

Kaivoksen keskijänniteverkon relesuojausten selektiivisyyden tarkastelu ja kehitysesitykset

Jonne Juotasniemi

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikka
Insinööri AMK

Tekijä	Jonne Juotasniemi	Vuosi	2015
Ohjaaja	Jaakko Etto, DI Erkki Nevanperä, Sähkökunnossapitoinsinööri Jouko Mattila, Vanhempi sähköinsinööri		
Toimeksiantaja	Agnico Eagle Finland Oy		
Työn nimi	Kaivoksen keskijänniteverkon relesuojausten selektiivisyyden tarkastelu ja kehitysesitykset		
Sivu- ja liitemäärä	57 + 3		

Opinnäytetyö tehtiin Agnico Eagle Finlandille Euroopan suurimmassa kultakaivoksessa Kittilän Suurkuusikossa. Tavoitteena oli tutkia kaivosalueen keskijänniteverkon suojauslaitteiden selektiivisyyttä ja asetteluita. Tutkittavat asettelut olivat ylivirta- ja oikosulkuvirrat sekä muuntajien kytkentävirtasäyssi-suojaukset.

Työn alkuvaiheessa tutustuttiin kaivoksen sähköjakelukaavioon ja käytössä oleviin suojauslaitteisiin. Selvitettiin nykyiset releasettelut käymällä jokainen keskijänniteverkon suojauslaitteiden läpi. Selvitystyön aikana tutustuttiin kaivoksen sähköverkkoon niin maan päällä kuin maanalaisessa kaivoksessa.

Suojauslaitteiden asetteluiden tutkimisessa täytyi ottaa huomioon käytössä olevat kaapeloinnit ja johdotukset, verkostolaskennat, sähköverkon rakenne, kytkentä ja jakelumuuntajat. Sähköverkossa on paljon taajuusmuuttajakäyttöisiä moottoreita. Näistä tulee verkkoon siniaaltoja vääristäviä yliaaltoja, jotka tuli ottaa huomioon työtä tehdessä.

Kehitysesityksiksi saatiin aikaselektiivisyyden toteuttaminen lähtöihin, virta-asetteluiden muuttaminen kaapelien suojaamiseksi sekä muuntajien kytkentävirtasäyssi-suojaukset muuttaminen.

Työn tavoitteista jäi puuttamaan maasulkusuojausten releasetteluiden määrittäminen verkostolaskelman viivästymisen takia. Yrityksen kanssa on sovittu tämän osan pois jättäminen työstä. Muilta osin tavoitteet saavutettiin eli saatiin kehitysehdotuksia selektiivisyyteen sekä virta- ja muuntajien kytkentävirtasäyssi-suojauksiin.

Industry and Natural Resources
Electrical Engineering

Author	Jonne Juotasniemi	Year	2015
Supervisor	Jaakko Etto, M.Sc (Tech.) Erkki Nevanperä, General Electric Supervisor Jouko Mattila, Senior Electrical Engineer		
Commissioned by	Agnico Eagle Finland Oy		
Subject of thesis	Medium Voltage Grids Protection Relays Selectivity and Parametring Research and Improvement Suggestions		
Number of pages	57 + 3		

The thesis was commissioned by Agnico Eagle Finland Oy at Kittilä Suurkuusikko which is the largest gold mine in Europe. The subject of the thesis was to examine the selectivity and the parameters of the protection relays of the medium voltage grid in the mine area. The examined parameters were overcurrent, short circuit and transformer switching current.

The early stages of the work included studying the mine's grid distribution graph and protection relays that were in use. The present parameters were checked from every protection relay on site. Checking the parameters also familiarized me with the mine underground and on the ground.

When examining the protection relay parameters one had to take in consideration the used cables, grid calculations, structure of the grid, connections and transformers. A lot of frequency converters are used at the mine which produce harmonic waves to the electrical grid. These harmonic waves cause distortion in sine-shaped waves which had to be taken in consideration while doing the thesis.

Time selectivity for outputs, current parameters to protect cables and transformer switching currents parameters were found for development.

The earth fault settings for the protection relays were not solved due to the grid calculations being delayed. These were left out of the thesis in agreement with the commissioning company. Other goals for thesis were reached which were development ideas for the selectivity and parameters to the overcurrent and transformer switching current settings.

Key words transformers, relays, grid

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	AGNICO EAGLE FINLAND OY	8
2.1	Agnico Eagle Mines Limitedin tytäryhtiö	8
2.2	Agnico Eagle Mines Limited.....	8
2.3	Suurkuusikon kaivoksen historia.....	9
3	SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄT	11
3.1	Verkostorakenteet.....	11
3.1.1	Säteittäinen verkko.....	11
3.1.2	Rengasverkko	12
3.1.3	Silmukoitu verkko	12
3.2	Muuntajat.....	13
3.3	Sähköasemat.....	16
3.4	Kaivoksen sähköverkko	17
3.4.1	Kaivoksen 110 kV/20 kV:n sähköasema	17
3.4.2	Kaivoksen 20 kV:n sähkönjakeluverkko	18
3.4.3	Kaivoksen muuntamot.....	19
4	VIKATYYPIT	21
4.1	Oikosulku	21
4.1.1	Oikosulkuvirran laskeminen Théveninin menetelmällä.....	22
4.1.2	Vikatyytit.....	23
4.2	Maasulku	24
4.2.1	Yksivaiheinen maasulku	25
4.2.2	Kaksoismaasulku	28
5	RELESUOJAUS	29
5.1	Oikosulkusuojaus.....	29
5.2	Releasettelut.....	29
5.2.1	Aikalaukaisu	30
5.2.2	Oikosulkumoottorin käynnistysvirtasysäys	30
5.2.3	Muuntajan kytkentävirtasysäys	31
5.3	Mittamuuntajat	32
6	RELEASETTELUIDEN SELVITYS	35
6.1	Ylivirta-asetteluiden selvitys ja tutkiminen.....	35

6.2	Selektiivisyyden tutkiminen	35
6.3	Muuntajan kytkentäsäysvirran tutkiminen.....	36
7	SUOJARELEET	39
7.1	Suojareleet REF 541, 543 ja 545	39
7.2	Suojarele REX 521	43
7.2.1	Kolmivaiheiset suuntaamattomat ylivirtatoimilohkot	45
7.2.2	Suuntaamattomat maasulkusuojaustoimilohkot	46
7.2.3	Suunnatut maasulkutoimilohkot.....	46
7.2.4	Muuntajan käynnistyssäysvirtatila.....	46
7.3	Siemens SIPROTEC 7SJ80	47
7.3.1	Suuntaamaton aikavakioylivirtasuojaus.....	47
7.3.2	Inrush	48
8	TOIMENPIDE-EHDOTUKSET	49
8.1	Aikaselektiivisyys	49
8.2	Kaapelien kuormituskestoisuus	50
8.3	Muuntajan kytkentäsäysvirtasuojaus.....	51
8.4	Ylikuormitusasettelut.....	51
8.4.1	Kaapelilähdöt	52
8.4.2	Suojareleelliset muuntajalähdöt	52
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	54
10	LÄHTEET	55
11	LIITTEET	57

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AEF	Agnico Eagle Finland Oy
MUP	Muuntamoperä
PUP	Pumppaamoperä
KUP	Kuprikka
VAP	Varusteluperä
IVN	Ilmanvaihtonousu
VT	Vinotunneli
MicroSCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
I_k''	Alkuoikosulkuvirta
I_k	Oikosulkuvirta
i_p	Sysäysoikosulkuvirta
I_{th}	Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta
I_b	Katkaisuvirta
c	Jännitekerroin oikosulkuvirran laskennassa
U_n	Syöttävän verkon jännite
I_v	Maasulussa olevan johdon syöttöpäässä mitattava virta
I_{th1s}	Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta
$3I_>$, $3I_{>>}$ ja $3I_{>>>}$	Suojareleiden suuntaamattomat ylivirtasuojaportaat
U_0	Nollajännite
I_e	Maasulkuvirta

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Agnico Eagle Finland Oy:lle syksyllä 2015. AEF:lla on Euroopan suurin kultakaivos Kittilän Suurkuusikossa. Työn tavoite on löytää parannusehdotuksia kaivoksen keskijänniteverkon relesuojauksiin. Työhön sisältyy suojareleiden ylivirta- ja muuntajien sysäysvirtasuojaukset. Tarkastelun ulkopuolelle jätetään happilaitosten ja isojen moottorilähtöjen suojaukset. Suojausten ja selektiivisyyden tarkastelu esitetään erikseen.

Opinnäytetyön alussa esitellään erilaisia sähköverkkorakenteita, relesuojauksia ja erilaisia vikoja sähköverkoissa. Tarkastellaan sähköverkossa esiintyvien oikosulkuvirtojen ja maasulkujen vikavirtalaskentaa. Perehdytään muuntajan kytkentäsysäysvirtoihin. Tutustutaan kaivosalueen keskijänniteverkossa käytettyihin suojareleisiin.

Opinnäytetyössä perehdytään kaivoksen keskijänniteverkon ja relesuojausten toteutukseen. Tutkitaan suojareleiden asetteluita sekä selektiivisyyttä. Kuormitus- ja vikavirtoja tarkastellaan valvontajärjestelmän avulla. Näiden pohjalta pohditaan mahdollisia muutostarpeita. Muuntajien kytkentävirtasysäyksiä tutkitaan kaivosalueen sähköverkosta saatavista mittaustuloksista, josta saadaan tarvittava tieto asetteluiden määrittämiseen.

2 AGNICO EAGLE FINLAND OY

2.1 Agnico Eagle Mines Limitedin tytäryhtiö

Agnico Eagle Finland Oy on kanadalaisen kullantuottajan Agnico Eagle Mines Limitedin tytäryhtiö. Se omistaa Kittilän kaivoksen ja harjoittaa aktiivista malminetsintää Suomessa ja muualla Pohjoismaissa. Suurkuusikon kultaesiintymä, jonka Agnico Eagle hankki Riddarhyttan Resources AB:ltä vuonna 2005, on yhtiön ensimmäinen Kanadan ulkopuolella sijaitseva esiintymä. (Agnico Eagle Finland Oy 2015)

Kittilän kaivos on Euroopan suurin kultakaivos. Kaivoksella louhitaan malmia vuosittain noin 1,1 miljoonaa tonnia. Vuotuinen tuotanto on noin 6 000 kg kultaa. Nykyisillä malmivaroilla ja tuotantomäärillä sen odotetaan toimivan vuoteen 2036 saakka. Kaivoksen elinikä voi jatkua pidempään riippuen malminetsinnän tuloksista. Kaivos työllistää noin 400 omaa työntekijää sekä yli 100 urakoitsijoiden työntekijää. (Agnico Eagle Finland Oy 2015)

2.2 Agnico Eagle Mines Limited

Agnico Eaglellä on kaivoksia Suomen lisäksi Kanadassa ja Meksikossa ja se harjoittaa aktiivista malminetsintää Pohjoismaissa, Kanadassa, Yhdysvalloissa ja Meksikossa.

Agnico Eagle Mines Limited syntyi toukokuussa 1972, kun kaivosyhtiöt Agnico Mines ja Eagle Gold Mines yhdistyivät. Agnico Mines oli perustettu vuonna 1957 Cobaltin kaivosalueella Ontariossa, kun samaan aikaan Eagle Gold Mines rakensi Joutelin kultakaivosta Luoteis-Quebecissä. Sen tuotanto alkoi vuonna 1974. Nykyään Agnico Eagle on yksi maailman suurimmista kultakaivosyhtiöistä. (Agnico Eagle Finland Oy 2015)

Yhtiön pisimpään toiminut kaivos on Quebecissä Kanadassa sijaitseva LaRonde, joka avattiin vuonna 1988. Sen jälkeen toimintansa ovat aloittaneet Goldexin ja

Lapan kaivokset Quebecissä, Kittilän kaivos, Pinos Altosin, La Indian ja Creston Mascotan kaivokset Meksikossa ja Meadowbankin kaivos Nunavutissa Kanadassa. (Agnico Eagle Finland Oy 2015)

2.3 Suurkuusikon kaivoksen historia

Suurkuusikon kaivoksen tärkeimmät kehitysaskleet:

- 1986 Ensimmäiset viitteet kullasta löytyvät Kiistalan kylän lähettäviltä Pokkaan menevän tien parannustöiden yhteydessä. Geologian tutkimuskeskus ryhtyy tutkimaan löydöstä.
- 1998 Ruotsalainen malminetsintäyhtiö Riddarhyttan Resources AB ostaa Suurikuusikon kultaesiintymän ja jatkaa geologisia tutkimuksia alueella.
- 2001 Kaivospiiri myönnetään.
- 2002 Ympäristölupa myönnetään.
- 2004 Kanadalainen kultakaivosyhtiö Agnico-Eagle Mines Limited kiinnostuu Suurikuusikon esiintymästä ja ostaa 14 % Riddarhyttanin osakkeista.
- 2005 Agnico-Eagle hankkii omistukseensa koko Riddarhyttanin osakekannan.
- 2006 Kaivoksen kannattavuusselvitys esitellään Agnico-Eaglen hallitukselle, joka tekee kesäkuussa päätöksen kaivoksen rakentamisesta. Rakennustyöt alkavat välittömästi.
- 2008 Malmin louhinta alkaa avolouhintana toukokuussa ja rikastus syyskuussa. Kaivoksen rakentamisvaihe päättyy vuoden lopussa.
- 2009 Ensimmäinen kultaharkko valetaan tammikuussa. Kaivoksen virallisia avajaisia vietetään kesäkuussa.
- 2010 Tuotanto vakiintuu. Maanalaisen kaivoksen tuotanto alkaa lokakuussa.
- 2011 Vuoden lopussa Suurikuusikon esiintymä on 5,2 miljoonan unssin todetuilla ja todennäköisillä malmivarannoillaan Agnico-Eaglen suurin kultaesiintymä.

- 2012 Avolouhostoiminta päättyy marraskuussa, ja louhinta jatkuu yksinomaan maanalaisesta kaivoksesta.
- 2013 Agnico-Eaglen hallitus päättää Kittilän kaivoksen tuotannon laajentamisesta. Laajennuksen jälkeen käsiteltävän malmin määrä nousee 25 % eli nykyisestä 3 000 tonnista 3 750 tonniin vuorokaudessa.
- 2014 Uusi kaivoskonttori valmistuu kesäkuussa ja rikastamon laajennusprojekti syyskuussa. Uusi tuotantokapasiteetti otetaan käyttöön vuoden lopussa. (Agnico Eagle Finland Oy 2015)

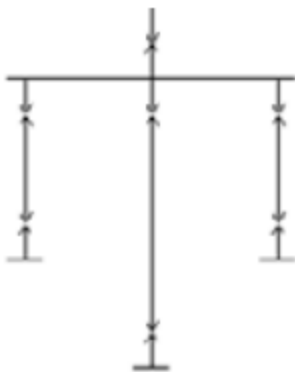
3 SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄT

3.1 Verkstorakenteet

Verkostojen rakentamisessa käytetään kolmea perustyyppiä: säteittäistä, rengasverkkoa tai silmukoitua verkkoa. Kullakin verkostotyyppillä on omat etunsa ja haittansa, joten eri vaihtoehtoja vertailtaessa on huomioitava niiden käyttöön liittyvät teknis-taloudelliset näkökohdat. Näitä ovat tyypillisesti investoinnin kalleus, käytön taloudellisuus ja luotettavuus, varasyöttöjen mahdollisuus sekä erityisesti verkon suojaukseen liittyvät näkökohdat. (ABB Oy 2000, 1)

3.1.1 Säteittäinen verkko

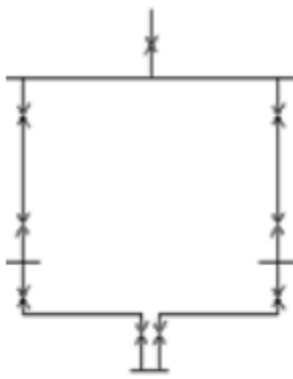
Säteittäisen verkon (Kuvio 1) etuina ovat selkeä yleisrakenne, käytön yksinkertaisuus ja suojauksen helppous. Haittoina sen sijaan ovat varmistusmahdollisuuden puuttuminen ja huollon vaatimat käyttökeskeytykset. Säteittäistä verkstorakennetta käytetään tyypillisesti keski- ja pienjännitteellä. Suomessa on keskijännitteellä yleistynyt rakentamistapa, jossa 20 kV:n verkko rakennetaan renkaiksi käytön ollessa kuitenkin säteittäistä jakorajojen avulla. (ABB Oy 2000, 1)



Kuvio 1 Esimerkki säteittäisestä verkosta. (Korpinen 2015)

3.1.2 Rengasverkko

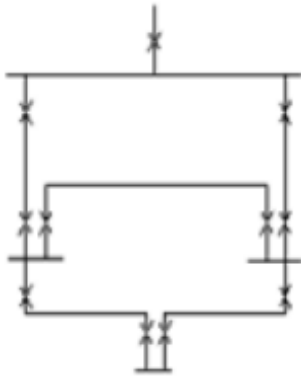
Suuremmilla jännitteillä verkot rakennetaan yleensä rengasverkoiksi (Kuvio 2). Etuina säteittäiseen rakenteeseen verrattuna ovat varmistettu syöttö, parempi jännitevakavuus ja pienemmät tehohäviöt. Haittoina ovat käytön vaikeutuminen ja relesuojauksen monimutkaistuminen. Suomessa 110 kV:n verkot ovat usein kytkettyinä renkaaksi lukuunottamatta johtoja, jotka syöttävät yhtä tai korkeintaan muutamaa 110/ 20 kV:n asemaa. (ABB Oy 2000, 1)



Kuvio 2 Esimerkki rengasmaisesta verkosta. (Korpinen 2015)

3.1.3 Silmukoitu verkko

Silmukoitu verkko (Kuvio 3) on luonteeltaan kuten rengasverkko, mutta se sisältää myös renkaan sisäisiä väliyhteyksiä. Tällä tavoin voidaan edelleen kohottaa syöttöjen varmistusmahdollisuuksia, parantaa verkon jännitevakavuutta sekä pienentää tehohäviöitä. Tämä aiheuttaa kuitenkin edelleen käytön vaikeutumista ja relesuojauksen kallistumista. Suomessa 400:n ja 220 kV:n verkot ovat silmukoituja, jolloin niissä voidaan minimoida verkossa tapahtuvat siirtohäviöt ja saavuttaa erittäin hyvä jännitevakavuus. (ABB Oy 2000, 1)



Kuvio 3 Esimerkki silmukoidusta verkosta. (Korpinen 2015)

3.2 Muuntajat

Muuntaja on sähkölaite, joka vaihtosähköjärjestelmässä muuntaa ja usein myös säätelee jännitteitä ja virtoja kahden tai useamman käämityksen välillä käyttäen hyväksi sähkömagneettista induktiota. Kolmivaiheinen muuntaja rakennetaan joko suoraan kolmivaiheyksiköksi tai se voidaan koota kolmesta yksivaiheyksiköstä. Varsin usein kolmivaihemuuntaja myös muuttaa jännitteen vaihekulmaa aina samalla vakiomäärällä, joka riippuu muuntajan käämien kytkennästä. (Elovaara & Haarla 2011, 141)

Muuntajien kytkennät ilmoitetaan kirjainsymboleilla ja tunnusluvuilla. Kolmivaihemuuntajan käämityksen kytkentää kuvaamaan käytetään seuraavia kirjainsymboleja:

- Y ; y tähtikytkentä
- D ; d kolmiokytkentä
- Z ; z hakatähtikytkentä.

Isot kirjaimet, jotka merkitään ensimmäiseksi, tarkoittavat suurimman jännitteen käämityksiä, pienet kirjaimet pienemmän jännitteen käämityksiä. Jos tähti- tai hakatähtikämmityksen tähtipiste on tuotu liittimelle, merkitään tämä kirjaimilla N ja n välittömästi ko. käämityksen kirjainsymbolin jälkeen. Jos käämityksessä on säästökytkentä, merkitään tämä kirjaimella a käämityksen kirjainsymbolin jälkeen. (ABB Oy 2000, 2)

Kytkenästä aiheutuvaa vaihesiirtoa kuvaamaan käytetään tunnuslukuina kellotaulun tuntilukemia. Tunnusluku on se kellolukema, jolle alajännitteiden (kuvitellut) vaihejännitevektorit asettuvat, kun samannimisen yläjännitevaiheen (kuviteltu) vaihejännitevektori asetetaan näyttämään 12 "kellotaululla". Tunnusluku 11 esim. tarkoittaa, että alajännite on 30 astetta edellä yläjännitteestä. Jos jännitevektorit ovat samansuuntaiset, on tunnusluku 0. Tunnusluku kirjoitetaan ko. alajännitekäämityksen kirjainsymbolin jälkeen. Pariton tunnusluku syntyy, jos toisen käämityksen kytkentä on tähti ja toisen joko kolmio tai hakatähti, muut yhdistelmät antavat parillisia tunnuslukuja. (Kuvio 4) (ABB Oy 2000, 2)

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

Kuvio 4 Kolmivaihemuuntajan standardoidut kytkennät. (Trafomic Oy 2015)

3.3 Sähköasemat

Sähköasemalla tarkoitetaan sellaista sähköenergian siirto- tai jakeluverkon kohtaa, jossa voidaan suorittaa kytkentöjä, jännitteen muuntamista tai sähköenergian siirron keskittämistä tai jakoa eri johdoille. Jos sähköasemalla suoritetaan jännitteen muuntamista, sitä voidaan kutsua muuntoasemaksi. Sähköasemasta käytetään myös nimityksiä kytkinasema ja kytkinlaitos. Muuntajien ja kokoojakiskojen avulla energia jaetaan kytkinlaitoksessa tarkoituksenmukaisimmalla tavalla. Lisäksi sähköasemilla on useita erilaisia kojeita ja laitteita, jotka voidaan hankkia myös tehdasvalmisteisina valmiina kojeistoina. Kytkinlaitteina käytetään katkaisijoita ja erottimia. Katkaisijaa käytetään kuormitetun virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen. Sen on kestettävä myös verkossa vian seurauksena esiintyvä oikosulkuvirta. Erotinta käytetään kuormittamattoman virtapiirin kytkentöihin. Erottimia sijoitetaan myös johtoreittien varrelle. Mittamuuntajia käytetään jännitteiden ja virtojen muuntamiseen mittalaitteille sopiviksi. Suojaustarkoituksissa käytetään releitä ja varokkeita sekä ylijännitesuojauksessa venttiilisuojia tai kipinävälejä. (Korpinen 2015, 9)

Kytkinlaitokset voidaan luokitella kolmeen eri päätyyppiin:

- keskusasemat eli 420/123 kV muuntoasemat
- solmupisteasemat, joita ovat lähinnä teollisuuden ja kaupunkien suuret muuntoasemat ja
- syöttöasemat, jotka enintään kahden muuntajan pieninä muuntoasemina syöttävät keskijänniteverkkoa. (ABB Oy 2000, 1)

Laitteiden sijoittelussa on otettava huomioon käytettävissä oleva tila, johtojen tulosuunnat, tulevaisuuden varaukset ja lisäksi sen on oltava taloudellinen, selväpiirteinen ja käyttäjäystävällinen. Tilaa on varattava hoito- ja huoltotöitä varten. (ABB Oy 2000, 1)

Sijoittelu voidaan toteuttaa monella eri tavalla riippuen tontista, johtojen sijainnista ja komponenttien valinnoista. Erottimina käytetään 110 kV:n kytkinlaitoksissa pääasiassa kiertoerottimia. Tilan säästämiseksi voidaan käyttää

myös saksi- eli pantografi (vertikaali) erottimia sekä ylöspäin kääntyvällä veitsellä varustettuja (horisontaali) erottimia. Näitä käytetään kuitenkin pääasiassa 400 kV:n asemilla. (ABB Oy 2000, 1)

Kokoojakiskoina käytetään tavallisesti putkikiskoja. Myös köysikiskot saattavat tulla kysymykseen jollain pienillä asemilla, jolloin jänneväli on tavallisesti 30...50 m. Riittävän kytkentäjännitelujuuden saavuttamiseksi vaihevälin tulee olla suurempi kuin $2,5 \times f + 0,4$ m kuitenkin vähintään 2,5 m ($f =$ riippuma m). Yli 20 kA/1 s oikosulkuvirroilla suositellaan kuitenkin käytettäväksi putkikiskoja. (ABB Oy 2000, 1)

Kojeistolla tarkoitetaan rakennekokonaisuutta, jossa on sähkön tuottamisessa, siirrossa, muuntamisessa tai muuttamisessa tarvittavia kytkin-, suoja-, ohjaus- tai valvontalaitteita. (ABB Oy 2000, 19)

3.4 Kaivoksen sähköverkko

3.4.1 Kaivoksen 110 kV/20 kV:n sähköasema

Kaivosalueelle on oma sähköasema, jonka omistaa Rovakaira Oy. Sähköasemalle tulee 110 kV:n sähkölinja Vajukoski-Sirkka linjalta. 110 kV:n linja jaetaan kokoojakiskolla (pääkisko 1) kahdeksi kentäksi päämuuntajille. Kentissä E01 ja E02 ennen päämuuntajia ovat katkaisijat, erottimet ja jännite- sekä virtamuuntajat. Kenttien välillä on apukisko 1, jotta kentille voidaan suorittaa tarvittaessa huoltotoimenpiteitä ilman katkoa sähkönjakelussa. Sähköasemalla on kaksi 110 kV/20 kV:n 25 MVA:n päämuuntajaa. 110 kV/20 kV:n muuntajat on kytketty Ynd11:een eli 110 kV:n puoli on tähdessä ja sammutettu, 20 kV:n puoli on kolmiossa ja maasta erotettu. Muuntajille on omat kojeistonsa, jotka on nimetty SUU1 ja SUU2. 20 kV:n asemilla on kojeistojen lisäksi on niiden apujärjestelmät joihin kuuluu akustot, omakäyttömuuntajan keskus ja kommunikointijärjestelmät. 20 kV:n kojeistot on toteutettu yksikiskojärjestelmällä ja lähdoissä on vaunukatkaisijat.

3.4.2 Kaivoksen 20 kV:n sähköjakeluverkko

Kaivoksen sähköjakeluverkko (Liite 1 ja 2) on rakennettu osittain renkaaksi, mutta sitä käytetään säteittäisenä. Tämä on toteutettu käyttämällä syöttökatkospisteitä eri renkaaseen rakennettujen sähköasemalähtöjen välillä. Syöttökatkospisteissä on kuormaerottimet tai katkaisijat. Myös asemien SUU1 ja SUU2 välillä on liityntä, joka on erotettu katkaisijalla. Tällöin voidaan tarvittaessa sähkönsyöttö tuoda molemmille kojeistoille yhdeltä muuntajalta. Asemien SUU1 ja SUU2 20 kV:n lähdöt eivät ole suoraan rinnankäyttökelpoisia, koska syötöt tulevat kummallekin asemalle omalta muuntajaltaan. Mikäli eri asemien lähtöjä käytetään renkaassa, täytyy niiden välinen yhdistyskatkaisija olla kiinni, jotta tasoitusvirta ei kierrä kaivosalueen jakeluverkon kautta. Yhdistystä voi käyttää vain kytkentöjen yhteydessä, kun molemmat muuntajat syöttävät asemia. Muuntajien rinnankytkennässä myös oikosulkuvirrat kasvavat huomattavasti. Suojauksia ei ole suunniteltu rengaskäyttöön. Verkko on maasta erotettu.

Maanalaisen tunnelin ja kaivoksen jakeluverkko on pyrittävä rakentamaan siten, että henkilöturvallisuudelle tärkeiden laitteiden kuten tuulettimien, pumppujen jne. sähkönsyöttö tapahtuu kahta eri reittiä. (ST 51.78. 2004, 1)

Maanlaiseen kaivostunneliin menee lähdöt J06 ja J10 SUU1-kojeistolta. Kaapelointireitit ovat erillään sähköjakelun luotettavuuden takaamiseksi. J06 kulkee kaivostunnelin suuaukosta ja J10 IVN2:n ilmanvaihtolaitokselta varustelureikää pitkin tunneliin. Lähdöt on mahdollista yhdistää renkaaksi seuraavissa kohdissa:

- -225 PUP:lla olevalla kuormaerottimella, jonne tulee kaapeli -225 VAP:lta.
- -350 päätasolla olevalla kuormaerottimella, jonne tulee kaapeli -R350 MUP:lta katkaisijalähdöstä.
- -599 KUP:ssa olevalla kuormaerottimella, jonne tulee kaapeli -640 PUP:lta.

- o Maanalaisen kaivoksen pohjimmaisat kojeistot -683 MUP ja -797 MUP eivät ole vielä varasyötön takana.

Varasyöttömahdollisuus on toteutettu myös rikastamalla, jossa voidaan rikastamon laajennuksen kojeistolta JG111 syöttää kojeistoa JG11. Rikastamon erotinkojeistolta JG110 J05 on yhdistyskaapeli sakeuttamon erotinkojeisto JG3 J01:een, jonka molemmissa päissä on kuormaerottimet syöttökatkospisteinä. Rikastamon JG110 J02 ja rikastamon laajennuksen JG11 J10 välillä on yhdistys, jossa laajennuksen päässä on katkaisija ja rikastamon päässä kuormaerotin syöttökatkospisteinä. Nämä lähdöt ovat myös eri sähköasemakojeistoilta. Muilta osin kaivoksen sähköverkko on rakenteeltaan säteittäinen.

3.4.3 Kaivoksen muuntamot

Käyttöjännite on pääasiallisesti 690 V, valaistusta ja muita käyttölaitteita varten se on 400 V. 20 kV/690 V:n ja 20 kV/400 V:n muuntajat ovat Dyn11:een eli 20 kV:n puoli on kolmiossa ja maasta erotettu, kun alajännitepuoli on tähdessä ja tähtipiste nollattu. 20 kV:n pääkaavioita on esiteltynä liitteissä 1 ja 2.

Maanalaisessa kaivoksessa käytetään kuivamuuntajia. Muuntajat on sijoitettu joko sähkötilaan koteloituna taikka muuntamokonttiin, jossa muuntajalla oma tila (Kuvio 5). Sähkötiloja käytetään pumppaamoilla, joissa on kiinteä sähköntarve. Konttimuuntamoita suositaan muualla niiden käyttöönoton ja siirron helppouden takia. Kuivamuuntajien lämpötilaa mitataan pt-100 lämpötila-anturilla, jonka antamaa signaalia lämpösuoja käyttää hälytykseen tai laukaisuun. Kuivamuuntajia käytetään muun muassa siksi, että öljyeristeiset vaativat erikoisia palosuojajärjestelyjä.



Kuvio 5 Maanalaisen konttimuuntamon muuntajatila.

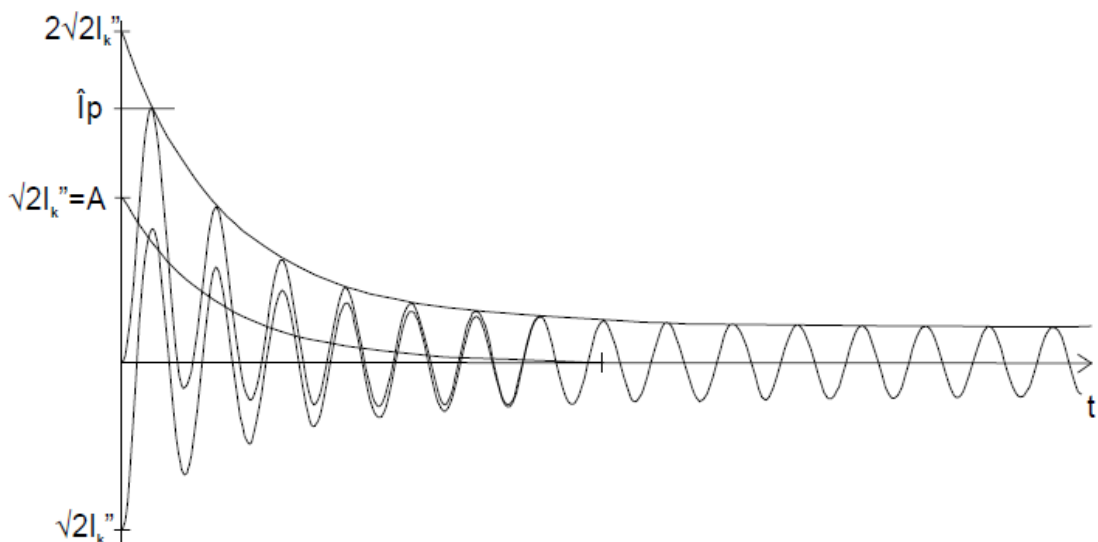
Öljyeristeisiä muuntajia on käytössä maan päällä ulkotiloissa, koska tavalliset kuivamuuntajat eivät sovellu ulkotiloihin. Maan päällä sisätiloissa käytetään kuivamuuntajia, koska rakenteellinen palosuojaus on kevyempi. Kuivamuuntajille on tarpeen vaatiessa lisätty jäähdytystä puhaltimilla.

4 VIKATYYPIT

4.1 Oikosulku

Verkon laitteiden mitoittamisessa, oikosulkusuojauksen suunnittelussa ja turvallisen käytön suunnittelussa on tunnettava oikosulkuvirrat eri tilanteissa ja eri osissa verkkoa. Verkon komponenttien on kestettävä oikosulun aikaiset dynaamiset ja termiset rasitukset.

Oikosulkuvirrassa (Kuvio 6) on vaimeneva tasavirtakomponentti (A), jonka suuruus riippuu oikosulun syntyhetkestä ja vaimenemisnopeus piirin R/X-suhteesta, ja vaihtovirtakomponentti, jossa voi myös olla vaimeneva osa. Alkuoikosulkuvirta I_k'' on symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvo vian alkuhetkellä. Syöttävä verkko vastaa generaattoreiden reaktansseja vian syntyhetkellä. Vian aikana reaktanssit kasvavat ja virta vaimenee jatkuvuustilan arvoon I_k . Oikosulkuvirran ensimmäisen huipun hetkellisarvo, kun otetaan huomioon myös tasavirtakomponentti, on ns. sysäysoikosulkuvirta \hat{i}_p . Ekvivalenttisella termisellä oikosulkuvirralla I_{th} on sama virtateitä lämmittävä vaikutus, kuin oikosulkuvirralla. Katkaisuvirta I_b on symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvo katkaisijan aloittaessa katkaisun. (ABB Oy 2000, 1)



Kuvio 6 Oikosulkuvirran käyrämuoto. (ABB Oy 2000, 1)

4.1.1 Oikosulkuvirran laskeminen Théveninin menetelmällä

Théveninin menetelmän yksivaiheisessa sijaiskytkennässä komponentit ja lähteet korvataan oikosulkuimpedansseilla ja vikapaikkaan sijoitettavalla ns. ekvivalenttisella jännitelähteellä cU_n , jossa U_n on vikapaikan käyttöjännite vikahetkellä ja c taulukon 1 mukainen kerroin. (ABB Oy 2000, 1)

Taulukko 1 IEC 60909- mukainen jännitekerroin c . (ABB Oy 2000, 1)

Nimellisjännite U_n	Maksimioiko- sulkuvirta C_{max}	Minimioiko- sulkuvirta C_{min}
pienjännite 100 V – 1000 V a) 230 V / 400 V b) muut jännitteet	1.00 1.05	0.95 1.00
keskijännite 1 kV - 35 kV	1.10	1.00
suurjännite 35 kV - 230 kV	1.10	1.00

Oikosulkuvirta saadaan yhtälöstä:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} Z_k} \quad (1)$$

,jossa

I_k'' = oikosulkuvirta

c = taulukon 1 mukainen kerroin

U_n = syöttävän verkon nimellisjännite

R_k = oikosulkuresistanssi

X_k = oikosulkureaktanssi

Z_k = impedanssi vikapaikasta katsottuna

4.1.2 Vikatyypit

Yksi- ja kaksivaiheisissa vioissa sijaiskytkentä muodostetaan myötä-, vasta- ja nollakomponenttiverkkojen avulla. Vikatyypit määrää komponenttiverkkojen keskinäisen kytketymisen. (ABB Oy 2000, 2)

Komponenttien impedanssit kytkeytyvät myötä- ja vastaverkkoihin samalla tavalla. Nollaverkon kytkeytyminen riippuu muuntajan kytkentäryhmästä. Tähtipisteiden ja maan väliset impedanssit ja vikaimpedanssi kytkeytyvät nollaverkkoon kolminkertaisina. Ekvivalenttinen jännitelähde sijoitetaan ainoastaan myötäverkkoon. (ABB Oy 2000, 2)

Johdoilla, muuntajilla ja kuristimilla, vasta- ja myötäimpedanssit ovat yhtä suuria. Pyörivillä koneilla myötä- ja vastareaktanssit voivat erota toisistaan. Nollaimpedanssit eroavat myötäimpedansseista kaikilla verkon komponenteilla. (ABB Oy 2000, 2)

Kolmevaiheisessa oikosulussa oikosulkuimpedanssi muodostuu myötäimpedansseista ja kolmevaiheinen oikosulkuvirta saadaan yhtälöstä:

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}Z_1} \quad (2)$$

, jossa

I''_{k3} = Kolmevaiheinen oikosulku

c = taulukon 1 mukainen kerroin

U_n = syöttävän verkon jännite

Z_1 = myötäkomponenttiverkon impedanssi.

(ABB Oy 2000, 2)

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta ilman maakosketusta saadaan yhtälöstä:

$$I''_{k2} = \frac{c \cdot U_n}{|\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2|} \quad (3)$$

, jossa

I''_{k2} = kaksivaiheinen oikosulku

c = taulukon 1 mukainen kerroin

U_n = syöttävän verkon jännite

\bar{Z}_1 = myötäkomponenttiverkon impedanssi

\bar{Z}_2 = vastakomponenttiverkon impedanssi.

(ABB Oy 2000, 2)

Yksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan yhtälöstä:

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_0|} \quad (4)$$

, jossa

I''_{k1} = yksivaiheinen oikosulku

c = taulukon 1 mukainen kerroin

U_n = syöttävän verkon jännite

\bar{Z}_1 = myötäkomponenttiverkon impedanssi

\bar{Z}_2 = vastakomponenttiverkon impedanssi.

\bar{Z}_0 = nollakomponenttiverkon impedanssi

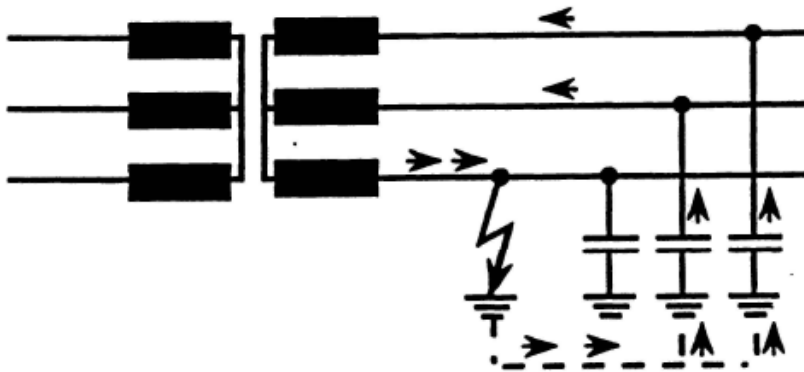
(ABB Oy 2000, 3)

4.2 Maasulku

Kaivoksen sähköverkko on maasta erotettu, joten tarkastellaan maasulkuja tällaisessa verkossa. Maasta erotetussa verkossa ei ole johtavaa yhteyttä maahan, ei tähtipisteessäkään. Terveessä tilassa vaihejohtimien maakapasitanssien kautta kulkevien varausvirtojen summa on nolla. (Mörsky 1992, 298)

4.2.1 Yksivaiheinen maasulku

Jos vaihejohdin joutuu suoraan tai vikaimpedanssin kautta yhteyteen maan kanssa tapahtuu yksivaiheinen maasulku (Kuvio 7). Tällöin pienenee viallisen vaiheen jännite ja varausvirta. Terveiden vaiheiden jännitteet maata vastaan kasvavat kuten niiden varausvirratkin. Vaiheiden väliset jännitteet (pääjännitteet) pysyvät ennallaan, eivätkä kuormitukset häiriinny ennen katkaisijan avautumista. Katkaisijan tulee poistaa maasulku turvallisuussyistä sähköturvallisuusmääräysten mukaisesti. (Mörsky 1992, 298)



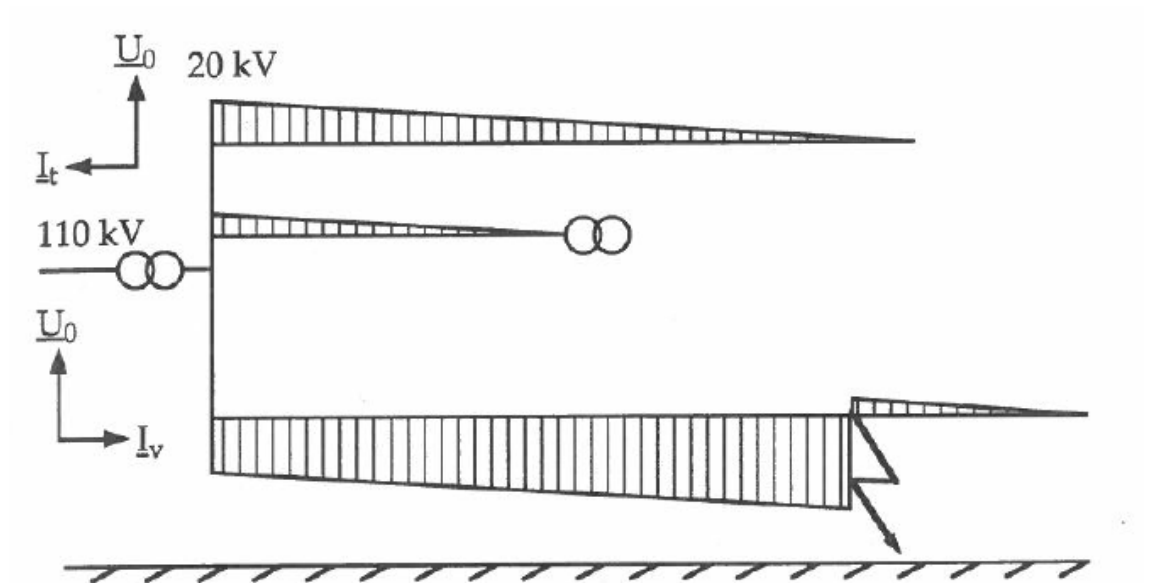
Kuvio 7 Yksivaiheinen maasulku maasta erotetussa verkossa. (Partanen 2011, 4)

Yksivaiheisen maasulun aiheuttama maasulkuvirran suuruus riippuu galvaanisesti yhteenkytkeytyn verkon pituudesta. Yksivaiheinen maasulku ei vaikuta kuormitusvirtoihin. (Mörsky 1992, 299)

Maassa virta lähtee sekä kuormituksen että syöttävän verkon suuntaan. Maavirta on suurimmillaan vikakohtassa ja pienenee johtolähdön päihin päin mentäessä maakapasitanssin kautta terveisiin vaiheisiin nousevan virran ansiosta. Johtolähtöjen päissä maavirta on nolla. (Mörsky 1992, 299)

Vikavirran jakautuminen eri syöttö- ja kuormitusmuuntajien kesken riippuu niiden käämien impedanssien suhteesta. Summavirran suuruuteen ja suuntaan kiertävän tasoitusvirran jakautuminen ei vaikuta, vaan se riippuu vain vikakohtasta (Kuvio 8). Ilmiöön ei vaikuta, ovatko muuntajien vian puoleiset

käämit tähdessä vai kolmiossa – pääasia, että mahdollisia tähtipisteitä ei ole maadoitettu. (Mörsky 1992, 300)



Kuvio 8 Johtolähtöjen summavirrat maasulkutilanteessa. I_t on summavirta terveellä johdolla ja I_v viallisella johdolla. Kuvassa kolme johtolähtöä. (Mörsky 1992, 303)

Maasulkuvirran (6) ja nollajännitteen (5) yhtälöt vikaresistanssin kautta tapahtuvassa yksivaiheisessa maasulussa saadaan Théveninin teoreeman avulla. (Mörsky 1992, 300)

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{1+(3\omega C_0 R_f)^2}} \cdot U_v \quad (5)$$

jossa,

U_0 = nollajännite

ω = kulmataajuus = $2\pi f$

C_0 = yhden vaiheen kapasitanssi

R_f = vikaresistanssi

U_v = vaihejännite

$$I_e = \frac{\sqrt{3}\omega C_0}{\sqrt{1+(3\omega C_0 R_f)^2}} \cdot U \quad (6)$$

jossa,

I_e = vikakohdan maasulkuvirta

ω = kulmataajuus = $2\pi f$

C_0 = yhden vaiheen kapasitanssi

R_f = vikaresistanssi

U = pääjännite

(Mörsky 1992, 301)

Vikaresistanssin ollessa nolla voidaan käyttää maasulkuvirran määrittämiseen kaavaa (7).

$$I_e = \sqrt{3}\omega C_0 U \quad (7)$$

jossa,

I_e = vikakohdan maasulkuvirta

ω = kulmataajuus = $2\pi f$

C_0 = yhden vaiheen kapasitanssi

U = pääjännite

Verkon maasulkuvirran suuruus on käytännöllisesti katsoen riippumaton siitä, missä kohdassa verkkoa maasulku sattuu. Maasulussa olevan (viallisen) johdon syöttöpäässä mitattava summavirta I_v (releiden havaitsema virta) ei sisällä ko. johdon maakapasitanssin kautta kulkevaa osaa maasulkuvirrasta. (Mörsky 1992, 302)

$$I_v = \frac{C_0 - C_{0j}}{C_0} I_e \quad (8)$$

,jossa

I_v = johdon syöttöpäässä mitattava summavirta

C_0 = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi

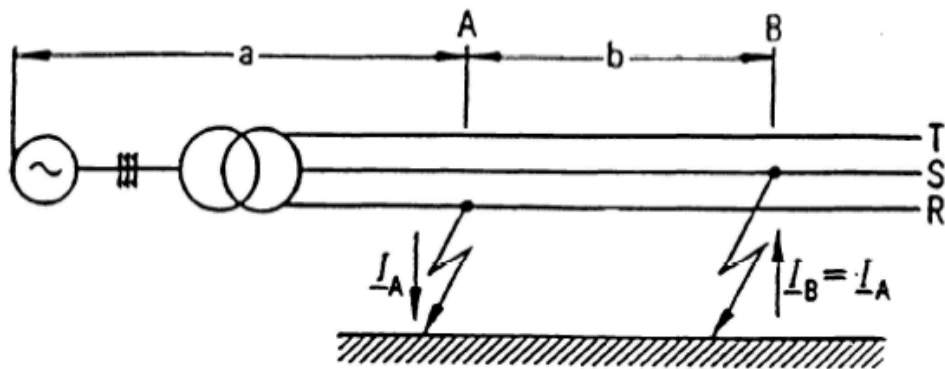
C_{0j} = viallisen johdon yhden vaiheen maakapasitanssi

I_e = maasulkuvirta

(Mörsky 1992, 302)

4.2.2 Kaksoismaasulku

Kaksoismaasulussa kaksi vaihejohdinta joutuu joko suoraan tai vikaresistanssien kautta galvaaniseen yhteyteen maan kanssa eri kohdissa verkkoa (Kuvio 9).



Kuvio 9 Kaksoismaasulku. (Partanen 2011, 19)

Kaksoismaasulun syynä on usein yksivaiheisen maasulun aiheuttama jännitteen nousu terveissä vaiheissa. Yksivaiheisen maasulun alkutransientin aikana saattaa vaihejännitteen suurin hetkellisarvo olla moninkertainen verrattuna jännitteen suurimpaan arvoon ennen maasulkua. Tämän seurauksena voi viallinen venttiilisuoja tai kaapelipääte lyödä läpi. Jatkuvuustilassakin saattaa terveen vaiheen jännite maata vastaan yksivaiheisessa maasulussa olla pääjännitettä suurempi. (Mörsky 1992, 306)

5 RELESUOJAUS

5.1 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksen tehtävänä on ehkäistä johtimen liiallinen lämpeneminen ja vaarallisen kosketusjännitteen muodostuminen katkaisemalla virta vialliselta johtolähdöltä. Oikosulkusuojaus perustuu virran mittaamiseen, jolloin asetteluarvon ylittävä virta aiheuttaa releen havahtumisen. (Simonen 2006, 18)

Säteittäisen jakeluverkon oikosulkusuojaus toteutetaan yleensä vakioaikaylivirtareleillä. Suojattaessa säteittäistä jakeluverkkoa vakioaikaylivirtareleillä on peräkkäisten katkaisijoiden releiden hidastuksille varattava riittävä aikaporrastus selektiivisyyden takia. Liian suurten aikaportaiden käyttö hidastaa kuitenkin liiaksi syöttösuunnassa olevia katkaisijoita. Porrastusta laskettaessa on otettava huomioon releen toiminta-ajan lisäksi katkaisijan toiminta-aika ja valokaariaika sekä suojalaitteiden toiminta-aikojen hajonnasta johtuva varmuusaika. Samassa jännitetasossa tyydytään tavallisesti enintään kolmiportaiseen suojaukseen. Ylivirtareleillä on ongelmia selektiivisyyden saavuttamisessa kytkentätilanteiden muuttuessa. (Mörsky 1992, 295)

5.2 Releasettelut

Säteittäisen keskijännitejakeluverkon selektiivinen oikosulkusuojaus on periaatteessa mahdollista toteuttaa vakioaikaylivirtareleiden avulla. Kun johdot ovat tarpeeksi pitkiä, jolloin vikavirta riippuu voimakkaasti oikosulun paikasta, voidaan käyttää virtaselektiivisyyttä. Virtaselektiivisyydessä voidaan käyttää lukituksia. Peräkkäiset releet näkevät vian, mutta lähinnä vikaa oleva rele lähettää lukituksen ylemmälle releelle. Täytyy muistaa huomioida lukitukseen tarvittava aika releiden välillä. Virtaselektiivisyyteen perustuvissa suojauksissa on suojauksen toiminta aina varmistettava erillisellä varasuojauksella, jossa releenä käytetään esimerkiksi ylivirtarelettä. Lyhyillä johdoilla, kuten teollisuusalueilla, on vikavirta lähes yhtä suuri joka paikassa. Tällöin oikosulkuselektiivisyys on

saavutettavissa suojarleiden lukituksilla. Ylikuormituksen selektiivisyys voidaan tehdä aikahidastuksilla. (Huotari & Partanen 1998, 31)

5.2.1 Aikalaukaisu

Releiden rajoitetun toimintatarkkuuden vuoksi on peräkkäisten releiden aikaporrastus oltava riittävä. Tyypillinen porrassaika mekaanisilla releillä on 0,5 s, staattisilla releillä noin 0,3 s ja numeerisilla releillä noin 0,15 s. Tehon syöttösuunnassa viimeisen katkaisijan aikahidastuksen on oltava vähintään 0,3s, jolloin eliminoidaan kuormitusten synnyttämien lyhytaikaisten virtapiikkien aiheuttamat virhelaukaisut. Aikaselektiivisessä suojauksessa on pyrittävä selviämään mahdollisimman vähillä aikaportilla, jotta syöttöpisteen läheisyydessä laukaisuajat ja samalla myös termiset rasitukset eivät kasva liian suuriksi. (Huotari & Partanen 1998, 31)

Releen havahtumisvirta on aseteltava siten, että se on suurempi kuin johdon suurin kuormitusvirta, mutta kuitenkin johdon pienintä oikosulkuvirtaa pienempi. Johtolähtöjen virta-asetukseksi sopii noin kaksinkertainen suurin kuormitusvirta. Tarvittaessa voidaan käyttää suurempiakin arvoja, mutta virta-asetus ei saa olla niin suuri, että rele ei havahdu johdon lopussa tai ennen seuraavaa katkaisijaa tapahtuvassa oikosulussa. (Huotari & Partanen 1998, 31-32)

5.2.2 Oikosulkumoottorin käynnistysvirtasysäys

Suoraan verkkoon käynnistettävien oikosulkumoottoreiden käynnistyshetkellä ottama virta on moninkertainen moottorin nimellisvirtaan verrattuna. Tämä virtasysäys saattaa aiheuttaa moottorin ja syöttävän verkon suojalaitteiden virheellisen toiminnan, jos sitä ei suojiin asettelussa ole asianmukaisesti otettu huomioon. Teollisuuden relesuojauksissa tämä täytyy aina ottaa huomioon. On mahdollista, että useampi moottori käynnistyy yhtä aikaa. Käynnistysvirran kesto aika riippuu moottorin kuormituksesta. Sen sijaan käynnistysvirran suuruus ei ole kuormituksesta riippuva. (Huotari & Partanen 1998, 32)

Syöttävän verkon ja moottorin omien suojauslaitteiden aiheuttaman toiminnan käynnistysvaiheella on estettävä sopivien releasetuksien avulla. Suositellaan, että tehon syöttösuunnassa viimeisen katkaisijan aikahidastuksena käytetään 0,3 sekuntia. Tämän tarkoituksena on eliminoida käynnistysvirtasysäysten aiheuttamat virhelaukaisut. Kuitenkin raskaskäynnisteisillä moottoreilla tämä aikahidastus saattaa olla liian lyhyt. Käynnistysaika voi olla useita sekunteja, minkä takia aikahidastusten asetteluarvot on aina mietittävä tapauskohtaisesti. (Huotari & Partanen 1998, 33)

5.2.3 Muuntajan kytkentävirtasysäys

Epätahtimoottorin käynnistystä muistuttava tilanne on tyhjäkäynnin muuntajan kytkentä jännitteeseen verkkoon. Muuntajan magneetoimisvirta saavuttaa staattisen tilan arvon vasta muutosilmion vaimennettua. Virtasysäyksen suuruuteen vaikuttaa hyvin monta tekijää: kytkentähetken vaihekulma, käämikytkimien asento, rautasydämen remanenssi, muuntajan ja verkon rakenne. Virran vaimeneminen riippuu muuntajan reaktanssi-resistanssisuhteesta. Taulukkoon 2 on kerätty joitakin muuntajan kytkentävirtasysäysvirran keskimääräisiä arvoja. (Huotari & Partanen 1998, 33)

Taulukko 2 Mitattuja muuntajan kytkentävirtasysäysvirran arvoja. (Huotari & Partanen 1998, 33)

Muuntajateho	Kytettäessä syöttö yläjännitekäämiin	Kytettäessä syöttö alajännitekäämiin	Virran puoliintumisaika
MVA	xIn	xIn	s
1	7	12	0,1...0,2
5	5	9	0,2...0,5
10	4	8	0,5...1,0
50	3,5	7,5	1,2...7,2

Muuntajan jännitteen ja magneettivuon välinen vaihesiirtokulma on jatkuvuustilassa noin 90°. Kun jännitteetön muuntaja, jonka sydämessä vuo on

noin nolla, kytketään verkkoon, tapahtuu siirtyminen tähän jatkuvuustilaan aina (pienemmän tai suuremman) tasoitusilmiön kautta johtuen rautasydämen magneettisesta hitaudesta. Tasoitusilmiö on suurimmillaan, jos jännitteen hetkellisarvo kytkemishetkellä on nolla. Vuo lähtee tällöin nousemaan sinimuotoisena epäsymmetrisesti nolasta ensimmäiseen huippuarvoonsa, joka tällöin tulee olemaan kaksinkertainen jatkuvuustilan vuon huippuarvoon nähden, tai jopa vähän suurempi, jos sydämessä kytkemishetkellä on samansuuntainen remanenssivuo. Tällä vuontiheydellä muuntajan sydän kyllästyy ja magnetoimisvirta nousee voimakkaasti. Tätä ilmiötä kutsutaan kytkentävirtasysäykseksi. Piirissä olevan resistanssin ansiosta vaimenee virta nopeasti ja saavuttaa jatkuvuustilaa vastaavan pienen arvonsa noin sekunnin kuluttua. Jakelumuuntajilla on todettu ensiövirran ensimmäisen huippuarvon olevan pahimmassa tapauksessa noin 8...12 kertaa muuntajan nimellisvirran huippuarvo, ja vaimennuksen puoleen arvoonsa tapahtuvan noin 0,30...0,05 sekunnissa. Virta on melkein täysin induktiivinen. Kytkentävirtasysäys voi aiheuttaa muuntajan suojalaitteiden toimimisen, ellei tätä ilmiötä ole otettu huomioon sulakkeiden valinnassa tai releitten asettelussa. (ABB Oy 2000, 5)

5.3 Mittamuuntajat

Mittamuuntajia käytetään mittaus- ja suojaustekniikassa. Yleisimmin käytetyt mittamuuntajat ovat virta- ja jännitemuuntaja. Niiden tehtävänä on muuntaa primääripiirin jännite- ja virtasuureet mittareille ja releille (toisiokojeet) sopivaan arvoon eli laajentaa mitta-alaa. Niitä käytetään siksi, että mittareiden ja releiden rakentaminen suurille virroille ja jännitteille on teknisesti vaikeaa. (Korpinen 2015)

Mittamuuntajat ovat kojeita, joissa rautasydämen ympärillä on ensiö- ja toisiokäämit. Jännitemuuntajan rakenneperiaate on aivan sama kuin tavallisella tehomuuntajalla. Jännitemuuntaja on voimamuuntajaan verrattuna erittäin pienitehoinen. Virtamuuntajan tehtävänä on normaalisti ensiövirran pienentäminen. Sen tähden ensiön kierrosluku on pieni ja toision kierrosluku on suuri. Virtamuuntaja valitaan joko suojaus- tai mittaustehtävään. Samaa virtamuuntajaa voidaan käyttää myös molempiin tarkoituksiin sekä suojaukseen

että mittaukseen. Tällöin virtamuuntajassa on useampia sydämiä. Sydämillä on yhteinen ensiökäämi, mutta kullakin sydämellä oma toisiokääminsä. Mittaukseen käytettävää sydäntä nimitetään mittaussydämeksi ja suojaukseen käytettävää sydäntä suojaussydämeksi. Ulosasennettavat virtamuuntajat ovat tavallisesti öljytäytteisiä ja hermeettisesti suljettuja, jotta öljy ei joudu alttiiksi ulkoilman kosteudelle. Ulkoisen eristyksen muodostaa tavallisesti posliinikuori. Sisäänasennettavissa virtamuuntajissa käytetään yleensä valuhartsieristystä. Sen etuna on suuri sähköinen ja mekaaninen lujuus. (Korpinen 2015)

Virran mittaus on vaikeampaa kuin jännitteen, koska virran vaihtelu on paljon suurempaa. Vikavirtojen ja normaalien kuormitusvirtojen suhde voi olla useita kymmeniä, jopa satoja, kun vian aikaisten jännitteiden ja käyttöjännitteen suhde on usein pienempi kuin yksi, ja maasuluissakin vain maasulkukertoimen suuruinen. Myös vikavirroissa esiintyvä tasakomponentti aiheuttaa ongelmia. (Mörsky 1992, 101)

Kun jännitemuuntajissa on ainoastaan yksi sydän ja usein myös yhteinen toisiokäämi sekä mittaus- että suojaustarkoituksiin, tarvitsee virtamuuntaja eri sydämet, koska suojaustarkoituksiin tulevan virtamuuntajan vaatimukset ovat erilaiset kuin mittaustarkoituksiin. Virtamuuntaja on muuten fyysisesti yhteinen sekä mittaus- että suojausmuuntajalle (yhteinen ensiö, sijoitustila ja eristys). (Mörsky 1992, 101-102)

Mittausmuuntaja toistaa tarkasti (Taulukko 3) ensiön virran toisioon, mutta kyllästyy helposti virran kasvaessa. Mittausmuuntajia käytetään esimerkiksi energian mittaukseen. Suojausmuuntaja ei ole niin tarkka toistamaan virtaa (Taulukko 4), mutta pystyy toistamaan isommalla virta-alueella ilman kyllästymistä. Suojausmuuntajia käytetään jakeluverkon suojaukseen.

Taulukko 3 Mittaussydämelle sallitut virheiden maksimiarvot. (ABB Oy 2000, 2)

Luokka	Virtavirhe ± %					Kulmavirhe ± min			
	$I_p = I_{pn} \times$					$I_p = I_{pn} \times$			
	0,05	0,2	0,5	1,0	1,2	0,05	0,2	1,0	1,2
0.1	0,4	0,2		0,1	0,1	15	8	5	5
0.2	0,75	0,35		0,2	0,2	30	15	10	10
0.5	1,5	0,75		0,5	0,5	90	45	30	30
1	3,0	1,5		1,0	1,0	180	90	60	60
3			3,0		3,0				
5			5,0		5,0				

Taulukko 4 Suojaussydämelle sallitut virheiden maksimiarvot. (ABB Oy 2000, 3)

LUOKKA	Mitoitusensiövirtaa ja mitoitus- taakkaa vastaava	
	virtavirhe	kulmavirhe
5P	± 1 %	± 60 min
10P	± 3 %	- 1)

1) Linearisoidulla virtamuuntajalla 150min.

6 RELEASETTELUIDEN SELVITYS

6.1 Ylivirta-asetteluiden selvitys ja tutkiminen

Työ alkoi suojarleiden nykyisten asetteluiden selvittämisellä. Releistä löytyi asettelutietoja parametrintiohjelmien tallenteista, mutta kävi ilmi niiden poikkeavan releissä olevista joissain tapauksissa. Sähköjakelukaaviosta näkee suojarleiden asetteluita, mutta kaikki arvot eivät ole ajan tasalla. Jakelukaavio päivitetään tältä osin, kun uudet asettelut on otettu käyttöön. Kaikki suojarleiden asettelut tarkistettiin. Suojarleistä otettiin ylös ylivirta-, oikosulku- ja muuntajan sysäysvirta-asetteluarvot. Liitteessä 3 on suojarleikaavio rikastamon laajennuksen kojeistoista JG111 ja JG11. Keskiänniteverkon suojarleitä on useita kymmeniä, osa maanalaisessa kaivoksessa ja osa maan päällä.

Kun nykytilanteen kartoitus oli tehty, alkoi suojarleiden toiminta-arvojen tarkastelu. Paljastui, että muutamassa sähköasemälähdössä oli ylikuormitusarvot ($3I>$) suuremmat kuin kaapelin kuormituskestoisuudet. Näin oli päässyt käymään maanalaisissa lähdöissä J06 ja J10, joissa oli ollut ongelmia lähdön päällä pysymisessä käyttöönotossa. Arvoa oli nostettu, jotta lähtö saataisiin pysymään päällä katkaisijan kiinnikytkenässä.

Oikosulkuportaissa ei ollut missään liian suuria virta-arvoja ($3I>>$ ja $3I>>>$) kaapeleita ajatellen. Kaikki virta-arvot olivat selkeästi alle laskettujen ekvivalenttisen termisen minimioikosulkuvirta-arvojen suojausten toiminta-aika huomioiden. Osassa releistä oli käytössä ylikuormitussuojan lisäksi kaksi porrasta oikosululle. $3I>>$ ajaksi oli aseteltu 0,10 s ja $3I>>>$ laukaisuajaksi 0,05 s taikka *instant*.

6.2 Selektiivisyyden tutkiminen

Epäselektiivisyyttä on ollut kaivoksen sähköverkossa tietyissä osin verkkoa. Haasteellisin osa verkkoa selektiivisyyden osalta oli maanalaisen kaivoksen lähdöt, joissa on useita kojeistoja peräkkäin säteittäisesti syötettynä

keskijänniteverkossa. Useiden peräkkäisten suojureleiden selektiivisyys on haasteellista saavuttaa aikaportilla. Asiaa helpottaa käytössä olevien suojureleiden pienin aikaporras 0,05 s. Näin lyhyellä ajalla täysi selektiivisyys voi kuitenkin jäädä saavuttamatta. Ongelmana on silti sähköasemalla olevien lähtöjen ylikuormitusten aikaviive 0,4 s. Nykyiset alimmat ajat ylikuormitukselle ovat 0,2 s ja ne ovat liian pienet. Muuntajalähtöjen kytkentävirtasysäysten takia alin aika voidaan asettaa 0,3 sekuntiin.

Toinen mahdollinen keino saavuttaa selektiivisyys on asettaa ajat siten, että useita releitä olisi samalla aikaportaalla ja lukitukset estäisivät ylemmän releen toiminnan. Näin saataisiin aikaportaiden lukumäärää pienemmäksi. Tämä vaatisi releiden välistä tiedonsiirtokaapelointia, jotta releiden välisiä lukituksia voidaan tehdä.

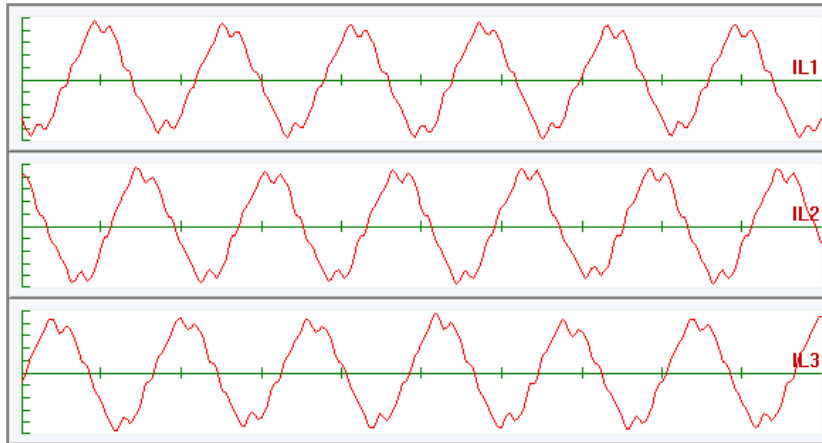
6.3 Muuntajan kytkentäsysäysvirran tutkiminen

Kaivoksen 20 kV:n sähköverkossa olevilla suojureleillä on käytössä lähes jokaisessa muuntajan sysäysvirtaan reagoiva suojaus, joka nostaa havahtuessaan oikosulkusuojien arvot kaksinkertaiseksi taikka lukitsee toiminnon hetkellisesti kokonaan pois. Tämä sysäysvirta poikkeaa oikosulusta sisältämällä toista harmonista yliaaltoa huomattavan osan, jonka perusteella rele pääättelee virran olevan muuntajan sysäysvirtaa.

Releissä tämä suojaustoiminto on tehdasasetuksella 15%, joka tarkoittaa yhden vaiheen toisen yliaallon ja perustaajuusvirran amplitudien numeerisesti derivoitua suhdetta I_{2f}/I_{1f} . Tällä asetteluarvolla releet havahtuvat verkon ollessa normaalitilassa ja nostavat turhaan oikosulkusuojien virta-arvoja.

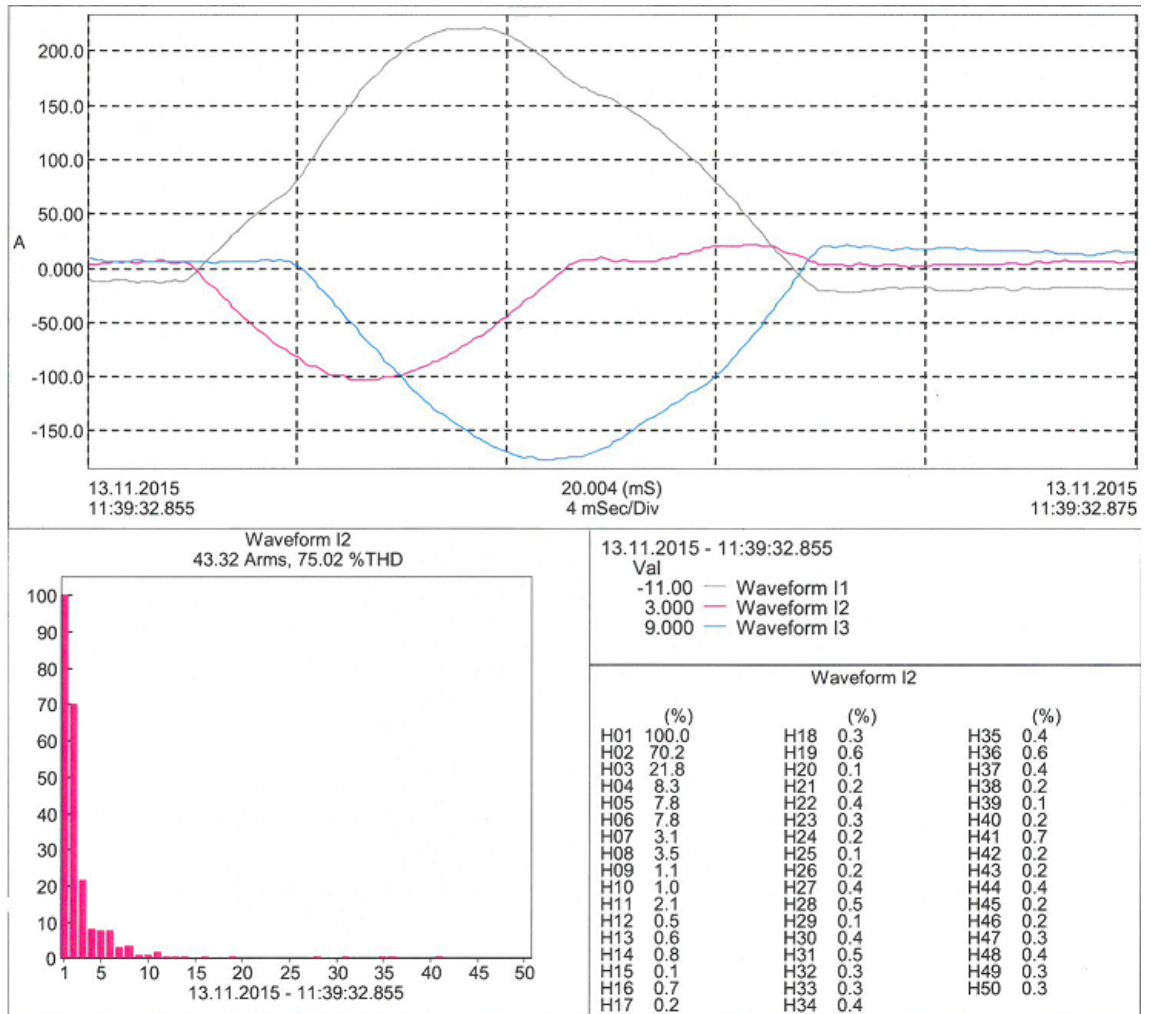
Verkkoon tulee yliaaltoja muun muassa taajuusmuuttajista, joita kaivoksella on paljon. Näistä toista harmonista yliaaltoa on melko vähän, mutta välillä sen osuus nousee hetkellisesti ja havahduttaa releet. Kuviosta 10 nähdään lähdon J12 virran siniaalto normaalikäytössä. Kuva on saatu suojureleen häiriötallenteesta, jota voidaan tarkastella CAP505-ohjelmalla. Lähdössä on suuri

malminjauhatusmylly ja sen taajuusmuuttaja. Harmoniset yliaallot vääristävät selkeästi siniaaltoa.



Kuvio 10 Lähdön J12 virran käyrämuodot normaalikäytössä.

Minulla oli mahdollisuus päästä tutkimaan myös muuntajien käynnistystilanteita rakenteilla olevalla IVN6:lla, jossa pystyttiin käyttämään katkaisijoita auki. Kytkimme sähköasemalla sähkönlaatuanalysointilaitteen IVN6:n lähtöön J36. Kuviossa 11 on kahden 800 kVA:n muuntajan sysäysvirroista kuvaaja ja yliaaltojen osuudet. Kuva on hetkellä, jossa toisen harmonisen yliaallon osuus on suurin. Tästä näemme toisen harmonisen yliaallon osuuden olevan jopa 70 % suhteessa perustaajuuteen muuntajan käynnistystilanteessa.



Kuvio 11 Lähdön J36 suojarleellä näkyvä muuntajien sysäysvirta ja yliaallot.

Sähköasemalähtö rikastamo J11 suojarleen muuntajan sysäysvirta-arvo nostettiin 15 %:sta 20 %:iin ja tilannetta seurattiin muutama päivä. Huomattiin, että muut releet olivat havahtuneet ja J11 lähtö ei ollut havahtunut. 20 %:n arvolla suojaus toimii kuten pitääkin, mutta saadaan eliminoitua turha havahtuminen pois.

7 SUOJARELEET

Kaivoksella on käytössä useita erilaisia suojareleitä. Perehdytään suojareleisiin joita käytetään kaivosalueella. Tarkastellaan seuraavia suojaustoimintoja: ylivirta-, oikosulku- ja maasulkusuojaus sekä muuntajan kytkentäsäysvirta.

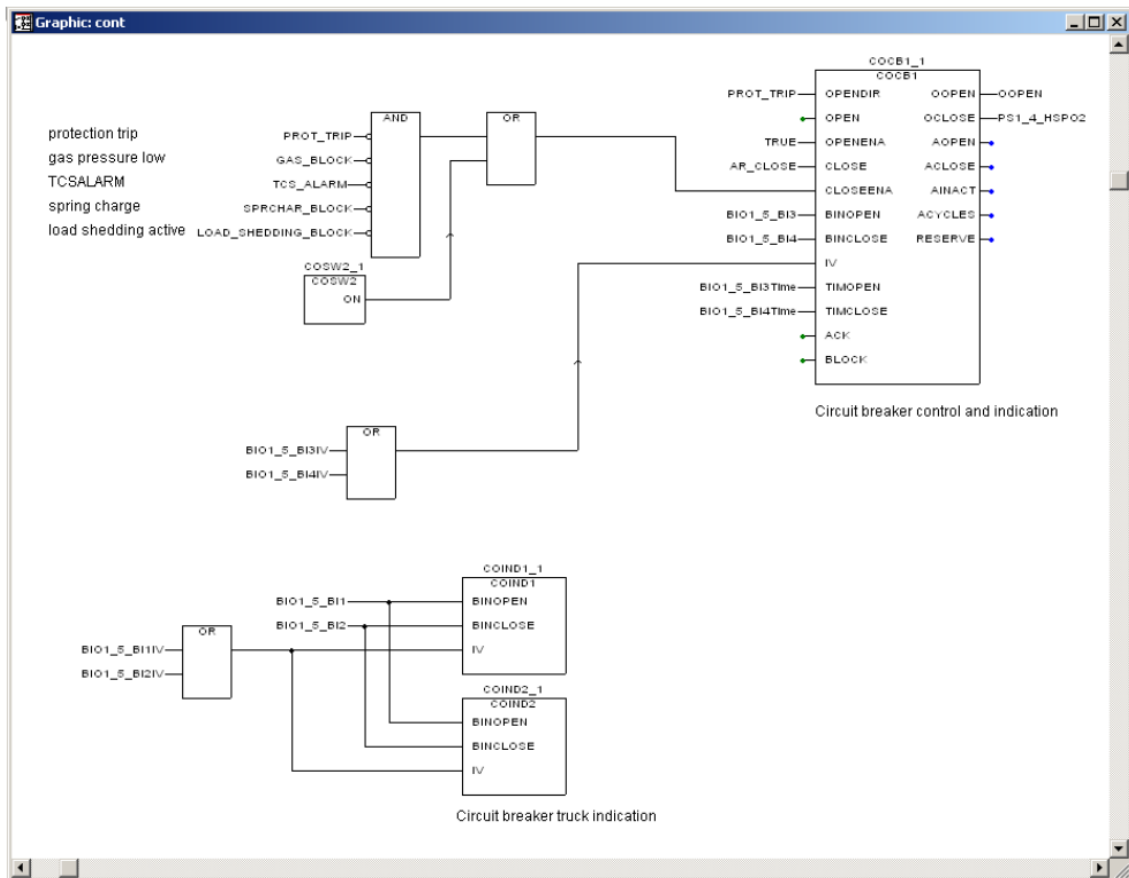
7.1 Suojareleet REF 541, 543 ja 545

REF 54_ suojareleet on suunniteltu käytettäväksi suojaamaan, ohjaamaan, mittaamaan ja valvomaan keskijänniteverkkoja (Kuvio 12).



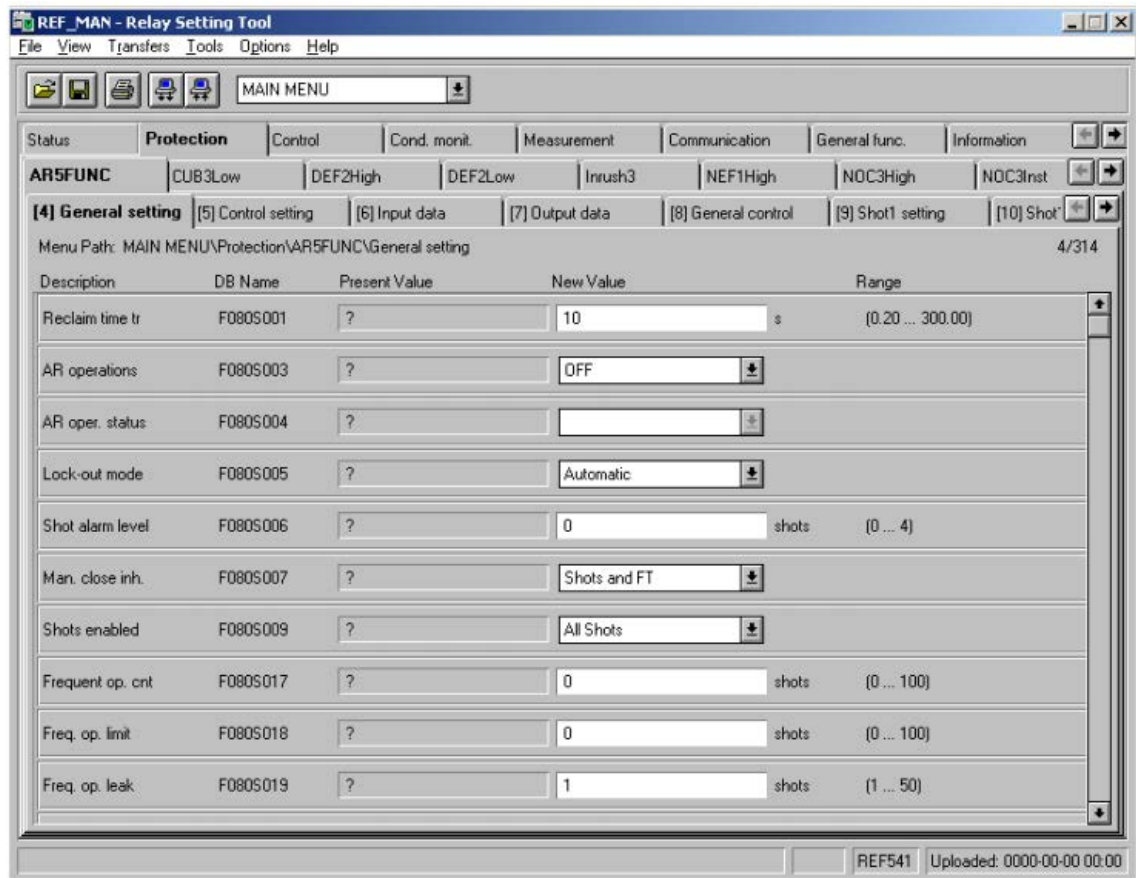
Kuvio 12 REF 543 suojarele. (ABB Oy 2010)

REF 54_ ohjelmoidaan käyttämällä sovelluksen CAP 505 The Relay Configuration Toolia. Logiikkaohjelma tehdään Boolean funktioilla, ajastimilla, laskureilla, komparaattoreilla ja kippikytkennöillä. Esimerkki Relay Configuration Toolilla tehdystä logiikkaohjelmasta esitetään kuviossa 13.



Kuvio 13 Esimerkki Relay Configuration Toolilla tehdystä logiikkaohjelmasta. (ABB Oy 2010)

Lohkokaavio vaatii parametrien asettelut, jotta se toimii halutulla tavalla. Tämä voidaan suorittaa CAP 505-ohjelmalla tai paikallisesti suojarieleen käyttöliittymästä. CAP 505-ohjelmassa olevalla Relay Setting Toolilla saadaan parametointi suoritettua. Kuvio 14 nähdään CAP 505-ohjelman Relay Setting Toolin käyttöliittymä.



Kuvio 14 Esimerkki parametrintiin käytettävästä Relay Setting Toolista. (ABB Oy 2010)

Kuviossa 15 on esitetty suojausalueen REF 54_ eri suojaustoiminnot, joista perehdytään tässä opinnäytetyössä tarvittaviin kohtiin. Lohkojen toimintaan perehdytään seuraavilta osin:

- *Kolmivaiheiset suuntaamattomat ylivirtatoimilohkot*
- *Suunnatut maasulkutoimilohkot*
- *Suuntaamattomat maasulkusuojaustoimilohkot*
- *Muuntajan käynnistysylikuormitusvirtatila*

Function	ANSI device no.	IEC symbol	Description
AR5Func	79	O-->I	Auto-reclose function (5 shots)
CUB1Cap ²⁾	51NC-1	dI>C	Current unbalance protection for shunt capacitor banks
CUB3Cap ³⁾	51NC-2	3dI>C	Three-phase current unbalance protection for H-bridge connected shunt capacitor
CUB3Low	46	Iub>	Phase discontinuity protection
DEF2Low	67N-1	Io>-->	Directional earth-fault protection, low-set stage
DEF2High	67N-2	Io>>-->	Directional earth-fault protection, high-set stage
DEF2Inst	67N-3	Io>>>-->	Directional earth-fault protection, instantaneous stage
DOC6Low ¹⁾	67-1	3I>-->	Three-phase directional overcurrent protection, low-set stage
DOC6High ¹⁾	67-2	3I>>-->	Three-phase directional overcurrent protection, high-set stage
DOC6Inst ¹⁾	67-3	3I>>>-->	Three-phase directional overcurrent protection, instantaneous stage
FLOC ⁴⁾	21FL	FLOC	Fault locator
Freq1St1 ¹⁾	81-1	f1	Underfrequency or overfrequency protection, stage 1
Freq1St2 ¹⁾	81-2	f2	Underfrequency or overfrequency protection, stage 2
Freq1St3 ¹⁾	81-3	f3	Underfrequency or overfrequency protection, stage 3
Freq1St4 ¹⁾	81-4	f4	Underfrequency or overfrequency protection, stage 4
Freq1St5 ¹⁾	81-5	f5	Underfrequency or overfrequency protection, stage 5
FuseFail ³⁾	60	FUSEF	Fuse failure supervision
Inrush3	68	3I2f>	Three-phase transformer inrush and motor start-up current detector
MotStart ²⁾	28	Is2t n<	Three-phase start-up supervision for motors
NEF1Low	51N-1	Io>	Non-directional earth-fault protection, low-set stage
NEF1High	51N-2	Io>>	Non-directional earth-fault protection, high-set stage
NEF1Inst	51N-3	Io>>>	Non-directional earth-fault protection, instantaneous stage
NOC3Low	51-1	3I>	Three-phase non-directional overcurrent protection, low-set stage
NOC3High	51-2	3I>>	Three-phase non-directional overcurrent protection, high-set stage
NOC3Inst	51-3	3I>>>	Three-phase non-directional overcurrent protection, instantaneous stage
OL3Cap ²⁾	51C	3I>3I<	Three-phase overload protection for shunt capacitor banks
OV3Low	59-1	3U>	Three-phase overvoltage protection, low-set stage
OV3High	59-2	3U>>	Three-phase overvoltage protection, high-set stage
PSV3St1 ²⁾	47-1	U1U2<>_1	Phase-sequence voltage protection, stage 1
PSV3St2 ²⁾	47-2	U1U2<>_2	Phase-sequence voltage protection, stage 2
ROV1Low	59N-1	Uo>	Residual overvoltage protection, low-set stage
ROV1High	59N-2	Uo>>	Residual overvoltage protection, high-set stage
ROV1Inst	59N-3	Uo>>>	Residual overvoltage protection, instantaneous stage
SCVCS1 ¹⁾	25-1	SYNC1	Synchro-check / voltage-check function, stage 1
SCVCS2 ¹⁾	25-2	SYNC2	Synchro-check / voltage-check function, stage 2
TOL3Cab ¹⁾	49F	3Ith>	Three-phase thermal overload protection for cables
TOL3Dev ²⁾	49M/G/T	3Ithdev>	Three-phase thermal overload protection for devices
UV3Low	27-1	3U<	Three-phase undervoltage protection, low-set stage
UV3High	27-2	3U<<	Three-phase undervoltage protection, high-set stage

1) These functions are only supported in the feeder terminal revisions of Release 1.5 or later.

2) These functions are only supported in the feeder terminal revisions of Release 2.0 or later.

3) These functions are only supported in the feeder terminal revisions of Release 2.5 or later.

4) This function is only supported in the feeder terminal revisions of Release 3.5 or later.

Refer to Section "Revision identification" on page 105 for more information.

Kuvio 15 REF 54_ suojaeleen suojaustoiminnot. (ABB Oy 2010)

7.2 Suojarele REX 521



Kuvio 16 REX 521 suojarele. (ABB Oy 2006)

REX 521 (Kuvio 16) on monipuolinen suojarele, josta löytyy useita eri vakiokonfiguraatiomalleja. REX 521 suojarelettä ei voi itse konfiguroida, vaan niihin on tehty valmiita vakiokonfiguraatioita (Taulukko 5) eri sovellutuksia varten.

Taulukko 5 REX 521-releen vakiokonfiguraatit (ABB Oy 2003)

Laitteistoversiot			Basic		Medium		High/Sensor					
Vakiokonfiguraatit			B01	B02	M01	M02	H01 ¹	H02	H03	H04	H05	H06
Toimilohkot	Toimilohkon nimi	IEEE-laitteen numero										
Suojaus												
3I>	NOC3Low	51	x	x	x	x		x	x	x	x	x
3I>>	NOC3High	50/51	x	x	x	x		x	x	x	x	x
3I>>>	NOC3Inst	50/51	x	x	x	x	x		x	x	x	
Io>	NEF1Low	51N	x	x						x ²	x	
Io>>	NEF1High	50N/51N	x	x						x ²	x	
Io>>>	NEF1Inst	50N	x	x						x ²	x	
Io>-> ⁴	DEF2Low	67N/51N			x	x	x	x	x	x		
Io>>-> ⁴	DEF2High	67N			x	x	x	x	x	x		
Io>>>-> ⁴	DEF2Inst	67N			x	x	x		x	x		
3I>->	DOC6Low	67					x	x ³				
3I>>->	DOC6High	67					x	x ³				
3U>	OV3Low	59									x	x
3U>>	OV3High	59									x	x
3U<	UV3Low	27									x	x
3U<<	UV3High	27									x	x
3I2f>	Inrush3	68	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Iub>	CUB3Low	46	x	x	x	x	x	x	x	x		
3Ith>	TOL3Cab	49F	x	x	x	x	x	x	x	x		
O->I	AR5Func	79		x		x	x	x	x	x		
Uo>	ROV1Low	59N									x	x
Uo>>	ROV1High	59N									x	x
Uo>>>	ROV1Inst	59N									x	x
f1	Freq1St1	81U/81O										x
f2	Freq1St2	81U/81O										x
SYNC1	SCVCS1	25					x		x			
Ohjaus												
I<->O CB1	COCB1		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
I<->O IND1	COIND1		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
I<->O IND2	COIND2		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
I<->O POS	COLOCAT		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mittaus												
3I	MECU3A		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Io	MECU1A		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Uo	MEVO1A				x	x	x	x	x	x	x	x
DREC	MEDREC		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3U	MEVO3A						x	x	x	x	x	x
f	MEFR1						x	x	x	x	x	x
PQE	MEPE7						x	x	x	x	x	x

Parametrointi tehdään CAP 505-ohjelmalla. Suojaustoiminnoista tarkastellaan kolmivaiheisen suuntaamattoman ylivirtasuojauksen kaikki portaavat,

suuntaamattoman ja suunnatun maasulkusuojauksen alempi ja ylempi porras ja kolmivaiheinen muuntajan sysäysvirran ilmaisin (Taulukko 6).

Taulukko 6 REX 521-releen eri vakiokonfiguraatioiden suojaustoiminnot. (ABB Oy 2003)

Toiminto	Selostus
3l>	Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuojaus, alempi porras
3l>>	Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuojaus, ylempi porras
3l>>>	Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuojaus, hetkellisporras
lo>	Suuntaamaton maasulkusuojaus, alempi porras
lo>>	Suuntaamaton maasulkusuojaus, ylempi porras
lo>>>	Suuntaamaton maasulkusuojaus, hetkellisporras
lo>->	Suunnattu maasulkusuojaus, alempi porras
lo>>->	Suunnattu maasulkusuojaus, ylempi porras
lo>>>->	Suunnattu maasulkusuojaus, hetkellisporras
3l>->	Kolmivaiheinen suunnattu ylivirtasuojaus, alempi porras
3l>>->	Kolmivaiheinen suunnattu ylivirtasuojaus, ylempi porras
3U>	Kolmivaiheinen ylijännitesuojaus, alempi porras
3U>>	Kolmivaiheinen ylijännitesuojaus, ylempi porras
3U<	Kolmivaiheinen alijännitesuojaus, alempi porras
3U<<	Kolmivaiheinen alijännitesuojaus, ylempi porras
3l2f>	Kolmivaiheinen muuntajan sysäysvirran ja moottorin käynnistysvirran ilmaisin
lub>	Vaihekatkossuojaus
3lth>	Kolmivaiheinen terminen suojaus johdoille
O->I	Jälleenkytkentätoiminto (5 porrasta)
Uo>	Summajännitesuojaus, alempi porras
Uo>>	Summajännitesuojaus, ylempi porras
Uo>>>	Summajännitesuojaus, hetkellisporras
f1	Ali- tai ylitaajuussuojaus, porras 1
f2	Ali- tai ylitaajuussuojaus, porras 2
SYNC	Tahdissaolon/jännitteen valvonta

7.2.1 Kolmivaiheiset suuntaamattomat ylivirtatoimilohkot

Kolmivaiheiset suuntaamattomat ylivirtatoimilohkot (3l>, 3l>> ja 3l>>>) on suunniteltu suuntaamattomaan kaksi- ja kolmevaiheiseen ylivirta- ja oikosulkusuojaukseen aina, kun vakioaikaominaiskäyrästä tai, 3l>:n tapauksessa, käännteisaikakäyrästä (IDMT = (Inverse Definite Minimum Time) on sovellettavissa. Yliaaltojen vaimennus on mahdollista. (ABB Oy 2003)

7.2.2 Suuntaamattomat maasulkusuojaustoimilohkot

Suuntaamattomat maasulkusuojaustoimilohkot ($I_{0>}$, $I_{0>>}$ ja $I_{0>>>}$) on suunniteltu suuntaamatonta maasulkusuojausta varten ja niitä käytetään aina, kun vakioaikakäyrästä tai, tapauksessa $I_{0>}$, käänteisajakäyrästä, on sovellettavissa. Yliaaltojen vaimennus on mahdollista. (ABB Oy 2003)

7.2.3 Suunnatut maasulkustoimilohkot

Suunnatut maasulkustoimilohkot ($I_{0>->}$, $I_{0>>->}$ ja $I_{0>>>->}$) on suunniteltu suunnattua tai suuntaamatonta maasulkusuojausta varten, vakioaikakäyrää tapauksessa $I_{0>->}$, käänteisajakäyrää sovellettaessa. Yliaaltojen vaimennus on mahdollista. (ABB Oy 2003)

7.2.4 Muuntajan käynnistysylijännite

Toimilohkoa $3I_{2f}$ voidaan käyttää ylijännitesuojauksen havahtumisvirran kaksinkertaistamiseen muuntajan magneettisylijänniteolosuhteissa tai moottorin käynnistysolosuhteissa. (ABB Oy 2003)

START-lähtösignaali aktivoituu silloin, kun yhden vaiheen toisen yliaallon ja perustajuvirran amplitudien numeerisesti derivoitu suhde I_{2f}/I_{1f} ylittää parametrille *Kerroin I_{2f}/I_{1f}* asetellun arvon.

START-signaali voidaan aktivoida vain silloin, kun vastaavan vaiheen perustajuvirta on pienempi kuin 2.0 % I_n . START-lähtösignaalin minimipulssin leveys asetellaan ohjausparametrin avulla. START-signaali pysyy kuitenkin aktiivisena kunnes I_{2f}/I_{1f} -suhde laskee parametrille *Kerroin I_{2f}/I_{1f}* asetetun arvon alle kaikissa vaiheissa, ts. kunnes käynnistysylijänniteolosuhteet on ohi, vaikka pulssilaskimelle aseteltu aika olisi kulunutkin umpeen aikaisemmin. (ABB Oy 2002)

7.3 Siemens SIPROTEC 7SJ80

Numeerinen ylivirtasuojarele SIPROTEC 4 7SJ80:n (Kuvio 17), jonka käyttötarkoitukset ovat suojaus, ohjaus ja valvonta sähkökojeistoille. Johdonsuojaukseen relettä voidaan käyttää maadoitetuissa, maasta erotetuissa tai sammutetuissa verkoissa. Laite soveltuu säteittäisiin, rengasmaisiin ja silmukoituihin verkkoihin. (Siemens Oy 2012)

Laitetta voidaan käyttää suojauksiin, katkaisijan valvontaan ja katkaisijoiden ohjaukseen yksi- tai kaksikiskojärjestelmissä. Suojarelettä voidaan käyttää kaikilla jännitealueilla. Pääasiallinen käytössä oleva suojausominaisuus on suuntaamaton ylivirtasuojaus. (Siemens Oy 2012)



Kuvio 17 Siemens SIPROTEC 7SJ80. (Siemens Oy 2012)

7.3.1 Suuntaamaton aikavakioylivirtasuojaus

Suojareleessä on kolme aikavakioportista ylivirtasuojaukselle ja yksi portas käänteisaikakäyrästä ylivirtasuojaukselle sekä maavirralle tai nollasummavirralle. Kaksivaihtoiminta ylivirtasuojauksille on mahdollista. Käänteisaikakäyrästä on useita. Suojaportaita on mahdollista lukita toisten elementtien kautta. Välitön

laukaisu voidaan suorittaa kaikkien elementtien kautta vian ilmaantuessa. (Siemens Oy 2012)

7.3.2 Inrush

Muuntajien käyttöönotossa voi syntyä moninkertaisia virtoja nimellisvirtaan nähden. Myös suurien moottorien käynnistysvirrat ovat suuria. Suojareleen oikosulkusuojaus voi tällöin laua. Inrush-toiminnolla voidaan estää näissä tapauksissa suojareleen laukeaminen. Muuntajan sysäysvirta voi kestää kymmenistä millisekunneista useisiin sekunteihin. Käynnistysvirta eroaa oikosulkuvirrasta sisältämällä toista harmonista yliaaltoa. Rele havaitsee tämän harmonisen yliaallon ja estää oikosulkusuojauksen toiminnan. (Siemens Oy 2012)

8 TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Tarkasteluista jätetään pois happilaitosten kojeistot, suuret moottorilähdöt sekä työn aikana rakenteilla oleva IVN6 kojeisto.

8.1 Aikaselektiivisyys

Sähköverkon oikosulkuvirrat eivät eroa kaivosalueen säteittäisen sähkönjakeluverkon alku- ja loppupäässä paljoa, joten selektiivisyys kannattaa toteuttaa aikaselektiivisesti ylikuormitusportaassa 3I>. Etenkin maanalaisessa kaivoksessa, jossa on useita katkaisijoita peräkkäin, virtaselektiivisyyttä ei ole mahdollinen toteuttaa luotettavasti. Käytössä olevilla suojarieleillä voidaan aikaportana käyttää 0,05 sekuntia.

SUU1-asemalla maanalaisen kaivoksen pisin syöttöketju IVN2-lähtö J10 on haastavin. Lähdössä on katkaisijoita tällä hetkellä seitsemän peräkkäin ja tulevaisuudessa lukumäärä tulee kasvamaan. Aikaselektiivisyyden saamiseksi täytyy aseman lähdön ylikuormitusportaan 3I> aikaa nostaa 0,7 sekuntiin. Jätetään varmuudeksi ensimmäiseen katkaisijaan 0,1 sekunnin aikaporras ja asetetaan alimmaksi mahdolliseksi ajaksi ylikuormitukselle 0,3 sekuntia. Katkaisijoiden väliseksi aikaportaksi asetetaan 0,05 sekuntia. Aikaportaiden lukumäärää voidaan pienentää lukitsemalla kaksi peräkkäistä katkaisijaa havahtumisesta, mutta tämä vaatii releiden välistä tiedonsiirtokaapelointia.

Nostetaan myös kaivoksen suuaukon lähdön J06:en katkaisijan ylikuormitusaika 3I> 0,6 sekuntiin, jotta saadaan tarpeeksi aikaportaita. Tässä lähdössä on tällä hetkellä kuusi katkaisijaa peräkkäin ja mahdollisesti lisää tulee tulevaisuudessa.

SUU1:en ja SUU2:en muiden lähtöjen suojarieleiden ylikuormitussuojausten (3I>) aikaviiveet voidaan asettaa 0,4 sekuntiin, kuten lähes kaikki ovat siinä jo olleetkin.

8.2 Kaapelien kuormituskestoisuus

Keskijänniteverkko on rakennettu lähes kokonaan AHXAMK-W 3x185+35 kaapelilla. AHXAMK-W 3x185+35 kestää jatkuvaa kuormitusta maa-asennettuna 330 A. Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta I_{th1s} vaihejohtimelle on 17,4 kA. (Prysmian Group 2013)

AHXAMK-W 3x185+35 kaapelilla tehtyjen lähtöjen ylikuormitusportaan virta-arvoksi voidaan asettaa 300 A. Sähköaseman lähtöjen kaikki kaapeloinnit, lukuunottamatta kojeistojen yhdistystä J07, on tehty AHXAMK-W 3x185+35 kaapelilla. J07 on kaapeloitu 800 mm² poikkipintaisella kaapelilla. J10, J12, J25 ja J26 lähdoissä kaapelin jatkuvaa kuormitusta kestävä virta-arvo on ylitetty ylikuormitusportaassa. Nämä täytyy laskea 300 A:iin. Sähkönjakeluverkon suurin hetkittäinen oikosulkuvirta I_p on 17,6 kA. Oikosulkusuojausten aikaviiveet ovat 0,1 s pisimmillään. Kaapeli kestää oikosulkutilanteet vaurioitumatta.

Ravenia on käytetty jonkin verran. Raven kestää jatkuvaa kuormitusta ilma-asennettuna 280 A. Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta on 5,8 kA. Raven ilmajohtoa on käytetty kahdessa lähdoissä, joissa ylikuormitusportaan virta-arvo on alle 280 A. Suurin hetkittäinen oikosulkuvirta I_p lähdoissä, jossa on käytetty Ravenia on 11,7 kA. Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta I_{th} on 5,5 kA. Oikosulkusuojausten aikaviive on 0,1 s. (Prysmian Group 2013)

Joissain muuntajissa muuntamokontin sisäisessä kaapeloinnissa on käytetty HXCMK 1x35/16 kaapelia, jonka jatkuva kuormitettavuus on 215 A. Missään muuntajan suojarieleessä ei ole ylitetty tätä ylikuormitusportaan virta-arvoa. Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta on 5,0 kA. Suurin hetkittäinen oikosulkuvirta I_p lähdoissä on 17,6 kA. Oikosulkusuojausten aikaviive on 0,1 s. (Prysmian Group 2013)

8.3 Muuntajan kytkentäsysäsvirtasuojaus

Nykyisillä asetuksilla muuntajan sysäsvirtasuojat käyvät usein aktiivisina sähköverkon ollessa normaalitilassa. Kaivoksen sähköverkkoon tulee harmonisia yliaaltoja kohtuullisen paljon taajuusmuuttajalähdöistä sekä muusta elektroniikasta.

Suojareleiden nykyinen arvo numeerisesti derivoidulle suhteelle I_{2f}/I_{1f} on 15 %, jonka verkon jännite aika ajoin ylittää. Muuntajaa kytkettäessä toista harmonista yliaaltoa esiintyy kuitenkin jopa 70 % hetkellisesti. Nostamalla suojauksen asetteluarvo 20 %:iin vältetään turhat havahtumiset säilyttäen suojauksen tarkoitus.

8.4 Ylikuormitusasettelut

Ylikuormitusportaan virta-arvot suojaavat kaapeleita ja muuntajia. Kaapeleiden kuormitettavuutta ollaankin jo tarkasteltu ja pohdittu sähköasemalähdöissä.

Sähköasemalähtö J10 katkaisijan kiinni kytkettäessä on havaittu suojareleen laukaisevan lähdön heti. Ylikuormitus- (3I>) ja oikosulkuportaat (3I>>) ovat havahtuneet. Tämä johtuu lähdön takana olevasta laajasta verkosta, jossa on paljon muuntajia. Lähdön muuntajista muodostuu suuri kytkentävirtasysäys, joka laukaisee suojareleen ylikuormitus- ja oikosulkuportaan. Tämän takia lähtö täytyy ottaa osissa käyttöön, jotta vältetään suurelta sysäysvirtapiikilta ja täten suojareleen laukeamiselta. Ennen sähköasemalähtö J10 katkaisijan kiinni ohjausta täytyy auki ohjata tason -325 kojeiston JG20 lähtö J02:n katkaisija. Sähköasemalähtö J10 lähdön kiinni ohjauksen jälkeen voidaan ohjata kiinni JG20 lähtö J02.

8.4.1 Kaapelilähdöt

Kaivoksella on käytössä MicroScada-ohjelma, jolla nähdään jokaisen sähköasemalähdön virrat ja tehot. Ohjelman arvoja voidaan käyttää apuna määriteltäessä ylikuormitusportaiden virta-arvoja. Asetteluarvojen selkeyttämiseksi ja välttääksemme turhia laukaisuja liiallisen herkkyyden takia sovitaan perusasetteluarvoksi 100 A. Microscadan kuormitustietojen mukaan tämän 100 A:n arvon ylittää ainoastaan lähtö J10 ajoittain. Tämän takia asetellaan sähköasemalähdöstä seuraava katkaisija IVN2:n kojeistossa JG35 200 A:iin. Seuraava katkaisija on tasolla -325 kojeistossa JG20, jossa kulkeva virta ei ylitä 100 A. Asetellaan siitä eteenpäin ylikuormitusarvoksi 100 A.

Poikkeuksena pidettäkään rikastamon laajennuksen JG111 ja pastalaitoksen JG34 kojeiston lähtöjä. Nämä lähdöt ovat suojarleiden asetteluiden osalta mitoitettu isoille moottoreille aikaisemmin. Näiden suojarleiden asetuksia ei muuteta.

8.4.2 Suojareleelliset muuntajalähdöt

Mikäli KJ-lähtösuojan tulee toimia myös PJ-keskuksen ensisijaisena oikosulku- ja ylikuormitussuojana, tulisi hitaan portaan havahtua vähintään kaksinkertaisella jakelumuuntajan nimellisvirralla, sillä standardi IEC 60354 ei suosittele tämän rajan ylitystä edes hetkellisestikään. (ABB Oy 2000)

Taulukossa 7 on kaivosalueen jakelumuuntajien ensiön nimellisvirrat, joita opinnäytetyössä tarkastellaan. Muuntajien käynnistysvirtasysäys täytyy ottaa huomioon ylivirtaportaan arvoa miettiessä, sillä releiden sysäysvirtasuoja ei nosta ylikuormitusportaan arvoja.

Taulukko 7 Muuntajien nimellisvirta ensiössä.

Muuntajan koko (kVA)	Nimellisvirta (A)
630	17,9
800	22,8
1250	35,6

Aikaisemmin esitetystä taulukosta 2 nähdään, että 1000 kVA:n kokoisen muuntajan kytkentäsysäysvirtapiikki on noin seitsemänkertainen nimellisvirtaan nähden. Tämän kytkentäsysäysvirran puoliintumisaika on noin 0,1-0,2 s. Ylikuormitusportaan aikaviiveen ollessa 0,3 s ehtii virta tippua alle 100 A:iin 1250 kVA:n kokoisessa muuntajassa. Asetellaan siis muuntajille ylikuormitusportaksi 100 A ja aikaviiveeksi 0,3 s. Myös pienemmille muuntajille arvot ovat sopivia. Muuntajilla on myös lämpösuojat, jotka antavat hälytyksen tai laukaisevat katkaisijan lämpötilan mukaan. Näin estetään ylikuormittaminen.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä selvitettiin ja tutkittiin kaivosalueen keskijänniteverkon suojausasetuksia ja selektiivisyyttä ylivirta- ja muuntajan kytkentäsysäysvirtasuojauksen osalta. Työssä saatiin aikaiseksi parannusehdotukset keskijänniteverkon selektiivisyyteen ja suojausasetteluihin. Muuntajan sysäysvirtasuojaukseenkin löytyi parannusehdotus, joka koettiin jo työn aikana toimivaksi. Maasulkuasetteluita ei ehditty selvittää keskijänniteverkon verkostolaskennan viivästymisen takia. Tavoitteisiin päästiin muilta osin. Jatkotoimenpiteinä on selvittää maasulkuvirran suuruus ja nykyiset suojausasettelut maasulkusuojauksen releasetteluiden toimivuuden varmistamiseksi. Ottaa myös ylivirta- ja muuntajan kytkentäsysäysvirta-asettelut käyttöön, mikäli ne koetaan tarpeellisiksi.

Työtä tehdessä oppi paljon sähköverkoista ja sen vioista, niin käytännössä kuin teoriassakin. Suojauslaitteiden toimintaa pääsi tutkimaan ja opiskelemaan runsaasti opinnäytetyötä tehdessä. Erilaiset ohjelmistot tulivat myös tutuksi, esimerkiksi CAP505 ja DIGSI.

Työn haasteellisuus oli teollisuusverkon laajuudessa ja siinä että tutkimustyön aihe ei ollut kovin tuttu ennestään. Työ oli mielenkiintoinen.

10 LÄHTEET

ABB Oy 2000. ABB TTT-käsikirja 07-2000.

ABB Oy 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. 10. painos. Vaasa.

ABB Oy 2002. Kolmivaiheinen muuntajan käynnistysvirtasysäyksen ja moottorin käynnistysvirran ilmaisin. Toimintakuvaus.

ABB Oy 2003. REX 521 Suojarele Tekninen ohje. vakiokonfiguraatiot. Tekninen ohje.

ABB Oy 2010. Feeder Terminal REF 54_. Technical Reference Manual. General. Tekninen ohje.

AEF Oy:n kotisivut. Tietoa Meistä. Viitattu 28.9.2015
<http://www.agnicoeagle.fi/fi/aboutus/Pages/home.aspx>

Aura L. & Tonteri A.J., 1986. Sähkämiehen käsikirja 2 – Sähkökoneet. Porvoo: WSOY.

Elovaara J. & Haarla L., 2011. Sähköverkot II – Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Otatieto.

Huotari K. & Partanen J., 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu

Korpinen L., Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Viitattu 25.11.2015. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf

Korpinen L., Muuntajat ja sähkölaitteet. Viitattu 26.11.2015. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf

Mörsky J., 1992. Relesuojaustekniikka. Otatieto.

Partanen J., 2011. BL20A0500 Sähkönjakelutekniikka – Maasulkusuojaus. Lappeenranta University of Technology.

Prysmian Group 2013. AHXAMK-W 20 kV 3-johtiminen. viitattu 13.10.2015 http://fi.prysmiangroup.com/en/business_markets/markets/pd/download/datasheets/AHXAMK-W_20kv_3joht.pdf

Prysmian Group 2013. ACSR ja AACSR. viitattu 13.10.2015 http://fi.prysmiangroup.com/en/business_markets/markets/pd/download/datasheets/ACSR_AACSR.pdf

Siemens Oy 2012. Siprotec 7SJ80 Manual.

Simonen M., 2006. Sähkönjakeluverkon suunnitteluperusteet. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Lisensiaatintyö.

ST 51.78. 2004. Sähkölaitteet ja –asennukset kaivoksissa sekä huolto- ja työtunneleissa. Sähkötieto ry.

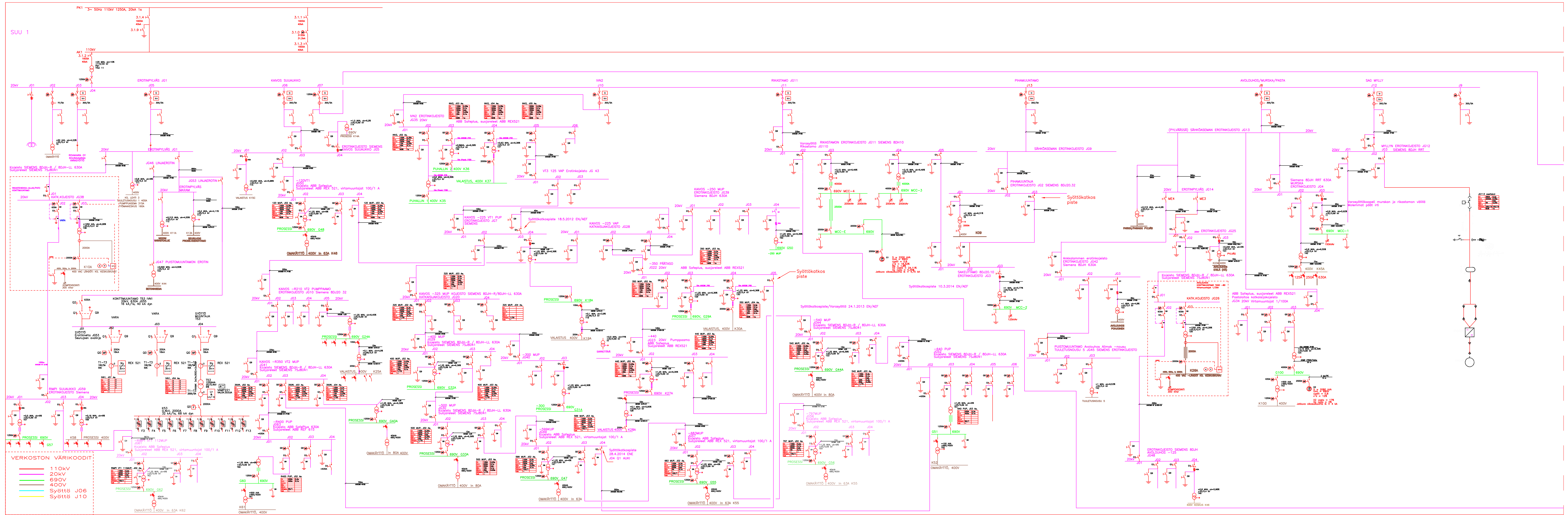
Trafomic Oy Muuntaja yleisesti. hakupäivä 30.11.2015. <http://www.trafomic.fi/muuntaja>

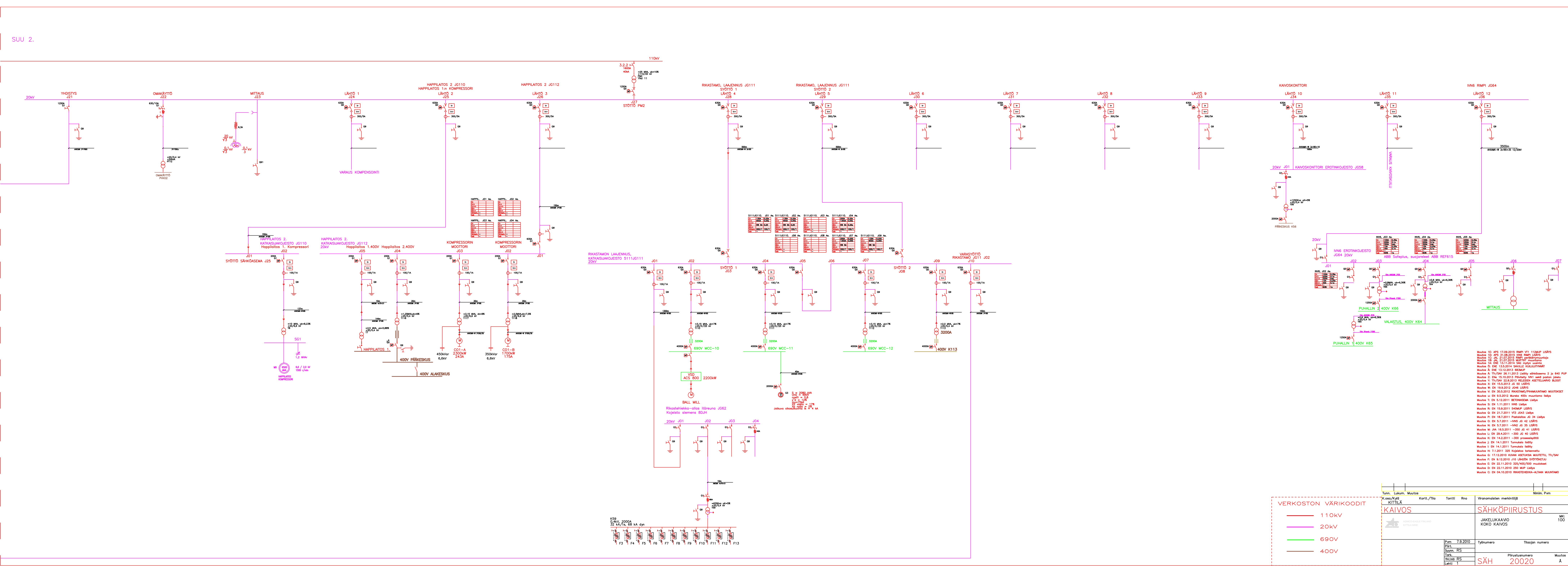
11 LIITTEET

Liite 1 Kaivosalueen keskijänniteverkon jakelukaavio osa 1

Liite 2 Kaivosalueen keskijänniteverkon jakelukaavio osa 2

Liite 3 Suojauskaavio rikastamon laajennuksen kojeistoista JG111 ja JG11





VERKOSTON VÄRIKOODIT		SÄHKÖPIIRUSTUS	
—	110kV	—	110kV
—	20kV	—	20kV
—	690V	—	690V
—	400V	—	400V

Proj. Nro	7.9.2020	Työnumero	20020
Proj. Nimi	SÄH	Projektiluokka	A
Proj. Nro	7.9.2020	Työnumeri	20020
Proj. Nimi	SÄH	Projektiluokka	A

- Muutos 01: 01.11.2019 Muutos 01: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 02: 01.11.2019 Muutos 02: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 03: 01.11.2019 Muutos 03: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 04: 01.11.2019 Muutos 04: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 05: 01.11.2019 Muutos 05: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 06: 01.11.2019 Muutos 06: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 07: 01.11.2019 Muutos 07: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 08: 01.11.2019 Muutos 08: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 09: 01.11.2019 Muutos 09: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 10: 01.11.2019 Muutos 10: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 11: 01.11.2019 Muutos 11: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 12: 01.11.2019 Muutos 12: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 13: 01.11.2019 Muutos 13: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 14: 01.11.2019 Muutos 14: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 15: 01.11.2019 Muutos 15: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 16: 01.11.2019 Muutos 16: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 17: 01.11.2019 Muutos 17: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 18: 01.11.2019 Muutos 18: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 19: 01.11.2019 Muutos 19: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 20: 01.11.2019 Muutos 20: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 21: 01.11.2019 Muutos 21: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 22: 01.11.2019 Muutos 22: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 23: 01.11.2019 Muutos 23: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 24: 01.11.2019 Muutos 24: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 25: 01.11.2019 Muutos 25: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 26: 01.11.2019 Muutos 26: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 27: 01.11.2019 Muutos 27: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 28: 01.11.2019 Muutos 28: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 29: 01.11.2019 Muutos 29: 110kV LÄHTÖ
- Muutos 30: 01.11.2019 Muutos 30: 110kV LÄHTÖ

