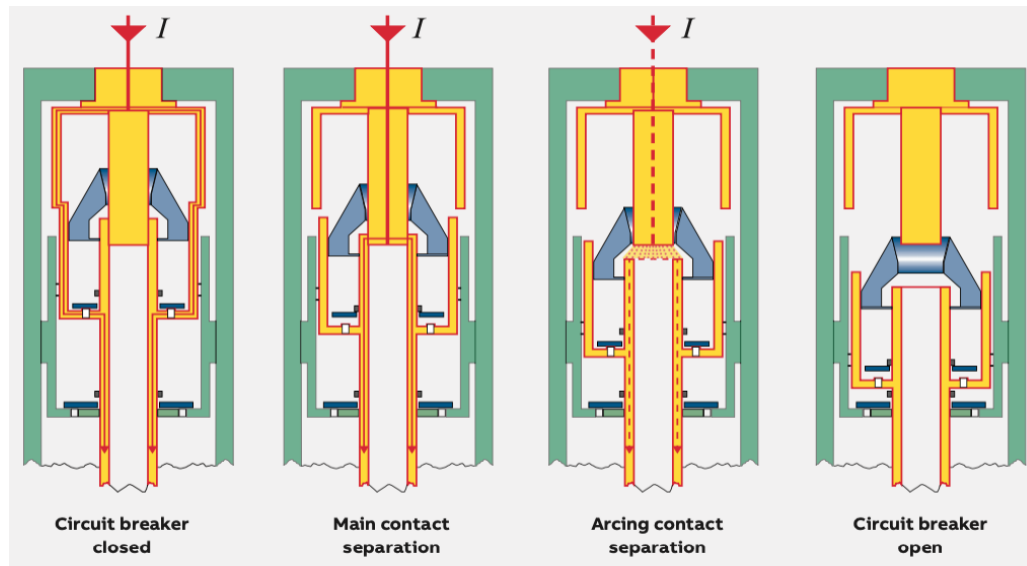


**Kuva 4.** SF<sub>6</sub>-eristeisen katkaisijan pilarin rakenne. /6/

1. Virtaliitin
2. Eriste
3. Pufferisuutin
4. Liikkuva valokaarikosketin
5. Liikkuva pääkosketin
6. Kiinteä valokaarikosketin
7. Kiinteä pääkosketin
8. Eristävä ohjaustanko
9. Räjähdyssuojaventtiili. /6/

Useimmiten pääkoskettimet ovat hopeoitua kuparia hyvän sähkönjohtavuuden saavuttamiseksi ja valokaarikoskettimiin on käytetty volframia. Volframi on erittäin kova metalli, joka korkean sulamispisteen ansiosta sietää hyvin valokaarta. Koskettimien avautuessa (**kuva 5.**) valokaari ohjataan pois

pääkoskettimilta ja sammutetaan ohjaamalla ja paineistamalla SF<sub>6</sub>-kaasua valokaareen.



**Kuva 5.** Koskettimien avautuminen. /6/

Vaihe 1, katkaisija kiinni. Virta kulkee pääkoskettimien läpi.

Vaihe 2, valokaarikoskettimien ansiosta pääkoskettimet avautuvat ilman valokaarta, sillä virta kulkee edelleen valokaarikoskettimien välityksellä pääkoskettimien jo avauduttua. Tällä tavoin pääkoskettimet eivät kulu valokaaren vaikutuksesta lainkaan, ja katkaisijalle saadaan toimintavarmuutta ja toimintakertoja huomattavasti lisää.

Vaihe 3, valokaarikoskettimien avautuessa virta kulkee valokaaren avulla koskettimien välillä. Pufferisuuttimessa on tässä vaiheessa avausliikkeestä paineistunutta SF<sub>6</sub>-kaasua, joka suuttimen muotoilun ja avausliikkeen johdosta puhaltaa kaasua valokaaren pintaa pitkin jäähdyttäen sitä tehokkaasti. Ilmiötä kutsutaan autopneumaattiseksi puhallukseksi. Kaasu ei pysty läpäisemään valokaarta, mutta virran lähestyessä nollakohtaa, kaasua alkaa sekoittua valokaareen ja valokaari jäähtyy voimakkaasti. Heti virran saavutettua nollakohdan, valokaari luontaisesti sammuu, ja pufferisuuttimen sisällä oleva



kaasu muodostaa välittömästi eristeen valokaarikoskettimien välille, joten uusi valokaari ei pääse syttymään uudelleen palaavan jännitteen vaikutuksesta.

Vaihe 4, katkaisija auki. Valokaari on sammutettu, kaasu pääsee vapaasti virtaamaan koskettimien välillä ja paine pääsee tasaantumaan sammutuskammiossa. Katkaisija on välittömästi valmis kiinni- ja aukiohjaukseen täydellä kapasiteetilla.

SF<sub>6</sub>-kaasun sähkölujuus on voimakkaasti riippuvainen kaasun paineesta, joten katkaisijan kaasun painetta tulee valvoa jatkuvasti ja kaasun paineen ollessa liian alhainen katkaisijan käyttö tulee estää. Normaalisti uudessa katkaisijassa kaasun paine on n. 5 bar +20 °C lämpötilassa, ja valmistajat antavat vuotoarvoja <0,3 % vuodessa. Katkaisijan nimellisarvot ovat voimassa 14 % nimellispainetta pienemmällä paineella, joten suurimmillakin vuotoarvoilla katkaisija täyttäisi toiminta-arvonsa vielä 40 vuoden jälkeen. /7/

SF<sub>6</sub>-katkaisijoiden mekaaninen elinikä on yleensä n. 5 000-10 000 toimintakertaa. Itse katkaisuelimet kestävät tyypillisesti 10-20 katkaisua täydellä oikosulkuvirralla ja useita tuhansia toimintakertoja mitoitusvirralla. Huoltovälit ovat uusimmilla SF<sub>6</sub>-katkaisijoilla yli 10 vuotta, mikä vaikuttaa jopa koko sähköaseman yleissuunnitteluun. Yleisimpiä ongelmia ovat olleet muun muassa valokaaren aiheuttamat myrkylliset ja kosteuden kanssa korroosiota aiheuttavat yhdisteet katkaisukammioissa ja kaasun nesteytyminen alhaisissa lämpötiloissa. /5/

SF<sub>6</sub>-katkaisijat soveltuvat lähes kaikkiin katkaisutilanteisiin, joskin palaavan jännitteen jyrkkyyteen tulee kiinnittää huomiota, esimerkiksi muuntajan syöttämän vikavirran katkaisussa. Erinomaisen hyvin SF<sub>6</sub>-katkaisija soveltuu kompensoimislaitteiden (rinnakkaiskondensaattorit ja -reaktorit) katkaisijaksi, sillä se pystyy katkaisemaan mitoitusvirtansa huollotta tuhansia kertoja. Jälleensyttymättömyys ja sysäysvirtakestoisuus ovat myös ominaisuuksia, joiden takia SF<sub>6</sub>-katkaisija soveltuu erinomaisesti rinnakkaiskondensaattoriparistojen katkaisijaksi. /5/

ABB:n mallistosta löytyy SF<sub>6</sub>-katkaisijoita jännitteille 12...40,5 kV, mitoitusvirtojen ollessa 630...3600 A ja katkaisukyvyyn ollessa 16...50 kA. Sulkemiskyky on suurimmillaan 125 kA.

## 2.4 Tyhjökatkaisija

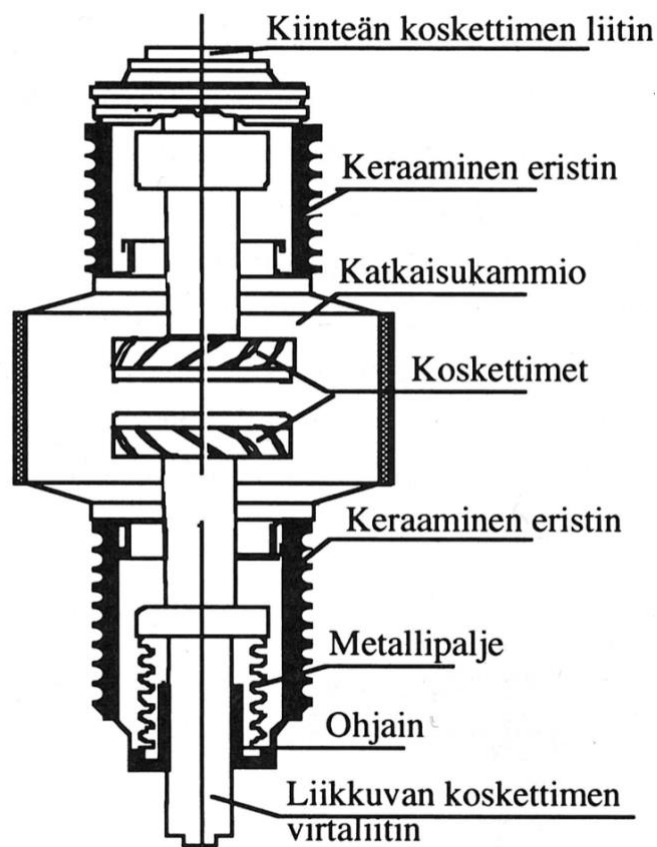
Tässä kappaleessa perehdytään tyhjökatkaisijan (**Kuva 6.**) rakenteeseen ja toimintaperiaatteeseen. Ulkoisesti ABB:n VD4- ja HD4-katkaisijat ovat hyvin samankaltaisia, mutta tyhjökatkaisijan pilari on rakenteeltaan yksinkertaisempi verrattaessa SF<sub>6</sub>-katkaisijaan. Huomioitavaa on myös pääkoskettimien hyvin pieni liike, avausvälin ollessa vain luokkaa 15 mm 24 kV:n katkaisijassa tyhjiön hyvän jännitelujuuden ansiosta.



**Kuva 6.** ABB VD4-tyhjökatkaisija. /8/

Tyhjökatkaisijassa ei ole erillisiä valokaarikoskettimia, vaan vain yksi kiinteä ja yksi liikkuva kosketin (**Kuva 7.**) sijoitettuna tyhjiösäiliöön. Kun jännitteelliset koskettimet erkanevat toisistaan, valokaari jää palamaan ionisoituneeseen, kosketinpinnoilta höyrystyneeseen metallipilveen eikä ionisoituneeseen kaasuun, kuten SF<sub>6</sub>-katkaisijassa. Virran nollakohdassa metallihöyryn ionisaatio katoaa ja

itse höyry tiivistyy. Tämä prosessi tapahtuu hyvin nopeasti, mistä syystä tyhjökatkaisijan katkaisukyky ei riipu juuri ollenkaan palaavan jännitteen muodosta tai jyrkkyydestä. Olennaisimmin valokaaren syntymiseen, palamiseen ja sammumiseen vaikuttavat kosketinpinnoilla käytettävät elektrodiaineet (höyrystymispiste, terminen johtavuus). Kuorirakenteen on oltava ehdottoman tiivis. /5/

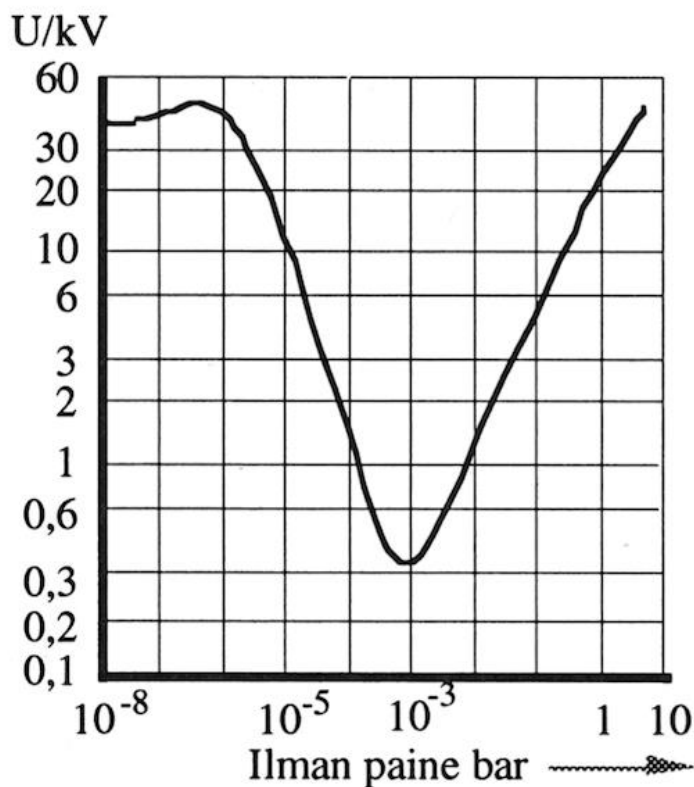


**Kuva 7.** Tyhjökatkaisijan pilarin rakenne. /7/

Tyhjökatkaisijan koskettimet vaativat jatkuvan ulkoisen puristusvoiman kyetäkseen johtamaan mitoitus- ja oikosulkuvirtoja ilman liiallista lämpenemistä. Käytössä syntyvä lämpö voidaan johtaa ympäristöön vain liittimien kautta. /5/

Tyhjökatkaisijoita valmistetaan sekä ulko- että sisäkäyttöön, ja ne sopivatkin kylmiin olosuhteisiin paremmin kuin kaasukatkaisijat, sillä kaasun nesteytymistä ei esiinny. ABB:n mallistosta löytyy tyhjökatkaisijoita jännitteille 12...36 kV, mitoitusvirtojen ollessa 630...3150 A katkaisukyvyn ollessa 16...50 kA.

Tyhjön jännitelujuusominaisuudet ovat riippuvaisia tyhjän alipaineen suuruudesta, jota kuvataan usein ominaiskäyrällä, ns. Paschenin käyrällä (**Kuva 8.**). Kuva osoittaa, että tyhjän ollessa pienempi kuin 10 Mpa, on vaihtojännitelujuus n. 40 kA. Katkaisukammio imetään n. 10-12 Mpa tyhjiin, jolloin ollaan riittävän kaukana Paschenin käyrän minimistä. /7/



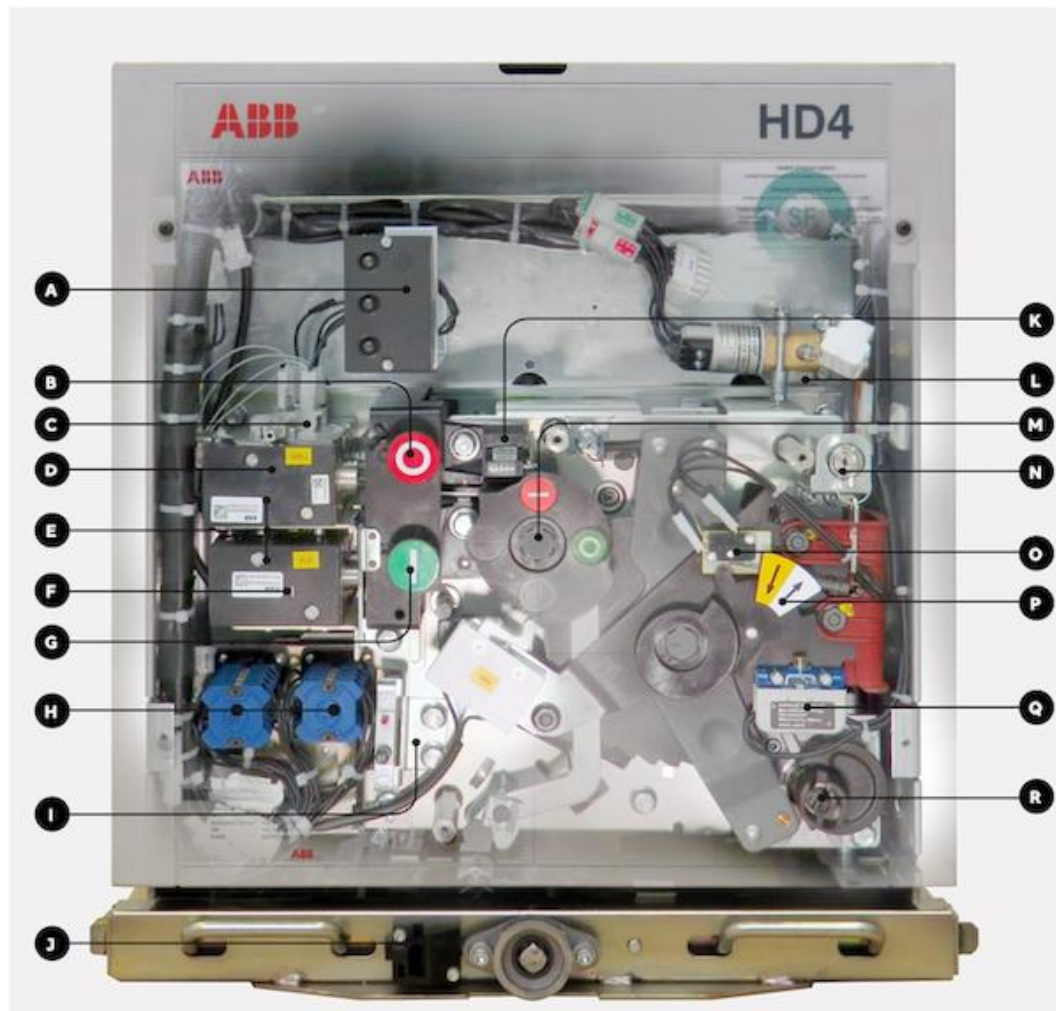
**Kuva 8.** Ilman vaihtojännitelujuus ilmanpaineesta riippuvana. /7/

Tyhjökatkaisija soveltuu parhaiten käyttöön, jossa keskinkertaisen katkaisukyvyyn ohella vaaditaan suurta kytkentätiheyttä. /7/

## 2.5 Koneisto

KJ-katkaisijoiden auki-/kiinni-toimintaan tarvittava voima saadaan yleisimmin aikaan jousien avulla. Pääkoskettimien sulkemiseen tarvittava voima varataan jouseen, joka vivuston kautta ohjataan liikkuvalla pääkoskettimelle. Katkaisijan auki-/kiinni-ohjaukset tehdään sähköisesti ohjattavilla keloilla, jotka käyttävät ohjausvivustoa. Lisäksi katkaisija voidaan varustaa alijännitkelalla, joka avaa

katkaisijan ohjausjännitteen laskiessa vaarallisen alas tai katketessa kokonaan. Katkaisijan koneiston (**Kuva 9.**) kotelointi täytyy olla mekaanisesti riittävän kestävä, ja usein valmistajat suosivat terästä kotelon materiaalina.

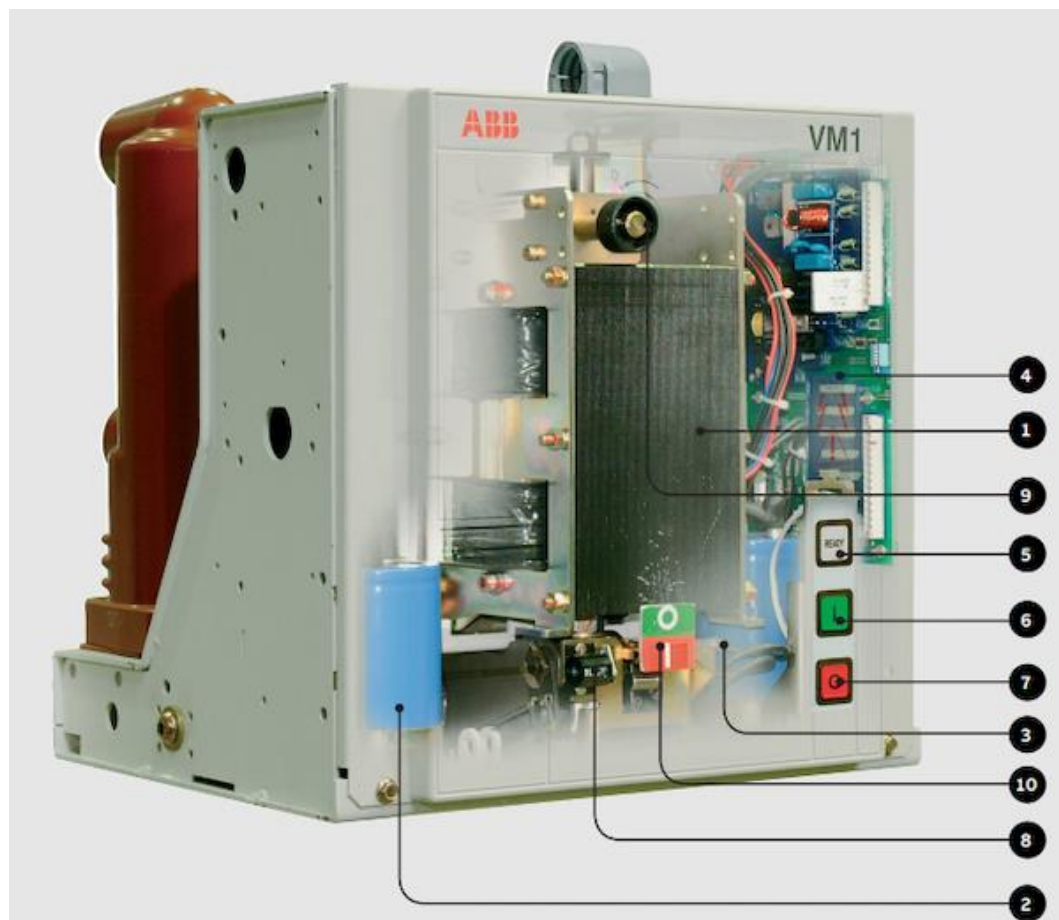


**Kuva 9.** ABB HD4-katkaisijan koneisto. /6/

- A. Integroitu kaasupaineen ohjausyksikkö
- B. Katkaisijan aukiohjauspainike
- C. Mekaaninen alijännitteen ohitus
- D. Alijännitekela
- E. Auki/kiinniohjauskelat (taaemmat kelat)
- F. Käyttömekanismin lukituskela

- G. Katkaisijan kiinniohjauspainike
- H. Apukoskettimet
- I. Viritysmoottorin suojakytkin
- J. Lukko, joka estää katkaisijan työntämisen kennoon mikäli ovi on auki
- K. Toimintakertalaskuri
- L. SF<sub>6</sub>-kaasun painekytkin
- M. Katkaisijan tilatiedon osoitin auki/kiinni
- N. Lukko, jolla käyttö voidaan estää kun katkaisija on auki
- O. Jousen asentotiedon apukoskettimet (sähköinen tilatieto)
- P. Jousen asennonosoitin vapaana/viritettynä
- Q. Viritysmoottorin rajakytkin
- R. Jousen manuaalinen viritys. /6/

Yllä on listattuna SF<sub>6</sub>-katkaisijan koneiston pääkomponentit, ja jousiviritteisen tyhjökatkaisijan koneisto on hyvin samankaltainen. Uudempaa teknologiaa edustaa ABB:n VM1-katkaisijat, jotka ovat magneettisella koneistolla (**Kuva 10.**) ohjattuja tyhjökatkaisijoita. Tällainen koneisto on rakenteeltaan yksinkertaisempi ja pitkäikäisempi, sekä vaatii vähemmän huoltoa kuin jousivirityskoneisto. Ulkoisesti ja muulta rakenteeltaan VM1-katkaisijat vastaavat VD4:ää.

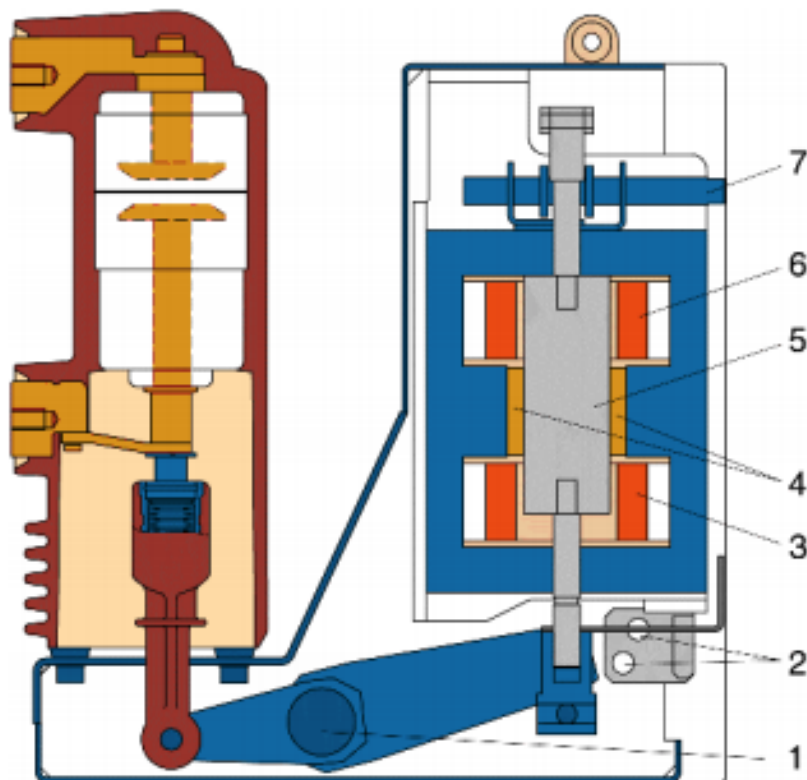


**Kuva 10.** ABB VM1-katkaisijan koneisto. /9/

1. Magneettinen toimilaite
2. Kondensaattorit
3. Sijaintianturit
4. Elektroninen ohjaus- ja kytkentämoduuli
5. Käyttövalmiuden ilmaiseva merkkivalo
6. Kiinniohjauspainike
7. Aukiohjauspainike
8. Toimintakertalaskuri
9. Katkaisijan mekaaninen avaus, erillinen kampi
10. Katkaisijan tilatiedon osoitin. /9/

Magneettisessa koneistossa on jopa 60 % vähemmän osia kuin jousivirityskoneistossa. Kiinni- ja aukiohjausjouset, jousen virityskoneisto ja tilanosoitin on korvattu magneettisella toimilaitteella (**Kuva 11.**). Magneettisen

koneiston odotettu mekaaninen elinikä on huomattavasti pidempi. Koneistolla voidaan päästä jopa 100 000:n toimintakertaan, mutta tämä edellyttää katkaisijan pilareiden vaihtoa aina n. 30 000 toimintakerran jälkeen.



**Kuva 11.** ABB VM1-katkaisijan toimilaite. /10/

1. Vivusto
2. Katkaisijan tilatiedon anturit (sähköinen tilatieto)
3. Kiinniohjauskela
4. Kestomagneetit
5. Mäntä
6. Aukiohjauskela
7. Katkaisijan mekaaninen avaus, erillisellä kammella. /10/

Liikkuva pääkosketin saadaan liikkumaan syöttämällä jännitettä auki- tai kiinniohjauskelalle, jotka ajavat männän halutulle kelalle. Kestomagneetit lukitsevat katkaisijan tilan. Koska jousen virittämiseen ei kulu aikaa, voidaan VM1-katkaisijaa ohjata pienemmillä viiveillä auki/kiinni. Kelojen tarvitsema



sähköenergia on varastoitu kondensaattoreihin, jotka tarjoavat useita etuja akkuihin verrattuna.

## 2.6 Katkaisijasovitteet

Jotta katkaisijaa pystytään käyttämään, se asennetaan sovitteen avulla kennoon, jossa on asennettuna katkaisijan käyttöön tarvittavat apulaitteet, kuten virtakiskot, suojariele, jännite- ja virtamuuntajat. Kennot ovat rakenteeltaan modulaarisia, ja siksi helposti yhdisteltävissä kulloinkin tarvittavien ominaisuuksien mukaan. Kokonaisuutta, jossa on useampi kenno, kutsutaan kojeistoksi (**Kuva 12.**).



**Kuva 12.** ABB UniGear-keskijännitekojeisto Vaasan Sähkön sähköasemalla.

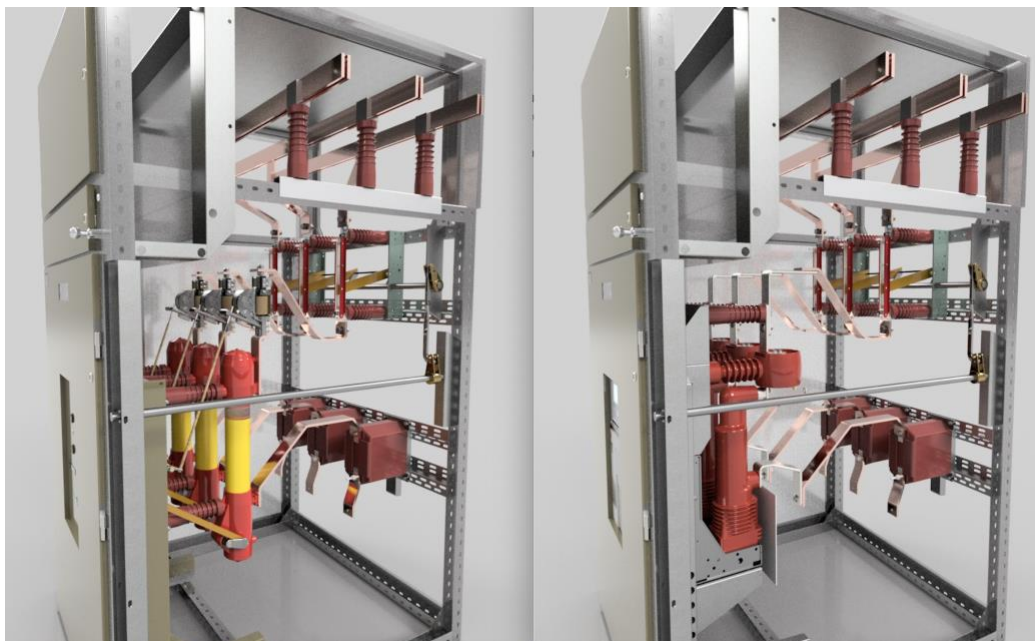


**Kuva 13.** ABB MH-kenno ja MH-katkaisijasovite.

Katkaisijasovitteita on sekä kiinteästi asennettavia että ulosvedettäviä, kuten MH-kennossa (**Kuva 13**). Lähtö voidaan erottaa täysin vetämällä katkaisija ulos, joten nykysäädösten mukaan erottimia ei tarvita. Kojeistosaneerauksia tai uusia sähköasemia suunniteltaessa tällä voi olla merkittäväkin vaikutus.

KJ-kojeiston käyttöikä on käytännössä katkaisijan käyttöikä, joten katkaisijan n. 30 vuoden käyttöajan tultua täyteen, täytyisi katkaisija huoltaa tai koko kojeisto uusida. Kojeiston uusiminen kokonaan on erittäin kallista, joten katkaisijan huolto

olisi seuraava luonteva ratkaisu. Tällä hetkellä kuitenkin käyttöikä alkaa tulla täyteen vanhoissa vähäöljy- ja SF<sub>6</sub>-katkaisijoissa, joihin ei enää ole olemassa varaosatukea. Samaan aikaan katkaisijoiden tekniikka on kehittynyt, ja uusilla katkaisijoilla on useita etuja verrattuna vanhoihin katkaisijoihin. ABB:n Retrofit-katkaisijasovitteet mahdollistavat uusien SF<sub>6</sub>- ja tyhjökatkaisijoiden asentamisen vanhojen katkaisijoiden tilalle niin, että vanhaa kojeistoa voidaan vielä käyttää. Etuna on mm. kustannustehokkuus ja lyhyet käyttökätköt. Vanhoja Strömbergin ajan kojeistoja, joihin on saatavilla Retrofit-katkaisijasovitteita ovat mm. (aktiivisesti tuotannossa vuosina): MEKE/MEKA (1968-1979), METE/META (1975-1988) sekä MH (1985-2002). MH-kojeistoa valmistetaan tilauksesta edelleen.



**Kuva 14.** ABB Retrofit 3D-renderöinti. /12/

Yllä oleva kuva (**Kuva 14.**) esittää kennoa, jonka vanha vähäöljykatkaisija (vasen puoli) on korvattu uudella katkaisijalla. Samalla vanhat vähäöljykatkaisijoiden kanssa käytetyt ylivirta-aika ensioreleet on korvattu nykyaikaisella suojareleellä, kuten ABB REF 615:llä.



**Kuva 15.** Strömberg META-kennon katkaisijapäivitys, 3D-renderöinti. /12/

Yllä olevassa kuvassa (**Kuva 15.**) on oikealla puolella esitetty vanha META-kennon vähäöljykatkaisija, jossa on ylivirta-aika ensiöreleet ja laukaisutangot. Tällaiset ensiöreleet ovat suojausominaisuuksiltaan epätarkkoja, ja osien tai uusien vastaavien saaminen nykyään erittäin haasteellista. Vasemmalla puolella on esitetty VD4-katkaisijasovite, joka korvaa vanhan katkaisijan kokonaan. Vanhat ensiöreleet korvataan nykyaikaisella suojareleellä. Releuusinnalla saavutetaan paremman suojauksen lisäksi mahdollisuus lisäominaisuuksiin, kuten valokaarisuojaukseen, tilatietojen tallennukseen ja etäkommunikaatioon. Uudella katkaisijalla on lisäksi täysi tuotetuki ja varaosasaatavuus pitkälle tulevaisuuteen.

## 2.7 Apusähköpiirit

KJ-katkaisijoiden turvallinen ja monipuolinen käyttö on mahdollista apusähköpiirien ansiosta. Jousiviritteisessä katkaisijassa on aina vähintään moottori- ja ohjauspiirit sekä apukoskettimia, lisäksi riippuen katkaisijan ja kennon tyylistä käytössä voi olla erilaisia lukitus- sekä hälytyspiirejä. HD4- ja VD4-katkaisijoissa on samankaltaisen rakenteen ansiosta myös samankaltaiset apusähköpiirit, HD4:n ollessa monipuolisempi. VM1-katkaisija on mikroprosessoriohjattu, ja tästä syystä apusähköpiireissä on eroavaisuuksia edellisiin verrattuna. Apusähköpiirit esitetään piirikaaviossa, joista tässä

kappaleessa perehdytään HD4:n (**kuva 16.**) ja VM1:n (**kuva 17.**) piirikaavioihin ja tärkeimpiin apusähköpiireihin.

HD4-katkaisijan apusähköpiirit:

- Moottoriipiiri, MAS. Jousen viritysmoottori.  
Virittää kiinniohjausjousen automaattisesti, kun katkaisijasovite on kennossa ja ohjausjännite on kytkettynä. Virittää kiinniohjausjousen uudelleen kiinniohjauksen jälkeen, jolloin PJK on mahdollista toteuttaa.
- Rajakytkimet, BGS1 ja BGS2. Jousen viritysmoottorin ja jousen rajakytkimet. Rajakytkimillä saadaan tilatieto, milloin jousi on viritettynä ja katkaisija voidaan ohjata kiinni.
- Ohjauspiiri, MBC. Kiinniohjauskela.  
Kiinniohjauskelan avulla katkaisija voidaan etäohjata kiinni.
- Ohjauspiiri, MBO1 ja MBO2. Aukiohjauskelat.  
Aukiohjauskelan avulla katkaisija voidaan etäohjata auki. Myös erilaiset vikatilanteet avaavat katkaisijan aukiohjauskelan avulla. Kahdennettu aukiohjauskela on valinnainen lisävaruste, joka mahdollistaa esimerkiksi eri ohjauskäskyjen jaottelemisen omalle kelalle, ja tuo lisää käyttövarmuutta.
- Ohjauspiiri, MBU. Alijännitekela.  
Alijännitekela on valinnainen lisävaruste, joka avaa katkaisijan ohjausjännitteen laskiessa vaarallisen alas tai katketessa kokonaan. ABB:n katkaisijoissa on etupaneelissa valintakytkin, jolla alijännitekela voidaan kytkeä pois käytöstä käyttäjän valinnan mukaan.
- Apukosketin, BPS. SF<sub>6</sub>-kaasun paineen kosketin.  
Kosketin sulkeutuu kaasupaineen laskiessa. Vakiovaruste, joka asennetaan kaikkiin HD4-katkaisijoihin.
- Ohjauspiiri, KFI. Integroitu kaasupaineen ohjausyksikkö.  
Yksikkö on valinnainen lisävaruste, joka seuraa kaasun painetta ja ilmaisee painetason merkkivaloilla: vihreä LED – normaali kaasupaine, keltainen LED – alhainen kaasupaine, punainen LED – riittämätön

kaasupaine. Kaasupaineen ollessa riittämätön, yksikkö antaa katkaisijalle aukiohjauskäskyn.

- Lukituspiiri, RLE1. Käyttömekanismin lukituskela.

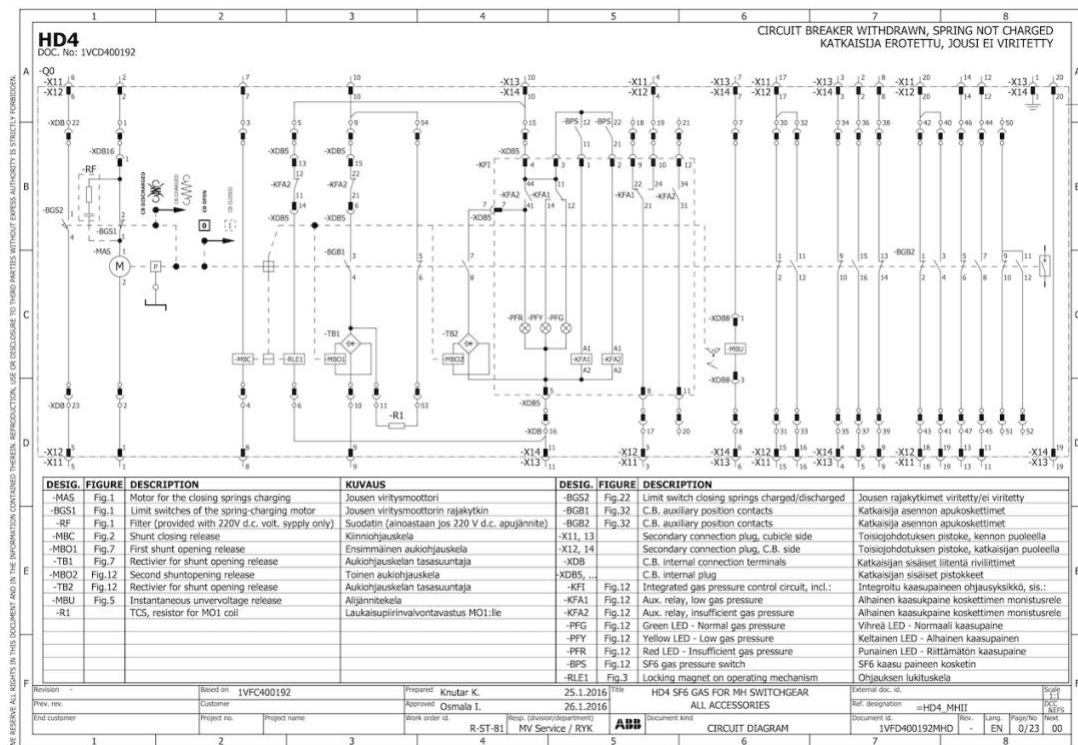
Kaasupaineen ollessa riittämätön katkaisijan kiinniohjaus on lukittu. Tieto kaasupaineesta tulee kaasupaineen ohjausyksiköltä.

- Hälytyspiiri, R1. Laukaisupiirin valvontavastus.

Valvontavastuksen avulla voidaan valvoa aukiohjauskelan virtapiiriä katkaisijan ollessa auki, ja virtapiirin katketessa antaa hälytys.

- Apukoskettimet, BGB1 ja BGB2. Katkaisijan asennon apukoskettimet.

Nokkakytkimet, joissa on avautuvia ja sulkeutuvia koskettimia. Koskettimien tila muuttuu, kun katkaisija ohjataan auki/kiinni. Katkaisijan tilatietoa voidaan hyödyntää erilaisissa sovellutuksissa, kuten hälytys- ja lukituspiireissä.



**Kuva 16.** HD4-katkaisijan piirikaavio. /13/

Sekä HD4- että VD4-katkaisijoiden käyttömekanismissa on mekaanisesti toteutettu anti-pumppaustoiminto, joka estää katkaisijan uudelleen sulkemisen

paikallis- ja etäohjauksilta. Mikäli sekä kiinniohjaus ja jokin aukiohjaus olisi yhtä aikaa aktiivisena, katkaisija ohjautuisi jatkuvasti kiinni/auki. Anti-pumppaustoiminto estää tämän tilanteen varmistamalla, että jokaista kiinniohjausta seuraa yksi aukiohjaus. Kiinniohjautuakseen uudelleen, kiinniohjauskäskyn täytyy vapautua ja sen jälkeen tulla uusi kiinniohjauskäsky. Lisäksi anti-pumppaustoiminto sallii katkaisijan kiinniohjauksen ainoastaan, mikäli jousi on viritetty, aukiohjauskäsky ei ole aktiivinen ja katkaisija on auki. Joillain valmistajilla katkaisijassa saattaa olla erityinen anti-pumppausrele, jolloin anti-pumppaus kuuluu apusähköpiireihin. VM1-katkaisijan tapauksessa kyseessä on toiminto, joka voidaan valita päälle tai pois, kuten myöhemmin todetaan.

VM1-katkaisijan apusähköpiirit ja moduulit:

- Käyttöpaneeli, PI1. Auki/kiinni-painonapit ja katkaisijan ohjausyksikön valmiuden osoittava LED.
- Ohjauspiiri, MC. Kiinniohjauskela.  
Kiinniohjauskelan avulla katkaisija voidaan etäohjata kiinni.
- Ohjauspiiri, MO. Aukiohjauskela.  
Aukiohjauskelan avulla katkaisija voidaan etäohjata auki.
- Katkaisijan tilatieto, asentosensorit. Katkaisija kiinni BB9, katkaisija auki BB10.
- Apukoskettimet, BB1, BB2, BB3 ja BB8. Kuten HD4-katkaisijassa.
- Kondensaattorit, CC1 ja CC2. Kondensaattoreihin varataan katkaisijan ohjaamiseen tarvittava sähköenergia. Ohjausjännitteen katketessa kondensaattoreiden varauksella pystytään vielä tekemään yksi täysi toimintajakso, katkaisija auki-kiinni-auki.
- Ohjaus- ja kytkentämoduuli, TR.  
Elektroninen moduuli, joka ohjaa kaikkia apusähköpiirejä.  
DI1: kiinniohjauskäsky  
DI2: aukiohjauskäsky  
DI3: katkaisija auki (apu/suojalaukaisu)  
DI4: suojalaukaisu, TRIP suojareleeltä  
DI5: ei käytössä

DI6: katkaisijan lukitus auki asentoon

DI7: alijännitelaukaisu

S58: pakkolaukaisu (aktivoituu, kun katkaisija avataan manuaalisesti)

DO1: asentotieto, katkaisija auki

DO2: asentotieto, katkaisija kiinni

DO3: asentotieto, katkaisija auki

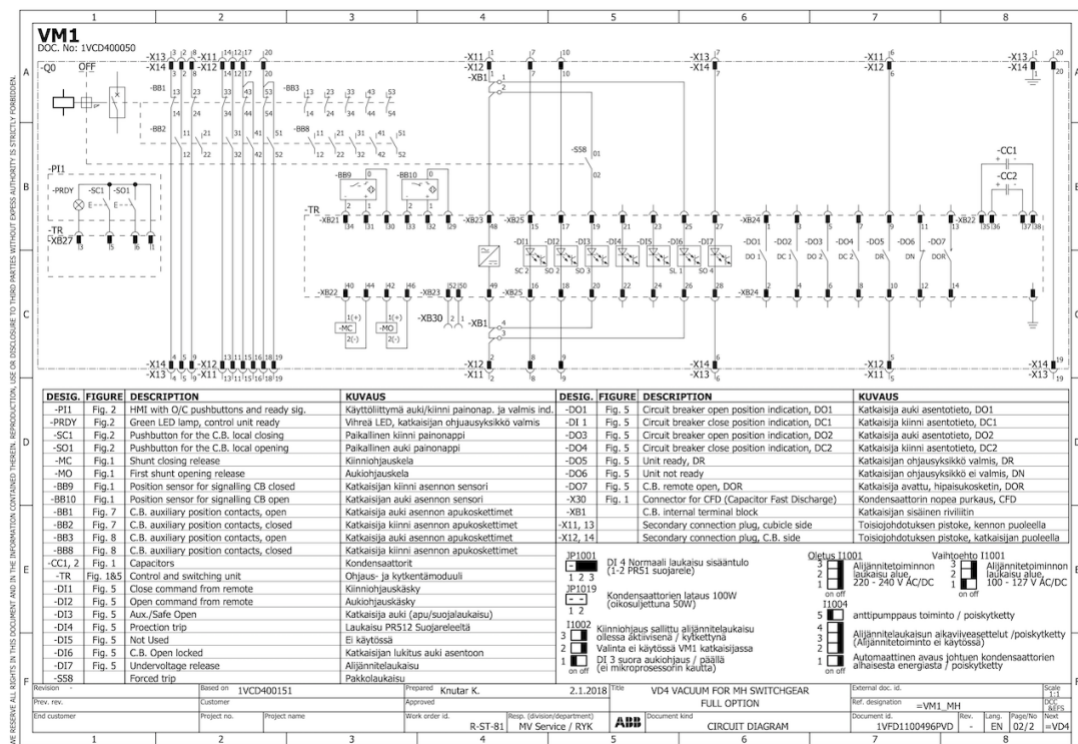
DO4: asentotieto, Katkaisija kiinni

DO5: tilatieto, katkaisijan ohjausyksikkö valmis

DO6: tilatieto, katkaisijan ohjausyksikkö ei valmis

DO7: tilatieto, hipaisukytkin, katkaisija avattu etäohjauksella

X30: liitin, kondensaattoreiden nopea purkaus.



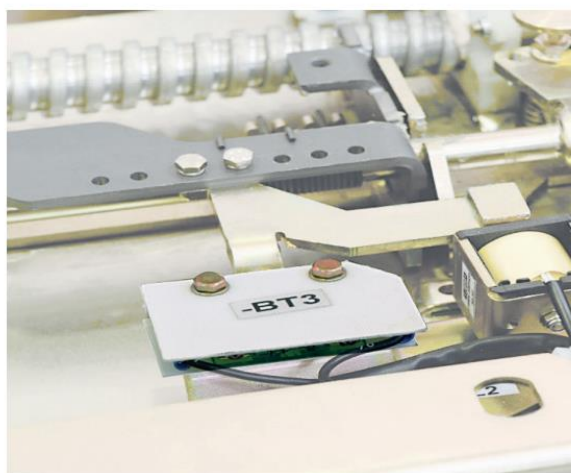
**Kuva 17.** VM1-katkaisijan piirikaavio. /14/

Joitain VM1-katkaisijan toimintoja voidaan muuttaa Dip-kytkimillä, jotka on sijoitettu ohjaus- ja kytkentämoduulin piirilevylle. Esimerkiksi anti-pumppaustoiminto voidaan valita päälle/pois päältä Dip-kytkimellä. Mikäli Dip-kytkimien asetteluita halutaan muuttaa, täytyy katkaisijan ohjausjännite kytkeä irti



ja kondensaattoreiden varaus purkaa. Tämä tehdään ensinnäkin henkilöturvallisuuden vuoksi ja toiseksi siksi, että Dip-kytkimillä tehdyt muutokset vaikuttavat vasta, kun kytkentä- ja ohjausmoduuli käynnistetään uudelleen. Näin ollen asetuksia ei voi muuttaa ilman, että moduuli käytetään jännitteettömänä.

Kondensaattoreiden varaus purkaantuu n. 10 min. kuluessa siitä, kun katkaisijan ohjausjännite on katkaistu. Kondensaattoreiden varaus voidaan purkaa nopeammin erityisellä varauksen purkulaitteella (**kuva 18.**), jolloin varauksen purku tapahtuu n. 1 min. aikana.



**Kuva 18.** Kondensaattorin nopea purkaus. /9/

Kondensaattoreiden varauksen purkamista varten VM1-katkaisijassa on liitin, johon varauksen purkulaite voidaan kytkeä.

### 3 KATKAISIJOIDEN TEKNISIÄ OMINAISUUKSIA

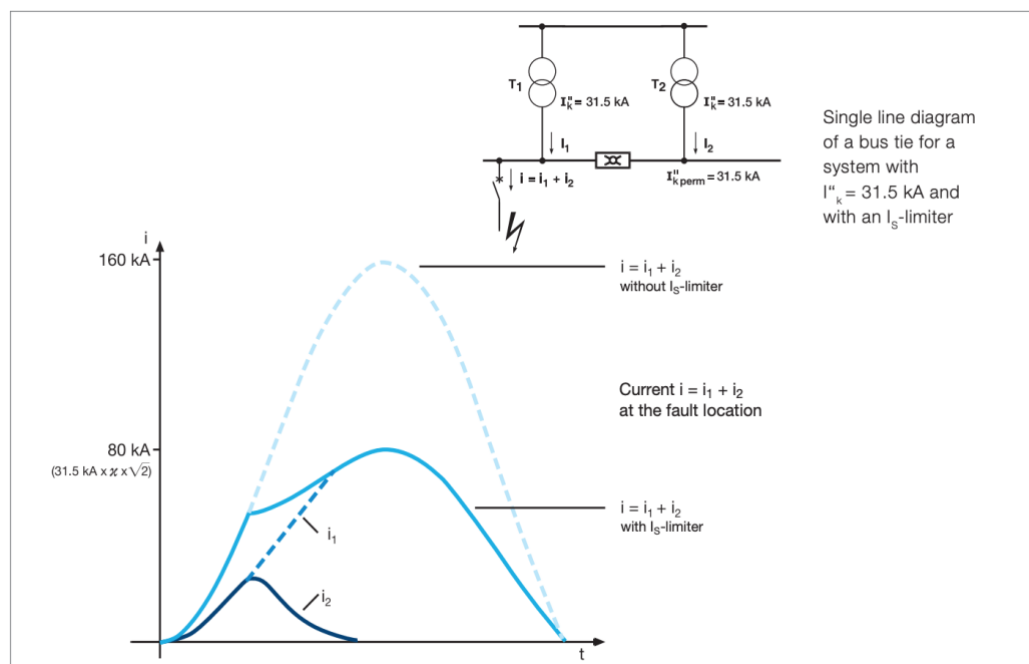
On huomioitavaa, että KJ-katkaisija yksinään ei kykene huomaamaan oikosulkuja tai muita vikoja, vaan se tarvitsee aina erillisen suojareleen, joka antaa toimintokäskyn katkaisijalle. Osa vanhoista vähäöljykatkaisijoista varustettiin vaihekohtaisilla ylivirta-aika ensiöreleillä tai ensiölämpöreleillä, eikä tässä tapauksessa erillistä suojarelettä enää tarvittu.

Relesuojauksella ja katkaisijoilla ei voida rajoittaa oikosulkuvirran ensimmäisen virtahuipun suuruutta ja siten oikosulkuvirran aiheuttamia voimavaikutuksia. Nopeimmillaan eräillä erikoissuojilla voidaan saavuttaa n. 50...70 ms kokonaislaukaisuaika. Relesuojauksen nopeus riittää rajoittamaan oikosulkuvirran ja valokaaren termisiä vaikutuksia. Nykyisillä katkaisijatekniikoilla ei ole kyetty keskijännitteellä saamaan aikaiseksi niin suurta koskettimien avautumisnopeutta, jotta sysäysoikosulkuvirtaa voitaisiin rajoittaa. /11/

Oikosulkuvirran rajoitukseen keskijännitteellä voidaan käyttää sulaketta, mutta näitä ei voida käyttää kuin muutamien satojen ampeerien nimellisvirroilla. Suuremmille virroille on olemassa erityisiä Is-rajoittimia (**Kuva 16.**), joilla voidaan katkaista oikosulkuvirtoja jo ennen ensimmäistä oikosulkuvirran huippuarvoa. Suojaus perustuu oikosulkuvirran nousunopeuteen  $di/dt$ , ja nopeudeltaan se vastaa perinteistä sulakesuojasta. Parhaimmillaan Is-rajoitin alkaa rajoittaa oikosulkuvirtaa jo 0,5 ms kuluttua oikosulun alettua (**Kuva 17.**). /11/ Tässä työssä ei perehdytä Is-rajoittimen rakenteeseen tarkemmin, mutta verrataan oikosulkuvirran muotoa ja kehittymistä ilman rajoitinta ja rajoittimella.



**Kuva 19.** ABB Is-rajoitin. /15/



**Kuva 20.** Oikosulkuvirta. /15/

Kuvassa 0,1 ms:n kuluttua Is-rajoittimen havahtumisesta laukaistaan päävirtatien räjähdyspanos. Päävirtapiirin avauduttua sen välille syttyy valokaari, jonka impedanssi on huomattavasti suurempi kuin rinnalla olevan sulakkeen impedanssi. Virta kommutoituu tällöin nopeasti sulakkeelle ja päävirtatien valokaari sammuu. Valokaaren sammuttua päävirtatie saavuttaa nopeasti riittävän

avausvälin ja jännitelujuuden. Sulake rajoittaa oikosulkuvirran n. 0,5 ms:ssa, jonka jälkeen virta alkaa pienentyä. Lopullisesti virta katkeaa n. 5 ms:n kuluttua. Vaikka oikosulkuvirta katkeaa erittäin nopeasti, sulake rajoittaa ylijännitteen n. 18 prosenttiin. /11/

Katkaisijoiden avulla sähköverkossa voidaan vikatilanteissa tehdä jälleenkytkentöjä, joiden avulla kyetään selvittämään valtaosa verkon vioista. Jälleenkytkentöjä käytetään yleensä kokonaan avojohdoilla toteutetuissa sähköverkoissa ja ns. sekaverkoissa, jossa osa verkosta on toteutettu maakaapelointina. Maakaapeliverkossa jälleenkytkentöjä ei yleensä käytetä, sillä maakaapeliverkon vikoja ei normaalisti pystytä poistamaan jälleenkytkennöillä. Pikajälleenkytkennässä (PJK) katkaisija aukeaa ja ohjautuu takaisin kiinni <1 sekunnin aikana. Tässä ajassa esimerkiksi ukkosen seurauksena syttynyt valokaari sammuu, kun verkon jännite ei enää ylläpidä sitä. Mikäli vika ei poistunut pikajälleenkytkennän aikana, seuraa aikajälleenkytkentä (AJK), ja katkaisija pysyy auki 30-90 sekunnin ajan, jonka jälkeen katkaisija ohjautuu kiinni. Mikäli vika ei ole poistunut, tulee uusi AJK. Aikajälleenkytkentää yritetään n. 1-2 kertaa, jonka jälkeen, jos vika ei poistu, katkaisija jää auki. Mahdollisen jälleenkytkentäsekvenssin toiminta-ajat ilmoitetaan yleensä seuraavasti: O-0,3s-CO-60s-CO, mikä tässä tapauksessa tarkoittaisi, että vian sattuessa katkaisija aukeaa ja tekee PJK:n 0,3 s ajassa, jonka jälkeen seuraa 60 s AJK, jonka jälkeen katkaisija jää auki, mikäli vika ei poistunut.

## 4 KATKAISIJAN OMINAISARVOT JA RUTIINITESTAUS

IEC:n kytkinlaitestandardit on kirjoitettu niin, että standardit kattavat laajan sovellusalueen, jolloin laitekohtaisissa standardeissa esiintyy lukuisia lukuarvoja ja vaatimuksia sen mukaan, mikä on tarkasteltavan laitteen käyttötarkoitus ja käyttöympäristö. Käyttäjän on osattava valita standardiarvojen joukosta ne, jotka parhaiten vastaavat hänen tarpeitaan. /5/

Tärkeimmät katkaisijan ominaisuuksia kuvaavat arvot ovat mitoitusvirran ja mitoitusjännitteen lisäksi katkaisukyky, sulkemiskyky, vaihtosähkön taajuus, eristystasot, palaavan jännitteen mitoitusarvot, nimellinen toimintasykli, katkaisukyvyt eräissä erityistilanteissa sekä apu- ja ohjauspiirien mitoitusjännitteet ja –taajuudet. /5/

- Mitoitusvirta  
Määrää katkaisijan kuormitettavuuden jatkuvassa tilassa katkaisijan ollessa kiinni. Kuormitettavuuden kriteerinä on tällöin, ettei standardoituja lämpenemisarvoja ylitetä (90°C). On huomattava, että millään kytkinlaitteella ei ole ylikuormitettavuutta, ei edes lämpötilan funktiona, joten katkaisijan mitoitusvirta on valittava kyllin suureksi.
- Mitoitusjännite  
Sama kuin katkaisijan suurin sallittu käyttöjännite. Mitoitusjännite määrää katkaisijan eristyksille asetettavat jännitelujuusvaatimukset, ja sen on oltava vähintään yhtä suuri kuin verkon suurin sallittu käyttöjännite ( $U_m$ ).
- Sulkemiskyky  
Ilmoittaa, kuinka suuri oikosulkuvirta piirissä voi kulkea ilman, että koskettimet hitsautuvat kun katkaisija sulkee piirin oikosulkuun. Sulkemiskyvyn tulee olla mitoitusjännitteellä 2,5-kertainen symmetriseen katkaisuvirtaan verrattuna. Vaatimus on identtinen dynaamisen virtakestoisuuden kanssa.
- Nimellistaajuus  
Suomessa tunnetusti 50 Hz. On syytä huomata, että katkaisijoille testaus 50 Hz taajuudella on vaativampaa kuin testaus 60 Hz taajuudella. Tämä

johtuu siitä, että suuremmalla taajuudella on enemmän virran nollakohtia, jolloin valokaarella on enemmän mahdollisuuksia sammua. Jännitteen suuremman nousunopeuden kompensoi lyhyempi valokaariaika.

- Palaava jännite ja sen jyrkkyys  
Vaikuttavat katkaisijan katkaisukykyyn. Palaavan jännitteen arvo oikosulkuvirralla on sama kuin avauskerroin  $k$ . IEC:n mukaan avauskerroin on tehollisesti maadoitetuissa verkoissa 1,3 ja osittain maadoitetuissa, maasta erotetuissa tai sammutetuissa verkoissa 1,7. Jos palaavalle jännitteelle standardoitu avauskerroin ei ole riittävän suuri, kriittisissä tapauksissa on valittava käyttöön sellainen suuremman mitoitusjännitteen  $U_{R1}$  katkaisija, jolla arvo  $k_{IEC} \times U_{R1}$  on suurempi kuin arvo  $k_{tod} \times U_m$  ( $k_{tod}$  = todellinen avauskerroin käyttöjännitteen  $U_m$  verkossa,  $k_{IEC}$  = IEC:n mukainen avauskerroin).
- Mitoitustoimintasykli (rated duty-cycle)  
Kuvaa sitä, millaisista avautumis- ja sulkeutumissekvenseistä katkaisijan on selviydyttävä. Tällä ominaisuudella on erittäin tärkeä rooli jälleenkytkentöjen tai muuten toistuvien katkaisijatoimintojen yhteydessä, ja se asettaa ohjaimille toiminta- ja palautumisvaatimuksia. /5/

Kojeena katkaisijan tulee kestää edellä esitettyjen vaatimusten lisäksi yhden sekunnin ajan virta  $I_{thr}$  sekä epäsymmetrisen oikosulkuvirran aiheuttamat dynaamiset voimavaikutukset  $i_{dyn}$ . /5/

Vaasassa ABB Distribution Solutions Electrification Service valmistaa katkaisijaan sovitteen, itse katkaisija tulee Vaasaan valmiina komponenttina toisesta ABB:n yksiköstä. Kaikki katkaisijan vaatimat koestukset on tässä vaiheessa suoritettu ja katkaisija täyttää ominaisuuksiltaan standardin IEC 62271-100.

Katkaisijan mukana tulee testipöytäkirja, josta ilmenee katkaisijan yksilöintitietojen lisäksi katkaisijan tyyppi, nimellisarvot, varusteet ja tehdyt, IEC standardin mukaiset testitoimenpiteet sekä näiden tulokset. Seuraavassa katkaisijalle valmistajan toimesta tehdyt testit listattuna.

- Rakenteen silmämääräinen tarkastus
- Mekaaninen ja sähköinen käyttökoe  
Katkaisijalle tehdään viisivaiheinen käyttökoe, jossa jokaisessa vaiheessa katkaisija ajetaan 5 kertaa auki/kiinni.
  1. vaihe: normaali syöttöjännite
  2. vaihe: korkein sallittu syöttöjännite
  3. vaihe: alin sallittu syöttöjännite
  4. vaihe: kiinniohjauskela jännitteellisenä
  5. vaihe: auki/kiinni (O-t-C), jossa t on sama tai pienempi kuin katkaisijan nimellinen toiminta-aika.
- Jännitekokeet nimellistaajuudella  
Katkaisijan päävirtapiirin jännitelujuus  $U_d$  koestetaan ilmoitetulla arvolla 1 minuutin ajan.  
Katkaisijan ohjauspiiri koestetaan 1 kV:n jännitteellä 1 sekunnin ajan.
- Pilareiden jännitteenalenema  
Jokainen pilari koestetaan erikseen 200 A DC-virralla. Sallitut arvot riippuvat katkaisijan ominaisarvoista, mutta ovat luokkaa <5 mV.
- Koskettimien nopeus  
Sallitut arvot riippuvat katkaisijan ominaisarvoista.  
Sulkeutumisnopeus [m/s]  
Avautumisnopeus [m/s]  
Koskettimien yhtäaikainen toiminta [ms]
- Toiminta-aika sallituilla jännitearvoilla  
Katkaisijan toiminta-aika mitataan alimmalla sallitulla jännitteellä, nimellisellä jännitteellä sekä korkeimmalla sallitulla jännitteellä.

#### 4.1 Katkaisijasovitteen tarkastus, ominaisarvot

Katkaisijasovitteen tarkastus on kokonaisuutena suppeampi kuin katkaisijan IEC-standardin mukainen rutiinitestaus, sillä esimerkiksi jännitekokeita ei vaadita toistettavaksi. IEC 62271-200 mukaisesti katkaisijasovitteelle tehtävissä testeissä ei kytketä päävirtapiiriä lainkaan jännitteelliseksi, eli vain katkaisijan ohjausvirtapiirissä on jännite. Tässä projektissa luodut katkaisijasovitteiden tarkastusohjeet noudattavat ABB:n käyttämiä standardeja IEC 62271-1 korkeajännitekytkimet ja –ohjauslaitteet osa 1: yleiset vaatimukset, IEC 62271-100 korkeajännitekytkimet ja –ohjauslaitteet osa 100: vaihtovirtakatkaisijat ja IEC 62271-200 korkeajännitekytkimet ja –ohjauslaitteet osa 200: AC metallikoteloidut kytkin- ja ohjauslaitteet 1-52 kV.

Rakenteen silmämääräisessä tarkastuksessa täytyy varmistaa, että katkaisijan yksilöintitiedot ja ominaisarvot ovat luettavissa arvokilvestä, ja että arvokilpi on nähtävissä normaalin huollon ja asennuksen yhteydessä.

IEC 62271-100 mukaisesti katkaisijan arvokilvessä on ilmoitettava:

- Valmistaja
- Tyypimerkintä ja valmistenumero
- Nimellinen jännite  $U_r$
- Syöksyjännitelujuus  $U_p$
- Nimellinen virta  $I_r$
- Nimellinen katkaisukyky (nimellinen symmetrinen oikosulkuvirta)  $I_{sc}$
- Nimellinen toimintajakso
- Valmistusvuosi
- Vaikuttava standardi sekä julkaisupäivämäärä.

Lisäksi arvokilvessä täytyy ilmoittaa seuraavat tiedot, mikäli suluissa oleva ehto täyttyy:

- Nimellinen taajuus  $f_r$  (luokitukset eivät päde sekä 50 Hz, että 60 Hz taajuuksille)



- Oikosulun nimellinen kesto  $t_k$  (eri kuin 1 s)
- Nimellisen oikosulkuvirran DC-komponentin aikavakio  $\tau$  (eri kuin 45 ms)
- Paino  $M$  (mikäli suurempi kuin 300 kg)
- Lämpötilaluokitus (mikäli eroaa seuraavista: -5 °C sisäasennuksiin ja -25 °C ulkotila-asennuksiin)
- Luokitus (mikäli jokin muu kuin E1, M1 tai S1 alle 100 kV nimellisillä jännitteillä).

Lisäksi arvokilvessä voidaan ilmoittaa joitain valinnaisia arvoja.

IEC 62271-200 sisältää lisäyksiä edellisiin vaatimuksiin, jonka perusteella katkaisijasovitteeseen kiinnitetään oma arvokilpi. Katkaisijasovitteen arvokilvessä on ilmoitettava:

- Valmistaja
- Tyypimerkintä
- Sarjanumero
- Valmistusvuosi
- Vaikuttava standardi.

Lisäksi arvokilvessä voidaan ilmoittaa joitain valinnaisia arvoja, mutta nämä ovat laajemmin sovellettavissa lähinnä kennoihin ja kojeistoihin.

#### **4.2 Katkaisijasovitteen tarkastus, rakenne**

Silmämääräisessä tarkastuksessa katkaisijasovitteen rakenteen varmistetaan noudattavan kokoonpanopiirustuksia, katkaisijan varustelun ja ominaisarvojen vastaavan tilausta ja pinnoitteiden, kuten maalattujen pintojen olevan vauriottomia. Syvät, pinnoitteen läpäisevät naarmut ja muut pinnoitevauriot tulee suojaavuudeltaan korjata vastaamaan alkuperäistä. Arvokilven tulee olla normaalin huollon ja asennuksen aikana näkyvällä paikalla, ehjä ja luettavissa. Katkaisijan nostokohdat tulee olla merkitty. Kaapelitiet tarkastetaan terävien reunojen, liikkuvien osien ja mahdollisten lämmönlähteiden varalta sekä tarkastetaan riviliittimien kireydet.

Katkaisijan virtakiskojen ilmaväleihin tulee kiinnittää erityistä huomiota, ja tarvittaessa eristää virtakiskot sopivalla eristeellä.

Sähköturvallisuusmääräysten A1-1993 mukaiset paljaiden jännitteisten osien vähimmäisetäisyydet toisistaan ja jännitteettömistä osista (**Taulukko 1**). Vaatimukset eivät koske TUKESin hyväksymien rakenne- ja koestusmääräysten mukaisia tehdasvalmisteisia sähkölaitteita, joiden on koestamalla todettu kestävän TUKESin hyväksymien rakenne- ja koestusmääräysten mukaiset koejännitteet.

/16/

**Taulukko 1.** Pienimmät sallitut vapaan ilmavälin arvot. /16/

Järjestelmä	Vapaa ilmaväli/m			
	Suurin sallittu käyttöjännite	Nimellisjännite	Jännitteettömistä osista ja jännitteisten osien välillä (samassa järjestelmässä)	Erottimella erotettavissa olevien osien välillä (samassa järjestelmässä)
kV	kV			
≥1,1	≥1	0,03		
3,6	3	0,06	0,08	0,12
7,2	6	0,09	0,11	0,18
12	10	0,12	0,15	0,24
24	20	0,22	0,26	0,35
36	30	0,32	0,38	0,50
52	45	0,48	0,57	0,75
123	110	1,15	1,40	1,70
245	220	1,96 1)	2,30	2,90 1)
420	400	3,35 1)	3,90	5,00 1)

1) Arvot edellyttävät, että järjestelmä on tehollisesti maadoitettu. /16/

### 4.3 Katkaisijasovitteiden tarkastus, ohjaus

Katkaisijasovitteiden testit tehdään päävirtapiiri jännitteettömänä.

Useissa katkaisijasovitteissa on mekaaninen laukaisu, joka estää katkaisijan ulosvetämisen ja työntämisen kennoon katkaisijan ollessa kiinni. Koska kyseessä on tärkeä turvallisuuteen liittyvä järjestelmä, tulee mekaanisen laukaisun toimintaan kiinnittää tarkastuksessa erityistä huomiota.

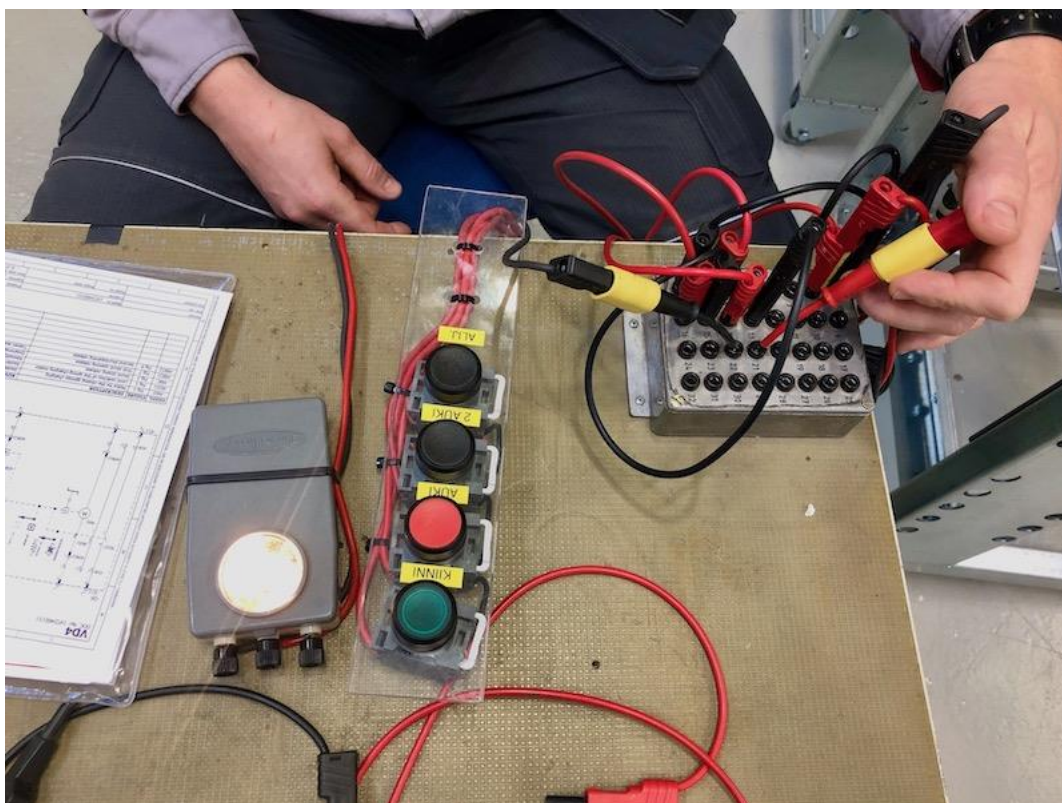
Katkaisijan ohjaus paikallis- ja kaukokäytöllä tarkastetaan, sekä testataan kaikkien varusteiden toiminta niiden nimellisjännitteellä. Katkaisijan apukoskettimien kytkennät ja toiminta tarkastetaan, että ne vastaavat piirikaaviota.



**Kuva 21.** Katkaisijan tarkastuskytkentä.

Katkaisijaan kytketään välikaapeli (**Kuva 21.**), joka tuo katkaisijan pistokkeen liittimet pöydällä olevaan kytkentäpaneeliin. Kytkentäpaneeliin tuodaan jännite viritysmoottorille. Auki- ja kiinniohjauskeloille sekä alijännittekelle jännitteet tuodaan tarkastuspainikkeilla (**Kuva 22.**), joten kelojen tarvitsema jännite

kytketään tarkastuspainikepaneeliin. Alijännittekelan painikkeessa on avautuva kosketin, joten sillä voidaan katkaista alijännittekelan jännite jolloin katkaisijan tulee aueta. Muissa painikkeissa on sulkeutuvat koskettimet, jolloin näillä voidaan kytkeä jännite kelalle. Katkaisijan tulee ohjautua kiinni ja auki painiketta painettaessa. Mikäli viritysmoottorin ja kelojen jännitteet ovat samat, voidaan moottoripiirin ja kelojen jännitteet ottaa samasta jännitelähteestä. Tällöin kytkennät voidaan tehdä kytkentäpaneelissa, kuten kuvan 22 tapauksessa on tehty.



**Kuva 22.** Katkaisijan apukoskettimien tarkastus.

Kuvassa 22 esitetään tilanne, jossa jokin katkaisijan apukoskettimista on kiinni ja tarkastuslamppu palaa. Katkaisijan tilan muuttuessa tulee myös apukoskettimen tilan muuttua ja lampun sammua koskettimen auettua. Apukoskettimien liittimet ja tila täytyy katsoa piirikaaviosta, ja tarkastaa, että ne toimii oikein huomioiden katkaisijan asento.

Jousen viritysmoottorin tulee käynnistyä ja virittää jousi heti, kun ohjausjännite on kytketty, riippumatta siitä, onko katkaisija auki vai kiinni. Moottoripiiriä ei

tarvitse koestaa muulla tavoin, on tärkeää vain varmistaa, että se toimii oikein ja pitää jousen viritettynä.

HD4-katkaisijan kaasupaineen ohjausyksikköä ei testata tarkastuksen yhteydessä muutoin kuin tarkastamalla, että LED-paneelissa palaa vihreä LED silloin, kun katkaisijan syöttöjännite on kytketty.

Tarkastusvaiheiden jälkeen täytyy varmistaa, että katkaisija on auki ja jousi ei ole vireessä, sekä liittää piirikaavio katkaisijan dokumentteihin.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyö on tehty ABB Oy Distribution Solutions Electrification Servicelle. Työn tarkoituksena oli käydä läpi katkaisijasovitteiden tarkastusprosessi, tutustua käytössä oleviin menetelmiin ja varmistaa, että tarkastus vastaa voimassa olevia standardeja ja ohjeistuksia. Kerätystä tiedosta tuli luoda vaiheittaiset tarkastusohjeet niin, että ohjeet kattaisivat erilaiset soviterakenteet mahdollisimman laajasti. Lisäksi työssä tuli yleisesti esitellä keskijännitekatkaisijat.

Projektin alussa tarkastuksessa oli käytössä excel-pohja, jossa oli listattuna joitain tarkastuksen vaiheita, mutta näitä ei ollut mitenkään kirjoitettu auki eikä mitään laajempaa ohjeistusta ollut olemassa. Projektin aikana ei ilmennyt mitään isoa puutteita tarkastusprosessissa. Luodut tarkastusohjeet toimivat tarkastajan muistilistana, ja ne helpottavat uusien työntekijöiden perehdytystä katkaisijasovitteiden tarkastukseen. Ohjeet on pyritty tekemään niin, että tarkastusvaiheiden järjestys olisi mahdollisimman looginen, että tarkastus tulisi tehtyä tehokkaasti ja huolellisesti.

Projektin aikana opin paljon uutta KJ-katkaisijoiden mekaanisesta rakenteesta, kehityksestä ja ominaisuuksista sekä katkaisijoiden tyyppi- ja rutiinitestauksista. Työn aikana pääsin tutustumaan Vaasan Sähkön sähköasemiin sekä seuraamaan Empower Oy:n suorittamaa sähköasematarkastusta. ABB:n tarkastamossa tein yhteistyötä tarkastajien kanssa tarkastusprosessin nykytilan selvittämiseksi ja tiedustelin heidän mielipiteitään ja toiveitaan tarkastusprosessiin liittyen. IEC standardien lisäksi luin useita sähköalan teoksia, jotka käsittelivät katkaisijoita. Nämä teokset olivat osin englanninkielisiä, ja välillä oli haasteellista kääntää teknistä termistöä suomen kielelle.

Työ vaati paljon itsenäistä selvittämistä, mutta myös tapaamisten sopimista, aikataulutusta ja useita eri henkilöiden kanssa käytyjä keskusteluita. Uskon tarkastusohjeista olevan yritykselle hyötyä tarkastusprosessin laadun varmistamisessa, sekä uusien työntekijöiden perehdytyksessä tarkastusprosessiin.

## LÄHTEET

- /1/ ABB Oy. Historia. Viitattu 12.02.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia>
- /2/ ABB Oy. Distribution Solutions. Viitattu 12.02.2020. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/distribution-solutions>
- /3/ Koski, J. 2017. Sähkölaitostekniikka, opintomoniste. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /4/ Korpinen, L. 1998. Sähkövoimatekniikan opus. Tampereen teknillinen ammattikorkeakoulu.
- /5/ Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II, verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Otatieto.
- /6/ ABB Oy. 06.2018. Product Catalog HD4 T\_1VCP000004.
- /7/ Aura, L. & Tonteri, A. 1993. Sähkölaitostekniikka. WSOY.
- /8/ ABB Oy. 10.2018. VD4 asennus- ja käyttöohjeet Z\_647654.
- /9/ ABB Oy. VM1 Medium voltage vacuum circuit breakers with magnetic drive brochure. Viitattu 27.02.2020. [https://library.e.abb.com/public/e090697e77f9425fbec2337890525a4d/Cat\\_VM1\(EN\)M\\_1VCP000157.pdf](https://library.e.abb.com/public/e090697e77f9425fbec2337890525a4d/Cat_VM1(EN)M_1VCP000157.pdf)
- /10/ ABB Oy. Dullni, E. Fink, H. & Reuber, C. A vacuum circuit-breaker with permanent magnetic actuator and electronic control. Viitattu 27.02.2020. [https://library.e.abb.com/public/5e750b2ecc5b760ec1256ad4002d2c00/cired99\\_Nice\\_VML.pdf?x-sign=wPXr9M0GRBC/L2J/HYmF8bCG9tR/hYvwfGZQgoXorYBPWs8+qlSGmgWhG5mFeJ/U](https://library.e.abb.com/public/5e750b2ecc5b760ec1256ad4002d2c00/cired99_Nice_VML.pdf?x-sign=wPXr9M0GRBC/L2J/HYmF8bCG9tR/hYvwfGZQgoXorYBPWs8+qlSGmgWhG5mFeJ/U)
- /11/ Jokinen, K. 2017. Teollisuuden ja voimalaitoksen sähköjärjestelmät, opintomoniste. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /12/ ABB Oy. Osmala, I. 3D-renderointi. ABB Oy:n sisäinen materiaali.
- /13/ ABB Oy. Knutar, K. & Osmala, I. 2016. HD4 vakiopiirikaavio.
- /14/ ABB Oy. Knutar, K. 2018. VM1 piirikaavio.
- /15/ ABB Oy. Is-limiter brochure. Viitattu 12.02.2020. [https://library.e.abb.com/public/e622c5385dcf05adc1257dce00341856/2493%20Is\\_Limiter\\_GB\\_NewBranding.pdf](https://library.e.abb.com/public/e622c5385dcf05adc1257dce00341856/2493%20Is_Limiter_GB_NewBranding.pdf)
- /16/ ABB Oy. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita käsikirja.

## **LIITE 1**

### **Tarkastusohjeiden sisällysluettelo**

A-vaunun tarkastusohje.....	1
METE-vaunun tarkastusohje.....	3
MH-katkaisijasovitteen tarkastusohje .....	5
B- C- ja D-vaunujen tarkastusohje.....	7
VM1-katkaisijan tarkastuksessa huomioitavaa.....	9