

KESKIJÄNNITEKOJEISTON TUOTTEISTAMINEN

Antti Erkheikki

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Insinööri (AMK)

KEMI 2015

Teollisuus ja luonnonvara
Sähkötekniikka

Tekijä	Antti Erkheikki	Vuosi	2015
Ohjaaja	DI. Jaakko Etto		
Toimeksiantaja	Ins. Antero Martimo Oulun Energia Urakointi Oy		
Työn nimi	Keskijännitekojeiston tuotteistaminen		
Sivu- ja liitemäärä	82 + 1		

Työn tarkoituksena oli tuotteistaa sähköasemien keskijännitekojeistot, niihin liittyvät laitteet ja työt Oulun Energia Urakointi Oy:lle. Toimeksiantaja havaitsi tarpeen luoda sähköasemien rakentamiseen liittyvistä toistuvista töistä valmiit tuotepohjat, joita voidaan muokata tarkemmin asiakkaiden tarpeiden mukaan. Työn tavoitteena oli myös vapauttaa resursseja tarjouta laskettaessa ja lyhentää tarjouksen tekemiseen käytettävää aikaa. Aihe on erittäin ajankohtainen, sillä sähköasemien saneeraamista ja uusien rakentamista tehdään Suomessa kiihtyvällä tahdilla uuden älyverkon, sähkönjakelun käyttövarmuusvaateiden, ikääntyvien asemien ja hajautetun sähköntuotannon seurauksena.

Opinnäytetyössä tarkastellaan keskijänniteverkon rakennetta, tavallisimpia vikoja ja sähkönjakeluverkon suojauksia. Työssä käsitellään myös keskijännitekojeistoja, niille asetettuja vaatimuksia sekä erilaisten kojeistojen kojeiden toimintaa ja ominaisuuksia. Työssä tarkastellaan laajemmin myös omakäyttöjärjestelmää, sen mitoituksia ja suojauksia. Lisäksi sivutaan muun muassa tehomuuntajia, CAD-suunnittelua, laskentaa ja älyverkkoa.

Työ rajattiin lähinnä kojeistojen teorian tutkimiseen ja yleisimpien laitevalmistajien kojeiden toimintaperiaatteiden esittämiseen. Valmistajien paljouden takia työssä käsitellään vain muutaman yleisimmän laitevalmistajan laitteita. Opinnäytetyössä ei paljasteta laskentaan rakennettujen tuotepakettien sisältöä, koska laskennassa huomioitavia asioita on määrällisesti paljon ja niiden esittäminen voisi olla eduksi kilpailijoille.

Työn tuloksena luotiin karkea pohja yleisimmistä tuotepaketeista, joita kehitetään tulevaisuudessa vastaamaan paremmin toimeksiantajan näkemystä. Karkea pohja loi uusia näkökulmia tarjouksessa huomioitavista asioista sekä vähensi tarjouksen laadintaan käytettävää aikaa.

Avainsanat keskijännitekojeisto, sähköasema, kaukokäyttö, katkaisija, tasasähkökeskus

Lapland University of Applied
Sciences, Industry and Natural
Resources
Electrical Engineering

Author	Antti Erkheikki	Year	2015
Supervisor(s)	Jaakko Etto, MSc (Tech)		
Commissioned by	Antero Martimo, BSc (Tech) Oulun Energia Urakointi oy		
Subject of thesis	Productisation of MV switchgear		
Number of pages	82 + 1		

The purpose of this thesis was to productize the medium-voltage switchgears of substations, including the equipment and working related with it. This task was made for Oulun Energia Urakointi Oy. The employer noticed the need for the creation of ready-made product bases about the routine work associated with the building process of substations. These product bases were created to enable the adjustment for the needs of a client. The aim of the thesis was to release resources counting offers and to shorten the time used in creating an offer. The subject investigated is very current since the renovation of substations and the building of new ones is made at constantly accelerating rate in Finland. This is due to the new smart grid, higher operating reliability requirements, aging substations and distributed electricity produce.

This thesis will examine the structure of a medium-voltage network and its most common failures and its protections. The task will deal with medium-voltage switchgears and the requirements set up for them. It will also deal with the working and the features of different kinds of switchgears. There is also extensive examination on the substations self-supply system with its measurings and its protections. Along with all this, the task will touch on for example power transformers, CAD design, calculus and smart grids.

The task was limited to deal mainly with the investigation of the switchgear theory and the presentation of the principles of the equipment from the most common manufacturers. Because of the quantity of manufacturers this task will only cover a few most common manufacturers. The thesis will not reveal the contents of the products made for the calculus. This is because the number of things taken into account in the calculation is many. Also presenting them could be a benefit for the competitors.

As a result of this task a raw basis on the most common products was formed. In the future, these products will be developed to fit better the employer's vision. The raw basis created new viewpoints for the matters considered in an offer. It will possibly help to decrease the time taken to compose an offer in the future.

Key words medium voltage switchgear, electrical substation, remote operation and monitoring, DC power center.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
2	TOIMEKSIANTAJA OULUN ENERGIA URAKOINTI OY.....	10
3	KESKIJÄNNITEVERKKO	12
3.1	Rakenne yleisesti.....	12
3.2	Säteittäinen verkko	12
3.3	Rengasverkko	13
3.4	Silmukkaverkko.....	14
3.5	Keskijänniteverkon maadoitustavat	15
3.5.1	Sammutettu verkko	15
3.5.2	Maasta erotettu verkko.....	16
3.6	Jakeluverkon viat	17
3.6.1	Oikosulku	17
3.6.2	Maasulku.....	20
3.7	Verkon johtosuojaukset.....	21
3.7.1	Oikosulkusuojaus	22
3.7.2	Maasulkusuojaus.....	22
3.7.3	Jälleenkytkentä.....	22
4	KESKIJÄNNITEKOJEISTO	23
4.1	Yleistä	23
4.2	Kojeistolle asettavat vaatimukset.....	23
4.2.1	Syöksyjännitekestoisuus	24
4.2.2	Terminen kestoisuus	24
4.2.3	Dynaaminen kestoisuus	25
4.3	Kojeistotyypit.....	25
4.4	Katkaisijat	28
4.4.1	Ilmakatkaisija.....	28
4.4.2	Öljykatkaisija	30
4.4.3	Vähäöljykatkaisija.....	31
4.4.4	Paineilmakatkaisija.....	32
4.4.5	SF ₆ -katkaisija	34
4.4.6	Tyhjiökatkaisija.....	38
4.5	Erottimet	41

4.5.1	Katkaisijavaunu erottimena	41
4.5.2	Kuormanerotin.....	42
4.5.3	Varokekuormanerotin	43
4.5.4	Maadoituserotin.....	44
4.6	Keskijännitesulakkeet	44
4.7	Kontaktori.....	45
4.8	Mittamuuntajat	46
4.8.1	Jännitemuuntajat	46
4.8.2	Virtamuuntajat	47
4.9	Suojareleet.....	48
4.10	Kiskojärjestelmät	49
4.10.1	Yksikisko	50
4.10.2	Kaksikisko	51
4.10.3	Duplex-järjestelmä (Kaksoiskatkaisijajärjestelmä)	52
4.11	Asema-automaatio, kaukokäyttö ja valvonta	53
4.11.1	Kaukokäyttö	53
4.11.2	IEC 61850-standardi	55
4.11.3	Käytönvalvontajärjestelmä	56
5	TEHOMUUNTAJAT	57
5.1	Päämuuntaja 110/20 kV.....	57
5.2	Omakäyttömuuntaja 20/0,4 kV.....	57
6	CAD-SUUNNITTELU	59
6.1	Piirrosmerkinnät.....	59
6.2	Pääkaavio	61
6.3	Piirikaavio	61
6.4	Muut suunnitteluun liittyvät dokumentit	62
7	OMAKÄYTTÖJÄRJESTELMÄ	63
7.1	Omakäyttökeskus	63
7.2	Tasasähkökeskus	63
7.3	Jännitetasot	64
7.4	Tasasähkökeskuksen rakenne	64
7.5	Suojaus.....	66
7.6	Mitoitukset.....	66
8	KOJEISTON TUOTTEISTAMINEN.....	73

8.1	Broker Estimate	73
8.2	Tuoterakenteet.....	73
8.3	Tuotteistaminen	74
8.4	Tarjouslaskenta	75
9	SMART GRID -ÄLYVERKKO	76
10	POHDINTA.....	77
11	LÄHTEET	78
	LIITTEET	82

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Oulun Energia Urakointi Oy:lle. Opinnäytetyö käsittelee sähköasemien suunnittelussa huomioon otettavia laitteita ja komponentteja. Työn tarkoituksena oli kehittää yrityksen käyttöön esimerkki tuotepaketit tarjouslaskentaa varten. Työssä ei erikseen käsitellä esimerkkilaskennassa käytettyjä tuotteita, vaan kerrotaan yleisistä asioista komponenteista ja sähköverkon tulevaisuuden näkymistä.

Haluan kiittää Antero Martimoa ja Oulun Energia Urakointi Oy:n henkilöstöä tästä opinnäytetyöstä. Lisäksi kiitän kaikkia, jotka ovat ohjanneet ja ohjeistaneet opinnäytetyöhön liittyvissä asioissa. Erityisesti Jorma Hourulaa ja Jari-Pekka Malista, joilta sain runsaasti perustietoa asemilla käytetyistä laitteista, sekä perustietoa huomioon otettavista asioista.

Oulussa 9.12.2015

Antti Erkheikki

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ABB	Asea Brown Boveri
AC	Vaihtosähkö
AJK	Aikajälleenkytkentä
CAD	Computer-aided Design
DC	Tasasähkö
GIS	Gas Insulated Switchgear
IEC	International Electrotechnical Commission
I_k	Oikosulkuvirta
I_p	Sysäysoikosulkuvirta
I_n	Nimellisvirta
I_{thr}	Terminen oikosulkuvirta
OEU	Oulun Energia Urakointi Oy
OKK	Omakäyttökeskus
OKM	Omakäyttömuuntaja
PJK	Pikajälleenkytkentä
Puffer	Autopneumaattinen puhallus
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SF ₆	Rikkiheksafluoridi
Smart Grid	Älyverkko
TSK	Tasasähkökeskus
U_p	Syöksyjännite/Transienttiyljännite
U_n	Nimellisjännite

1 JOHDANTO

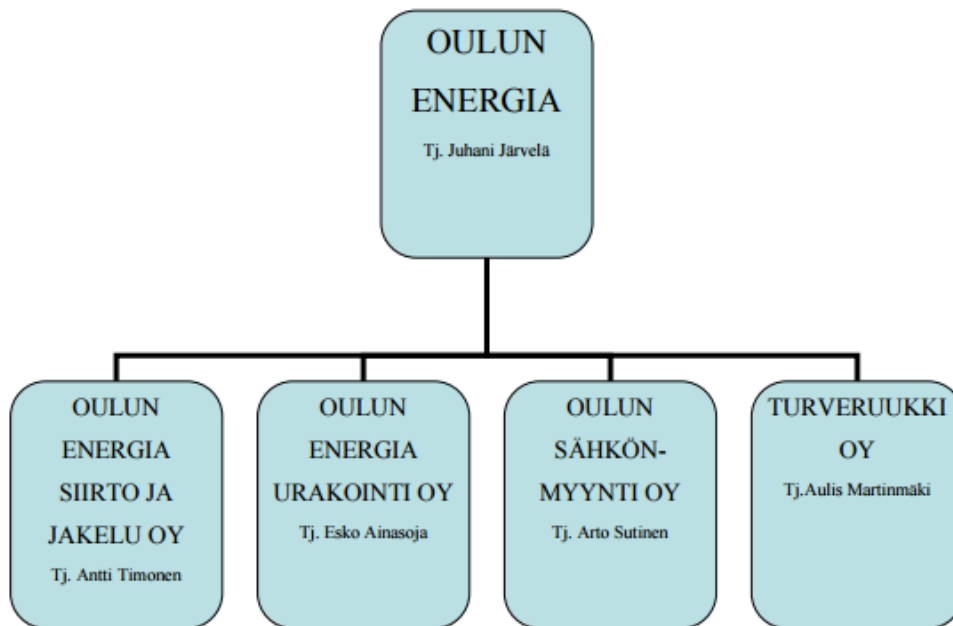
Viimeaikaiset uudet trendit, Smart Grid, hajautettu sähköntuotanto ja käyttövarmuusvaateet sähköjakelulle, ovat lisänneet tarvetta saneerata ja rakentaa uusia sähköasemia. Aikaisemmin laskenta aloitettiin kysymällä laitevalmistajilta ja tukkukauppiailta tarjoukset asiakkaan tarjouspyynnössä esitetyille töille ja komponenteille. Tarjouslaskentaa koettiin tarpeelliseksi kehittää kyselemällä laitevalmistajien komponenttien hinnat valmiiksi laskentaohjelmaan sekä laatimalla niistä yleiset tuotepaketit järjestelmään. Oulun Energia Urakointi Oy halusi rakentaa tuotepaketit sähköasemien rakentamisesta, siinä käytetyistä laitteista ja tarvikkeista sekä töistä. Tuotepakettien tarkoituksena on nopeuttaa itse tarjouslaskennan tekemistä, antaa kilpailuetua ja vapauttaa resursseja muihin töihin.

110/20kV:n sähköasemat rakennetaan yleensä asiakkaiden toivomilla kojeistoilla, joissa valmistajia ja vaihtoehtoja on lukuisia. Koska sähköasemia on mahdollisuus rakentaa niin monin eri tuottein ja tavoin, jouduttiin opinnäytetyötä rajamaan ja siinä keskittymään ainoastaan yleisimpiin valmistajien komponentteihin. Opinnäytetyöstä rajattiin pois rakennustekniset asiat kuten myös 110kV:n kojeet ja 110/20kV:n päämuuntaja. Opinnäytetyössä ei esitetä yksityiskohtaisesti, miten sähköaseman mallinnus kustannuslaskentaohjelmaan tehtiin.

Tärkeimpinä tietolähteinä on tässä opinnäytetyössä käytetty aiheeseen liittyvää kirjallisuutta sekä sitä tukevia Internet-lähteitä. Hyvistä hyödynnettävistä lähteistä sain myös opastusta toimeksiantajaltani sekä opinnäytetyötä ohjaavalta opettajalta. Työssä on teorian havainnollistamisen tukena käytetty runsaasti kuvioita ja taulukoita.

2 TOIMEKSIANTAJA OULUN ENERGIA URAKOINTI OY

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Oulun Energia Urakointi Oy, joka kuuluu Oulun Energia Oy:n konserniin (kuvio 1). Muita konserniin kuuluvia yhtiöitä ovat Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy, Oulun Sähkönmyynti Oy ja Turveruukki Oy. (Oulun Energia Oy 2015.)



Kuvio 1. Oulun Energia Oy organisaatio. (Oulun Energia 2015.)

OEU (Oulun Energia Urakointi Oy) on keskittynyt pääsääntöisesti sähköverkkojen, liikennevalojen, kameravalvontajärjestelmien, katuvalojen sekä televerkkojen rakentamiseen ja ylläpitoon. OEU:n asiakkaita ovat lähinnä kunnat, teollisuusyritykset ja taloyhtiöt. Lisäksi OEU tekee töitä sisäisesti Oulun Energia konsernille. Henkilöstömäärä OEU:lla oli vuoden 2013 lopussa 66. Sisäisesti OEU:n organisaatio on jaettu vastuualueittain (kuvio 2) seuraavasti:

- katuvalot
- liikennevalot ja televerkot
- sähköverkot
- laatu ja logistiikka
- suunnittelu ja asiakaspalvelu. (Oulun Energia 2015.)



Kuvio 2. OEU:n organisaatio. (Oulun Energia 2015.)

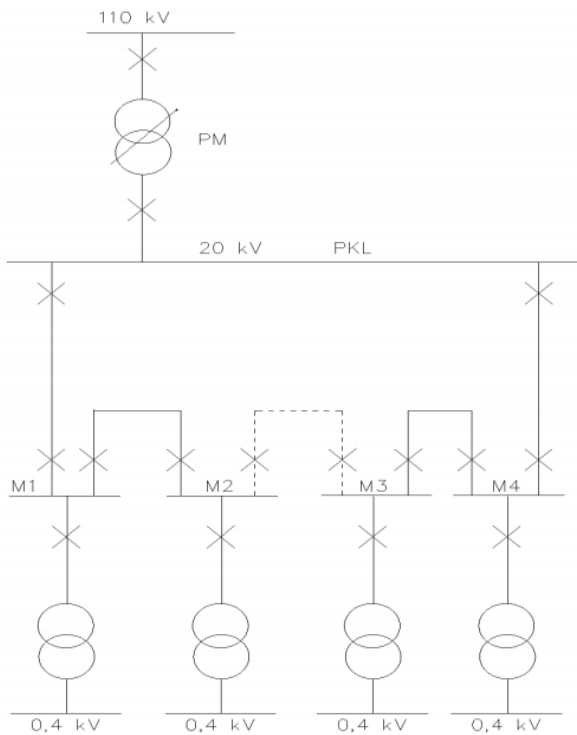
3 KESKIJÄNNITEVERKKO

3.1 Rakenne yleisesti

Keskijännitteeksi kutsutaan jännitteeltään 1-70 kV:n jännitettä. Suomen keskijänniteverkko koostuu pääasiassa 20 kV:n ja varsinkin taajamissa 10 kV:n keskijänniteverkosta. Keskijänniteverkon jakelujärjestelmissä käytetään kolmea perustyyppiä: säteittäinen, rengas ja silmukka verkko. Kaikilla verkkotyypeillä on etunsa että haittansa. Verkko rakennetaan yleensä jakelujärjestelmän taloudellisen edun mukaisesti. (ABB 2000b, 1; Energiateollisuus 2015; Korpinen 2015, 1.)

3.2 Säteittäinen verkko

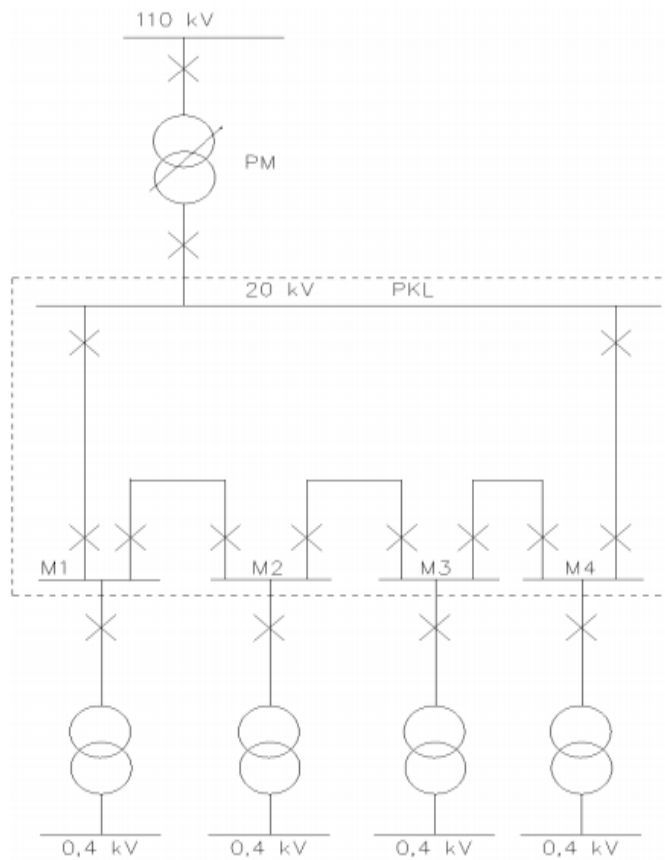
Säteittäinen verkko on yleisimmin käytetty teollisuudessa ja harvaan asutulla alueilla, jossa asiakkaiden määrä ja sähkönkulutus on pientä. Säteittäisen verkon käyttövarmuutta on mahdollista parantaa varasyöttöyhteyksillä. Nykyään keskijänniteverkko pyritään rakentamaan renkaaksi, mutta käytetään säteittäisenä, jolloin sähkönjakelu on varmistettua, mutta suojaus on yksinkertaisempaa kuin rengasverkolla (kuvio 3). Verkon etuna ovat yksinkertainen rakenne, mitoitus, käytettävyys sekä edullinen ja yksinkertainen suojaus. Verkon haittoja rengasmaisen rakenteen puuttuessa ovat syötön varmistuksen puuttuminen ja huollettaessa käytön keskeytyminen. (Korpinen 2015, 1-2.)



Kuvio 3. Säteiläisenä käytettävän rengasverkon periaate. (Tolonen 2014, 16.)

3.3 Rengasverkko

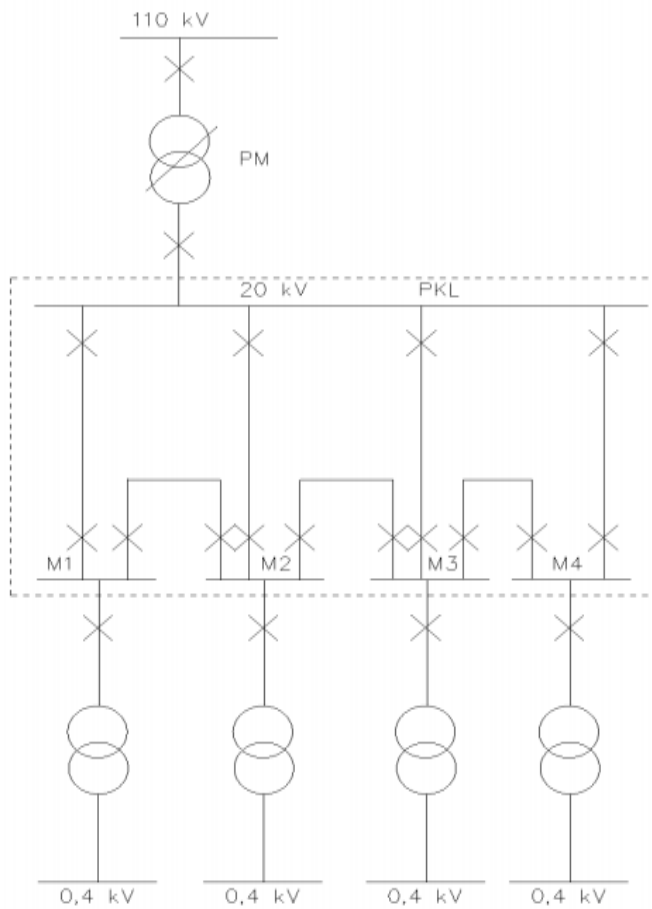
Rengasverkko (kuvio 4) muodostaa suljetun renkaan, mikä mahdollistaa sähkönsyötön järjestämisen varmennetusti. Rengasverkon tarjoamia etuja säteiläiseen verkkoon verrattuna ovat jännitevakaus ja pienet tehohäviöt. Rengasverkon suojaus on vaikeampaa ja oikosulkuvirrat suuremmat kuin säteiläisessä verkossa. (ABB 2000b, 1.)



Kuvio 4. Rengasverkon periaate. (Tolonen 2014, 14.)

3.4 Silmukkaverkko

Silmukoitu verkko (kuvio 5) on rakenteeltaan kuin rengasverkko, mutta renkaan sisälle on rakennettu väliytteksiä. Silmukoitu verkko on erittäin toimintavarma, johtuen syöttöjen varmistusmahdollisuuksista. Silmukoidun verkon jännitevakavuus on parempi ja tehohäviöt pienemmät kuin rengasverkossa. Verkkorakenne vaatii kuitenkin monimutkaisen ja kalliin suojauksen verrattuna muihin verkkorakenteisiin. (ABB 2000b, 1.)



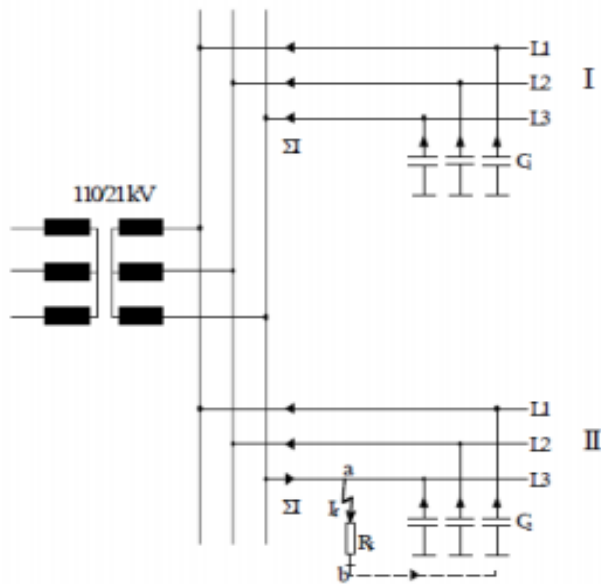
Kuvio 5. Silmukoidun verkon periaate. (Tolonen 2014, 15.)

3.5 Keskijänniteverkon maadoitustavat

Suomessa keskijänniteverkon maadoitustapana käytetään yleisesti joko sammutettua tai maasta erotettua verkkoa. Verkko-yhtiöt ovat siirtymässä maakaapeloinnin yleistyessä sammutetun verkon käyttöön. (Elovaara & Haarla 2011, 337-338.)

3.5.1 Sammutettu verkko

Sammutetussa verkossa (kuviokuva 6) on päämuuntajan tähtipisteen ja maapotentiaalilin väliin kytketty sammutuskuristin, jolla kompensoidaan kapasitiivista maasulkuvirtaa. Sammutuskuristimen käytöllä pyritään saamaan maasulun vikapaikan läheisyydessä oleva vaarajännite pienemmäksi. Sammutuskuristimen käyttö mahdollistaa valokaaren paremman sammumisen, jolloin välttyään jälleen-



Kuvio 7. Maasta erotetun verkon periaate. (Lakervi & Partanen 2008, 146.)

3.6 Jakeluverkon viat

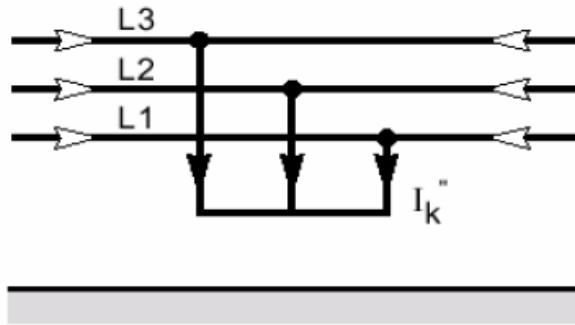
Jakeluverkoissa keskijännitteellä yleisesti esiintyviä ja tässä työssä käsiteltäviä vikatyyppejä ovat oikosulut ja maasulut. Muita vikoja ovat johdinkatkokset ilman maa- tai oikosulkua ja ylikuormitus. (Elovaara & Haarla 2011b, 339-342.)

3.6.1 Oikosulku

Suurin osa jakeluverkkojen vioista on oikosulkuja, jotka ovat erityisesti avojohdoverkoissa nopeasti ohimeneviä. Oikosulut voivat olla joko yksi tai monivaiheisia. Oikosulkuja aiheuttavat esimerkiksi eläimet, lumi ja jää, salamet ja työkooneet. Myös kova tuuli voi saada johtimet heilahtamaan yhteen. (Parviainen 2008, 36-58; Elovaara & Haarla 2011b, 340.)

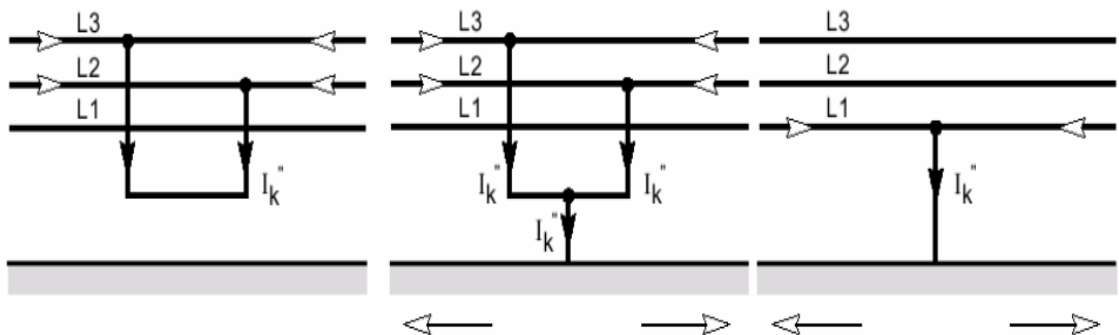
Oikosulkuvirran suuruus riippuu johtojen ja muuntajien impedansseista, joten oikosulkuvirta on sitä pienempi, mitä kauempana vika on generaattorista. Oikosulkuvirrat aiheuttavat johdoille ja kojeistoille sekä termisiä että dynaamisia rasituksia. Termisiä vaikutuksia ovat lämpenemiset, jotka lyhentävät johtojen eristysten elinikää. Dynaamiset voimat ovat fyysisiä voimia, jotka aiheuttavat

esimerkiksi johtimissa vetoa tai hylkyä toisiinsa. Jakeluverkkoa eniten rasittava vika on kolmivaiheinen oikosulku (kuvio 8), joka on kytkettävä mahdollisimman nopeasti irti muusta verkosta. (Elovaara & Haarla 2011b, 340.)



Kuvio 8. Kolmivaiheisen oikosulun havainnollistamiskuva. (ABB 2006, 11.)

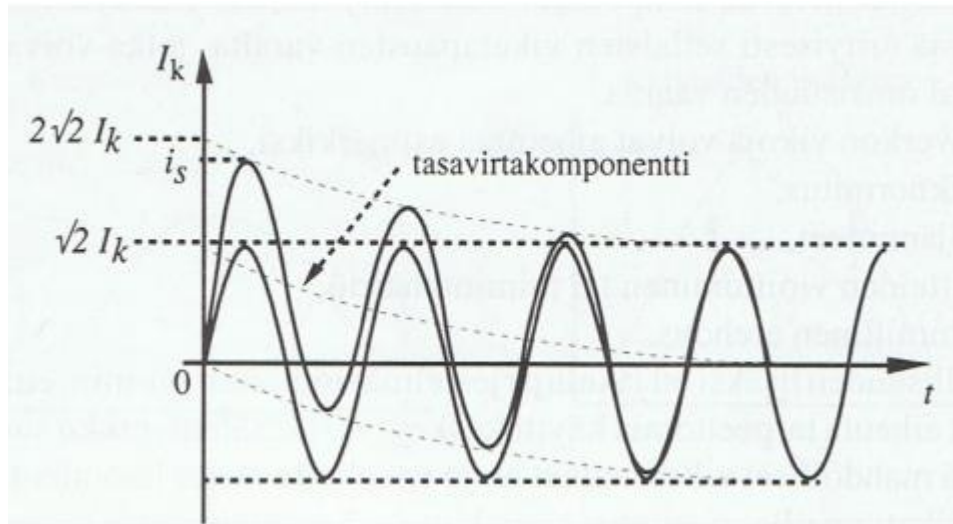
Symmetriseksi oikosuluksi kutsutaan 3-vaiheista oikosulkua kuviossa 8, joka on syntynyt jännitteen huippuarvolla. Jännitteen huippuarvon hetkellä oikosulkuvirran suuruus voi olla jopa 30–40-kertainen nimellisvirtaan verrattuna. Symmetrinen oikosulku ei sisällä tasavirtakomponenttia. (Aura & Tonteri 1993,159.)



Kuvio 9. Epäsymmetriset oikosulun tyypit vasemmalta, a) vaiheidenvälinen oikosulku, b) kaksivaiheinen maa-oikosulku, c) yksivaiheinen maasulku. (ABB 2006, 11.)

Epäsymmetrisiä oikosulkuja voivat olla esimerkiksi yksivaiheinen maasulkukuvio 9 c) tai vaiheiden välinen oikosulkukuvio 9 a), joka voi olla samalla maasul-

kukuvio 9 b). Epäsymmetrinen oikosulku sisältää myös tasavirtakomponentin, joka on esitetty kuviossa 10. (Aura & Tonteri 1993, 159-160.)



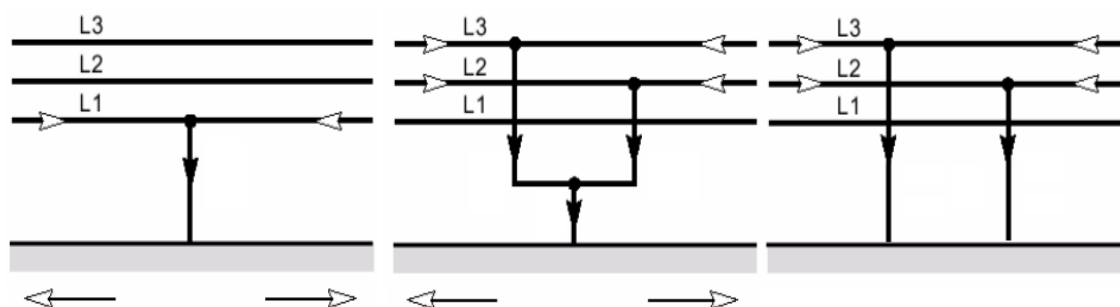
Kuvio 10. Symmetrinen ja epäsymmetrinen oikosulkuvirta. (Aura & Tonteri 1993, 160.)

Epäsymmetrisen oikosulun huippuarvoa sanotaan sysäysoikosulkuvirraksi i_s kuviossa 10, joka on oikosulun alkuhetken jälkeinen huippuarvo jonka suuruus riippuu tasavirta- ja vaihtovirtakomponentin yhteenlasketusta virran arvosta. Tätä huippuarvoa käytetään kojeistojen ja johtojen sähködynaamisten voimien mitoituksen perusteena, sillä se kertoo suurimmat mekaaniset rasitukset. (Aura & Tonteri 1993, 159-160.)

Epäsymmetrinen oikosulku aiheuttaa tasavirtakomponentin. Tasavirtakomponentin suuruus riippuu oikosulun alkuhetkestä. Tasavirtakomponenttia ei synny mikäli verkon jännitteen ja impedanssin vaihekulma ero on oikosulun alkuhetkellä 180° tai nolla. Tasavirtakomponentti voi olla haitallinen, sillä se saattaa esimagnetoida mittamuuntajan. Mittamuuntajien magnetoituminen heikentää mittaustarkkuutta, joka on vältettävissä käytettäessä niin sanottua Rogowskin-käämiä. Rogowskin-käämissä rautasydän on korvattu ei-magneettisella metallilla, jolloin sydän ei magnetoidu ja mittatarkkuus säilyy. (Aura & Tonteri 1993, 159; ABB 2004, 39.)

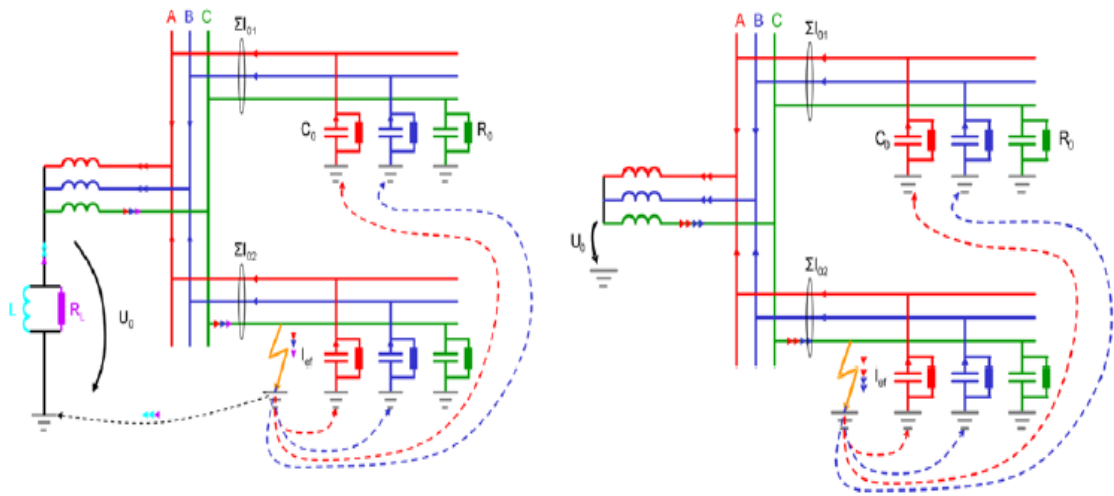
3.6.2 Maasulku

Maasulku on johtimen ja maan tai maahan johtavan yhteyden välinen eristysvika. Eristysvian aiheuttavat avojohtoverkossa tyypillisesti eläimet, lumi ja jää tai tuuli. Kaapeliverkossa yleisimpiä maasulun aiheuttajia ovat eristeen rikkoutuminen ikääntymisen tai maanrakennustöiden seurauksena. Maasulku voi olla yksi- (kuvio 11 a) tai useampivaiheinen (kuvio 11 b). Kaksoismaasulku (kuvio 11 c) on kyseessä silloin, kun kahdessa eri vaiheessa ja kahdessa eri kohtaa verkkoa esiintyy eristysvika. Maasulkuvirran suuruus sekä sen vaikutukset ovat riippuvaisia vikaresistanssin lisäksi siitä, miten moni tähtipiste on maadoitettu ja ovatko ne suoria vai kuristimen kautta maadoitettuja. (Aura & Tonteri 1993, 162-166; Elovaara & Haarla 2011, 339-341.)



Kuvio 11. Maasulun tyypit vasemmalta a) yksivaiheinen maasulku, b) kaksivaiheinen maasulku, c) kaksoismaasulku. (ABB 2006, 11.)

Maasulun aikana maassa kulkeva virta aiheuttaa hengenvaarallisen askeljännitteen vikapaikkaan. Maasulkuvirta voi aiheuttaa myös tulipaloja. Verkon ollessa erotettu tai sammutettu, on maasulkuvirta yleensä pieni, sillä vain johtimien kapasitanssin kautta kulkee nollavirta. Sammutetussa verkossa maasulkuvirta kulkee viallisen vaiheen ja maan kautta muuntajan tähtipisteelle ja ehjien vaiheiden kautta verkkoon (kuvio 12 a). Erotetussa verkossa maasulku kulkeutuu ehjien vaiheiden kautta verkkoon, jolloin ehjien vaiheiden jännite nousee ja viikaantuneen vaiheen laskee (kuvio 12 b). (Aura & Tonteri 1993, 162-166; Elovaara & Haarla 2011, 340.)



Kuvio 12. Maasulun havainnollistaminen vasemmalta oikealle a) sammutettu verkko b) maasta erotettu verkko. (ABB 2014a, 279.)

3.7 Verkon johtosuojaukset

Sähköverkon toiminta normaaleissa olosuhteissa edellyttää kykyä estää vaarallisten jännitteiden muodostuminen ja etteivät virrat vahingoita laitteita tai aiheuta vaarallista lämpötilaa. Jakelujärjestelmä suunnitellaan niin, etteivät jakelujärjestelmässä tapahtuvat viat aiheuttaisi turhia käyttökeskeytyksiä. (Aura & Tonteri 1993,159.)

Keskijänniteverkkojen erikoisuuksia ovat säteittäinen syöttötapa ja tähtipistemaadoitusten sekä nollajohdon puuttuminen. Tähtipistemaadoitusten puuttuminen helpottaa selektiivisen suojauksen toteuttamista. Nollajohtimen puuttuminen tekee maasulusta oikosulkuun nähden luonteeltaan poikkeavan vian ja sen paikantaminen ja tunnistus vaatii oman tekniikkansa. (Lakervi & Partanen 2007, 140.)

Jakeluverkon johtosuojaus sisältää oiko- ja maasulkusuojauksen sekä jälleenykyntäreleistyksen. Suojausta käsitellään tässä työssä vain rajattu määrä. Releet käsitellään erikseen kohdassa 4.9. (Mörsky 1993,295.)

3.7.1 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojoina on mahdollista käyttää ylivirtareleitä, differentiaalireleitä ja distanssireleitä. Ylivirtarelettä voidaan käyttää, kun pienin vikavirta on suurempi kuin suurin kuormitusvirta. Sitä ei kuitenkaan voida käyttää silmukoiduissa verkoissa, sillä se ei tunnista virran suuntaa. Distanssirele soveltuu silmukoituun verkkoon, sillä se havaitsee virran suunnan ja etäisyyden. Differentiaalireleeseen verrattuna toimii se selektiivisesti myös ilman viestiyhteyttä. (Elovaara & Haarla 2011b, 340.)

3.7.2 Maasulkusuojaus

Maasulkusuojana voidaan käyttää nollavirtarelettä, joka mittaa vaiheiden summavirtaa. Nollavirtarele on käytännössä ylivirtarele, joka on asetettu mittaamaan nollavirtaa. Nollavirtareleen tarkoituksena on mitata vain virran suuruutta, joten virran suunnalla ei ole merkitystä. Tämän takia se laukaisee viat sekä suojattavassa että muissa kohteissa, jos vikavirta on kyllin suuri. Suojauksessa on mahdollista käyttää myös distanssirelettä tai suunnattuja maasulkureleitä, jotka havaitsevat virran suunnan. Distanssirele havaitsee maasulut noin 20 Ω :n vikaresistanssiin asti. Suomessa on vaatimuksena, että maasulut on pystyttävä laukaisemaan aina 500 Ω :n vikaresistanssiin asti. Tästä syystä distanssirele ei kelpaa yksinään maasulkusuojuksi. (Elovaara & Haarla 2011b, 340-341.)

3.7.3 Jälleenkytkentä

Useimmat viat on mahdollista poistaa pikajälleenkytkennällä (PJK), jolloin lyhyt jännitteetön aika saa syttyneen valokaaren sammumaan. Pikajälleenkytkennän tarkoituksena on saada verkko käyttöön mahdollisimman nopeasti. Jälleenkytkentäaika on tavallisesti välillä 0,2-0,4 sekuntia. Pikajälleenkytkennän epäonnistuttua releautomaattikka odottaa pidemmän ajan, yleensä noin 30-90 sekuntia, ennen jälleenkytkentää tätä kutsutaan aikajälleenkytkennäksi (AJK). (Elovaara & Haarla 2011b, 271-272.)

4 KESKIJÄNNITEKOJEISTO

4.1 Yleistä

Kojeistoilla tarkoitetaan tehdasvalmisteista kokonaisuutta, joka sisältää sähkön siirrossa muuntamisessa tai muuttamisessa tarvittavia suoja-, kytkin-, valvonta-, ja ohjauslaitteita. Kojeistoilta vaaditaan käyttövarmuutta, henkilöturvallisuutta, hyvää käytettävyyttä ja huoltovapautta. Jakelujärjestelmässä kojeisto ja suojausjärjestelmä muodostavat yhdessä toimivan kokonaisuuden. (Elovaara & Haarala 2011b, 117.)

Kojeistoja tehdään sekä ulko- että sisäkäyttöön, avorakenteisina ja koteloituna. Käytetty eriste on nykyisin yksi keskeisistä kojeiston luokitteluperusteista. Nykyisin rakennettavat sisäkojeistot ovat pääasiassa koteloituja ilma- tai kaasu-eristeisiä (GIS-kojeisto). (Elovaara & Haarala 2011, 117.)

4.2 Kojeistolle asettavat vaatimukset

Tässä opinnäytetyössä käsitellään tehdasvalmisteisia, sisälle asennettavia keskijännitekojeistoja, joiden nimellisjännitteet ovat suuruudeltaan 1- 52 kV:ia ja taajuudet 60 Hz saakka. Kojeistoja koskevat vaatimukset on määriteltä seuraavissa IEC (International Electrotechnical Commission) standardeissa:

- IEC 60298: A.C. metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV.
- IEC 60466: A.C. insulation-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 38 kV.
- IEC 60694: Common specification for high-voltage switchgear and controlgear standards. (ABB 2000b, 19-20.)

Edellä mainitut standardit eivät käsittele kojeistoissa käytettäviä kojeita, joille löytyy erilliset standardit. Kojeistoille asetettavista vaatimuksista käsitellään tässä työssä vain syöksyjännitekestoisuus, terminen ja dynaaminen kestoisuus.

4.2.1 Syöksyjännitekestoisuus

Syöksyjännitekestoisuudella määritellään ylijännitteet, jotka kojeistot kestävät vaurioitumatta. Syöksyjännitekestoisuudella voidaan määrittää vaiheen ja maan sekä vaiheen ja vaiheen väliset eristystasot (taulukossa 1 kohdassa **Up** yleisarvo). Taulukossa 1 on määritelty kojeistojen nimellisyännitteille vaadittavat syöksyjännitekestoisuudet. Avausväliarvoa käytetään, mikäli eristystason on täytettävä erottimelle asetetun erotusvälin vaatimukset. (ABB 2000b, 20.)

Taulukko 1. Kojeariston eristystasot. (ABB 2000b, 20.)

Nimellisarvo Un kV (tehollisarvo)	Vaihtojännitekestoisuus Ud kV (tehollisarvo)		Syöksyjännitekestoisuus Up kV (tehollisarvo)	
	Yleisarvo	Avausväli	Yleisarvo	Avausväli
3,6	10	12	20	23
			40	46
7,2	20	23	40	46
			60	70
12	28	32	60	70
			75	85
17,5	38	45	75	85
			95	110
24	50	60	95	110
			125	145

4.2.2 Terminen kestoisuus

Termisellä mitoituksella mitoitetaan kojeet kestäväseen oikosulkuvirran I_k aiheuttama lämpeneminen. Terminen kestovirta (taulukossa 2 kohta I_{thr}) on suurin oikosulkuvirran tehollisarvo, jonka kojeisto rikkoutumatta kestää 1 sekunnin ajan, jos aikaa ei ole muuten määritelty. (LUT 2015, 4.)

Taulukko 2. IEC:n määrittelemät nimellisvirrat ja vikakestoisuudet. (LUT 2015, 4.)

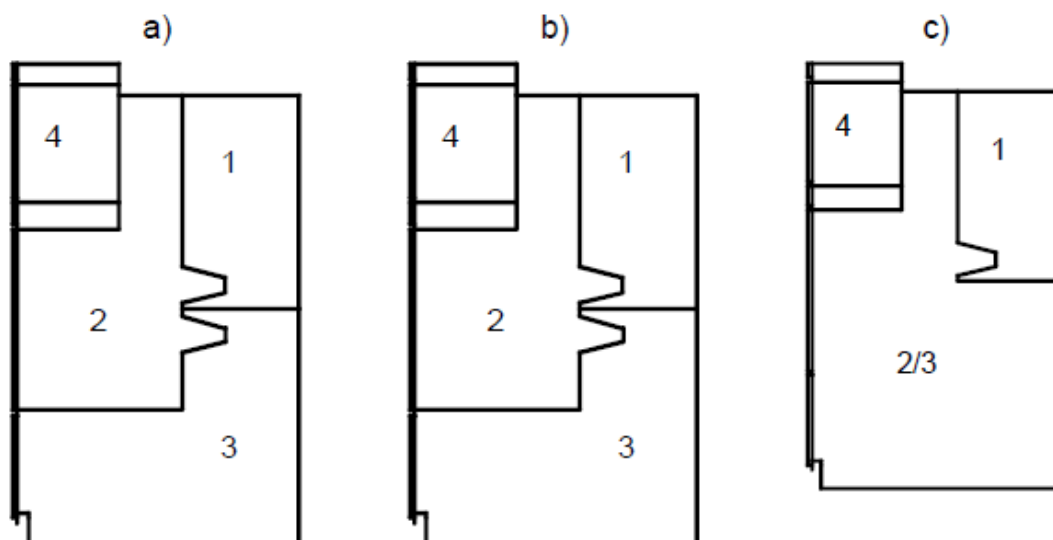
<i>I_n/A</i>	400	630	800	1250	1600	2000	2500	3150
<i>I_{trh}/kA</i>	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25
<i>I_p/kA</i>	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63

4.2.3 Dynaaminen kestoisuus

Dynaamisella mitoituksella mitoitetaan kojeet kestämaan suurin mahdollinen oikosulkuvirran hetkellisarvo (taulukossa 2 kohta *I_p*) noin 10 ms kuluttua oikosulun alkuhetkestä. Dynaamisesta oikosulkuvirrasta käytetään myös nimitystä sysäysoikosulkuvirta. (LUT 2015, 4.)

4.3 Kojeistotyypit

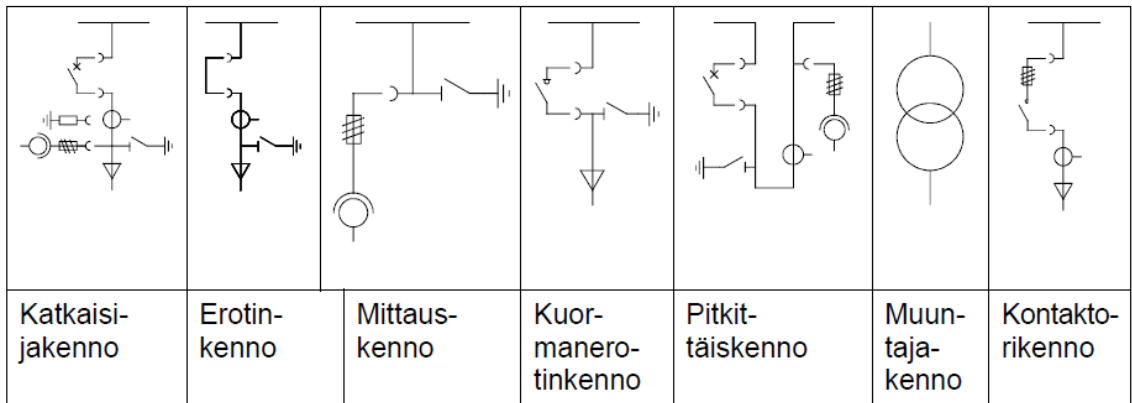
Ulkokuoren materiaalin perusteella kojeistot voidaan jakaa metallikuorisiin (metal-enclosed) ja eristysainekuorisiin (insulation-enclosed). Suurin osa jakelukojeistoista on nykyään metallikuorisia, joissa jännitteiset osat on erotettu muusta ympäristöstä metallikoteloinnilla. Metallikuoriset kojeistot jaotellaan sisäisen osastoinnin ja siinä käytettävän materiaalin perusteella joko metalli-, tila-, tai kennokoteloituihin (kuvio 13). (ABB 2000b, 21.)



Kuvio 13. Kojeistotyypit a) metallikoteloitu, b) tilakoteloitu, c) kennokoteloitu. 1 kokoojatila, 2 katkaisijatila, 3 lähtötila, 4 toisiokojetila. (ABB 2000b, 21.)

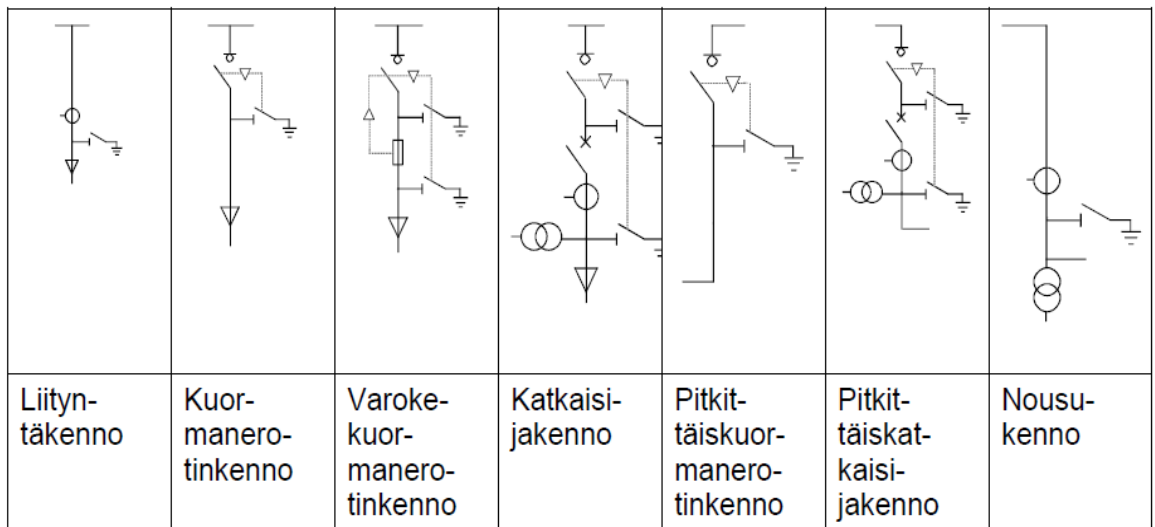
Metallikoteloitussa (metal-clad) kojeistoissa kokoojakiskosto, katkaisijat ja lähdön kojeet ovat omissa tiloissaan, jossa tilojen välinen osastointi on maadoitettua metallia. Tilakoteloitussa (compartmented) kojeistoissa kokoojakisko, katkaisija ja lähdön kojeet ovat omissa tiloissaan, jossa tilojen välinen osastointi on osittain tai kokonaan eristävää materiaalia. (ABB 2000b, 21.)

Kennokoteloituiduksi (cubicle) kojeistoiksi luokitellaan muut kuin edellä mainitut metalli- tai tilakoteloituidut kojeistot. Kennokoteloitussa kojeistossa ensiökojeiden kotelointia ei vaadita edes kennojen välillä. Tavallisesti kokoojakiskostojen yläpuolelle omiin tiloihinsa erotellaan toisiokojeet, mittamuuntajat ja kaapelipäätteet. Kojeistot voidaan ryhmitellä kalustustavan mukaan joko ulosvedettäväksi tai kiinteällä kalustuksella varustetuiksi kojeistoiksi. (ABB 2000b, 21.)



Kuvio 14. Vaunukojeistojen vakiokytkentäesimerkit. (ABB 2000b, 24.)

Ulosvedettävillä (withdrawable) kojeilla varustetuissa kojeistoissa (kuvio 14), eli vaunukojeistoissa, kennon kytkinlaite on sijoitettu liikuteltavaan vaunuun, jota siirtämällä saadaan aikaan virtapiirin luotettava avausväli. Vaunukojeistoa esiintyy kaikkina kojeistotyyppeinä. (ABB 2000b, 21.)

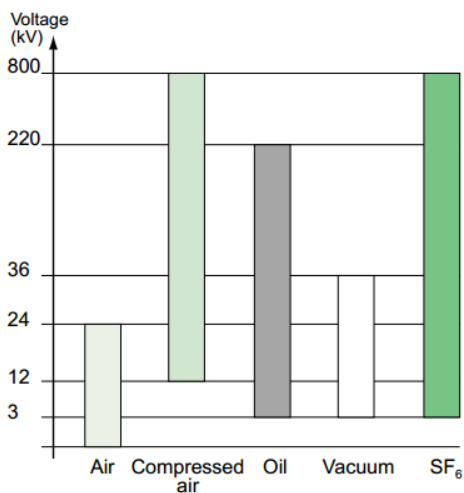


Kuvio 15. Kiinteänkojeiston vakiokytkentäesimerkkejä. (ABB 2000b, 24.)

Kiinteällä kalustuksella varustetuissa kojeistoissa (kuvio 15) kojeet muun muassa katkaisijat, kuormanerotitimet ja mittamuuntajat on asennettu kiinteästi kennorakenteisiin ja kiskostoihin. Kiinteällä kalustuksella varustetut kojeistotyypit ovat usein rakenteeltaan kennokoteloituja kojeistoja. (ABB 2000b, 21.)

4.4 Katkaisijat

Katkaisijat ovat kojeita, joita käytetään virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen. Niitä voidaan ohjata käsin tai automaattisesti. Automaattisen katkaisutoiminnon ohjaa yleensä suojarеле, joka avaa katkaisijan ylivirran tai maasulun vaikutuksesta. Katkaisijan on kyettävä sekä avaamaan että sulkemaan oikosulkupiiri vaurioitumatta. Katkaisijan koskettimen avautuessa virtapiiri ei aukea heti vaan pysyy suljettuna valokaaren välityksellä. Katkaisutoiminnossa käytetään hyväksi vaihtosähkön virran nollakohtia. Virran katkaiseminen tapahtuu katkaisijan kiinteän ja liikkuvan koskettimen välillä. Valokaaren sammutuskyvyn parantamiseksi katkaisijoissa voidaan käyttää väliaineita. Valokaaren sammumista edistävät valokaaren pidentäminen magneettien tai erityyppisten puhallusten avulla. Katkaisijat luokitellaan väliaineen perusteella, joko ilma-, öljy-, vähäöljy-, paineilma-, SF₆-, tai tyhjiökatkaisijaksi. Eri väliaineita voidaan käyttää eri jännitteillä (kuvio 16). (Schneider-Electric 1999, 4-17.)

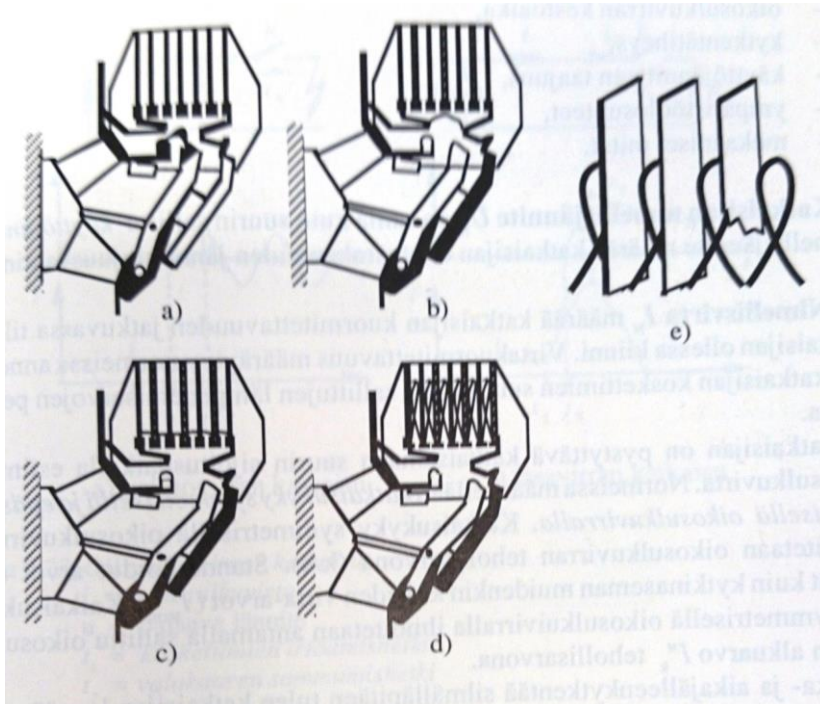


Kuvio 16. Jännitetasojen mukaan käytettävät katkaisijatyypit maailmalla. (Schneider-Electric 1999, 18.)

4.4.1 Ilmakatkaisija

Ilmakatkaisijassa (kuvio 17) väliaineena toimii ilmanpaineen mukainen ilma. Ilmakatkaisija on ensimmäinen katkaisijatyyppeistä, mitä on käytetty ja jonka tekniikka on yli 100 vuotta vanha. Ilmakatkaisijassa valokaari puhalletaan magneettikentän avulla erilliseen sammutuskammioon, jossa levyrakenteinen sam-

mutuskennosto sammuttaa valokaaren. (Elovaara & Haarla 2011, 169; Schneider-Electric 1999, 18.)

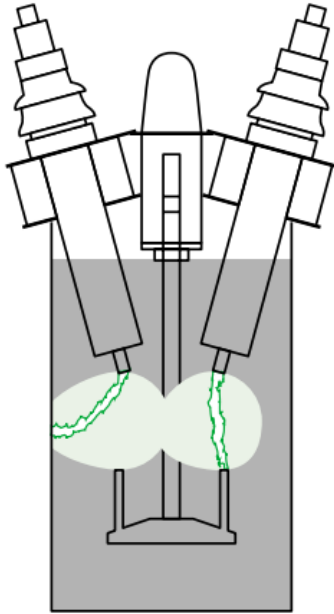


Kuvio 17. Ilmakatkaisijan katkaisuprosessin tapahtumat, a) pääkosketin avautuu ja valokaari syttyy, b) valokaaren siirtymin valokaarikoskettimelle, c) valokaari siirtyy katkaisukammioon, d) magneettipuhalluksen pidentämä valokaari, e) lähikuva edellisestä tilanteesta. (Tonteri & Aura 1993, 269).

Ilmakatkaisijan etuina ovat sen aiheuttama vähäinen ylijännite ja suuri kytkentätiheys. Huoltoväli myös kyseiselle katkaisijalle on pitkä. Huolimatta katkaisijan suhteellisen huonosta eristysjännitelujuudesta ja sen korkeasta di-ionisaatioajasta (10 ms), voidaan sillä katkaista jännitteet aina jopa 20 kV:n nimellisjännitteillä. Huonoina puolina voidaan mainita laitteen suuri koko valokaaren pituuden takia. Katkaisukykyyn vaikuttavat monet asiat, kuten kotelon metalliset osiot ja ilmankosteus. Lisäksi laitteisto on hintava ja äänekäs. Nykyään monet muut katkaisijat (keskijännitteellä) ovat korvanneet ilmakatkaisijat ja sen valmistus on käytännössä lopetettu. (Schneider-Electric 1999, 18.)

4.4.2 Öljykatkaisija

Öljykatkaisijoissa (tai korkeaöljykatkaisijoissa) on valokaaren sammutusaineena mineraaliöljy. Öljykatkaisijoissa koskettimet on yksinkertaisesti vain laskettu öljysäiliöön ja niiden ohjaus suoritettu eristetangon välityksellä (kuvio 18). (Insko 1982, 42-43.)



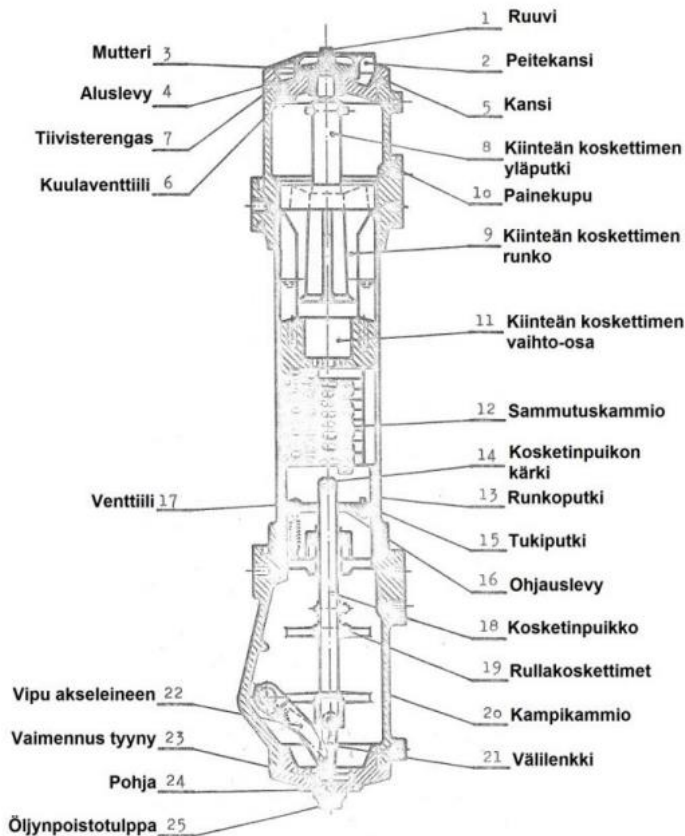
Kuvio 18. Halkaisukuva korkeaöljykatkaisijasta. (Schneider-Electric 1999, 20.)

Katkaisutapahtumassa syntyvä valokaari saa aikaan öljymolekyylien hajoamisen, joka vapauttaa vetyä (noin 70 %), etyleeniä (noin 20 %), metaania (noin 10 %) ja jonkin verran hiiltä. Energialtaan 100 kJ valokaari tuottaa noin 10 litraa kaasua. Kaasu muodostaa kuplan öljyn sisälle erittäin nopeasti ja paine voi kuplassa nousta jopa 50–100 bariin. Kun virta saavuttaa vaihtovirran nollakohdan, kaasu laajenee sammuttaen valokaaren. Ensimmäiset öljykatkaisijat olivat suurikokoisia, sillä kaasukuplat eivät saaneet päästä kosketuksiin säiliön seinän tai vaiheiden välillä valokaaren uudelleensyttymisvaaran takia. Hyviä puolia öljykatkaisijassa olivat yksinkertaisuus ja valmistajien tarve kehittää pienempiä ja turvallisempia katkaisijoita. Suuren kokonsa lisäksi öljykatkaisijalla oli monia muitakin haittapuolia, kuten kannen alle kertyvä paloherkkä vetykaasu, öljyn puhtauden tarkkailu sekä jatkuva kunnossapidon tarve. Näiden suurien ja vaa-

rallisten laitteiden poistamiseksi valmistajat kehittivät vähäöljykatkaisijan. (Schneider-Electric 1999, 20.)

4.4.3 Vähäöljykatkaisija

Vähäöljykatkaisijassa valokaaren sammutuksen väliaineena käytetään öljyä. Käyttöjännitteet ovat tyypillisesti 7,2-123 kV:n välillä. Vähäöljykatkaisijassa jokaisella vaiheella on oma sammutuskammionsa. Kahdesta yleistyyppistä; poikittais- ja pitkittäispuhallustyyppistä; poikittaispuhallustyyppinen on tavallisempi paremman katkaisukykynsä takia. (Insko 1982, 42.)



Kuvio 19. Vähäöljykatkaisijan rakenne.(Pekkonen 2014, 28.)

Vähäöljykatkaisijan pääosat (kuvio 19) ovat koskettimet, ohjain (vipu akseleineen), runko ja sammutuskammio. Keskijännitteellä katkaisija on yleensä rakennettu vaunun päälle, jolloin vaunu toimii samalla erottimena, kun sitä liikutetaan kennossa. Keskijännitteellä vaihetta kohti riittää yksi katkaisuyksikkö, kun

taas esimerkiksi 420 kV:n katkaisija vaatii jopa kuusi yksikköä vaihetta kohti. (Insko 1982, 44.)

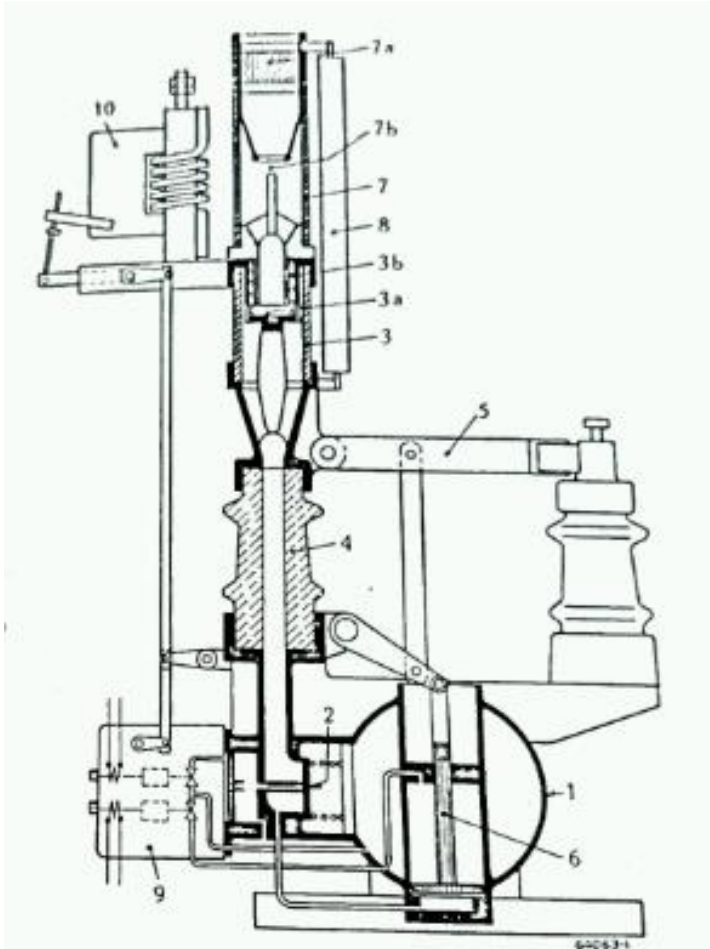
Katkaisutapahtumassa valokaari höyrystää öljyn, joka sitoo lämpöä ja jäähdyttää valokaarta. Höyryn paineen kasvu saa aikaan öljyn virtaamisen kohti sammutuskammiossa olevaa valokaarta. Tämän seurauksena koskettimien kärkien välinen eristyslujuus kasvaa. Suurilla virroilla vapautuu suuri määrä vetyä, jonka seurauksena paine kasvaa erittäin suureksi ja valokaaren palamisaika on lyhyt. Pienillä virroilla paineen kasvu on vähäistä ja valokaaren palamisaika pitkä. Tämän seurauksena valokaaren palamisaika kasvaa jopa kriittiselle tasolle, jolloin katkaisutapahtuma on vaikeasti toteutettavissa. Autopneumaattinen (puffer) mekanismi sekvenssin lopussa kuitenkin parantaa katkaisua. (Schneider-Electric 1999, 19-20.)

Vähäöljykatkaisijan hyviä puolia ovat kapasitiivisella virralla jälleensyttymättömyys, pienen induktiivisen virran katkaisu ilman vaarallista ylijännitettä ja luotettavuus sekä sähköisesti että mekaanisesti. Lisäksi yksinkertainen rakenne, pieni koko verrattuna ilma- ja öljykatkaisijaan sekä pieni ohjausenergian tarve. (Insko 1982, sivut 103-119.) Vähäöljykatkaisijan huono puoli on esimerkiksi se, ettei öljy höyrystymisen jälkeen palaudu öljyksi. Lisäksi öljyn hajoamiskyky ja kosketuskulumiskestävyys huonontuvat ajan myötä, mikä lisää kunnossapidon tarvetta ja ylläpitokustannuksia. Kun kyseessä on nopea uudelleen sulkeutuminen, on katkaisupilarissa edellisen katkaisun takia korkea paine, joka heikentää katkaisukykyä. Räjähdytys ja palovaara ovat edelleen myös mahdollisia. (Schneider-Electric 1999, 20.)

4.4.4 Paineilmakatkaisija

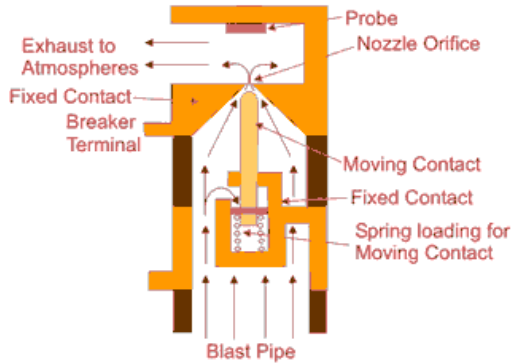
Paineilmakatkaisijassa valokaaren sammutusaineena sekä katkaisijan auki- ja kiinniohjauksessa on käytetty paineilmaa. Paineilmakatkaisijoita käytettiin keski-jännitesovelluksissa Suomessa noin 30 vuoden ajan. Kehittyneemmät vähäöljy-, SF₆- ja tyhjiökatkaisijat syrjäyttivät sen. Paineilmakatkaisijoita käytetään nykyi-

sin lähinnä 200-400 kV:n jännitteillä sekä sitä korkeammilla jännitteillä. (Insko 1982, 114.)



Kuvio 20. Paineilmakatkaisijan rakenne. 1 painimasäiliö, 2 pääventtiili, 3 sammutuskammio, 3a sammutuskosketin, 3b painejousi, 4 eristin, 5 erotinkosketin, 6 erotinohjain, 7 ulospuhallusjäähdytin, 7a vaimennuspaketti, 7b kipinävälivastuksen 8 kytkemistä varten, 8 vaimennusvastus, 9 ohjausblokki, 10 suojarele. (Insko 1982, 119.)

Paineilmakatkaisijassa on kaksi kosketinta vaihetta kohden, sammutus- ja erotuskosketin (kuvio 20). Kiinnikytkennässä sammutuskoskettimet ovat jo valmiiksi kiinni ja varsinainen kiinniohjaus tapahtuu erotuskoskettimilla. Aukiohjauksessa sammutuskoskettimet avaavat virtapiirin, jonka jälkeen erotuskoskettimet avautuvat. Erotuskoskettimien ollessa täysin auki, sulkeutuvat sammutuskoskettimet automaattisesti. (Insko 1982, 115-118.)



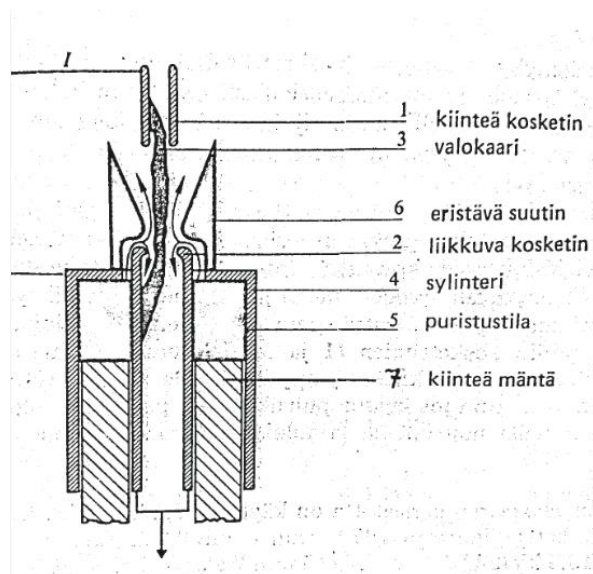
Kuvio 21. Paineilmakatkaisijan katkaisukoskettimen rakenne ja toiminta pääpiirteittäin. (electrical4u.com 2015, 1.)

Katkaisutapahtuman alussa nuolilla merkitty paineilma painaa kuvion 21 osoittamalla tavalla liikkuvan koskettimen mäntää, jolloin kosketin aukeaa ja valoakaari syttyy. Katkaisutapahtumassa valoakaari puhalletaan paineilmalla sammutuskammioon. Paineilman kulkiessa valoakaaren ympärillä pituussuunnassa suurella nopeudella jäähdyttää ohi kulkiessaan valoakaarta, valoakaari sammuu virran ensimmäisessä nollakohdassa. Sammutuksen jälkeen virtaava paineilma puolestaan poistaa tehokkaasti ionisoituneen kaasun kosketinpintojen läheisyydestä, jolloin jälleen syttyminen mahdollisuus pienenee. Hyviä puolia paineilmakatkaisijoissa ovat sen toimintavarmuus, jälleensyttymättömyys, suuri nimellisvirta ja katkaisukyky. Huonoja puolia paineilmakatkaisijassa ovat sen tarvitsema paineilmajärjestelmä, järjestelmän tarvitsema kosteudenpoistojärjestelmä, korkea hinta ja suuri koko. (Insko 1982, 103-121.)

4.4.5 SF₆-katkaisija

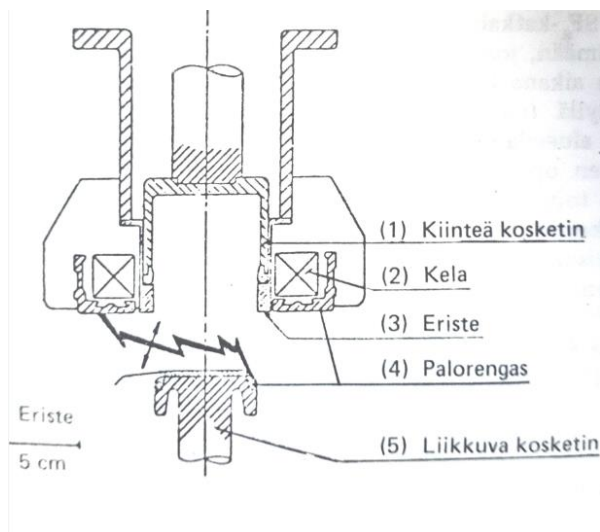
SF₆-katkaisijan valoakaaren sammutuksen väliaineena käytetään rikkiheksafluoridikaasua. Katkaisija voi katkaista mitoitusvirtansa tuhansia kertoja ilman huoltotarvetta. Katkaisijan mekaaninen elinikä on yleensä 5000–10000 katkaisua ja sähköinen elinikä täydellä oikosulkuvirralla 10–20 katkaisukertaa. SF₆-katkaisijoita käytetään kaikilla jännitealueilla, mutta tässä työssä käsitellään vain keskijännitteellä käytettyjä katkaisijoita. Toisen sukupolven SF₆-katkaisijassa sammutusmekanismeissa käytetään niin sanottua puffer-tekniikkaa. Tekniikka

kuitenkin vaatii suuren määrän ohjausenergiaa, eikä sen vuoksi menestynyt keskijännitteellä. Tämän takia keskijännitteelle kehitettiin kolmannen sukupolven katkaisijoita, joissa valokaaren sammuttamiseen käytetty energia otetaan valokaaren aiheuttamasta magneettikentästä. Tätä tekniikkaa kutsutaan pyörivän valokaaren tekniikaksi. Toinen kolmannen sukupolven tekniikoista on niin kutsuttu itsepuhallus (self-blast) tekniikka. (Insko 1982, 66–69.)



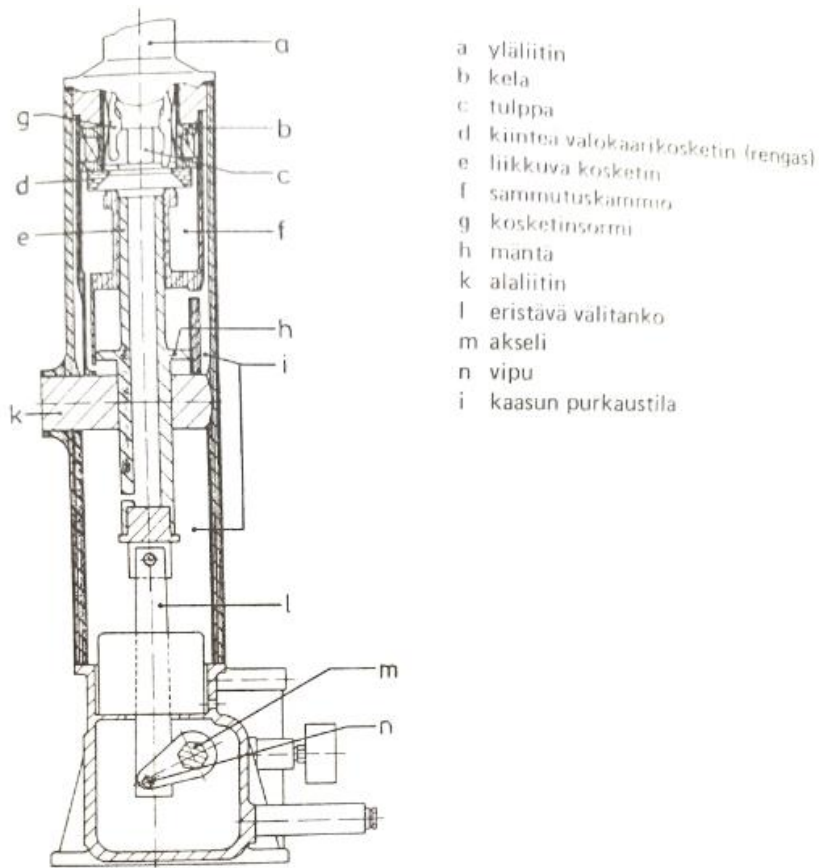
Kuvio 22. Autopneumaattinen katkaisuperiaate. (Insko 1982, 67.)

Autopneumaattisella (puffer) sammutustavalla toteutetussa katkaisijassa, liikkuva kosketin (2) ja sylinteri (4) liikkuvat alas (kuvio 22). Puristustilassa (5) oleva kaasu virtaa suuttimen (6) läpi ja sammuttaa valokaaren. Katkaisijan kytkeytyessä kiinni palaa kaasu takaisin sylinteriin. (Insko 1982, 67.)



Kuvio 23. Pyörivän valokaaren periaate. (Insko 1982, 68.)

Pyörivän valokaaren katkaisutavassa valokaari palaa magneettikenttään nähden poikittain (kuvio 23). Magneettikenttä synnytetään kelalla (2), joka kytkeytyy virtapiiriin koskettimien (liikkuvan ja kiinteän koskettimen) avautuessa. Voima saa valokaaren liikkumaan poikittain ympyrärataa, jolloin valokaaren pituus kasvaa koskettimien välillä. Vaikutus on samankaltainen kun puhallettaessa kaasua suurella nopeudella valokaareen. Valokaari sammuu virran nollakohdassa. (Insko 1982, 68.)



Kuvio 24. Itsepuhallus-tyyppisen katkaisijan rakenne. (Insko 1982, 69.)

Itsepuhallustekniikan (kuvio 24) katkaisijoissa katkaisutapahtuma alkaa, kun liikkuva kosketin (e) avautuu ja valokaari siirtyy kosketinsormilta (g) palorenkkaalle (d). Virta kulkee myös kelan (b) kautta, samalla tavoin kun (kuvio 23) pyörivän valokaaren periaatteessa. Valokaari saa aikaan paineen nousun kammiossa, joka tehostaa avausliikettä ja saa kaasun virtaamaan koskettimille, jolloin valokaari sammuu. Avausliikkeessä mäntä (h) liikkuu alas ja tehostaa kaasun virtausta, kaasu liikkuu sammutuskammioista (f) koskettimen (e) läpi purkauskammioon (i), josta se kiinni kytkettäessä siirtyy takaisin sammutuskammioon (f). (Insko 1982, 69.)

SF₆-katkaisijan etuja ovat esimerkiksi sammutusväliaineen palamattomuus, suuri valokaaren jäähdytyskyky, suuri palavan jännitteen kestävyys sekä sysäysvirran kestävyys. Lisäksi vahvuuksia on pitkä huoltoväli, johon kuuluu rasvaus 10 vuoden välein ja edullinen hinta. Keskijännitteellä käytettäessä ohjausenergian tarve on pieni. Vaihtoväliksi on keskijännitejohtoverkossa arvioitu 55-90 vuotta

ja kaapeliverkossa yli 90 vuotta. SF₆ katkaisijan huonoja puolia ovat sen suljetun rakenteen takia aiheutuva huoltovaikeus sillä katkaisuelimet tiivisteet saadaan vaihtaa vain valmistajan toimesta tehtaalla. (Elovaara & Haarla 2011b, 177-181; Insko 1982, 66-69.)

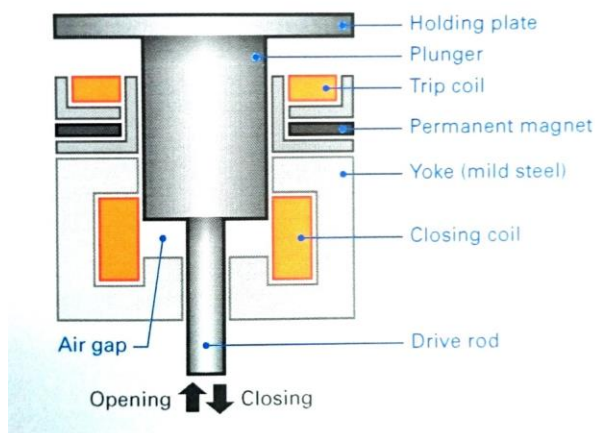
4.4.6 Tyhjiökatkaisija

Tyhjiökatkaisijassa katkaisu suoritetaan tyhjiöön sijoitettujen koskettimien avulla. Katkaisija on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen ja suosittu alle 100 kV:n järjestelmissä. Tyhjiökatkaisijan avausvälit ovat varsin pienet (5-15 mm), joka tarkoittaa vähäistä ohjausenergian tarvetta. Tyhjiökatkaisijaa käytetään paljon sellaisissa kohteissa, joissa tarvitaan paljon jälleenkytkentöjä. (Elovaara & Haarla 2011b, 182-183.)

Tyhjiökatkaisijoita voidaan ohjata joko jousiviritteisinä tai solenoidiohjauksella (kuvio 25). Jousiohjauksessa sulkeutumisen ja avautumisen virittämiseen käytetään sähkömoottoria tai ne voidaan virittää myös käsin. Solenoidiohjauksessa on auki- ja kiinniohjaukselle omat kelat. Koskettimet pidetään suljettuina kestopagneetilla. (Eaton 2015, 9.)

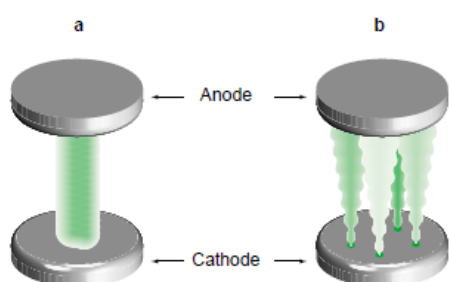


Kuvio 25. Eaton FMX tyhjiökatkaisijan rakenne. (Eaton 2015, 9.)



Kuvio 26. Solenoidiohjaimen rakenne. (Eaton 2015, 9.)

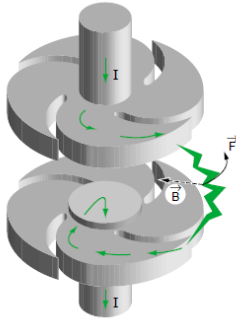
Kuviossa 26 on esiteltynä Eatonin uuden FMX-kojeiston tyhjiökatkaisijan toiminta. Suljettaessa katkaisijaa sulkemiskela (closing coil) vetää ja luo magneettivuon ympäröivään aineeseen (yoke (mild steel)), joka pakottaa männän (plunger) alas. Kun sulkeutuva voima männässä kasvaa suuremmaksi kuin avausjousen vastavoima, koskettimien sulkeutuminen alkaa. Vetotanko (drive rod) pidetään paikallaan kestmagneetilla (permanent magnet). Avautumisen tapahtuessa aukaisukela (tripp coil) saa virran. Heti kun aukaisukelan magneettikenttä kumoaa kestmagneettikentän ja kosketinjousien voiman, nousee mäntä ylös ja avautumisjousi avaa koskettimet. (Eaton 2015, 9.)



Kuvio 27. Valokaaren luonne, a) fuusioitunut, b) di-fuusioitunut. (Schneider-Electric 1999, 21.)

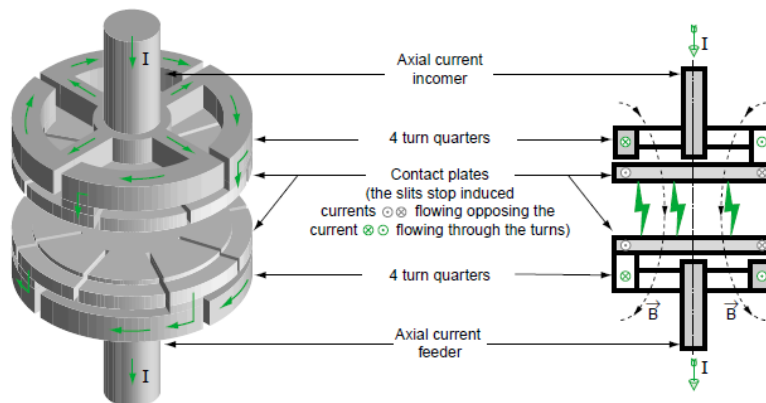
Katkaistaessa alle 10 kA virtoja on valokaarella useita katodipisteitä (kuvio 27 di-fuusioitunut valokaari b) ja valokaarijännite on pieni 30-50 V, jolloin koskettimien rasitus on pieni. Yli 10 kA katkaisuvirroilla valokaari taas keskittyy ja aiheuttaa suurta räsitusta koskettimille. Keskittynyt (fuusioitunut) valokaari (kuvio 27

a) aiheuttaa suuren lämmön koskettimien pinnoille, joka lisää kulumista. Kuluminen ehkäisemiseksi valmistajat ovat kehittäneet spiraali- ja aksiaaliskoskettimet. (Schneider-Electric 1999, 22-24.)



Kuvio 28. Spiraalikoskettimen rakenne ja virran kulku. (Schneider-Electric 1999, 22.)

Spiraalikoskettimissa virta kiertää kuvion 28 mukaan luoden magneettikentän. Verrattuna paikallaan olevaan keskitettyyn valokaareen, valokaaren päät liikkuvat pyörivällä liikkeellä koskettimessa ja lämpö jakautuu tasaisesti. Tämä tekniikka vähentää oleellisesti koskettimien pistemäistä lämpenemistä ja kulumista. Valokaari kunnioittaa elektromagneettisia lakeja ja siirtyy koskettimen keskeltä spiraalin ulkolaidalle, jossa se sammuu virran saavutettua nollakohtaan. (Schneider-Electric 1999, 22.)



Kuvio 29. Aksiaaliskoskettimen rakenne ja toiminta. (Schneider-Electric 1999, 23.)

Aksiaalisen magneettikentän synnyttävä kosketin on havainnollistettuna kuviossa 29. Koskettimen tarkoituksena on estää oikosulkua keskittymästä, jolloin sen aiheuttamien valokaarien lämpeneminen kosketinpinoilla on vähäisempää ja katkaisukyky suurempi. Hyviä puolia ovat tyhjiökatkaisijan katkaisupäiden yksikertainen rakenne, hyvä katkaisukyky pienellä avausvälillä ja vähäinen energian tarve ohjauksessa sekä olematon koskettimien hapettuminen tyhjiössä. Katkaisija on myös huoltovapaa. Tyhjiökatkaisijan ongelmana on yli 12 kV:n jännitteellä kapasitiivista virtaa katkaistaessa purkukoskettimien satunnainen läpilyöntilujuus tyhjiössä, mikä nostaa riskiä valokaaren uudelleen syttymiselle. Lisäksi suljettaessa oikosulkukuormitusta on vaarana koskettimien yhteen hitsaantuminen. (Schneider-Electric 1999, 21-23.)

4.5 Erottimet

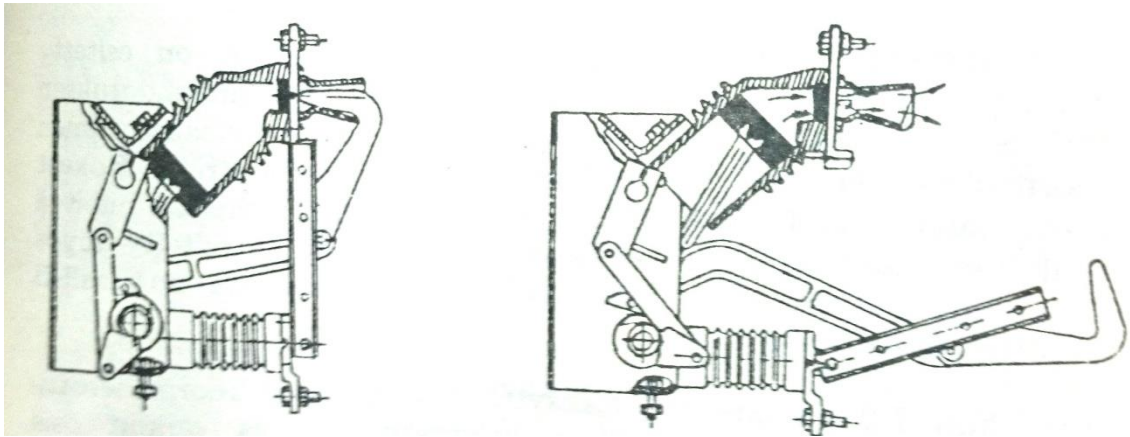
Erottimen tehtävänä on muodostaa virtapiirin ja muun laitoksen välille turvallisen avausvälin. Erotinta ei ole tarkoitettu kuormituksessa olevan virtapiirin avaamiseen tai sulkemiseen, eikä siltä vaadita virran sulkemis- tai katkaisukykyä, poikkeuksena kuormanerotimet, joita tyypillisesti kauko-ohjattavilla erotinasemilla. Erottimen avausvälin pitää olla näkyvissä tai se on varustettava luotettavalla mekaanisella asennonosoittimella. Erottimen avausvälin jännitelujuus on oltava suurempi kuin muun ympäröivän eristyksen, kuten esimerkiksi maan ja vaiheen välisen eristyksen jännitelujuus. Vaaraa aiheuttavan käytön estämiseksi erotin on pystyttävä lukitsemaan sekä auki- että kiinniasentoon. (Elovaara & Haarala 2011, 190.)

4.5.1 Katkaisijavaunu erottimena

Katkaisijavaunua voidaan käyttää myös erottimena, mikä voi säästää kustannuksissa rakennettaessa uutta sähköasemaa. Vaunukatkaisijalla voidaan myös eliminoida erottimen virheohjaukset, sillä vaunua ei voi vetää ulos katkaisijan ollessa sulkeutuneena. Katkaisijavaunun yhteydessä käytetään yleensä erillistä maadoituserotinta johtolähdön puolella. (Insko 1982, 140-141; ABB 2004,16.)

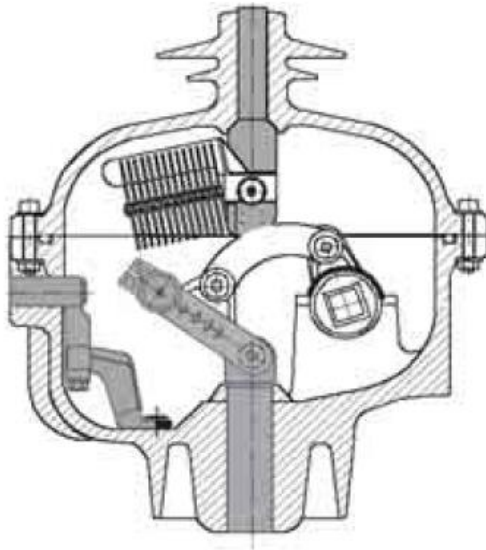
4.5.2 Kuormanerotin

Suomessa asennettavat kuormanerotit ovat yleensä jakelumuuntamoiden johtolähtöjen kytkinlaitteita. Kuormanerotin pitää nimensä mukaan pystyä sulkemaan ja avaamaan nimellisvirtansa, jolloin se poikkeaa normaalista erotimesta. Kuormanerotin kykenee myös kiinnikytkemään oikosulkupiiriin. Sammutusperiaatteiltaan kuormanerotit voidaan jakaa kovakaasu- tai autopneumaattiseen puhallukseen perustuviksi (kuvio 30). Sammutusaineena on nykyään joko ilma tai SF₆-kaasu. (ABB 2000b, 7; Insko 1982, 141-143.)



Kuvio 30. Autopneumaattisen kuormanerotin toimintaperiaate. (Insko 1982, 143.)

Ilmaeristeisen autopneumaattisen kuormanerotin toimintaperiaate on kuvattuna kuviossa 30. Kuormanerotin on yleensä varustettu kaksilla koskettimilla, pää- ja katkaisukoskettimilla. Erotin avautuessa avataan ensin pääveitset ja heti sen perään katkaisukoskettimet, jotka sammuttavat valokaaren. Sulkeutumisliikkeessä sulkeutuvat pääkoskettimet ensin. Katkaisukosketin suljetaan pääkoskettimien jälkeen, jolloin mahdollinen valokaaren syttyminen tapahtuu pääkoskettimien sijaan sammutuskammiossa. (Insko 1982, 141-146)



Kuvio 31. ABB:n SFG SF₆- kuormanerotin poikkileikkaus. (ABB 2004, 28.)

SF₆-kuormanerotimessa koskettimet on suljettu kaasulla täytettyyn tilaan. Kuvion 31 kolmiasentoisen kuormanerotin koskettimet voivat olla vain yhdessä asennossa kerrallaan; kiinni, auki tai maadoitettu. Pääsy kaapelitilaan on mahdollista vain erotin ollessa maadoitettu asennossa. Kolmiasentoerotimella varustetussa erotinkennossa ei näin ollen tarvita erillistä maadoituserotinta ja kustannukset jäävät pienemmiksi. (ABB 2004, 13.)

4.5.3 Varokekuormanerotin

Varokekuormanerotinta käytetään yleisesti jakelumuuntajilla korvaamaan katkaisijat. Rakenteeltaan se on samanlainen kuin kuormaerotin, erona on vain kuormaerotinkennoon liitetty sulake ja vapaalaukaisulaite (kuvio 32). Varokekuormanerotimessa sulakkeen palaminen yhdessä vaiheessa tulee saada aikaan kuormanerotus verkosta. Erotinta ei kyetä ohjaamaan päälle, jos yksikin varoke on palanut. Varokekuormanerotin, jossa molemmat päät on maadoitettu, voidaan sulake vaihtaa käsin ilman erillisiä työkaluja. (Insko 1982, 145-146; ABB 2004, 14.)



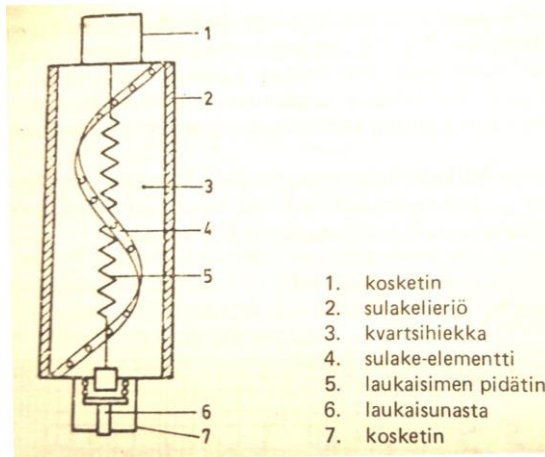
Kuvio 32. Varokeuormanerotimen rakenne. (ABB 2014, 1.)

4.5.4 Maadoituserotin

Kiinteissä kojeistoissa maadoituserotin on asennettu yleensä pääerotimen yhteyteen samaan kennoon. Maadoitus- ja pääerotimen välille on yleensä asetettu lukitus, jolla estetään maadoituserotimen sulkeutuminen pääerotimen ollessa kiinni. Vaunukatkaisijan yhteydessä oleva maadoituserotin toimii, kun vaunu erotetaan muusta laitteistosta. Vaunukojeiston ovenavaus on riippuvainen maadoituserotimen asennosta ja katkaisijan sijainnista. (Insko 1982, 147.)

4.6 Keskijännitesulakkeet

Keskijännitteellä käytetään sulakkeita lähinnä oikosulkusuojina ja joskus erikoistapauksissa harvemmin myös ylikuormitussuojina. Oikosulkusuojina niitä käytetään kaapeleiden, muuntajien, moottoreiden ja kondensaattoriparistojen suojauksessa. Suomessa käytössä olevat sulakkeet ovat useimmiten ns. back-up-sulakkeita, joita käytetään yleisesti varokeuormanerotimissa. Nämä sulakkeet ovat ominaisuuksiltaan virtaa rajoittavia ja ne pystyvät katkaisemaan kaikki nimellisvirrastaan aina minimikatkaisukykyvirtaan asti. (Insko 1982, 151.)



Kuvio 33. Keskijännitesulakkeen rakenne. (Insko 1982, 151.)

Kuviossa 33 on esitetty keskijännitesulakkeen rakenne. Sulakkeen sulake-elementti (tai lanka) valmistetaan useimmiten ohuesta hopealangasta. Langan poikkipinta on usein porrastettu sopivin välein aukotuksilla ja loveamisilla halutun katkaisukyvyyn saavuttamiseksi. Pienten virtojen katkaisua edesauttamaan on lankaan usein sijoitettu myös pieniä tinapisaroita. Tinan alhainen höyrystymispiste (alle 300°C) saa aikaan sulakkeen hyvän katkaisukyvyyn pienillä ylivirroilla verrattuna puhtaan hopean sulamispisteeseen (960°C). Valokaaren sammutusaineena sulakkeissa käytetään lähes puhdasta kvartsihiekkää. Suuruusluokaltaan sulakkeiden katkaisukyvyt ovat 12 kV:lla noin 40 kA:a ja 24 kV:lla noin 25 kA:a. (Insko 1982, 150-155.)

4.7 Kontaktori

Keskijännitteellä kontaktorin tarkoitus on ohjata kulutuskojeita, kuten moottoreita. Kontaktori varustetaan yleensä lämpöreleellä, joka toimii ylikuormitussuojan moottoreille ja muille kulutuskojeille. Kontaktori varustetaan yleensä myös sulakkeella oikosulun varalle. Kontaktorilta vaaditaan hyvää mekaanista kestävyttä ja vaatimukset niille ovat jopa 10 miljoonaa toimintakertaa. (Insko 1982, 25.)

4.8 Mittamuuntajat

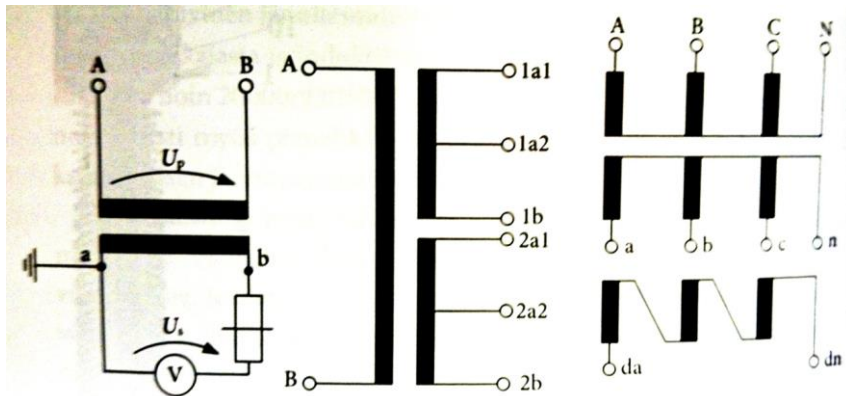
Valtaosa mittamuuntajista perustuu sähkömagneettisen induktion hyödyntämiseen. Mittamuuntajat ovat jännitteen ja virran mittaukseen tarkoitettuja muuntajia, joiden tehtävänä on keskijännitteellä:

- erottaa mittausvirtapiiri päävirtapiiristä galvaanisesti
- muuttaa mittausaluetta
- mahdollistaa mittaus- ja suojalaitteiden standardointi tiettyihin arvoihin
- suojata mittareita ylikuormituksilta.
- mahdollistaa mittareiden ja releiden sijoitus ja keskitys etäälle varsinaisista mittauspaikoista. (Elovaara & Haarla 2011, 198.)

Mittamuuntajien on kyettävä toistamaan mittaamansa arvo mahdollisimman tarkasti kuormitusalueellaan. Tyhjäkäyntivirrat ja käämitysten hajaimpedanssi kuitenkin vääristävät mittaustuloksia, ja ne tulevat ilmi virta- ja jännitekulmavirheinä. (Elovaara & Haarla 2011, 198.)

4.8.1 Jännitemuuntajat

Jännitemuuntajat (kuvio 34) voidaan IEC 60044-2 standardin mukaan jakaa käyttötarkoituksen mukaan kahteen eri ryhmään, mittaus- ja suojauskäyttöön tarkoitettuihin jännitemuuntajiin. Käyttötarkoitusten takia jännitemuuntajat poikkeavat toisistaan sekä vaatimuksiltaan että mitoituksiltaan. Jännitemuuntajan tarkoituksena on pienentää ensiöjännite mittareille ja suojalaitteille sopivaan arvoon. Jännitemuuntajat ovat keskijännitekojeistoissa useimmiten yksivaiheisia ja valuhartsieristeisiä. Yleisimmät ensiöjännitteet ovat $12\text{ kV}:\sqrt{3}$ - $24\text{ kV}:\sqrt{3}$ ja toisiojännitteet $100\text{V}:\sqrt{3}$ tai $110:\sqrt{3}$. (ABB 2000a, 7.)

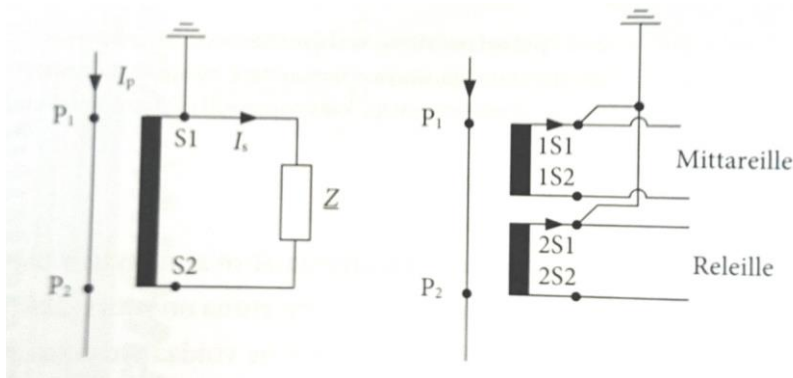


Kuvio 34. Esimerkit jännitemuuntajan liitinmerkintöjen käytöstä. (Elovaara & Haarla 2011, 220.)

Kaikille jännitemuuntajille on määritelty sekä kulma- että jännitevirhe. Kulmavirhe on ensiö- ja toisiojännitteiden välinen kulmaero, joka on määritelty analogisesti virtamuuntajan kanssa. Jännitevirheellä määritellään toisioon redusoituneen ensiö- ja toisiojännitteen prosentuaalinen ero. Lisäksi jännitemuuntajalle on määritelty myös mitoitusjännitekerroin, jolla ilmoitetaan suurin mahdollinen käyttötaajuuden ensiöjännite, jonka jännitemuuntaja kestää termisesti. (Aura & Tonteri 1993, 310; ABB 2000a, 7.)

4.8.2 Virtamuuntajat

Virtamuuntajat voidaan IEC 60044-1 -standardin mukaan jakaa käyttötarkoituksen perusteella kahteen eri ryhmään, mittaus- ja suojauskäyttöön tarkoitettuihin virtamuuntajiin (kuvio 35). Käyttötarkoitusten takia virtamuuntajat poikkeavat toisistaan sekä vaatimuksiltaan että mitoituksiltaan. Virtamuuntajan tarkoituksena on pienentää ensiövirta mittareille ja suojalaitteille sopivaan arvoon. Virtamuuntaja koostuu sydäimestä, ensiökäämistä ja toisiokäämistä. Virtamuuntajassa yleensä ensiökäämin kierrosluku on pienempi kuin toisiokäämin, koska virtaa pyritään pienentämään. (Elovaara & Haarla 2011, 198-199.)



Kuvio 35. Esimerkit virtamuuntajan liitinmerkintöjen käytöstä. (Elovaara & Haarla 2011, 214.)

Keskijännitekojeistoissa käytetään pääasiassa valuhartsieristettyjä mittamuuntajia. Valuhartsieristeisen virtamuuntajan etuja ovat pieni koko sekä suuri sähköinen lujuus ja mekaaninen kestävyys. Keskijännitteellä käytetään virtamuuntajia, joilla on yhteinen ensiökäämi. Virtamuuntajilla on useampi rautasydän, mittaukselle ja suojaukselle omansa, jolloin voidaan kahden virtamuuntajan sijasta käyttää yhtä. Suurvirtamuuntaja on myös mahdollista varustaa jännitemittauksella, jolloin virtamuuntajaan asetetaan kapasitiivinen jänniteulostulo. (Elovaara&Haarla 2011, 198.)

4.9 Suojareleet

Standardin SFS-IEC 60050-448 mukaisesti suojausjärjestelmän tarkoituksena on havaita ja suojata verkko epänormaaleilta olosuhteilta voimajärjestelmässä. Suojareleet ovat mittaavia releitä, jotka ovat osa suojajärjestelmää. (Elovaara & Haarla 2011, 335.)

Relesuojauksen toimiessa hyvin se on nopea, selektiivinen, herkkä, luotettava ja toimintavarma myös poikkeuksellisissa tilanteissa. Selektiivisyydellä tarkoitetaan vikaantuneen komponentin erottamista muusta verkosta. Hyvällä selektiivisyydellä voidaan minimoida käyttäjille aiheutuvat haitat. (Elovaara & Haarla 2011, 342.)

Suojareleet voidaan jaotella rakenteen perusteella:

- sähkömekaanisiin releisiin
- staattisiin eli elektromagneettisiin releisiin
- digitaalisiin releisiin (mikroprosessori releet). (Elovaara & Haarla 2011, 344-359.)

Suojaustoimintojen perusteella voidaan releet jaotella:

- ylivirtareleisiin
- yli- ja alijännitereleet
- distanssireleet
- nollavirta ja maasulkureleet
- differentiaalireleet
- jälleenkytkentäreleet
- taajuusreleet
- kiskosuojareleet
- katkaisijavikareleet
- kaasureleet eli Buchholz-releet. (Elovaara & Haarla 2011, 344-359.)

Digitaaliset releet varmistavat monipuolisen ja räätälöidyn verkon suojauksen. Digitaalisiin releisiin on mahdollista ohjelmoida useita suojaustoimintoja, jolloin käytännössä samaa relettä voidaan käyttää esimerkiksi lähdön, syötön ja muuntajan suojana. Lisäksi releillä voidaan valvoa verkon käyttöä sekä ohjata katkaisijoita ja erottimia. (Elovaara & Haarla 2011, 344-359.)

4.10 Kiskojärjestelmät

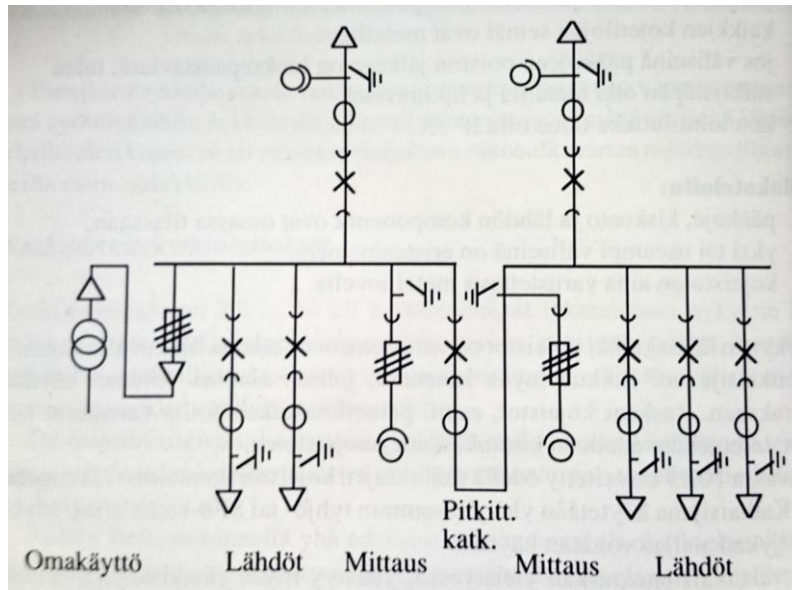
Keskijännitteellä on käytössä pääosin kolmen mallista kiskojärjestelmää, yksikisko-, kaksikisko- ja duplex-järjestelmä. Kiskoa kutsutaan pääkiskoksi, kun sii-

hen on liittynyt katkaisijan kautta ja apukiskoksi, jos liittyminen tapahtuu erottimella. Kiskojärjestelmän tehtävänä on energian jakaminen tarkoituksen mukaisella tavalla. Kiskojärjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa:

- liittyvien johtojen ja muuntajien määrä
- aseman tärkeys jakelun kannalta
- mahdollisuus laajentaa kytkinlaitosta tulevaisuudessa
- laitoksen luotettavuus ja käytettävyys
- tarve huollolle ja korjaustöille
- kuormitusten ryhmittely ja mahdollinen syötönvarmennus
- verkon ja aseman rakennuskustannukset
- mahdollisen keskeytyksen aiheuttamat kustannukset. (Elovaara & Haarla 2011, 102-103.)

4.10.1 Yksikisko

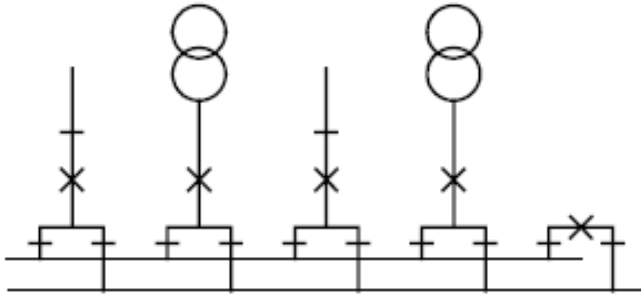
Yksikiskojärjestelmä (kuvio 36) on yksinkertaisin ja selväpiirteisin kiskojärjestelmä. Kiskojärjestelmä on myös hankintakustannuksiltaan edullinen ja suojausautomaattikka on yksinkertainen. Yksikiskojärjestelmässä varmuutta saadaan parannettua kojeiston ollessa kytkettynä suljettuun rengasmalliseen jakeluverkkoon. Tällöin järjestelmän pahimmat puutteet vältetään johtorenkaiden avulla. Kuormitusten ja syöttöjen ryhmittelyä saadaan aikaan käyttämällä kojeistoissa pitkittäiskatkaisijaa tai erotinta. Huono puoli järjestelmässä on, että vika pääkiskossa tai katkaisijassa aiheuttaa käyttökeskeytyksen, joka kestää korjausajan verran. (Elovaara & Haarla 2011, 102-103.)



Kuvio 36. Yksikiskojärjestelmällä toteutettu keskijännitekojeisto. (Aura&Tonteri 1993, 350.)

4.10.2 Kaksikisko

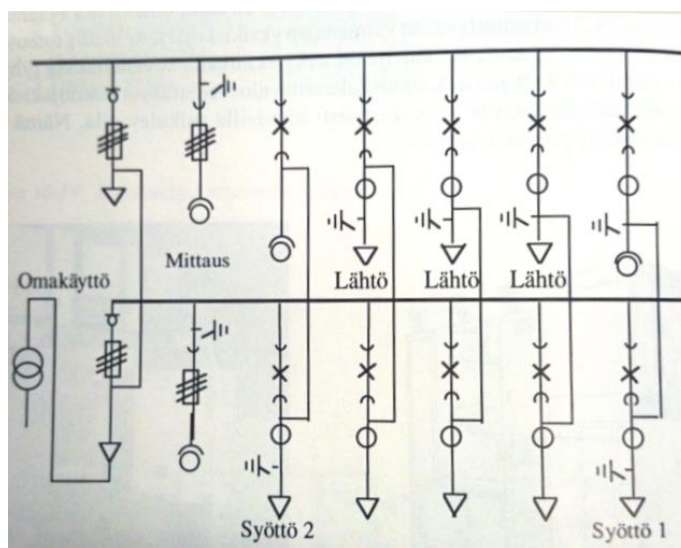
Kiskojärjestelmässä on kaksi kiskoa (kuvio 37), jotka voidaan erottaa vikatilanteessa toisistaan katkaisijalla. Kiskojärjestelmä mahdollistaa muuntajien ja joh-tojen ryhmittymisen muuttamisen käytön aikana. Etuina tässä järjestelmässä on mahdollisuus jakaa käyttö pysyvästi tai tilapäisesti oikosulkutehojen rajoittami- seksi, nykivän kuorman pitäminen erillään muusta kuormasta erisuuruisten syöttöjännitteiden takia tai ukkoskautena käyttövarmuuden parantaminen. Kis- kohuollon ajaksi voidaan toinen kisko tehdä jännitteettömäksi ilman käyttökatko- ja. Huonona puolena on, että katkaisijahuollon ajaksi kenttä joudutaan ottamaan jännitteettömäksi. Katkaisijaa ei myöskään voida ohikytkeä katkaisijahuollon ajaksi. (Elovaara & Haarla 2011, 103-104.)



Kuvio 37. Kaksoiskiskojärjestelmän periaate. (ABB 2000b, 2.)

4.10.3 Duplex-järjestelmä (Kaksoiskatkaisijajärjestelmä)

Duplex-kiskojärjestelmä on kaksoiskatkaisijajärjestelmä (kuvio 38), joka on yleensä toteutettu vaunukatkaisijoilla. Järjestelmää voidaan käyttää joko yhden tai kahden pääkiskon kanssa. Yhden kiskon järjestelmää käytetään harvemmin, sillä saavutettu etu hintaan nähden on varsin pieni. Etuina kahden pääkiskon järjestelmän käytöllä on käytön jakaminen, jolloin haluttu kisko tai katkaisija saadaan jännitteettömäksi huollon ajaksi ilman käyttökatkoa. Lähdöt voidaan kytkeä yhteen toisen kiskon kautta. Lisäksi erottimet eivät ole välttämättömiä vaunukojeistoissa. (Aura & Tonteri 1993, 332-334.)



Kuvio 38. Duplex-järjestelmä vaunukojeistoilla. (Aura & Tonteri 1993, 352.)

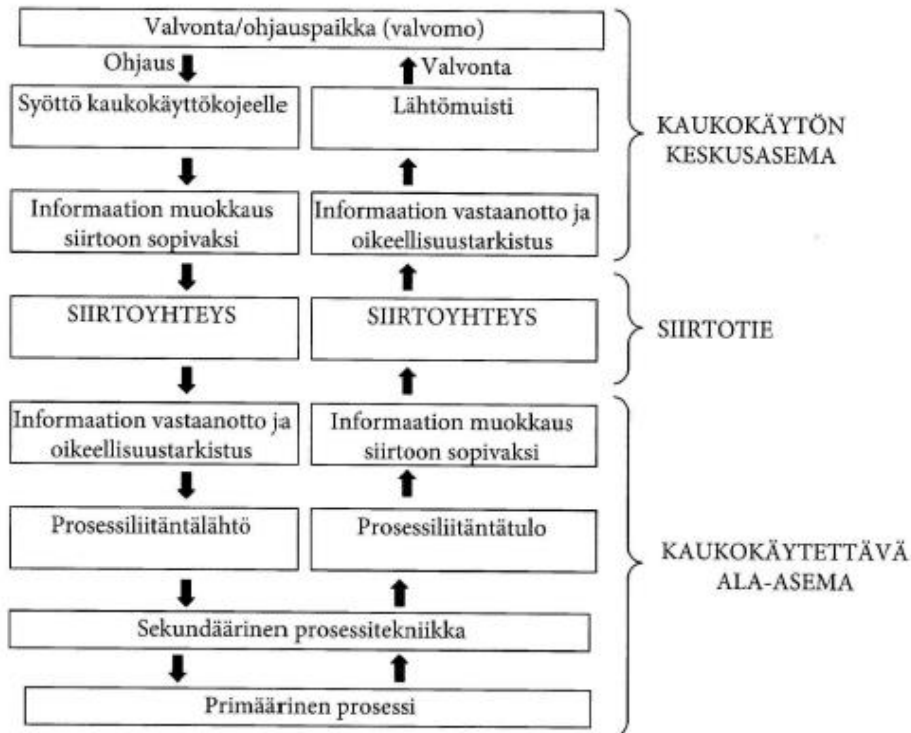
4.11 Asema-automaatio, kaukokäyttö ja valvonta

Verkon käyttö ja valvonta on, alkuaikojen lukuun ottamatta, perustunut suurelta osin kaukomittauksiin ja kauko-ohjauksiin, sekä paikallisautomaation toimenpiteisiin. Sähköasemat ovat Suomessa olleet jo pitkään miehittämättömiä, kauko-ohjattuja ja valvottuja järjestelmiä. Ohjaamalla ja valvomalla verkostoja keskitetysti voidaan parantaa verkon ja sen käytön teknistä laatutasoa, kuten toimitusvarmuutta ja häiriöaikoja sekä säästää henkilöstökuluissa. (Elovaara & Haarla 2011, 385.)

Sähköasema-automaatio (paikallisautomaatio) oli aikaisemmin rakennettu perinteisen tekniikan laitteilla ja relelogiikoilla (hälytyskeskukset, lukitukset ja jännitteensäätäjä). Nykyisellä mikroprosessoritekniikalla on kuitenkin mahdollista lisätä paikallisautomaatiota integroimalla kaukokäyttö, paikallisautomaatio, hälytyskeskukset ja suojaus. (Kunnossapito-koulu 1998, 5.)

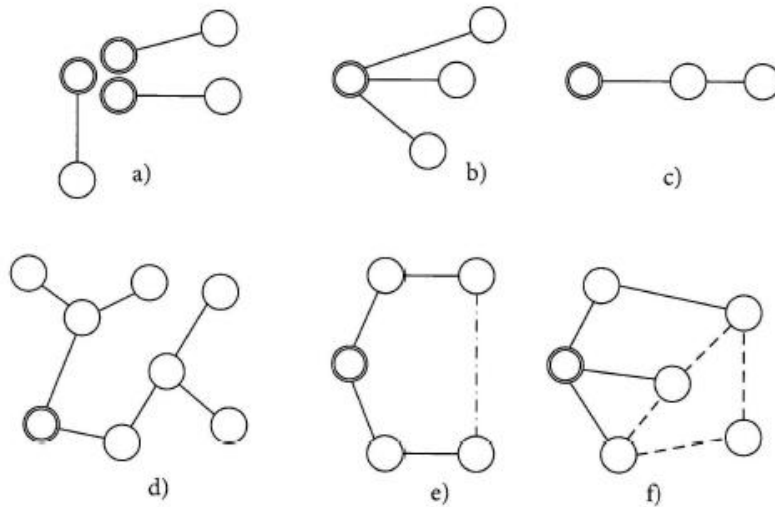
4.11.1 Kaukokäyttö

Kaukokäyttötehtävät voidaan jakaa usealle portaalle, jolloin valvonnasta muodostuu hierarkkinen monitasoinen järjestelmä. Järjestelmään voivat kuulua esimerkiksi keskus- ja aluevalvomo, asemat sekä voimalaitokset. Yleensä kaukokäyttö toteutetaan niin, että se mahdollistaa kaksisuuntaisen tiedonsiirron. Kaukokäyttöjärjestelmän periaate on esitetty kuvion 39 toimintakaaviossa. Valvotusta prosessista saadaan joko on- tai ei-tiedot laitteilta. Tiedot saadaan vastaavina koskevinä viesteinä, analogisina mittauksina tai esikäsiteltyinä tietoina. Kaukokäyttölaitteen sähköaseman liitännässä signaalit muunnetaan kaukokäytön elektroniikalle sopivaan muotoon. Kaukokäyttölaitteessa suoritetaan näytteenotot, signaalien valinnat ja kanavoinnit sekä koodaus ja osoitteenmuodostus. Tämän jälkeen sanoma muunnetaan siirtoon sopivaksi, josta tieto siirretään valvomoon. (Elovaara & Haarla 2011, 392-393.)



Kuvio 39. Kaukokäytön toimintakaavio. (Elovaara & Haarla 2011, 393.)

Kaukokäyttöjärjestelmä voidaan rakentaa piste-piste-, tähti-, linja-, rengas-, silmukka- tai sekaverkoksi (kuvio 40). Rakenteen määrittelevät tiedonsiirtomenetelmät (kaapeli tai langaton yhteys), kaukokäyttö- ja valvomopisteiden sijainti, käytettävissä oleva aika ja tiedonsiirtomäärä, käytettävyys- sekä turvallisuusvaatimukset. Pienissä verkkoyhtiöissä voidaan käyttää tähti-, linja-, ja rengasverkkoja sekä suuremmissa rengas- ja silmukaverkkoa, jotka antavat mahdollisuuden kiertää viallinen yhteys. Piste-pisteverkkoa suositellaan nykyisellään vain langattomien tiedonsiirtoyhteyksillä toteutettuihin ratkaisuihin. (Elovaara & Haarla 2011, 392-393.)



Kuvio 40. Kaukokäyttöjärjestelmän rakennetyyppejä. a) piste-pisteverkko, b) tähtiverkko, c) linjaverkko, d) sekaverkko, e) rengasverkko sekä f) silmukka- verkko. (Elovaara & Haarla 2011, 393.)

Kaukokäyttöjärjestelmä toimii yleensä reaaliajassa, jolloin käyttäjä on jatkuvasti tietoinen prosessin tilasta. Reaaliaikaisessa järjestelmässä myös ohjaukaskäskyn pitää siirtyä nopeasti ja varmasti perille. Tiedonsiirrolle ja ohjelmille on kauko- käytössä asetettava suuret vaatimukset, sillä tiedonsiirron on toimittava luotet- tavasti häiriöllisessä ympäristössä. Ohjausinformaatio sisällyttää sekä ohjaukset että ohjaustoimenpiteen aiheuttavan käskyn. Toimenpiteitä ja käskyjä ovat esi- merkiksi katkaisijan tai erottimen ohjaus ja käämikytkimen asetteluarvot sekä niiden muuttaminen. (Elovaara & Haarla 2011, 392-393.)

4.11.2 IEC 61850-standardi

IEC 61850 on tietoliikennejärjestelmät ja –verkot sähköasemalla -standardi. Standardin kehitystyön tavoite on kehittää maailmanlaajuinen laitevalmistajasta riippumaton tiedonsiirtoprotokolla, joka vapauttaa sähköasemat yhden valmistajan loukusta. IEC 61850- standardi on avoin tiedonsiirtoprotokolla, jonka välityk- sellä eri laitevalmistajien laitteet voivat kommunikoida TCP/IP- verkon kautta ilman protokollamuunninta. Myös IEC 61850-väylään liitetyt kenttälaitteet voivat kommunikoida keskenään, mikä mahdollistaa kenttien välisen lukitustiedon kai- killa väylään liitetyillä suojaareilla, vaikka käytönvalvonnan ala-asema ei olisi

toiminnassa. Tätä kommunikaatiota kutsutaan GOOSE- kommunikaatioksi, joka on niin sanottu horisontaalinen kommunikaatio. (Vaara 2011, 15-18.)

4.11.3 Käytönvalvontajärjestelmä

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) on valvontatekniikka, joka sisältää verkon katkaisijoiden ja erottimien ohjaukset, tapahtumatietojen ja kytkentätilojen hallinnan sekä erilaisia mittauksia sähköaseman kiskostoissa ja johtolähdöissä. Sähköverkon käytönvalvontajärjestelmän tehtävänä on muodostaa mahdollisimman ajantasainen yhteys sähkönjakeluprosessin tärkeimpiin osiin kuten sähköasemiin ja muihin kaukokäyttökohteisiin, joiden tietojen perusteella voidaan valvomosta päin valvoa ja ohjata sähkönjakelua. (ABB 2000c, 1-2.)

Vaatimukset asettavat järjestelmän luotettavalle toimivuudelle tiettyjä ehtoja. Tästä johtuen SCADA tietokonelaitteet ovat kahdennettuja, jolloin toisen koneen vikaantuessa voidaan järjestelmää hoitaa toisella koneella, joka puolestaan mahdollistaa, että tieto järjestelmän tiloista säilyy. Järjestelmän tuleekin toimia etenkin silloin, kun järjestelmä on poikkeustilassa (esimerkiksi sähkökatkojen aikana), jolloin tiedot kytkentälaitteista säilytetään aina. Järjestelmään kytketyt kauko-ohjauksessa olevat erotinasemat ja maastokatkaisijat päivittävät tilatietonsa SCADA-järjestelmään automaattisesti. Käsiohjattujen laitteiden tilatiedot joudutaan kuitenkin syöttämään järjestelmään manuaalisesti. (Elovaara & Haarla 2011, 392-421.)

5 TEHOMUUNTAJAT

5.1 Päämuuntaja 110/20 kV

Muuntaja on sähkölaite, joka vaihtosähköjärjestelmässä muuntaa ja säätää jännitettä sekä rajoittaa oikosulkutehoa. Muuntajan toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Kolmivaihemuuntaja muuttaa jännitteen vaihekulmaa vakiomäärällä, joka riippuu käämien kytkennästä. Kolmivaihemuuntajan tietyt käämit voidaan kytkeä tähteen (Y,y,star) tai kolmioon (D,d,delta). Jakelujännitteellä käytetään yleisesti myös hakatähtikytkentää (Z,z,zigzag). Edellä mainitut isot kirjaimet tarkoittavat ylijännitekäämiä ja pienet muita käämejä. Ylä- ja alajännitteen välinen vaihesiirto esitetään tunnusluvulla kellotaulun lukujen mukaan, yksi tunti tarkoittaa 30° vaihekulmaeroa. Muuntajia voidaan käyttää rinnakkain, mutta silloin on varmistettava, ettei yksikään rinnankytketyistä muuntajista ylikuormitu. Muuntaja valitaan kuormitustehoaan pykälän verran suuremmaksi, jotta kulutukselle jäisi kasvuvaraa. Muuntajat mitoitetaan IEC- standardin mukaan niin, että mitoituskuormalla ajo 20 °C lämpötilassa on normaalia käyttöä, eikä aiheuta eristeiden ennen aikaista vanhenemista. Vuotojen estämiseksi öljyjäähdytteisissä muuntajissa sydän ja rautaosat on suljettu hitsaamalla koottuun öljytäyteiseen terässäiliöön. Öljymäärää säätelemällä jäähdytetään muuntajaa. Jäähdytystehoa voidaan lisätä kierrättämällä öljyä luonnollisella tai tehostetulla kierrolla lauhduttimen kautta. Kolmas tapa toimii kierrättämällä öljy luonnollisesti tuulettimella tehostettuun lauhduttimeen. (Elovaara & Haarla 2011, 141-152.)

5.2 Omakäyttömuuntaja 20/0,4 kV

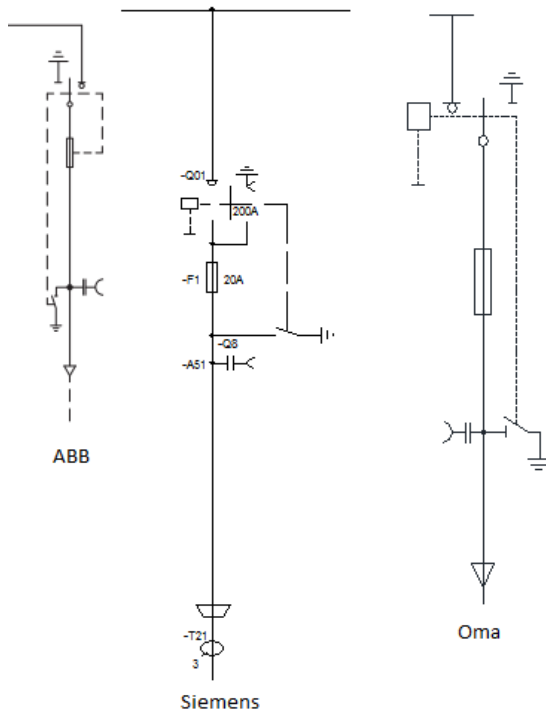
Asemalla on yleensä omassa erillisessä tilassaan (kennossaan) omakäyttömuuntaja, jonka tehtävänä on syöttää omakäyttökeskusta. Sähköaseman omakäyttömuuntajina käytetään tavallisia 20/0,4 kV:n jakelumuuntajia. Uusilla asemilla omakäyttömuuntajina käytetään kuivamuuntajia. Niiden etuna perinteisiin öljymuuntajiin verrattuna ovat pienempi palokuorma ja huoltotarve. Muuntaja

voidaan sijoittaa asemalla omaan kennoonsa tai vaihtoehtoisesti ulos. Muuntajan teho vaihtelee omakäyttötehon mukaan keskimäärin välillä 100-315 kVA.

6 CAD-SUUNNITTELU

6.1 Piirrosmerkinnät

Keskijännitteen jakelukennoista piirrettiin AutoCAD-ohjelmaan omat piirrosmerkit, peruskennoista ilman lisävarusteita, jonka jälkeen lisävarusteet lisättiin erikseen omiksi piirrosmerkeiksi. Piirrosmerkit tehtiin sekä kiinteille kojeistoille että vaunukatkaisijoille. Merkit pyrittiin piirtämään valmistajista riippumatta yhdenmukaisiksi, sillä kennokojeistojen piirrosmerkit poikkeavat jonkin verran toisistaan valmistajakohtaisesti. Kojesteojen piirtämisessä pyrittiin piirtämään vakiovarustettujen kennojen piirrosmerkit sellaisiksi, että niihin on mahdollista lisätä lisävarusteet ilman ylimääräisiä muokkaamisia. Kuviossa 41 on esimerkki siitä, miten Siemensin ja ABB:n kolmiasentoisen varokeuorman erottimien piirrosesitykset poikkeavat toisistaan. Kuviossa on esitetty myös varokeuormanerottimien piirrosmerkinnät molemmilta valmistajilta, sekä itse piirretty piirrosmerkki, johon on mahdollista lisätä jälkepäin tarvittavat mittamuuntajat ja jousien moottoriviritys.



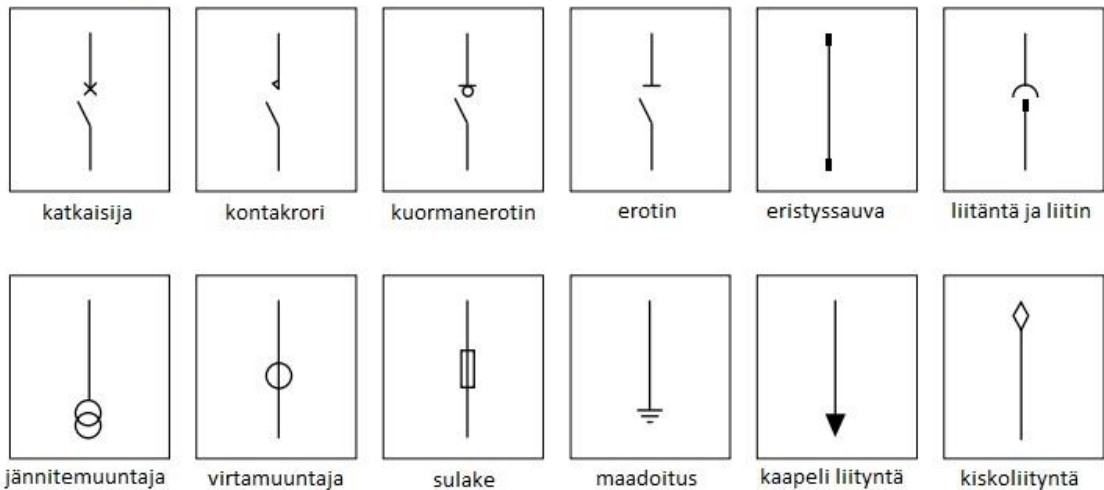
Kuvio 41. Varokeuormanerottimet eri piirrostavoilla.

Muillakin valmistajilla on hieman poikkeavia piirrosmerkkejä ja tapa piirtää kojeistojen CAD-kuvia. Oulun Energian kojeistojen CAD-kuvia tutkiessa huomaa myös suunnittelijoiden välisiä piirrostapaeroja. Kuviossa 42 on esitetty yleisimmin käytetyt piirrosmerkit keskijännitekojeistojen kenoissa.

Kiskosovellukset



Graafiset symbolit

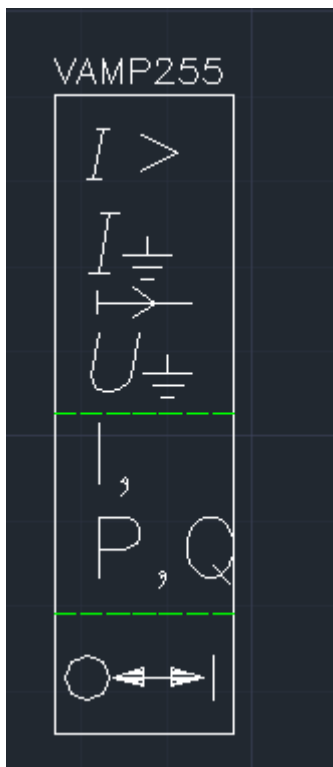


Kuvio 42. Keskijännitekojeiston pääkaaviossa käytettävät symbolit. (ABB 2013, 59.)

Kojeistojen piirtoon on valmistajilla myös omia ohjelmistoja, joita voidaan kääntää AutoCAD-ohjelmalle soveltuvaan dwg- tai dxf-muotoon. Siemensillä on olemassa prefix-ohjelma, jolla saadaan nopeasti piirrettyä kojeiston pääkaaviokuvat sekä layout-kuvat sähköasemille. Esimerkiksi Siemensin prefix-kuviin on vaikea lisätä Vamp/ABB suojarleitä, jolloin kuvat muutetaan esimerkiksi AutoCAD:ille sopivampaan formaattiin ja muokataan sitten valmiiksi pääkaavioksi.

6.2 Pääkaavio

Pääkaavion tarkoituksena on esittää kojeiston periaatteellinen järjestely sekä pääpiirien osat ja niihin liittyvät laitteet. Pääkaavio on päävirtapiirien yksiviivainen esitystapa, josta ilmenee kaikki niihin kuuluvat kojeet, kiskotot, johdot ja apuvälineet (mittarit ja releet) sekä jännite- ja virta-arvot. Keskijännitekojeiston pääkaaviossa näkyvät aseman kennojen sisältämät kojeistot sekä omakäyttömuuntaja. Pääkaavioon on yleensä piirretty myös käytettävä suojarеле sekä sen suojaus- ja mittaustoiminnot kuten kuviossa 43 on tehty.



Kuvio 43. Kennotermiinaali sekä sen suojaus- ja mittaustoiminnot.

6.3 Piirikaavio

Piirikaaviosta tulee käydä ilmi piirin laitteen ohjaukset, lukitukset ja hälytykset sekä kaikki muu piirin toimintaan olennaisesti liittyvä. Piirikaavion tulee antaa lukijalleen selkeä käsitys laitteen toiminnasta komponenttitasolla. Piirikaaviosta tulee selvittää laitteiden riviliittimien ja komponenttien väliset kytkennät. Piirikaaviot piirretään yleensä kennokohtaisesti, joitain poikkeuksia kuitenkin on. Esimer-

kiksi kiertokaapeloinnit voidaan joskus piirtää omana kuvanaan koko kennostosta.

6.4 Muut suunnitteluun liittyvät dokumentit

Sähköasemien piirustuksia ja dokumentteja ovat pää- ja piirikaavion lisäksi johdotustaulukko ja -kaavio, valaisin-, tarvike- ja kaapeliluettelo sekä layout. Johdotustaulukko sekä valaisin-, tarvike- ja kaapeliluettelo luodaan muokattavuuden takia Oulun Energialla yleensä Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.

7 OMAKÄYTTÖJÄRJESTELMÄ

Omakäyttöjärjestelmät voidaan jakaa kahteen osaan; vaihto- ja tasasähköjärjestelmään. Omakäyttöjärjestelmiin kuuluvat kaikki aseman sähköistykset omakäyttömuuntajasta aina suojajärjestelmiin. Omakäyttöjärjestelmä on turvallisen toiminnan kannalta välttämätön sähköasemalla, jossa halutaan varmistaa turvallinen ja varmennettu toiminta. Omakäyttöjärjestelmän vikaantuminen voi laimauttaa aseman sähköjakelun ja johtaa pahimmassa tapauksessa aseman tuhoutumiseen sekä aiheuttaa hengenvaaran.

Omakäyttöjärjestelmä toteutetaan yleensä tavalla, jossa keskijännitekojeiston omakäyttökenno syöttää omakäyttömuuntajaa, joka puolestaan syöttää omakäyttökeskusta. Omakäyttökenno on yleensä kuormanerotinkkenno. Omakäyttökojeistoon tulee omasyöttö aseman kiskostosta ja varmuuden vuoksi myös varasyöttö toiselta asemalta. Omakäyttökojeistot ovat nykyään myös kauko-ohjattuja käyttövarmuuden parantamiseksi.

7.1 Omakäyttökeskus

Omakäyttökeskus (OKK) voi olla normaali mittaus- tai ryhmäkeskus. Omakäyttökeskuksen tehtävänä on syöttää aseman omakäyttökuormaa, kuten valaistusta, lämmitystä, pistorasioita ja tasasähkökeskuksen tasasuuntaajia. Omakäyttökeskukselle on myös mahdollista rakentaa 0,4 kV:n varasyöttö sähköaseman ulkopuolelta, jolloin omakäyttömuuntajan vaurioituessa tai huollon aikana saadaan turvattua sähkön saanti.

7.2 Tasasähkökeskus

Tasasähköjärjestelmään kuuluu aseman suojajärjestelmän ja kaukokäytön komponentteja ja laitteita. Tasasähköjärjestelmä on elintärkeä ja sen on toimitettava vuorokauden ympäri aseman suojausten toiminnan varmistamiseksi. Sähköaseman tasasähköjärjestelmän pettäminen tekee asemasta hengenvaaralli-

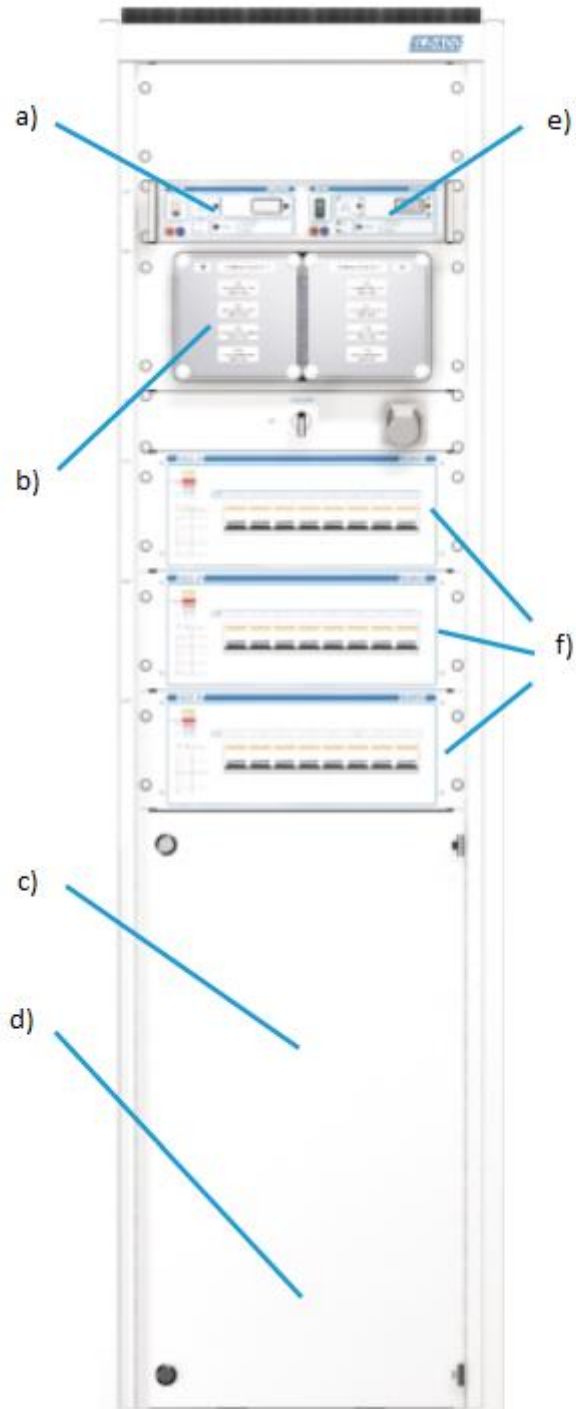
sen, jolloin riski suurille tuhoille kasvaa. Tasasähkökeskus saa syöttönsä keskuksen tasasuuntaajasta tai häiriötilanteessa akustosta. (Niemelä 2010, 52.)

7.3 Jännitetasot

Sähköasemien tasasähköjärjestelmien nimellisjännitteinä käytetään tavallisesti 24 VDC, 48 VDC, 60 VDC, 110 VDC ja 220 VDC. 24 VDC ja 48 VDC ovat käytössä lähinnä kaukokäyttöjen apujännitteinä automaatio- ja hälytysjärjestelmissä. Alemmat jännitteet saadaan sähköasemilla aikaan käyttämällä tasasähkökeskukseen sijoitettavaa DC/DC-muunninta, joka muuntaa jännitteen 110 V alemmille tasoille. Varsinaisesti suojauksessa ja ohjauksessa on käytetty 60 V, 110 V ja 220 V jännitteitä. Uusissa ja saneeratuissa sähköasemissa vanhat 60 V järjestelmät on korvattu 110 V järjestelmällä. 220 V järjestelmää käytetään pääasiassa suurimmilla sähköasemilla, joissa ohjausenergian tarve on suuri ja etäisyydet pitkiä. 110/20 kV asemilla etäisyydet ja energiat ovat yleensä varsin pieniä, joten 110 V riittää hyvin näille asemille. (Niemelä 2010, 53; Halme, Paavola 1979, 149.)

7.4 Tasasähkökeskuksen rakenne

Nykyiset tasasähkökeskukset rakennetaan kokonaisuuksiksi, jotka sisältävät yhden tai kaksi hakkuritasasuuntaajaa, akkuvalvonnan, akkukeskuksen, hälytykset, DC/DC muuntimen (lisävaruste), kytkinvarokkeet, katkaisijan mahdolliselle rinnankäytölle (lisävaruste) sekä akuston. Vakiokeskuksen rakenne on esitetty kuviossa 42. 110 VDC akusto rakentuu yleensä yhdeksästä kappaleesta 12 V akkuja, jotka on kytketty sarjaan. Vastaavasti 220 VDC akusto tarvitsee 18 akkua sarjaan kytkettynä. (Eldaco 2004, 1-4.)



Kuvio 44. Esimerkki Eldaco TU-S tasasähkökeskuksesta a) hakkurivaraaja b) akkuvaroketila c) liitântätila d) akkutila e) valvontayksikkö f) varoketilat 8kpl rivissä. (Eldaco 2004, 4.)

7.5 Suojaus

Apusähköjärjestelmä on merkittävä osa sähköaseman suojaus- ja ohjausjärjestelmää. Järjestelmän edellytyksenä on erityisesti apusähkön käytettävyys, sillä sen puuttuessa suojaukset eivät toimi. Tästä syystä apusähköjärjestelmää on suojattava ja valvottava huolellisesti. Lisäksi edellytetään tietyin osin varmenusta ja varajärjestelmää. Järjestelmään liitettävät laitteet jaotellaan sopiviksi kokonaisuuksiksi, esimerkiksi suurjännitekenttää tai ohjaus- ja hälytystaulua syöttäviin ryhmiin, jotka kukin muodostavat oikosulkusuojauksen alimman portaan. Ylemmissä portaissa on oikosulkusuojina käytettävä kytkinvarokkeita, jos sarjassa olevat johdonsuojakatkaisijat eivät ole keskenään selektiivisiä. Oikosulkusuojan on kyettävä katkaisemaan suurin ja pienin mahdollinen oikosulkuvirta, sen omalla tai seuraavalla suojaportaalla, jonka varasuojana se myös toimii. Oikosulkusuojan toimiessa on siitä saatava hälytystieto, joka voidaan toteuttaa johdonsuojakatkaisijan apukoskettimella. Hälytyspiirin jännite otetaan joko toisesta apujännitelähteestä tai oikosulkusuojien syöttöpuolelta, jolloin apujännite ei häviä suojan toimiessa. (Mörsky 1993, 459.)

7.6 Mitoitukset

Tässä osiossa käsitellään tasasähköjärjestelmän mitoitukseen liittyviä asioita, kuten järjestelmän kuormitusta, jännitteenalenemaa, johdon maksimipituutta, oikosulkuvirtaa, käytettävän kaapelin poikkipinta-alaa ja sulakekokoa. Järjestelmää kuormittavat kennotermiinaalit, viritysmoottorit, siirtomoottorit ja lukitusmagneetit. Taulukossa 3 on esitetty edellä mainittujen laitteistojen aiheuttamat kuormitukset tasasähköjärjestelmään. Käytetyt arvot on arvioitu tarkoituksella hieman yläkanttiin.

Taulukko 3. Komponenttien tehot

Komponentti	Teho (W)
Katkaisijan viritysmoottori	200
Katkaisijan siirtomoottori	200
Lukitusmagneetti	10
Kennoterminaali	25

Kuormitusta arvioidessa tulee ottaa huomioon, etteivät kuormitukset rasita järjestelmää yhtäaikaisesti. Esimerkiksi suurimmat kuormituksen aiheuttajat, siirto- ja viritysmoottorit, eivät voi toimia yhtäaikaisesti. Harvemmin myöskään kaikki viritys- tai siirtomoottorit toimivat yhtäaikaisesti. Esimerkissä otetaan huomioon, että viisi viritysmoottoria toimii yhtäaikaisesti eikä yksikään siirtomoottori ole toiminnassa. Taulukossa 4 on esitetty esimerkki kuormitusta muodostavista laitteista sekä niiden yhteenlaskettu teho.

Taulukko 4. Laitteiston suurin mahdollinen teoreettinen kuormitus.

Komponentti	Teho (W)	Määrä (kpl)	Teho (W)
Katkaisijan viritysmoottori	200	5	1000
Katkaisijan siirtomoottori	200	0	0
Lukitusmagneetti	10	5	50
Kennoterminaali	25	5	125
Yhteensä			1175

Taulukon kokonaistehon avulla voidaan laskea järjestelmän kuormitusvirta kaavalla 1.

$$I = \frac{P}{U} \quad (1)$$

missä

I on virta (A)

P on teho (W)

U on jännite (V)

Lasketaan virta taulukon 4 tehon arvojen perusteella jännitteellä 110 V käyttäen kaavaa 1.

$$I = \frac{1175}{110} = 10,68 \text{ A}$$

Tämän perusteella voidaan varaajaksi mitoittaa nimellisvirraltaan 10 A varaaja, sillä varaaja sallii lyhytaikaisen kuormituspiikin. Suuremmilla kuormilla varaajia on mahdollista kytkeä rinnan, jolloin varaajista saadaan suurempi teho. Varaajia on yleensä kaksi varmuuden ja turvallisuuden takaamiseksi, jolloin 10 A varaaja riittää varmasti ja kykenee toimimaan myös toisen varaajan vaurioituttua.

Jännitteenaleneman tarkastelussa esimerkkilähdön johdin syöttää kojeiston katkaisijoiden viritysmoottoreita. Lähtö toteutetaan 20 A johdonsuojakatkaisijalta ja ketjutetaan katkaisijoiden viritysmoottoreille. Viritysmoottorit on varustettu kukin omilla 2 A oikosulkusuojilla selektiivisyyden varmistamiseksi. Kuormaksi valittiin seitsemän yhtäaikaista viritysmoottorin toimintaa, jolloin kuormitukseksi muodostuu 1400 W. Laskuissa matka on 50 m ja johtimien poikkipinta-ala 6 mm². Laskuissa ei huomioida ketjutuksessa tapahtuvaa kuorman pienenemistä johtimen ääripäätä lähestyttäessä. Jännitteenalenema lasketaan alla olevalla kaavalla 2.

$$\Delta u = 200 * \frac{\rho * P * S}{A * U_v^2} \quad (2)$$

missä

Δu on jännitteenalenema (%)

ρ on johtimen resistiivisyys ($\Omega \text{mm}^2 / \text{m}$)

P on kuormituksen teho (kW)

s on kuormituksen etäisyys (km)

A on johtimen poikkipinta – ala (mm²)

U_v on jännite (kV)

Suurin sallittu jännitteen alenema on 5 % (SFS 6000-525 mukaan vuonna 2012) ja kuparijohtimen resistiivisyys $0,021 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ (alumiinilla $0,33 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$). Joten esimerkki voidaan laskea seuraavasti:

$$\Delta u = 200 * \frac{0,021 * 1,4 * 0,05}{6 * 0,11^2} = 4,049\%$$

Jännitteenalenema on esimerkkitapauksen 6mm^2 johtimella alle 5 %, joka on riittävä. Tästä voidaan kuitenkin päätellä, että maksimipituus on 60 m luokkaa. Johtimen maksimipituus voidaan laskea kaavalla 3.

$$s = \frac{A * \Delta u * U_v^2}{200 * P * \rho} \quad (3)$$

missä

Δu on suurin mahdollinen jännitteenalenema (%)

ρ on johtimen resistiivisyys ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)

P on kuormituksen teho (kW)

s on kuormituksen etäisyys (km)

A on johtimen poikkipinta – ala (mm^2)

U_v on jännite (kV)

Maksimijohdinpituuden havainnollistamiseksi lasketaan maksimipituus samoilla arvoilla kun prosentuaalista alenemaa laskiessa, korvataan 6mm^2 johdin kuitenkin 10mm^2 johtimella ja sijoitetaan 5 % suurimpaan mahdolliseen jännitteenalenemaan. Lasketaan maksimijohdinpituus kaavaa 3 käyttämällä.

$$s = \frac{10 * 5 * 0,11^2}{200 * 1,4 * 0,021} = 102,89\text{m}$$

Huomataan, että 10mm^2 kaapelia käyttämällä saadaan johdinpituutta kasvatettua yli 100 metrin, jolloin sallitaan aleneman kasvattaminen 0,005 % jokaista 100 metrin ylittävää metriä kohden. Tätä ei kuitenkaan huomioida tässä työssä, sillä sallitun pituuden kasvu on todellisuudessa vain 40 cm luokkaa. Esimerkiksi edellisessä esimerkissä johdon ylimenevä osuus on 2 metriä, jolloin sallittu jän-

nitteenalenema on 5,01 %. Käyttämällä kaavaa 3 saadaan tulokseksi 103,09 metriä, minkä ansiosta voidaan kasvattaa sallittua jännitteenalenemaa jälleen 0,005 %. ja käyttämällä kaavaa 3 saadaan suurimmaksi sallituksi johdinpituudeksi 103,19 metriä.

Akuston oikosulkuvirtaa laskettaessa katsotaan akuston tiedoista ilmoitettu oikosulkuvirta. Liitteessä 1 olevassa akussa (Vb 12146) on ilmoitettu oikosulkuvirta ja sisäinen resistanssi, joten oikosulkuvirtaa ei käytännössä tarvitse laskea. Oikosulkuvirta voidaan kuitenkin laskea sisäisen resistanssin perusteella, jos oikosulkuvirtaa ei ilmoiteta kaavalla 4.

$$I = \frac{U}{R} \quad (4)$$

missä

I on virta (A)

R on akun sisäinen resistanssi (Ω)

U on jännite (V)

Akuston sisäinen resistanssi kasvaa, kun akut kytketään sarjaan, mutta samalla kasvaa myös jännite, joten oikosulkuvirta pysyy käytännössä samana. Akkujen välinen kytkentä muodostaa jonkin verran resistanssia, mutta sitä ei tässä työssä oteta huomioon. Tämän jälkeen voidaan laskea liitteessä 1 esiintyvän akun oikosulkuvirran perusteella tasasähkökeskuksen akustoon (110 V) liitettävän 1,5 mm² johtimen päässä oleva oikosulkuvirta 30 m päässä kaavalla 5.

$$I_k = \left(\frac{I_{k \text{ akusto}}}{U} + R * l * 2 \right) * U * c \quad (5)$$

missä:

I_k on oikosulkuvirta johdon päässä (A)

$I_{k \text{ akusto}}$ on akuston oikosulkuvirta (A)

U = jännite (V)

R = johtimen resistanssi $\left(\frac{\Omega}{km} \right)$

l = johtimen pituus (km)

c = korjauskerroin (0,95)

Akuston oikosulkuvirta on esimerkissä 2930 A, jännite 110 VDC ja johtimen resistanssi 14,62 Ω/km. Korjauskerroin ottaa huomioon jännitteiden aleneman johdossa ja liitoksissa.

$$I_k = \left(\frac{2930A}{110V} + 14,62\Omega/km * 0,3km * 2 \right) * 110V * 0,95 = 118,3 A$$

Tällä 118,3 A oikosulkuvirralla voidaan suojauksessa käyttää 10 A tai 6 A C-tyypin johdonsuojakatkaisijaa, jolloin automaattisen poiskytkennän suojaehdot täyttyvät. Johdon kuormitettavuuden perusteella sulaketta valittaessa tulee ottaa huomioon korjauskertoimet. 1,5 mm² johdolle sallittu kuormitus asennustavalle A on 14 A kolmelle johtimelle, joten tasavirralla 10 A C-tyypin johdonsuojakatkaisijaa voi käyttää aina korjauskertoimelle 0,8 asti (kuvio 45). Tosin yleensä asemilla johdot asennetaan asennustavalla C, jolloin korjauskertoimelle 0,6 asti voidaan suojauksessa käyttää 10 A C-tyypin johdonsuojakatkaisijaa, mikäli laitteen aiheuttama kuormitusvirta ei ole suurempi kuin sulakkeen nimellisvirta. Tasavirralla myöskään kuormitusvaatimukset eivät ole samoja kun vaihtovirralla, joten mitoituksessa käytetään hyväksi kolmen kuormitetun johtimen arvoa, jolloin suojaus toimii varmasti.

Johtimen nimellinen poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa						
	A		B		C		D
	kolme kuormitettu a johdinta	kaksi kuormitettu a johdinta	kolme kuormitettu a johdinta	kaksi kuormitettu a johdinta	kolme kuormitettua johdinta	kaksi kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta
1	2	3	4	5	6	7	8
Kupari							
1,5	14	15	16	17,5	18,5	20	26
2,5	19	20	21	24	25	29	35
4	24	27	29	32	34	38	46
6	31	34	36	40	43	49	57
10	41	46	49	55	60	67	77
16	55	60	66	73	80	90	100
25	72	79	85	95	102	119	130
35	88	97	105	118	126	146	160

Kuvio 45. Esimerkkejä johtimien kuormittamisesta. (SFS 2012, 246.)

Mitoituksissa tulee huomioida monia asioita ja mitoituksia voi tehdä monella tapaa. Työhön liittyen suurin tarkastelu mitoitusten suhteen tehtiin jännitteenalanellemalle ja tasavirtakeskuksen oikosulkusuojaukselle. Jännitteenalene-
masta tehtiin OEU:n käyttöön laskentataulukko, johon tarvittavia arvoja vaihta-
malla saadaan maksimipituudet kätevästi esille (kuvio 46).

Jännite	0,11	kV	Jännite	0,22	kV
Teho kW	1,4	kW	Teho kW	1	kW
Poikkipinta-ala	10	mm ²	Poikkipinta-ala	2,5	mm ²
Johdon resistiivisyys	0,021	Ω mm ² /m	Johdon resistiivisyys	0,021	Ω mm ² /m
Salliittu jännitehäviö	5	%	Salliittu jännitehäviö	4	%
Maksimi johtopituus	102,89	m	Maksimi johtopituus	115,24	m

Kuvio 46. Johdon maksimipituuden laskentaan soveltuva taulukko.

8 KOJEISTON TUOTTEISTAMINEN

Kojeiston tuotteistamisessa pyritään sähköasemilla käytettävät kokonaisuudet tuotteistamaan laskennan nopeuttamiseksi. Tuotteistamisvaiheessa kootaan sähköaseman eri osa-alueet kokonaisuuksiksi, joita voi tarjouskohtaisesti muuttaa asiakkaan vaatimuksia vastaaviksi. Tarkoituksena on laatia tuotteet aseman perustamisesta, kojeistosta, tasasähkökeskuksesta, aseman omakäytöstä sekä ohjaustaulusta ja siihen liittyvistä laitteista.

8.1 Broker Estimate

Broker Estimate on Mercus Ltd:n ohjelmisto tarjouslaskentaan. Broker Estimate-ohjelma asennetaan jokaiselle koneelle yksittäisenä ohjelmana. Ohjelman käyttöliittymä hyödyntää paljon niin sanottua puurakennetta, joka tekee käytöstä sujuvampaa. Ohjelman hakutoiminto on erittäin yksinkertainen eikä sanajärjestyksellä ei ole väliä. Ainoa hankaluuksia tuottava asia on se, että käyttäjän tulee kuitenkin aina valita oikea tiedostojuuri, mistä tuotetta etsii.

8.2 Tuoterakenteet

Sähköaseman eri osista rakennettiin tuotteet ohjelmaan, joista tuotteet jaettiin seuraaviin pääryhmiin; aseman perustaminen, omakäyttösähkö 400 VAC, tasasähkön jakelu, keskijännitekojeisto, hälytys ja ohjaus. Näiden pääryhmien alle tullaan tekemään pienempiä tuotekokonaisuuksia varioinnin helpottamiseksi. Tuotteiden kokoamisessa hyödynnettiin ohjelmasta löytyviä sähkönumeroita ja Oulun Energian työnimikkeitä mahdollisimman paljon. Ohjelmaan jouduttiin myös lisäämään keskijännitekojeistojen kennoille ja releille määritellyt tuotenumerot sekä muutama muu tuote, jota ei ohjelmasta valmiina löytynyt. Keskijännitekojeiston alle tuotettiin laskennan selkeyttämistä varten tuotteita, joita olivat esimerkiksi kuormanerotinkenno, katkaisijakenno syöttökennona, katkaisijakenno lähtökennona, mittauskenno ja kiskomaadoituskenno. Sähköaseman suunnittelu ja koestukset laskettiin omiksi tuotteiksi, koska ne on helpompi arvioida

kokonaisuuden mukaan. Muissa tuotteissa laitteet, tarvikkeet ja työt kuuluvat yhden tuotteen alle.

8.3 Tuotteistaminen

Urakkatarjouksen tuote muodostuu yleisesti tarvikekustannuksista, työkustannuksista ja urakkakohtaisista erilliskustannuksista. Esimerkkinä omakäyttösähkö 400 VAC- päätuoteryhmä ja sen alla olevat pienemmät tuoteryhmät. Päätuoteryhmän alle rakennettiin seuraavat tuoteryhmät:

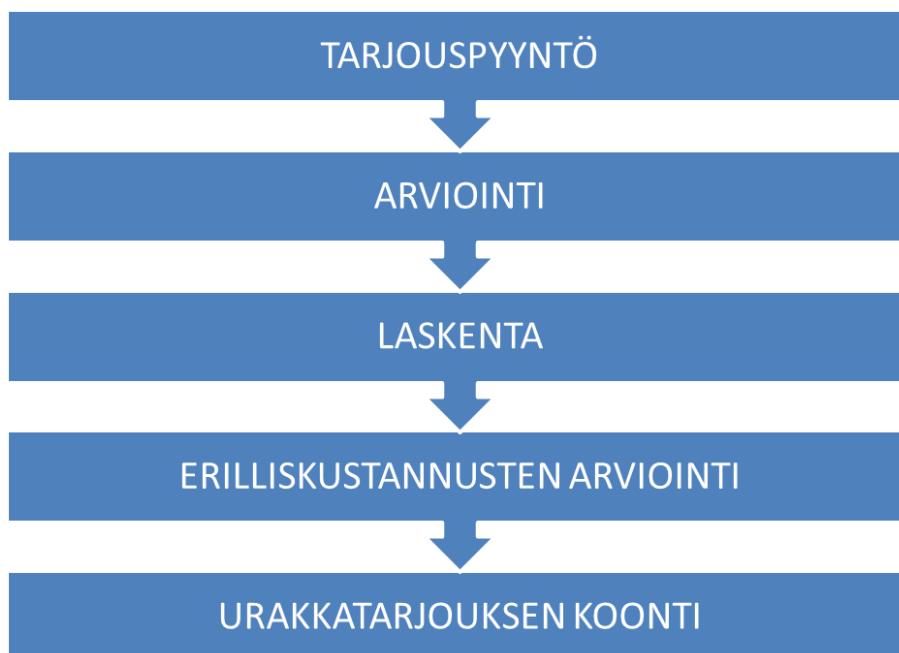
- kaapelitiet
- lämmittimet
- valaisimet
- sähkötarvikkeet
- omakäyttökeskus
- omakäyttömuuntaja
- kaapelit
- pientarvikkeet
- muut työntekijäkulut

Pienemmät tuoteryhmät sisältävät tarjouspyynnössä vaadittavat laitteet arvioitune asennusaikoihin. Kaapelitiet -tuotepaketti sisältää tarvittavat hyllyt, kourut, kiinnikkeet, jatkot ja arvioidun työmäärän. Lämmitysryhmä -tuotepakettiin kuuluvat esimerkiksi ilmalämpöpumppu, säteilylämmittimet, kiinnikkeet, termostaatin, kanavapuhaltimen, tyristorisäätimen ja näiden asennukseen käytettävän työmäärän. Kaapeliteiden, Lämmittimien, valaisimien ja sähkötarvikkeiden arvioidun kuorman perusteella voidaan mitoittaa tarvittava omakäyttökeskus, kaapelit ja omakäyttömuuntaja. Lopuksi on hyvä arvioida tarvittavat pientarvikkeet, kuten johdinsiteet, kaapelimerkinnät ja kiinnitysruuvit. Muille pientuotteille kannattaa myös arvioida hinta, jolloin vältetään yllättäviltä menoilta. Muihin työnteki-

jäkuluihin kuuluvat majoitukset, kilometrikorvaus, päiväraha sekä lisät. Katteet voidaan tarjouslaskentaohjelmassa tarvittaessa määrittellä joko halutuille tuotteille tai koko urakalle.

8.4 Tarjouslaskenta

Tarjouslaskenta voidaan tulkita prosessina, jossa samat vaiheet toistuvat jokaisen urakkalaskennan kohdalla. Tarjous muodostuu yleisesti tarvikekustannuksista, työkustannuksista, erilliskustannuksista sekä yrityksen tavoitteellisesta katteesta. Tarjouslaskenta suoritetaan pääpiirteittäin kuvion 47 mukaan. Tarjouslaskenta alkaa tarjouspyynnöstä. Seuraavina vaiheina ovat tarjouspyynnön arviointi, kustannusten laskeminen ja erilliskustannusten määrittely. Tarjouslaskenta päättyy urakkatarjouksen koontiin.



Kuvio 47. Laskentaprosessin kuvaus.

Tarjouspyynnön ja sen asiakirjojen perusteella voidaan urakkakohteen kustannukset laskea ja hinnoitella. Lopullinen urakkatarjous, joka lähetetään tilaajalle, sisältää myös katteet. Urakkatarjous astuu voimaan saavuttuaan tilaajalla ennen tarjouksen jättämisen takarajan umpeutumista.

9 SMART GRID -ÄLYVERKKO

Euroopan Unioni on käynnistänyt ilmastonmuutoksen vastustamiseksi niin sanotun Smart Grid-älyverkkohankkeen, jonka avulla voidaan ohjata ja tarkkailla kuluttajien sähkön käyttöä ja tuotantoa. Tarkoituksena on myös hyödyntää nykyisen siirtoverkon kapasiteettia paremmin sekä mahdollistaa kuluttajalle tarkempaa tietoa sähkön käytöstä. Suomessa älykäs sähköverkko koostuu nykyisellään kolmesta osa-alueesta; siirtoverkosta, sähköyhtiöiden tieto- ja viestintäteknologiasta ja etäluettavista älykkäistä sähkömittareista. Vanhassa siirtoverkossa energia virtaa pääsääntöisesti sähkölaitokselta kuluttajalle. Uudenlaisella älyverkolla on mahdollista toteuttaa kaksisuuntainen energiansiirto, mikä helpottaa tuotannon hajauttamista. Näin ollen kuluttajat voivat tuottaa sähkönsä ja myydä ylijäämän sähköyhtiölle, joka myy sen jälleen eteenpäin. (Energiateollisuus 2015b; Elovaara & Haarla 2011, 508-515.)

Tieto- ja viestiliikenne sähköyhtiön ja kuluttajan välillä mahdollistaa kuluttajan sähkön käytön edullisempaan aikaan. Edullisin aika on silloin, kun sähköverkossa on ylitarjontaa. Kuluttajan käyttäessä sähköä edulliseen aikaan vapautuu tuotantoresursseja, mikä puolestaan tasaa hinnan vaihteluita. Parhaiten kuluttaja voi säästää sähkön hinnassa käyttämällä suuria kuormituksia, kuten kiuasta, liettä, lämmitystä ja sähköauton latausta aikana, jolloin tuotannossa on ylitarjontaa. Tämä on välttämätöntä, jos halutaan hyödyntää vaikeasti ennustettavia tuuli- ja aurinkosähkön tuotantomuotoja. Älyverkko on vasta kehittymässä eikä sen täyttä potentiaalia ole vielä pystytty täysin hyödyntämään. Ensimmäiset etäluettavat mittarit asennettiin jo vuonna 2006, mutta ne alkavat olla tiensä päässä. Sähköverkon uudistamisella tavoitellaan tällä hetkellä säästöjä sekä ympäristöystävällisempää verkkoa ja sähkön tuotantoa. (Energiateollisuus 2015b; Elovaara & Haarla 2011, 508-515.)

10 POHDINTA

Työn tavoitteena oli kehittää Oulun Energia Urakoinnin käyttöön keskijännitekojeiston laskentamalli nopeuttamaan urakan tarjouslaskentaa. Työssä perehdyttiin ensin keskijännitekojeiston ja sähköaseman rakenteisiin, jonka jälkeen aloitettiin pohtiminen sähköasemien tuotekokonaisuuksien laadinnasta. Työssä keskijännitekojeistoa tuotteistusta suunniteltaessa suurimmat pohdinnan aiheet olivat suojareleet sekä niillä toteutettu ohjaus ja valvonta, joiden toteutustapoja on lukematon määrä.

Opinnäytetyössä opittiin paljon uusia asioita niin sähkölaitteiden teoriasta, laitteista kuin valmistajistakin. Aihe kiinnosti minua, sillä en ole koskaan aiemmin tehnyt vastaavaa työtä. Opin myös käyttämään lähdeviittauksia sekä huomasin poikkeavuuksia vieraskielisten ja suomenkielisten lähteiden välillä. Opinnäytetyö kehitti myös ammattitietämystäni ja antoi uusia näkökulmia asioiden tarkasteluun.

Opinnäytetyössä muodostettiin ensimmäiset kokonaisuusmallit sähköasemien komponenteille. Tulevaisuudessa kokemuksen perusteella tullaan tuotemalleja kehittämään tämän opinnäytetyön jälkeenkin, sillä aseman rakentamisessa on lukematon määrä huomioitavia muuttuvia tekijöitä. Opinnäytetyö oli kokonaisuutena erittäin laaja eikä siinä voinut yhteen opinnäytetyöhön sisällyttää kaikkia tarpeelliseksi koettuja asioita. Tämän työn pohjalta voitaisiin mahdollisesti laatia aihealueittain laajempia, uusia opinnäytetöitä. Työssä eräs huomioitava asia olisi se, ettei uudenlaisten laitteistojen asennusaikoja olla mitattu, mikä vaikeuttaa työaikojen arvioimista. Tuotepakettien sisältö tulee muuttumaan aina uusien standardien ja säädösten mukaan. Lisäksi laitteiden kehittyminen aiheuttaa tuotepakettien päivittämistä. Ongelmia oli myös opinnäytetyön tekemisen aikataulussa, sekä omassa kokemattomuudessa. Opinnäytetyöhön liittyvistä ongelmista huolimatta saavutettiin osa opinnäytetyön tavoitteista ja olen tyytyväinen tuloksiin.

11 LÄHTEET

ABB 2000a. ABB:n TTT-käsikirja 10. MITTAUS-, OHJAUS- JA SUOJAUSLAITTEISTOT. Viitattu 27.4.2015.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/10_1_Mittaus-%20ohjaus-%20ja%20suojalaitteet.pdf

ABB 2000b. ABB:n TTT-käsikirja 13. SÄHKÖASEMAT, KOJEISTOT JA MUUNTAMOT. Viitattu 27.4.2015.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/13_S%84hk%94asemat-kojaistot-muuntamot.pdf

ABB 2000c. ABB:n TTT-käsikirja 15. SÄHKÖNJAKELUVERKON AUTOMAATIO. Viitattu 27.4.2015.

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/15_S%84hk%94njakeluverkon%20automaatio.pdf

ABB 2004. Uniswitch Keskijännitekojeisto. Viitattu 13.4.2015.

<https://library.e.abb.com/public/0c8cf4b3a630586fc12573d2004b1e1d/UNIS5FI%200801.pdf>

ABB 2006. Sähköjakelu Prosessiteollisuudessa. Viitattu 16.4.2015.

[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb254.nsf/0/94d474926060008ac1257162004b9ff7/\\$file/PRES_Juha_Willman_Verkon_suojaus_ja_mitoitus.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb254.nsf/0/94d474926060008ac1257162004b9ff7/$file/PRES_Juha_Willman_Verkon_suojaus_ja_mitoitus.pdf)

ABB 2013. UniGear ZS1 Gatalogue. Viitattu 14.5.2015.

https://library.e.abb.com/public/0c607e4f986a123cc1257c62005a6d18/Catalogue%20UG%20ZS1_RevF_2013_12_en.pdf

ABB 2014a. 630 series Technical Manual. Viitattu 13.4.2015.

https://library.e.abb.com/public/aa3e3a40dc887dcdc1257dc7004c453f/RE_630_tech_756508_ENe.pdf

ABB 2014b. Indoor Air Switch-disconnector, NAL/NALF/VR. Viitattu 27.4.2015.
https://library.e.abb.com/public/a0bc1c9892fe5a9dc1257d88004722fc/NAL-en%20black_W16.pdf

Aura, L & Tonteri, A. 1993. Sähkölaitostekniikka. Helsinki: WSOY.

electrical4u 2015. Viitattu 19.4.2015. <http://www.electrical4u.com/air-circuit-breaker-air-blast-circuit-breaker/>

ELDACO 2004. TU-S TASASÄHKÖJÄRJESTELMÄ. Viitattu 25.4.2015.
[http://www.ultrapower.fi/tuotteet/pdf/DC-UPS/TU-S%20\(suomenk.,%20195KB\).pdf](http://www.ultrapower.fi/tuotteet/pdf/DC-UPS/TU-S%20(suomenk.,%20195KB).pdf)

Elovaara, J & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II. Helsinki: Otatieto.

Energiateollisuus Ry 2015. Viitattu 13.4.2015.
<http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/verkon-rakenne>

Energiateollisuus Ry 2015b. Viitattu 27.4.2015.
<http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/alykas-verkko>

Etto Jaakko 1998. Kunnossapito-Koulu. Viitattu 18.3.2015.
http://www.momenthits.fi/ESV5230/kunnossapito_2.pdf

Halme, Hi & Paavola, M. 1979. Sähkölaitosten suojarieleet. Porvoo: WSOY.

Insko ry. 1982. Kytkinlaitteet. Helsinki: Insinööri-tieto Oy.

Korpinen, L 2015. SÄHKÖN SIIRTO- JA JAKELUVERKOT. Viitattu 15.3.2015.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf

Lakervi, E & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.

LUT 2007. Lappeenranta University of Technology BL20A0700 Sähköverkkotekniikan peruskurssi. Viitattu 21.4.2015.

<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0700/luennot/12-kojeet.pdf>

Mörsky, J. 1993. Relesuojaustekniikka. Helsinki: Otatieto.

Niemelä J. 2010. 20 kV kojeiston suunnittelu sähkövoimalaboratorioon. Kemi-Tornio AMK. Sähkötekniikan opinnäytetyö.

Oulun Energia Oy 2015. Viitattu 13.4.2015. <https://www.oulunenergia.fi/>

Pekkonen Tuomo 2014. Stora Enso, Varkauden tehtaiden 6-110 kV kojeistojen ja katkaisijoiden elinkaarikartoitus ja riskilukujen määrittäminen. MAMK. Sähkötekniikan opinnäytetyö.

Salminen P. 2008. Teollisuusverkon mallintaminen ja vikavirtatarkastelut. Tampereen Yliopisto. Diplomityö. Viitattu 14.4.2015.

http://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Salminen_Petri_julk.pdf

Schneider-Electric 1999. Cahier technique no. 193, MV Breaking Techniques. Viitattu 14.4.2015. [http://download.schneider-](http://download.schneider-electric.com/files?p_Reference=Cahier%20Technique%20EN%20n°193&p_EnDocType=Specification%20guide&p_File_Id=2851787&p_File_Name=ECT193.pdf)

[elect-](http://download.schneider-electric.com/files?p_Reference=Cahier%20Technique%20EN%20n°193&p_EnDocType=Specification%20guide&p_File_Id=2851787&p_File_Name=ECT193.pdf)

[ric.com/files?p_Reference=Cahier%20Technique%20EN%20n°193&p_EnDocType=Specification%20guide&p_File_Id=2851787&p_File_Name=ECT193.pdf](http://download.schneider-electric.com/files?p_Reference=Cahier%20Technique%20EN%20n°193&p_EnDocType=Specification%20guide&p_File_Id=2851787&p_File_Name=ECT193.pdf)

Tolonen J. 2014. OYS:n keskijänniteverkon nykytilan kartoitus. Lapin AMK. Sähkötekniikan opinnäytetyö.

Vaara J. 2011. Muuntamoliitännän toteutus kaivoksen sähköverkon valvontajärjestelmään. KEMI-TORNION AMK. Sähkötekniikan opinnäytetyö.

Schneider-Electric 1999. Cahier technique no. 193, MV Breaking Techniques. Viitattu 14.4.2015. http://download.schneider-electric.com/files?p_Reference=Cahier%20Technique%20EN%20n%20n%20193&p_EnDocType=Specification%20guide&p_File_Id=2851787&p_File_Name=ECT193.pdf

LIITTEET

Liite 1. Tasasähkökeskuksen akuston tekniset tiedot (Vb 12146)

Technical data

Type designation	Capacity (Ah)			Inner resistance without connectors, load	Theoretical short circuit current [A]	Cell dimensions						Weight			
	C ₁₀	C ₈	C ₁			(mm)			(inch)			[kg]		[lb]	
	Final voltage 1.80	1.75	1.65			L	W	H*	L	W	H*	Cell wt w. elec.	Elec. wt	Cell wt w. elec.	Elec. wt
12 V monoblocs															
Vb 12142	34.4	33.8	22.5	12.2	983	221	176	277	8.70	6.93	10.91	20.8	5.4	45.9	11.9
Vb 12143	51.6	50.7	33.7	8.10	1487	221	176	277	8.70	6.93	10.91	24.8	5.3	54.7	11.7
Vb 12144	68.8	67.6	44.8	6.10	1960	311	176	277	12.24	6.93	10.91	33.7	7.8	74.3	17.2
Vb 12146	103	101	67.3	4.10	2934	389	176	277	15.31	6.93	10.91	45.6	9.7	101	21.4
Vb 12147	121	118	78.5	3.50	3433	469	176	277	18.46	6.93	10.91	53.5	12.0	118	26.5
Vb 12149	155	152	101	2.70	4399	553	176	277	21.77	6.93	10.91	65.5	14.5	144	32.0
6 V monoblocs															
Vb 6157	197	195	127	1.70	3604	284	229	332	11.18	9.02	13.07	45.8	12.5	101	27.6
Vb 6159	253	251	163	1.30	4610	284	229	332	11.18	9.02	13.07	51.6	11.4	114	25.1

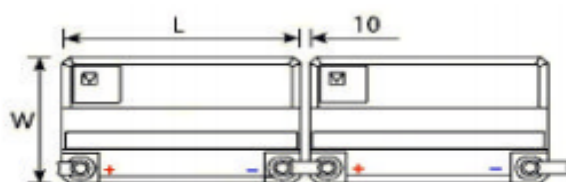
The electrical values shown in the table relate to loadings from a fully charged condition and an ambient temperature of + 25 °C.
* Height includes connectors.

Project planning data

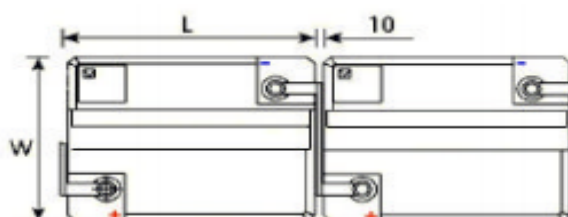
Type	Final voltage = 1.75V/cell discharge current in A																
	30"	1'	2'	3'	5'	7'	10'	15'	20'	30'	1h	2h	3h	5h	8h	10h	
Vb 12142	119	117	109	100	88	78.1	67	55	46.2	35.7	21.9	13.1	9.47	6.33	4.22	3.49	
Vb 12143	179	176	163	150	131	117	101	82	69.3	53.6	32.9	19.7	14.2	9.50	6.33	5.23	
Vb 12144	239	234	217	201	175	156	135	110	92.5	71.4	43.9	26.2	18.9	12.7	8.45	6.97	
Vb 12146	358	351	326	301	263	234	202	165	139	107	65.8	39.3	28.4	19.0	12.7	10.5	
Vb 12147	417	410	380	351	307	273	235	192	162	125	76.8	45.9	33.1	22.2	14.8	12.2	
Vb 12149	537	527	489	451	394	351	303	247	208	161	98.7	59.0	42.6	28.5	19.0	15.7	
Vb 6157	485	485	471	448	408	376	335	285	245	196	124	74.3	54.0	36.2	24.4	20.0	
Vb 6159	624	624	597	570	521	480	428	364	316	251	159	95.5	69.4	46.5	31.4	25.7	

The current levels shown in the tables relate to loadings from a fully charged condition and an ambient temperature of + 25 °C.
Connector losses are taken into account.

Vb 12142-Vb 12149



Vb 6157-Vb 6159



All dimensions and weights shown are subject to the usual manufacturing tolerances. Electrical values are approximate.
The right is reserved to make alterations with a view to technically improved execution without prior notice.