

**PIRTTIKOSKEN VOIMALAITOKSEN PADON SÄHKÖN-  
SYÖTTÖJÄRJESTELYIDEN UUSINTA**

Keränen Taneli

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikan ja liikenteen ala  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Taneli Keränen	Vuosi	2019
<b>Ohjaajat</b>	DI Jaakko Etto Ins. (YAMK) Marko Kukkola		
<b>Toimeksiantaja</b>	Kemijoki Oy		
<b>Työn nimi</b>	DI, toimitusjohtaja, Juha Alhainen, SSEP Finland Oy Pirttikosken voimalaitoksen padon sähkönsyöttöjärjestelyiden uusinta		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	76 + 13		

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli Kemijoki Oy:n Pirttikosken voimalaitoksen patoluukkujen sähkönsyötön peruskorjauksen suunnittelu niin, että asennukset täyttäsivät nykystandardien vaatimukset. Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia suunnitteluasiakirja selektiivisyys- ja oikosulkulaskelmat sekä teknisten määrittelyiden dokumentit kustannustehokkaan toteutuksen rakentamiseksi.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Kemijoki Oy, mutta työ toteutettiin SSEP Finland Oy:n johdolla, joka tarjoaa sähkösuunnittelu-, valvonta-, asiantuntija-, tarkastus- ja koulutuspalveluita. Sekä toimeksiantaja että työn toteuttava organisaatio kokivat opinnäytetyönaiheen hyödyllisenä kokonaisuutena suunnitteluprosessin oppimiseen uudelle aloittelevalle insinöörille, koska opinnäytetyö sisälsi haastetta aina pienjännitetasolta keskijännitetasolle asti.

Työssä käytettiin aineistona alan voimassa olevia standardeja, lakeja, asetuksia, ohjeistuksia sekä asiantuntijoiden näkemyksiä. Opinnäytetyössä käytettyjen julkaisujen luotettavuus varmistettiin tarkastamalla teosten painoversio ja lakien ajantasaisuus.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin asiakkaalle tarvittavat dokumentit projektin viemiseksi toteutusvaiheeseen. Osa työstä syntyneistä dokumenteista on luottamuksellisia. Lisäksi opinnäytetyö kasvatti opinnäytetyöntekijän insinöörin taitoja ja antoi paljon oppia työelämää varten.

Avainsanat

keskijännite, muuntaja, pienjänniteverkko, relesuojaus, sähkösuunnittelu

Technology, Communication and Transport  
Electrical and Automation Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Taneli Keränen	Year	2019
<b>Supervisor</b>	Jaakko Etto, MSc. (EI.Eng) Marko Kukkola, MEng.		
<b>Commissioned by</b>	Kemijoki Oy Juha Alhainen, MSc., CEO, SSEP Finland Ltd		
<b>Subject of thesis</b>	Renewal of the power supply on the dam hatches of the Pirttikoski power plant		
<b>Number of pages</b>	76 + 13		

---

The purpose of this thesis was to plan the renovation of the power supply on the dam hatches of the Pirttikoski power plant of Kemijoki Oy. The goal of the thesis was to make design documents, documents of selectivity and short-circuiting calculations and technical specifications to build a cost-effective installation.

The commissioner of the thesis was Kemijoki Oy, but engineering work was carried out by SSEP Finland Oy, which provides electrical design, supervision, consulting, inspection and training services. Kemijoki Oy and SSEP Finland Ltd saw the topic of the thesis useful for learning the whole design process for a beginning engineer, because the thesis includes a challenge from low voltage to high voltage.

The sources used in the thesis were the standards, laws, regulations, guidelines, related publications and expert opinions. The reliability of the publications used in the thesis was verified by checking the print version of the works and the laws.

As a result of the thesis, the customer received the necessary documents to take the project to the implementation stage. Some of the documents created from the thesis are confidential. In addition, the thesis increased skills of the engineering and provided a great deal of learning for working.

Key words                      medium voltage, transformer, low voltage network, protection relay, electrical design

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	SÄHKÖNSYÖTTÖJÄRJESTELMÄT JA SEN RAKENNEOSAT .....	9
2.1	Sähkönjakeluverkot yleisesti .....	9
2.2	Keskijänniteverkko .....	11
2.2.1	Kojeistot .....	11
2.2.2	Kiskojärjestelmät .....	12
2.2.3	Katkaisijat .....	13
2.2.4	Eroottimet .....	15
2.2.5	Suojareleet .....	17
2.2.6	Mittamuuntajat .....	21
2.2.7	Ylijännitesuojat .....	24
2.2.8	Voimakaapelit .....	26
2.3	Muuntamot .....	29
2.3.1	Jakelumuuntajat .....	29
2.3.2	Muuntamotilat .....	31
2.3.3	Muuntamon ja keskijännitejärjestelmän maadoitukset .....	34
3	VIKATILANTEET JA NIIDEN HUOMIOIMINEN SUUNNITTELUSSA .....	37
3.1	Oikosulku .....	37
3.1.1	Kolmivaiheinen oikosulku .....	40
3.1.2	Kaksivaiheinen oikosulku .....	40
3.1.3	Sysäysoikosulkuvirta .....	41
3.1.4	Terminen oikosulkuvirta .....	41
3.2	Maasulkuilmiö .....	43
3.2.1	Maasulku maasta erotetussa verkossa .....	43
3.2.2	Maasulku sammutetussa verkossa .....	45
3.3	Jännitteenalenema .....	46
4	SÄHKÖTURVALLISUUTTA KOSKEVAT LAIT, ASETUKSET, MÄÄRÄYKSET SEKÄ STANDARDIT .....	49
4.1	Sähköturvallisuuslaki 1135/2016 .....	49
4.2	Valtioneuvoston asetukset .....	50
4.3	SFS 6000 pienjännitesähköasennukset .....	50
4.4	SFS 6001 suurjännitesähköasennukset .....	51

---

5	SUUNNITTELUPROJEKTIN HALLINTA .....	52
5.1	Suunnitteluprojektin vaiheet.....	52
5.2	Suunnitteluprojektin aikataulutus .....	54
6	SUUNNITTELUN ESITIETOJEN SELVITYS.....	56
6.1	Tilaaajan asettamat vaatimukset suunnittelulle.....	56
6.2	Kohteen lähtötiedot.....	56
7	TOTEUTUSVAIHTOEHTOJEN VERTAILU.....	60
7.1	Toiminnallisuus, käytettävyys ja luotettavuus .....	60
7.2	Kustannusvertailu .....	60
8	TOTEUTUSSUUNNITELMIEN LAADINTA.....	62
8.1	Muuntajan valinta.....	62
8.2	Keskijännitekaapelin mitoittaminen .....	62
8.3	Keskijänniteverkon suojausten mitoittaminen .....	63
8.4	Ylijännitesuojien mitoittaminen.....	66
8.5	Pienjänniteverkon mitoittaminen .....	67
8.6	Pienjännitekeskukset .....	68
8.7	Ohjaus, mittaus ja hälytystietojen liitännät .....	71
9	POHDINTA.....	73
	LÄHTEET.....	74
	LIITTEET .....	76

## ALKUSANAT

Haluan kiittää SSEP Finland Oy:n toimitusjohtajaa Juha Alhaista mahdollisuudesta opinnäytetyön tekemiseen sekä kaikesta tuesta liittyen opinnäytetyöhön. Opinnäytetyön ohjauksesta haluan kiittää Marko Kukkolaa sekä erityisesti Jaakko Ettoa. Lisäksi haluan kiittää SSEP Finland Oy:n Artoa, Mikkoa ja Suvia sekä Kemijoki Oy:n Jarkkoa ja Samia kaikesta avusta.

Rovaniemellä 25.09.2019

Taneli Keränen

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AC	Alternating Current, Vaihtojännite
ATS	Automatic Transfer Switch
CENELEC	European Committee For Electrotechnical Standardization
DC	Direct Current, Tasavirta
IEC	International Electrotechnical Commission
Kevi	Keltavihreä
SCADA	Supervisory control and data acquisition -system
SFS	Suomen Standardisointiliitto
SF6	Rikkiheksafluoridi
STL	Sähköturvallisuuslaki
SVA	Syötönvaihtoautomaatti

## 1 JOHDANTO

Vesivoima on merkittävin uusiutuva sähköntuotannonmuoto Suomessa. Suurin osa vesivoimalaitoksista on rakennettu kymmeniä vuosia sitten, mutta tämä ei tarkoita sitä, että laitokset olisivat elinkaarensa päässä. Voimalaitokset ovat olleet suuria investointeja, minkä vuoksi niiden kunnossapitoon kannattaa panostaa. Suomen kattavan sähköverkon toimivuuden ja käyttövarmuuden kannalta vesivoimalla on vielä nykyisinkin erityinen asema säätöominaisuuksiensa vuoksi.

Opinnäytetyön tarkoituksena on Kemijoki Oy:n Pirttikosken voimalaitoksen patoluukkujen sähkönsyöttöjärjestelmän peruskorjauksen suunnittelu niin, että asennukset täyttävät myös nykystandardivaatimukset. Opinnäytetyössä mitoitetaan ja suunnitellaan uusi keskijännitelähtö, muuntaja ja pienjännitejakeluverkko sekä laaditaan riittävät tekniset määrittelyt investointeja varten. Työn tilaaja on selvittänyt nykyisen puutteet toteamalla jännitteen ja oikosulkuvirtojen putoavan pienjännitejohtojen päässä liian alhaisiksi sekä todennut kaapeleiden maakaanisen kunnan olevan puutteellinen. Keskuksien nykyisiin kuormituksiin ei tehdä muutoksia opinnäytetyössä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on laatia Kemijoki Oy:lle suunnitteluasiakirjat, selektiivisyys- ja oikosulkulaskelmien sekä teknisten määrittelyiden asiakirjat kustannustehokkaan toteutuksen rakentamiseksi. Lisäksi henkilökohtaisena tavoitteena on lisätä ammatillista osaamistani sähköalalla sekä kehittää insinöörin tarvitsemia taitoja opinnäytetyön toimeksiantajan SSEP Finland Oy:n opastamana. SSEP Finland Oy on vuonna 2016 perustettu sähkösuunnittelu-, valvonta-, asiantuntija-, tarkastus- ja koulutuspalveluita tarjoava yritys. Yrityksen asiakkaita ovat niin sähköjakelu-, voimalaitos-, teollisuus- ja teknologiateollisuuden yritykset kuin kunnat, taloyhtiöt ja vakuutusyhtiöt.

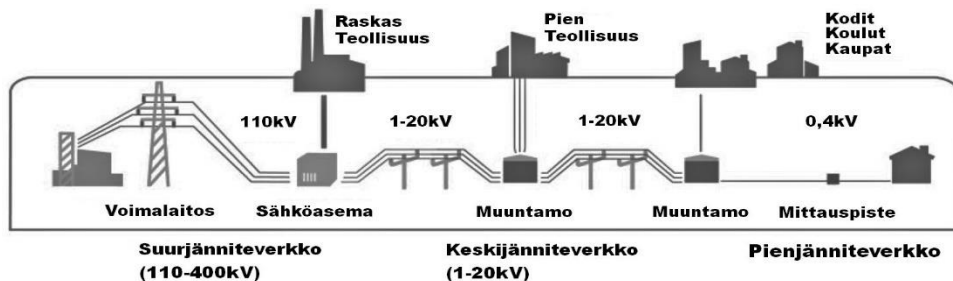


## 2 SÄHKÖNSYÖTTÖJÄRJESTELMÄT JA SEN RAKENNEOSAT

Sähköä on siirretty Suomessa yli sadan vuoden ajan. Nykyaikana sähköenergian jatkuvasta saannista on tullut elinehto ja itsestäänselvyys. Järjestelmää, jolla sähköä siirretään tuotantolaitoksilta kuluttajalla, kutsutaan sähköverkoksi. Suomessa tähän järjestelmään ovat liittyneet lähes sataprosenttisesti kaikki taloudet. Sähkönsiirto ja -jakelu ovat dynaamisia prosesseja, joiden toimintaan vaikuttavat sähköntuottajien ja -kuluttajien lisäksi sähköverkon rakenne ja ominaisuudet. Sähköverkkojen rakentamisessa on pyrittävä siihen, että sähköenergian toimitus asiakkaille on mahdollisimman häiriötöntä ja laadukasta. (Elovaara & Haarla 2011b, 5.)

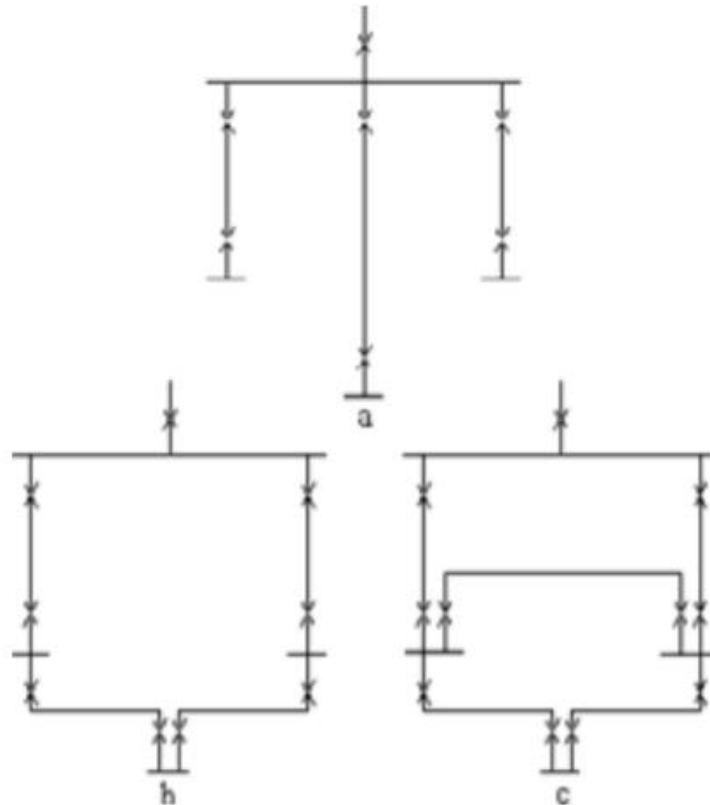
### 2.1 Sähkönjakeluverkot yleisesti

Suomessa siirto- ja jakeluverkoissa 3-vaiheinen vaihtosähköjärjestelmä on yleisin. Se on edullinen muuntamisessa ja moottorikäytöissä, sen lisäksi ei tarvita erillistä paluujohdinta. Vaihtosähkön taajuus Euroopassa on yleisesti 50 Hz. Yhdysvalloissa, Etelä-Amerikassa ja osassa Japania käytössä on 60 Hz. Järjestelmän jännite ilmoitetaan kahden vaihejohtimen välisenä arvona eli pääjännitteenä. Suomessa sähkönjakelujärjestelmän osia ovat voimalaitokset, suurjänniteverkot, sähköasemat, keskijänniteverkot, muuntamot sekä pienjänniteverkot (Kuvio 1). Suomessa on myös vaihtosähköverkkojen lisäksi tasasähköverkoja, esimerkiksi valtion rajoja ylittäviä tasasähköyhteyksiä Ruotsiin, Venäjälle ja Viroon. (Elovaara & Haarla 2011a, 56.)



Kuvio 1 Sähkönsiirto Suomessa (Caruna 2019).

Verkostojen rakentamisessa käytetään kolme perustyyppiä: säteittäinen, rengas- ja silmukoitu verkko (Kuvio 2). Kullakin verkostotyyppillä on omat etunsa, joten eri vaihtoehtoja vertaillaessa on huomioitava niiden käyttöön liittyvät näkökohdat. Näitä teknistaloudellisia näkökulmia ovat investointien kalleus, käytön taloudellisuus ja luotettavuus, varasyöttöjen mahdollisuus sekä erityisesti verkon suojaukseen liittyvät näkökulmat. (ABB 2000e, 1.)



Kuvio 2 Sähköverkkojen rakenteet a) Säteittäinen- b) rengas- c) silmukoituverkko (Holmes & Lakervi 1995, 325).

Suurjännitteiset siirtoverkot rakennetaan yleensä johtorenkaiksi tai silmukoiksi, koska tämä parantaa verkon käyttövarmuutta. Näin sähköasemat voivat saada sähköä useammasta suunnasta. Suuremmilla siirtojännitteillä (Suomessa 400 kV ja 220 kV) johtorenkaat pidetään yleensä suljettuina. Tämä vähentää jännitteenalennamaa ja tehohäviöitä sekä parantaa käyttövarmuutta. Rengaskäyttö vaatii kuitenkin huomattavasti monipuolisemmat suojarieleet kuin säteittäiskäyttö. Suurjännitteisten jakeluverkkojen (osa 110 kV:n verkosta ja 20 kV:n verkot) johtoren-

kaat pidetäänkin käytössä avoimina ja rengasmuotoa käytetään pääasiassa vi-kojen etsimiseen ja kytkentöjen muuttamiseen. Pienjänniteverkot ovat maaseu-dulla kustannussyistä säteittäisiä. Kaupungissa pienjakeluverkot voivat olla ren-gasmuotoonrakennettuja, mutta niitä käytetään säteittäisinä. Säteittäisesti käy-tetty sähkönsiirtoverkko toimii oikein yleensä vain yksisuuntaisessa sähkönsiir-rossa. Jakeluverkot eivät yleensä pysty vanhojen suojausratkaisujen avulla huo-lehtimaan selektiivisyydestä ylivirtasuojauksessa, jos vikavirtaa voi tulla kum-masta suunnasta tahansa. (Elovaara & Haarla 2011a, 57.)

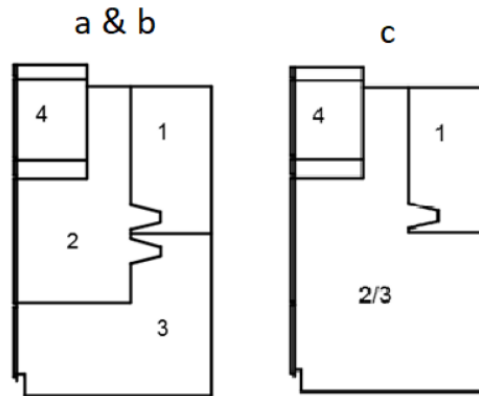
## 2.2 Keskijänniteverkko

Keskijänniteverkkojen tarkoitus on siirtää sähköä suurjänniteverkosta pienjänni-teverkkoon. Keskijänniteverkon jännitteet ovat Suomessa 1-35 kV luokkaa. Seu-raavissa kappeleissa esitellään keskijänniteverkon komponentteja.

### 2.2.1 Kojeistot

Tehdasrakenteinen ja tyyppitestattu suurjännitekojeisto on valmistettava ja tes-tattava asiaankuuluvien SFS-EN-standardien mukaisesti. Kojeiston on oltava tar-koituksenmukainen ja selväpiirteinen ja rakenteeltaan sellainen, että olennaisiin osiin pääsee helposti käsiksi, kun kojeistoa pystytetään, käytetään ja kunnossa-pidetään. Mahdolliset tulevaisuudessa tehtävät laajennukset tulee ottaa huomi-oon. (SFS 6001:2018 2018, 52.)

Kojeistot jaetaan ulkokuoren materiaalin perusteella metalli- ja eristysainekuori-siin. Suurin osa käytössä olevista kojeistoista on kuitenkin metallikuorisia. Kojeis-tot jaotellaan kojeiston sisäisen osastoinnin ja osastoinnissa käytetyn materiaalin perusteella eri tyypeihin (Kuvio 3). Metallikoteloidussa kojeistossa kokoojakis-kosto, katkaisija ja lähdön kojeet ovat omissa tiloissaan ja tilojen välinen osas-toinnin on maadoitettua metallia. Tilakoteloidussa kojeistossa kokoojakiskosto, katkaisija, lähdön kojeet ovat omissa tiloissaan ja tilojen välinen osastointi on osittain tai kokonaan eristysainetta. Kennokoteloiduiksi kojeistoiksi luokitellaan muut kuin metalli- tai tilakoteloitua rakennetta olevat kojeistot. (ABB 2000e, 21.)



Kuvio 3 Kojeistotyypit a) metallikoteloitu b) tilakoteloitu c) kennokoteloitu. Kojeistojen sisäiset rakenteet: 1 kokoojatila, 2 katkaisijatila, 3 lähtötila ja 4 toisiokojetila (ABB 2000e, 21).

Kojeistot jaotellaan myös kalustustavan perusteella. Ulosvedettävillä kojeilla varustettuja kojeistoja kutsutaan vaunukojeistoiksi. Näissä kennon avauskytkin on sijoitettu liikuteltavaan vaunuun. Vaunua siirtämällä aikaansaadaan virtapiiriin luotettava avausväli esimerkiksi huoltotöiden ajaksi. Kojeistoja on myös kiinteällä kalustuksella, missä kojeet on asennettu kiinteästi kennorakenteisiin ja kiskoihin. Nämä kojeistotyypit ovat usein rakenteeltaan kennokoteloituja. (ABB 2000e, 21.)

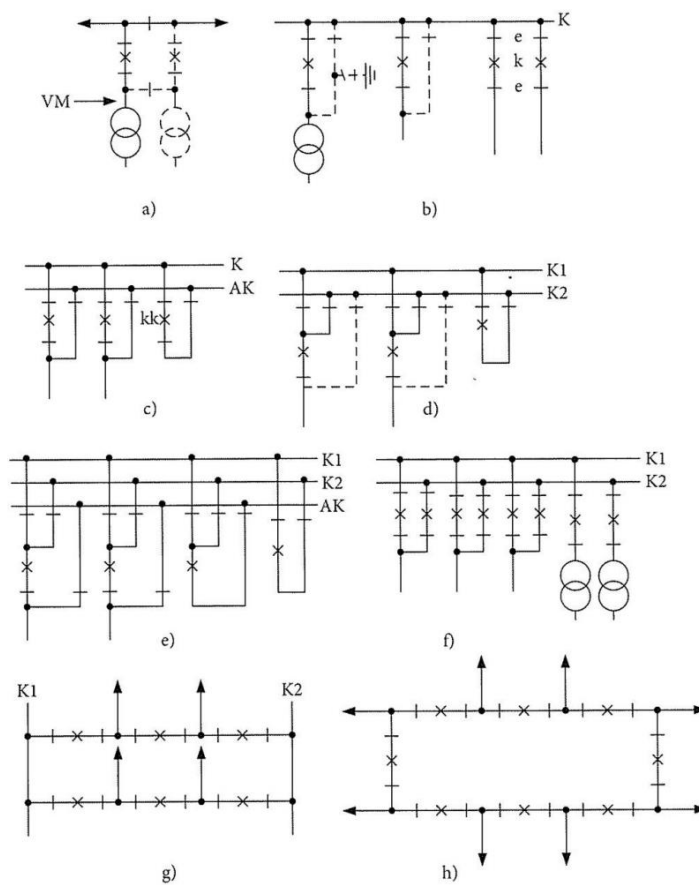
Suurjännitteillä käytössä olevat tilaa säästävät suljetut kaasutäytteiset SF<sub>6</sub>-kojeistot ovat tulleet myös keskijännitteille. Niitä käyttämällä voidaan kytkinlaitos sijoittaa entistä pienempiin tiloihin. Suljetuissakojeistoissa kokoojakiskot, erottimet, virtamuuntajat, jännitemuuntajat ja katkaisijat on sijoitettu SF<sub>6</sub>-kaasulla täytettyyn kotelointiin. (Monni 1998, 36.)

### 2.2.2 Kiskojärjestelmät

Kojeistojen ja sähköasemien kiskojärjestelmän valinta riippuu useista tekijöistä. Suunniteltaessa on otettava huomioon liitettävät kaapelit, kytkentätilanteet, käytettävyys, luotettavuus, tilantarpeet, vikatilanteet sekä huolto- ja korjaustyöt. Kokoojakiskon perustyyppinä ovat:

- a) kiskoton järjestelmä
- b) yksikiskojärjestelmä

- c) kisko-apukiskojärjestelmä
- d) kaksoiskiskojärjestelmä
- e) kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä
- f) 1½-katkaisijajärjestelmä
- g) kaksikatkaisijajärjestelmä
- h) rengaskiskojärjestelmä (Kuvio 4). (Elovaara & Haarla 2011b, 102.)

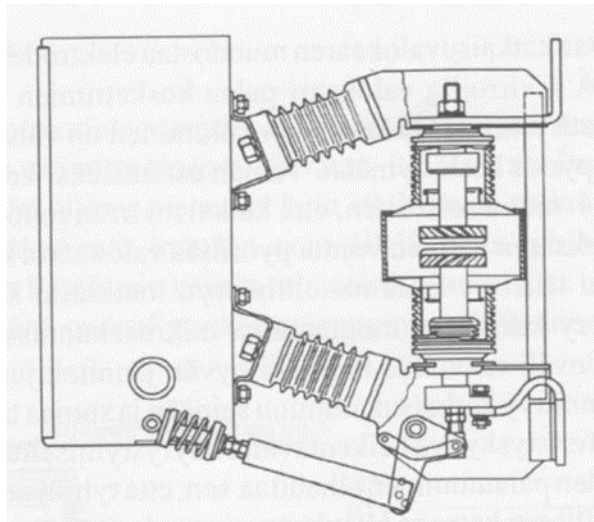


Kuvio 4 Erilaisia kiskojärjestelmiä (Elovaara & Haarla 2011b, 104).

### 2.2.3 Katkaisijat

Voimansiirtoverkossa kalleimpia ja tärkeimpiä kytkinlaitteita ovat katkaisijat (Kuvio 5). Katkaisijat ovat ulko- ja sisäkäyttöön tarkoitettuja kojeita, joita käytetään virtapiirien avaamiseen ja sulkemiseen. Katkaisijan on kyettävä vaurioitumatta

sulkemaan ja avaamaan oikosulku, jossa virta on moninkertainen katkaisijan nimellisvirtaan verrattuna. Ne voivat toimia sekä käsiohjattuina ja automaattisesti. Avautumiskäskyn katkaisija saa tavallisesti virtapiirin mittamuuntajien avulla kytketystä releestä. Myös sulkeutuminen voi olla automaattista esimerkiksi jälleenytkentätoiminnon käynnistämänä. (Elovaara & Haarla 2011b, 162-163.)



Kuvio 5 Tyhjiökatkaisijan rakenne (Elovaara & Haarla 2011b, 183).

Katkaisijan sisällä katkaisukammiossa käytettävä väliaine osallistuu sekä valo-kaaren sammuttamiseen että jännitteisten osien eristämiseen katkaisijan muista osista. Väliaineen perusteella katkaisija voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin:

- ilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- kaasukatkaisijat
- tyhjiökatkaisijat. (Elovaara & Haarla 2011b, 168-169.)

IEC:n katkaisijastandardien vaatimukset ovat yleensä riittävän kattavat Suomen oloihin, kunhan suunnittelija osaa valita ja vaatia oikeat arvot sovellettavaksi kussakin tapauksessa. Tärkeimpiä katkaisijan ominaisuuksia kuvaavia arvoja ovat

mitoitusvirta, mitoitusjännite, katkaisukyky, sulkemiskyky, vaihtosähkön taajuus, eristystasot, palaavan jännitteen mitoitusarvot, nimellinen toimintasykli, katkaisukyvyt erikoistilanteissa sekä ohjaus- ja apupiirien mitoitustaajuudet ja -jännitteet. (Elovaara & Haarla 2011b, 187-188.)

Lisäksi katkaisijoita valittaessa on kiinnitettävä perusominaisuuksien lisäksi huomiota seuraaviin asioihin:

- ohjaustapa (paineilma, pneumatiikka, hydraulikka, moottori- tai käsiviriteinen jousiohjain)
- apukoskettimet (lukitukset, hälytykset, asennontunnistukset ja apuvirtapiirejä varten)
- ohjaimen erilaiset varusteet
- mekaaninen luotettavuus
- katkaisijan asennustapa (sisäkytkinlaitoksissa voidaan käyttää vaunukatkaisijaa)
- huoltotarve ja kustannukset. (Elovaara & Haarla 2011b, 189.)

#### 2.2.4 Erottimet

Erottimella on ensisijaisesti tarkoitus muodostaa turvallinen avausväli erotettavan virtapiirin ja muun laitoksen välille sekä tehdä kohde jännitteettömäksi turvallista työskentelyä varten. Erottimia ei ole tarkoitettu kuormitetun virtapiirin avaamiseen tai sulkemiseen, ja siksi niiltä ei vaadita samanlaisia virran sulkemis- ja katkaisukykyä kuin katkaisijoilta. Käytännössä erottimilla voidaan kuitenkin erottaa lyhyet kiskostot sekä johdon tai muuntajan tyhjäkäyntivirta. (Elovaara & Haarla 2011b, 190.)

Erottimien kiinni ja auki-tila on oltava tarkistettavissa. Asennonosoituksen on näytettävä yksiselitteisesti laitteen pääkoskettimien todellinen tila. Kiinni- ja auki-tilaa osoittavan laitteen on oltava käyttäjän nähtävissä. Lisäksi erotin on asennettava siten, että ne eivät voi tahattomasti toimia, jos laitteen sisäiseen käyttömekanis-

miin kohdistuu manuaalisesti voima tai paine. Käyttäjän määrittämissä tapauksissa laitteisto on suojattava epäasianmukaista käyttöä vastaan lukituksella ja/tai lukkolaitteilla. (SFS 6001:2018 2018, 41.)

Erottimia avataan ja suljetaan ohjaimien avulla. Erottimien ohjauksessa voidaan käyttää käsi-, paineilma- tai moottorihjainta. Moottorihjatut erottimet on yleensä varustettu kauko-, paikallis- ja käsihjausmahdollisuuksilla. Kauko-ohjauksella tarkoitetaan, että erotin voidaan ohjata esimerkiksi radiopuhelinverkon, kaukokäyttöjärjestelmään liitetyn kannettavan tietokoneen tai GSM-puhelimen välityksellä esimerkiksi valvomossa tai maastossa. (Monni 1998, 38; Elovaara & Haarla 2011b, 197)

Erotintyypit on lajiteltu lähinnä koskettimien liikuntasuunnan ja tarvittavien tukieristimien lukumäärän mukaan. Käytettyjä nimityksiä erottimille ei ole standardoitu, ja valmistajat saattavat käyttää samanlaisesta laitteesta erilaisia nimityksiä. Kuitenkin muutamalle erotintyypille on yleisesti tunnettuja nimityksiä käyttötarkoituksen mukaan. (Elovaara & Haarla 2011b, 193.)

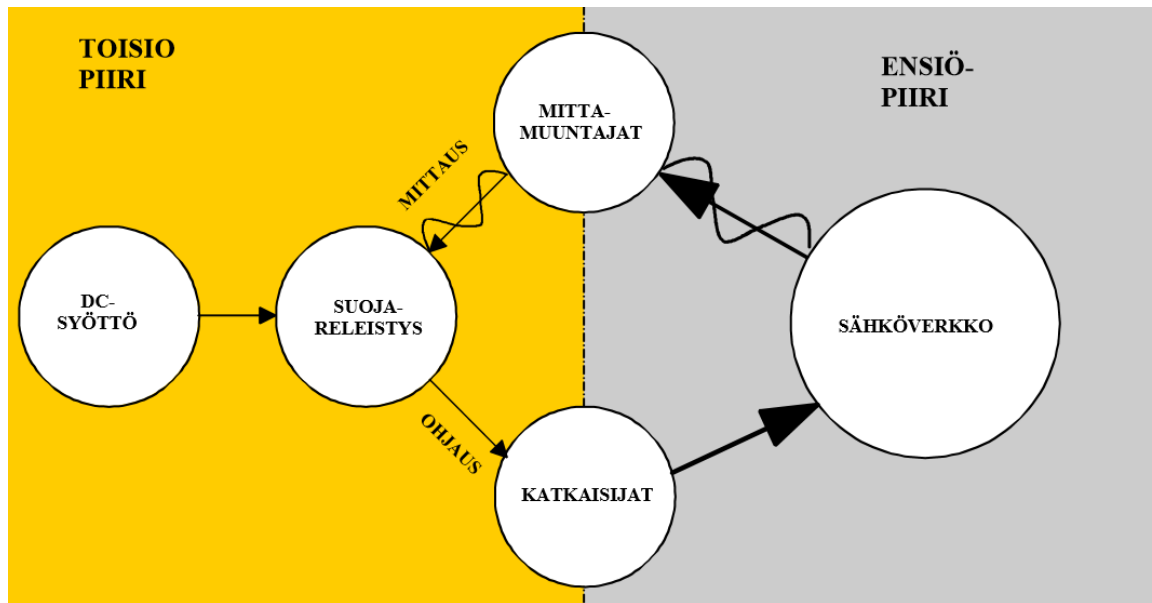
Erottimia käytetään lisäksi keskeytymättömän käytön mahdollistavina ohituserottimina. Maadoituserottimia käytetään estämään vikavirtojen ja indusoituneiden jännitteiden vaaravaikutuksia verkossa työskenneltäessä. Lisäksi on vielä kuormaerottimia, jotka kykenevät suoriutumaan melko suurten kuormitusvirtojen katkaisusta sekä pienehköjen oikosulkuvirtojen kytkemisestä. Kuormanerotin on siten eräänlainen katkaisijan ja erottimen välimuoto. Jos kuormaerotin varustetaan varokkeilla, saadaan niin kutsuttu varokekuormaerotin. Niitä käytetään yleisimmin jakelumuuntamoissa (<1250 kVA) korvaamaan katkaisijoita kytkinlaitteina. (Elovaara & Haarla 2011b, 190-191,197.)

Koska sähköasemia rakennetaan mahdollisimman vähän tilaa vieviksi ja mahdollisimman vähän huoltoa tarvitseviksi, on pyritty luopumaan muista erottimista kuin maadoituserottimista. Jos erottimien määrää kasvatetaan sähköasemalla, myös niiden vikatiheyskin kasvaa samalla. Keski-jännitteillä yleisesti käytetty ratkaisu erottimien vähentämiseen on vaunukatkaisijakojeistojen käyttö. Vaunukatkaisijakojeistoissa katkaisijaa ympäröivät erottimet on korvattu ilmapölyllä, joka syntyy vedettäessä katkaisija ulos kennosta. (Elovaara & Haarla 2011b, 124 & 184.)



### 2.2.5 Suojareleet

Sähköverkon suojauksen tarkoituksena on standardin SFS-IEC 60050-448 mukaan havaita viat ja epänormaalit olosuhteet järjestelmässä, jotta olosuhteet saadaan hallintaan. Suojausjärjestelmällä ei tarkoiteta pelkästään suojarelettä, vaan se on laitteiden muodostama kokonaisuus (Kuvio 6). Suojarele on mittaava rele, joka on suojareleistyksen ja samalla suojausjärjestelmän osa. (Elovaara & Haarla 2011b, 335.)



Kuvio 6 Relesuojaus (Martimo 2018b, 5).

Nykyaikaiset mikroprosessoripohjaiset numeeriset releet keräävät informaatiota relesuojauspiirien ja suojattavan kohteen tilasta ja siirtävät sitä eteenpäin esimerkiksi laitosautomaatio- sekä kaukokäyttöjärjestelmiin. Täten sähköasemista on saatu miehittämättömiä, kauko-ohjattuja ja kaukovalvottuja järjestelmiä. Valvomalla ja ohjaamalla verkkoja keskitetysti eli hyödyntämällä kauko-ohjausta, -mittausta, -säätöä, -asettelua ja -ilmoittamista voidaan parantaa verkon laatutasoa. Tällaisesta keskitetystä ja osittain automaattisesta valvonnasta ja ohjauksesta käytetään nimitystä kaukokäyttö. Siihen liittyy usein myös muita tehtäviä, kuten raportointia, tietojen tallentamista ja laskentaa. Kaukokäyttöjärjestelmän kansainvälinen nimitys on SCADA-järjestelmä. (Elovaara & Haarla 2011b, 385-386.)

Suojareleet havahtuvat, toimivat ja palautuvat tarkkailemiensa suureiden muutosten perusteella. Rele on normaalitilassaan niin kauan kuin tarkkailtavat arvot pysyvät asetelluissa toiminta-arvoissa. Jos releen tarkkailema suure sivuuttaa asetellun toiminta-arvon, rele havahtuu. Jos havahtuminen jatkuu tarpeeksi kauan, rele antaa laukaisukäskyn katkaisijalle, lähettää hälytyksen tai tekee kummankin toimenpiteen. Jos mittasuure palautuu pois toiminta-alueelta havahtumisaikana tai releen toimittua, rele palautuu. Releen toiminta-ajaksi kutsutaan vian alkamisesta laukaisuun tai hälytykseen kuluva aika. Toiminta-aikaa voidaan säätää viivästetyksi asettelemalla releelle hidastus. (Elovaara & Haarla 2011b, 344.)

Relesuojauksen päätehtäviä ovat:

1. ”vikavirtojen ja – jännitteiden ihmisille, eläimille ja omaisuudelle aiheuttamien vaarojen torjuminen
2. vikavirtojen, muille virtapiireille aiheuttamien vaara- ja häiriöjännitteiden vaikutusten, rajoittaminen. Muita virtapiirejä ovat esimerkiksi puhelinverkot
3. verkon taloudellisen käytön edistäminen, vähentämällä häiriöiden aiheuttamia sähkön toimituskeskeytyksiä, turvaamalla mahdollisimman laajamittainen käyttö vikatilanteissa
4. yhteiskäytön stabiilisuuden säilyttäminen verkon vioissa
5. verkon laitteiden suojaaminen vikojen termisiltä, dynaamisilta ja muilta haittavaikutuksilta.” (Martimo 2018b, 6.)

Tästä voidaan päätellä, että hyvin toteutettu relesuojausjärjestelmä on siis nopea, luotettava, herkkä, selektiivinen ja se toimii myös poikkeuksellisissa tilanteissa. Selektiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että vikojen vaikutusalue pyritään rajoittamaan mahdollisimman suppealle alueelle. Selektiivinen oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa seuraavilla tavoilla:

- ”aikaselektiivinen suojaus
- aika- ja virtaselektiivinen suojaus

- aika- ja suuntaselektiivinen suojaus
- virta- tai impedanssi selektiivinen suojaus
- lukitussuojaus
- differentiaalisuojaus
- distanssi- ja vertosuojaus.” (ABB 2000b, 21.)

Suojaukset toteutetaan käyttäen eri reletyyppejä. Reletyypit jaotellaan mitattavan suureen ja mittaustavan perusteella ylivirta-, jännite-, impedanssi-, suunta-, differentiaali-, taajuus-, teho- ja epäsymmetriareleisiin. Tässä opinnäytetyössä tutustuimme vain yleisimpiin käytettäviin reletyyppeihin.

Hetkellinen ylivirtarele on rele, joka toimii välittömästi mittausvirran ylittäessä asetteluarvonsa. Hetkellistä ylivirtarelettä käytetään säteittäisjohdoilla silloin, kun pienin vikavirta on suurinta kuormitusvirtaa suurempi. Käytetään myös varasuojana säteisjohdoilla. (Elovaara & Haarla 2011b, 346.)

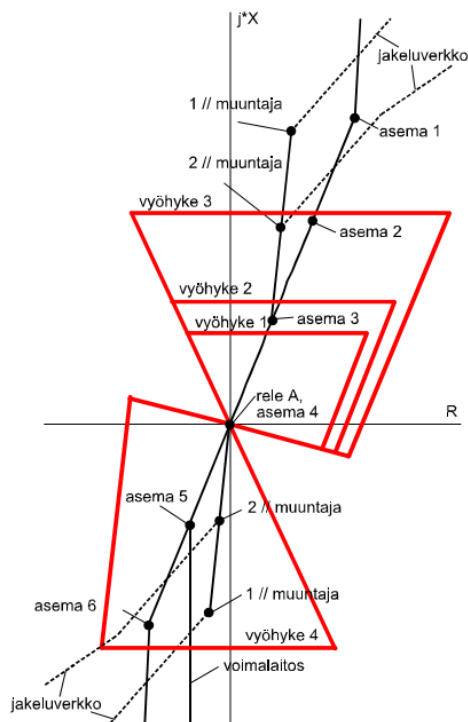
Vakioaika ylivirtarele havahtuu mittausvirran ylittäessä asetteluarvon ja toimii, kun rele on ollut havahtuneena asetteluajan. Ylivirran suuruus ei vaikuta releen toimintanopeuteen, vaan toiminnan hidastus on aina asetellun suuruinen. Rele toimii ilman hidastusta, kun virta ylittää pikalaukaisun (momentin) asetteluarvon. Vakioaika ylivirtarelettä käytetään suojaamaan säteittäisjohtoa, reaktoria, muuntajaa, kondensaattoria, muuntajaa ja generaattoria. (Elovaara & Haarla 2011b, 346.)

Käänteisaika ylivirtareleeseen erona vakioaika ylivirtareleeseen nähden on, että releen toiminta aikahidastus on virtaan nähden käänteinen. Tällöin releen toiminta-aika on sitä nopeampaa mitä suurempi mitattu virta on. Käänteisvaikutuksen jyrkkyyteen voidaan valita valmiita standardikäyriä. (ABB 2000b, 21.)

Jännitereleet toimivat, kun valvottava jännite ylittää tai alittaa asetellun arvon. Hetkellinen alijänniterele toimii mittausjännitteen laskiessa alle asetteluarvon. Samalla laukaisu- tai hälytyskoskettimet sulkeutuvat. Yleisesti alijännitereleitä käytetään arvokkaiden moottoreiden suojaamiseen sekä apusähköjärjestelmien jännitteen valvontaan. Vakioaika ylijänniterele havahtuu mittausjännitteen ylittäessä

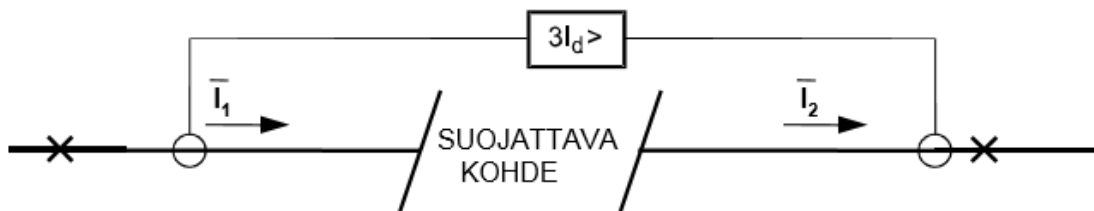
asetteluarvon ja toimii, kun se on ollut havahtuneena asetteluajan. Ylijännitereleitä käytetään puolestaan nollajännitteen seuraamiseen maasulkusuojauksessa. Tällöin suojaus toteutetaan yhdessä ylivirta- tai maasulun suuntareleen kanssa yhdistettynä. Ylijänniterelettä käytetään myös moottorin suojauksessa mittaamaan vastajännitettä. (ABB 2000d, 15-17.)

Distanssirele mittaa virta- ja jännitemuuntajien avulla suojattavan johdon virran ja johdon alkupään jännitteen. Rele muodostaa mitatuista arvoista verkon impedanssin. Tästä syystä relettä kutsutaan myös impedanssireleeksi. Rele pystyy päättämään vian suunnan virran ja jännitteen vaihesiirtokulman avulla. Distanssirelettä käytetäänkin silmukoiduissa verkoissa, joissa vikavirta voi tulla mistä suunnasta tahansa. Hyvän ja luotettavan suojauksen saavuttamiseksi käytetään useita distanssireleen portaita, joiden määrittelemät ulottumat haluttuun toiminta suuntaan muodostaa vyöhykkeitä. Kuviossa 7 on neljä vyöhykettä. Osa vyöhykkeistä on aseteltu toimimaan myötäsuntaan sekä osa vastasuuntaan. Lisäksi osa vyöhykkeet voivat olla yliulottuvia, jolloin ne voivat toimia varasuojina. (ABB 2000b, 30; Elovaara & Haarla 2011b, 348.)



Kuvio 7 4-portaisen distanssisuojan suojavyöhykkeet avorengasverkon suojauksessa (ABB 2000b, 30).

Differentiaali eli vertorele vertailee suojausalueensa eri kohtien vastaavia suureita (Kuvio 8). Rele toimii, kun suojattavaan kohteeseen tulevien ja siitä lähtevien suureiden erotus on suurempi kuin aseteltu arvo. Yleensä sallittu eroavaisuus on sitä suurempi mitä isompi on koko kohteen läpi kulkeva virta. Differentiaalireleitä voidaan soveltaa kaikkien verkon osien eli muuntajien, koneiden, kiskostojen sekä johtojen suojaukseen. (ABB 2000d, 15.)



Kuvio 8 Differentiaalireleen toimintaperiaate (ABB 2000b, 34).

Valokaarireleen tarkoitus on saada valokaaren aiheuttamat vahingot mahdollisimman pieniksi. Käytännössä tämä saavutetaan mahdollisimman lyhyellä valokaaren kestoajalla. Valokaarirele tarvitsee tiedon valokaariantureilta sekä virhe toimintojen välttämiseksi ylivirtatiedon lisäehtona laukaisulle. Ylivirtatieto tuotetaan eri järjestelmissä eri tavoin. Valokaariantureita on kahta tyyppiä. Avokuituun valo pääsee periaatteessa mistä kohtaa tahansa, mikä on etu toteutettaessa nykyaikaisen pitkälle osastoidun kojeiston valokaarisuojausta. Sama kuitu voidaan kierrättää monen osaston kautta, jolloin saadaan mahdollisimman täydellinen valokaarisuojaus toteutetuksi koko kojeiston osalta. Toisessa konstruktiossa valo pääsee kuituun sen päässä olevan linssin kautta. (ABB 2000d, 26)

### 2.2.6 Mittamuuntajat

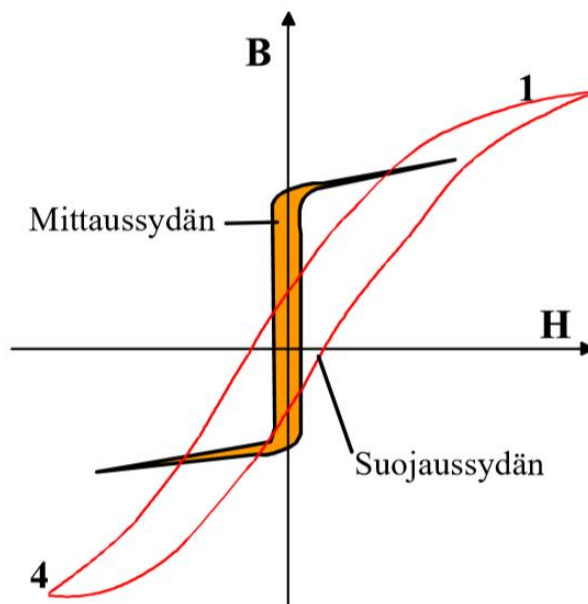
Mittamuuntajat ovat joko jännitteen- tai virranmittaukseen tarkoitettuja erikoisrakenteisia muuntajia. Mittamuuntajien pääasiallisia tehtävänä on:

- erottaa mittauspiiri galvaanisesti pääpiiristä
- muuttaa mitta-alaa ja samalla mahdollistaa mitta- ja suojalaitteiden standardointi tiettyihin mittausarvoihin
- suojella mittareita ylikuormitukselta

- tehdä mahdolliseksi mittareiden ja releiden sijoitus etäälle varsinaisesta mittauspisteestä. (Elovaara & Haarla 2011b, 198.)

Virtamuuntajat jaetaan standardin mukaan käyttötarkoituksensa perusteella kahteen luokkaan: Suojaustarkoitukseen valmistettuihin virtamuuntajiin sekä mitaustarkoitukseen valmistettuihin virtamuuntajiin. Käyttötarkoituksensa erilaisuuden vuoksi mittaus- ja suojausvirtamuuntajat poikkeavat toisistaan sekä mitoitukseltaan että vaatimuksiltaan. (Elovaara & Haarla 2011b, 198-199.)

Mittausvirtamuuntaja toimii normaalien kuormitusvirtojen alueella. Jotta toisiopiiriin liitetyt mittarit eivät oikosulkutilanteissa rikkoontuisi, tehdään mittausvirtamuuntajan magneettioppiiri ylivirta-alueella kylläiseksi. Tällöin virtamuuntajan toisiopiirin virran kasvu lähes pysähtyy ensiövirran ylittäessä tietyn rajan (Kuvio 9). Suojausvirtamuuntajan tulisi puolestaan toimia oikein myös ylivirta-alueella. Tämän vuoksi magneettinen kyllästyminen on siinä haitallinen ilmiö. Mitä suurempia virtoja ensiöpiiristä virtamuuntaja pystyy toistamaan verrannollisena toisiopiiriin, sitä paremmin suojausvirtamuuntaja täyttää tehtävänsä. (Martimo 2018b, 38.)



Kuvio 9 Virtamuuntajien sydämien kyllästyminen (Martimo 2018b, 38).

Virtamuuntajille tärkeitä suureita on tarkkuusluokat, jotka määritellään kulma- ja virtavirheen sekä yhdistetyn virheen avulla. Suojaustarkoituksiin käytettäviltä vir-

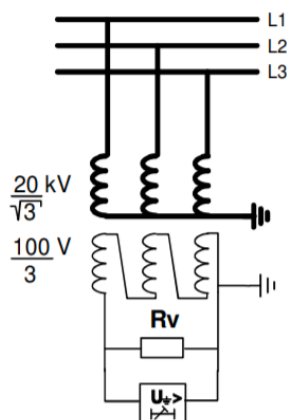
tamuuntajilta ei yleensä vaadita kovin suurta tarkkuutta. Myös ensiö- ja toisiovirroille on standardoitu mittausarvot. Ensiöpuolen yleisimmin käytettyjä mitoitusvirta-arvoja ovat 10-15-20-30-50-75 sekä niiden kymmenkerrannaiset. Toisiopiirin mitoitusvirta on ollut 5 A, mutta nykyisin suositetaan 1 A mitoitusta. On mahdollista myös erikoistapauksissa käyttää useamman muuntosuhteen virtamuuntajia varustamalla toisiokäämi esimerkiksi väliulosotoilla. (Elovaara & Haarla 2011b, 204-205; Martimo 2018b, 39.)

Kuten virtamuuntajat myös jännitemuuntajat jaetaan suojaukseen ja mittaukseen tarkoitettuihin jännitemuuntajiin. Jännitemuuntajan tärkeimmät teknilliset arvot ovat eristystaso, mitoitustaajuus, mitoitusensiöjännite  $U_{Pn}$ , mitoitusjännitekerroin, mitoitustoisiojännite  $U_{Pn}$ , mitoitustaakka  $S_n$  ja tarkkuusluokka. (ABB 2000d, 7.)

Jännitemuuntajassa voi olla yksi tai kaksi toisiokäämiä samalla sydämellä. Toisiokäämien käyttö jaotellaan kolmeen eri tapaukseen:

- ”mittauskäämiä käytetään mittaukseen
- suojaukseen voidaan käyttää sekä suojaukseen että mittaukseen
- avokolmiokäämiä käytetään maasulkusuojaukseen.” (ABB 2000d, 7.)

Nollajännitteen havaitsemiseksi maasulkusuojauksessa kolmen yksivaiheisen jännitemuuntajan muodostamassa kolmivaiheisryhmässä toisiokäämit kytketään avokolmioksi, jonka yksi kulma jätetään auki (Kuvio 10). Koska eri käämeillä on yhteinen sydän, vaikuttaa yhden käämin kuormitus muiden käämien mittausvirheen suuruuteen. (ABB 2000d, 7.)



Kuvio 10 Avokolmiokytkentä (ABB 2000a, 41).

Jännitemuuntajat ovat rakenteeltaan tavallisesti yksivaiheisia. Toimintaperiaatteeltaan ne voivat olla induktiivisia tai kapasitiivisia. Alle 245 kV käyttöjännitteillä käytetään induktiivisia jännitemuuntajia. Tätä suuremmilla jännitteillä kapasitiivisten jännitemuuntajien käyttö on halvempaa. (Elovaara & Haarla 2011b, 217-218.)

Nykyisin mittaukseen käytetään myös sensoritekniikkaan perustuvaa mittausta. Virtasensarit perustuvat esimerkiksi Rogowskin-kelaan ja jännitteiden mittauksessa voidaan hyödyntää resistiivistä jännitteenjakoa. Sensoritekniikalla säästetään tilaa ja komponentit ovat huomattavasti kevyempiä kuin perinteiset mittaumuuntajat. Lisäksi sensoreita voidaan asentaa jälkikäteen vaivattomasti esimerkiksi kosketussuojattuihin pistokeliittimiin (Kuvio 11). Uudesta tekniikasta huolimatta verkossa tulee olemaan vielä paljon vanhaa tavanomaista tekniikkaa, jolla on vielä paljon elinkaarta jäljellä. (Eurolaite 2018, 1.)



Kuvio 11 Nexans-pistokepäätteiden jännite- ja virtasensarit (Eurolaite 2018, 1).

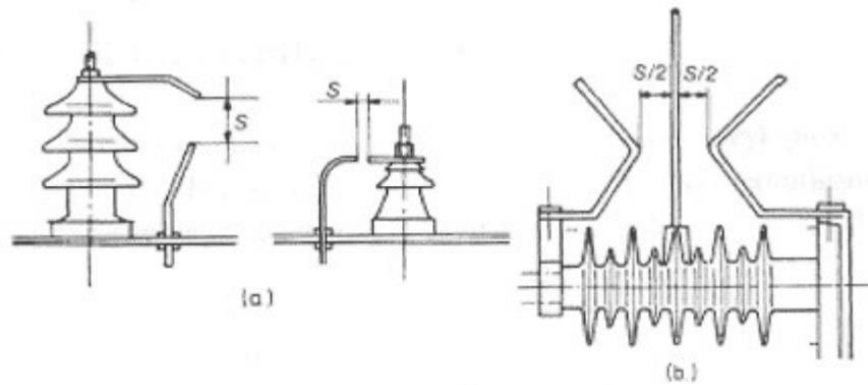
### 2.2.7 Ylijännitesuojat

Ylijännitesuojauksella pyritään rajoittamaan sähköverkossa esiintyvien ylijännitteiden suuruus sellaiselle tasolle, etteivät ne vaaranna verkon häiriötöntä käyttöä tai vahingoita sähköverkossa sijaitsevia laitteita. Ylijännitesuojauksessa soveltuvat menetelmät riippuvatkin tarkasteltavasta ylijännitelajista. Ylijännitteet voidaan jakaa kahteen luokkaan. Ensimmäisen muodostavat voimakkaasti vaimenevat ja lyhytaikaiset ylijännitteet, joita kutsutaan transienttiylijännitteiksi. Toisen luokan



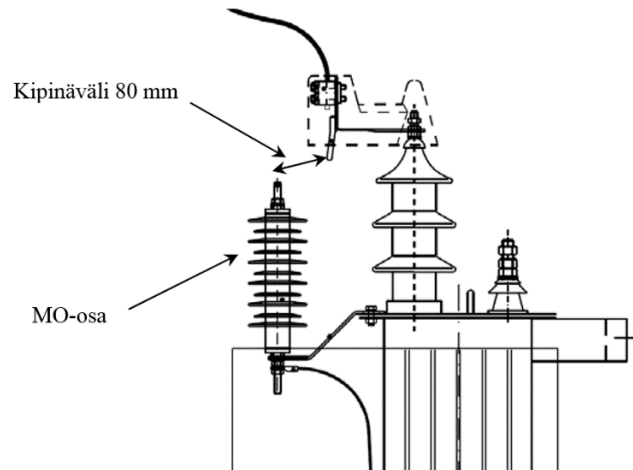
muodostavat vaimenemattomat tai heikosti vaimenevat ylijännitteet, joiden kesto-  
aika saattaa olla melko pitkä. Näitä kutsutaan pienitaajuisiksi ylijännitteiksi.  
(Elovaara & Haarla 2011b, 11.)

Keskijänniteverkossa yleisesti on käytössä ylijännitesuojaukseen suojakipinä-  
välejä sekä venttiilisuojia, lisäksi ukkosjohtimia käytetään sähköasemilla ylijännite-  
suojaukseen. Kipinävälejä voidaan käyttää sekä suojakipinäväleinä että laitteiden  
sisäisen jännitelujuuden koordinointiin. Koordinoititarkoituksessa kipinävälejä  
on käytetty Suomessa alle 200 kVA pylväsmuuntajien suojaukseen (Kuvio 12).  
Kipinävälisuojien etuina ovat niiden yksinkertaisuus ja edullinen hinta. (Elovaara  
& Haarla 2011b, 35-36.)



Kuvio 12 Pylväsmuuntamoiden (a) ja pylväserottimien (b) yhteydessä soveltuvia  
kipinävälisuojia (Elovaara & Haarla 2011b, 35).

Tehokkaammin ylijännitettä rajoitetaan venttiilisuojilla (Surge arresters), jotka kyt-  
ketään maan ja suojattavan laitteen rinnalle (Kuvio 13). Toisinaan venttiilisuojia  
asennetaan myös vaihejohtimien väliin. Venttiilisuojien toiminnalle on ominaista,  
että suoja on tietyn jännitearvon alapuolella kuin eriste, mutta saman arvon ylä-  
puolella mahdollisimman pieni vastus. Tämä ominaisuus saadaan aikaan epäli-  
nearisella vastuksella. (Elovaara & Haarla 2011b, 35.)

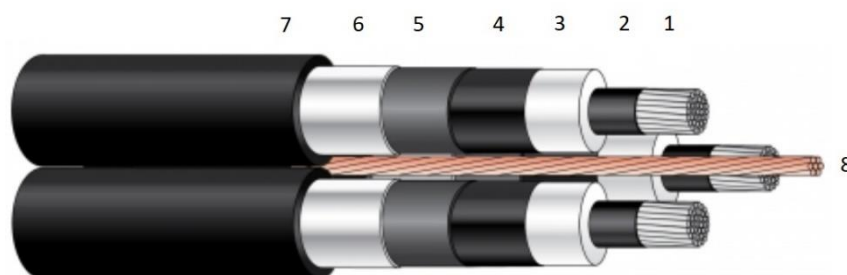


Kuvio 13 Kipinävälillinen venttiilisuoja muuntajan ylijännitesuojana (Lakervi & Partanen 2009, 116).

Viime vuosikymmenien aikana kipinävälittömät metallioksidiventtiilisuoja tai -varistorit (MOA, MOV, Gapless metal oxide surge arresters/varistors) ovat syrjäyttäneet aiemmin käytetyt kipinävälilliset, epälineaarisia piikarbidielementtejä hyödyntäneet venttiilisuojat (levykipinävälisuoja ja magneettipuhallussuoja). Metallioksidisuoja koostuu periaatteessa joukosta päällekkäin ladottuja sylinterimäisiä metallioksidielementtejä, jotka on suljettu posliinista tai polymeeristä valmistettuun eristinkuoreen. Kuoren sisälle voidaan sulkea hermeettisesti useampiakin rinnakkaisia vastuspilareita, jolloin suojan energianpurkamiskyky kasvaa. Käytännössä suurjännitteiset metallioksidisuojat koostuvat erillisistä yksiköistä, joita on kiinnitetty tarpeellinen määrä sarjaan. (Lakervi & Partanen 2009, 239.)

### 2.2.8 Voimakaapelit

Voimakaapeli on johto, jossa kosteutta sekä korroosiota estävän ja mekaanisen vahingoittumista kestävän vaipan sisällä on yksi tai useampi, toisistaan eristettyjä sähköenergian siirtoon tarkoitettuja johtimia (Kuvio 14). Suomessa vaihtosähkökaapeleita on käytössä 110 kV:n jännitteeltä aina pienjännitteille asti.



Kuvio 14 AHXAMK-W rakenne, 1 Johdin, 2 Johdinsuoja, 3 PEX-eriste, 4 Hohtosuoja, 5 Vesitiiviysnauha, 6 Alumiinilaminaatti, 7 Polyeteenivaippa ja 8 Kuparinen keskusköysi (Reka Kaapeli Oy 2019).

Keskijännitekaapelin mitoittamisessa huomioon otettavia seikkoja ovat jännitteenalenema, käyttövarmuus, kuormitettavuus, oikosulkukestoisuus, sähköturvallisuusmääräykset ja taloudellisuus. Pääpaino on asetettava kuitenkin valittavan kaapelin kuormitettavuudelle ja taloudellisuudelle. Käytännönsyistä suositellaan käytettäväksi vain niin sanottuja suosituimmuskaapeleita. Näitä kaapeleita löytyy usein varastosta tai niiden saatavuus on helppoa. Lisäksi näiden kaapeleiden varusteiden saatavuus on hyvä. (ABB 2000f, 1; Elovaara & Haarla 2011b, 316.)

Kaapelit on valittava ja sijoitettava siten, että johtimien eristeiden, liitosten, päätteiden tai ympäristön suurinta sallittua lämpötilaa ei ylitetä seuraavissa olosuhteissa:

- ”normaalikäytössä
- erityisissä, toimittaja ja käyttäjän ennalta sopimissa käyttöolosuhteissa
- oikosulussa.” (SFS 6001:2018 2018, 43.)

Kaapelointeja suunniteltaessa määräävimpiä tekijöitä ovat kaapelin kuormitettavuus ja oikosulkukestoisuus. Samoin kuin pienjännitekaapeleilla, myös keskijännitekaapeleilla on kuormitettavuuden määrääjänä kaapelin käyttölämpötila. Kaapelin käyttölämpötila ei saa ylittää sille määriteltyä arvoa, joka yhdessä ympäristöolosuhteiden kanssa saa aikaan sen, kuinka suuri on tietyn kaapelin maksimi-

kuormitusvirta jatkuvassa käytössä. Myös asennusolosuhteet vaikuttavat osaltaan keskijännitekaapeleiden kuormitukseen. Lopullisen sallitun kuormitusvirran laskemisessa käytetään asennusolosuhteet huomioon ottavia korjauskertoimia. (Monni 1998, 140.)

Oikosulkukestoisuuteen vaikuttavat kaapelin terminen ja dynaaminen oikosulkukestoisuus. Johdon terminen oikosulkukestoisuus ilmoitetaan tavallisesti suurimpana sallittuna 1 sekunnin virta-arvona lähtien suurimmasta sallitusta käyttölämpötilasta. Termistä oikosulkuvirtaa tarkasteltaessa on otettava huomioon käytössä olevat releistyksen pika- ja aikajälleenkytkennät sekä niiden vaikutukset kaapelin lämpenemiseen. Johdon suurimman sallitun oikosulkuvirran vaikutus ajalle  $t$  saadaan laskettua kaavalla 1. (Sähköenergialiitto 1994, 19.)

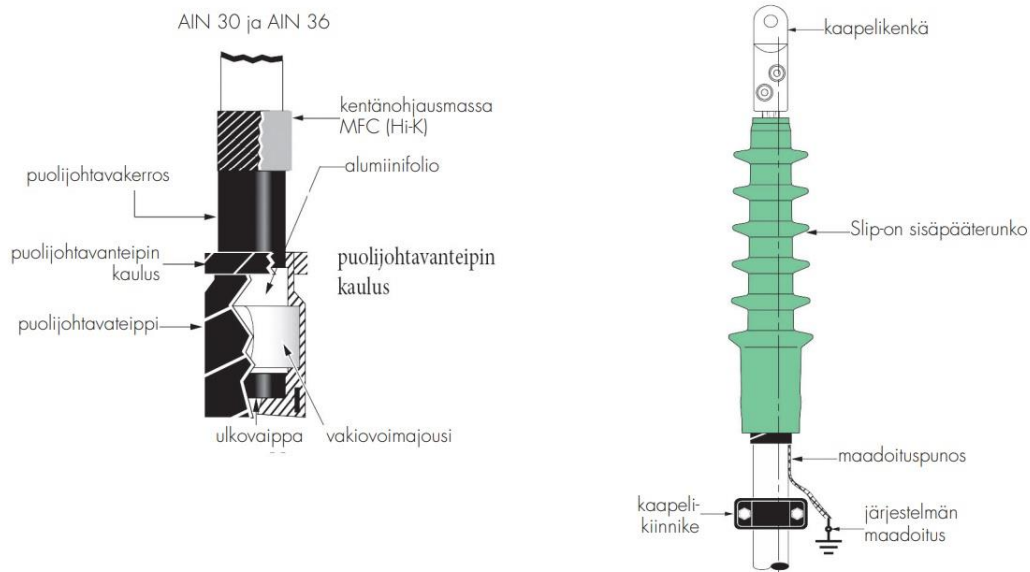
$$I_{SALL} = \frac{I_{kl}}{\sqrt{t}} \quad (1)$$

missä

$I_{SALL}$	sallittu oikosulkuvirta kestoajalla $t$ (A)
$I_{kl}$	1 s oikosulkuvirta (A)
$t$	oikosulun ekvivalenttinen vaikutusaika (s)

Dynaamiset oikosulkuvirrat rasittavat kaapeleita sekä kaapeleiden kiinnityksiä mekaanisesti. Esimerkiksi lähellä kantaverkkoa ja isoja tahtikoneita dynaaminen oikosulkurasitus on oleellisesti suurempi. Tällöin on hyvä tarkistaa valittavan kaapelin dynaaminen kestoisuus myös kaapelin kiinnityksien osalta. (ABB 2000f, 4.)

Jännitetaso asettaa keskijännitekaapeleiden päätteiden rakenteille erityisvaatimuksia (Kuvio 15). Kaapelin metallivaipan ja hohtosuojan päätyminen aiheuttaa eristystä rasittavan sähkökentän muutoksen rajapintaan. Lisäksi päätteissä esiintyy erisuuntaisia jänniterasituksia. Keskijännitteillä käytetään pääsääntöisesti kolmea päätetyyppiä: lämpökutiste-, kylmäkutiste- ja pistokepäätteitä. (Monni 1998, 144-145.)



Kuvio 15 AHXAMK-W kaapelipäätteen rakenteita (Eurolaite Oy 2019, 5).

## 2.3 Muuntamot

Jakelumuuntamo koostuu tavallisesti keskijännitekojeistosta, yhdestä tai useammasta jakelumuuntajasta, pienjännitekojeistoista, maadoituksista sekä mahdollisesta apujännitejärjestelmästä. Muuntamon sisältämät komponentit ja rakenteet ovat tapauskohtaisia, joten mitään yksittäistä yleispätevää ratkaisua ei ole.

### 2.3.1 Jakelumuuntajat

Muuntaja on sähkölaite, jossa ei ole liikkuvia osia lukuun ottamatta käämikytkimellä varustettuja tehomuuntajia. Muuntajan toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon, joten se toimii vain vaihtovirralla. Tähän perustuu vaihtovirtaverkon suosio sähkönjakelussa: muuntajilla on helppo muuttaa jännitetasoa hyvällä hyötysuhteella. Sen lisäksi, että muuntajan päätehtävänä onkin muuttaa käytössä olevaan jännitetasoa matalammaksi tai korkeammaksi, erotetaan muuntajalla ensiö- ja toisiovirtapiiri galvaanisesti toisistaan. (Trafomic 2019.)

Taulukko 1 Kolmivaihemuuntajien osoitin- ja kytkentäryhmät (Trafomic 2019).

Kytkentäryhmä IEC:n mukaan	Osoitinpiirros		Kytkentäpiirros		Toision Nollapiste
	Ylä- jännite	Ala- jännite	Ylä- jännite	Ala- jännite	
0	Dd 0				Ei saatavissa
	Yy 0				n. 10% kuormitettavissa.
	Dz 0				100% kuormitettavissa
5	Dy 5				100% kuormitettavissa
	Yd 5				Ei saatavissa
	Yz 5				100% kuormitettavissa
6	Dd 6				Ei saatavissa
	Yy 6				n. 10% kuormitettavissa
	Dz 6				100% kuormitettavissa
11	Dy 11				100% kuormitettavissa
	Yd 11				Ei saatavissa
	Yz 11				100% kuormitettavissa

Muuntajat jakautuvat rakenteeltaan paisuntasäiliöllisiin, hermeettisesti suljettuihin ja valuhartsieristeisiin jakelumuuntajiin. Näistä kaksi ensimmäistä ovat öljyeristeisiä ja öljyjäähdytettyjä. Hermeettisesti suljetut muuntajat ovat kaasutiiviitä muuntajia, jonka sisällä öljy säilyy parempana kuin paisuntasäiliöllä varustetussa muuntajassa. Vaikka yleisesti käytetään öljyeristeisiä muuntajia, on käyttötilanteita, joissa kuivamuuntajan käyttö on perusteltua. Näitä ovat suuri pistekuorma tehdastilassa, sairaalat, vedenpuhdistuslaitokset, kaivokset, väestösuojat, pohjavesialueet ja tunnelit. (ST 53.11 2018 8-9.)

3-vaihemuuntajissa käämit voidaan kytkeä kolmioon (D), tähteen (Y), hakatähdeen (Z) tai avoimeen kolmivaihekäämitykseen. Kytkenät ilmoitetaan kirjain- ja tunnussymboleilla. Iso kirjain, joka merkitään ensimmäisenä, tarkoittaa korkeamman jännitteen käämitystä ja pienet kirjaimet matalamman jännitteen käämityksiä. Jos kytkentöjen tähtipiste on tuotuna muuntajan kannen liittimille, merkitään

N tai n välittömästi käämityksen kirjainsymbolien jälkeen. Käämien kytkennästä aiheutuvaa vaihesiirtoa kuvataan tunnuslukuina kellotaulun tuntilukemista. Esimerkiksi tunnusluku 11 tarkoittaa, että alajännite on 30 astetta jäljessä yläjännitteestä. (ABB 2000c, 2.)

Sama kytkentä voidaan tehdä niin muuntajan ensiö- ja toisiopuolella. Tätä kutsutaan puhtaaksi kytkennäksi ja mikäli kytkennät poikkeavat, kutsutaan sitä seka-kytkennäksi. Jakelumuuntajissa yleisin kytkentä taloudellisuuden ja vinokuormitusominaisuuksien takia on Dyn11. Taulukosta 1 tavallisimmat käytössä olevat muuntajien kytkentäryhmät. (Trafomic 2019.)

Muuntaja varustellaan tarvittavilla varusteilla. Öljyeristeisien muuntajien normaallivarustukseen kuuluu nestemäärämittarin lisäksi lämpötilamittari. Lämpötilamittarissa voi olla koskettimet, joista toista (80-90 °C) käytetään lämpötilahälykseen ja toista (90-100 °C) muuntajaa syöttävän lähdön katkaisijan/varokekuormaerottimen laukaisuun. Kuivamuuntajien lämpötilarajat ovat korkeampia öljyjäähdytteisiin muuntajiin verrattuna. Muita yleisiä varusteita jakelumuuntajalle on siirtopyörät, ilmankuivan, Bucholz-rele, liittimien kosketussuojat, värinänvaimennuspalat. (ST 53.11 2018, 9.)

### 2.3.2 Muuntamotilat

Muuntamon rakennuskustannukset riippuvat voimakkaasti muuntamotyypistä. Taajamissa käytettävät jakelumuuntamot ovat suuremmat tehon ja ympäristövaatimusten takia yleensä paljon kalliimpia kuin haja-asutusalueille soveltuvat. Maaseudun ilmajohtoverkoissa käytetään pylväsmuuntamoita. Pylväsmuuntamot soveltuvat pienille, enintään 315 kVA muuntajille. Taajamaverkoissa jakelumuuntamo toimii usein keskijännitekaapelirenkaan osana ja lähdöt on varustettu katkaisijoilla tai tehoerottimilla. Tällöin puisto- ja kellarimuuntamot ovat yleisiä (Kuva 1). Muuntajien nimellistehot ovat yleensä 1000 kVA:n luokkaa. (Lakervi & Partanen 2009, 121.)



Kuva 1 Puistomuuntamo (Lakervi & Partanen 2009, 121).

Muuntamon tilantarve riippuu suuresti käytettävästä kojeistosta. SF6-kaasun käyttö kojeistojen ja/tai kojeiden eristeenä on tullut yleiseksi. Kojearjojen tilantarve on pienentynyt ilmaeristeiseen kojeistoon verrattuna noin kolmasosaan. Tilantarpeeseen vaikuttaa olennaisesti myös pienjännitekeskuksen sijoitus. Muuntamon tilatarpeet on huomioitava hankkeen kaikissa suunnitteluvaiheissa heti alusta lähtien. (ST 53.11 2018, 4.)

Muuntamotilan valokaarioikosulun painevaikutukset on huomioitava tilaa suunniteltaessa. Paine voi purkautua muuntamotilasta avoimesta ovesta, erityisestä paineenpurkaukosta tai ilmanvaihdon aukoista. Vaikka rakennukseen sijoitetun muuntamon kojeisto varustettaisiin erityisillä ulos johdetuilla paineenpurkausaukoilla, on valokaaripaineen vaikutus kuitenkin otettava huomioon muuntamon rakenteissa esimerkiksi SJ-kaapelin päätetilassa, muuntajan kannella tai pienjännitekeskuksessa tapahtuvan oikosulun takia. (ST 53.11 2018, 6-7.)

Erillisissä muuntamoissa selvittää yleensä luonnollisella ilmanvaihdolla. Jos muuntajateho on yli 500 kVA ja kuormituksen huippu on kesällä, tulee koneellisen ilmanvaihdon tarve laskea. Usein käytetään tehdasvalmisteisia muuntamoita, jol-

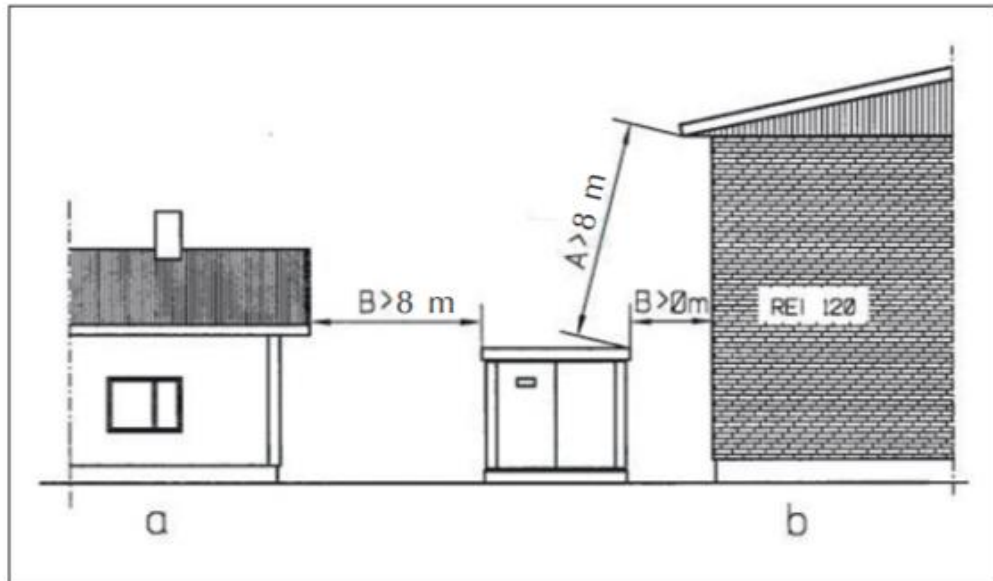


loin valmistaja antaa tietoja myös tarvittavasta ilmanvaihdosta. Rakennuksen sisälle sijoitettuun muuntamoon ei voida toteuttaa riittävää luonnollista ilmanvaihtoa vaan se täytyy toteuttaa koneellisesti. (ST 53.11 2018, 5-6.)

Erillisen muuntamon rakentamisessa on huomioitava seuraavaa:

- pinta-, pohja- ja vuotovesien pääsy muuntamoon estetään.
- eristysnesteeseen pääsy ympäristöön estetään esimerkiksi öljynkeruualtaalla
- muuntamon ovien tulee aueta ulospäin, ja ne on varustettava auki-asennon varmistavilla tuulihaloilla.
- Irrotettavat lattialevyt ja kaapelikanavan kannet on kiinnitettävä kunnolla, purkautuva valokaaripaine aiheuttaa lattiaa nostavan voiman. (ST 53.11 2018, 8.)

Muuntajan vähimmäisetäisyydeksi rakennuksesta tai varastosta tulee olla sellainen, että palo ei leviä helposti rakennukseen ja että aluepalon vaara jää vähäiseksi. Muuntajan palovaara riippuu laitteen mitoitusarvosta, eristysaineiden määrästä ja tyypistä, muiden laitteiden sekä rakenteiden läheisyydestä ja paloalttiudesta. Etäisyyksiä ja rakenteiden kestävyyttä arvioidessa on otettava huomioon standardi SFS 6001 8.7.3. sekä Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Kuviossa 16 on esimerkki puistomuuntamon sijoituksesta. (SFS 6001:2018 2018, 72; YMa rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 5:29 §.)



Kuvio 16 Erillisen muuntamon etäisyys a) heikon paloluokituksen rakennuksesta ja b) riittävän palonkestävyyden omaavasta rakennuksesta (ST 53.11 2018, 7).

### 2.3.3 Muuntamon ja keskijännitejärjestelmän maadoitukset

Maadoituksen tarkoituksena on yhdistää virtapiirin jokin kohta tai laite maahan mahdollisimman tehokkaasti maassa sijaitsevan metallisen kappaleen eli maadoituselektrodin välityksellä. Maadoitukset jaetaan suoja- ja käyttömaadoituksiin. Käyttömaadoittamisessa virtapiirin jokin osa yhdistetään maahan pienen impedanssin välityksellä tai suoraan ilman impedanssia. Käyttömaadoituksen yhtenä tehtävänä on pitää virtajohtimien jännite maan suhteen sellaisena, ettei se aiheuta vaurioita tai vaaratilanteita. Toisena tehtävänä on pitää jännite-epäsymmetria ja maavirta niin matalana, että heikkovirtajärjestelmille aiheutuvat häiriöt jäävät vähäisiksi. Suojamaadoittamisessa taas maadoitukseen yhdistetään virtapiiriin kuulumaton osa jännitteelle altis osa. (Elovaara & Haarla 2011b, 427.)

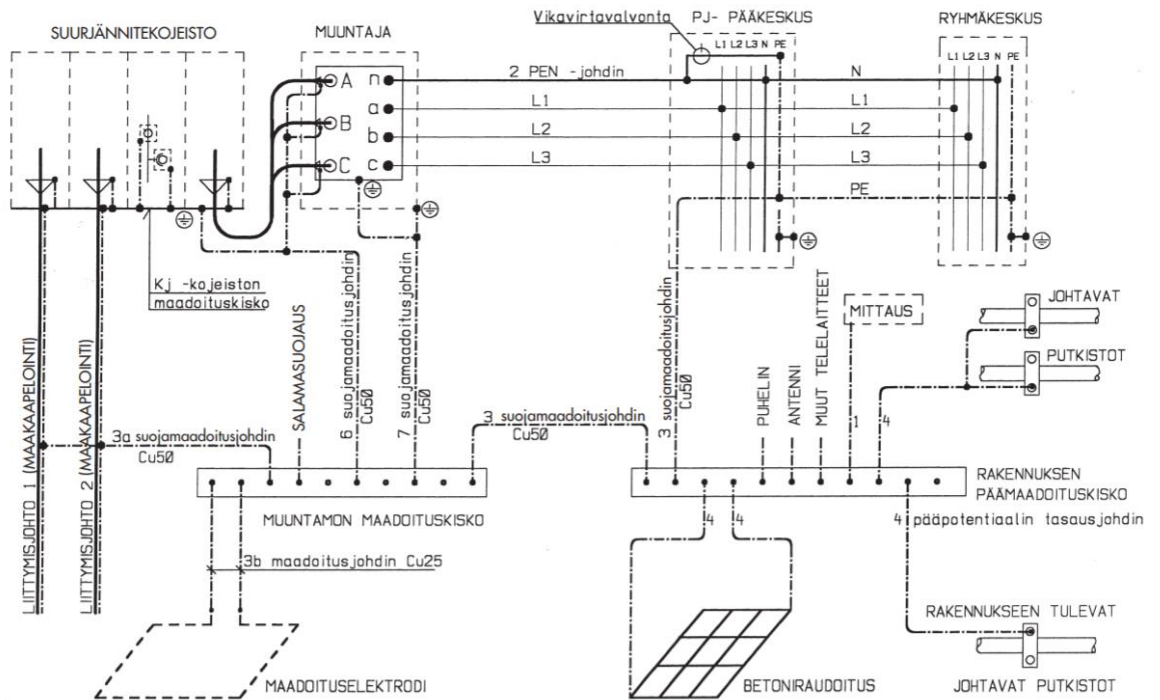
Muuntamolle tulee aina rakentaa maadoituselektrodi. Jos muuntamo ei liitetä laajaan maadoitusjärjestelmään, sen maadoitusresistanssi on mitattava tai laskettava ja maadoituksen jatkuvuus todennettava muuhun maadoitusverkkoon. Tarpeen mukaan maadoitusta on parannettava, jos vaatimukset eivät täyty (SFS 6001:2018 2018, 132).

Maadoituselektrodin rakenne voi olla:

- ”syvämaadoitukset paalutuksen yhteydessä. 2-4 paalun mukana asennetaan 20 mm<sup>2</sup> kupariköydet, jotka liitetään puristusliitoksilla ja tuodaan muuntamoon kahdella 25 mm<sup>2</sup> köydellä.
- rakennuksen kiertävä 25 mm<sup>2</sup> kuparimaadoitusköysi, jonka kumpikin pää tuodaan muuntamon maadoituskiskoon.
- liittymisjohtojen ojaan asennetut 2 kpl 25 mm<sup>2</sup> kuparimaadoitusköydet, yksi kappale omaan ojaan.” (ST 53.11 2018, 15.)

Muuntamon maadoitus rakennetaan kuvion 10 periaatteen mukaisesti. Tapauskohtaisesti osa maadoitus pisteistä voi puuttua tai vaihtoehtoisesti pisteitä voi olla enemmänkin. Muuntajan suojamaadoituskohta on yleensä muuntajien kannella ja säiliön alaosassa. Suojamaadoittaminen tehdään muuntajavalmistajan ohjeen mukaan, joko näihin kumpaankin tai vain kanteen. Muuntajan suojamaadoitusjohtimet ovat vähintään 50 mm<sup>2</sup> Cu. Muutoin suojamaadoitusjohtimien minimipoikkipinta on vähintään 16 mm<sup>2</sup> Cu. Toisaalta kaksoismaasulkujen takia niiden kooksi olisi suositeltavaa valita 50 mm<sup>2</sup> Cu, koska ohut suojamaadoitusjohdin voi palaa poikki kaksoismaasulkujen aikana. Kaikki muuntamon maadoitusjohtimet voivat olla kirkasta kuparia, koska eristemateriaali voi palaa pois oikosulun aikana. Jos halutaan käyttää eristettyjä johtimia, niin on käytettävä kevi-johtimia. Jos pienjännitekeskus on muuntamotilassa, voivat muuntamon maadoituskisko ja rakennuksen päämaadoituskisko yhdistyä yhdeksi päämaadoituskiskoksi. (ST 53.11 2018, 15.)

Puistomuuntamoiden maadoituskaavio on kuvion 17 kaltainen, mutta siitä voidaan karsia tai lisätä tarvittaessa maadoituksia pois (putkisto-, antenni-, telejärjestelmän- ja puhelinmaadoitukset). Pylväsmuuntamossa suojamaadoitetaan kaikki yleensä jännitteelle alttiit osat ja käyttömaadoitetaan pienjännitepuolen nol-lapiste. Yleensä käyttö- ja suojamaadoitukset yhdistetään samaan maadoituselektrodiin. (Monni 1998, 75-76.)



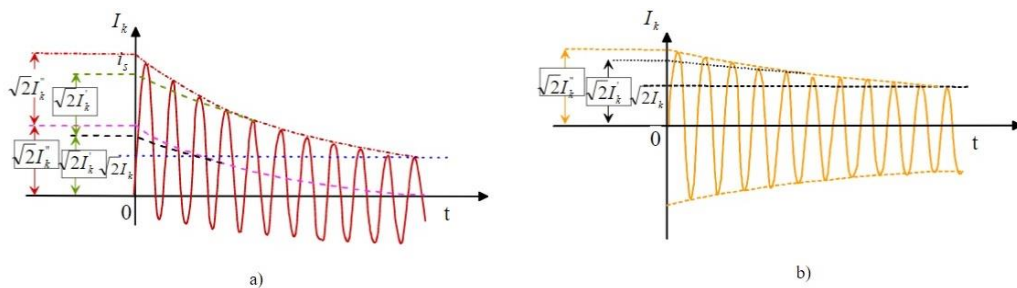
Kuvio 17 Esimerkki muuntamon maadoituksista (ST 53.11 2018, 20).

### 3 VIKATILANTEET JA NIIDEN HUOMIOIMINEN SUUNNITTELUSSA

Jotta suunniteltavasta kohteesta saadaan sähköteknisesti toiminnallinen ja vika-tilanteet kestävä ratkaisu, täytyy suunnittelijalla ymmärtää vikatilanteiden tapahtumien teoria. Tässä kappaleessa tutustutaan keskijänniteverkon vikatilanteisiin sekä vikatilanteiden suureiden laskentaan.

#### 3.1 Oikosulku

Kahden tai useamman virtajohtimen välistä pieni-impedanssista vikaa kutsutaan oikosulkuksi. Oikosulku voi olla myös yksivaiheinen, jos vika on nolla- ja virtajohtimen välillä. 3-vaiheinen oikosulku on eniten verkkorasittava vika, mutta oikosulun rasitukset eivät rajoitu vain suuren virran aiheuttamiin vaikutuksiin vaan niiden lisäksi se aiheuttaa jännitekuoppia. Oikosulkupiirin impedanssi on pääasiassa induktiivinen, joten virta on lähes aina loisivirtaa. Kuviossa 18 on esitetty epäsymmetrisen ja symmetrisen oikosulkuvirran luonnetta. Epäsymmetrinen oikosulkuvirta sisältää vian alkuhetkillä tasakomponentin, minkä suuruuteen vian syntyhetki vaikuttaa. Symmetrinen oikosulku ei sisällä tasavirtakomponenttia. Kummassakin tapauksessa alkuoikosulkuvirta  $I_k''$  vaimenee pysyvään arvoonsa  $I_k$ . (Elovaara & Haarla 2011a, 171.)



Kuvio 18 a) epäsymmetrinen b) symmetrinen oikosulkuvirta (Martimo 2018b, 13).

Oikosulkuvirtojen laskemiseen tarvitaan oikosulkupiirin impedanssi, mikä koostuu piirin komponenttien impedansseista. Syöttävän verkon impedanssi saadaan kaavalla 2.

$$Z''_Q = \frac{c \cdot U_n^2}{S''_{kQ}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}} \quad (2)$$

missä

c	on	taulukon 2 mukainen kerroin
$U_n$	on	syöttävän verkon jännite
$S''_{kQ}$	on	alkuoikosulkuteho
$I''_{kQ}$	on	alkuoikosulkuvirta

Taulukko 2 IEC60909 -mukainen jännitekerroin c (ABB 2000b, 2).

Nimellisjännite $U_n$	Maksimioikosulkuvirta Cmax	Minimioikosulkuvirta Cmin
Pienjännite 100-1000V		
230V/400V	1.00	0.95
muut jännitteet	1.05	1.00
Keskijännite		
1kV – 35kV	1.10	1.00
Suurjännite		
45kV – 230kV	1.10	1.00

Muuntajan kilpiarvoista saadaan laskettua oikosulkureaktanssi kaavalla 3, oikosulkuresistanssi kaavalla 4 ja oikosulkuimpedanssi kaavalla 5.

$$X_k = U_x * \frac{U_N^2}{S_N} \quad (3)$$

$$R_k = u_r * \frac{U_N^2}{S_N} \quad (4)$$

$$Z_k = \sqrt{X_k^2 - R_k^2} \quad (5)$$

missä

$R_k$	on	muuntajan resistanssi
$X_k$	on	muuntajan reaktanssi
$u_r$	on	muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi
$u_x$	on	muuntajan suhteellinen oikosulkureaktanssi
$U_N$	on	muuntajan nimellisjännite
$S_N$	on	muuntajan nimellisteho

Johdoille ja kaapeleille resistanssin sekä reaktanssin arvot saadaan valmistajalta. Arvot ilmoitetaan pituusyksikköä kohden, joten kaapelin ja johdon impedanssin saa kaavalla 6. Jossain tapauksissa reaktanssi ilmoitetaan impedanssina pituusyksikköä kohden. Tällöin reaktanssi saadaan induktiivisen reaktanssin kaavalla 23. (ABB 2000b, 5.)

$$Z_j = (r + jx) * l \quad (6)$$

missä

r	on	kaapelin resistanssi pituusyksikköä kohden ( $\Omega/\text{km}$ )
x	on	kaapelin reaktanssi pituusyksikköä kohden ( $\Omega/\text{km}$ )
l	on	kaapelin pituus (km)

$$X_L = 2\pi * f * L \quad (7)$$

missä

$X_L$	on	induktiivinen reaktanssi ( $\Omega$ )
f	on	verkon taajuus (Hz)
L	on	induktanssi (H)

Piirin sähköisiä arvoja laskettaessa on huomioitava, että arvoja käsitellään samassa jänniteportaassa. Kun on valittu tietty jänniteporras, jota aloitetaan tarkastella, täytyy muiden portaiden suureet redusoida valittuun jännitetasoon. Redusoituja suureita merkitään heittomerkillä. (Sähköverkkojen laskentaa 1998, 2-3.)

Jännitteet redusoidaan kaavalla 8.

$$U' = \left(\frac{U_1}{U_2}\right) * U \quad (8)$$

missä

U	on	vallitseva jännite (V)
U'	on	redusoitujännite (V)
$U_1$	on	jännitetaso mistä redusoidaan (V)
$U_2$	on	jännitetaso mihin redusoidaan (V)

Virrat redusoidaan kaavalla 9.

$$I' = \left(\frac{U_2}{U_1}\right) * I \quad (9)$$

missä

I	on	vallitseva virta (A)
I'	on	redusoitu virta (A)
$U_1$	on	jännitetaso mistä redusoidaan (V)
$U_2$	on	jännitetaso mihin redusoidaan (V)

Impedanssit redusoidaan kaavalla 10.

$$Z' = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 * Z \quad (10)$$

missä

Z	on	vallitseva impedanssi ( $\Omega$ )
Z'	on	reduoitu impedanssi ( $\Omega$ )
U <sub>1</sub>	on	jännitetaso mistä redusoidaan (V)
U <sub>2</sub>	on	jännitetaso mihin redusoidaan (V)

### 3.1.1 Kolmivaiheinen oikosulku

Vastukseton kolmivaiheinen oikosulku on suurin kolmivaihejärjestelmässä esiintyvä vikavirta. Kolmivaiheisen vikavirran arvoa käytetään suojausasetusten maksimitilojen määrittämisessä termisien- ja dynaamisten oikosulkuvirtojen varalta. Theveninin menetelmällä saadaan laskettua oikosulkuvirran itseisarvo (kaava 11). Theveninin menetelmässä muodostetaan yksivaiheinen sijaiskytkentä, jossa tehonlähteet ja komponentit korvataan oikosulkuimpedansseilla ja vikapaikkaan sijoitettavalla ekvivalenttisella jännitelähteellä. (ABB 2000b, 1.)

$$I_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (11)$$

missä

c	on	taulukon 2 mukainen kerroin
U <sub>n</sub>	on	vikapaikan käyttöjännite vikahetkellä
Z <sub>k</sub>	on	impedanssi vikapaikasta katsottuna
R	on	resistanssi vikapaikasta katsottuna
X	on	reaktanssi vikapaikasta katsottuna

### 3.1.2 Kaksivaiheinen oikosulku

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta on kahden vaiheen välinen pieni-impedanssinen yhteys, jota käytetään maasta erotettujen tai sammutettujen verkkojen suojausten asetteluiden määrittämiseen eli pienimmän oikosulun määrittämiseen. Riittävän tarkka kaksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan laskemalla kaavalla 12. (Martimo 2018b, 1-2.)

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3} = \sim 0,87 \cdot I_{k3} \quad (12)$$



### 3.1.3 Sysäysoikosulkuvirta

Sysäysoikosulkuvirta ( $i_s$ ,  $I_{pk}$  ja  $I_{dyn}$ ) on suurin oikosulkuvirran hetkellisarvo, jolloin tasakomponentti saa suurimman arvonsa. Täten sysäysoikosulkuvirta määrittää laitteiden mekaanisen kestävyuden mitoituksen. Kansainvälisen standardin IEC 60909 mukaan sysäysoikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla 13. (Elovaara & Haarla 2011a, 174.)

$$i_s = K * \sqrt{2} * I''_k \quad (13)$$

missä

$I''_k$	on	alkuoikosulkuvirta (A)
K	on	R/X -kerroin, joka saadaan kaavalla 14

$$K \approx 1,02 + 0,98 * e^{-3\frac{R}{X}} \quad (14)$$

missä

R	on	piirin resistanssi ( $\Omega$ )
X	on	piirin reaktanssi ( $\Omega$ )
e	on	Neperin luku

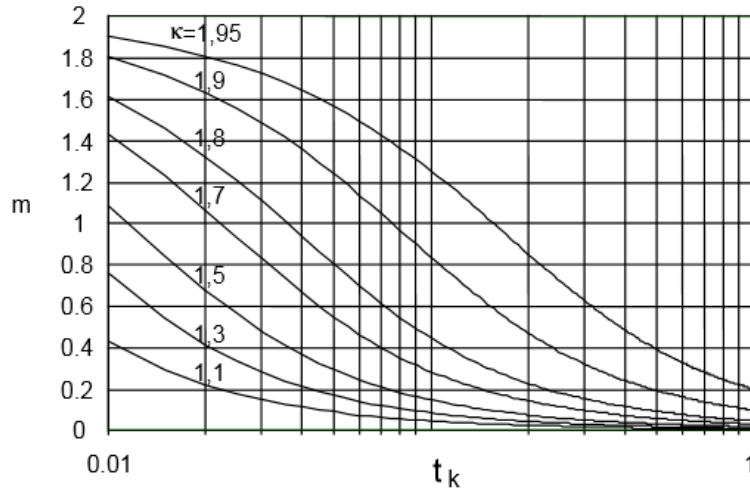
Jos resistanssin tai reaktanssin arvoja ei ole saatavilla, voidaan käyttää kaavaa 15 sysäysoikosulkuvirran määrittämiseen.

$$i_s = 1,8 \sqrt{2} * I''_k \approx 2,5 * I''_k \quad (15)$$

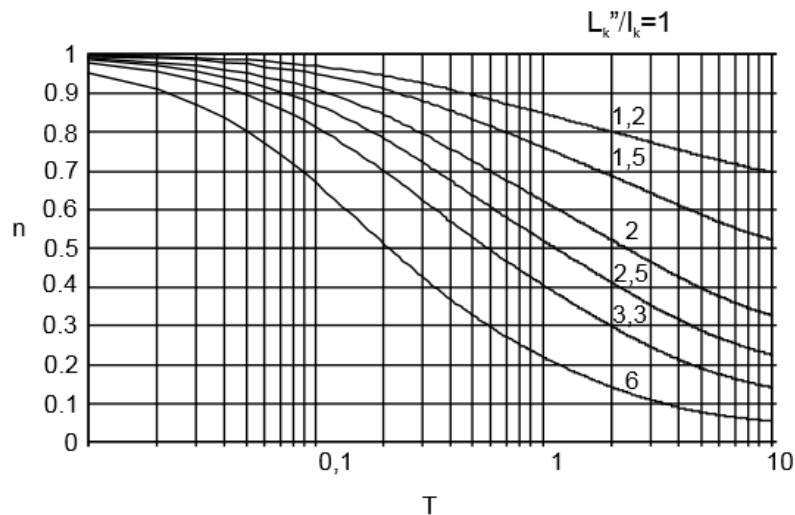
### 3.1.4 Terminen oikosulkuvirta

Oikosulun vaikutusajasta riippuvia lämpötilan aiheuttamia vaikutuksia kutsutaan termisiksi vaikutuksiksi. Termistä oikosulkuvirran yhden sekunnin arvoa käytetään kaapeleiden ja kojeiden mitoittamiseen. Komponenttien tulisi kestää termiset vaikutukset oikosulussa ilman rakenteellisia muutoksia. Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta ( $I_{th}$ ,  $I_{cw}$ ) lasketaan kaavalla 16, jossa tasavirtatekijä m saadaan kuviosta 19 ja vaihtovirtatekijä n kuviosta 20. (ABB 2000b, 8.)

$$I_{th} = I''_k * \sqrt{m + n} \quad (16)$$



Kuvio 19 Tasavirtatekijän  $m$  riippuvuus oikosulkuvirran sysäyskertoimesta ja oikosulun kestoajasta (ABB 2000b, 8).



Kuvio 20 Vaihtovirtatekijän  $n$  riippuvuus oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon suhteesta (ABB 2000b, 8).

Virtapiirin laitteet ovat termisesti kestäviä oikosululle, jos ne täyttävät kaavan 17 epäyhtälön. Yleensä laitteiden terminen kestoisuus ilmoitetaan 1s arvona, mutta myös muita arvoja käytetään. (ABB 2000b, 9.)

$$I_{th} \leq I_{thn} \sqrt{\frac{t_N}{t}}, \text{ kun } t \leq t_N \quad (17)$$

missä

$I_{thn}$  on nimellinen terminen oikosulkukestoisuus  
 $t_N$  on nimellistä termistä oikosulkukestoisuutta vastaava aika

## 3.2 Maasulkuilmiö

Maasulku tarkoittaa käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maahan johtavassa yhteydessä olevan osan välistä vikaa. Jotta maasulkuvirrat ja nollajännite voidaan laskea maasta erotetussa ja kompensoidussa verkossa, täytyy tuntea koko galvaanisesti yhteen kytketty verkko. Käyttömaadoitetussa verkossa maasulku on luonteeltaan yksivaiheisen oikosulun tapainen, jolloin se voidaan laskea verkon impedanssit tiedettäessä. (ABB 2000c, 1.)

Kaikki sähköisesti erilliset järjestelmät on varustettava automaattisella maasulkusuojauksella, jonka avulla maasulku havaitaan ja kytketään pois. Ensimmäisestä maasulusta aiheutuvaa hälytystä ja käsin tapahtuvaa poiskytkentää voidaan käyttää vain silloin, kun verkon käytön luonteen takia maasulun aiheuttama keskeytys on tarvetta siirtää etukäteen laadittujen ohjeiden mukaisesti sopivampaan ajankohtaan. Tällöin on täytettävä standardin SFS 6001:2018 Liitteen NA.7.1.1 kohdan ehdot. (SFS 6001:2018, 140.)

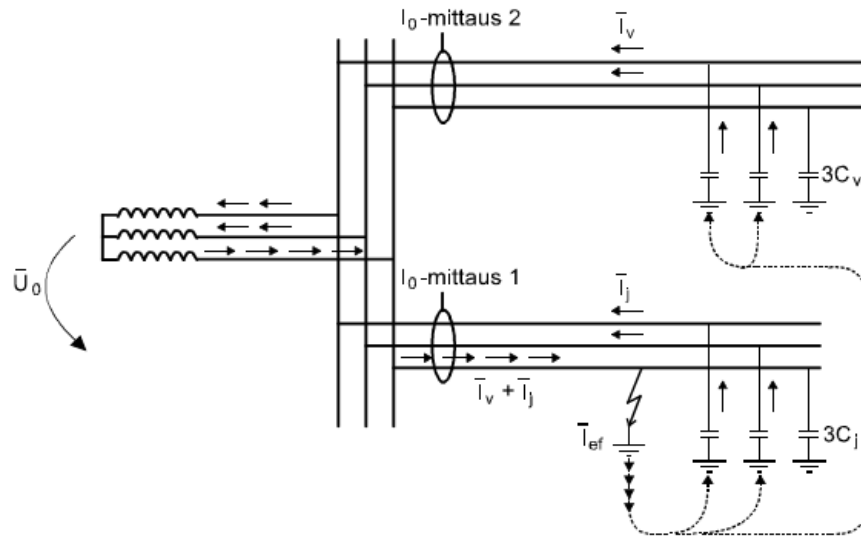
Yleishälytys on riittävä vain suppeissa verkoissa, joiden vikapaikka on helposti havaittavissa. Syntyipä maasulku missä tahansa verkkoa, ilmenee se aina nollajännitteenä. Yleishälytys varasuojaukseksi voidaankin toteuttaa nollajännitettä valvovan releen avulla. Jos halutaan helpottaa vian hakua tai käyttää laukaisua, täytyy verkko varustaa selektiivisellä suojauksella. (ABB 2000c, 3.)

Selektiivinen suojaus vaatii releistykseen jokaiseen johtolähtöön. Suojauksen toteutustapoja on monia ja niiden valintaan vaikuttaa verkon rakenne (säteittäinen, silmukka) sekä verkon maadoitustapa (maasta erotettu, kompensoitu, suuren resistanssin tai pienen impedanssin kautta maadoitettu verkko). (ABB 2000c, 12, 18.)

### 3.2.1 Maasulku maasta erotetussa verkossa

Maasta erotetussa verkossa maasulun aikana kaikkien vaiheiden ja verkon tähtipisteen jännitteet muuttuvat. Lisäksi verkon eri osissa esiintyy johtojen maakapasitanssien kautta kulkevia kapasitiivisia virtoja. Maasulkuvirran reitti kulkee

tällöin kuvion 21 mukaan vikapaikasta maahan, maasta vaihejohtimiin kapasitanssien ja vaihejohtimien impedanssien kautta muuntajan käämityksiin ja sieltä viallisen vaiheen kautta vikapaikkaan. (Lakervi & Partanen 2009, 146.)



Kuvio 21 Yksivaiheinen maasulku maasta erotetussa verkossa (ABB 2000C, 5).

Vikaresistanssittoman maasulkuvirran  $I_e$  itseisarvo saadaan kaavalla 18.

$$I_e = \sqrt{3} * \omega * C_0 * U \quad (18)$$

missä

$C_0$	on	verkon yhden vaiheen maakapasitanssi (C)
$U$	on	verkon pääjännite (V)
$\omega$	on	$2 * \pi * f$

Kaapeleille löytyy myös valmiita taulukoita, joiden mukaan maasulkuvirran suuruus voidaan laskea. Lisäksi avojohtoverkkojen maasulkuvirran laskentaan on kaavoja, joilla saadaan riittävän tarkka arvo. Jos maasulku ei ole suora vaan sisältää vikaresistanssia, saadaan maasulkuvirran itseisarvo  $I_{ef}$  kaavalla 19.

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{3} * \omega * C_0}{\sqrt{1 + (3\omega * C_0 * R_f)^2}} * U = \frac{I_e}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3} * I_e * R_f}{U}\right)^2}} \quad (19)$$

missä

$R_f$	on	vikaresistanssi ( $\Omega$ )
$I_{ef}$	on	vikaresistanssin pienentämä maasulkuvirta (A)
$C_0$	on	verkon yhden vaiheen maakapasitanssi (C)
$U$	on	verkon pääjännite (V)

Maasulkuvirran synnyttämän jännite-epäsymmetrian vaikutuksesta myös verkon tähtipisteen potentiaali poikkeaa maanpotentiaalista. Tätä kutsutaan nollijännitteeksi. Tämä jännite on sama, jonka maasulku saa aikaan kulkiessaan maakapasitanssien kautta. Suorassa maasulussa nollijännite on vaihejännitteen suuruinen, muutoin nollijännitteen itseisarvo saadaan kaavalla 20. (ABB 2000c, 5.)

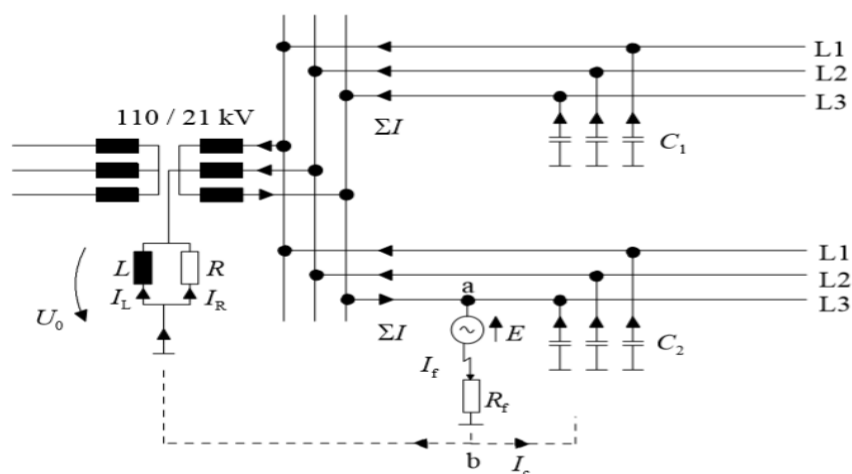
$$U_0 = \frac{1}{3\omega C_0} * I_{ef} = \frac{U_V}{\sqrt{1+(3\omega C_0 R_f)^2}} \quad (20)$$

missä

$U_V$	on	verkon vaihejännite (V)
$R_f$	on	vikaresistanssi ( $\Omega$ )
$I_{ef}$	on	vikaresistanssin pienentämä maasulkuvirta (A)
$C_0$	on	verkon yhden vaiheen maakapasitanssi (C)

### 3.2.2 Maasulku sammutetussa verkossa

Kun verkon tähtipisteeseen lisätään kompensointi reaktori eli sammutuskuristiin, saadaan niin sanottu sammutettuverkko (Kuvio 22). Näin maasulkuvirta pienentyy ja vikavirran palaava jännite saadaan loivemmaksi. (Lakervi & Partanen 2009, 147.)



Kuvio 22 Yksivaiheinen maasulku kompensoidussa verkossa (Lakervi & Partanen 2009, 147).

Maasulkuvirran  $I_f$  itseisarvo sammutetussa verkossa saadaan laskettua kaavalla 21.

$$I_f = \frac{U_v}{R_f \frac{R}{1+jR*(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L})}} \quad (21)$$

missä

R	on	sammutuskuristimen resistanssi
L	on	sammutuskuristimen induktanssi
R <sub>f</sub>	on	vikapaikan resistanssi

Maasulkuvirran ja maadoitusresistanssin ja verkon kapasitanssien rinnankytkennän muodostaman impedanssien tulo on nollajännite. Nollajännite saadaan kaavalla 22.

$$U_o = \frac{-R}{R_f + R + jR * R_f (3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L})} U_v \quad (22)$$

missä

R <sub>f</sub>	on	vikaresistanssi
R	on	sammutuskuristimen resistanssi
L	on	sammutuskuristimen induktanssi
C <sub>0</sub>	on	verkon yhden vaiheen maakapasitanssi
U <sub>v</sub>	on	verkon vaihejännite

### 3.3 Jännitteenalenema

Kuormitusvirran kulkiessa johtimen impedanssissa syntyy jännitteenalenemaa. Laskutarkasteluissa yleensä eniten kiinnostuneita ollaan maksimi kuormituksella vallitsevista johdon loppu- ja alkupää jännitteiden itseisarvojen erotuksesta. Pahimmillaan liian suuri jännitteenalenema voi vaikuttaa herkimpien laitteiden toimintaan. Lisäksi jännitteenalenema kuvastaa johtimissa syntyvää hukkaenergiaa. Kaavalla 23 voidaan laskea riittävän tarkka jännitteenalenema prosentteina esitettynä tavanomaisille kuormitustilanteille. Vikatapauksien käsittelyyn kaavaa ei voi soveltaa. (Lakervi & Partanen 2009, 24.)

$$U_h = 100 * \sqrt{3} * \frac{I_p R + I_q X}{U} = 100 * \frac{P}{U^2} (R + X \tan \varphi) \quad (23)$$

missä

U <sub>h</sub>	on	likimääräinen jännitteenalenema
R	on	laskettavan osuuden resistanssi
Z	on	laskettavan osuuden reaktanssi
φ	on	vaihekulma
I <sub>p</sub>	on	kuormitusvirran pätökomponentti
I <sub>q</sub>	on	kuormitusvirran loiskomponentti

Sähkön laatustandardin SFS-EN 50160 mukaan asiakkaan ja sähköverkkoyhtiön verkon liittymiskohdassa jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvoista 95 % tulee olla välillä  $U_n = \pm 10\%$  sekä kaikkien tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee olla välillä  $U_n = +10\% / -15\%$ . Syrjäisillä seuduilla sallitaan hieman suuremmat vaihteluvälit ja siellä verkon käyttäjillä jännitteenvaihtelun tulisi pysyä välillä  $U_n = +10\% / -15\%$ . Jännitteenalenemalle muissa verkon osissa ei ole olemassa ehdottomia maksimivaatimuksia. Keski- ja suurjännitejärjestelmissä sähkön jakeluverkkoyhtiöt määrittävät usein itse suurimmat sallitut jännitteenalenemat eri johto-osille ja jännitetasoille. Muuntajien käänkytkinten ansiosta jännitettä saadaan myös säädettyä eri jänniteportaissa, jolloin jännitteenalenema eri johto-osilla ei näy kokonaisuudessaan kuluttajalle. Yleisesti käytettyjä jännitteen alenemalle sallittuja arvoja kaupunkien keskijänniteverkossa ovat 2 tai 3 % ja maaseutuverkoissa 5 %. (Lakervi & Partanen 2009, 53-54.)

Pienjänniteverkkojen osalta SFS 6000 Pienjänniteasennustandardi suosittelee SFS6000-5-52:2017 liitteessä 52G sähkönkäyttäjien asennuksissa käytettävän taulukon 3 mukaisia maksimi arvoja järjestelmiä mitoitettaessa. Poikkeuksellisesti voidaan sallia suurempia hetkellisiä jännitteenalenemia esimerkiksi moottoreiden tai muiden suuri virtaisten laitteiden käynnistystilanteissa. Samoin muut tilapäiset tilanteet, kuten transientit tai muut epänormaalin käytön aiheuttamat jännitteen vaihtelut on rajattu suositusten ulkopuolelle. (SFS 600-1-1 2017, 282.)

Taulukko 3. Suurimmat suositeltavat jännitteenalenemat sähkökäyttäjän asennuksissa (SFS 600-1-1 2017, 282).

Asennuksen tyyppi	Valaistus- käyttö %	Muu käyttö %
A – Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta	3	5
B – Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä teholähteestä <sup>a</sup>	6	8
<p>a suositellaan, että niin pitkälle kuin mahdollista ryhmäjohtojen jännitteenalenema ei ylitä asennustyyppille A annettuja arvoja.</p> <p>Kun asennuksen pääjohdot ovat pitempiä kuin 100m, näitä jännitteenalenemia voidaan kasvattaa 0,000% johdon 100m ylittävän pituuden metriä kohti. Ilman tätä lisäystä se ei saa olla suurempi kuin 0,5%</p> <p>Jännitteenalenema määritellään sähkölaitteen tehontarpeen mukaan käyttäen soveltuvin osin tasoituskertoimia, tai käyttäen piirien suunniteltuja virtoja.</p>		



#### 4 SÄHKÖTURVALLISUUTTA KOSKEVAT LAIT, ASETUKSET, MÄÄRÄYKSET SEKÄ STANDARDIT

Sähköalan kansainvälinen standardisoimisjärjestö IEC julkaisee sähkö- ja elektroniikka-alan standardeja. Kyseiset standardit ovat pohja kansallisille määräyksille sekä standardeille yli sadassa maassa. Eurooppalainen sähköalan standardisoimisjärjestö on CENELEC, mikä laatii tiiviissä yhteistyössä IEC:n kanssa EN-standardit sekä HD- harmonisointiasiakirjat. Suomessa SESKO ry hoitaa sähköalan standardisointia yhteistyössä IEC:n ja CENELECin kanssa. SESKOn valmistelemat standardit julkaisee SFS ry. Nämä standardit perustuvat pitkälti IEC:n ja CENELECin standardeihin.

Säköturvallisuusmääräyksien noudattamista Suomessa valvoo sähköturvallisuusviranomainen eli Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. Tukes julkaisee luettelon standardeista, joita noudattamalla katsotaan lain vaatimusten täyttyvän sähkölaitteiston rakenteelle ja turvallisuudelle. Tukes-luettelo S20-2019 korvaa aikaisemman julkaistun Tukes-ohjeen S10-2018

##### 4.1 Sähköturvallisuuslaki 1135/2016

Tämän lain tarkoituksena on varmistaa sähkölaitteen ja -laitteiston käytön pitäminen turvallisena ja estää sähkön käytöstä aiheutuvien sähkömagneettisten häiriöiden haitalliset vaikutukset sekä turvata sähkölaitteen tai -laitteiston sähkövirran tai magneettikentän välityksellä aiheuttamasta vahingosta kärsineen oikeudet. Lisäksi lain tarkoituksena on varmistaa sähkölaitteiden vaatimustenmukaisuus ja vapaa liikkuvuus. (STL 1135/2016 1:1.1 §.)

Säköturvallisuuslain ensimmäisen luvun kuudennen pykälän mukaan sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksen mukaisesti niin, että:

1. ”niistä ei aiheudu kenellekään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
2. niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;

3. niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.”  
(STL 1135/2016 1:1.6 §.)

Jos sähkölaite tai -laitteisto ei täytä 1 momentissa säädettyjä edellytyksiä, sitä ei saa saattaa markkinoille, luovuttaa toiselle eikä ottaa käyttöön (STL 1135/2016 1:1.6 §).

#### 4.2 Valtioneuvoston asetukset

Valtioneuvoston sähköasennuksia velvoittavia asetuksia ovat valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista (1434/2016) sekä valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta 1434/2016). Säädökset eivät anna yksityiskohtaisia teknisiä määräyksiä, vaan sisältävät periaatteen, että säädöksen vaatimukset täyttyvät, kun noudatetaan aihetta koskevia standardeja. (SFS 600-1-1 2017, 3.)

#### 4.3 SFS 6000 pienjännitesähköasennukset

Standardisarja SFS 6000 koskee sähköasennuksia, joiden nimellisjännite on korkeintaan 1000V AC tai 1500V DC. Standardisarja perustuu pääosin eurooppalaiseen harmonisointiasiakirjoihin CENELEC HD 60364 ja vastaavaan kansainväliseen standardisarjaan IEC 60364. Standardisarja SFS 6000 on tarkoitettu sellaiseksi julkaisuksi, jonka mukaan toimitettuna täytetään sähköturvallisuuslain (1153/2016) ja sen perusteella annettujen valtioneuvoston asetusten mukaiset sähkölaitteistojen sähköturvallisuutta ja sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevat vaatimukset tämän standardisarjan soveltamisalan osalta. (SFS 600-1-1 2017, 1-4, 14.)

SFS 6000 -standardisarja on jaoteltu kahteen SESKO ry:n valmistelemaan SFS-käsikirjaan. SFS-käsikirja 600-1-1 Pienjänniteasennukset. Osa 1-1: Yleisvaatimukset (SFS 6000 osat 1-6) sisältää pienjännitesähköasennuksia koskevan standardisarjan SFS 6000 osiin 1-6 kuuluvat 13 kappaletta standardeja. Muut SFS 6000-sarjan osiin 7-8 kuuluvat standardit julkaistaan SFS-käsikirjassa 600-1-2 Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Erikoistilojen ja täydentävät vaatimukset (SFS 6000 Osat 7-8). (SFS 600-1-1 2017, 3.)

#### 4.4 SFS 6001 suurjännitesähköasennukset

Nimellisjännitteeltään yli 1 kV:n vaihtojännitteisten sähköasennusten suunnittelua ja rakentamista koskevat vaatimukset on annettu SFS-standardissa 6001. Uusien asennusten lisäksi standardi koskee myös muutos-, laajennus- ja korjaus töitä. Standardin avulla huolehditaan, että sähköverkkojen rakenne ja toiminta ovat asianmukaisia ja niiden käyttö voi tapahtua turvallisesti. Standardi luettelee myös joukon muita laitteistoja ja järjestelmiä, joiden yhteydessä standardia on noudatettava, jos niille ei ole laadittu omia erityisstandardeja. Suurjänniteilmajoh toja käsitellään omissa SFS-EN standardeissa. (Elovaara & Haarla 2011a, 76-76.)

Tämän standardin aihepiiriä käsittelevät monet kansalliset lait, standardit ja määräykset, joiden käytäntöihin tämä standardi perustuu. Tämä standardin IEC 61936 osa sisältää IEC:n jäsenmaissa noudatettavat suurjänniteasennusten vähimmäisvaatimukset. IEC-standardin julkaiseminen uskotaan olevan ratkaiseva askel siihen suuntaan, että suurjänniteasennusten suunnittelun ja rakentamisen käytännöt vähitellen yhdenmukaistuvat kaikkialla maailmassa. Lisäksi standardissa on otettu huomioon kansalliset vaatimukset Suomen olosuhteisiin. (SFS 6001:2018 2018, 11.)

Standardin keskeisimpiä ohjeistuksia ovat:

- jännitteisten osien vähimmäisetäisyydet
- erilaiset turvatoimenpiteen, kuten suojaus suoralta ja epäsuoralta kosketukselta
- maadoitusjärjestelmille asetettavat vaatimukset
- suojaus valokaaren aiheuttamilta vaatimuksilta
- suojaus valokaaren aiheuttamilta vaaroilta
- suojautuminen tulipalolta
- apu- ja ohjausjärjestelmien asetettavat vaatimukset. (Elovaara & Haarla 2011b, 77.)

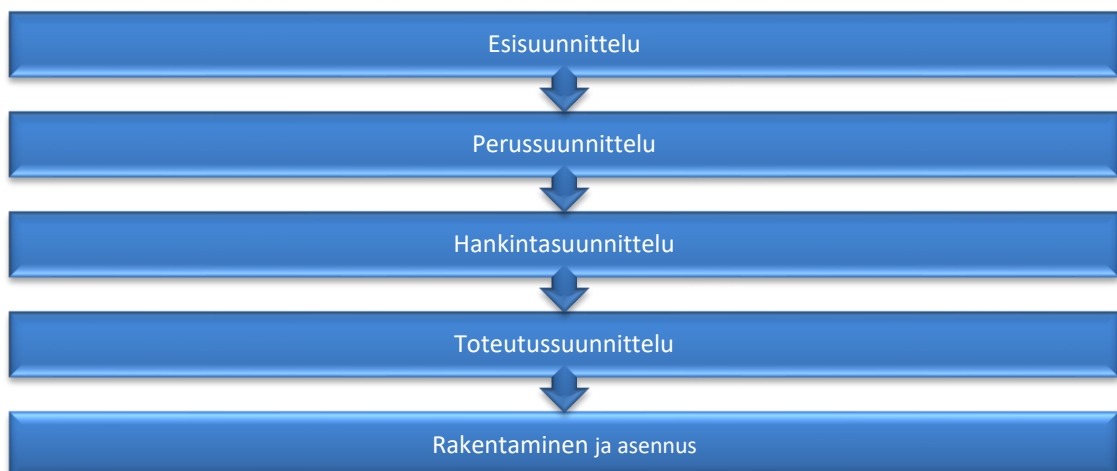
## 5 SUUNNITTELUPROJEKTIN HALLINTA

Suunnittelulla tarkoitetaan yleisesti suunnittelun kohteen eli rakennettavan tai laajennettavan järjestelmän kuvaamista siten, että sen turvallinen toteuttaminen, käyttö ja ylläpito mahdollistuvat. Suunnittelun tuloksena syntyy joukko dokumentteja, mutta tämä tarkoittaa yhä useammin eri suunnittelijoilla yhteistä tietokantaa. (Suomen Automaatioseura 2007, 13.)

### 5.1 Suunnitteluprojektin vaiheet

Projektiksi voidaan nimittää melkein mitä tahansa työtä tai työsuoritusta. Se voi olla laajuudeltaan pieni tai suuri, siihen voi liittyä aliprojekteja. Yleistä projektille on, että se halutaan valmistuvan ennakkoon sovitun budjetin mukaisesti, tietyn sovitun aikataulun puitteissa sekä suoritettavan nimettyjen henkilöiden toimesta. Lisäksi projekteille ominaista on niiden ainutkertaisuus ja väliaikaisuus, jotka erottavat projektin muista tavoista tehdä työtä, esimerkiksi tuotantoprosessi. Projekteilla on aina alku, loppu ja päämäärä. (Patel 2008, 1.)

Sähkösuunnittelun keskeisimmät vaiheet voidaan jaotella yleisesti kuvion 23 mukaisesti. Käytännössä ei aina kuitenkaan voida mennä täsmällisesti järjestyksen mukaisesti, jolloin joitakin vaiheita voidaan jättää pois. Esimerkiksi kiireellä tai liian myöhään aloitetussa projektissa voidaan joutua suoraan tekemään toteutus-suunnitelmia. (Alhainen 2019.)



Kuvio 23 Sähkösuunnittelun vaiheet

Esisuunnittelun tarkoituksena luoda edellytykset investointipäätöksille. Sähköistyksen osalta selvitettävää on:

- ”sähköverkoston nykytilanteen kartoitus ja selvitys
- kuormatietojen selvittäminen
- pääjakelujärjestelmien verkostoselvitykset ja alustavat yleiskaaviovaihtoehdot
- tilantarpeiden ja layout -suunnittelun lähtötiedot
- kustannusarvioiden laatiminen halutuille vaihtoehdoille.” (Etto 1998, 9.)

Perussuunnittelun tarkoituksena on laatia dokumentit, joita tarvitaan suoritettavien sähkölaitehankintojen ja sähkölaiteasennusten teknisissä määrittelyissä. Perussuunnittelu sisältää seuraavat tehtävät:

- yleinen perussuunnittelu (piirustusluettelot, mitoituslähtötiedot ja erilliset selvitykset
- pääjakelujärjestelmän yleissuunnittelu (yleiskaaviot, kaapelikartat, automaatio toteutukset)
- sijoitus- ja kaapelointisuunnittelu
- suur- ja välijännitejakelun suunnittelu
- pienjänniteverkonsuunnittelu (yleiskaavio, pääkaaviot, tyyppikaaviot, kuormaluettelot, sähkölaitteiden sijoitus piirustukset yms.)
- apusähköjärjestelmien suunnittelu
- asennusurakan suunnittelu. (Etto 1998, 9-10.)

Hankintasuunnittelussa laaditaan päätetyn hankintatavan mukaisesti jaoteltuna sähkölaitteiden ja asennusten tarjouspyynnöt. Hankintatapa voi olla esimerkiksi kokonaishankinta tai erillishankinta. Yksityiskohtaisten toimitusrajojen selkeyttämiseksi ovat erilliset hankintarajakaaviot suositeltavia. (Etto 1998, 10.)

Toteutussuunnitteluvaiheessa laaditaan dokumentit, joita tarvitaan laitteiden valmistuksessa sekä asennusten toteuttamisessa. Toteutussuunnittelun osa-alueet ja tuotetut dokumentit ovat:

- yleinen toteutussuunnittelu (piirustusluettelo, toimintaselostukset)
- sijoitussuunnittelu
- kaapelointisuunnittelu
- suur- ja välijännitejakelun suunnittelu
- pienjännitejakelun piirisuunnittelu
- kompensoinnin ja suodatuksen suunnittelu
- kuormitusten suunnittelu
- ohjausjärjestelmien suunnittelu. (Etto 1998, 10.)

Pääosa toteutussuunnittelun tuotoksista muodostavat loppupiirustukset. Lopulliset loppupiirustukset toteutetaan käyttöönoton jälkeen urakoitsijoiden toteuttamista tarkekuvista.

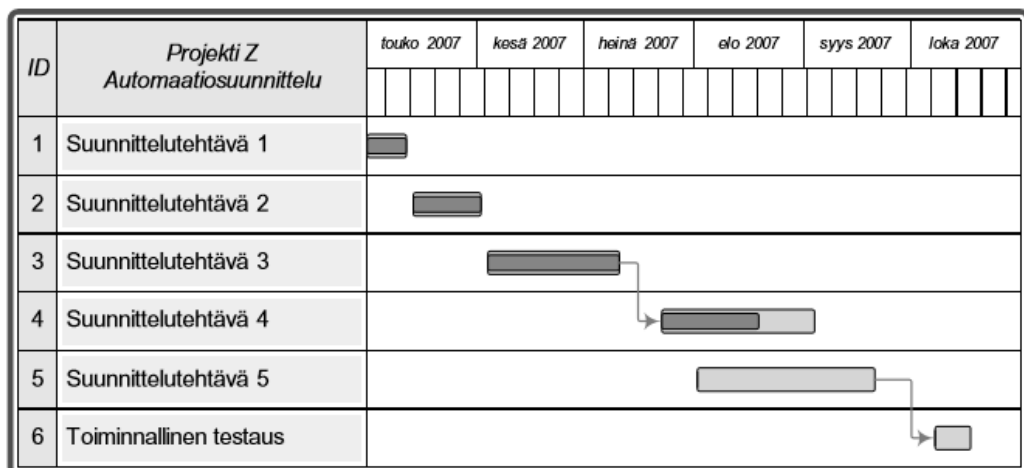
## 5.2 Suunnitteluprojektin aikataulut

Jotta projekti valmistuisi ajoissa, on projektille ja sen osille laadittava aikataulu. Aikataulua laadittaessa on otettava huomioon, että tarvittavat resurssit tehtävien suorittamiseksi ovat vapaina. Projektin aikana aikatauluun voi tulla muutoksia tai siihen voi tulla tarkennuksia esimerkiksi projektin sisällön, alihankkijoiden toimitusaikataulujen tai käytettävissä olevien resurssien muuttuessa. (Suomen automaatioseura 2007, 30.)

Suunnittelutehtävillä on ominaisuuksia, kuten osaamisvaatimukset, työmääräarvio, tekninen ja kaupallinen riskitaso sekä tärkeys muiden suunnitteluosuuksien ja kokonaisuuden kannalta. Nämä kaikki vaikuttavat resurssi tarpeisiin ja vaadittavaan kalenterijakson pituuteen. Tärkeitä resurssin ominaisuuksia ovat työn

hinta, laatu ja varmuus. Resurssien puute voi myös siirtää jonkin tehtävän myöhemmäksi. Projektinsuunnittelu ja -hallinta ovat haastavia tehtäviä, joiden tekeminen voi vaatia kokemusta. (Suomen automaatioseura 2007, 30.)

Gantt-kaavio eli jana-aikataulu on yleisin aikataulun esitysmuoto (Kuvio 24). Jana-aikataulun runkona on projektin tehtävälista. Jokaiselle projektin tehtävälle kuvataan oma aikataulu janaana. Janan pituus sekä sijainti määrittävät ja kuvaavat tehtävän kalenterinkeston. Aikataulussa on hyvä esittää tehtävien riippuvuudet ja tehtävien väliin jätettävät pelivarat. Kaavio voi sisältää niin sanotun kriittisen polun. Kriittistä polkua kuvaa kaaviossa viiva, joka kulkee vaakapalkista toiseen. Kriittinen polku muodostuu aikataulullisesti toisistaan riippuvaisista projektien tehtävistä, jotka määrittelevät projektin lyhimmän mahdollisen keston. Jos kriittisellä polulla olevat tehtävät viivästyvät, viivästyy koko projekti. (Suomen Projekti-Instituutti 2019.)



Kuvio 24 Gantt-kaavio (Suomen Automaatioseura 2007, 31).

## 6 SUUNNITTELUN ESITIETOJEN SELVITYS

Lähtötietojen selvittämiseen tilasimme vanhoja piirustuksia Kemijoki Oy:n dokumenttiarkistosta ja suoritimme suunnittelukäyntejä voimalaitokselle, missä voimalaitosta esittelivät Kemijoki Oy:n asiantuntijat. Ensimmäisellä suunnittelukäynnillä tutustuimme laajemmin kokonaisuuteen ja toisella keskityimme yksityiskohtiin, joihin halusimme suunnittelun edetessä lisätietoja.

### 6.1 Tilaajan asettamat vaatimukset suunnittelulle

Tässä opinnäytetyössä tehdyt suunnitelmat ja tuotokset toimitetaan Kemijoki Oy:lle. Kemijoki Oy on Suomen merkittävin vesi- ja säätövoiman tuottaja. Yritys omistaa 20 vesivoimalaitosta, joiden kokonaisteho on yli 1100MW. Kemijoki Oy tuottaa vesisähköä vastuullisesti ja ympäristöystävällisesti. Työn tilaajana Kemijoki Oy on asettanut omat vaatimuksensa suunnittelulle sekä työn toteutukselle, joita tulee noudattaa jo suunnitteluvaiheessa. Kemijoen Tapamme toimia -periaatteet antavat vaatimuksia

- lainsäädännön ja hyvien liiketoimintatapojen noudattamiseen
- ympäristön huomioimiseen
- reiluun kilpailuun
- toiminnan turvallisuuteen
- luottamukselliseen tietojen käsittelyyn
- hyvinvoivaan ja tasa-arvoiseen henkilöstöön
- viestintään. (Kemijoki 2015, 4-15.)

### 6.2 Kohteen lähtötiedot

Kemijoki Oy:n omistama Pirttikosken voimalaitos on Suomen kolmanneksi suurin vesivoimalaitos ja Suomen suurin tunnelivoimalaitos. Voimalaitos on rakennettu vuosina 1956-59. Pirttikosken voimalaitoksen padossa on kaksi tulvaluukkuja



(Kuva 2). Molemmille padoille syötettiin sähköä omalla pienjännitesyöttökaapelilla. Pituutta syöttökaapeleille tuli arviolta 150 metriä ja 300 metriä. Febdok-ohjelmalla tehtyjen mallinnusten mukaan syöttökaapelit eivät täyttäisi enää nykyisiä vaatimuksia jännitteenaleneman ja oikosulkuvirtojen osalta. Lisäksi vanhojen kaapeleiden kuntoa täytyi tarkastella mekaanisten ominaisuuksien heikkenemisen vuoksi. Samalla luukkusalin ILK3 keskuksen sekä radiomaston syöttökaapelit voitaisiin uusia.



Kuva 2 Pirttikosken voimalaitoksen pato

Hankkeen tavoitteena oli uusi keskijännitesyöttö sekä uusi muuntaja. Muuntajan perään kytkettäisiin tulvaluukkujen, luukkusalin ILK3 sekä radiomaston keskuksat. Padon sähkösyöttöjen vahvistusta oli ennakoitu aikaisemmin 20 kV kojeiston uusinnan yhteydessä. Uudessa 20 kV kojeistossa on kahdeksan kennoa, joista, kenno numero 6.3.0 on varattu padolle. Kenno 6.5.0-6.6.0 on mittausta sekä kiskon maadoitusta varten. Suojareleenä lähdössä toimii Siemensin Siprotec 7JS82. Suojausfunktioista on käytössä  $I>$ ,  $I>>$ ,  $I_0\rightarrow$ ,  $U_0\rightarrow$  sekä valokaarisuojaus. Kojestossa on valokaarisuojaus kokoojakiskotiloissa, katkaisijatiloissa sekä kaapelitiloissa. Valokaarisuojaus tarvitsee sekä virta- että valotiedon laukaisua varten. 6.3.0 kennon virtamuuntajien muuntosuhde on 125/1 A ja kaapelivirtamuuntajan muuntosuhde 70/1 A.

Uuden muuntajan paikaksi suunniteltiin alustavasti vanhaa OKM6 muuntajahuonetta tai radiomaston puoleisen padon pengertä. Jos muuntaja olisi penkereellä, täytyisi käyttää puistomuuntamoita. Selvitimme kaapelireitin, jossa hyödynnetään mahdollisimman paljon nykyisiä kaapelireittejä. 20 kV kojeisto sijaitsee voimalaitoksen päärakennuksessa, mikä sijaitsee jokiuoman päällä. Päärakennuksen tasolta kaapelit laskeutuvat kaapelitikkaalla alas kalliota patosillan tasolle (Kuva 3). Kaapelireitillä oli käytöstä poistettuja kaapeleita, jotka puretaan myös toteutusvaiheen aikana. Padon tasolla hyödynnetään vanhoja kaapelihyllyjä sekä kaapelikuiluja ja tarpeen mukaan kaivetaan kaapelia maahan.



Kuva 3 Voimalaitoksen luukkusali ja kaapelireitit kalliota pitkin

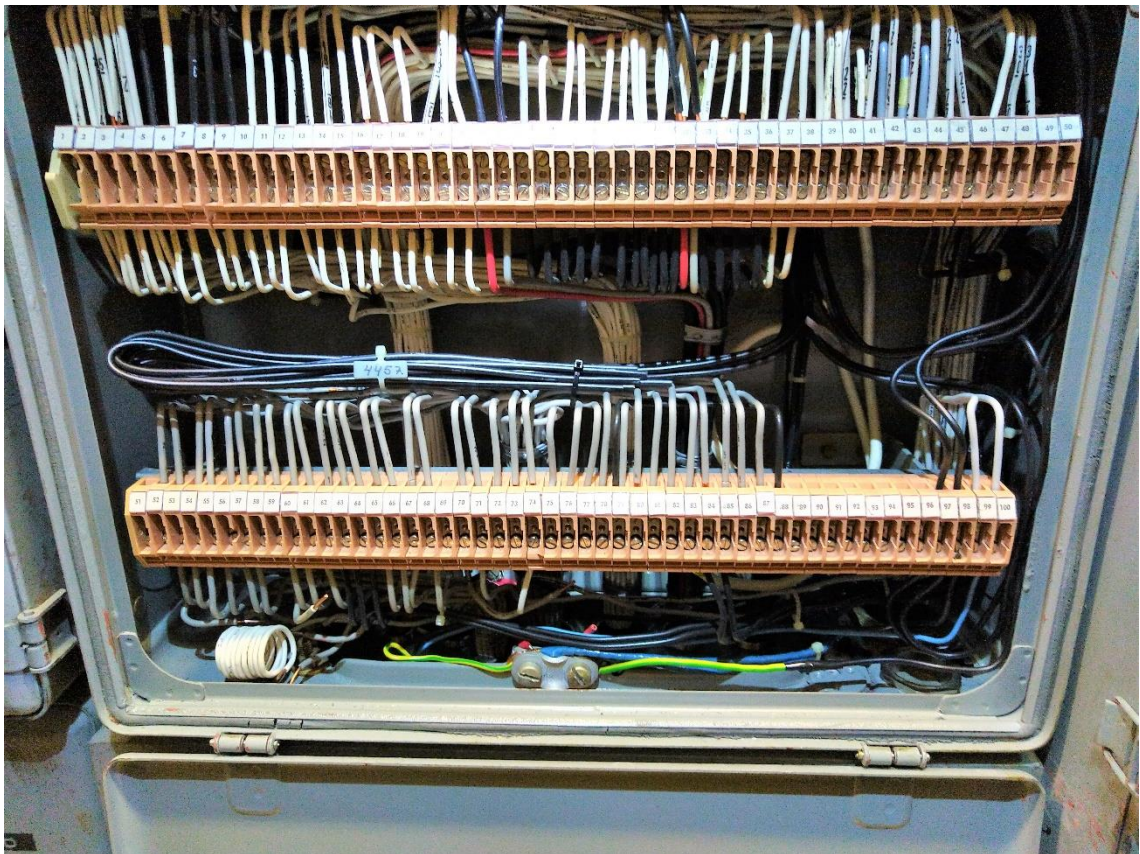
Selvitimme ensimmäisellä suunnittelukäynnillä padon toisella puolella noin kilometrin päässä radiomastolla sähkönsyötön vaatimusten mukaisuutta; tarvittaisiinko siellä tehdä sähkönsyötölle muutoksia. Paikalla totesimme pienjännitesyöttökaapelin olevan uusittu. Myöhemmin varmistuimme dokumenteista, että radiomaston syöttökaapeli oli uusittu 90-luvulla. Myös mittaamalla todetut oikosulkuvirrat ja jännitteet olivat riittävät.

Toisella suunnittelukäynnillä keskityimme jo pienempiin yksityiskohtiin. Tarkasimme OKK2 keskukselta nykyisten Seg1, Seg2, ILK3 ja radiomaston kompaktikatkaisijoiden asettelut. Samalla silmäilimme, millaisia kaapeleita lähtee keskukselta.



sen päästä kentälle. Katselmoimme lisäksi kentän puolelta samaiset kaapelit, tuleeko syötöt myös kentälle samantyyppisillä kaapeleilla vai onko niihin tehty esimerkiksi jatkoksilla muutoksia ajan saatossa. Suunnittelukäynnillä tehtiin myös oikosulkuvirtamittauksia uudemmalla mittalaitteella kuin aikaisemmin, näin varmistuimme mittauksien paikkaansa pitävyydestä.

Toisella suunnittelukäynnillä selvitimme nykyisiä asennuksia tulevia hälytys- ja mittauskaapelointien liitäntöjä varten. Koska Seg1 ja Seg2 keskuksilta meni nykyisiä ohjauskaapeleita päärakennukselle asti, selvitimme, onko kaapeleissa vapaita johtimia jäljellä. Valokuvasimme keskuksien riviliitinkotelot (Kuva 4). Näin liitäntöjä suunniteltaessa on hyvä vertailla otettuja valokuvia ja dokumentteja keskenään, jotta voi todeta mitkä johtimet ja riviliittimet ovat oikeasti käytettävissä.



Kuva 4 Segmentti 1 riviliitinkotelo

## 7 TOTEUTUSVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

Koska esitietojen kartoituksen jälkeen voi olla olemassa useita toteutuskelpoisia ratkaisua, on hyvä vertailla ratkaisuja keskenään. Tässä opinnäytetyössä vertailtiin ratkaisujen toiminnallisuutta, käytettävyyttä, luotettavuutta sekä kustannuksia.

### 7.1 Toiminnallisuus, käytettävyys ja luotettavuus

Toteutusvaihtoehtoja oli kaksi. Muuntaja sijoitettaisiin joko vanhaan muuntajahuoneeseen padon lähelle tai puistomuuntamoon penkereelle radiomaston puolelle jokea. Alkujaan puistomuuntamo ratkaisuna olisi ollut järkevin, koska puistomuuntamossa olisi ollut kaikki valmiissa paketissa. Lisäksi keskijännitesyöttö olisi saatu tuotua mahdollisimman lähelle radiomastoa, jolloin radiomaston pienjännitejohdon pituutta olisi saatu lyhyemmäksi. Kuitenkin radiomaston syötön uusinnasta luovuttiin. Tällöin muuntajan asettaminen vanhaan muuntajahuoneeseen oli lyhyempien kaapelointien sekä parempien oikosulkuvirtojen takia parempi ratkaisu.

Käytettävyyden sekä luokse pääsyn kannalta molemmat ratkaisut ovat lähes tasavertaisia. Kummassakin ratkaisussa muuntajat olisivat maan tasalta huollettavissa. Kuitenkin molemmissa ratkaisussa voi joutua tekemään talvella lumitöitä ennen kuin pääsee muuntamon läheisyyteen. Muuntajahuoneessa olisi enemmän tilaa työskennellä verrattuna pieneen puistomuuntamoon, vaikka muuntajahuoneeseen jouduttaisiin rakentamaan tilaa tarvitsevia kaapelihyllyjä sekä kosketussuoja-aidan. Lisäksi muuntajahuone on lämmitetty sähköpattereilla, joka lisää mukavuutta huolto- ja käyttötoimenpiteisiin vuoden kylminä kuukausina.

### 7.2 Kustannusvertailu

Toteutusvaihtoehdoille suoritettiin kustannusvertailua (Liite 1). Vertailussa käytettiin mahdollisimman paljon Energiaviraston verkkokomponenttien yksikköhintoja. Yksikköhinnat kuvastavat kyseisen komponentin kaikki investointiin liittyvät todelliset kustannuserät lukuun ottamatta urakoivan yrityksen yksikkö ja purkukustannuksia. Verkkokomponenttien yksikköhintojen sisältömäärietykset olivat

kuitenkin keskimääräisiä investointikustannuksia keskimääräisissä olosuhteissa, joten taulukon hinnoittelulla ei välttämättä päästä täysin tarkkaan hintaan. Tästä syystä osalle komponenteista sekä asennuksista jouduttiin myös arvioimaan hintaa itse. Tällöin hyödynnettiin Sähköinfo Oy:n tekemää sähköurahan yksikkökustannuksia -kirjaa.

Vertailukohteista muuntajan sijoittaminen vanhaan muuntajabunkkeriin tulisi edullisemmaksi. Jos muuntaja laitettaisiin uuteen puistomuuntamoon, tarvittaisiin enemmän maatöitä, reilusti enemmän kaapelia sekä uusi puistomuuntamokoppi, jotka tekevät suurimman eron vaihtoehtojen välille.

## 8 TOTEUTUSSUUNNITELMIEN LAADINTA

Kun projektista oli saatu riittävät lähtötiedot, voitiin aloittaa toteutussuunnitelmien laadinta. Suunnittelussa edettiin loogisessa järjestyksessä suuremmista kokonaisuuksista kohti pienempiä yksityiskohtia.

### 8.1 Muuntajan valinta

20 kV kojeiston uusinnan yhteydessä tarvittavan muuntajan kooksi oli arvioitu 500 kVA. Muuntajan perään tulisi keskuksia, joiden laskennallinen huippukuormitus olisi 90 kW, 90 kW sekä 210 kW. Vanhojen kuormitusten tehokertoimia ei ollut saatavilla, joten kuormituksia arvioitiin nykyisien kompaktikatkaisijoiden ylikuormitussuojien asetteluiden perusteella. Täten muuntajan koko on riittävä ja tulevaisuutta varten jää tehoreserviä. Muuntajan tilaamista varten tehtiin tekninen spesifikaatio (Liite 2), jonka perusteella muuntajan toimittaja saa riittävästi lähtötietoja sopivan muuntajan toimittamista varten. Muuntajan toimittaja antaa lopulliset tarkat tekniset tiedot tarjoamastaan tuotteesta. Tekniseen spesifikaatioon sisällytettiin:

- mitoitusarvoja
- teknisiä tietoja
- vallitsevat käyttöolosuhteet
- vallitsevat standardit
- tietoa liitännöistä, rakenteesta ja varusteista
- tietoa tarvittavista koestuksista, asiakirjoista ja laadunvalvonnasta.

### 8.2 Keskijännitekaapelin mitoittaminen

Keskijännitekaapeliksi valikoitui pienin poikkipinta-alainen AHXAMK-W, mikä on yleisesti käytetty voimakaapeli. Kaapeli on pitkittäin ja poikittain vesitiivis, joten se soveltuu kiinteään ulkoasennukseen sopivaksi. Lisäksi kaapeli sekä sen varusteita on helposti saatavilla tukkureilta, joka on yksi peruste kaapelin valinnalle.

AHXAMK-W 3x50/35 (liite 3) kaapelin kuormitettavuus maassa on 155 A johtimen lämpötilan ollessa 65 °C. Ilmassa kaapelin kuormitettavuus on 195 A johtimen lämpötilan ollessa 90 °C. Koska muuntajan kooksi oli määritelty 500 kVA, muuntajan nimellisteho määrittää virran, minkä kaapelin olisi kestettävä. Nimellisvirta saadaan muuntajan ensiöpuolen nimellisvirrasta käyttäen tehon laskentakaavaa:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 20 \text{ kV}} = 14,43 \text{ A}$$

Kuormitettavuuden puolesta AHXAMK-W 3x50/35 täyttää ehdot reilusti, vaikka kuormituskertoimet olisivat suuret. Tarkemmat taulukoidut arvot kuormitettavuuskertoimille on esitetty liitteessä 4.

Kaapelin termistä oikosulkukestoisuutta täytyi myös tarkastella. Koska 20 kV kojeisto on vasta uusittu, voidaan olettaa, ettei syöttävä oikosulkuvirta muutu merkittävästi lähiaikoina. Tämän hetkinen 20 kV:n lähdössä suurin esiintyvä oikosulkuvirta on 3,36 kA. AHXAMK-W 3x50/35 kaapelin suurin sallittu yhden sekunnin oikosulkuvirta on 4,7 kA. Kaapelin kestävä oikosulun suurin kesto aika saadaan laskettua kaavaa 17 johtamalla:

$$t = \left( \frac{I_{1s}}{I_k} \right)^2 = \left( \frac{4,7 \text{ kA}}{3,36 \text{ kA}} \right)^2 = 1,95 \text{ s}$$

missä

$I_{1s}$	on	kaapelin 1 s terminen oikosulkukestoisuus
$I_k$	on	vallitseva oikosulun jatkuva-arvo
$t$	on	oikosulun suurin sallittu kesto aika

Ylemmän portaan laukaisun viiveeksi on tarkoitus laittaa 0 s, joten oikosulun kesto aika on katkaisijan toiminta-aika eli arviolta noin 0,3 s. Täten kaapelin terminen oikosulkukestävyys on riittävä.

### 8.3 Keskijänniteverkon suojausten mitoittaminen

Koska 20 kV kojeiston uusimisen yhteydessä oli otettu huomioon uusi johtolähtö 500 kVA muuntajalle, täytyi tarkastaa suojaareleen esiasetetut asetellut sekä

kuinka suojaus olisi selektiivinen muiden suojausten kanssa. Suojareleeseen oli aseteltu taulukon 4 mukaiset arvot.

Taulukko 4 Releen asettelut ja virtamuuntajat.

Ylivirtasuojauksen asettelut ja virtamuuntajat							
I> (*I <sub>n</sub> )	Pri. (A)	t (s)	I>>(*I <sub>n</sub> )	Pri. (A)	t (s)	VM (A)	I <sub>n</sub> (A)
0,24	30	2	1,8	225	0	125/1	1

Muuntajan suojauksessa käytetään yleisesti releen I> virta-asetteluna noin kaksi kertaa muuntajan nimellisvirtaa. Kun muuntajan nimellisvirraksi saatiin 7.1 luvussa 14,43 A, nimellisvirta kerrottuna kahdella saadaan 28,86 A. Täten esiaseteltu 30 A on hyväksyttävä arvo, kun pieni marginaali lasketaan mukaan. (Martimo 2018a, 1.)

Muuntajan kytkentävirtasysäys ei saisi laukaista relettä, joten tarkasteltiin vielä asettelua eri näkökulmasta. Kytkentävirtasysäys 500 kVA muuntajalla voi olla jopa 12-kertainen nimellisvirtaan verrattuna. Voidaan olettaa sysäysoikosulkuvirran pienenevän neljäsosaan jo 0,4 sekunnin kuluttua oikosulusta.

$$I_{sys} = 12 * I_n = 12 * 14,43A = 173 A$$

$$I_{sys0,4} = \frac{I_{sys}}{4} = 43,29 A$$

Koska I> viivästys on 2 sekuntia, on asettelu 30 A perustellusti valittu. Kytkentävirtasysäys vaimenee alle releen havahtumisarvon kahden sekunnin aikana. Asettelu voisi olla suurempikin, kunhan keskijännitekaapelin kuormituksen kestävyys otetaan huomioon. Muuntajan sysäysvirta on myös pienempi kuin I>> asettelu, jolloin sekään rele ei laukaise katkaisijaa.

I>> asettelu olisi mitoitettava niin, että se olisi myös muuntajan termisen kestoisuuden alapuolella. Muuntaja määriteltiin kestettävän toision napaoikosulkua kahden sekunnin ajan. Riittävän tarkka oikosulkuvirran arvo toisiossa tapahtuvan oikosulkuvirran arvolle ensiöstä nähtynä saadaan kaavalla 25.

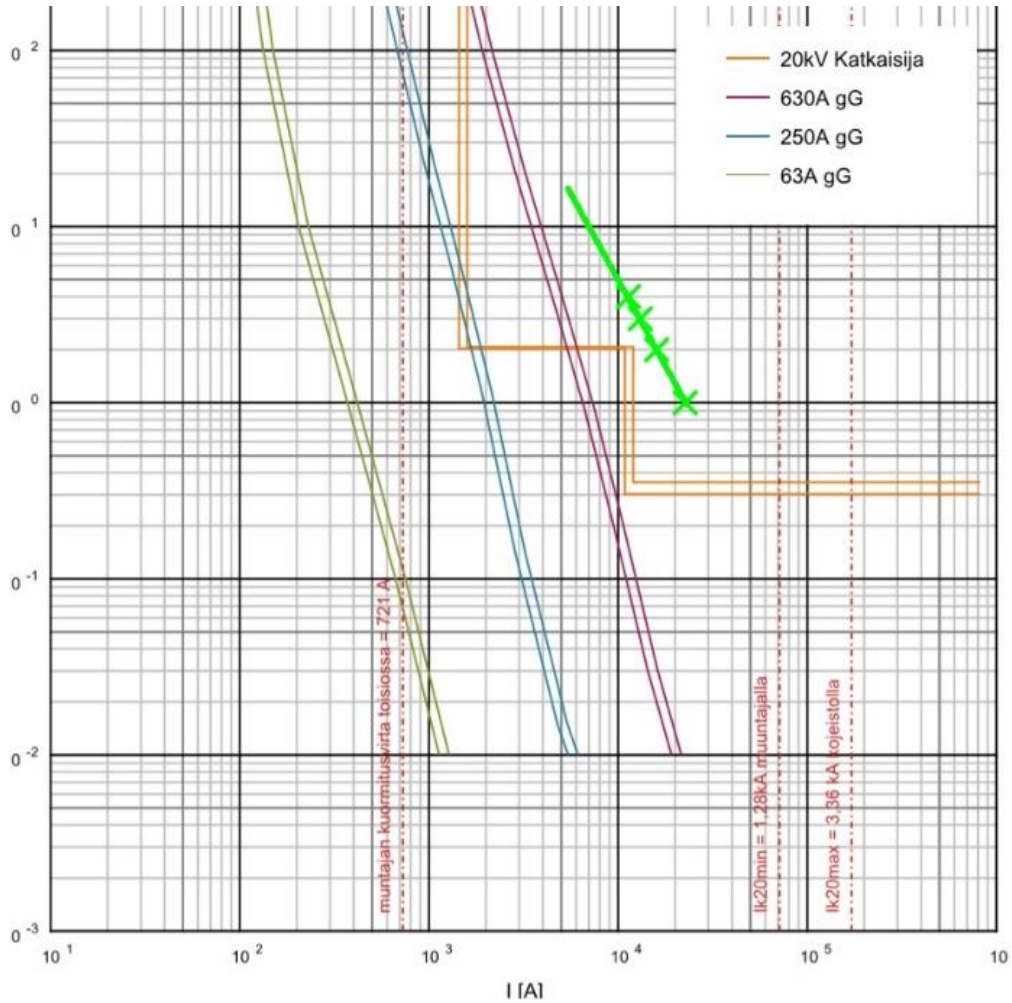
$$I_{k3} = \frac{100 * I_n}{U_k} = \frac{100 * 14,43A}{4,5} = 320 A \quad (25)$$



missä

$I_n$	on	muuntajan nimellisvirta
$U_k$	on	suhteellinen oikosulkuimpedanssi

Näin  $I >>$  asettelu on saadun toisiossa tapahtuvan oikosulkuvirran alapuolella. Lopuksi saatuja asetteluita tarkasteltiin virta/aika kuvaajassa redusoituna pienjännitepuolelle, jotta yläjännitepuolen laukaisukäyriä voidaan vertailla alajännitepuolen sulakkeiden kanssa. Tarkastelussa apuna käytettiin Siemensin Simaris Curves ohjelmistoa. Kuviosta 18 voidaan nähdä, ettei  $I >$  asettelu olisi selektiivinen pienjännitekeskuksen 630 A gG sulakkeiden kanssa. Kuvioon on piirretty kirkkaanvihreällä värillä muuntajan terminen kestoisuus. Jos  $I >$  asettelua nostettaisiin 1 A, saataisiin rele ja 630 A gG sulake toimimaan selektiivisesti. Toinen vaihtoehto olisi käyttää käänteisaikasuojausta, jolloin suuremmilla vikavirroilla rele toimisi nopeammin. Muuntajan ei pääsisi lämpenemään liikaa, kun 630A toimisi ylikuormitussuojana. Oikosulkuilanteissa 20 kV rele erottaisi keskijännitepuolen vian pois sekä sulakkeet pienjännitepuolen vian.



Kuvio 25 Selektiivisyystarkastelu Siemens Simaris Curves ohjelmistolla

#### 8.4 Ylijännitesuojien mitoittaminen

Ylijännitesuojien mitoittamiseen vaihesuojan nimellisjännite  $U_N$  valitaan maasulun kestoajan ja maasulkukertoimen perusteella. Suomessa voidaan käyttää taulukon 5 arvoja maasulkukertoimiin, ellei tarkempia arvoja ole tiedossa. (ABB 2000a, 6.)

Taulukko 5 maasulkukertoimet (ABB 2000a, 6).

Maasulkukertoimet	
Eristetyt ja sammutetut verkot	$K_E = 1,8$
Osittain maadoitetussa osassa alle 123kv verkoissa	$K_E = 1,7$
Tehollisesti maadoitetuissa 245-420kV verkoissa	$K_E = 1,4$

Ylijännitesuojien vaihesuojien nimellisjännitteen arvo saadaan laskettua kaavalla 24:

$$U_N = K_T * K_E \frac{U_M}{\sqrt{3}} = 0,9 * 1,8 \frac{1,1*20kV}{\sqrt{3}} = 20,5 kV \quad (24)$$

missä

$K_T$  on verkon suurin sallittu käyttöjännite  
 $K_E$  on maasulun kestoajasta riippuva kerroin (1 s = 0,9)

Vaihesuojien lisäksi tarvitaan ylijännitesuojaukseen vaihevälisuojat. Vaihevälisuo-  
 jujen nimellisjännite  $U_N$  saadaan verkon suurin sallittu käyttöjännite  $U_m$  kerto-  
 malla 1,25.

$$U_N = 1,25 * U_m = 1,25 * 22kV = 27,5 kV$$

### 8.5 Pienjänniteverkon mitoittaminen

Pienjänniteverkon kuormitukset pysyvät nykyisenä. Asennukset liitettäisiin uu-  
 teen pienjännitekeskukseen sekä nykyiseen pienjännitekeskukseen uusilla syöt-  
 tökaapeleilla, joten myös pienjänniteverkon standardinmukaisuuden tarkistami-  
 nen täytyi suorittaa. Pienjänniteverkon mitoitus toteutettiin Febdok-ohjelmaa  
 käyttämällä. Febdok on pienjännitesähköasennusten dokumentointiin ja mitoitta-  
 miseen tarkoitettu ohjelmisto. Ohjelmistolla voidaan tarkistaa asennuksien stan-  
 dardinmukaisuudet ylikuormitus-, oikosulku ja vikasuojauksen sekä selektiivisyy-  
 den ja jännitteenaleneman ehtojen toteutumisen kannalta. Vaikka ohjelma osaa-  
 kin tehdä automaattisesti laskelmia, ei se poista suunnittelijan vastuuta tarkas-  
 tella saatuja tuloksia.

Ohjelmalle annettiin lähtötietoja, joiden perusteella pienjänniteverkkoa alettiin mallintamaa. Mallinnuksia täytyi suorittaa kaksi, sillä syötönvaihtoautomaattien takia pienjännitekaapeleiden mitoittamiseen vaikuttavia kytkentätilanteita on kaksi eri tilannetta. Aluksi muuntajalle sekä syöttävälle verkolle ennen muuntajaa annettiin lähtöarvot. Koska ohjelmalla ei voi mitoittaa keskijänniteverkkoa, täytyi ensin laskea muuntajan liittymiskaapelin vaikutus keskijänniteverkon oikosulkuvirtaan. Lisäksi lähtötietoina asetettiin segmenttien keskuksien sulakekoot tai katkaisijan asettelut. Nämä lähtötiedot saatiin tarkastamalla kuormitukset vanhoista dokumenteista sekä vertailemalla nykyisten kompaktikatkaisijoiden asetteluita.

Lähtöarvojen syöttämisen jälkeen suunniteltiin pienjänniteverkko. Uudelle pienjännitekeskukselle valittiin ohjelmistoa käyttäen tarvittavan kokoiset komponentit sekä kaapelit poikkipinta-aloineen. Ohjelmisto ehdottaa automaattisesti sopivia komponentteja ja kaapeleita, joiden perusteella voi edetä suunnittelussa. Ohjelma myös ilmoittaa, jos standardien reunaehdoista poiketaan. Lopputuloksena Febdok-ohjelmasta saatiin pienjänniteverkon pääkaavion yksiviivainen esitys, kaapeleiden sekä suojausien mitoittukset, vikavirtalaskennat ja selektiivisyysanalyysit. Liitteessä 5 on esimerkki yksiviivakaaviosta, selektiivisyyskuvaajasta sekä piiriluettelo oikosulkuvirroista.

## 8.6 Pienjännitekeskukset

Uusi muuntamo tarvitsi uuden pienjännitekeskuksen, josta sähkösyötöt haaroituvat vanhoille olemassa oleville keskuksille. Uusi pienjännitekeskus nimettiin OKK3:ksi. Lisäksi Seg1 ja Seg2 -keskuksille suunniteltiin syötönvaihtoautomaatit, mitkä asennetaan koteloihin ATS SEG1 ja ATS SEG2.

Muuntajan jälkeisen OKK3 pienjännitekeskuksen suurin mahdollinen nimellisvirta saadaan muuntajan toisiopuolen nimellisvirrasta käyttäen tehon laskentakaavaa:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 0,4 \text{ kV}} = 721 \text{ A}$$

Koska pienjännitekeskuksen perään tulisi 2x90 kW ja 210 kW kuormitetut keskuksat, päätettiin pienjännitekeskuksen nimellisvirraksi riittävän 630 A. Tehokerroimet vaikuttaisi virran suuruuteen, mutta niiden täsmällinen selvittäminen olisi

työlästä. Vaikka tehokertoimet olisivat huonot, nähtiin 630 A nimellisvirran riittävän, koska keskuksista harvoin otetaan huippukuormituksia yhtäaikaaisesti. Täten keskukseseen jää myös reserviä tulevaisuutta ajatellen. Esimerkiksi tehokertoimella  $\cos\varphi = 0,7$  virta olisi:

$$\frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi} = \frac{390 \text{ kW}}{\sqrt{3} * 400 \text{ V} * 0,7} = 484,4 \text{ A}$$

Muuntajan ja pienjännitekeskuksen välille tarvitaan myös kaapeli tai kiskosto. Yksisijoittiminen AXMK 1x300 kaapeli on yleisesti käytetty kaapeli keskuksien ja muuntajien välillä hinnan sekä saatavuuden takia. Yksi AXMK 1x300 kaapeli kestää noin 570 A kuormitusta valmistajasta riippuen +90 °C:n lämpötilassa. Kuormituksen riittävyden kannalta tarvitaan kaksi johdinta per vaihe rinnakkain, joten kaapelivalinnaksi tulee AXMK 3x2x300+2x300. Jos kuormituskertoimeksi otetaan 0,7 saadaan johdon kuormitettavuudeksi

$$I_z = 0,7 * 2 * 570 \text{ A} = 798 \text{ A}$$

Kaapeleiden kiinnitykseen voidaan käyttää esimerkiksi XZB 23-järjestelmää 250mm kiinnikeväleillä, jolloin järjestelmä kestää sysäysoikosulkuvirran vaikutukset.

Suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta pienjännitekeskuksella Febdok-ohjelmalla tarkasteltuna oli 14,68 kA. Kaavaa 15 käyttämällä saadaan pienjännitekeskuksen sysäysoikosulkuvirran kestoisuus.

$$i_s = 1,8 * \sqrt{2} * 14,68 \text{ A} \approx 37,4 \text{ kA}$$

Pienjännitekeskuksen 1s ekvivalenttinen oikosulkuvirta saadaan laskettua kaavaa 17 käyttäen.

$$I_{th1s} = 14,68 \text{ kA} * \sqrt{\frac{0,3 \text{ s}}{1 \text{ s}}} \approx 8 \text{ kA}$$

Teoreettisten laskelmien perusteella pienjännitekeskuksen tulisi kestää vähintään 37,4 kA sysäysoikosulkuvirran vaikutukset sekä 8,1 kA:n 1 sekunnin termien oikosulkuvirta ilman rakenteellisia muutoksia. Käytännössä keskuksen tyyppikilpeen valitaan nimellisarvoiksi suuremmat virrat, koska materiaalikustannuksissa ei tulla säästämään merkittävästi verrattuna siihen kuinka paljon keskuksien mekaaniset ja termiset ominaisuudet muuttuvat.

OKK3 keskukselle luotiin keskuksen pääkaavio (Liite 6). Pääkaavion ensimmäisellä sivulla ilmoitetaan kansilehdessä keskuksen sähkötekniisiä ja rakenteellisia tietoja, minkä mukaan keskuksen toteutetaan. Muilla pääkaavion sivuilla ilmaistaan keskukseseen liittyvät kaapelit sekä keskuksen sisältämät komponentit. Keskukseseen suunniteltiin muutama varalähtö. Pääkaavioon piirrettiin keskuksen ulkopuolelle sijoitettava maadoituskisko, mistä nähdään maadoituskiskoon liitettävät suojajohtimet sekä maadoitusjohtimet poikkipinta-aloineen. Lisäksi OKK3 keskukselle tehtiin esimerkkilayout -piirros, mistä näkee komponenttien sijainnit keskuksessa sekä arviota millainen keskus sopisi muuntamoon (Liite 7). Layout -kuvaan piirrettiin kaikki keskuksen sisältämät kennot sekä kennojen sisältämät suurpiirteiset kojeet. Eniten kennoissa tilaa tarvitsevat kytkinvarokkeet, joten kennojen kokoa mitoittaessa arvioitiin tarvittavien komponenttien kokoa sekä kaapeleiden tarvitsemia liitännätiloja. Liitännätilojen tulee olla SFS 6000-7-729:2017 liitteen 729X.4 taulukon mukaisia (Taulukko 6). Liitännätila voi olla kuitenkin pienempi, jos liittymistä helpotetaan muilla keinoilla, esimerkiksi tuomalla johtimet sopivasta suunnasta tai käyttämällä irrotettavia laippoja.

Taulukko 6 Suuripoikkipintaisten johtimien vapaa liitännätilan minimivaatimus (SFS 600-1-2 2017, 218)

Suuripoikkipintaisten johtimien vapaa liitännätilan minimivaatimus	
Johdinpoikkipinta mm <sup>2</sup>	Vapaa liitännätila mm
16-25	100
35-50	150
70-120	200
150-185	300
240-300	400

ATS SEG1 sekä ATS SEG2 kotelot toteutettiin identtisesti, koska syötönvaihto-automatit olivat nimellisarvoiltaan samanlaisia. Syötönvaihtoautomatiksi valikoitui ABB:n tuote, joka sisältää OTM moottoriohjatun vaihtokytkimen sekä OMD300 ohjainlaitteen. Koteloille tehtiin myös pääkaavio (Liite 8). Pääkaavion ensimmäisellä sivulla on koteloiden sähkötekniisiä sekä rakenteellisia tietoja. Muilla sivuilla on liitettävät kaapelit sekä komponentit. Koteloille tehtiin myös layout-kuvat (Liite 9). Kotelon fyysisiin mittoihin vaikuttivat eniten isojen kaapeleiden liittäminen koteloihin sekä itse syötönvaihtoautomaatti, jotka tarvitsevat riittävästi kytkentätilaa.

Lisäksi suunniteltiin piirikaaviot ATS SEG1 ja ATS SEG2 koteloille (Liite 10). Piirikaavioiden tarkoituksena on saada selkeästi luettava dokumentaatio ohjauksen toteutuksesta. ABB:n syötönvaihtoautomatit ovat valmiita kokonaisuuksia, jotka sisältävät tehtaalla tehtyjä johdotuksia. SVA:t tarvitsivat lisäyksenä apukoskettimet, joista saadaan mekaaninen kärkitieto kytkimien tilatietoja varten. Piirikaavioiden piirrettiin kaikki pää- sekä ohjauspiirin johtimet sekä koteloiden sisältämät komponentit.

## 8.7 Ohjaus, mittaus ja hälytystietojen liitännät

Muuntajalta sekä muuntajahuoneesta oli tarkoitus tuoda mittaus- ja tilatietoja automaatiojärjestelmään. Muuntajan sekä muuntamohuoneen lämpötilaa suunniteltiin mitattavan PT100-antureilla. Mittausviesti täytyi kaapeloida aina padon muuntajahuoneelta voimalaitosrakennukselle asti, jolloin matkaa kertyi noin 200 metriä. Mittauksille suunniteltiin uusi MCMO-kaapeli. Mittausviestien tuominen muuntajahuoneesta päärakennuksen automaatiojärjestelmään päätettiin jättää toteuttamatta, ettei oteta turhaa riskiä transienttiylijännitteiden siirtymisestä automaatiojärjestelmän analogisiin piireihin. Riviliitinkotelolle johdotellaan kuitenkin muuntamon mittausanturit varaukseksi. Riviliitinkotelosta tehtiin esimerkkipiirikaavio, mistä nähdään tulevat ja lähtevät kaapelit sekä kytkennät riviliittimillä (Liite 11).

Muuntaja varustetaan kosketinlämpömittarilla, missä on sekä hälyttävä ja laukaiseva kärki. Kärjistä saadaan automaatiojärjestelmään lämpötilan hälytystieto

sekä katkaisijalle laukaiseva tieto lämpötilan noustessa aseteltujen rajojen yläpuolelle. Tilaajan toiveesta kosketinlämpömittarin hälytyskärki kytkettiin käyttöön ja laukaisukärki johdotettiin varauksena OKM6 riviliitinkotelolle.

Syötönvaihtoautomaateilta tuodaan tilatiedot automaatiojärjestelmään. SVA:sta saadaan kytkimen hälytystieto potentiaalivapaasta kärjestä. Lisäksi SVA:n moottoriyksiköön suunniteltujen lisäkärkien avulla saadaan tilatiedot kytkimen asennoista. Kytkimen asennon 0 sekä asennon 2 tila saadaan omista sulkeutuvista kärjistä. SVA:n tilatietojen kaapelointiin suunniteltiin käytettävän hyödyksi vanhoja ohjauskaapeleita. Segmentti 2 keskuksen riviliitinkotelolta menee nykyinen MCMO-kaapeli aina Segmentti 1 keskuksen riviliitinkotelolle. Lisäksi Segmentti 1 ja voimalaitosrakennuksen JK610 keskuksen välillä on nykyinen MCMO. Kaapeleista löytyi vapaita johtimia syötönvaihtoautomaattien tilatietojen johdottamiseen. Lisäksi uusi MMO kaapeli tarvittiin vierekkäisten JK610 sekä HK2 keskuskäytävien välille. Uudet kytkennät piirrettiin vanhoihin olemassa oleviin dokumentteihin Pixedit-ohjelmalla. Vanhat dokumentit olivat valokopioitu paperikuvista Tiff-tiedostomuotoon, jolloin CADS-ohjelmiston käyttäminen ei onnistunut. Osa kuvista oli dwg-tiedostoja, joten niiden päivittäminen onnistui Bentleyyn Microstation ohjelmistolla.

Automaatiojärjestelmään tulevista kytkentäpisteistä tehtiin hälytysluettelo (Liite 12). Luettelosta nähdään, millainen viesti saadaan kyseiseltä kojeelta automaatiojärjestelmään. Lisäksi kaikista ohjaus-, mittaus- ja hälytystietojen uusista kaapeloinneista tehtiin kaapeliluettelo, missä näkyy myös kytkennät johtimittain (Liite 13).



## 9 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli Kemijoki Oy:n Pirttikosken voimalaitoksen patoluukkujen sähkönsyötön peruskorjauksen suunnittelu. Tavoitteena oli laatia suunnittelu-, selektiivisyys- ja oikosulkulaskelmien sekä teknisten määrittelyiden asiakirjat kustannustehokkaan toteutuksen rakentamiseksi.

Opinnäytetyön alussa syvennyttiin sähköjako- ja verkoston komponentteihin sekä verkostolaskennan teoriaan, joilla pohjustettiin tietämystä ennen varsinaista suunnitteluprosessin aloittamista. Lisäksi opinnäytetyössä tutustuttiin vallitseviin lakeihin, säännöksiin sekä standardeihin, jotka ohjaavat suunnittelutoimintaa.

Lopputuloksena asiakkaalle saatiin tarvittava paketti dokumentteja, joilla lähdetään viemään hanketta kohti toteutusvaihetta. Suunnitteludokumentit lähetettiin asiakkaalle kommentoitavaksi. Kommentoinnin jälkeen suunnitelmiin voidaan tulla tekemään vielä muutoksia asiakkaan haluamaan suuntaan tai epäkohtien täydentämiseksi. Lisäksi toteutusvaiheen jälkeen kuvat tullaan mahdollisesti päivittämään loppukuviksi, urakoitsijan tekemien punakynäversioiden mukaisesti.

Tätä opinnäytetyötä tehdessä pääsin tutustumaan sähköinsinöörin työnkuvaan suunnittelutoimistossa. Työn teoriaosuudessa tutustuttiin suunnitteluprosessin etenemiseen vaihe vaiheelta teoriatasolla, joita pystyi vertailemaan käytännössä suunnittelun edetessä. Lisäksi SSEP Finland Oy:n käytössä oleva toiminnanohjausjärjestelmän käyttäminen auttoi hahmottamaan suunnittelun kulkua. Opinnäytetyön aikana pääsin käyttämään lukuisia ohjelmistoja, mitä en ollut aikaisemmin käyttänyt. Käytetyt ohjelmistot tulivat tutuiksi ja niiden käyttö muuttui sujuvammaksi. Täten opinnäytetyön henkilökohtaisien tavoitteiden voidaan todeta täyttyneen.

## LÄHTEET

- ABB 2000a. Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 6: Ylijännite- ja häiriösuojaus.
- ABB 2000b. Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 7: Oikosulkusuojaus.
- ABB 2000c. Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 8: Maasulkusuojaus.
- ABB 2000d. Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. luku 10: Mittaus-, ohjaus- ja suojalaitteistot.
- ABB 2000e. Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 13: Sähköasemat, kojeistot ja muuntamot.
- ABB 2000f. Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. Luku 19: Sähköjohtojen mitoittaminen.
- Alhainen, J. 2019. SSEP Finland Oy. Toimitusjohtaja. Keskustelu 18.4.2019.
- Caruna Oy. 2019. Sähköverkko. Viitattu 9.5.2019. <https://www.caruna.fi/caruna/sahkoverkko>.
- Elovaara, J. & Haarla, L. 2011a. Sähköverkot: I, Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta. Helsinki: Otatieto.
- Elovaara, J. & Haarla, L. 2011b. Sähköverkot: II, Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.
- Etto, J. 1998. Prosessisähköistyksen kunnossapito, osa 1. Kunnossapitokoulu 47.
- Eurolaite Oy 2018. Nexans Euromold jännite- ja virtasensorit. Viitattu 16.5.2019. [https://www.eurolaite.fi/fileadmin/user\\_upload/eurolaite/Euromold\\_Sensorit\\_Suomeksi\\_2018.pdf](https://www.eurolaite.fi/fileadmin/user_upload/eurolaite/Euromold_Sensorit_Suomeksi_2018.pdf).
- Eurolaite Oy 2019. Kaapelointivarusteet keskijänniteverkkoihin. viitattu 16.5.2019. [https://www.eurolaite.fi/fileadmin/user\\_upload/eurolaite/pdfs/Eurolaite/Kaapelointivarusteet\\_ilmaeristeisetpa%CC%88a%CC%88tteet\\_ja\\_kaapelijatkokset\\_2016.pdf](https://www.eurolaite.fi/fileadmin/user_upload/eurolaite/pdfs/Eurolaite/Kaapelointivarusteet_ilmaeristeisetpa%CC%88a%CC%88tteet_ja_kaapelijatkokset_2016.pdf).
- Holmes E.J. & Lakervi, E. 1995. Electricity distribution network design. Institution of Electrical Engineers.
- Lakervi, E. & Partanen, J. 2009. Sähkönjakelutekniikka. 2., uudistettupainos. Helsinki: Gaudeamis.
- Martimo, A. 2018a. Muuntajansuojaus luentomoniste. Voimansiirto ja relesuojaus -kurssi. Lapin AMK.

Martimo, A. 2018b. Relesuojaus luentomoniste. Voimansiirto ja relesuojaus -kurssi. Lapin AMK.

Monni, M. 1998. Sähkölaitosasennukset. Helsinki: Opetushallitus.

Patel, V. 2008. Project Management. Jaipur, India: Oxford Book Co.

Reka Kaapeli Oy 2019. Keskijännitekaapeli AHXAMK-W. Viitattu 9.5.2019. <https://www.reka.fi/keski-ja-suurjannitekaapelit/keskijannitekaapelit/keskijannitekaapeli-ahxamk-w-20-kv>

Relesuojaus keskijänniteverkossa -peruskoulutus 2008. Luentomateriaali.

SFS 600-1-1 2017. Pienjänniteasennukset. Osa 1-1: Yleisvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS 600-1-2 2017. Pienjänniteasennukset. Osa 1-2: Erikoistilojen ja täydentävät vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS 6001:2018 2018. Suurjänniteasennukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

ST-kortisto 53.11. Kuluttajamuuntamot. Espoo: Sähkötieto ry.

Suomen Automaatioseura 2007. Automaatiosuunnittelun prosessimalli. Helsinki.

Suomen Projekti-Instituutti 2019. Projektijohtamisen sanastoa. Viitattu 25.4.2019. [https://www.projekti-instituutti.fi/materiaalit/projektijohtamisen\\_sanastoa](https://www.projekti-instituutti.fi/materiaalit/projektijohtamisen_sanastoa).

Sähköenergialiitto Ry 1994. Verkostosuositukset SA5:94. Keskijänniteverkon sähköinen mitoittaminen. Helsinki.

Sähtöturvallisuuslaki 16.12.2016/1135.

Sähköverkkojen laskentaa 1998. Teoksessa L. Korpinen (toim.) Sähkövoimatekniikka opus. Viitattu 3.6.2019. [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/4sahkoverkkojen\\_laskenta.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/4sahkoverkkojen_laskenta.pdf)

Kemijoki Oy 2015. Tapamme toimia -periaatteet. Viitattu 12.9.2019. [https://www.kemijoki.fi/media/liitteet/kemijoki\\_tapamme\\_toimia\\_periaatteet.pdf](https://www.kemijoki.fi/media/liitteet/kemijoki_tapamme_toimia_periaatteet.pdf)

Trafomic Oy 2019. Muuntajat yleisesti. viitattu 16.5.2019 <https://www.trafomic.fi/muuntaja>.

Turvallisuus ja kemikaalivirasto 2019. Tukes-luettelo S10-2019. Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 28.11.2017/848.

## LIITTEET

- Liite 1. Kustannusvertailu (Luottamuksellinen)
- Liite 2. OKM6 Tekninen spesifikaatio
- Liite 3. AHXAMK-W 20kV tekniset tiedot
- Liite 4. Keskijännitekaapeleiden kuormitettavuus taulukot
- Liite 5. Febdok -mitoituskalkelmat (Luottamuksellinen)
- Liite 6. OKK3 Pääkaavio (Luottamuksellinen)
- Liite 7. OKK3 Esimerkkilayout
- Liite 8. ATS SEG1 Pääkaavio (Luottamuksellinen)
- Liite 9. ATS SEG1 Esimerkkilayout (Luottamuksellinen)
- Liite 10. ATS SEG1 Piirikaavio (Luottamuksellinen)
- Liite 11. OKM6 Riviliitinkotelo piirikaavio
- Liite 12. Hälytyspisteluettelo
- Liite 13. Kaapeliluettelo



30.8.2019

**PIRTTIKOSKI 20/0,4KV OKM6 500 kVA UUSINTA****1. MITOITUSTIEDOT**

Teknilliset tiedot on ilmoitettava todellisten arvojen mukaisesti, tässä eritelmässä on esitetty minimivaatimukset. Muuntaja toimitetaan valmiiksi koottuna, testattuna ja koestettuna tilaajan tarjouspyynnössä mainittuun toimitusosoitteeseen.

**1.1. TEKNISET TIEDOT**

Laji:	Öljyeristeinen, ilmajäähdytteinen, kolmivaihemuuntaja.
Nimellisteho:	500 kVA (kaikissa säätöasunnoissa)
Nimellisjännitteet:	20 500 ± 2 x 2,5 % / 410 V.
Nimellistaajuus:	50 Hz
Oikosulkuimpedanssi:	n. 4,5 %
Kytkenä:	Dyn 11
Jäähdytys:	luonnollinen (ONAN)
Ympäristöluokka:	C3

Muuntaja liittyy voimalaitoksen keskijännitekytkinlaitokseen. 20 kV:n järjestelmä on maasta erotettu ja 0,41 kV:n järjestelmä on käyttömaadoitettu muuntajan tähtipisteeseen.

20 kV:n kytkinlaitoksen maksimi oikosulkuvirran alkuarvo  $I_k'' = 3,36$  kA ja oikosulkutehon alkuarvo  $S_k'' = 116$  MVA.

**1.2. KÄYTTÖOLOSUHTEET**

Ympäristölämpötila-alue: -40...+40 °C

Muuntaja sijoitetaan voimalaitosrakennuksen ulkopuolelle vanhaan muuntajatilaan, mikä sijaitsee Seg.1 vieressä. Muuntajan kuormitus koostuu pääosin moottori-, lämmitys- ja valaistuskuormista.

**1.3. OIKOSULKULUJUUS**

Muuntajan oikosulkumitoituksen pohjaksi otetaan yläjännitetason oikosulkuarvo.  
- 20kV verkon 3- vaiheisen oikosulkuvirran alkuarvo on  $I_k'' = 3,36$  kA ja  $I_{dyn} = 2,5 \times I_k''$

Oikosulkulaskennat tulee perustaa tarjotun muuntajan impedansseihin, ottaen huomioon eri säätöasennot sekä impedanssien vaihtelun (ml. toleranssit) edellyttämät marginaalit.

Muuntajan tulee kestää ulkoista toisiopiirin napaoikosulkua vähintään kaksi sekuntia (2s).



30.8.2019

#### 1.4. STANDARDIT

Muuntajille käytetään standardia IEC 60076-1..5, mittamuuntajille standardia IEC 60044-1 ja IEC 60044-2 sekä muuntamorakennukselle käytetään standardeja SFS-EN 62271-202 ja SFS-EN 61439 tässä eritelmässä ilmenevin poikkeuksin.

Apulaitteisiin ja varusteisiin sovelletaan asiaankuuluvaa SFS-standardia tai tällaisen puuttuessa IEC-standardia. Ellei tällaista ole olemassa, sovelletaan jotakin yleistä tunnettua standardia.

#### 1.5. RAKENNE, VARUSTEET

Muuntajissa on oltava kaikki tavanomaiset moitteetonta toimintaa sekä kuljetusta varten tarvittavat osat ja varusteet, vaikka joitakin niistä ei olisikaan erikseen mainittu tässä spesifikaatiossa.

Muuntajan toisioliittimet tulee olla kosketussuojatut esim. vähintään IP2X koteloinnilla.

Arvokilpi ja muut vastaavat osat on sijoitettava niin, että ne ovat helposti luettavissa.

#### 1.6. MUUNTAJA

Muuntajissa tulee olla nosto- ja vetosilmukat tai -korvat, jolloin muuntaja voidaan nostaa paikalleen asennusvaiheessa.

Muuntajan ja muuntajakotelon välinen maadoitus tulee olla kaksoismaasulkuvirran mukaan mitoitettu eli 2x MK 70 KEVI (kuitenkin vähintään 120mm<sup>2</sup> kuparia).

#### 1.7. LIITYNNÄT

Muuntaja liitetään yläjännitepuoleltaan uuteen (2018) 20kV kojeiston kennoon 6.3.0 PATO KJ- kaapelilla, AHXAMK-W 20 kV 3x50Al+35Cu sekä alajännitepuolelta kaapelijärjestelmällä AXMK 3x2x300+2x300mm<sup>2</sup> pienjännitekeskukseen. Käytettävän kaapelijärjestelmän tulee kestää vähintään 50 kA dynaaminen sysäysaikosulkuvirta, jolloin suurvirtakaapelijärjestelmänä voidaan käyttää esim. XZB 23-järjestelmää.

Muuntajan ensiöpuolen liittimet varustetaan työmaadoituspisteillä.

Muuntajan runko sekä kotelo tulee maadoittaa MK 70 kevi (Cu) maadoitusjohtimella maadoitusjärjestelmään.

#### 1.8. JÄÄHDYTYS

Muuntajan jäähdytystapa on ONAN (luonnollinen ilmajäähdytteinen). Muuntamorakennuksessa tulee olla ilmasäleiköt jäähdytystä varten.



30.8.2019

### 1.9. VALVONTA JA SUOJAUS

Muuntaja varustetaan lämpötilan valvontaa varten anturilla. PT100- anturi käämin lämpötilan kaukomittausta varten, varauksena voimalaitoksen automaatiojärjestelmään.

Muuntaja varustetaan hälyttävällä ja laukaisevalla lämpötilanvalvontalaitteella. Hälytys kytketään automaatiojärjestelmään. Laukaisu päätetään varauksena riviliitinkotelolle. Riviliittimet ovat tyypiltään katkaistavia koestusliittimiä.

### 1.10. KILVET

Muuntaja on varustettava suomenkielisillä kytkentä-, arvo- ja ohjekilvillä. Arvokilpeen tulee merkitä IEC:n vaatimien arvojen lisäksi:

- mitattu oikosulkuimpedanssi pääsäätöasennossa ja äärimmäisissä säätöasennossa
- mitattu kuormitushäviö tai vastaava prosentuaalinen oikosulkuresistanssi (+75 °C) pääsäätöasennossa
- mitattu tyhjäkäyntihäviö ja -virta (tai -näennäisteho) nimellisjännitteellä
- kuljetuspaino

### 1.11. APUJÄNNITTEET

Apujännite-, hälytys- ja laukaisujärjestelmiä varten on laitoksella 220 V tasajännite. Jännitteen vaihtelualue on +15...-15 % tasajännitteellä.

## 2. KOESTUS

Muuntajalle tehdään standardin IEC 60076-11 mukaiset kokeet.

Tarjouksen yhteydessä tulee esittää tyyppikoepöytäkirja tarjotulle muuntajalle tehdystä oikosulkukokeesta.

## 3. HOITOVÄLINEET

Toimitukseen tulee sisältyä hoitovälineet:

- 2kpl työmaadoitusvälineet, täydellisenä, oikosulkukestoisuus 20kA/1s, työmaadoitusvälineiden napaluku 3+1, L1, L2, L3 + PE (välineet sijoitetaan voimalaitosrakennukseen)
- 2kpl telineet em. välineille



30.8.2019

#### 4. LAADUNVALONTA

Toimittaja huolehtii valmistuksenaikaisista laadunvalvontaan liittyvistä toimenpiteistä. Mahdollisista muutostarpeista tämän eritelmän ja liitteiden teknillisiin tietoihin nähden (kuten komponenttien lajit ja nimellisarvot, kojeiston rakennetiedot) valmistajan tulee raportoida tilaajalle välittömästi ja saada tilaajan hyväksyminen muutokselle.

#### 5. ASIAKIRJAT

Kaikki tarvittavat piirustukset, ohjeet ja pöytäkirjat kuuluvat toimitukseen. Toimittajan on toimitettava suunnitteluajataulun mukaisesti tilaajalle sähköisesti sitovat;

- kokoonpano- ja mittapiirustukset
- osaluettelot
- piiri- ja johdotuskuvat toimitukseen kuuluvien laitteiden osalta
- maadoituskaaviot.
- laitemanuaalit
- käyttö- ja huolto-ohjeet

Suomenkieliset toimintaselostukset, asennus-, käyttö- ja hoito-ohjeet sekä koestuspöytäkirjat on luovutettava sähköisesti pdf-formaatissa ja kaksi paperisarjaa toimituksen yhteydessä. Toimittajan on toimitettava muut loppudokumentit sähköisessä muodossa ja kaikki piirustukset tulee olla MicroStation (.dgn) tai AutoCAD (.dwg) yhteensopivia.



## AHXAMK-W 20 kV 3-johtiminen

Alumiinijohtiminen, PEX-eristeinen vesitiivis Wiski®-maakaapeli



### NIMELLISJÄNNITE

U<sub>0</sub>/U = 12/20 kV, U<sub>m</sub> = 24 kV

### KÄYTTÖ

Maa-asennukset, asennettavissa myös auruamalla  
Kiinteät hylly- ja kanava-asennukset sisällä ja ulkona

Johtimen suurin sallittu lämpötila:

- jatkuvassa käytössä 90 °C
- vikatilanteessa (kesto enintään 5 s) 250 °C

Alin suositeltu käsittelylämpötila -20 °C

### RAKENNE

<b>Johdin</b>	Vesitiivis pyöreä tiivistetty alumiinijohtin
<b>Johdinsuoja</b>	Puolijohtava muovi
<b>Eristys</b>	PEX-muovi
<b>Hohtosuoja</b>	Puolijohtava muovi
<b>Vesitiivistys</b>	Veden vaikutuksesta paisuva puolijohtava nauha
<b>Kosketussuoja</b>	Alumiini-muovilaminaatti, joka toimii samalla poikittaissuuntaisena vesitiivistyksenä
<b>Vaihevalppa</b>	Säänkestävä musta PE-muovi
<b>Keskusköysi</b>	Pyöreä tiivistetty kuparijohtin
<b>Kertaus</b>	Kolme vaipattua vaihetta kerrattu keskusköyden ympärille

W = kaapeli on pituus- ja poikittaissuuntaan vesitiivis

### STANDARDIT

SFS 5636  
HD 620-10F  
IEC 60502-2

### SERTIFIKAATIT, HYVÄKSYNNÄT

Kaapeli ei sisällä raaka-aineita REACH/SVHC-listalta.

### TULLIKOODI

8544 60 90

17.04.2018 © Prysmian Group. Kaikki oikeudet pidätetään.

Tämän asiakirjan sisältämää tietoa ei saa kopioida tai käyttää missään muodossa osaksi tai kokonaan ilman Prysmian Groupin kirjallista lupaa. Informaation uskotaan olevan ajan tasalla julkaisuajankohtana. Prysmian Group pidättää itselleen oikeuden korjata asiakirjan sisältämää tietoa ilman erillistä ilmoitusta. Spesifikaatio ei ole juridisesti pätevä ilman Prysmian Groupin erillistä sitoumusta.

## Voimakaapelit 10 kV ja 20 kV AHXAMK-W 20 kV 3-johtiminen

### OMINAISUUDET

TUOTTEEN NIMI			AHXAMK-W 3x50Al+35Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x95Al+35Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x120Al+35Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x150Al+35Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x185Al+35Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x240Al+70Cu 20 kV (8)	AHXAMK-W 3x300Al+70Cu 20 kV (8)		
Sähkönumero			0624250	0624252	0624253	0624254	0624255	0624256	0624257		
<b>RAKENNETIETOJA (1)</b>											
Johtimen halkaisija			mm	8,0	11,3	12,7	14,1	15,7	18,1	20,3	
Valhevalpan halkaisija			mm	28	32	33	35	36	40	42	
Kaapelein ulkohalkaisija (ympäri piirretyn ympyrän halkaisija)			mm	63	70	73	76	79	88	93	
Massa			alumiini	kg/km	510	910	1100	1350	1650	2200	
			kupari	kg/km	305	305	305	305	305	600	600
			kaapeli	kg/km	2300	3050	3350	3700	4150	5350	6100
<b>TOIMITUSTIETOJA</b>											
Vakiotuotmituspituus			m	500	500	500	500	500	500	500	
Toimituskela				K24	K24	K24	K26	K26	K28	K28	
Massa (t)			kaapeli+kela	kg	1600	1980	2130	2750	2980	3860	4230
<b>MEKAANISIA ARVOJA (3)</b>											
Pienin sallittu talvutussäde asennusvedossa			vaihe	m	0,42	0,48	0,50	0,53	0,54	0,60	
			kaapeli	m	0,50	0,56	0,58	0,61	0,63	0,70	0,74
Pienin sallittu talvutussäde lopullisessa asennuksessa (4)			vaihe	m	0,29	0,34	0,35	0,37	0,38	0,42	
			kaapeli	m	0,35	0,39	0,41	0,43	0,44	0,49	0,52
Suurin sallittu asennusvetovoima vetosukalla			kN	2,2	4,3	5,4	6,8	8,3	8,5	8,5	
Suurin sallittu asennusvetovoima vetopäällä			kN	7,5	14,3	18,0	20,0	20,0	20,0	20,0	
<b>SÄHKÖISIÄ ARVOJA (3)</b>											
Vaihejohtimen maks. tasavirtaresistanssi			johdin 20°C	Ω/km	0,641	0,320	0,253	0,206	0,164	0,125	0,100
Vaihejohtimen vaihtovirtaresistanssi (1) (2)			johdin 65°C	Ω/km	0,76	0,38	0,30	0,25	0,20	0,15	0,12
			johdin 90°C	Ω/km	0,82	0,41	0,33	0,27	0,21	0,16	0,13
Keskusköyden maks. tasavirtaresistanssi			johdin 20°C	Ω/km	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,268	0,268
Induktanssi vaihetta kohti (1)				mH/km	0,45	0,40	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34
Käyttökapasitanssi (1)				µF/km	0,17	0,22	0,24	0,26	0,28	0,31	0,34
Varausvirta (1)				A/km	0,6	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2
Maasuikuvirta (1)				A/km	1,9	2,4	2,6	2,8	3,0	3,4	3,7
<b>KUORMITETTAVUUS (3)</b>											
Maassa (2)			johdin 65°C	A	155	235	265	300	330	385	435
Ilmassa (2)			johdin 65°C	A	160	230	265	300	345	400	460
			johdin 90°C	A	195	280	325	370	425	490	565
<b>TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS (3)</b>											
Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta			valhejohdin (5)	kA	4,7	8,9	11,3	14,1	17,4	22,6	28,3
			kosketussuoja (6)	kA	2,4	2,7	2,9	3,0	3,2	4,4	4,8
			keskusköysi (7)	kA	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	9,7	9,7

(1) Likiarvo

(2) Kosketussuojat ja keskusköysi kytketty yhteen yhteyden molemmissa paissa.

(3) Katso taulukkoarvojen lähtöoletukset kappaleesta Yleistä tuotetietoja.

(4) Talvutus on tehtävä varovaisena ja tasaisena kertatalvutuksena.

(5) Johtimen lämpötila on ennen oikosulkua 90°C ja oikosulun päättyessä 250°C.

(6) Kosketussuojan lämpötila on ennen oikosulkua 85°C ja oikosulun päättyessä 250°C.

(7) Keskusköyden lämpötila on ennen oikosulkua 55°C ja oikosulun päättyessä 200°C.

(8) Kaapeli on saatavana myös 35 mm<sup>2</sup> keskusköydeillä.

**Keskijännitekaapeleiden kuormitettavuuslaskennan taulukot**

Yhteenveto taulukoista, jotka pohjautuvat Sener verkostosuositus SA5:94:n ja standardin SFS 5636 taulukoihin.

Taulukko 1. Korjauskertoimet ilman lämpötilan vaikutukselle kuormitettavuuteen (SFS 5636).

Johtimen sallittua lämpötila (°C)	Ilman Lämpötila (°C)									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
90	1,12	1,08	1,04	1,00	0,95	0,9	0,85	0,80	0,74	0,68
80	1,14	1,09	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,69	0,61
70	1,18	1,12	1,06	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,62	0,52
65	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,85	0,77	0,68	0,57	0,45

Taulukko 2 Korjauskertoimet AHXAMK-W-kaapeliryhmille ilma-asennuksissa (SFS 5636).

Asennustapa		Kaapelit kiinni toisissaan Kaapelit kiinni seinässä, lattiassa tai katossa				
Kaapelien lukumäärä		1	2	3	4	5
Lattialla		Korjauskerroin				
		0,9	0,84	0,8	0,75	0,73
Kaapelit tikkailla	Tikkaiden lukumäärä					
	1	0,95	0,84	0,80	0,75	0,73
	2	0,95	0,80	0,76	0,71	0,69
	3	0,95	0,78	0,74	0,70	0,68
	4	0,95	0,76	0,72	0,68	0,66
Seinällä		0,95	0,78	0,73	0,68	0,66

Taulukko 3 Korjauskertoimet AHXAMK-W-kaapeliryhmien vaikutukselle maa-asennuksessa (SFS 5636).

Monijohdinkaapeleiden välinen etäisyys mm	Vierekkäisten AHXAMK-W-kaapeleiden lukumäärä						
	2	3	4	5	6	8	10
0	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,50	0,46
70	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53
250	0,87	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64

Taulukko 3 Korjauskertoimet 6-30kV kaapeleiden asennussyvyyden vaikutukselle maa-asennuksessa (SFS 5636).

Asennussyvyys	0,50-0,70	0,71-0,90	0,91-1,10	1,11-1,30	1,31-1,50
Korjauskerroin	1,00	0,99	0,98	0,94	0,95

Taulukko 4 Korjauskertoimet putkeen asennettujen AHXAMK-W-kaapeliryhmien vaikutukselle maa-asennuksessa (SFS 5636)

Putkitettujen monijohdinkaapeleiden välinen etäisyys mm	Vierekkäisten AHXAMK-W-kaapeleiden lukumäärä							
	1	2	3	4	5	6	8	10
0	0,8	0,75	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50
70		0,75	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55
250		0,75	0,70	0,70	0,70	0,65	0,65	0,65

Taulukko 5 Korjauskertoimet eri maaperän lämpöresistiivisyyksien vaikutukselle maa-asennuksessa (SFS 5636)

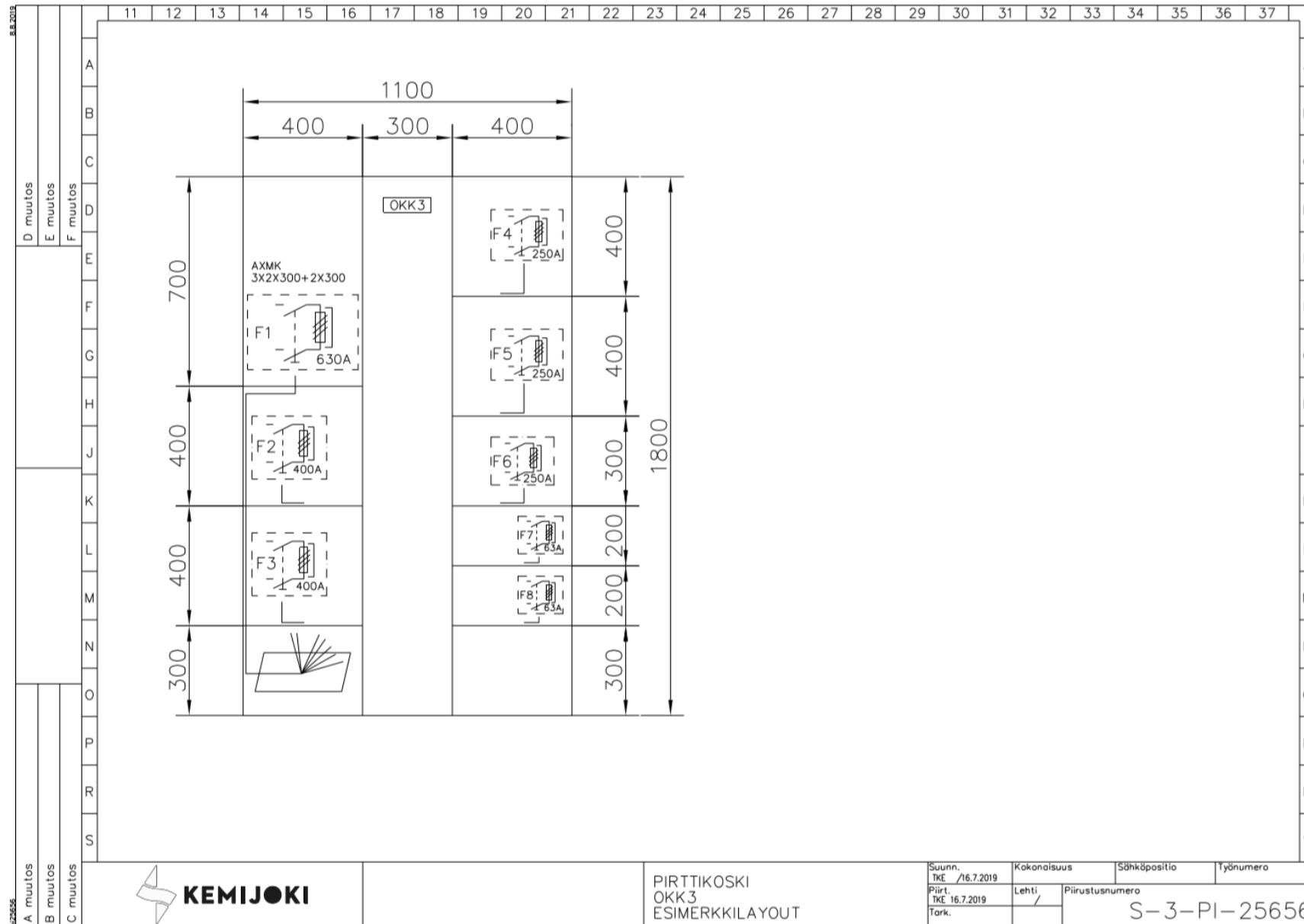
Maaperän lämpöresistiivisyys (Km/W)	0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Korjauskerroin	1,10	1,0	0,92	0,85	0,75	0,69	0,63

Taulukko 6 Korjauskertoimet maaperän lämpötilan vaikutukselle (SFS 5636)

Johtimen sallittua lämpötila (°C)	Maaperän lämpötila (°C)										
	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
90	1,13	1,10	1,06	1,03	1,00	0,96	0,93	0,89	0,86	0,82	0,77
80	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73
70	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,73	0,67
65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63

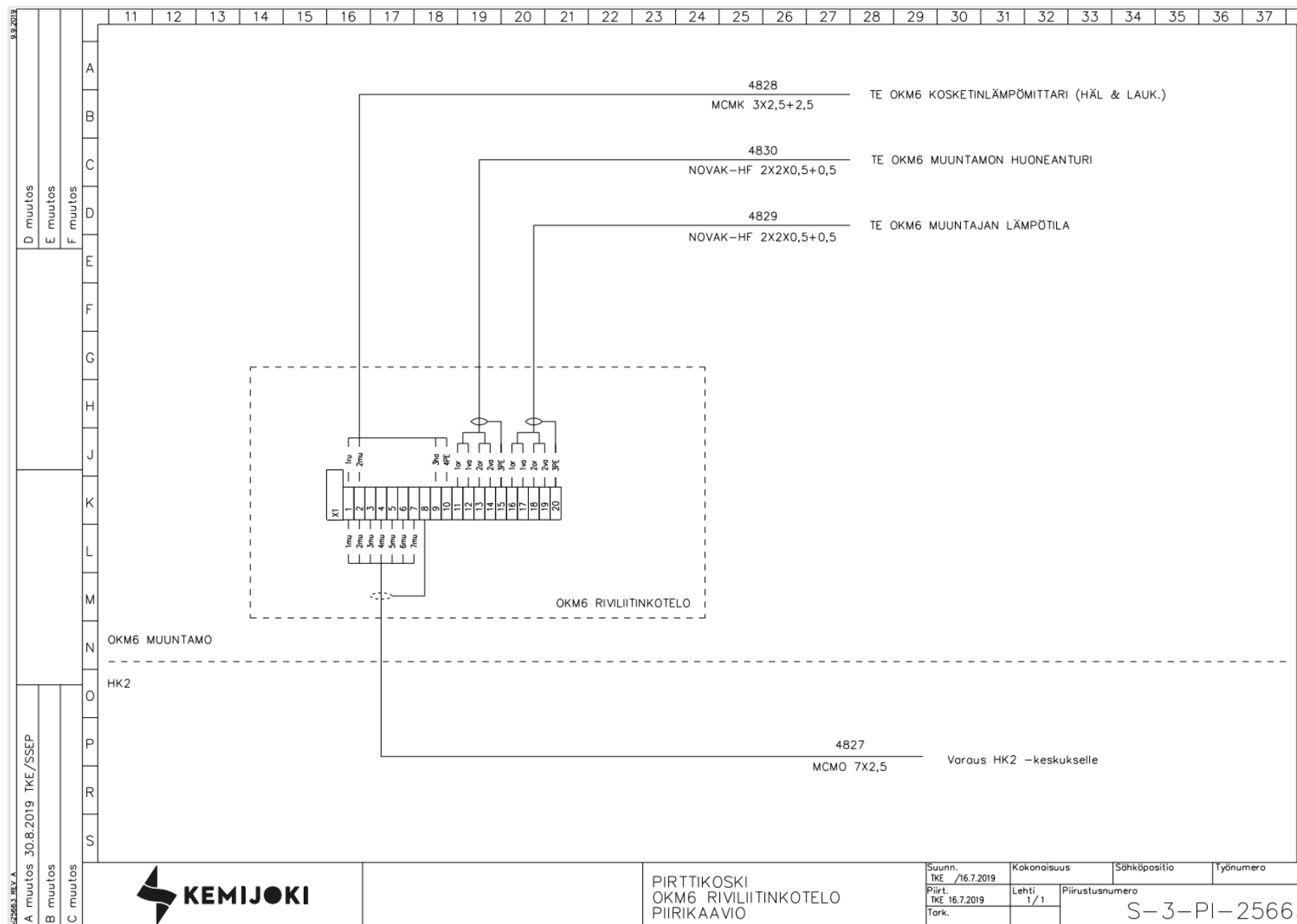
Taulukko 7 Häätäkuormitettavuuskertoimet (Sener SA5:95)

Kaapelityyppi	Johtimen maksimilämpötila häätäkuormituksella (°C)	Häätäkuormitettavuuskerroin	
		Kaapeli ilmassa +25°C	Kaapeli maassa +15°C
12-14 paperieristeinen	95	1,26	1,20
1-24 PEX-eristeinen	130	1,20	1,30



PIRTTIKOSKI  
OKK3  
ESIMERKKILAYOUT

Suunn. TKE /16.7.2019	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero
Piirt. TKE 16.7.2019	Lehti /	Piirustusnumero	
Tark.		S-3-PI-25656	



9.9.2019

925663 REV. A  
A muutos 30.8.2019 TKE/SSEP  
B muutos  
C muutos

D muutos  
E muutos  
F muutos



PIRTTIKOSKI  
OKM6 RIVILIITINKOTELO  
PIIRIKAAVIO

Suunn. TKE /16.7.2019	Kokonaisuus	Sähköpositio	Työnumero
PiirL. TKE 16.7.2019	Lehti 1/1	Piirustusnumero	
Tark.			S-3-PI-25663

SSEP Finland Oy Rovakatu 17, 3. krs 96100 Rovaniemi		RAKENNUSAUTOMAATIO PISTELUETTELO					<b>HK2</b>						
KOHDE: Kemijoki Oy Pirttikosken pato Padon syöttöjärjestelyiden uusinta		Asiakirja no.			Laadittu		24.6.2019						
		Työ no.		Rev A		Laatija/piirt.			TKE				
		Tiedosto			Häl.pisteluettelo		Tark./hyv.						
		Viimeisin muutos			30.8.2019								
VAK			Liityntätiedot					Ohjelmatiedot					Tekniset tiedot
			AO	AI	DO	DI	DI	Ristiriitahälytys	Raja-arvohälytys	Aikaohjelma	Hälytysviive	Raportointi	
Järjestelmä	Laite	Kuvaus	Säätö	Mittaus	Ohjaus	Käyttötila	Hälytys						
	ATS Seg 1	Seg 1. syötönvaihtoautomaatti				X							B Hälytys, Normally open
	ATS Seg 1	Seg 1. syötönvaihtoautomaatti				X							Linja 1 käytössä, Normally open
	ATS Seg1	Seg 1. syötönvaihtoautomaatti				X							Linja 2 käytössä, Normally open
	ATS Seg 2	Seg 2. syötönvaihtoautomaatti				X							B Hälytys, Normally open
	ATS Seg 2	Seg 2. syötönvaihtoautomaatti				X							Linja 1 käytössä, Normally open
	ATS Seg 2	Seg 2. syötönvaihtoautomaatti				X							Linja 2 käytössä, Normally open
	TE	OKM6 muuntajan kosketinlämpömittari häl.				X							A Normally open
YHTEENSÄ:						4	3						





## Ohjaus-, hälytys- ja indikointikaapelien kytkentätaulukko sijainneittain

TKE  
Rev A  
30.8.2019

Sijainti	Tunnus	Liitin	Kaapelinumero	Kaapeli	Tyyppi	Pituus	Johd	Väri	Tunnus	Liitin	Mihin sijaintiin
Pirttikoski 6.krs	HK2		4827	MCMO	7x2,5/2,5	200	1	Mu	Riviliitinkotelo OKM6	X1:1	OKM6 muuntajalla
Pirttikoski 6.krs	HK2		4827	MCMO	7x2,5/2,5	200	2	Mu	Riviliitinkotelo OKM6	X1:2	OKM6 muuntajalla
Pirttikoski 6.krs	HK2		4827	MCMO	7x2,5/2,5	200	3	Mu	Riviliitinkotelo OKM6	X1:3	OKM6 muuntajalla
Pirttikoski 6.krs	HK2		4827	MCMO	7x2,5/2,5	200	4	Mu	Riviliitinkotelo OKM6	X1:4	OKM6 muuntajalla
Pirttikoski 6.krs	HK2		4827	MCMO	7x2,5/2,5	200	5	Mu	Riviliitinkotelo OKM6	X1:5	OKM6 muuntajalla
Pirttikoski 6.krs	HK2		4827	MCMO	7x2,5/2,5	200	6	Mu	Riviliitinkotelo OKM6	X1:6	OKM6 muuntajalla
Pirttikoski 6.krs	HK2		4827	MCMO	7x2,5/2,5	200	7	Mu	Riviliitinkotelo OKM6	X1:7	OKM6 muuntajalla
Pirttikoski 6.krs	HK2		4827	MCMO	7x2,5/2,5	200	PE		Riviliitinkotelo OKM6	X1:8	OKM6 muuntajalla
Pirttikoski 6.krs	HK2		4835	MMO	7x2,5/2,5	10	1	Mu	JK610	123	Pirttikoski 6.krs
Pirttikoski 6.krs	HK2		4835	MMO	7x2,5/2,5	10	2	Mu	JK610	125	Pirttikoski 6.krs
Pirttikoski 6.krs	HK2		4835	MMO	7x2,5/2,5	10	3	Mu	JK610	126	Pirttikoski 6.krs
Pirttikoski 6.krs	HK2		4835	MMO	7x2,5/2,5	10	4	Mu	JK610	127	Pirttikoski 6.krs
Pirttikoski 6.krs	HK2		4835	MMO	7x2,5/2,5	10	5	Mu	JK610	128	Pirttikoski 6.krs
Pirttikoski 6.krs	HK2		4835	MMO	7x2,5/2,5	10	6	Mu	JK610	140	Pirttikoski 6.krs
Pirttikoski 6.krs	HK2		4835	MMO	7x2,5/2,5	10	7	Mu	JK610		Pirttikoski 6.krs
Pirttikoski 6.krs	HK2		4835	MMO	7x2,5/2,5	10	PE		JK610		Pirttikoski 6.krs
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:1	4828	MCMK	3X2,5+2,5	5	1	RU	TE Muuntajan kosketinlämpömittari		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:2	4828	MCMK	3X2,5+2,5	5	2	MU	TE Muuntajan kosketinlämpömittari		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:9	4828	MCMK	3X2,5+2,5	5	3	HA	TE Muuntajan kosketinlämpömittari		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:10	4828	MCMK	3X2,5+2,5	5	PE	PE	TE Muuntajan kosketinlämpömittari		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:16	4829	NOVAK-HF	2x2x0,5+0,5	5	1	OR	TE OKM6 Muuntajan lämpötila		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:17	4829	NOVAK-HF	2x2x0,5+0,5	5	1	VAL	TE OKM6 Muuntajan lämpötila		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:18	4829	NOVAK-HF	2x2x0,5+0,5	5	2	OR	TE OKM6 Muuntajan lämpötila		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:19	4829	NOVAK-HF	2x2x0,5+0,5	5	2	VAL	TE OKM6 Muuntajan lämpötila		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:20	4829	NOVAK-HF	2x2x0,5+0,5	5	PE		TE OKM6 Muuntajan lämpötila		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:11	4830	NOVAK-HF	2x2x0,5+0,5	5	1	OR	TE OKM6 muuntamon huoneanturi		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:12	4830	NOVAK-HF	2x2x0,5+0,5	5	1	VAL	TE OKM6 muuntamon huoneanturi		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:13	4830	NOVAK-HF	2x2x0,5+0,5	5	2	OR	TE OKM6 muuntamon huoneanturi		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:14	4830	NOVAK-HF	2x2x0,5+0,5	5	2	VAL	TE OKM6 muuntamon huoneanturi		OKM6 muuntajalla
OKM6 muuntajalla	Riviliitinkotelo OKM6	X1:15	4830	NOVAK-HF	2x2x0,5+0,5	5	PE		TE OKM6 muuntamon huoneanturi		OKM6 muuntajalla
Segmenttikonehuone 1	1.Segmentin apukotelo	91	4830	MCMK	4x1,5+1,5	10	1	RU	ATS SEG 1	X10:1	Segmenttikonehuone 1.
Segmenttikonehuone 1	1.Segmentin apukotelo	73	4830	MCMK	4x1,5+1,5	10	2	MU	ATS SEG 1	X10:2	Segmenttikonehuone 1.
Segmenttikonehuone 1	1.Segmentin apukotelo	75	4830	MCMK	4x1,5+1,5	10	3	HA	ATS SEG 1	X10:3	Segmenttikonehuone 1.
Segmenttikonehuone 1	1.Segmentin apukotelo	76	4830	MCMK	4x1,5+1,5	10	4	SI	ATS SEG 1	X10:4	Segmenttikonehuone 1.
Segmenttikonehuone 1	1.Segmentin apukotelo		4830	MCMK	4x1,5+1,5	10	PE	KEVI	ATS SEG 1	X10:5	Segmenttikonehuone 1.
Segmenttikonehuone 2	2.Segmentin relekotelo	78	4831	MCMK	4x1,5+1,5	10	1	RU	ATS SEG 2	X10:1	Segmenttikonehuone 2.
Segmenttikonehuone 2	2.Segmentin relekotelo	79	4831	MCMK	4x1,5+1,5	10	2	MU	ATS SEG 2	X10:2	Segmenttikonehuone 2.
Segmenttikonehuone 2	2.Segmentin relekotelo	80	4831	MCMK	4x1,5+1,5	10	3	HA	ATS SEG 2	X10:3	Segmenttikonehuone 2.
Segmenttikonehuone 2	2.Segmentin relekotelo	81	4831	MCMK	4x1,5+1,5	10	4	SI	ATS SEG 2	X10:4	Segmenttikonehuone 2.
Segmenttikonehuone 2	2.Segmentin relekotelo		4831	MCMK	4x1,5+1,5	10	PE	KEVI	ATS SEG 2	X10:5	Segmenttikonehuone 2.