

Tuomo Pekkonen

STORA ENSO, VARKAUDEN  
TEHTAIDEN 6-110kV KOJEISTOJEN  
JA KATKAISIJOIDEN  
ELINKAARIKARTOITUS JA  
RISKILUKUJEN MÄÄRITYS

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikka


Tammikuu 2014




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>		
<b>Tekijä(t)</b> Tuomo Pekkonen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Sähkötekniikan koulutusohjelma		
<b>Nimeke</b> Stora Enso, Varkauden tehtaiden 6-110kV kojeistojen ja katkaisijoiden elinkaarikartoitus ja riskilukujen määrittäminen			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä kattava kartoitus Varkauden Stora Enson tehtailla sijaitsevista 6-110kV kojeistoista sekä katkaisijoista liittyen niiden elinkaaren vaiheeseen. Lisäksi määrittää riskiluku kyseisille laitteille sekä selvittää kustannuksia kriittisten kojeistojen ja katkaisijoiden uusinnan osalta. Työtä tehdessäni tutustuin myös tehtaan sähkön tuotantoon ja sähkönjakeluverkostoon sekä siihen kuuluviin laitteisiin.</p> <p>Työssä perehdyttiin kojeistoihin tehtaan sähkötiloissa sekä tutkittiin runsaasti kojeistojen, katkaisijoiden yms. laitteiden manuaaleja. Otin myös selvää nykypäivänä käytettävistä laitteista, suojauksista ja ratkaisuista. Katkaisijoiden tuotetukeen liittyvistä asioista sain tietoa ABB:n kautta.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin määritettyä riskiluvut sellu &amp; energia-alueeseen kuuluville kojeistoille ja katkaisijoille sekä päämuuntajille ja muutamille erottimille. Lisäksi määritettiin kriittisyysluokat kyseisen alueen kojeistoille. Elinkaarikartoituksen tuloksena voidaan päätellä, että kojeistoista kannattaisi lähteä uudistamaan vanhimpia ja vaarallisimpia kojeistoja sekä katkaisijoista kannattaisi alkaa uudistamaan vähäöljykatkaisijoita seuraavissa hankinnoissa.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Kytkinasema, Kunnossapito, Suurjännitetekniikka, Sähkölaitteistot			
<b>Sivumäärä</b> 49+4 liitettä	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"><b>Kieli</b> Suomi</td> <td style="width: 33%;"><b>URN</b></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>
<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>		
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Jorma Pekkanen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Efora Oy, Varkaus		

## DESCRIPTION

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Date of the bachelor's thesis</b>	
<b>Author(s)</b> Tuomo Pekkonen		<b>Degree programme and option</b> Electrical engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Life cycle survey and risk chapter determination of the switchgear and circuit breakers at Stora Enso, Varkaus mill			
<b>Abstract</b>  <p>The purpose of this thesis was to make comprehensive survey of 6-110kV electrical equipment which is located in Varkaus Stora Enso mill. This thesis handles life cycle determination. In addition I determined the risk number of this equipment and found out some prices about critical switchgear and circuit breakers renewal. When I did this thesis I found out how electricity is generated, what is the mill's electricity distribution network and the relevant devices.</p> <p>This thesis includes a lot of examination of switchgears, circuit breakers and other device manuals and getting familiar with switchgears. I also studied the currently used devices, protection and solutions. I got information about switches through ABB.</p> <p>The results of this thesis determined the risk number for switchgear, circuit breakers, main transformers and some isolators which are located in pulp and energy area. In addition the criticality class was determined for that are. As the result of the life cycle survey, it can be considered that the next renovation is targeted to the oldest and most dangerous switchgears and low oil circuit breakers could be renewed in next acquisition.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Substation, Preventive maintenance, Hight voltage engineering, Electrical equipment			
<b>Pages</b> 49+4 enclosure	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>	
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Jorma Pekkanen		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Efora Oy, Varkaus	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	STORA ENSON VARKAUDEN TEHDAS .....	1
3	EFORA OY .....	3
3.1	ABB Oy .....	4
3.2	Stora Enso Oyj .....	4
4	VARKAUDEN TEHTAAN SÄHKÖNJAKELUVERKKO .....	5
5	SÄHKÖNJAKELUKOJEISTOT .....	6
5.1	Kojeistotyypit .....	6
5.2	Kiskostojärjestelmät .....	7
6	MUUNTAJAT .....	11
6.1	Yksivaihemuuntaja .....	12
6.2	Kolmivaihemuuntaja .....	12
6.3	Mittamuuntajat .....	15
7	EROTTIMET .....	17
8	KATKAISIJAT .....	21
8.1	Paineilmakatkaisija .....	22
8.2	Vähäljykatkaisija .....	26
8.3	SF <sub>6</sub> -kaasukatkaisija .....	36
8.4	Tyhjökatkaisija .....	39
9	RELESUOJAUS .....	43
10	KRIITTISYYSLUOKITUS JA RISKILUVUT .....	45
11	YHTEENVETO .....	47
	LIITTEET	
	1 Tehtaalle tulevat 110kV linjat	
	2 Keskijännitejakelun väliytteydät	
	3 Sähkönjakelun periaate	
	4 Kriittisyysluokittelu ja riskiluvut	

## **1 JOHDANTO**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä kattava kartoitus Varkauden Stora Enson tehtaalla sijaitsevista 6-110kV kojeistoista ja katkaisijoista liittyen niiden elinkaaren vaiheen kartoitukseen sekä määrittää niille riskiluku. Samalla määritin riskiluvun muutamalle 110kV:n ja 6kV:n erottimille ja päämuuntajille. Työ on rajattu sellu & energia-alueelle sen suuren laajuuden vuoksi. Tämän työn on tilannut Varkauden Stora Enson tehtaan kunnossapitopalveluista vastaava yritys Efora Oy.

Aihe sai alkunsa, kun työn tilaajan kanssa totesimme sähkönjakelun komponenttien olevan erittäin iäkkäitä. Toimeksiantaja halusi kartoittaa vanhojen kojeistojen ja katkaisijoiden elinkaarta sekä määrittää em. laitteille riskiluvun, jotta osattaisiin huomioida kohteet mahdollisten tulevien sähkönjakeluun liittyvien saneerauksien osalta. Kriittisten katkaisijoiden sekä kojeistojen uusinnan osalta myös selviteltiin kustannuksia. Työtä tehdessäni perehdyin myös tehtaan sähkön tuotantoon ja sähkönjakeluverkostoon sekä siihen kuuluviin laitteisiin.

Sähkönjakelu on erittäin olennainen osa tehtaan tuotannon ylläpitämisen kannalta. Sähköä tarvitaan energian tuottamiseen, massan valmistamiseen kuin myös itse paperin tekemiseen, joten on erittäin tärkeää, ettei sähkönjakelussa ilmene katkoja tai muita häiriöitä.

## **2 STORA ENSON VARKAUDEN TEHDAS**

Varkauden tehtaat sijaitsevat aivan kaupungin keskustassa. Varkaudessa puunjalostusteollisuuden katsotaan alkaneen vuonna 1909, kun Paul Wahlin ja Erik Längmanin omistuksessa ollut saha siirtyi A. Ahlströmin osakeyhtiön omistukseen. A. Ahlström alkoi kehittää sahasta kokonaisvaltaista puunjalostuslaitosta omistusvaihdoksen jälkeen. 1910- ja 1920-luvuilla henkilöstömäärä kasvoi suuresti rakennusvuosien seurauksena ja aikakautta pidetäänkin suurina murrosvuosina. Tehdasalueen suunnittelusta vastasi arkkitehtitoimisto Walter ja Ivar Thomé 1910-luvulla ja myöhemmin tehdasrakennusten suunnitteluita jatkoivat Kari Lindahl ja Alvar Aalto, joiden käsialaa käytään tänäkin päivänä ihastelemassa, jopa ulkomailta asti. Varkauden ensimmäinen paperikone 1 otettiin käyttöön vuonna 1921, jonka jälkeen vuonna 1926 valmistui

paperikone 2, sekä vaneritehdas. Ennen paperikone 1:tä rakennettiin selluloosatehdas ja saha, jotka valmistuivat vuonna 1918 ja 1919. Vuosien varrella Varkauden tehtaita on uudistettu useampaankin kertaan. Vuonna 1948 uudistettiin uusi saha, joka toimi 1970-luvun alkupuolelle saakka vanhassa paikassaan, jolloin se siirrettiin Ahlströmin kadun toiselle puolelle voima-aseman tilan tarpeen takia. Lisäksi vuonna 1961 käynnistyi paperikone 3 ja vuonna 1977 paperikone 4. Vuonna 1987 Enso-Gutzeit osti tehtaat A. Ahlströmiltä. Nykyisen omistajan Stora Enson haltuun tehtaat päätyivät, kun Enso-Gutzeit sekä Stora Ab yhdistyivät vuonna 1998. /1./

Muutaman vuoden sisällä Varkauden tehtaat ovat kokeneet rajuja leikkauksia paperimarkkinoiden heikentyessä sekä Stora Enson tuotannon tehostamisen seurauksena. Leikkauksien myötä myös useita työpaikkoja väheni Varkaudessa, kun paperikone 1 toiminta loppui 2006, kartonkikone KK1 suljettiin vuonna 2008 sekä sanomalehtipaperia tuottavat koneet PK2 ja PK4 suljettiin loppuvuodesta 2010.

Nykyisin Varkaudessa tehtailla on puunkäsittely, saha, sellutehdas, hienopaperikone PK3, kuivakone KK3, lämpövoimalaitokset LVL1 ja LVL2 sekä jätevedenpuhdistamo. Lisäksi tehtaalta löytyy myös neljä 1,2MW vesiturbiinia sekä soodakattila. Lämpövoimalaitos 1 koostuu kattilasta K7, sitä syöttävästä kaasuttimesta ja vastapainehöyryturbiinista HV5, kun taas lämpövoimalaitos 2 kattiloista K5 ja K6 sekä vastapainehöyryturbiinista HV4. Paperikone 3 tuottaa vuodessa noin 285 000 tonnia hienopaperia, josta tehdään esimerkiksi kirjekuoria, ja sellutehdas tuottaa koivu- ja mäntysel-lua noin 225 000 tonnia vuodessa. /2./

Sellutehdas koostuu kuitulinjasta ja talteenotosta. Kuitulinjalla valmistetaan selluloosaa eli sellua, kun taas talteenoton tarkoituksena on talteen ottaa keittokemikaalit ja lämpö, jota syntyy orgaanisen aineksen poltossa. Talteenotto sisältää haihduttamon, soodakattilan, kaustisoinnin sekä meesauunin. Kuitulinjan tuotanto alkaa puunkäsittelystä, jossa puut kuoritaan ja haketetaan selluloosan valmistamista varten. Massaa valmistetaan keittämällä. Ennen sellun keittämistä hakkeeseen imeytetään imeyttimeissä valkolipeää. Keittämisen tarkoituksena on lämmön avulla poistaa hakkeesta kuituja sitovaa ligniiniä, siten että hake kuituuntuu helposti, sekä pyrkiä poistamaan puun uuteaineita. Sulfaattikeittoprosesseja on pääasiassa kaksi erilaista: eräkeitto ja jatkuva-toiminen keitto (vuokeitto), joista jälkimmäinen on käytössä Varkauden tehtaalla. Sellun keiton jälkeen massa täytyy pestä ja valkaista useassa eri vaiheessa, jotta se saa-

vuttaa lopullisen vaaleuden ja puhtauden. Valmis valkaistu massa johdetaan massatorneihin, joista sitä otetaan kuivattavaksi kuivakoneelle tai siitä valmistetaan paperia PK3:lla. /3/.

Sulfaattisellun keitossa käytettävät kemikaalit ovat erittäin arvokkaita, joten niitä kierätetään mustalipeästä takaisin prosessiin, jota kutsutaan talteenotoksi. Sellunkeitossa syntyy mustalipeää, kun valkolipeä reagoi puun ligniinin sekä osittain muiden ainesosien kanssa, se pyritään erottamaan sellusta pesuvaiheissa. Mustalipeä poltetaan soodakattilassa, jossa kemikaalit sekä palamislämpö otetaan talteen. Soodakattila toimii periaatteessa kuin höyrykattila, koska mustalipeän poltossa syntyneellä lämpöenergialla tuotetaan höyryä, jota käytetään enimmäkseen höyryverkoston ylläpitämiseen ja osa johdetaan höyryturbiinin läpi, josta saadaan sähköä. Ennen mustalipeän polttoa soodakattilassa se johdetaan haihduttamolle ylimääräisen veden poistamista varten eli sen kuiva-ainepitoisuutta nostetaan noin 60 – 80 %:iin. Haihduttamisessa syntyy prosessin oheistuotteita, joita ovat tärpätti ja suopa, josta valmistetaan mäntyöljyä. Soodakattilassa poltettu mustalipeä muuttuu kemikaalisulaksi, joka valutetaan liuottajaan sulakouruja pitkin. Kemikaalisula sisältää natriumsulfidia, natriumsulfaattia sekä natriumkarbonaattia. Kun kemikaalisulaan liotetaan laihavalkolipeää, syntyy viherlipeää, joka johdetaan kaustistamolle jatkokäsittelyyn. Sammuttajassa viherlipeään lisätään meesauunissa poltettua kalkkia eli kalsiumoksidia, jonka jälkeen seos pumpataan kaustisointiastioihin, jossa se muuttuu valkolipeäksi. Ennen valkolipeän käyttöä sellun keitossa se täytyy selkeyttää suotimien läpi. Valkolipeäselkeyttimessä poistetaan kalsiumkarbonaatti eli meesa, jota polttamalla saadaan taas uutta kalkkia. /3; 6/

### **3 EFORA OY**

Efora Oy on vuonna 2009 perustettu Engineering-, lisäarvo- ja kunnossapitopalveluita tuottava yritys. Efora Oy oli alun perin Stora Enson ja ABB:n yhteisyritys sekä ABB:n tytäryhtiö. Efora Oy vastaa Stora Enson tehtaiden kunnossapidosta Oulussa, Kemissä, Varkaudessa, Uimaharjussa, Imatralla ja Heinolassa. Työntekijöitä Efora Oy:ssä on noin 1000 henkeä ja toimipaikkoja seuraavilla paikkakunnilla: Helsinki, Heinola, Kemi, Oulu, Imatra, Uimaharju sekä Varkaus. Stora Enso on ilmoittanut lunastavansa

itselleen ABB:n omistavat osakkeet (49 %) lokakuun 2013 loppuun mennessä ja näin ollen Stora Ensosta tulee yrityksen ainut omistaja. /4; 5./

### **3.1 ABB Oy**

ABB on suuri sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä. Se on maailmanlaajuinen yritys, joka toimii yli 100 maassa ja heillä työskentelee noin 145 000 henkilöä. Suomessa ABB on suurin teollisuuden kunnossapitoyritys, ja sen tehtaat sijaitsevat Helsingin Pitäjänmäessä ja Vuosaarella, Vaasassa ja Porvoossa. Suomessa se työllistää yhteensä noin 6600 henkilöä ja toimipaikkoja on yli 30 paikkakunnalla eli on Suomen suurimpia teollisuuden työnantajia. ABB on pääkaupunkiseudun suurin teollisuuden työnantaja ja sen liikevaihto vuonna 2012 on ollut 2 360 miljoonaa euroa. ABB koostuu viidestä erilaisesta ydinliiketoimintadivisioonasta, joita ovat Pienjännitetuotteet, Prosessiautomaatio, Sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatio, Sähkövoimajärjestelmät ja Sähkövoimatuotteet, eli sähkövoima- ja automaatiotuotteita ja -palveluita löytyy erittäin laaja valikoima. /7./

ABB sai alkunsa tammikuussa vuonna 1988, kun ruotsalainen Asean ja Sveitsiläinen Brown Boveri (BBC) yhdistivät sähkötekniset liiketoimintonsa. Ennen ABB:tä suomessa toimi vuonna 1889 perustettu Gottfrid Strömbergin sähköyhtiö sähköteknisen teollisuuden tiennäyttäjänä. Gottfrid Strömberg rakensi vuonna 1980 tasavirtakoneen, joka oli ensimmäinen Suomessa tehty tasavirtakone, hänestä myös tuli Suomen ensimmäinen sähkötekniikan opettaja vuonna 1987. Erilaisten Strömbergin yhtiön omistusosuuksien myötä yritys siirtyi Asean omistukseen vuonna 1987 ja BBC:n sekä Asean fuusioituessa vuonna 1988 syntyi ABB. ABB:n esimerkiksi sähkökoneita ja sähkökäyttöjä valmistavissa yksiköissä Strömbergin historia jatkuu vielä tänäkin päivänä niin kuin myös monissa muissa yksiköissä. /7./

### **3.2 Stora Enso Oyj**

Stora Enso on ruotsalais-suomalainen maailmanlaajuinen metsäteollisuuskonserni. Stora Ensolla on työntekijöitä noin 28 000 ja toimipisteitä yli 35 maassa, ja sen osakkeet noteerataan Tukholman sekä Helsingin pörsseissä. Konsernin asiakkaita pääosin ovat painotalot, kustantamot, tukkurit sekä puusepän-, pakkaus- ja rakennusteollisuus. Vuonna 2012 Stora Enson liikevaihto oli 10,8 miljardia euroa, josta operatiivisen lii-



kevoiton osuus oli 618,3 miljoonaa euroa. Stora Enson vuotuinen tuotantokapasiteetti on 5,2 miljoonaa tonnia sellua, 12,1 miljoonaa tonnia paperia ja kartonkia, 1,3 miljardia neliometriä aaltopahvia ja 6 miljoonaa kuutiometriä sahatavaraa, josta 3 miljoonaa kuutiometriä on jatkojalosteita. /8./

Stora Enson liiketoiminta on jaettu neljään osa alueeseen, jotka ovat Biomaterials, Printing and Reading, Renewable Packaging sekä Building and Living. Biomaterials koostuu sellun tuotannosta ja pyrkii kehittämään puusta saadulle raaka-aineelle uusia käyttömahdollisuuksia. Stora Enson sellua tuottavat tehtaat sijaitsevat Brasiliassa, Uruguayssa, Ruotsissa sekä Suomessa. Printing and Reading koostuu yhtiön kaikista paperi-liiketoiminnan osa-alueista. Yhtiön paperi-liiketoiminnan tehtaat ovat suurimmilta osin Euroopassa, jonka lisäksi yksi tehdas on Brasiliassa ja kaksi Kiinassa. Renewable Packaging käsittää pakkauskartonkien ja papereiden valmistuksen, jossa Stora Enso on yksi maailman johtavimpia yrityksiä ja näin ollen suurin osa liikevoitosta tulee tästä yksiköstä. Stora Enso panostaa nykyään paljon pakkausmateriaalien valmistamiseen ja tuotannon kehittämiseen, koska sillä on kasvavat markkinat maailmalla. Building and Living on keskittynyt tarjoamaan sahatavaraa sekä puurakentamisessa tarvittavia tuotteita, jossa tuotteet on kehitetty vastaamaan asumisen, rakentamisen ja pakkaamisen tarpeita. /9./

#### **4 VARKAUDEN TEHTAAN SÄHKÖNJAKELUVERKKO**

Varkauden tehtaalla sijaitsee yksi 110kV:n kytkinasema, Pajaniemi. Pajaniemeen tulee kaksi 110kV suurjännitelinjaa, joista toinen tulee suoraan Huutokosken 400/110kV Fingridin omistamalta sähköasemalta ja toinen Luttilan kytkinaseman kautta. Molempien voimajohtojen maksimi siirtokyky on suurin piirtein 135MW. Nykyisin tehtaan sähkön kulutus on noin 50MW. Omilla vastapainehöyryturbiineilla tehdään pääosin kaikki sähkö, keskimäärin noin 40MW, omaan käyttöön, mutta on sitä myös mahdollista ajaa takaisin verkkoon. Tehtaalta löytyy myös vesivoimaturbiineja neljä kappaletta, joiden yhteensä tuottama teho on maksimissaan 5MW. Niistä yksi (VV1) on liitetty tehtaan varmennettuun verkkoon. Höyryturbiini HV5:n tuottama sähkö, 6kV, ajetaan suoraan tehtaan omaan keskijännitesähköverkkoon ja HV4:n tuottama sähkö, 10,5kV, nostetaan muuntajalla ensin 110kV:iin, jonka jälkeen se ajetaan suurjännitesähköverkkoon. Suomalaisessa teollisuudessa yleisimmin käytetyt pääjakelun nimellisjänn-

nitteet ovat 6kV, 10kV ja 20kV. Varkauden tehtaalla käytetään jakelujännitetasoina keskijänniteverkossa 6kV ja pienjänniteverkoissa 690V, 500V ja 400V. Päämuuntajat T01-02 ovat kooltaan 20-100MVA. Loistehon kompensointi on järjestetty hajautetusti, siten että keskijänniteverkossa on loistehon kompensointitehoa yhteensä 31MVAR erillisinä kompensointiparistoina ja yliaaltosuodattimien yhteydessä sekä pienjänniteverkossa 20MVAR hajautettuna eripuolille verkkoa. Myös turbiineita HV4 ja HV5 on mahdollista käyttää loistehon kompensointiin.

## 5 SÄHKÖNJAKELUKOJEISTOT

Kojeisto on rakennekokonaisuus, jossa on kytkin-, suoja-, ohjaus tai valvontalaitteita, joita tarvitaan sähkön tuottamisessa, muuntamisessa, muuttamisessa tai siirrossa. Kojeistot ovat yleensä tehdasvalmisteisia, sisälle asennettavia vaihtojännitekojeistoja. Kojeistojen nimellisjännitteet ovat 1-53kV ja taajuudet jopa 60Hz. Ne ovat suunniteltu käytettäväksi normaaleissa sisäasennusolosuhteissa, joissa

- Lämpötila ei nouse yli +40 °C ja keskiarvolämpötila ei ylitä +35 °C 24 tunnin ajalta mitattuna
- Minimilämpötilojen mukaan, joita on kolme eri luokkaa:
  - Alin käyttölämpötila on -5 °C
  - Alin käyttölämpötila on -15 °C
  - Alin käyttölämpötila on -25 °C
- Korkeus merenpinnasta ei ylitä 1000m
- Ilmassa ei esiinny merkittävästi pölyä, savua, suoloja, höyryjä, syövyttäviä tai tulen arkoja kaasuja
- Suhteellisen kosteuden keskiarvo ei ylitä 90 % kuukauden ajalta, eikä 95 % 24 tunnin ajalta mitattuna. /15./

### 5.1 Kojeistotyypit

Kojeistot voidaan jakaa ulkokuorensa perusteella kahteen ryhmään joko eristysainekuorisiin ja metallikuorisiin kojeistoihin. Kojeistoja voidaan jakaa kalustustavan mukaan kahdella erilaisella tavalla: kiinteällä kalustuksella ja ulosvedettävillä eli vaunu kojeistoilla varustettuihin kojeistoihin. Kiinteän kalustuksen kojeistoissa kojeet, esimerkiksi katkaisijat, ovat asennettu kiinteästi kiskostoihin, kun taas ulosvedettävissä

kojeistoissa kytkinlaite on ulosvedettävissä liikuteltavilla vaunuilla. Suurin osa jake-lukojeistoista on metallikuorisia, ja ne voidaan jakaa seuraavan laisesti kolmeen ryh-mään:

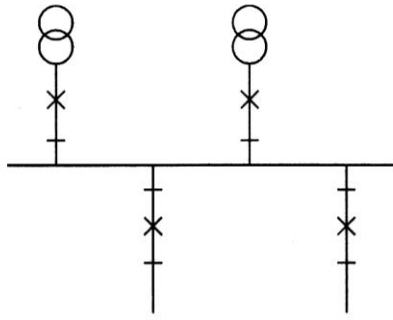
- *Metallikoteloidut kojeistot*, joissa kokoojakiskosto, katkaisija ja lähdön kom-ponentit ovat omassa tilassa, sekä kaikki kojetilojen seinät ovat maadoitettua metallia
- *Tilakoteloidut kojeistot*, joka on muuten samanlainen kuin edellinen, mutta ko-jetilojen seinissä on käytetty eristysainetta
- *Kennokoteloidut kojeistot*, jossa kaapelipääte- ja pääkojetila on yhteinen ja ko-koojakiskotila on erotettu työskentelysuojalla tai sulkulevyllä.

Ilmaeristeiseksi kojeistoksi nimitetään sellaista kojeistoa, jonka pääasiallisena eristys-aineena toimii normaali ilma. Kaasueristeisistä kojeistoista puhuttaessa käytetään eri-tyiskaasua eristysaineena, joka on eri paineessa kuin normaali ilmanpaine. /15./

## 5.2 Kiskostojärjestelmät

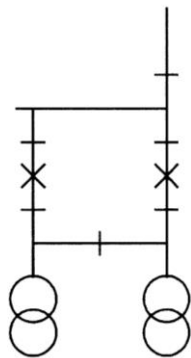
Kojeistoja syötetään yleensä kiskostoista. Kiskostoja nimitetään apu- tai pääkiskos-toksi riippuen, liitytäänkö siihen pelkällä erottimella vai katkaisijalla. Erottimella lii-tyttäessä puhutaan apukiskostosta ja katkaisijalla liityttäessä kutsutaan kiskostoa pää-kiskoksi. Kiskojärjestelmiä on yhdeksän erilaista, jotka on esitelty alla.

*Yksikiskojärjestelmä* koostuu yhdestä kiskosta. Sen etuja ovat yksinkertaisuudestaan johtuvat pienet hankintakustannukset. Suojausautomaatiikka on selväpiirteinen ja yk-sinkertainen. Johto- ja muuntajakenttien ollessa sopivasti ryhmiteltyinä kiskoerotin mahdollistaa kiskossa tapahtuvat työt käytön aikana. Yksikiskojärjestelmän haittoihin kuuluu vaatimattomat kytkentä mahdollisuudet, sekä jos kiskossa tai katkaisijassa ilmenee vika, se aiheuttaa käyttökeskeytyksen. Kuvassa 1 on esitelty yksikiskojärjes-telmä. /15./



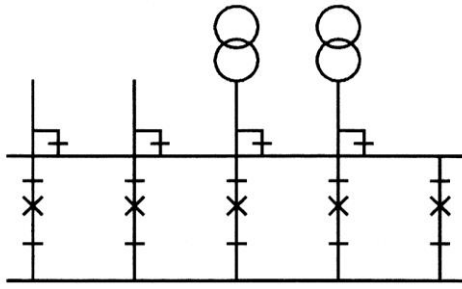
**KUVA 1. Yksikiskojärjestelmä /15/**

*Kahden muuntajan rinnankytkentä on hankintakustannuksiltaan ja katkaisijoiden lukumäärältään pieni. Ensi vaiheessa on mahdollista tehdä yhden muuntajan asema, jonka jälkeen lisätä toinen muuntaja. Etuina on myös, että katkaisijan huolto voidaan suorittaa ilman käyttö keskeytystä, mutta vian ilmetessä kiskossa se aiheuttaa aseman käyttökeskeytyksen. Kuvasta 2 käy ilmi kahden muuntajan rinnankytkentä. /15./*



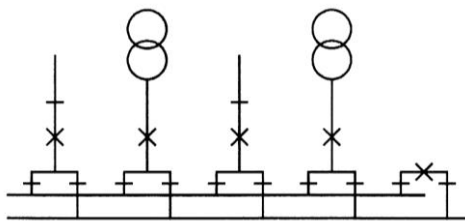
**KUVA 2. Kahden muuntajan rinnankytkentä /15/**

*Kisko-apukisko järjestelmä on yksikiskojärjestelmää huomattavasti käyttövarmempi. Sen etuja ovat monipuoliset laajennusmahdollisuudet sekä katkaisijan huolto ilman käyttökeskeytystä. Haittana on se, että vika pääkiskossa aiheuttaa käyttökeskeytyksen, sekä kaksi syöttöä tai kuormitusta joudutaan kytkemään samaan katkaisijaan kisko-katkaisijattomassa kytkinlaitoksessa. Kuvassa 3 on kisko-apukisko -järjestelmän periaate. /15./*



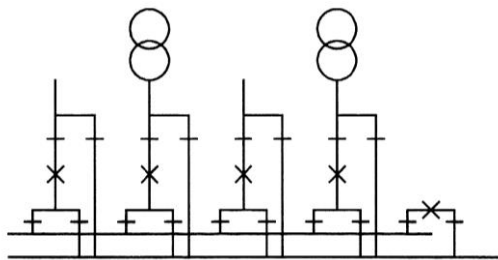
**KUVA 3. Kisko-apukisko -järjestelmä /15/**

*Kaksikiskojärjestelmä* koostuu kahdesta kiskosta. Kaksikiskojärjestelmä mahdollistaa sen, että kumpi tahansa kiskoista voidaan tehdä käytön aikana erottimilla jännitteettömäksi eli käytössä ei ilmene katkoja huollon aikana. Myös syöttöjä ja kuormituksia on mahdollista ryhmitellä sekä muuttaa käytön aikana. Huonoa järjestelmässä on se, että katkaisijan huolto vaatii kentän ottamisen jännitteettömäksi. Kuvassa 4 on esitetty kaksikiskojärjestelmä. /15./



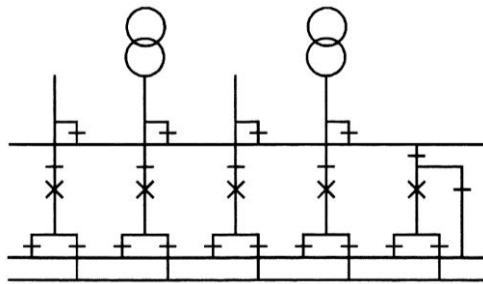
**KUVA 4. Kaksikiskojärjestelmä /15/**

*Kaksikiskojärjestelmä katkaisijan ohikytkennällä* saavutetaan samat edut kuin kaksikiskojärjestelmällä, minkä lisäksi katkaisijan huolto onnistuu ilman käyttökeskeytyksiä. Huonoa tässä järjestelmässä on se, että lay-out piirros on suhteellisen mutkikas ja katkaisijan huollon aikana tämä toimii yksikiskojärjestelmänä. Kuva 5 esittää kaksikiskojärjestelmää katkaisijan ohikytkennällä. /15./



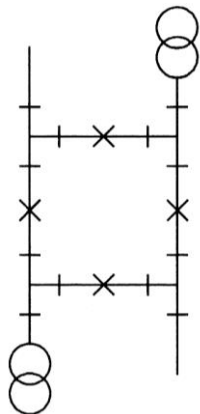
**KUVA 5. Kaksikiskojärjestelmä katkaisijan ohikytkennällä /15/**

*Kaksikisko-apukiskojärjestelmä* koostuu kaksikiskojärjestelmästä, johon on lisätty apukisko. Järjestelmällä saavutetaan se, että syöttöjä ja kuormituksia on mahdollista käytön aikana ryhmitellä sekä muuttaa. Yksi pääkisko ja apukisko on mahdollista saada jännitteettömäksi käytön aikana ja katkaisijan huolto onnistuu ilman käyttökeskeytyksiä. Järjestelmän haittapuolia on se, että hankintakustannukset ovat suuret. Kuva 6 selventää järjestelmän rakennetta. /15./



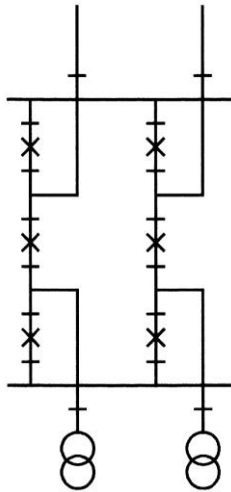
**KUVA 6. Kaksikisko-apukiskojärjestelmä /15/**

*Rengaskiskojärjestelmässä* on etuna se, että katkaisijoiden lukumäärä on pieni ja huoltaminen onnistuu katkaisija kerrallaan. Kyseisen järjestelmän laajentaminen on hankalaa, sekä suojaus ja jälleenkytkentäautomatiikka ovat mutkikkaita. Rengaskiskojärjestelmän periaate on esitetty kuvassa 7. /15./



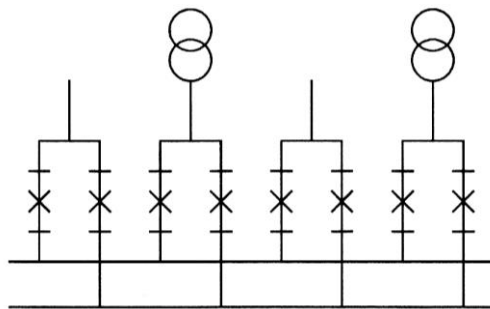
**KUVA 7. Rengaskiskojärjestelmä /15/**

*Puolitoistakatkaisijajärjestelmä* mahdollistaa monipuoliset kytkentämahdollisuudet ja on käyttövarma. Järjestelmästä on mahdollista ottaa mikä tahansa katkaisija tai kisko huollettavaksi. Järjestelmän haittapuolia on katkaisijoiden suuren lukumäärän takia se, että se on suhteellisen kallis, sekä jälleenkytkentä- ja suojausautomatiikka on mutkikasta. Alla oleva kuva 8 esittää järjestelmän rakenteen. /15./



**KUVA 8. Puolitoistakatkaisijajärjestelmä /15/**

*Kaksoiskatkaisijajärjestelmä eli dublex-järjestelmä on todella käyttövarma. Kiskossa aiheutuva vika ei aiheuta katkosta. Mikä tahansa katkaisijoista tai toinen kisko on mahdollista ottaa käytön aikana jännitteettömäksi huoltoa varten aiheuttamatta käytössä häiriöitä. Dublex-järjestelmä on kallis hankkia sen komponenttien suuren lukumäärän vuoksi. Myös suojaus ja jälleenkytkentäautomaatiikka on monimutkainen toteuttaa. Järjestelmän suuri etu on sen käyttövarmuus sekä se, että käyttö katkoja esiintyy erittäin vähän, mistä josta johtuen teollisuudessa tuotannon menetykset ovat vähäisiä. Dublex-järjestelmän periaate on esitetty kuvassa 9. /15./*



**KUVA 9. Kaksoiskatkaisijajärjestelmä (Dublex) /15/**

## 6 MUUNTAJAT

Muuntaja on sähkökoje, jonka ansiosta vaihtosähkö on syrjäyttänyt aikoinaan tasasähkön. Muuntajia käytetään vaihtosähköverkossa muuntamaan jännitteen suuruutta joko pienemmäksi tai suuremmaksi riippuen tarpeesta sekä samalla se eristää toisistaan kaksi erijännitteistä sähköverkkoa. Rakenteeltaan muuntaja on yksinkertainen, periaat-

teeltaan se koostuu rautasydämeistä sekä ensiö- ja toisiokäämeistä. Muuntajat voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin:

- *Voimamuuntajat*, joiden tehtävä on muuntaa jännite  $U_1$ , jännitteeksi  $U_2$
- *Suojamuuntajat*, joiden tehtävä on eristää jokin sähkölaite jännitteeltään  $U_2$ , sähköverkosta jonka jännite on  $U_1$
- *Mittamuuntajat*, joiden tehtävä on muuntaa virta tai jännite releille ja mittakojille sopivaksi. *Virtamuuntajilla* muunnetaan virtaa ja *jännitemuuntajilla* muunnetaan jännitettä.

Kaikilla yllämainituilla muuntajilla on yhteinen fysikaalinen toimintaperiaate. /12./

## 6.1 Yksivaihemuuntaja

Yksivaihemuuntaja on normaalisti rakenteeltaan kaksikämmimuuntaja, jossa samalle rautasydämelle on asennettu ensiö- ja toisiokäämit. Muuntajan ensiöksi kutsutaan sitä käämiä  $N_1$ , johon sähköteho tuodaan ja toisioksi käämiä  $N_2$ , josta sähköteho otetaan kuormitukseen. Teho siirtyy vaihtomagneettivuon välityksellä ensiöstä toisioon. Muuntajan muuntosuhde ( $\mu$ ) muodostuu ensiön nimellisjännitteen suhteesta toision nimellisjännitteeseen seuraavan kaavan 1 mukaisesti

$$\mu = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \quad (1)$$

jossa  $U_{1n}$  on ensiön nimellisjännite ja  $U_{2n}$  on toision nimellisjännite.

Muuntajan muuntaessa jännitteen suuruutta se kuluttaa osan siitä sähkötehosta, joka virtaa sen läpi eli näiden tehohäviöiden takia sen antama teho on pienempi kuin ottama teho. Muuntajassa syntyvät tehohäviöt muodostuvat virtalämpö- eli kuormitushäviöistä sekä rautahäviöstä. Virtalämpö- eli kuormitushäviöt syntyvät käämeissä ja rautahäviöt rautasydämessä. /12./

## 6.2 Kolmivaihemuuntaja

Kolmivaiheisen sähkövoimajärjestelmän yhtenä tärkeinä komponentteina kuuluvat kolmivaiheiset teho- eli voimamuuntajat. Kolmivaihemuuntaja saadaan, kun kytketään yhteen kolme yksivaihemuuntajaa siten, että jokainen muuntaja muodostaa yhden kolmivaihemuuntajan vaiheen eli yksivaihemuuntajan toiminta pätee myös kolmivaihemuuntajan yhteen vaiheeseen. Vaihekäämit muodostuu samaan vaiheeseen kytke-



tyistä ylä- ja alajännitepuolen käämeistä ja koko muuntajan käämit yhdessä muodostavat muuntajakäämityksen. /12./

Kolmivaihemuuntajan vaihe käämit voidaan kytkeä tähteen, kolmioon tai hakatähteen. Teho- eli voimamuuntajat voidaan jakaa kahteen erilaiseen ryhmään, suurtehomuuntajat ja jakelu- eli pientehomuuntajat. Jakelumuuntajat voidaan vielä jakaa rakenteellisesti seuraavasti: valuhartsieristeiset jakelumuuntajat, pylväsmuuntajat, hermeettiset jakelumuuntajat ja paisuntasäiliölliset öljyeristeiset jakelumuuntajat. Kaikissa muissa paitsi valuhartsieristeisissä jakelumuuntajissa on eristys- ja jäähdytysaineena muuntaja öljy, johon on lisätty inhibiittia, joka hidastaa vanhenemista. Paisuntasäiliölliset, sekä hermeettiset jakelumuuntajat soveltuvat sisä- ja ulkoasennukseen, ovat itsejäähdytteisiä ja öljyeristeisiä, mutta eroavat toisistaan olennaisesti siten, että hermeettisissä muuntajissa ei ole paisuntasäiliötä. Ne ovat hermeettisesti suljettuja, täynnä öljyä sekä hieman matalampia kuin paisuntasäiliölliset jakelumuuntajat. Myöskään pylväsmuuntajissa ei ole paisuntasäiliötä, ja paisuntatila on siirretty kannen alle ja niistä on jätetty väliottokytkin pois. Paikoissa, joissa on palovaara, saastumisvaara tai jotain muuta vastaavaa, jonka vuoksi ei voida käyttää nestetäytteistä muuntajaa, käytetään valuhartsisia jakelumuuntajia. Valuhartsisen muuntajan, toiselta nimeltään kuivamuuntaja, käyttöä voidaan myös miettiä paikoissa, jossa muuntaja voidaan asentaa aivan kuorman lähelle säästämällä alajännitepuolen kaapelikustannuksissa. /12./

Jakelumuuntajien rautahäviöt on saatu ratkaisevasti pienentymään, kun sydän valmistetaan 0,3 mm paksusta pientäviöisestä suunnatusta muuntajalevystä, jonka pinnalla on ohut eristekerros pyörrevirtojen estämiseksi. Muuntajien käämitykset ovat alumiinia tai kuparia. Alajännitekäämi on helpoin eristää ja on tavallisesti lähimpänä rautasydäntä. Alajännitekäämit tehdään yleensä kaksikerroskääminä tai suurien virtojen varten ruuvikääminä paperieristetyistä muotolangasta. Joissakin jakelumuuntajissa alajännitekäämit tehdään leveästä alumiininauhasta. Rautasydämen ja alajännitekäämin välissä on prespaanilieriö. Yläjännitekäämit tehdään tavallisesti monikerroskääminä pieniä virtoja varten pyörö- tai muotolangasta. Lanka on joko paperi- tai lakkaeristeinen ja paperia käytetään kerrosieristyksenä. Yläjännitekäämi tehdään muotolangasta jatkuvana levyvyyhtikääminä suurien virtojen varten. Ala- ja yläjännitekäämien välissä on jäähdytyskanava sekä eristelieriö. /12./

Sähköverkossa tapahtuvien jännitevaihteluiden pienentämiseksi on muuntajan jännitettä pystyttävä säätämään. Jännitettä säädetään muuttamalla muuntajan hyötysuhdetta. Yleensä muutetaan johdinkierroslukua yläjännitekäämityksestä, koska yläjännitepuolella virta on pienempi kuin alajännitepuolella. Jännitteen säätöön käytetään joko käämikytkintä tai väliottokytkintä. Käämikytkintä voidaan käyttää muuntajan muuntosuhteen muuttamiseen muuntajan ollessa jännitteellinen ja kuormitettu. Muuntajissa, joissa tehoa ei voida katkaista, käytetään jännitteen säätämiseen käämikytkintä. Käämikytkimiä valmistetaan kytkennän mukaan kahta erilaista:

- *Nollapistekäämikytkin* on tähtikytkentää varten
- *Vaihekäämikytkin* on kolmiokytkentää varten.

Väliottokytkimellä muuntajan muuntosuhdetta voidaan säätää vain muuntajan ollessa jännitteetön. Vain silloin muuntaja on varmasti jännitteetön, kun se on ylä- että alajännitepuolelta irti sähköverkosta. Käytännössä väliottokytkimiä käytetään vain sellaisissa muuntajissa, joiden teho on mahdollista katkaista säädön ajaksi, esimerkiksi jakelumuntajissa jännitteen säätöön käytetään vain väliottokytkimiä. Väliottokytkintä ei saa koskaan jättää kahden asennon väliin vaan, se on siirrettävä aina täydellisesti asennosta toiseen, koska muuntaja voi muuten vioittua. /12./

Muuntajiin asennetaan eräitä varusteita käyttöä ja käytön valvontaa varten. Muuntajien ylikuormitussuojana käytetään termistoreja, joiden avulla varmistetaan se, ettei muuntajan lämpötila nouse liian korkealle. Tavallisesti käytetään kahta termistoriryhmää, siten että toisesta saadaan hälytys 150 °C lämpötilassa ja toisesta laukaisu 170 °C lämpötilassa. Termistorit on asennettu kunkin vaiheen alajännitekäämin yläpäähän. Muuntajan lämpötilan vaihdellessa sen öljyn tilavuus vaihtelee. Muuntajan ”hengittäessä” joutuu kostea ilma kosketuksiin muuntajan öljyn kanssa, mikä alentaa öljyn kuntoa nopeasti. Tämän takia asennetaan yleensä öljyeristeisiin muuntajiin paisuntasäiliö, joka täytetään vain osittain, jolloin öljylle jää vapaata tilaa laajentua. /12./

Tehomuuntajien suojana toimii kaasule. Muuntajassa esiintyvä paikallinen ylikuumeneminen, valokaari- tai purkausilmiö saa aikaan kaasun tai eristeaineiden hajoamisen kaasuiksi. Kaasun kerääntyessä kaasuleeseen aiheuttaa se hälytyksen tai laukaisun pois verkosta. Muuntajan eristeiden kosteussuojana toimii ilmankuivain. Muuntajan lämpötilan vaihdellessa se alkaa ”hengittää” öljyn tilavuuden muuttuessa. Kosteu- den päästessään öljyyn se vaikuttaa haitallisesti muuntajan eristeisiin, joten sisäänhen-

gitysilman on oltava kuivaa. Paisuntasäiliöön virtaavan ilman kuivaamisen suorittaa ilmankuivain. Hygroskooppista kuivausainetta, yleensä silikageeliä sisältävä ilmankuivaimen kuivauspanos sitoo sen läpi muuntajaan virtaavasta ilmasta kosteuden ja muuntajan uloshengitysilma johdetaan kuivauspanoksen ohi, jottei muuntajasta poistuva kosteutta sisältävä ilma pääse kosteuttamaan kuivauspanosta. Kostunut ilmankuivaimen kuivauspanos on vaihdettava uuteen. Silikageelin kostumisen huomaa siitä, kun se vaihtaa väriänsä punaiseksi, kun se normaalisti kuivana on hiukan sinertävää. Uusi kuivauspanos on vaihdettava viimeistään, kun sinistä väriä on enää jäljellä noin viidesosa säiliön yläosassa. Kostunut silikageeli voidaan kuivata esimerkiksi pellin päälle levitettynä tai puhaltamalla kuumaa ilmaa kuivaimen läpi, mutta ilman lämpötila ei saa nousta yli 120 °C, koska silloin silikageeli pilaantuu. Kosketinlämpömittari asennetaan öljyllä täytettävään lämpömittaritaskuun, joka on muuntajan kannessa. Mittari on varustettu hälytys- ja laukaisukoskettimilla, jotka toimivat lämpötilan noustessa. Lisäksi mittarista löytyy ulkopuolelta palautettava maksimosoitin. Kapillaari-lämpömittari asennetaan muuntajakomeron etuseinään tai muuntajan sivuun. Muuntajan kannessa olevaan öljyllä täytettävään lämpömittaritaskuun asennetaan mittarin tuntoelin. Lämpömittari on varustettu ulkopuolelta palautettavissa olevalla maksimosoituksella sekä kahdella sulkukoskettimella, jotka toimivat vain lämpötilan noustessa. /12./

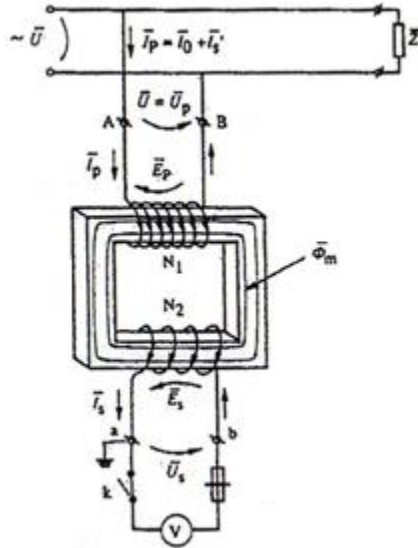
### 6.3 Mittamuuntajat

Mittaus- ja suojaustekniikassa releiden ja mittareiden jännite- ja virtakäämejä syöttävien jännitteiden ja virtojen muuntamiseksi käämeille sopivaan arvoon käytetään mittamuuntajia. Mittamuuntajia on kaksi erilaista, jännite- ja virtamuuntaja, jotka nimensä mukaisesti muuntavat joko jännitettä tai virtaa. /12./

Jännitemuuntajan rakenneperiaate ja kytkentä virtapiiriin ovat samanlaiset kuin tavallisen voimamuuntajan, mutta jännitemuuntaja on erittäin pienitehoinen voimamuuntajaan verrattuna. Jännitemuuntajan aktiiviset rakenneosat ovat levyrakenteinen rautasydän sekä ensiö- ja toisiokäämit. Kuvasta 10 selviää jännitemuuntajan rakenne- ja kytkentäperiaate. Jännitemuuntajan tärkeimpiä tehtäviä on:

- a) Muuntaa ensiön jännite releelle tai mittalaitteelle sopivaksi eli laajentaa mittaita tai suojalaitteen mitta-alaa

- b) Eristää toisiopiiri sekä mittaava henkilö ensiöpiiriin jännitteestä, joka voi olla suurjännite
- c) Mahdollistaa releiden ja mittareiden sijoittamisen kauas jännitemuuntajasta ja ensiöpiiristä, kun toisiojohto on mitoitettu sopivaksi. /12./

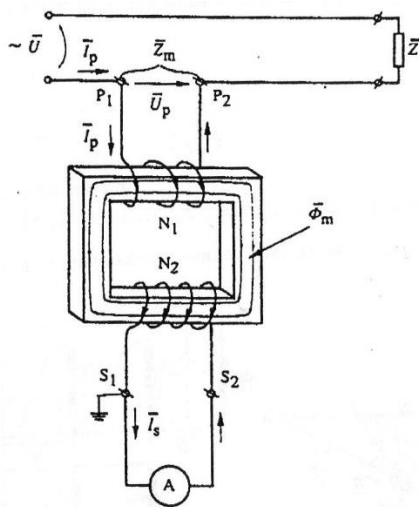


**KUVA 10. Jännitemuuntajan rakenne- ja kytkentäperiaate /12/**

Kondensaattorijännitemuuntajaa käytetään sähköverkoissa, joiden jännite on 100kV tai suurempi. Magneettisiin jännitemuuntajiin nähden suuremmilla jännitteillä käytettävä kondensaattorijännitemuuntaja on kooltaan pienempi ja taloudellisempi. Periaatteelliselta rakenteeltaan kondensaattorijännitemuuntaja koostuu kapasitiivisesta jännitteenjakajasta ja magneettisesta välimuuntajasta. Kondensaattorijännitemuuntaja kytketään siten, että kapasitiivinen jännitteenjakaja mitattavaan jännitteeseen ja välimuuntajan ensiö välijännitteeseen, eli jännitteenjakajan väliottoon. Jännitteenjakajan sekä välimuuntajan toinen liitin on maadoitettava, koska kondensaattorijännitemuuntaja kytketään äärijohtimen ja maan väliin. Välimuuntajaa on siksi käytettävä, koska kapasitiivinen jännitteenjakaja ei pysty korvaamaan magneettista suurjännitemuuntajaa. /12./

Virtamuuntajan rakenneperiaate on sama kuin normaalin voimamuuntajan, sekä aktiiviset rakenneosat ovat levyrakenteinen rautasydän sekä ensiö- ja toisiokäämit. Virtamuuntajan kytkentä poikkeaa muista muuntajista siten, että se kytketään sarjaan kuorman kanssa, jonka virtaa mitataan. Kuvasta 11 näkyy virtamuuntajan rakenne- ja kytkentäperiaate. Virtamuuntajan tärkeimpiä tehtäviä on:

- Muuntaa ensiön virta releelle tai mittalaitteelle sopivaksi eli laajentaa mitta- tai suojalaitteen mitta-alaa
- Eristää toisiopiiri sekä mittaava henkilö ensiöpiirin jännitteestä, joka voi olla suurjännite
- Mahdollistaa releiden ja mittareiden sijoittamisen kauas jännitemuuntajasta ja ensiöpiiristä, kun toisiojohto on mitoitettu sopivaksi
- Suojelee toisiopiiriin kytkettyjä kojeita liian suurilta ylivirroilta. Tämä perustuu rautasydämen kyllästymiseen ja pätee muuntajille, joiden mittarivarmuuskerroin on pieni. /12./



**KUVA 11. Virtamuuntajan rakenne- ja kytkentäperiaate /12/**

## 7 EROTTIMET

Erotin on tärkeä sähkönjakeluverkon laite. Sen tehtävänä on erottaa jännitteiset osat jännitteettömistä osista, siten että se muodostaa turvallisen avausvälin erotettavan virtapiirin ja muun laitoksen välille. Avausväli on voitava todeta luotettavasti, eli sen on oltava joko näkyvä tai siinä on oltava luotettava asennonosoitin turvallisen työskenteilyn kannalta. Erottimen on kiinni asennossa voitava johtaa liikaa lämpiämättä sekä vaurioitumatta kaikki virtapiiriin kuormitus- ja oikosulkuvirrat. Erotin ei ole tarkoitettu kuormien erottamiseen sen huonon virran katkaisukyvyyn takia. Erotin on voitava lukita joka asennossa, jotta voidaan estää sen vaaraa aiheuttava käyttö. Erottimia käytetään ohituskytkennöissä, jonka tarkoituksena on mahdollistaa jatkuva sähkönsyöttö. Yleensä erottimeen on integroitu maadoituserotin, jolla maadoitetaan työkohteena

oleva jännitteetön laite tai verkon osa. Kuormaerotin on katkaisijan ja erottimen väli-  
muoto, joka katkaisee ja sulkee määrätyn virran. Kuormaerottimia käytetään keskijän-  
niteverkon paikoissa, jossa erotetaan toisistaan kuormitusvirrallisia osia. Varoke-  
kuormanerotin on kuormanerotin varokkeilla, jota voidaan käyttää ylikuormitussuoja-  
na. Pääsääntöisesti varokekuormanerotinta käytetään jakelumuuntamoissa muuntajan  
suojana.

Varkauden tehtaalla Pajaniemen kytkinasemalla on käytössä kierto- sekä veitsierotti-  
mia. Kiertoerottimia käytetään vain ulkona 110kV:n kentällä, ja ne ovat Strömbergin  
valmistamia malliltaan OJYD tai ABB:n valmistamia malliltaan SGF. 6kV:n erottimi-  
na käytetään Strömbergin valmistamia OJON-veitsierottimia, jotka ovat teollisuuden  
sähköjakelussa erittäin yleisiä. /13./

OJYD-kiertoerottimessa avausvälin muodostaa joka navassa kaksi vastakkaisiin suun-  
tiin 90° kääntyvää kosketinvartta. Kiertoerotin on 3-napainen erotin, joka kootaan  
kolmesta keskenään vaihtokelpoisesta navasta, ja ne voidaan sijoittaa rinnan tai pe-  
räkkäin, sekä moottori- tai käsiohjain voidaan sijoittaa mihin napaan tahansa. Jokainen  
napa on mahdollista varustaa käsiohjaimella ohjattavalla maadoitusveitsellä. Kier-  
toerotin ohjausliike navasta toiseen siirretään putkilla tai välitangoilla ja vivuilla  
napojen peräkkäin tai rinnanasennuksesta riippuen. Lukituslaite, joka on asennettu  
ohjattavaan napaan, estää maadoitusveitsien sulkemisen pääveitsien ollessa kiinni ja  
päinvastoin. Kiertoerotin pääosat ovat alusta, kosketinosat sekä koskettimet. 3-  
napainen kiertoerotin kootaan 1-napaisista yksiköistä, ja se yleensä tehdään asennus-  
paikalla. Erotin pitkän käyttöikänsä kannalta on huollossa otettava huomioon nivel-  
ten, laakerointien ohjainten koskettimien, maadoitusveitsien sekä itse erottimen voite-  
lu, joka on tehtävä noin 5 vuoden välein ja voiteluaineena on käytettävä sellaista voi-  
teluainetta, joka pysyy notkeana vielä -40 °C:ssa. /13./

SGF-erotin sopii nimellisjännitteiltään 123-300kV ja nimellisvirroiltaan 1600-2500A  
alueelle. Se on ulosasennettava yksinapainen kaksipilarinen kiertoerotin. Kaksi tai  
kolme napaa on mahdollista kytkeä muodostamaan kaksi- tai kolmenapainen ryhmä.  
Erotinnavat on mahdollista asentaa rinnan tai jonoon. Erottimelle sekä maadoitusveit-  
selle on erilliset ohjaimet.

OJON-erottimet (kuva 12) ovat veitsierottimia, jotka täyttävät IEC- että VDE-standardit. 1kV:n OJON-erottimet tunnistaa siitä, että niiden eristimet ovat sileitä lieeriöitä, kun taas 10kV:n ja 20kV:n erottimissa eristimet ovat pinnaltaan poimutettuja. OJON-erottimien eristimet ovat valmistettu ruskeasta valuhartsista ja alusta levystä. Erottimen alusta on maalattu harmaaksi ja veitset punaiseksi, jotta asennon havaitseminen olisi helpompaa. 1000-4000A erottimissa on koskettimet valmistettu kuparivalusta, kun taas muissa erottimissa koskettimet ovat valmistettu kuparilevystä. Veitset ovat U- tai lattamuotoista kuparia. Veitset ja koskettimet ovat hopeoituja kulumisvaran takia. Virrasta riippuen veitsiä voi olla useampiakin pareja, ja niiden jousto on aikaansaatu kierrejousilla, jotka puristavat niitä yhteen. 1-napaisessa erottimessa on ohjaussilmukka veitsien välissä, johon on yhdistetty lukituslaite, joka kiinniasennossa lukitsee veitset koskettimiin. 3-napaisissa erottimissa on alustassa ohjausakseli, jolta liike välitetään eristysvälitankojen ja vipujen avulla veitsiin. Akselin kääntökulma on 90° ja sen halkaisija on 25mm. OJON-erottimiin on saatavissa seuraavan laisia lisävarusteita, kuten

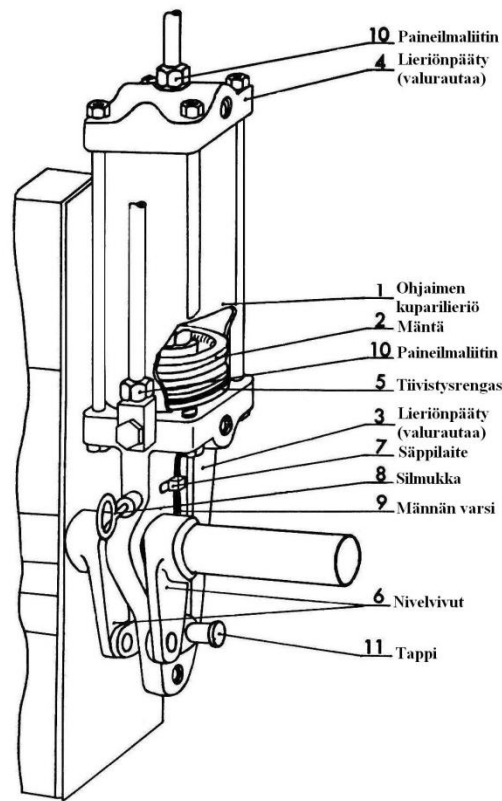
- *Maadoitusveitset*, voidaan asentaa ylä- tai alapuolelle ja ohjainlaitteiksi käy yleensä samat tyypit kuin erottimille, sekä niissä on lukituslaite, joka estää pää- ja maadoitusveitsien samanaikaisen sulkemisen ja askellaite estämässä liikkumisen painovoiman takia
- *Kiskonliittimet*, 2500A ja 4000A erottimiin kiskot voidaan kiinnittää erillisten liittimien avulla, jolloin ei tarvitse tehdä kiskoihin 90° taiputuksia
- *Apukytkin*, asennetaan kennon seinään tai erottimen runkoon ja liikkeen välitys tapahtuu välitangolla tai vivulla erottimen akselilta kytkimeen
- *Tanko-ohjaimet*, joita on kahta eri kokoa ja niillä lukitaan erotin kiinni tai auki asentoon
- *Paineilmaohjaimet*, joilla voidaan lukita erotin kiinni tai auki asentoon
- *Lukitusmagneetit*, kahta erilaista kiinnityksen mukaan, joko erottimen sivuun tai tanko-ohjaimen etulaitteeseen, magneetti estää erottimen ohjaamisen ollessaan virraton
- *Lukituslaite*, joka estää vaakasuoraan asennetun erottimen sulkeutumisen omalla painollaan, kun käytetään silmukkavipuohjausta
- *Jatkoakseli*, jolla voidaan jatkaa erottimen akselia, tarvitsee normaalisti 1-2 tukilaakeria. /13./



**KUVA 12. OJON-veitsierotin**

Paineilmaohjaimet OJO-ZPA ovat tarkoitettu 3-napaisten OJON-erottimien ohjaamiseen nimellispaineella 6-20 Bar. IEC-standardin mukaisesti ohjaimen on toimittava ilman säätöä painealueella  $(0,85-1,1) \cdot \text{nimellispaine}$ . Ohjaimet voidaan asentaa erottimen kummalle puolelle tahansa. Erottimen ollessa kiinni nivelvipu muodostaa  $90^\circ$  kulman ja näin lukitsee erottimen. Auki asennossa erottimen lukitsee säppilaite. Paineen puuttuessa lukitus voidaan avata silmukasta vetämällä. Ohjaimen iskun pituus on 100mm. Erottimen toimintanopeus voidaan säätää sopivaksi ohjausventtiilin kuristimilla. Mikäli painetta ei ole riittävästi ja erotinta halutaan ohjata esimerkiksi veitsiä kääntämällä tai silmukkavivulla, on poistettava lukitus. Paineilmanohjausventtiili YRXAL 2 on käsi- ja sähköisellä ohjauksella sekä sähköisellä ja mekaanisella lukituksella varustettu paineilmakaksoisohjausventtiili, jota käytetään paineilmaohjaimen kanssa esimerkiksi erottimien kauko-ohjaukseen. Kuvasta 13 näkyy paineilmaohjaimen osat. /14./





**KUVA 13. OJO-ZPA -ohjain erottimen ollessa kiinni /14/**

Erottimia on myös huollettava tietyin väliajoin sen toiminnan varmistamiseksi ja mahdollisten vikatilanteiden estämiseksi. Erottimen kuntoa valvotaan yleensä lämpökuvauksilla. Lämpökuvauksista käy ilmi huonosti johtavat liitokset yms. normaalia korkeampina lämpötiloina. Lämpökuvausraportit helpottavat myös paljon sitä, että voidaan ennalta varautua tarvittaviin toimenpiteisiin. Erottimen huollossa huolletaan erottimen ohjain, voimansiirto ja virtatiet sekä tehdään erottimen toiminnan testaus. Erottimessa on liikkuvia osia, joita täytyy puhdistella ja kiristellä, säädellä ja voidella, sekä tarpeeksi kuluneet osat täytyy vaihtaa uuteen. Huollon yhteydessä myös mitataan erottimen ylimenovastus, joka ei saa olla liian suuri.

## 8 KATKAISIJAT

Katkaisijoiden tehtävänä on erottaa ja yhdistää virtapiirejä toisiinsa. Sen on toimittava normaali ja vikatilanteissa siten, että muulle sähköverkolle aiheutuvat häiriöt ovat mahdollisimman pieniä. Katkaisijan on myös kyettävä toimimaan vikatilanteissa, joissa virrat ovat moninkertaisia normaaliin virtaan nähden, jopa yli katkaisijan nimellisvirran, myös epäsymmetriset kuormitukset vaikuttavat sen toimintaan. Katkaisijaa

voidaan ohjata käsin paikan päältä sekä jotkin katkaisija tyytit mahdollistavat kauko-ohjauksen. Myös suojareleet ohjaavat katkaisijan toiminnan esimerkiksi maa- tai oikosulku tilanteissa. Katkaisijat voidaan ryhmitellä seuraavasti käytetyn sammutusväliaineen perusteella

- öljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat
- SF<sub>6</sub>-katkaisijat
- tyhjökatkaisijat
- ilmakatkaisijat

Näistä yleisimmin käytettyjä ovat vähäöljy-, SF<sub>6</sub>-, ja tyhjökatkaisijat. Myös Varkauden tehtaalla on käytössä kyseisiä katkaisijoita, joiden lisäksi on käytössä myös paineilmakatkaisijoita.

Katkaisijoita ollessa monta eri tyyppiä niiden valintaan myös vaikuttaa erilaisia tekijöitä, kuten

- Mekaaniset mitat
- Kytkenätiheys
- Sähköiset ominaisuudet
  - Nimellisjännite ja sen taajuus
  - Nimellisvirta
  - Piirin suurin oikosulkuvirta
- Ympäristöolosuhteet.

Katkaisijan auetessa virtapiiri kestää suljettuna valokaaren välityksellä niin pitkään, kunnes valokaari sammuu. Katkaisijassa käytetyn väliaineen tehtävänä on sammuttaa valokaari sekä jäähdyttää katkaisu tapahtumassa syntyneitä valokaariplasmaa. Katkaisijat on nimetty käytettävän väliaineen mukaan. /18./

## 8.1 Paineilmakatkaisija

Paineilma katkaisijoilla suoritetaan suurjänniteverkoissa tehon kytkemisiä ja katkaisuja. Katkaisu voi olla ohjattu tai automaattinen (releohjaus). Näitä Varkaudessa käytössä olevia Strömbergin valmistamia 3-napaisia paineilmakatkaisijoita on valmistettu kahta erilaista tyyppiä, DB ja DBG. Yhtä peräkkäin tapahtuvaa kiinni ja auki kytken-

tää varten tarkoitettu katkaisija on malliltaan DB, jota käytetään Varkaudessa, ja DBG on tarkoitettu jälleenkytkentää varten. DBG-mallin katkaisija eroaa DB:stä siten, että siinä on lisäsäiliö ja jälleenkytkentää varten tarvittavia lisäreleitä. Nämä katkaisija mallit ovat sisälle asennettavia, joita on valmistettu 10kV, 20kV ja 30kV nimellisjännitteille 400A:sta 1000A:in nimellisvirroille. Katkaisijan toimintavoimana toimii paineilma, sekä se suorittaa valokaaren sammutuksen. /16./

Katkaisijan rakenne näkyy kuvassa 14, katkaisijan ollessa ”auki”-asennossa. Katkaisijan pääosiin kuuluvat seuraavat osat

- Ilmasäiliö 5, jonka ilma riittää kiinni auki ohjaukseen nimellispaineella
- Pääventtiili 1e, joka on rakennettu pääsäiliön sisälle
- Erottimen käyttölaite 1f, joka on rakennettu pääsäiliön sisälle
- Kolme sammutuskammiota 1i, jotka on kiinnitetty ilmanavalla varustettuihin tukieristimiin 9
- Kolme erotinta, osinaan erotin veitsi 1k ja kosketinharjat 23 kiinnitettyinä tukieristimeen 24
- Ohjauskoje 27, käsittäen kaikki varmuus- ja ohjauslaitteet sekä katkaisijan toimintaelimet, joita ovat

kiinni kytkentää varten

1. painonappi 29

2. ohjausmagneetti 1a

3. paineilma kauko-ohjaus

4.

5.

6.

auki kytkentää varten

painonappi 28

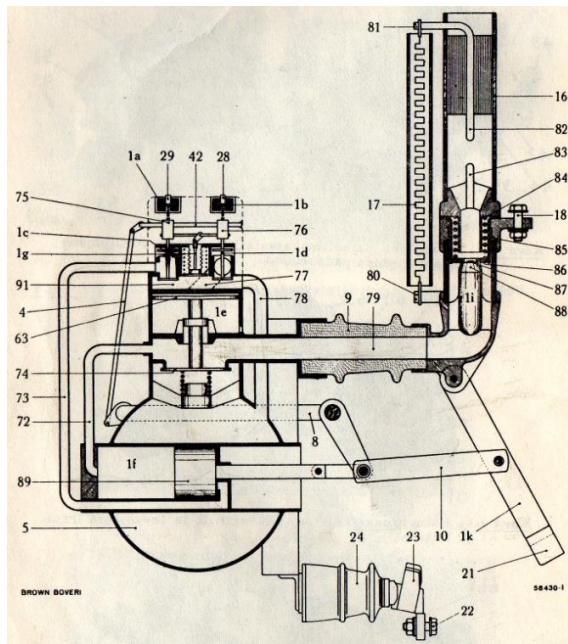
ohjausmagneetti 1b

paineilma kauko-ohjaus

ohjausmagneetti 41 (työvirta laukaisu)

alijännite magneetti 90 (lepovirtalaukaisu)

Mekaaninen laukaisu päävirtareleellä.



**KUVA 14. Paineilmakatkaisijan rakenne /16/**

Katkaisijan toiminnan estää alipainelukituslaite 1g, kun paine alittaa sallitun alimman rajan. Katkaisijan kytkeminen tapahtuu erottimilla 1k, kun taas 86 ja 88 sammutuskoskettimet pysyvät lepoasennossaan. Auki kytkettäessä virta katkeaa sammutuskoskettimissa, ennen kuin erottimet avautuvat. /16./

Katkaisijan kiinni-käsky voidaan antaa joko ohjausmagneetilla 1a tai painonapilla 29, ja molemmat toimenpiteet laukaisevat jousilaukaisijan 75, joka avaa ohjausventtiilin 1c. Paineilma virtaa säiliöstä 5 johtoa 73 pitkin ja työntää mäntää 89, joka vetää erotinveitset 1k kiinni tankojen, katkaisijan akselin 8 ja eristystankojen 1o välityksellä. Ohjausventtiili 1c sulkeutuu heti, kun jousilaukaisija 75 on virittynyt uudelleen kiertävän viritysnokan 44 avulla, joka liikkuu mekaanisen kuittauslaitteen (akseli 8 ja viritystanko 4) ohjaamana. Ohjauskojeen ”auki”-puolella toinen viritysnokka päästää toisen jousilaukaisijan 76 toimintavalmiiksi läpimenevän viritysakselin 42 kiertyessä. Erottimen ohjain on varustettu ilmapaimennuksella, jotta paineilmakatkaisijaa kiinni tai auki ohjattaessa liikkeeseen joutuneet massat saataisiin vaimenemaan ja erotinveitsten mahdollinen auki ponnahtaminen estyisi. Se pysäyttää erotinveitset pääteasentoonsa heilahtelematta, riippumatta hankausvoiman vaihteluista ja säiliön paineesta. Numeroidut osat löytyvät kuvasta 14. /16./

Katkaisijan auki käsky voidaan antaa joko ohjausmagneetilla 1b tai painonapilla 28. Molemmissa tapauksissa seuraa jousilaukaisijan 76 laukeaminen ja ohjausventtiilin 1d

aukeaminen. Paineilma pääsee porauksen 77 kautta pääventtiilin 1e männän 63 päälle, pääventtiili avautuu ja yhdistää säiliön 5 ilmanavien 79 kautta suoraan sammutuskammioihin 1i. Virtaava ilma kohottaa liikkuvan koskettimen 86 (suppilokosketin) voimakasta kosketinjousta 84 vastaan, eroon kiinteästä koskettimesta 88. Suppilokoskettimen ja kiinteän koskettimen väliin syntyvää valokaarta puhaltaa virtaava ilma jäähdyttimeen, jossa valokaari sammuu vaihtovirran kulkiessa 0-kohtansa kautta. Koskettimien heti vapautuessa ionisoidusta ilmasta ja ollessa paineen alaisina estyy jälleen syttyminen tässä paikassa. Jännitteen palatessa tapahtuu jälleen syttyminen apukipinävälissä elektrodien 82 ja 83 välillä, jolloin vastus 17 rajoittaa virtaa. Sammuminen tapahtuu lopullisesti virtaavan ilman vaikutuksesta virran kulkiessa 0-kohdan kautta. Kun virta on täysin katkennut, alkaa erottimen avautuminen. Ohjaimen käyttöilma pääsee avoimesta pääventtiilistä 1e johtoa 72 pitkin männälle 89, joka toimittaa erottimen avaamisen tankojen ja katkaisijan akselin välityksellä. Numeroidut osat löytyvät kuvasta 14. /16./

Oikea aikajärjestys virran katkaisun ja erottimen aukeamisen välillä on varmistettu toiselta puolelta siten, että sammutuskoskettimiin vaikuttavat voimat ovat paljon suuremmat kuin erottimeen vaikuttavat, ja toiselta puolelta siten, että ilman pääsyä erottimen käyttölaitteesta hidastetaan. Kiinni- ja auki-kytkentä on aina tapahtunut silloin, kun erotin on saavuttanut ääriasentonsa. /16./

Ohjauskojeen tehtävänä on avata ulkoa tulevaa kytkentäkäskeyä vastaava ohjausventtiili ja pitää se niin kauan auki, että aloitettu kytkentätoimitus suoritetaan loppuun saakka. Ulkoa tulevat kytkentäkäskeyt voivat olla hyvin erilaisia, kuten mekaanisesti painonapeilla 28 ja 29 tai sähköisesti (kauko-ohjaus) magneeteilla 1a ja 1b, pitkiä tai lyhyitä, yhtäaikaista tai välittömästi peräkkäin. Miten tahansa ne tulevatkin, välittää ohjauskoje ne katkaisijalle vain siten, että alettu kytkentätoimitus tapahtuu täysin loppuun asti. Painonapit 28 ja 29 löytyvät kuvasta 14. /16./

Paineilman paine ei saa olla tiettyä arvoa alhaisempi lukituslaitteen toiminnan takia, ja jotta oikosulkuvalokaaren moitteeton sammuminen olisi varmaa. Myös paineilmalaitos on suunniteltava ja varustettava riittäväillä puhdistuslaitteilla, että ilma on katkaisijaan tullessaan vedetöntä ja öljytöntä. Ennen kuin katkaisijaan päästetään paine, on erottimet ohjattava käsin täysin kiinni ja auki. Samalla on tarkistettava, että erottimien kosketinkappaleet 21 (kuva 14) osuvat kiinni kytkettäessä tarkoin kosketinharjojen

väliin. On myös testattava katkaisijan ja takaiskuventtiilin tiiveys ennen katkaisijan käyttöönottoa. Nämä katkaisukokeet on suoritettava katkaisijan ollessa jännitteettömänä. Jännitteettömänä tehtyjen kokeiden jälkeen suoritetaan katkaisijan ohjaukskokeet sähköisellä ohjauksella. Jos nämä kokeet ovat sujuneet moitteettomasti, katkaisija voidaan ottaa käyttöön. /16./

Katkaisijan kaikki mekaaniset osat toimivat suurella voimaylijäämällä sekä suurella varmuudella. Normaali pölyntyminen ja lämpötilan vaihtelu  $-20\text{ °C} - +50\text{ °C}$  ei vaaranna mekaanista varmuutta. Katkaisijoiden huolto voi rajoittua aika-ajoin tapahtuvaan yksityisten osien voiteluun ja puhdistukseen, jolla estetään ennenaikaisesti tapahtuvaa kulumista. Tarkastuksia tehdessä on katkaisija täysin erotettava verkosta, ohjausjohdot irrotettava ja paine päästettävä pois säiliöstä. Katkaisijan yleistarkastus tehdään joka toinen tai kolmas vuosi riippuen paikallisista olosuhteista. Puhdistuksessa ja voidellessa erottimen koskettimia on ne puhdistettava bensiinillä, jonka jälkeen voideltava ohuesti grafiittiöljyllä, ja tämä on tehtävä kerran vuodessa. Sammutuskoskettimien tarkistus tehdään, jos sammutuskoskettimissa esiintyisi palohelmiä, palokosketin on palanut kraatterin muotoiseksi tai kun koskettimen kuparinen otsapinta on palanut noin 2 mm syvältä. /16./

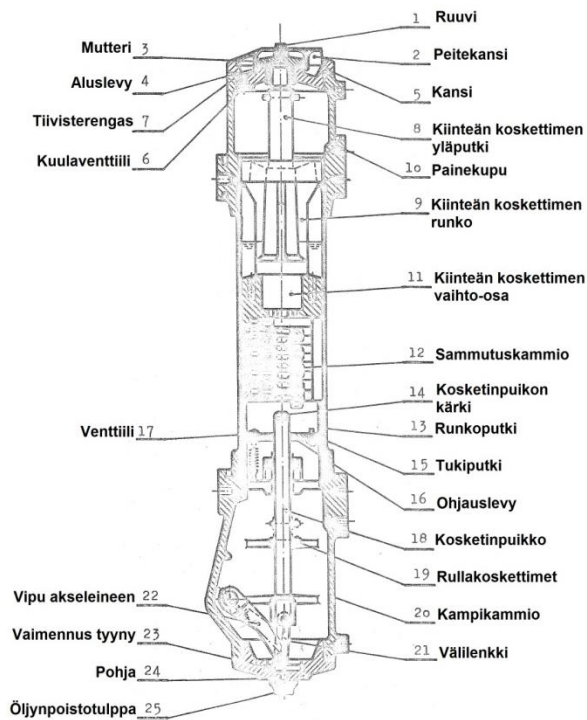
## 8.2 Vähäöljykatkaisija

Vähäöljykatkaisija on öljykatkaisija, joka on saanut nimensä vähäisen öljyn määrän perusteella. Vähäöljykatkaisijan tyypillinen käyttöalue on 7,2–123kV. Katkaisijan napojen öljymäärä on saatu siten pieneksi, että ne ovat erotettu toisistaan ilmaväleihin. Vähäöljykatkaisijassa valokaaren katkaisu perustuu öljyn höyrystymiseen ja siinä muodostuneeseen paineeseen, joka saa aikaan öljyn virtauksen, koska höyrystyessään öljy sitoo lämpöä ja siten jäädyttää valokaarta. Paine voi kasvaa erittäin suureksi, jopa 10MPa:iin saakka. Öljyn virtaus on mahdollista suunnata valokaaren suuntaiseksi tai kohtisuoraan sitä vastaan ja virtausta on mahdollista tehostaa erilaisilla öljyn pumppausjärjestelmillä kammion sisäisen muotoilun lisäksi. Vähäöljykatkaisijoiden valmistus on lopetettu 1980-luvun loppupuolella ja nykyisissä sähkökojeistoissa niiden käyttö on pääosin korvattu SF<sub>6</sub>- ja tyhjäkatkaisijoilla. Varkauden tehtaalla on vielä jonkin verran käytössä olevia vähäöljykatkaisijoita, jotka ovat Strömbergin valmistamia tyypiltään OSAN, OSAO tai OSAP, ja ne ovat rakenteeltaan hyvin samantyyppisiä. 110kV:n katkaisijoina käytetään Strömbergin OSAR-tyypin katkaisijoita ja

ASEA:n valmistamia HLD-mallin katkaisijoita, jotka ovat asennettu matalaan pilarite-lineeseen yhdellä ohjaimella. /18./

Katkaisijat OSAM, OSAO ja OSAN ovat kolmivaiheisia sisäasennuksiin tarkoitettuja vähäöljykatkaisijoita, jotka runkorakenteesta riippuen soveltuvat joko työntökatkaisijoiksi tai kiinteästi asennettaviksi. Niitä voidaan käyttää -25 °C - +40 °C lämpötila-alueella edellyttäen, että kosteuden tiivistyminen tai epänormaalin suuri likaantuminen mukaan luettuna huurteen ja kasteen muodostuminen on estetty. Katkaisijan pääosia ovat katkaisupilarit, jousiohjain ja katkaisijan runko. Katkaisupilareita on kolmea erilaista rakennetta lajimerkkien OSAM, OSAN ja OSAO mukaisesti nimellisvirroille 800A, 1250A ja 1600A. OSAM- ja OSAN-pilarit ovat samanlaisia ja käytävissä 12kV sekä 24kV nimellisjännitteille, jolloin eri nimellisjännitteen omaavat samantyyppiset katkaisijat eroavat toisistaan vain vaihe- ja maaeristysten suhteen. Raskaammat katkaisijat vaativat tehokkaampia toimintajousia, muuten kaikille katkaisijoille on perusasultaan sama jousiohjain. Katkaisijan runkoja valmistetaan sekä työntökatkaisijoita että kiinteästi asennettavia varten kahta eri leveyttä vastaten nimellisjännitteitä 12kV ja 24kV. Strömbergin omavalmisteisissa työntökatkaisijakojeistoissa käytetään 24kV:lla lisäeristein varustettua kapeampaa työntökatkaisijaa. /17./

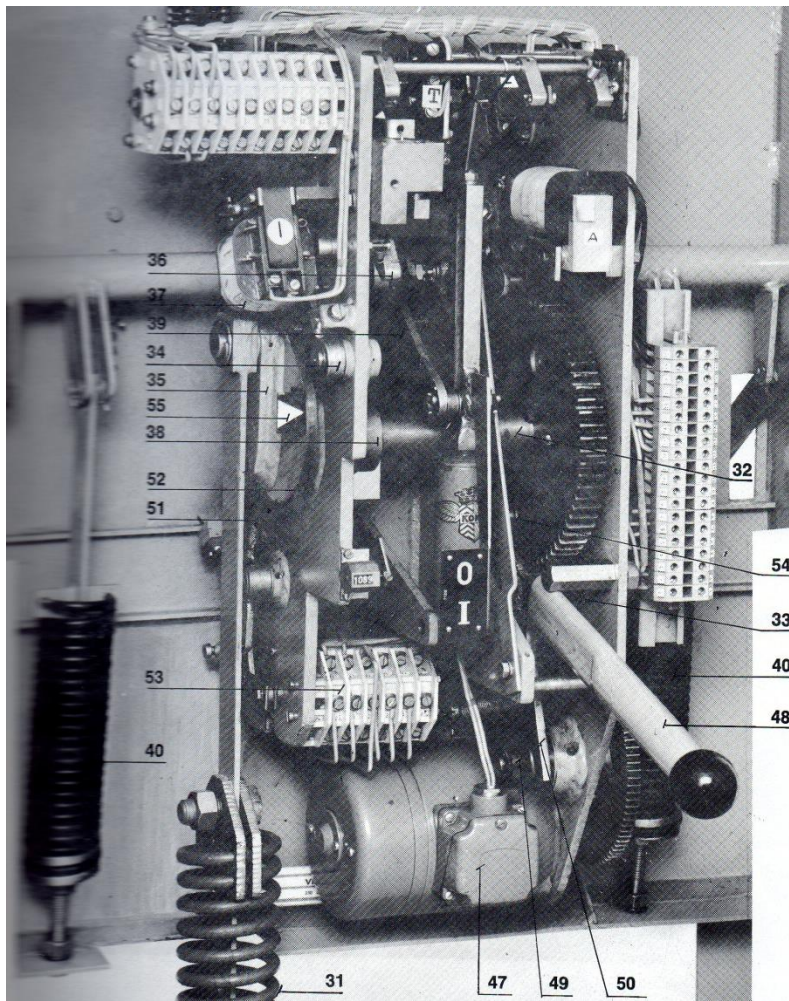
Katkaisupilarin (kuva 15) muodostaa runkoputki, johon on kiinnitetty painekupu ja kampikammio. Kiinteä kosketin kiinnittyy painekuvun sisäpuolella olevan kierteen avulla. Kiinteä kosketin pitää sammutuskammion puristuksessa tukiputkea vasten. Tukiputkeen kiinnittyy ohjauslevy, johon venttiilit kiinnittyvät OSAN-katkaisijoissa. Kiinteään koskettimeen kiinnittyvät koskettimen vaihto-osa ja kaasun ulosvirtausputki, jonka sisällä on öljynerottamista varten suodatinosa. Ulosvirtausputken yläpäässä olevan kiinnitysmutterin ja kierteen avulla on kiinnitetty peite- ja yläkansi. Ohjaimen liike välittyy kampikammion seinämän läpi akselin ja vivun avulla. Vipu kiinnittyy välilienkin kautta ohjaamaan kosketinpuikkoa. Rullakoskettimen avulla virta välittyy kosketinpuikkoon. Pohja sulkee kampikammion. /17./



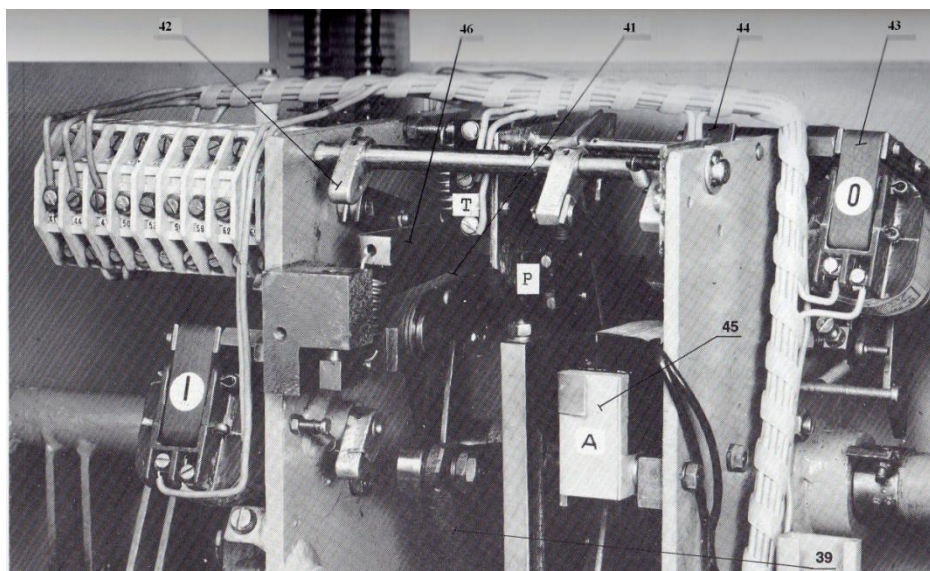
**KUVA 15. Vähäöljykatkaisijan katkaisupilarin osat /17/**

Ohjain (kuva 16 ja 17) toimii siten, että kiinnivetojousi 31 pyrkii kiertämään akselia 32 ja siihen hammasvälityksellä kytkettyä vapaakytkyakselia 33. Kiinnilaukaisusäppi 34 pitää pyörästön paikoillaan. Säppiin kohdistuva voima on pienennetty siten, että jousivoiman vaikutussuora on lähellä vivun 35 kuolioasentoa. Akseli 32 lähtee pyörimään ottaen ohjausvalssinsa 38 avulla mukaan monitoimivivun akseleineen 39, kun kiinnilaukaisusäppi 34 avataan käsin painonapin 36 avulla. Akseli 39 on samalla katkaisijan pääakseli, ja kun se kääntyy  $70^\circ$ , katkaisija menee kiinni ja laukaisujouset 40 virittyvät. Sulkemisliikkeen lopussa auki laukaisulaitteen jousitettu säppi 41 putoaa monitoimivivun 39 neulalaakerin taakse, jolloin laukaisuliike lukittuu ja katkaisija jää kiinni. Akseli 32 jatkaa pyörimistään katkaisijan kiinnimenon jälkeenkin ja ohjausvalssi 38 kääntyy monitoimivivun 39 rullien alta pois, niin että katkaisija on valmis laukeamaan välittömästi kiinniohjautumisen jälkeen. Pyörästöön varastoitunut huimaenergia alkaa virittää kiinnivetojousta, kun ohjausvalssi 38 on pyörähtänyt noin  $170^\circ$ . Itse kiinnivetojousi myös vaimentaa näin aiheuttamaansa huimamassojen liikeenergian. Vapaakytkyakselilla oleva vapaakytky estää jonkin matkaa virittyneen kiinnivetojouksen palautumisen. Katkaisija laukeaa, kun auki-laukaisusäppi 41 avataan joko käsin painonapin 42 avulla, magneetilla 43 - 45 tai päävirtareleellä. Aukilaukaisun varmistamiseksi auki-laukaisulaitteessa on vasara 46. Hipaisukosketin T ja kuitauskosketin P toimivat myös aukilaukaisun aikana. /17./





**KUVA 16. Vähäöljykatkaisijan ohjain /17/**



**KUVA 17. Vähäöljykatkaisijan ohjain /17/**

Kiinnivetojousi on mahdollista virittää käsin viritysvarrella 48 tai moottorilla 47. Käsin virittäessä vapaakytky estää palautumisen. Viritys suoritetaan edestakaisin liik-

keellä, jota tehdään noin 60 kertaa. Jouta viritettäessä pyörii akseli 32 edelleen samaan suuntaan kuin kiinnilaukaisun aikana. Virityслиikkeen lopussa vipu 35 pyörähtää hieman yli kuolioaseman, kunnes kiinnilaukaisusäppi 34 pysäyttää sen. Moottorilla viritys tapahtuu epäkeskoakselin 49 ja viritysvivun 50 avulla, jotka vievät virityслиikkeen vapaakytkyakselille 33. Virityksen lopussa tapahtuu seuraavaa

- vipu 51 putoaa ohjauskiekolta 52 ja katkaisee apukoskettimen 53 avulla moottorin virtapiirin sekä sulkee I-magneetin virtapiirin
- ison hammaspyörän (akselilla 32) kyljessä oleva tappi 54 nostaa viritysvivun 50 pois epäkeskoakselilta 49, ettei aiheudu yliviritystä
- ohjauskiekkolla oleva merkki 55 kääntyy esiin ja ilmaisee jousen olevan vireessä. /17./

Kiinnivetojousi voidaan pikajälleenkytkentää varten virittää uudelleen välittömästi kiinnikytkennän jälkeen. Uudelleen virityksenkin aikana katkaisija on valmis laukeamaan minä hetkenä tahansa, koska virityksen aikana ohjausvalssi 38 samaan suuntaan pyöriessään ja siten takakautta kulkiessaan ei ole esteenä katkaisijan akselin palautumiselle. Moottoriviritteisessä ohjaimessa jousen viritys tapahtuu automaattisesti välittömästi kiinnilyönnin jälkeen. Tällöin vipu 51 kääntyy ohjauskiekon 52 ohjaamana kiinniohjaus liikkeen lopussa toiseen asentoon, jolloin apukosketin 53 kytkee moottorin virittämään jouta. I-magneetin virtapiirin sähköisellä lukituksella sekä mekaanisesti on estetty kiinnivetojousen tyhjänä laukaisu katkaisijan jo ollessa kiinniasennossa. /17./

Työntökattkaisijan lukitusten tarkoituksena on

- a) Estää kattkaisijan irrottaminen erotinkoskettimistaan kattkaisijan ollessa kiinniasennossa
- b) Estää kattkaisijan ohjaaminen kiinni vaunun ollessa ääriasentojen välillä
- c) Estää kiinni asennossa olevan kattkaisijan työntäminen kennoon
- d) Estää kiinnikäskyn pääseminen kiinniohjauskelalle vaunun ollessa ääriasentojen välillä, koska kela voi palaa saadessaan jatkuvasti kiinni-impulsseja
- e) Estää kattkaisijan ulostulo kennosta yli erotusasennon, jos samanaikaisesti vauhua liikuteltaessa syntyisi kennossa paineaallon aiheuttava oikosulku.

Lukitukset ovat mekaanisesti toteutettuja lukuun ottamatta kohtaa d). Katkaisija irroteetaan työasennosta kääntämällä työntö- eli lukituskahvoja noin 90° sisäänpäin, jolloin katkaisija vapautuu liikuteltavaksi. /17./

Riippuen katkaisijan käytöstä joudutaan määräajoin vaihtamaan öljy ja suorittamaan valokaaren kuluttamien osien tarkastus ja vaihto oheisen kuvan 18 mukaisesti. Huoltovälin pituuden määrää pienien oikosulkuvirtojen katkaisuisissa öljyn likaantuminen ja suurien oikosulkuvirtojen katkaisuisissa koskettimien kuluminen. Öljynvaihto on kuitenkin suoritettava vähintään kahden vuoden välein ja öljynvaihdon yhteydessä on samalla puhdistettava sammutuskammio. Öljy tummuu katkaisujen yhteydessä eikä siitä ei ole haittaa, jos öljy on kuivaa ja vapaa sakkamuodostumista. Öljy on myös vaihdettava, kun sen läpilyöntijännite (elektrodivälillä 2,5mm) on pienempi kuin 20kV. Öljyn määrää täytyy myös tarkkailla sopivin väliajoin, varsinkin silloin jos katkaisuja sattuu usein, sillä jokaisessa katkaisussa kuluu pieni määrä öljyä. Koskettimet ovat päällystetty Wolfram-päällyksellä valokaarenkestoisuuden parantamiseksi. Koskettimet ovat uusittava, kun Wolfram-päällystys on kulunut puhki tai kosketinpinnat ovat rosoisia ja kuluneita. Yleensä puikon kärki kestää yhden huoltovälin, ja kiinteä kosketin vähintään kaksi huoltoväliä kuten sammutuskammioikin, ennen kuin ne on uusittava. Sammutuskammio puhdistetaan jokaisen huollon yhteydessä. Sen puhdistamiseen käytetään joko trikloretyleenä tai puhdasta öljyä. Puhdistus suoritetaan osa kerrallaan, ja kammio kootaan tietynlaisessa järjestyksessä, josta ei saa poiketa. Samantyyppisten levyjen paikkaa voidaan kuitenkin vaihtaa, jolloin kuluneimmat levyt kannattaa sijoittaa kammion alapäähän. Kammion käsittelyssä ja varastoinnissa on kiinnitettävä huomiota siihen, ettei niihin pääse imeytymään kosteutta. Kammiota pidetään kuluneena, kun levykkeissä olevan puikon halkaisija on kasvanut noin 15 % ja kulunut kammio uusitaan aina kokonaan. Ohjaimen rasvaus suoritetaan 5000 toimintakerran tai 5 vuoden välein. Ohjaimen ollessa varustettuna alijännite magneetilla on myös rasvattava uralevyn ura. /17./

Katkaisuteho 1)	Sallittu katkaisujen lukumäärä huoltoväliä kohti
0,6...1,0 $S_N$	3
...0,6 $S_N$	20
Nimellisvirta $I_N$	1000

1)  $S_N$  = Nimellinen oikosulkuvirran katkaisukyky.

**KUVA 18. Vähäöljykatkaisijan huoltoväli taulukko /17/**

Katkaisija OSAR on ulosasennettava vähäöljykatkaisija. Se on suunniteltu pohjoisen ilmaston asettamien suurien vaatimusten mukaisesti, joten se soveltuu hyvin suomen olosuhteisiin. Katkaisija on helppo asentaa paikoilleen sen yksinkertaisen ja kevyen rakenteensa ansiosta, joka myös helpottaa huoltotöiden suorittamista. Katkaisijan pääosiin kuuluvat kolme katkaisupilaria, alusta ja sen sisällä oleva ohjain. Katkaisupäässä olevan kosketinpuikon liikkeet välittyvät ohjaimessa reunimmaisiiin vaiheisiin mekaanisesti välitangon, eristeakselin sekä keski- ja kampikammiossa olevien vipujen välityksellä. Katkaisijan kaikki liikkuvat osat ovat ulkoilmalta suojassa, niin etteivät vesi, lumi tai jää pääse estämään niiden toimintaa. /20./

OSAR-katkaisijan katkaisupilarin muodostavat kaksi katkaisupäätä sekä tukipilari. Katkaisupäiden rinnalla ovat jännitteenjakokondensaattorit. Virtakisko yhdistää katkaisupäät katkaisijan ollessa auki-asennossa. Kiinni-asennossa virtatien muodostavat liitintappi, painekupu, kiinteän koskettimen runko, kiinteä kosketin, kosketinpuikko, rullakoskettimet ja sen runko sekä välilaippa. Välilaipan liitinosasta virtatie jatkuu virtakiskon kautta toiseen katkaisupäähän. Virran katkaisussa valokaari sammuu loke-roihin jaetussa sammutuskammiossa, jonne kampikammion pohjaan kiinnitetty mäntä työntää kosketinpuikon läpi sylinteriosassa olevaa öljyä. Tehostettu öljyn virtaus jäähdyttää valokaarta voimakkaasti ja jännitekestoisuus koskettimien välillä virran katkeamisen jälkeen kasvaa nopeasti. Kuumat kaasut purkautuvat katkaisukammion sivuaukkojen kautta painekupuun, mistä ne kulkevat jäähtyneenä välikannen kaasureikien ja yläkannen ulospuhallusventtiilin kautta ulkoilmaan. Kiinnipanoliikkeen aikana virtaa öljyä kampikammion sylinteriosaan männän ja kampikammion pohjassa olevan venttiilin kautta. Sylinteriosan päässä oleva venttiili estää kiinnipanoliikkeessä öljyn imeytymisen puikon sisälle katkaisukammion. Kampikammion öljytila on vapaassa yhteydessä eristysposliinin ja eristeputken väliseen öljytilaan. Katkaisun aikana paine rajoittuu eristeputken sisällä olevaan öljytilaan, joten kampikammio on paineeton. Katkaisupään öljyn korkeus näkyy tarkastuslasista. Likaantunut öljy on mahdollista vaihtaa koko katkaisupäästä öljynpoistoventtiilin kautta. Katkaisupää on liitetty tukipilarin keskikammioon neljällä ruuvilla. Kiertoakselin ylävipu sekä kampikammion vipu yhdistetään säädettävällä välivivulla, jonka molemmissa päissä on pallonivelet. Keskikammion suojana ovat alumiiniset sivulevyt sekä päällysvy. Toisen sivulevyn pleksilasisesta aukosta näkyy kampikammion akseliin kiinnitetty asennon-osoitin. /20./

Katkaisijan ohjain on öljyhydraulinen jousiohjain, jossa katkaisijan kiinnipanoon sekä aukaisujousien virittämiseen käytetään paineenvaraajaan hydrauliohjauksella puristetun tyypin paine-energiaa. Katkaisijaa kiinni pantaessa paineellinen öljy päästetään varajasta työsylinteriin sähköhydraulisen esiohjausventtiilin ohjaaman pääventtiilin kautta. Paineellinen öljy työntää mäntää, joka on kiinnitetty ohjaimen akselin kääntövipuun välivivun avulla, kiertäen siten ohjaimen akselia, josta liike välittyy mekaanisesti edelleen kosketinpuikkoihin. Männänvarren pää on tuettu kiertoliikkeen aiheuttamaa poikittaista voimaa vastaan ohjainrungon urissa kulkevan vaunu osan avulla. Katkaisijan lukitus kiinniasentoon tapahtuu mekaanisesti kiertovivun sekä jousitetun lukitusvivun avulla. Apukytin katkaisee sähköimpulssin esiohjausventtiililtä ja pääventtiili palaa nopeasti vapaa-asentoon, jolloin katkaisija on toiminta valmis laukaisua varten. Katkaisijan laukaisu tapahtuu sähköisesti esiohjausventtiilin ohjaaman pienen hydraulisen iskurin avulla. Iskuri poistaa lukituksen, jolloin katkaisija menee auki asentoon kiinniliikkeessä viritettyjen laukaisujousien vaikutuksesta. Ohjaimessa olevasta laukaisuvivusta nykyisemällä myös voidaan laukaista katkaisija. Työsylinterissä on molempia liikesuuntia varten iskunvaimennukset. Apukytimen vaihtokoskettimet ilmaisevat katkaisijan pääkoskettimen asentoa. Auki asennon hälytyskoskettimena voidaan käyttää apukosketinta, joka voidaan kuitata käyttämällä laukaisuvivua 0-asennossa. Katkaisija on myös varustettu mekaanisella laukaisukertojen lukumäärän laskurilla. /20./

Paineekytin käynnistää moottorin, kun paine on noin  $170 \text{ kp/cm}^2$ . Moottorin käyttämä mäntäpumppu pumppaa öljyä säiliöstä suodattimen läpi painevaraajaan, kunnes paine on  $190 \text{ kp/cm}^2$ , jolloin paineekytin pysäyttää moottorin. Kosketinpainemittari ohjaa koskettimellaan I-IV kiinniohjauksen estorelettä estäen kiinniohjauksen, jos alkupaine on pienempi kuin  $155 \text{ kp/cm}^2$ , täten estetään katkaisijan kiinni ohjaaminen ohjaimen mahdollisessa vikatapauksessa liian pienellä paineella. Kosketinpainemittarin kosketin II-IV ohjaa hälytysrelettä, joka antaa impulssin hälytykselle, jos paine on laskenut arvoon  $160 \text{ kp/cm}^2$ . Ohjattaessa katkaisija kiinni alkupaineella  $170 \text{ kp/cm}^2$  paine laskee noin  $18 \text{ kp/cm}^2$ , joten turhien hälytysten välttämiseksi tulisi alipainehälytyspiirissä käyttää aikarelettä, jonka viive aika on noin 30s. Tässä ajassa pumppu kerkeää nostamaan paineen hälytysrajan yläpuolelle. Laukaisuliikkeessä paineen muutos on hyvin pieni, koska laukaisuiskurin männän liikkeen vaatima öljymäärä on pieni painevaraajan öljymäärään nähden. Katkaisija saadaan siten auki laukaisuiskurin avulla, vaikka paine olisikin lähes  $120 \text{ kp/cm}^2$ , joka on painevaraajan tyypikaasun täyttöpaine, tar-

peen vaatiessa painetta voidaan nostaa käsipumpulla, joka on saatavana lisävarusteenä. Systeemin suurin sallittu paine on  $220 \text{ kp/cm}^2$ , jonka varoventtiilinä toimii paineenrajoitusventtiili. Hydraulioöljysäiliössä on öljynpinnan valvontalaite, joka suorittaa hälytyksen öljynpinnan ollessa alle sallitun alarajan. Laitteella saadaan myös hälytys öljy vuodoista sekä painevaraajan typpikaasuvuodosta, koska pumppu pumpkaa vuotavan typpikaasun tilalle öljyä varaajaan täyden paineen saavuttamiseksi. Katkaisijan toiminnan aiheuttamista öljyn pinnan heilahteluista voi joissakin tapauksissa aiheutua uimurikytkimelle turhia hälytyksiä. Tämän takia uimurikytkimen tulisi ohjata esimerkiksi samaa hälytyksen aikarelettä, jota alipaineen hälytys käyttää. Pumpun moottori on suojattu pienoisautomaatilla, joka toimii ylikuormitus- ja oikosulkusuojana. Ohjaimen kotelossa on kaksi lämmitysvastusta, jotka on hyvä pitää päällä kosteuden tiivistymisen estämiseksi. Lämmitysvastukset kannattaisi pitää myös päällä silloin, kun lämpötila on  $> 0 \text{ }^\circ\text{C}$ . /20./

Valokaari rasittaa katkaisijan osista eniten kosketinlamelleja ja kosketinpuikon kärkeä. Ne ovat varustettu wolfram-päällyksellä, joka parantaa osien valokaarikestävyyttä ja näin ollen koskettimien ikä on saatu suureksi. Kosketinosat on kuitenkin uusittava, kun wolfram-päällystys on kulunut puhki tai kosketinpinnat ovat niin rosoisia ja kulu-neita, ettei synny luotettavaa kosketusta työntettäessä kosketinpuikkoa 40mm kiinteän koskettimen sisään. Kuvassa 19 on kerrottu samojen kosketinosien kestävyys katkaisuiden lukumäärinä. Katkaisijaa huollettaessa kannattaa kerralla vaihtaa kaikki katkaisussa kuluvat osat, koska se vähentää huoltotyö kertoja ja näin myös säästetään kustannuksissakin. Sammutuskammio kestää noin kaksinkertaisen määrän katkaisuja verrattuna koskettimiin. Kammio ja koko katkaisupää on huuhdeltava katkaisija öljyllä puhtaaksi katkaisijan huollon tai öljynvaihdon yhteydessä. Kammio on vaihdettava, jos koskettimia lähinnä oleva kammion pyöreä reikä on kulunut kovinkin soikeaksi. Katkaisijan öljy on vaihdettava koskettimien uusimisen yhteydessä, kuitenkin vähintään viiden vuoden välein sekä välivivun pallonivelet ovat voideltava viiden vuoden välein pakkasessa jäykistämättömällä rasvalla. /20./

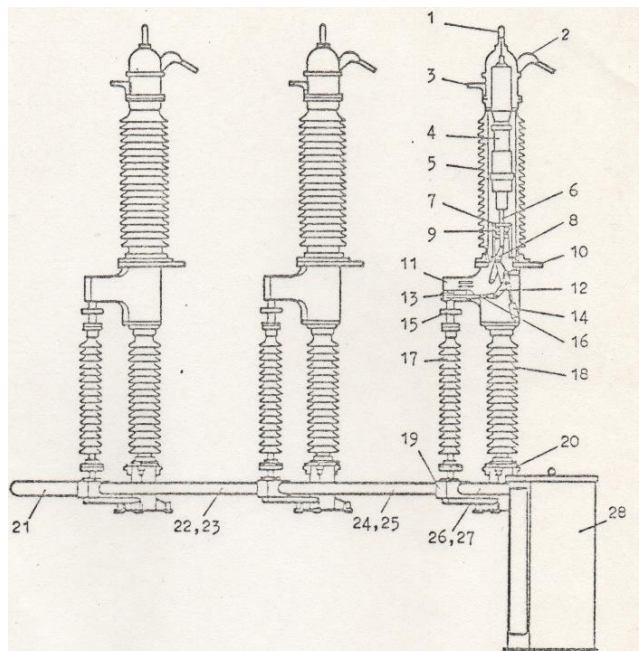
Katkaisuteho	Katkaisujen lukumäärä
Nimellisarvo $S_N$	3
$0,6 \times S_N$	10
$0,3 \times S_N$	50
$0,1 \times S_N$	300
Nimellisvirta (1250 A)	500

**KUVA 19. OSAR katkaisijan kosketinosien kestävyden kertamäärät /20/**



Vähööljykatkaisija HLD (kuva 20) on ulosasennettavaa rakennetta ja sen sammutuskammiot ovat kontaktorimallia. Katkaisukoskettimet on päällystetty valokaaren vaikutuksia hyvin kestäväällä kosketinmetallilla, lisäksi kiinteä kosketin on varustettu palorenkaalla, joka myös on päällystetty kestäväällä kosketinmetallilla. Katkaisijan kolmea erillistä napaa on mahdollista ohjata joko yhteisellä ohjaimella tai kukin napa omalla erillisellä ohjaimella. Ohjaimen liike siirretään ohjaustankojen avulla kiertoeristimiin nivelvaihteiden kautta. Ohjaustangot ja nivelvaihteet ovat yhteen kytketyt ja muodostavat ohjausjärjestelmän. Kiinniohjaus suoritetaan ohjaimen jousilla ja aukiohjaus laukausjousella, joka virittyy kiinniohjauksesta ja samalla vaikuttaa vaimentajana.

/21./



Kuva BA  
Kolmennapainen katkaisija mallia HLD .../...C ohjaimella  
BLG 202  
Katkaisukammion läpileikkaus

BA-1	Öljynkorkeuden osoitin	BA-15	Aseennonosoitin
BA-2	Kaasunpoistiventtili	BA-16	Ohjaustanko
BA-3	Yläliitäntä	BA-17	Kiertoeristin
BA-4	Sammutuskammio	BA-18	Tukieristin
BA-5	Katkaisukammion eristin	BA-19	Nivelvaihte
BA-6	Tulppakosketin	BA-20	Jalka
BA-7	Tulppakoskettimen ohjain	BA-22	Suojaputki
BA-8	Suoraanohjausmekanismi	BA-23	Ohjaustanko
BA-9	Rullakoskettimet	BA-24	Suojaputki
BA-10	Alaliitäntä	BA-25	Ohjaustanko
BA-11	Mekanismikotelo	BA-26	Suojaputki
BA-12	Ohjausvarsi	BA-27	Ohjaustanko
BA-13	Ohjausvarsi	BA-28	Ohjain
BA-14	Öljyvaimennin		

**KUVA 20. HLD-katkaisijan rakenne /21/**

### 8.3 SF<sub>6</sub>-kaasukatkaisija

SF<sub>6</sub>-kaasukatkaisija on erittäin paljon käytetty katkaisija. SF<sub>6</sub>-katkaisijan toiminta perustuu katkaisunavassa olevaan rikkiheksafluoridikaasuun (SF<sub>6</sub>), joka on monessa suhteessa ylivoimainen katkaisuaine /11/. Kyseisellä kaasulla on hyvien lämmönsiirto ominaisuuksien lisäksi erinomainen eristys- ja valokaaren sammutuskyky /10/. Valokaarelle alttiiksi joutunut SF<sub>6</sub>-kaasu sisältää ainesosia, jotka kosteudelle altistuneina voivat olla syövyttäviä sekä SF<sub>6</sub>-kaasu on myös luokiteltu kasvihuonekaasuksi /10/. Kaasua on käytetty tähän tarkoitukseen vuosikymmeniä. Kaasun ominaisuuksien takia katkaisijalle saadaan paljon etuja esimerkiksi sammutuskammion yksinkertainen rakenne, pieni fyysinen koko, luotettavuutta sekä pitkää käyttöikää. Kaasulla on monia ominaisuuksia, kuten

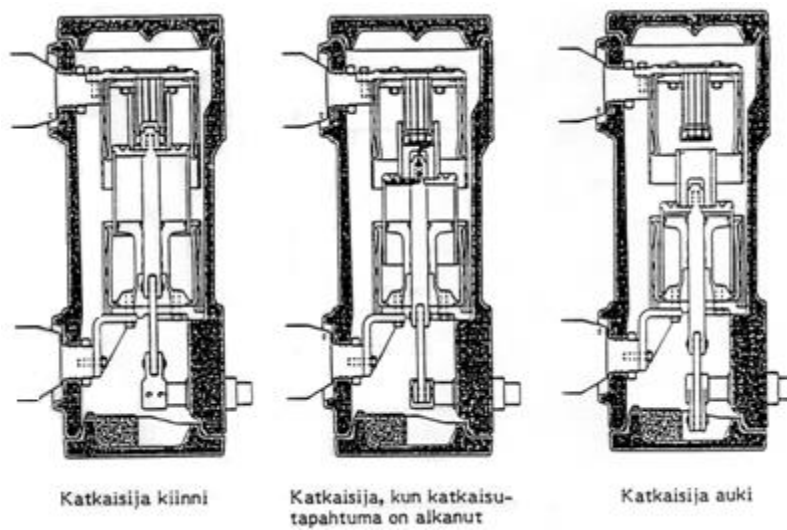
- Kaasu on kemiallisesti vakaa, ei muutu vanhetessaan
- Kaasu on palamaton ja myrkytön
- Hyvien dielektrisien ja termisten ominaisuuksiensa ansiosta kaasun katkaisukyky on erittäin hyvä kohtuullisillakin paineilla
- Pakkokatkaisua ei tapahdu → ei synny vaimennusvastuksia eikä ylijännitteitä, jotka tarvitsevat venttiilisuoja. Suojausta ei tarvita edes pienille moottoreille
- Samassa paineessa jännitekestoisuus on noin kolme kertaa ilmaa parempi ja lähes sama kuin öljyllä
- Mahdollinen vuoto on helppo todeta. Katkaisija pystyy katkaisemaan nimellisvirran, vaikka kaasussa ei olisi ylipainetta.

Varkauden tehtaalla käytössä olevat 6kV:n SF<sub>6</sub>-katkaisijat ovat ASEA:n tai ABB:n valmistamat, malliltaan HPA tai HD4. 110kV:n kentältä löytyy ABB:n valmistamia LTB-sarjan katkaisijoita. LTB-sarjan katkaisijat on varustettu BLK 222 -käyttölaitteella sekä kolmepylväisellä jalustalla. HPA-katkaisija toimii niin sanotulla ”puffer”-periaatteella, jolloin katkaisun aikana kokoon puristettua kaasua purkaantuu suuttimesta valokaareen. Kuvassa 21 on esitetty ”puffer”-periaatteella toimivan katkaisijan katkaisu tapahtuma. HPA-katkaisijan katkaisukoskettimia ei yleensä koskaan tarvitse vaihtaa katkaisijan elinaikana, koska valokaariaika on erittäin lyhyt. Katkaisijan pilarissa, jota kutsutaan myös navaksi, on kaksi erillistä virtakosketinta, päävirtakosketin sekä valokaarikosketin. Katkaisunavan ollessa kiinni-asennossa virta kulkee päävirtakoskettimen kautta, ja kun napa aukaistaan, siirtyy virta kulkemaan valokaarikoskettimelle ja valokaari palaa seuraavan virran nollapisteeseen saakka. Kuvassa 22

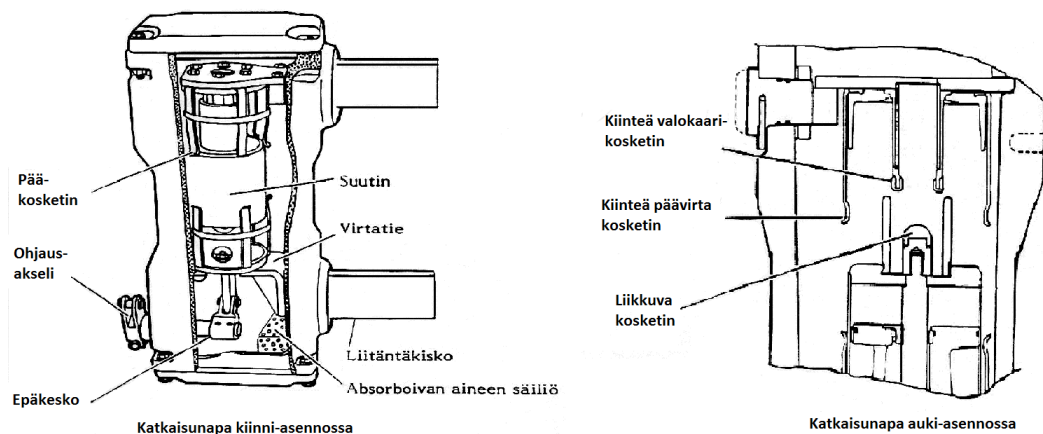


on esitelty katkaisunavan osat sekä näytetään katkaisunavat auki-ja kiinni-asennossa.

/11./



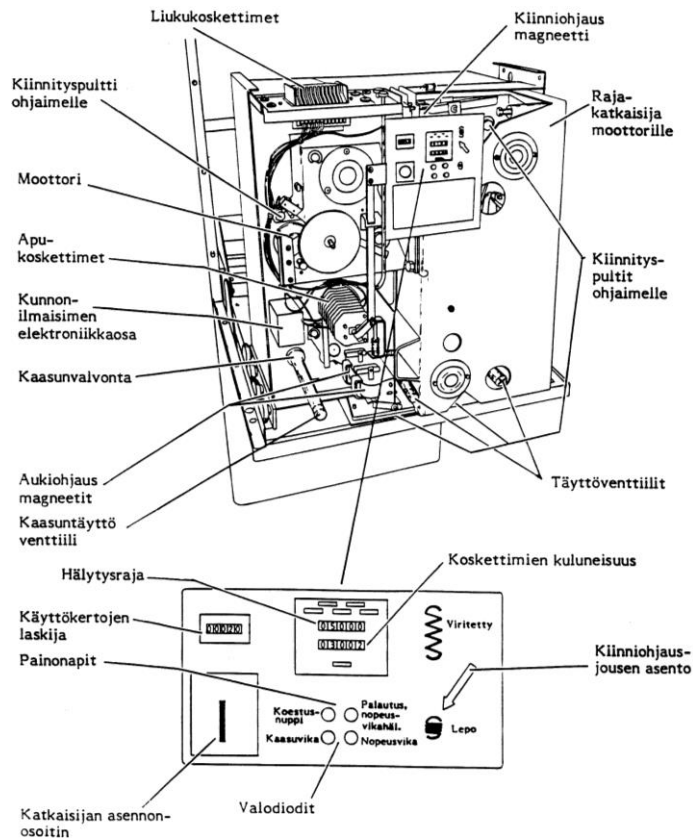
**KUVA 21. ”Puffer”-periaatteen katkaisutapahtuma /11/**



**KUVA 22. Katkaisunavan osat /11/**

Katkaisijan ohjaimessa on jousilaitteisto, joka voidaan virittää moottorilla tai käsin. Tärkeää esimerkiksi oikosulun sattuessa on se, että katkaisija suorittaa aina loppuun asti annetun sulkemiskäskyn. Katkaisijan sulkeutuessa kokonaan aina ennen avautumista syntyy kaasusylinteriin täysipaine, joka takaa täyden katkaisutehon. Katkaisija soveltuu pikajälleenkytkentään, koska kiinni oleva katkaisija, jonka kiinni-ohjausjousi on viritetty, voidaan ohjata auki-kiinni-auki ilman välillä tapahtuvaa moottori- tai käsiviritystä. Katkaisijassa on katkaisujen lukumäärän laskija sekä jousen virittymisen ilmaisin. Kunnonilmaisimella ilmaisee katkaisijan kunnon. Se laskee eri aikaväleillä tapahtuneet katkaisut ja summaa ne painottaen. Oikosulkuvirran katkaisu nimellisvirran katkaisuun nähden edustaa huomattavasti suurempaa arvoa. Ilmaisimella hälyttää, kun katkaisijan käyttöiästä on saavutettu jokin ennalta aseteltu arvo, esimerkiksi 80 %.

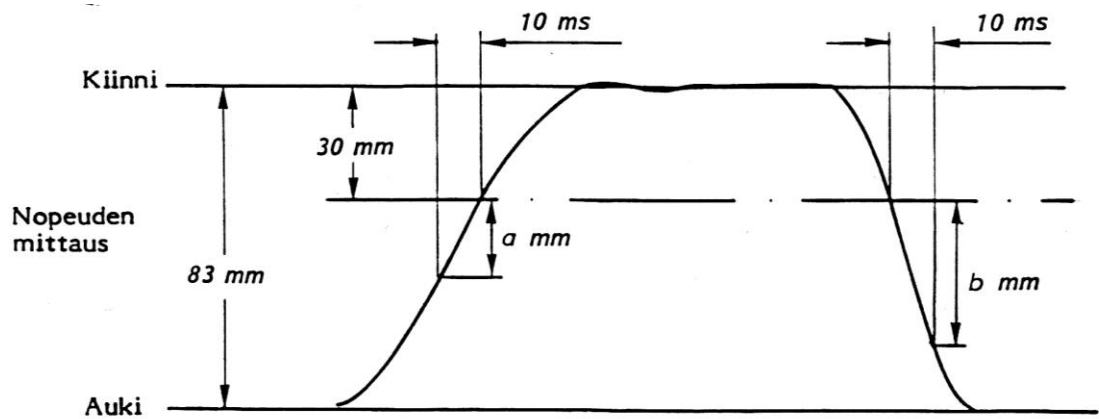
Ilmaisim myös hälyttää, jos katkaisijan ylipaine laskee alle 2bar:in sekä jos laukaisu-nopeus on liian alhainen tai suuri. Kuvasta 23 käy ilmi ohjaimen kannen alla olevat osat. /11./



**KUVA 23. Ohjaimen osat kansi irrotettuna /11/**

Katkaisijan toimintanopeus tarkastetaan käyttämällä kapasitiivista anturia, joka liitetään tavalliseen oskilloskooppiin. Oskilloskoopin näyttämän käyrän muoto on esitetty kuvassa 24 ja sen tulee vastata seuraavia arvoja:

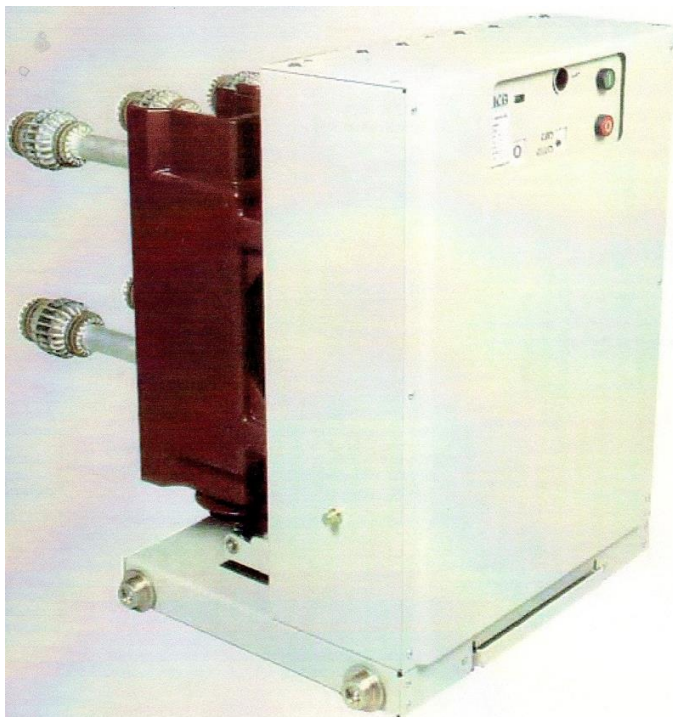
Sulkeutumisnopeus	vähintään 2,0m/s
Avautumisnopeus	3,7-4,0m/s
Sulkeutumisaika nimellisjännitteellä	enintään 65ms
Avautumisaika nimellisjännitteellä	33-38ms
Kosketinliike	82-84mm



KUVA 24. Oskilloskoopin esittämä käyrä muoto /11/

#### 8.4 Tyhjökatkaisija

Tyhjökatkaisijan (kuva 25) toiminta perustuu pieneen paineeseen, joka on valokaaren katkaisukammiossa ja jonka ilman sähkölujuus on hyvä. Tyhjökatkaisijan valmistaminen ja käyttö on keskittynyt keskijännitealueelle. Tyhjökatkaisija sopii parhaiten käyttöön, jossa on suuri katkaisutiheys ja vaaditaan noin 20kA katkaisukyky. Tyhjöputkien ollessa hermeettisesti suljettuja, eivät ympäristötekijät vaikuta sammutustaphtumaan ja katkaisijan koskettimet kestävät puhtaina, koska tyhjössä ei muodostu oksidikerroksia. Varkauden tehtaalla on käytössä UCB- ja VD4-tyypin tyhjökatkaisijoita. /18./



KUVA 25. UCB-tyhjökatkaisija /19/

Katkaisijan toiminnan kannalta ehdoton edellytys on se, että tyhjö säilyy katkaisukammiossa. Katkaisukammioon imetään noin  $10^6$  barin alipaine, koska alipaineen on oltava riittävän kaukana Pachenin käyrän minimistä. Ainoastaan toinen katkaisijan koskettimista on liikkuva, ja sen liike on hyvin lyhyt noin 16mm. Materiaalit, joita on käytetty kammioissa, ovat vähäkaasuisia sekä täysin puhtaita ja vapaita helposti höyrystyvistä aineista. Materiaaleina siis käytetään raudasta, nikkelistä ja koboltista valmistettuja metalliseoksia sekä hapetonta kuparia ja kromi-nikkelseosta. Lisäksi vaatimukset suuresta katkaisukyvyistä, vähäisestä hitsaantumisvoimasta, pienestä virran leikkaantumisesta ja hyvästä johtavuudesta vaikuttavat kosketinmateriaalin valintaan. Katkaisuvalokaaren tyhjökatkaisijassa muodostaa elektrodeista höyrystynyt metalli. Valokaari palaa koskettimien välillä liikkuen niiden pinnalla alle 10kA:n virroilla. Virran ollessa yli 10kA valokaari pyrkii keskittymään, ja tämän estämiseksi muotoillaan koskettimiin vinoja uria. /18./

Katkaisuajan ollessa hyvin lyhyt myös katkaisuenergia on pieni. Tästä johtuen tyhjökatkaisija ei kuluta kuormituspiiriin varastoitunutta energiaa valokaarella, vaan aiheuttaa ns. repäisevän katkaisun. Syntyvä ylijännitevaara (jälleen syttyminen) ei vaikeuta katkaisijan toimintaan, katkaisijan jännitelujuuden palautuessa nopeasti, mutta kuormituspiiriin kytkettyjen laitteiden eristyksiä se voi vahingoittaa. Kuormituspuolella tulisi käyttää tyhjökatkaisijan yhteydessä sinkkioksidilyijännitesuojia. /18./

UCB-katkaisijat ovat kolmivaiheisia, keskijännitekojeistoja varten kehitettyjä vaunutyyppisiä tyhjökatkaisijoita. UCB-katkaisijoita on myös saatavana kiinteinä katkaisijaversioina. Käyttölämpötila-alue UCB-vakuumikatkaisijalla on  $-5\text{ °C} - +40\text{ °C}$ . Katkaisijoiden käytössä saavutetaan vaadittava luotettavuus, turvallisuus ja elinikä, kun niitä käytetään ja huolletaan ohjeiden mukaisesti. UCB-katkaisijoiden tekniset suoritusarvot ilmenevät tyyppitunnuksesta. Esimerkiksi UCB 12 – 31,5 – 2000 tyyppitunnuksesta käy ilmi seuraavat tiedot

- Katkaisijan tyyppi on UCB
- Nimellisjännite on 12kV
- Katkaisukyky on 31,5kA
- Nimellisvirta on 2000A. /19./

Käyttöönottaessa on katkaisijan kunto aina tarkastettava kuljetuksen jäljiltä. Siirrettäessä katkaisijaa kojeistossa olevalle kääntösillalle suositellaan käytettäväksi katkaisijan käsittelyvaunua. Katkaisijan siirtäminen on myös mahdollista tehdä nosturia apuna käyttäen, jolloin on huomioitava se, että katkaisija kannattaa nostaa vain katkaisupilareiden kiinnityskorvakkeista. Kun katkaisija on saatu työnnettyä kennon sisälle kääntösiltaa pitkin ja ohjausjännitteet ovat kytkettyinä, käynnistyy katkaisijan viritysmoottori virittäen kytkentäjousen toisiokoskettimien automaattisen kytkeytymisen jälkeen. Katkaisijan koestaminen on myös mahdollista siten, ettei sitä kytketä kojeistoon. Silloin on käytettävä erillistä kytkentäjohtoa, jonka avulla saadaan ohjausjännitteet tuotua katkaisijan ohjaimelle. Kytkentää varten on katkaisija nostettava esimerkiksi kojeistonkääntösillalle. Koestus on myös mahdollista tehdä käsittelyvaunussa tai nosturia apuna käyttäen. Katkaisijan ollessa varustettuna kiinnikytkentäjousen käsivirityksellä, on UCB-katkaisija mahdollista virittää käsin ohjausjännitteen puuttuessa. Käsin viritys tapahtuu ohjauskammen avulla ja viritys vaatii noin 25 edestakaista viritysliikettä. Kuvassa 26 on esitetty katkaisijan asennosoittimet sekä mahdolliset kytkentämahdollisuudet. /19./

POS.	KIINNI / AUKI	KYTKENTÄ-JOUSI	KATKAISIJA	KYTKENTÄ-JOUSI	KATKAISU-JOUSI	KYTKENTÄ-MAHDOLLISUUDET C=Kiinni, O=Auki
1			Auki	Lauennut	Lauennut	Ei
2			Auki	Virittynyt	Lauennut	C-O
3			Kiinni	Lauennut	Virittynyt	O
4			Kiinni	Virittynyt	Virittynyt	O-C-O

**KUVA 26. Katkaisijan asennosoittimet ja kytkentä mahdollisuudet /19/**

Rakenteeltaan UCB-katkaisija on yksinkertainen, luotettava ja vähän huoltoa vaativa. Huoltoväli ja huollon laajuus riippuvat mm. kytkentätiheydestä ja oikosulkukatkaisujen määrästä. Normaali katkaisijan huolto väli on 5 vuotta tai 5000 toimintoa. Katkaisijan ohjaimen kanssa työskenneltäessä on kiinnikytkentäjousen oltava aina lauenneena tai katkaisijan auki-asennossa. Katkaisijat, jotka normaalikäytössä eivät toimi koskaan tai toimivat harvoin, tulee niitä verryttellä joka toinen vuosi ohjaamalla ne auki ja kiinni useamman kerran. Kyseinen toimenpide on mahdollista suorittaa esimerkiksi katkaisijan ollessa erotusasennossa ja toimilaitteen valitsimen ollessa erotus-/ testaus-

asennossa. Katkaisijan verryttelyn ohessa kannattaa myös tarkastaa katkaisijaan liittyvien eristeosien puhtaus. Tarkastus- tai huoltotoimenpiteitä varten tulee katkaisija siirtää kennossa erotusasentoon, huoltosillalle tai käsittelyvaunun avulla kennon ulkopuolelle. Viiden vuoden tai 5000 toiminnon jälkeen katkaisijalle tulee tehdä seuraavat tarkastukset

1. Kosketinjousien puristuman tarkastus
2. Koskettimien liikematkan tarkastus
3. Silmämääräinen tarkastus (sokat, pultit yms. liitokset)
4. Häätälaukaisun toteaminen
5. Eristeosien puhtauksien toteaminen
6. Vaihtaa auki ja kiinnimagneettien vetosilmukat
7. Voideltava liikkuvat osat

Mikäli katkaisuja tapahtuu nimellisellä oikosulkuvirralla, katkaisijan tarkastusväli pienenee. Katkaisijan kosketinjousen puristuma tulee tarkastaa aina viidennen nimellisellä oikosulkuvirralla tapahtuneen katkaisun jälkeen. Oheisen kuvan 27 taulukossa on esitetty tyhjökammioiden valmistajan Cutler-Hammerin tyhjökammioille annetut kestoarvot. /19./

Type of Vacuum interrupter	Rated Maximum Line-To-Line voltage	Rated Normal Current	Rated Short Circuit Current	Contact Stroke	Mechanical life with rated normal current. (Operations)	Life with rated short-circuit current. (Operations)
WL-35786	12kV	2000A	25kA	9±1mm	30 000	20
WL-35749	12kV 17.5kV	3150A 3150A	40kA 40kA	8mm 8mm	50 000 50 000	100 100
WL-35345A	12kV 17.5kV	2000A 2000A	40kA 31.5kA	8±1mm 11-13mm	30 000 10 000	40 40
WL-34999CP	24kV	2000A	25kA	15-17mm	10 000	100
WL-34999C	12kV 17.5kV	2000A 2000A	31.5kA 31.5kA	8-10mm 11-13mm	50 000 10 000	60 60

**KUVA 27. Cutler-Hammer -tyhjökammioiden oikosulkukatkaisujen kestoarvot /19/**

## 9 RELESUOJAUS

Sähkö- ja kytkinasemat varustetaan katkaisijoilla sähköverkossa tapahtuvien vikojen varalta, jotta verkon vioittunut osa saadaan erotettua muusta verkosta. Kyseisiä katkaisijoita ohjataan suojareleillä. Teollisuudessa pyritään suojaamaan suuria moottoreita, muuntajia ja niitä syöttävää verkkoa. Releet tarkkailevat sähköverkon tilaa ja verkon vikaantuessa ne antavat hälytyksen tai laukaisusignaalin katkaisijalle, kun niihin asetellut asettelut arvot ylittyvät. Pienjännite verkkojen suojauksena käytetään varokkeita ja varokeautomaatteja ja keskijänniteverkossa sekä sitä suuremmilla jännitteillä käytetään relesuojauksia. Relesuojaukselle on asetettu joitakin vaatimuksia, kuten

- Suojauksen on oltava hankintakustannuksiltaan kohtuullinen
- Se on voitava koestaa käyttöpaikalla
- Suojauksella oltava hyvä käytettävyys
- Suojauksen oltava mahdollisimman yksinkertainen sekä käyttövarma
- Suojauksen on oltava kattava koko suojattavan järjestelmän osalta
- Suojauksen toiminnan oltava riittävän nopea ja herkkä, jotta vaarat, vauriot, häiriöt ja haitat jäävät mahdollisimman kohtuullisiksi sekä verkon stabiilisuus säilyy kaikissa olosuhteissa
- Suojauksen toiminnan on oltava selektiivistä, jotta vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkosta jää pois käytöstä. /22./

Vanhemmat suojareleet ovat rakenteeltaan sähkömekaanisia, ja ne sisältävät liikkuvia osia. Niiden toiminta perustuu siihen, että ne mittaavat sähkösuureen tehollis- tai keskiarvoa. Yleensä mekaaniset releet liitetään suojattavaan virtapiiriin mittamuuntajan välityksellä, jolloin puhutaan toisioreleistä. Sähkömekaanisten releiden heikkoutena on niiden epätarkkuus ja hitaus, eikä niitä enää valmisteta, mutta ne ovat pitkäikäisiä ja siksi niitä on vielä käytössä jonkin verran. 1960-luvun loppupuolella tuli markkinoille staattiset eli elektroniset suojareleet. Niissä on käytetty yksittäisiä puolijohdekomponentteja sekä mikropiirejä sisältäviä kytkentöjä. Staattiset releet ovat huomattavasti tarkempia ja nopeampia sekä mahdollistavat vaativampia suojaustoimintoja kuin mekaaniset releet. Staattisten releiden haittoja ovat herkkyys ylijännitteille ja sähkömagneettisille häiriöille, jatkuva aputehon tarve sekä toiminnan epähavainnollisuus. 1980-luvun alkupuolella tuli markkinoille suojareleet, joissa on hyödynnetty mikroprosessoritekniikkaa. Mikroprosessorireleet mahdollistavat erilaisia mittaus- ja oh-

jaustoimintoja varsinaisten suojaustoimintojen lisäksi. Tiedonsiirtoväylä mahdollistaa releen mittaamien signaalien ja siihen aseteltujen toiminta-arvojen siirtämisen suoraan releeltä ylempään automaatiojärjestelmään. Väylän avulla on myös mahdollista muuttaa releen asetteluarvoja sekä antaa katkaisijoille kiinni- tai aukiohjauskäskyjä. /22./

Releet voidaan jakaa seitsemään eri ryhmään mitattavan suureen perusteella, ja ne ovat seuraavat: ylivirtareleet, ali- ja ylijännitereleet, taajuusreleet, teho- ja suuntareleet, epäsymmetriareleet, differentiaali eli vertorele sekä distanssireleet. /22./

Ylivirtareleitä käytetään oikosulku- ja ylikuormitussuojina. Niitä käytetään säteittäisten verkkojen oikosulkusuojaukseen. Ne voivat olla hetkellisiä käänteisaikaylivirtareleitä, vakioaikaylivirtareleitä tai ylivirtareleitä. Moottoreiden, muuntajien ja generaattoreiden ylikuormitussuojana käytetään esimerkiksi lämpörelettä. /22./

Maasulkusuojauksessa sekä tahtigeneraattoreissa vaarallisen jännitteen nousun takia yleensä käytetään ylijänniterelettä. Alijännitereleiden käyttö kohdistuu suurten moottoreiden erottamiseen verkosta esimerkiksi silloin, kun niitä uhkaa pysähtyminen alijännitteen vuoksi. /22./

Taajuusreleitä on enimmäkseen käytössä omaa sähköntuotantoa omaavien sähköyhtiöiden kytkentäjärjestelmissä. Ne toimivat silloin, kun verkon taajuus muuttuu nimellisarvosta. /22./

Teho- ja suuntareleillä mitataan virran tai jännitteen hetkellisarvoja tai niistä johdettuja tehoja. Suuntareleen tehtävänä on ilmaista tehon virtaussuunta. Suunnattua ylivirtarelettä käytetään silmukoitujen verkkojen ylivirta- ja oikosulkusuojaukseen. Generaattorin ja sitä pyörittävän voimakoneen suojaukseen voidaan käyttää takatehorelettä, joka estää generaattorin toimimisen moottorina. /22./

Suurien koneiden suojaamiseen vaarallisilta jännite- ja virtaepäsymmetrioilta käytetään epäsymmetriareleitä. /22./

Vertoreleiden toiminta perustuu siihen, että ne vertaavat verkon eri osissa kulkevia tehoja tai virtoja. Vertailu kohteina voivat olla esimerkiksi mitattavien virtojen suunnat, vaihekulmat tai itseisarvot. Vertoreleillä voidaan suojata generaattoreita, kiskosto-



ja, johtoja ja muuntajia. Tunnetuin vetorele on differentiaalirele, jonka toiminta perustuu mitattujen virtojen vertailuun. /22./

Distanssireleet mittaavat sijoituspaikassa esiintyvien jännitteiden ja virtojen avulla sijoituspaikkansa ja vikapaikan välistä impedanssia eli rele pystyy määrittämään etäisyyden vikapaikkaan. Distanssireleitä käytetään Suomessa siirtoverkon maa- ja oikosulkusuojina. /22./

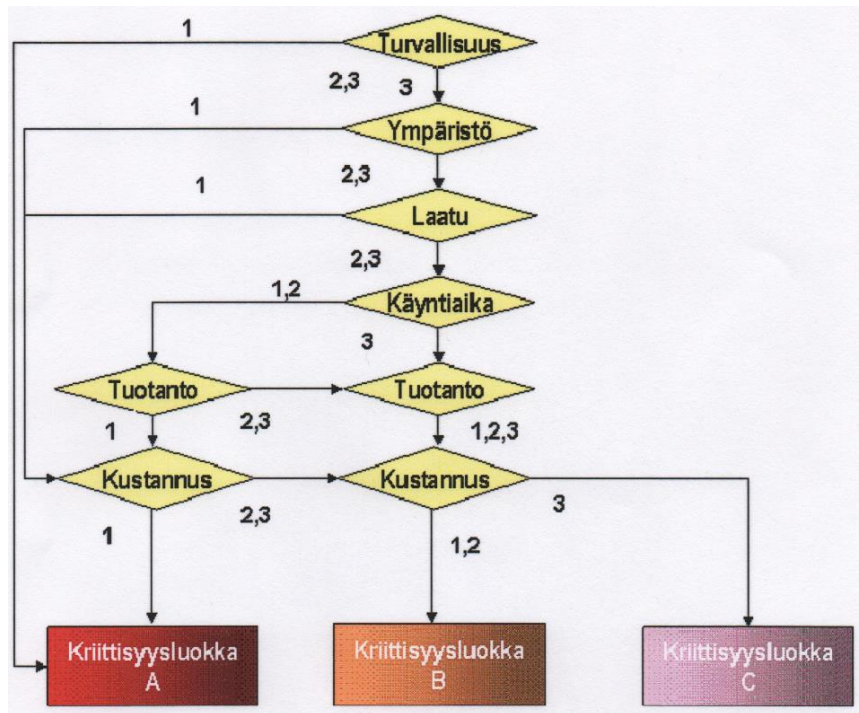
## 10 KRIITTISYYSLUOKITUS JA RISKILUVUT

Kriittisyysluokituksessa annetaan toimintopaikalle kriittisyysluokka systemaattisen menetelmän mukaisesti. Luokkia on kolme erilaista A = suuri kriittisyys, B = keskitasoinen kriittisyys ja C = pieni kriittisyys. Arvioinnin avulla pystytään panostamaan ensimmäisenä kriittisimpiin toimintopaikkoihin kunnossapidon kehitystoimenpiteitä. Kaikki vikaantumiseen liittyvät tekijät on otettu huomioon luokituksessa, paitsi vikaajuus on jätetty huomioimatta. /23./

Toimintopaikan luokitus määräytyy kuuden eri tekijän mukaan, joita ovat turvallisuus, ympäristö, laatu, käyntiaika, tuotanto ja kustannukset. Kaikille kuudelle tekijälle tehdään arviointi 1-3 kuvan 28 mukaisin perustein. Kriittisyysluokka (A, B tai C) saadaan määritettyä arvioinnin numeroiden perusteella loogisen puurakenteen avulla, joka on esitetty kuvassa 29. /23./

ARVIOINTITEKIJÄ	Taso 1	Taso 2	Taso 3
<b>Turvallisuus</b> <i>Henkilöturvallisuus</i>	Laitteen vikaantuminen aiheuttaa vakavan loukkaantumis- tai kuoleman riskin	Laitteen vikaantuminen aiheuttaa sairastumis- tai loukkaantumisriskin	Laitteen vikaantuminen ei aiheuta loukkaantumis- tai terveysvaaraa
<b>Ympäristö</b> <i>Ympäristöriski</i>	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa laitosalueen ja ympäristön saastumista	Laitteen vikaantuminen voi aiheuttaa paikallista laitosalueen saastumista	Laitteen vikaantuminen ei aiheuta ympäristön saastumisen vaaraa
<b>Laatu</b> <i>Vikaantumisen vaikutus tuotteen laatuun</i>	Vikaantuminen aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä	Vikaantuminen aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä	Vikaantuminen ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.
<b>Käyntiaika</b> <i>Laitteen vaadittu käyntiaika</i>	Laitteita tarvitaan 24 tuntia vuorokaudessa	Laitteita tarvitaan 12-24 tuntia vuorokaudessa	Laitteen käyttö on satunnaista
<b>Tuotanto</b> <i>Laitteen vikaantumisen vaikutus tuotantoon</i>	Vikaantuminen pysäyttää tuotannon	Vikaantuminen pysäyttää tärkeitä toimintoja tai alentaa tuotantokapasiteettia	Vikaantumisella ei ole tuotantovaikutusta
<b>Kustannukset</b> <i>Vikaantumisen aiheuttamat kustannukset</i>	Korjauskustannus ja/tai tuotannon menetykset ovat erittäin korkeat	Korjauskustannus ja/tai tuotannon menetykset ovat korkeat	Korjauskustannus ja/tai tuotannon menetykset eivät ole merkittäviä

KUVA 28. Kriittisyysluokittelut arviointitekijät /23/



Kuva 29. Kriittisyysluokan määrittämiseen käytettävä puurakenne /23/

Riskiluku kuvastaa mahdollisen vikaantumisen aiheuttamaa riskiä. Riskiluku lasketaan toimintopaikan sisältämillä laitteille. Se lasketaan seuraavan kaavan 2 mukaisesti

$$R = T * (M + K) \tag{2}$$

jossa R = riskiluku, T = tapahtuman todennäköisyys, M = tapahtumasta aiheutuvat materiaalikulannukset (työ ja osat) ja K = tapahtumasta aiheutuvat tuotannonmenetyskustannukset. Kuvassa 30 on esimerkki kriittisyys- ja riskilukulaskennasta. /23./

Efora		Turvallisuus	Ympäristö	Laatu	Käynti-aika	Valkuuks tuotantoon	Kustannus-vaikutus	ABC	T	M	K	R	Korjaustarve hierarkiaan	Laite puuttuu
VA-PU-3040	PK5 Hylkypumppu 2	1	1	2	2	2	2	B	2	3	4	0		
VA P3242	Keskipakopumppu								2	2	4	14		
VA 05164	AC 3-vaihemootori								2	2	4	12		
												0		
												0		
												0		
												0		
												0		
												0		
												0		
												0		
												0		
												0		

Riskiluvun raja-arvo: 12

T=0 (tapahtuma käytännössä mahdoton),  
 T=1 (tapahtuu kerran 10 - 30 vuodessa),  
 T=2 (tapahtuu kerran 3 - 10 vuodessa),  
 T=3 (tapahtuu kerran 1 - 3 vuodessa),  
 T=4 (tapahtuu 3 kertaa vuodessa - kerran vuodessa)  
 T=5 (tapahtuu 3 kertaa vuodessa tai useammin)

M=0 (ei materiaalivahinkoja),  
 M=1 (< 2 000 €),  
 M=2 (2 000 - 10 000 €),  
 M=3 (10 000 - 35 000 €),  
 M=4 (35 000 - 150 000 €),  
 M=5 (> 150 000 €)

K=0 (ei keskeytysvahinkoja),  
 K=1 (< 2 000 €),  
 K=2 (2 000 - 10 000 €),  
 K=3 (10 000 - 35 000 €),  
 K=4 (35 000 - 150 000 €),  
 K=5 (> 150 000 €)

KUVA 30. Esimerkki kriittisyys- ja riskilukulaskennasta /23/

## 11 YHTEENVETO

Sähkön saannin varmuus on erittäin tärkeää koko tehtaan toiminnan kannalta. Sähkönjakeluhäiriöistä varsinkin suur- ja keskijännitteillä voi aiheutua monenlaisia vaaratilanteita sekä todella suuria taloudellisia ja tuotannollisia menetyksiä. Todennäköisesti jo keskijänniteverkossa tapahtuva häiriö pysäyttää ainakin osan prosessista. Tästä syystä kannattaa sähkönjakeluun liittyvät laitteet huoltaa ajallaan ja tarkkailla koko ajan niiden kuntoa, jotta välttyttäisiin turhilta prosessiin vaikuttavilta sähkökatkoilta.

Elinkaarikartoituksen osalta uusimmat kojeistot ovat turvallisia ja varmoja käytön kannalta. Myös vanhemmat metallikoteloidut kojeistot ovat turvallisia käyttää, mutta niistä puuttuu nykyisin käytettäviä suojauksia esimerkiksi valokaarisuojat. Pajanielessä oleva 6kV:n avokojeisto on mahdollisen vaaratilanteen (virheellinen kytkentä tai muu vastaava) sattua vaarallinen, koska erottimien ja katkaisijoiden ohjaukset ovat kojeiston läheisyydessä ja näin ollen myös toimenpidettävä suorittava henkilö on samassa tilassa. Turvallisuutta parantaisi jo se, että laitteiden ohjaukset olisivat erillisessä tilassa. Seuraavissa uudistuksiin liittyvissä hankinnoissa kannattaisi pohtia kyseisen avokojeiston turvallisuuden parantamista sekä vanhempien kojeistojen suojauksien lisäämistä.

Katkaisijoiden elinkaarikartoituksen osalta SF<sub>6</sub>- ja tyhjökatkaisijat ovat nykyään yleisimmin käytettyjä ja tuotetuen saanti on hyvä. Paineilma- ja vähäöljykatkaisijoita ei enää nykyisin valmisteta, ja täten niiden tuotetuen saanti on rajallista. Tehtaalta löytyy muutamia varalla olevia paineilma- ja vähäöljykatkaisijoita, sekä ne ovat erittäin varmatoimisia, joten niiden uusiminen ei vielä ole kovinkaan kriittistä, mutta tulevaisuudessa uudistuksissa/hankinnoissa vanhimpien vähäöljykatkaisijoiden korvaamista tyhjö- tai SF<sub>6</sub>-katkaisijoiksi kannattaisi harkita.

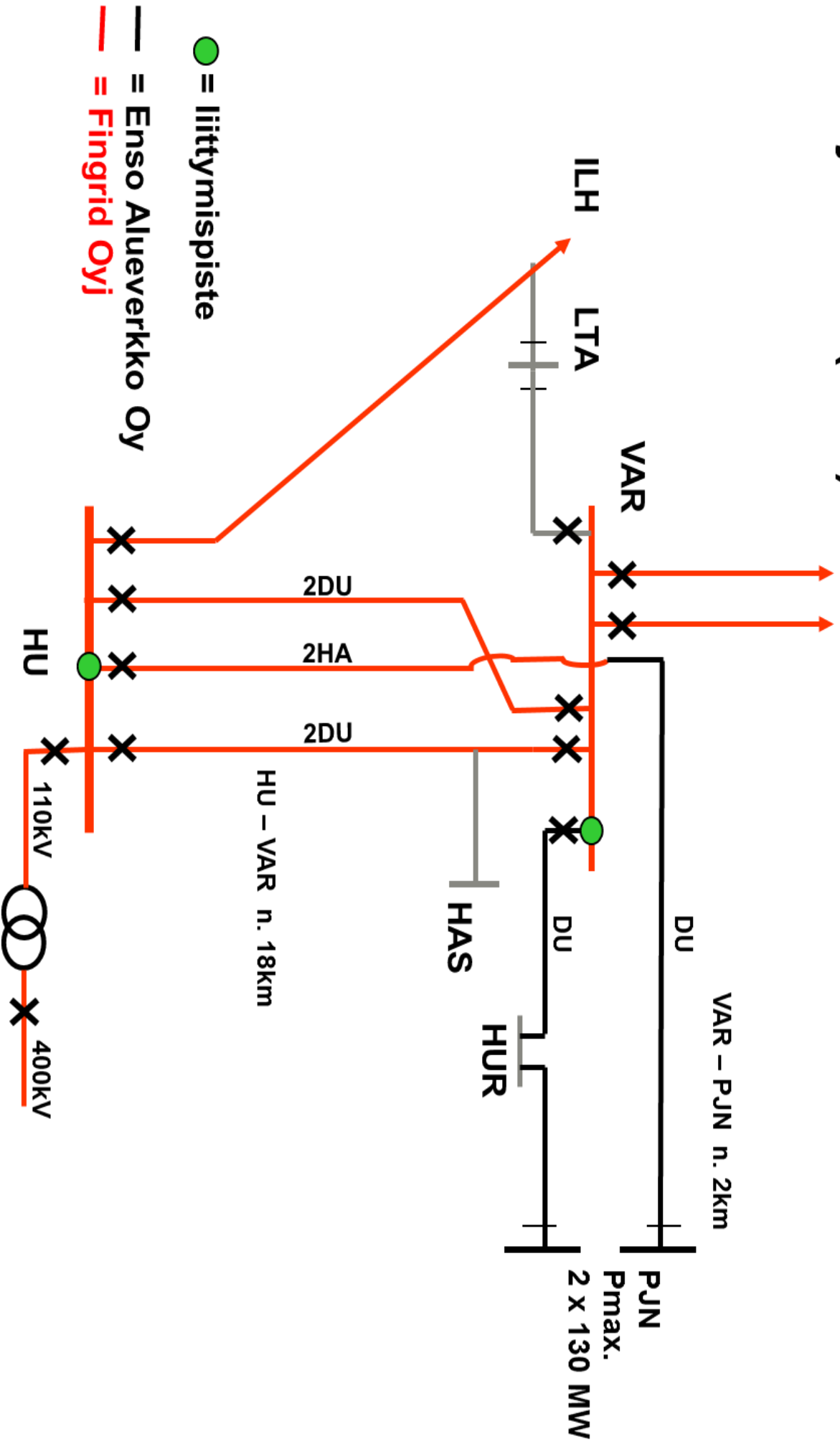
Sellu- ja energia-alueen kojeistoista ja katkaisijoista tehtiin myös kriittisyysanalyysi eli määritettiin kriittisyysluokka pelkästään kojeistoille ja riskiluku kojeistoille sekä katkaisijoille Eforan ohjeen mukaisesti. Lisäksi riskiluku määritettiin muutamille erottimille ja päämuuntajille. Määritetyt kriittisyysluokat ja riskiluvut löytyvät liitteestä 4.

## LÄHTEET

1. Varkauden kaupunki. Kaupungin WWW-sivut. [http://www.varkaus.fi/palvelut/kulttuuri/varkauden\\_museot/kulttuuriymparisto/rakennettu\\_kulttuuriymparisto/varkauden\\_tehtaat/](http://www.varkaus.fi/palvelut/kulttuuri/varkauden_museot/kulttuuriymparisto/rakennettu_kulttuuriymparisto/varkauden_tehtaat/). Päivitetty 6.10.2013. Luettu 6.10.2013.
2. Stora Enso. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.storaenso.com/about-us/mills/finland/varkaus-mill/Pages/from-wood-to-printed-newspaper.aspx>. Päivitetty 15.10.2013. Luettu 15.10.2013.
3. Know pulp. Sellunvalmistuksen oppimisympäristö. <http://www.knowpulp.com/suomi/demo/suomi/kps/ui/process/general/ui.htm>. Päivitetty 1.11.2002. Luettu 15.10.2013.
4. Efora Oy. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.efora.fi/efora-lyhyesti/efora-lyhyesti.html>. Päivitetty 15.10.2013. Luettu 15.10.2013.
5. Stora Enso. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.storaenso.com/media-centre/press-releases/2013/09/Pages/stora-enso-on-allekirjoittanut-sopimuksen.aspx>. Päivitetty 15.10.2013. Luettu 15.10.2013.
6. Korhonen, Pauli. Sellutehtaan keittokemikaalien regenerointi. Opinnäytetyö SAMK. WWW-dokumentti. <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/31143/PK.pdf?sequence=1>. Päivitetty 19.08.2013. Luettu 21.10.2013.
7. ABB Oy. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.abb.fi/cawp/fiabb251/657dfdcf6e344cc7c1256b20003149ae.aspx?v=ED92&leftdb=global/FIABB/FIABB251.NSF&e=fi&leftmi=34d5930bfd44ace0412567a2003a70c5>. Päivitetty 22.10.2013. Luettu 22.10.2013.
8. Stora Enso. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.storaenso.com/about-us/storaenso-in-brief/Pages/stora-enso-in-brief.aspx>. Päivitetty 22.10.2013. Luettu 22.10.2013.
9. Stora Enso. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.storaenso.com/products/Pages/expertise-in-paper-packaging-and-wood-products.aspx>. Päivitetty 22.10.2013. Luettu 22.10.2013.
10. Teknoliateollisuus. Yrityksen WWW-sivut. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/sf6-kaasu>. Päivitetty 23.10.2013. Luettu 23.10.2013.
11. ASEA. SF<sub>6</sub>-katkaisija HPA Käyttö- ja huolto-ohje. 1987
12. Aura L., Tonteri A. Sähkämiehen käsikirja 2, Sähkökoneet. WSOY 1986
13. Strömberg. Ulosasennettava kiertoerotin OJYD asennus- ja käyttöohje. 1965

14. Strömberg. OJON-erottimet ja ohjauslaitteet asennus- ja käyttöohje. Vaasa Oy:n kirjapaino
15. ABB. Teknisiä tietoja ja taulukoita käsikirja 2000-07.
16. Strömberg. Paineilmakatkaisijat DB ja DBG asennus- ja käyttöohje.
17. Strömberg. Katkaisijoiden OSAM, OSAN ja OSAO asennus- ja käyttöohje. 1974
18. Aura L., Tonteri A. Sähkölaitostekniikka. WSOY 1993
19. Vaasa Engineering. UCB tyhjiökatkaisija käyttöohje.
20. Strömberg. Katkaisijoiden OSAM, OSAN ja OSAO asennus- ja käyttöohje. 1971
21. ASEA. Vähäljykatkaisija HLD 145/1250 C tuoteselostus. 1977
22. Sähköverkon automaatio ja suojaus. Pdf-dokumentti.  
[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/5sahkoverkon\\_automaatio\\_ja\\_suojaus.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/5sahkoverkon_automaatio_ja_suojaus.pdf). Päivitetty 20.12.2013. Luettu 20.12.2013.
23. Efora. Kriittisyysanalyysiohje. 2009

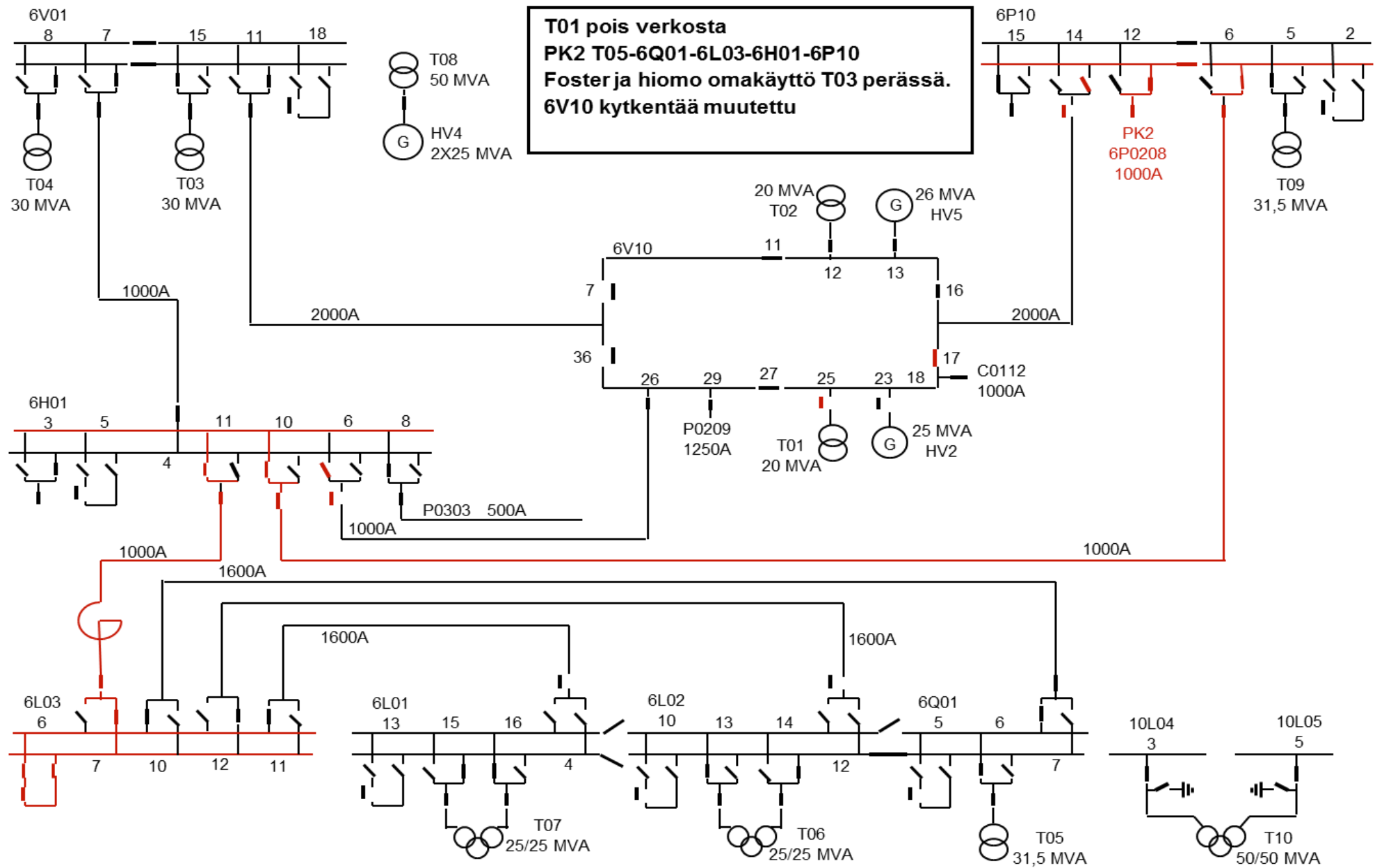
# 110kV Huutokoski (HU) – Varkaus (VAR) – Pajaniemi (PjN)



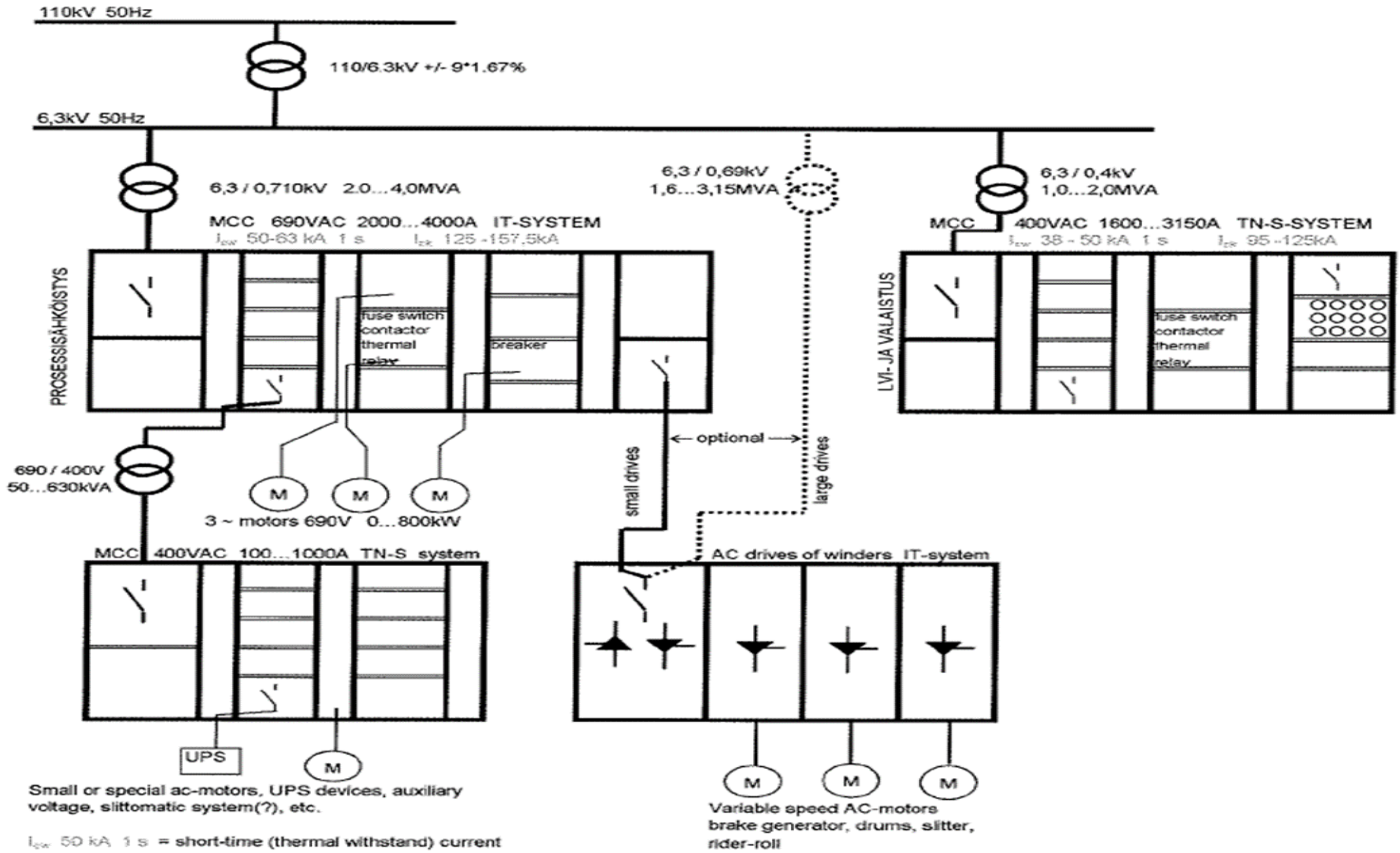




Keskijännitejakeleen väilyhteydet







$I_{low}$  50 kA 1 s = short-time (thermal withstand) current  
 $I_{pk}$  125 kA = peak withstand (dynamic) current

