

**SUURJÄNNITEJAKELUN JA -LAITTEISTOJEN
ENNAKKOHUOLTOSUUNNITELMA**

Pikkupirtti Ilari

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

2018

Tekniikka ja liikenne
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Ilari Pikkupirtti	Vuosi	2018
Ohjaaja	Ins, (YAMK) Aila Petäjäjärvi		
Toimeksiantaja	Boliden Kevitsa Mining Oy Sähköinsinööri Petri Koivula Työnjohtaja Pertti Mikkola Työnjohtaja Kari Poikela Tekninentuki Eeva Huuhtanen		
Työn nimi	Suurjännitejakelun ja ennakkohuoltosuunnitelma		-laitteistojen
Sivumäärä	43		

Työssä tarkasteltiin Boliden Kevitsa Mining Oy:n sähkönjakelua ja laitteistoa. Työhön on kerätty kaikki oleellinen laitteistoihin liittyvä tieto teoriasta, standardien vaatimukset ja laitteistolle tehtävät huollot. Työn tarkoituksena oli kerätä kaikki tarvittava tieto laitteistoille tehdyistä huolloista ja vaatimuksista yhteen tiedostoon.

Työn tekeminen aloitettiin laitteiston esiselvityksellä ja perehtymällä laitteistoon liittyvään dokumentaation. Dokumentaation tarkasteleminen ja kerääminen tehtiin yhteistyössä työnjohdon kanssa, heiltä saatu tieto kerättiin yhteen kansioon, josta tieto siirrettiin opinnäytetyöhön.

Opinnäytetyössä saatiin tulokseksi valmis kansiorakenne suurjännitejakelulle ja laitteistolle. Kansiota löytyy huoltoraportit ja suunnitelma laitteiston huollolle ja vaatimuksille.

Technology, Communication and
Transport
Electrical and Automation Engineer-
ing
Bachelor of Engineering

Author	Ilari Pikkupirtti	Year	2018
Supervisor	Aila Petäjäjärvi, M.Eng Petri Koivula, Electrical Engineer Pertti Mikkola, Foreman Kari Poikela, Foreman Eeva Huuhtanen, Technical Support		
Commissioned by	Boliden Kevitsa Mining Oy		
Subject of thesis	High Voltage Distribution and Equipment Preventive Maintenance Plan		
Number of pages	43		

This thesis examined high voltage distribution and equipment at Boliden Kevitsa Mining Oy. This thesis summarizes every essential theory and standard requirement associated with the components used in the mine. The objective was also to compile all data of the maintenance tasks done on the equipment in one document.

This thesis work started with seeking and going through the used equipment and finding out the documents on it. This part of the work was done with the help of supervisors. Information they gave was compiled in one folder and from there it was imported into this thesis.

The results is a folder for the high voltage distribution and equipment which contains maintenance reports, plans and requirements for the equipment.

Key words

high voltage distribution, switchgear, transformer, open pit

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	SÄHKÖASEMIEN JA JAKELUVERKKOJEN TARKASTUKSET	9
2.1	Standardit, määräykset ja turvallisuus	9
2.2	Tarkastaminen ja valvonta	11
3	SÄHKÖVERKKOJEN TARKASTUKSET	14
3.1.1	110 kV suurjännitelinja	14
3.1.2	Pylväät, maadoitukset, merkinnät	16
3.2	110 kV kytkinkenttä	16
3.2.1	Muuntajat	17
3.2.2	Erottimet, katkaisijat	20
3.2.3	Virtamuuntajat ja jännitemuuntajat	21
3.2.4	Rakenteet ja relerakennus	23
3.3	20 kV ja 10 kV avojohtojakelu	24
3.3.1	20 kV ja 10 kV kaapelijakelu	24
3.3.2	20 kV ja 10 kV kojeistot	25
4	TARKASTUSTEN TEKEMINEN KÄYTÄNNÖSSÄ	27
4.1	110 kV suurjännitelinja	27
4.1.1	Pylväät, maadoitukset, merkinnät	28
4.2	110 kV kytkinkenttä	29
4.2.1	Päämuuntajat, erottimet, katkaisijat	30
4.2.2	Virtamuuntajat ja jännitemuuntajat	33
4.2.3	Rakenteet ja relerakennus	34
4.3	20 kV avojohtojakelu	35
4.3.1	20 kV kaapelijakelu	36
4.3.2	20 kV kojeisto	36
4.3.3	20 kV jakelumuuntajat	37
4.4	10 kV jakelu	38
4.4.1	10 kV kojeisto	38
4.4.2	10 kV jakelumuuntaja	39
5	POHDINTA	41
	LÄHTEET	42

ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön tekemisestä haluan kiittää Lapin AMK:n Kemin Kosmos kampuksen Sähkö- ja automaatiotekniikan osaston opettajia erityisesti opinnäytetyön valvojaa Aila Petäjäjärveä saamistani opeista, sekä koko luokkaa opiskeluvuosista. Lisäksi haluan kiittää Boliden Kevitsa Mining Oy Petri Koivulaa mahdollisuudesta päästä töihin Kevitsan sähkökunnossapitoon, jonka seurauksena sain tämän opinnäytetyön kiitos myös kaikille sähkökunnossapidon asentajille sekä toimihenkilöille, käytännönohjeista ja opeista. Isot kiitokset kuuluvat, myös perheelleni ja ystäväilleni, joiden ansiosta opiskelu on ollut mahdollista ja opiskeluaika on kulunut ilolla.

Sodankylässä 2.5.2018

Ilari Pikkupirtti

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AN	Air Natural
ANAN	Air Natural Air Natural
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
ERT	Emergency Response Team
IEC	International Electro Technical Commission
MCC	Motor Control Center
PR	Suojausvirtamuuntaja tarkkuusluokka
PX	Suojausvirtamuuntaja tarkkuusluokka
SFS	Suomen Standardoimisliitto
SF ₆	Rikkiheksafluoridi

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoitus on kartoittaa Boliden Kevitsan suurjännitejakelun ja laitteiston ennakkohuolto toimenpiteet. Työhön on tarkoitus saada kerättyä tieto jakelua ja laitteistoa koskevista standardeista ja selvittää niille jo tehdyt huollot. Työ tehdään yhteistyössä Boliden Kevitsan sähkökunnossapidon toimihenkilöiden kanssa. Työ on rajattu 10kV kojeistoon laitteistoa on todella paljon vielä kojeiston jälkeinkin, mutta se päätettiin jättää tämän työn ulkopuolelle.

Boliden on kaivosyhtiö, jolla on omia kaivoksia ja sulatoita Ruotsissa, Suomessa, Norjassa ja Irlannissa. Henkilöstöä Bolidenin palveluksessa on noin 5 500. Bolidenin pääkonttori sijaitsee Tukholmassa. Bolidenin liiketoimintamalli koostuu malminetsintä, louhinta ja rikastus. Malminetsinnässä tunnistetaan, tutkitaan ja analysoidaan mineraaliesiintymiä. Louhinnassa louhitaan malmia sekä avolouhoksissa että maanalaisissa kaivoksissa. Tärkeintä louhinnassa on ihmisten ja ympäristön turvallisuus. Rikastuksessa malmi murskataan ja kuljetetaan kaivosalueella sijaitsevaan rikastamoon. Sieltä saatu metallirikaste kuljetetaan lähinnä Bolidenin sulattoihin. (Boliden.com 2018; Boliden Kevitsa 2018.)

Esiintymä kaivokselle on löydetty vuonna 1987 ja se on yksi suurimmista mineraalilöydöistä Suomessa. Kevitsan kaivos on avolouhos, jossa louhitaan nikkeliä ja kuparia, mutta rikaste sisältää, myös nikkeliä, kuparia, platinaa ja kultaa. Kaivos on otettu käyttöön vuonna 2012. Kaivos sijaitsee Lapissa Sodankylän kunnan alueella Petkulassa. Kevitsan avolouhoksella louhitaan noin 6-8 miljoonaa tonnia malmia vuodessa. Malmista saadaan rikastetta, joka sisältää noin 14 000 t/v nikkeliä ja 120 000 t/v kuparia. Rikasteet kuljetetaan rekoilla Kemin satamaan ja sieltä junalla tai laivalla suurimmaksi osaksi Bolidenin omille sulatoille Suomeen ja Ruotsiin. Kaivoksen syvyys on 500 metriä. Henkilöstöä Kevitsassa on Bolidenillä noin 450 hlö ja eri urakoitsijoilla noin 300 hlö. Työntekijöistä 90 % on Lapin läänistä ja 68 % Sodankylästä. Kaivoksella on oma palo- ja pelastusryhmä, jota kutsutaan ERT- ryhmäksi. Ryhmään on koulutettu noin 30 työntekijää eri vuoroista ja ryhmällä on käytössä oma

ambulanssi. ERT- ryhmän vastuuhenkilönä toimii palo- ja pelastus-asiantuntija. (Boliden.com 2018; Boliden Kevitsa 2018).

Boliden Kevitsan sähkön syöttö tulee Fingrid Oy:n Vajukosken sähköasemalta. Syöttö tulee sähköaseman kentästä AE07, maakaapelilla REKA AHXCHBMK-W 3x1x1200/35 Kevitsan avojohdon päätepylväälle, josta syöttö jatkuu 110 kV 2x3 Duck avojohdolla 5,8 km, kunnes saapuu Kevitsan kaivoksen 110 kV VEO:n valmistamalle yksikiskojärjestelmä kentälle. Sähkölinjan kautta syötettävä tehonkulutus vaihtelee n. 43-50 MW välillä. Kevitsan kaivoksella ei ole omaa sähköntuotantoa, kaivos toimii sähköverkossa ainoastaan kuluttajana. Kaivosalueelle tulee ainoastaan yksi syöttävä linja, josta sähkö jaetaan kulutukseen. Avolouhosalueen sähkönjakelu on toteutettu rengassyöttönä, jotta sähköä voidaan toimittaa muuttuvalle avolouhosalueelle kahdesta suunnasta. (Boliden Kevitsa 2018.)

2 SÄHKÖASEMIEN JA JAKELUVERKKOJEN TARKASTUKSET

Sähkölaitteisto tarkoittaa asennustarvikkeista, johdoista, sähkökeskuksista muodostuvaa toiminnallista kokonaisuutta. Tukes valvoo sähkölaitteistojen asentamista ja turvallisuutta, sekä sen käyttöä ja tarkastamista. Sähkölaitteiston kunnan ja turvallisuuden ylläpitämiseksi sen kuntoa on tarkkailtava ja siinä esiintyvät puutteet poistettava. Sähkölaitteiston kunnan ylläpitämiseksi on laadittu Suomen kansallinen standardi, jota tulee noudattaa laitteiston kunnan ylläpidossa. (Tukes 2017b)

Ennakkohuollon tehtävä on laitteiden toimintakunnan ylläpitämistä niiltä odotettavalta tasolta. Ennakkohuollon tarkoitus on suorittaa huoltotoimenpiteitä laitteistolle ennalta suunniteltujen huolto-, toimenpide ja työturvallisuusohjeiden mukaan. Toiminta kehittyy jatkuvasti toistuvien huoltojen ja palautteen mukana. Huollon onnistuminen sille varatussa määräajassa riippuu suunnittelun onnistumisesta ja henkilöstön motivoinnista. Huoltojen toistuessa henkilöstön koordinointi soveltuvuuden perusteella onnistuu paremmin. (Etto 1998a, 11–14).

2.1 Standardit, määräykset ja turvallisuus

Olellaiset sähkölaitteistoja koskevat turvallisuusvaatimukset on esitetty valtioneuvoston asetuksen sähkölaitteistoista 1434/2016 (Liite 1). Lisäksi sähköturvallisuuslaissa L 2016/1135 varmistetaan sähkölaitteistojen käytön turvallisena pysyminen ja säädetään laitteistolle asetettavat vaatimukset vaatimusten mukaisuuden osoittamisesta, vaatimustenmukaisuuden valvonnasta, sähköalan töistä ja niiden valvonnasta. Vaatimukset täyttyvät, kun asennukset tehdään noudattaen Tukes-ohjetta S10. Yli 1000V asennukset tehdään standardin SFS 6001 mukaan. Sähkötyöturvallisuuden osalta noudatetaan standardia SFS 6002. Tukes-ohjeessa S10 on luetteloitu lisäksi tilojen ja laitteistojen erityisvaatimuksia. (Sähköturvallisuuslaki 2016/1135. 1:1§; Tukes 2017d.)

Sähköturvallisuuslain L 2016/1135 mukaan ”sähkölaitteet ja –laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle varaa;
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.”
(Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 1:6§.)

Sähkölaitteistot on laissa jaettu eri luokkiin ja niille vaadittaviin huoltotoimenpiteisiin. Boliden Kevitsan sähkölaiteluokka on 2c.

Sähkölaitteiston laissa jaettu eri luokkiin seuraavalla tavalla ”Sähkölaitteistot jaetaan niiden varmennus- ja määräaikaistarkastusten vaatimusten sekä kunnossapito-ohjelmaa koskevien vaatimusten osalta luokkiin seuraavasti:

2) luokan 2 sähkölaitteisto:

c) sähkölaitteisto, johon kuuluu yli 1 000 voltin nimellisjännitteisiä osia, lukuun ottamatta sellaista sähkölaitteistoa, johon kuuluu vain enintään 1 000 voltin nimellisjännitteellä syötettyjä yli 1 000 voltin sähkölaitteita tai niihin verrattavia laitteistoja

Sähkölaitteistoluokitusta ei sovelleta viestintäverkkojen, hissien, ilma-alusten eikä maa- ja vesikulkuneuvojen sähkölaitteistoihin.” (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 3:44§.)

Sähkölaitteistojen kunnossapidosta laissa sanotaan että: ”sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että luokkien 2 ja 3 sähkölaitteistoille laaditaan sähköturvallisuuden ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Sähkölaitteiston haltija vastaa siitä, että kunnossapito-ohjelmaa noudatetaan. Kunnossapito-ohjelmaa laadittaessa tulee ottaa huomioon sähkölaitteiston käyttöympäristöstä aiheutuvat tarpeet.

Muiden sähkölaitteistojen osalta ohjelma voidaan korvata laitteiden ja laitteistojen käyttö- ja huolto-ohjeilla” (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 3:48§.)

Kunnossapidon valvonnasta laissa sanotaan että: ”käytössä olevalle luokan 1 ja 2 sähkölaitteistolle asuinrakennuksia lukuun ottamatta on tehtävä määräaikaistarkastus kymmenen vuoden välein.” (Sähtöturvallisuuslaki 1135/2016, 3:49§.)

2.2 Tarkastaminen ja valvonta

Sähkölaitteiston haltija on huolehdittava sähkölaitteistosta niin, että siitä ei aiheudu hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa. Laitteiston kuntoa ja turvallisuutta on tarkkailtava ja havaitut puutteet ja viat on poistettava riittävän nopeasti. Valvonnan pitää olla säännöllistä. Valvontaa voi suorittaa sähköalan ammattihenkilöstön lisäksi myös maallikot soveltuvin osin. (Tukes.fi 2017c.)

Käyttöönottotarkastus on tehtävä sähköturvallisuuden varmistamiseksi. Käyttöönottotarkastuksen tekee sähköurakoitsija. Tarkastukseen sisältyy silmämääräinen tarkastelu sekä mittauksia ja testauksia. Tarkistuksesta laaditaan käyttöönottotarkastuspöytäkirja, joka luovutetaan sähkötyön tilaajalle. Lisäksi jos asennukset on tehty paritaloa suuremmille asuinrakennuksille sekä pääsulakkeiltaan yli 35 A sähkölaitteistolle, varmennustarkastuksen suorittaa valtuutetut tarkastuslaitokset ja valtuutetut tarkastajat. (Tukes.fi 2017a.)

Määräaikaistarkastuksesta huolehtiminen kuuluu sähkölaitteiston haltijalle. Vuokrasuhteessa määräaikaistarkastuksen teettämisvelvollisuus on sillä, joka vastaa rakennuksen tai kiinteistön pitkäaikaisesta kunnossapidosta. Teettämisvelvollisuus kohdistuuakin monessa tapauksessa rakennuksen omistajaan. Uusintatarkastus, jos valtuutettu laitos tai valtuutettu tarkastaja havaitsee varmennustarkastuksessa tai määräaikaistarkastuksessa vakavia puutteita, tarkastajan on määrättävä tarkastuksen kohteena oleva sähkölaitteisto uusintatarkastukseen. Uusintatarkastuksessa varmistetaan, että alkuperäisessä tarkastuksessa havaitut vakavat puutteet on korjattu. Varmennustarkastuksessa tai määräaikaistarkastuksessa havaittu vika ei keskeytä tarkastusta vaan tarkastus viedään loppuun asti ja pöytäkirjaan kirjataan kaikki havaitut puutteet. Jos tarkistus on keskeytetty tai 0-luokan puute on havaittu, täytyy

uusintatarkastus on suoritettava 3 kk kuluessa alkuperäisestä tarkastuksesta. (Tukes.fi 2017c.)

Jos tarkastuksen yhteydessä sähkölaitteistossa ilmenee välitöntä vaaraa aiheuttavia tekijöitä, lähetetään siitä Tukesille ilmoitus, jossa ilmenee ainakin:

- sähkölaitteen tai –laitteiston haltija yhteystietoineen, tiedot sähkölaitteesta
- sähkölaitteistosta tai sen osasta, jonka käytöstä aiheutuu välitöntä vaaraa
- tiedot välittömän vaaran laadusta ja aiheuttajasta
- tiedot sähkölaitteiston mahdollisesta käytönjohtajasta ja sähkötöiden johtajasta
- sähkölaitteiston rakentajan nimi
- onko sähkölaitteen tai –laitteiston haltija välitöntä vaaraa aiheuttavan vian tai puutteen korjaamisesta, lopettanut laitteen tai laitteiston käytön ja erottanut sen verkosta.

Sähkölaitteistoissa tyypillisimpiä esiintyviä vaaroja tai vaaratilanteita ovat sähköisku jännitteisen osan suorasta kosketuksesta tai suurjännitteellä suoran ylilyönnin seurauksena. Esiintyvät puutteet luokitellaan turvallisuusmerkitysten perusteella eri kategorioihin, jotka ovat

- Kattegoria 0: puute, joka aiheuttaa välitöntä vaaraa
- Kattegoria 1: puute, joka aiheuttaa vakavaa vaaraa
- kattegoria 2: puute, joka aiheuttaa kohtalaista tai lievää vaaraa
- kattegoria 3: vaatimustenmukainen

Riski riippuu vahingon vakavuudesta ja todennäköisyydestä. Vakavuuden suuruutta voidaan arvioida ottamalla huomioon vammojen tai terveyshaittojen vakavuus ja laajuus. Sähköisku tai vika voi aiheuttaa vakavia tilanteita, kuten tulipalo ja valokaari. Kaikki nämä voivat johtaa kuolemaan ja siksi ne katsotaan vakaviksi. Jos sähkölaitteiston puute aiheuttaa enimmillään yksittäisen laitteen tai komponentin rikkoutumisen ilman varsinaisia onnettomuusvaikutuksia, ei sitä voida katsoa yhtä vakavaksi kuin edellä mainittuja. Todennäköisyyden arvioinnissa otetaan huomioon henkilöiden altistuminen kyseiselle vaaralle, vaarallisten tapahtuman todennäköisyys sekä tekniset ja henkilöstä riippuvat

mahdollisuudet ymmärtää ja välttää kyseistä vahinkoa. Riski sähkölaitteiston puutteen aiheuttamaan sähköiskuun tai muuhun onnettomuuteen riippuu siitä,

- liittyykö puute perussuojaukseen, vikasuojaukseen, lisäsuojaukseen
- saattaako puute koko suojausjärjestelmän toimimattomaksi
- millaisessa käyttöympäristössä puute esiintyy
- puutteellisen sähkölaitteiston osan konkreettinen sijoituspaikka kohteessa
- millaiset käyttäjät ja sivulliset ovat tekemisissä sähkölaitteiston kanssa
- miten laajalle mahdollinen tulipalo tai vikajännite voi levitä. (Tukes.fi 2017c.)

3 SÄHKÖVERKKOJEN TARKASTUKSET

Sähköverkkojen tarkistukset ja kunnossapito perustuvat hyvin pitkälti lain asettamiin vaatimuksiin. Toimivan kunnossapidon suunnittelussa on otettava huomioon ainakin seuraavia asioita: käynninaikainen toiminta, seisokkien aikainen toiminta, käyttövarmuussuunnittelu, laatu, kunnossapitomenetelmät ja kustannusseuranta. Sähkölaitteiston kunnossapitoon on laadittu hyvin kattavat standardit, jotka laitteiston tulee täyttää. Toimivan kunnossapidon toiminta edellyttää kunnossapidon ohjaukseen ja seurantaan tietojärjestelmää. Tietojärjestelmä voidaan toteuttaa manuaalisesti tai tietokoneilla ja yhdellä tai useammalla järjestelmällä. Kunnossapitotöitä määritettäessä tietojärjestelmään tulee ensin eritellä tehtävät kunnossapitotyöt. Teollisuusyrityksissä on nykyään kasvava määrä sähkölaitteita, mikä nostaa työtilausten ja vikailmoitusten määrää. Kunnossapitotöiden määrittelyssä on selvitettävä ainakin seuraavia asioita:

- Mitä huoltoja laitetoimittajat ovat suositelleet tehtäväksi ja milloin ?
- Mitä varaosia on suositeltu ?
- Mitä on varastossa ja mitä varaosia tarvitaan ?
- Mikä on laitteen historia ?

(Etto 1998a, 11–12.)

3.1.1 110 kV suurjännitelinja

Suomessa kaikki kuluttajat ja voimalaitokset on kytketty sähköyhteiseen verkkoon. Verkko kattaa lähes sataprosenttisesti kaikki taloudet. Hyvä hyötysuhde on sähkövoimajärjestelmän etu, koska siirtoetäisyydet voivat olla pitkiä, minkä vuoksi tuotanto voidaan toteuttaa taloudellisella ja käyttövarmalla tavalla tarkoituksen mukaisissa sähköntuotantolaitoksissa. Hyvä hyötysuhde tarkoittaa, että siirron ja jakelun häviöt pidetään mahdollisimman pienenä. Siirto- ja jakeluverkkona 3-vaiheinen vaihtosähköjärjestelmä on yleisin sen edullisuuden vuoksi. Lyhyillä alle 200 km:n avojohdoilla johtovakiot, resistanssi, induktanssi,

konduktanssi ja kapasitanssi voidaan kuvitella keskittyneiksi π - tai T-sijaiskytkennän osiksi. Pituutta kohti laskettu reaktanssi ei juurikaan vaihtele, mutta resistanssi putoaa puoleen kun käytetään kahta osajohdinta, esim. 2-Duck. (Elovaara & Haarala 2011a, 54, 97–98.)

Avojohtojen johtimet valmistetaan kansainvälisten tai kansallisten standardien mukaan. IEC-61089, EN-50182 sekä SFS-50182 standardit koskevat teräsvahvisteisia alumiini- ja alumiiniseosjohtimia. IEC 60228 Class 2 on standardi kuparijohtimille. Standardeissa määritellään eri johdinlajeille nimet, mutta valitettavasti nimeämisissä on ristiriitaisuuksia, koska euronormissa ja IEC-standardissa samalle johtimelle on ilmoitettu eri nimet. Lisäksi tietyille yleisesti käytössä oleville johdintyypeille on otettu kutsumanimiä kasvi- tai eläinkunnasta. Suomessa käytettäviä nimityksiä on teräsvahvisteisilla alumiinijohtimilla, Finch 565/72 mm² Duck 305/39 mm², Hawk 242/39 mm². Tämä lisää osaltaan avojohtimien nimeämisten sekavuutta. (Elovaara & Haarala 2011a, 101.)

Luotettavuudeltaan voimajärjestelmä jaetaan kahteen osa-alueeseen: riittävyteen ja käyttövarmuuteen. Luotettavuus on keskiarvo pitkältä ajalta. Se kuvaa voimajärjestelmän pitkän ajan käyttäytymistä erilaisissa kuormitus-, vika, ja keskeytystilanteissa. Luotettavana pidettävän järjestelmän on oltava käyttövarma suurimman osan ajasta. Riittävyydellä tarkoitetaan sitä, että voimajärjestelmä pystyy syöttämään kuormille tarvittavan tehon ja energian kaikkina aikoina. Käyttövarmuudella tarkoitetaan voimajärjestelmän häiriöiden kestäkykyä, esimerkiksi oikosuluissa ja komponenttien irtoamisissa. Käyttövarmuus muuttuu ajan mukana. Voimajärjestelmä voi olla stabiili heti vian jälkeen, mutta laitteet saattavat ylikuormittua vian aiheuttamassa jälkitilanteessa. Kaksi voimajärjestelmällä voi olla yhtä stabiileja, mutta jos toisen vian seuraukset ovat lievempiä tai vikojen esiintymistajuus on pienempi, tekee se järjestelmästä käyttövarmemman. (Elovaara & Haarala 2011a, 276–280.)

SFS 6001- Liite NA Velvoittaa maadoitusmittauksen tehtäväksi 6 vuoden välein, kun maadoitus on yhden maadoitusjohtimen varassa. Maadoitus mitataan 12 vuoden välein, jos maadoitus on useamman kuin yhden maadoitusjohtimen varassa. (SFS-Käsikirja 601 2015, 150.)

3.1.2 Pylväät, maadoitukset, merkinnät

Sähkönsiirtoon käytettävien ilmalinjojen rakentamiseen käytetään pylväitä, jotka yleensä valmistetaan puusta, teräksestä, tai alumiiniseoksista. Puu on yleisin käytössä oleva pylväsmateriaali ja sitä käytetään 220 kV jännitteeseen asti. Puupylväiden etuna on halpa hinta ja sen hyvä eristyskyky ilmastollisia ylijännitteitä vastaan jakeluverkoissa. Puupylväät suojataan lahoamiselta kyllästämällä. Kyllästysaineena käytetään esimerkiksi kreosiittia. Teräs- ja seosalumiinipylväitä käytetään suurimmilla jännitteillä ja tilanteissa, joissa puupylvään korkeus tai lujuus ei ole riittävä. (Elovaara & Haarala 2011b, 264–265.)

Lahoustarkastuksessa on tarkoitus saada selville pylvään kunto. Tarkastuksessa pylvästä koputellaan jollakin kovalla esineellä, esimerkiksi vasaralla pylvään alaosasta vaakasiteelle asti. Pylväälle suoritetaan myös silmämääräinen tarkastus suurien halkeaminen tai muurahaisten aiheuttamien vaurioiden varalta. (Ojakaski & Puranen 2011, 43; Vanha 2012, 33–38.)

Maadoituksen tarkoitus on lisätä sähköturvallisuutta. Vikatilanteet eivät saa aiheuttaa vaaraa ihmisille tai eläimille. Maadoituksella suojellaan myös verkossa olevia laitteita. Pylväsmaadoitus vähentää ukkoshäiriöitä pienentämällä pylvään potentiaalia, jotta pylvääseen tai ukkosjohtimeen osunut salama ei aiheuta takaiskua. Ukkosjohtimien tehokkuus paranee pylväsmaadoituksen avulla ja on noin kaksi kertaa häiriöttömämpi kuin ilman pylväsmaadoitusta oleva. Pylväiden perusmaadoitus rakentuu perustuksista ja niiden alle sijoitetuista niin sanotuista j-lenkeistä, haruksista, harusankkureista ja pylvään jalkoja yhdistävästä kupariköydestä. (Elovaara & Haarala 2011b, 435.)

3.2 110 kV kytkinkenttä

Sähkö- eli kytkinaseman rakenne määräytyy pääsääntöisesti sen käyttötavan mukaan. Yksikiskojärjestelmä on perusominaisuuksiltaan samankaltainen kuin kiskoton järjestelmä. Järjestelmään saadaan kuitenkin joustavuutta lisää jakamalla kiskosto osiin pitkittäiskatkaisijalla tai –erottimella. Osien lukumäärä riippuu siitä, moneenko osaan verkosto on tarvittaessa voitava jakaa.

Yksikiskojärjestelmä on halpa ja selväpiirteinen, mikä tekee siitä halvemmän ja helppokäyttöisen. Kuormitusten ryhmittely ja kiskoston huollon mahdollisuudet on kuitenkin rajoitetut. Käyttökeskeytyksen pituus on sama kuin kojevaurion korjausaika. Katkaisijan huolto on mahdollista tehdä ilman käyttökeskeytystä, jos katkaisijat varustetaan ohikytkentäerottimilla. (Elovaara & Haarala 2011b, 102–103.)

Kisko-apukiskojärjestelmä on järjestelmä jossa, niin sanotun kiskokatkaisijan avulla voidaan korvata jokin toinen katkaisija esimerkiksi huollon ajaksi. Järjestelmässä kiskoston huollot, muutostyöt ja lisäksi suojaus on selektiivinen ohikytkentätilanteissa. Käyttöä ei voida jakaa kahdelle eri kiskolle. Poikkeustilanteissa voidaan lähtöjä kytkeä ohikytkentäerottimilla. Kisko-apukiskojärjestelmä on yksikiskojärjestelmään verrattuna huomattavasti käyttövarmempi ja käyttökeskeytysaika lyhenee vain kytkentätoimenpiteiden vaatimaksi ajaksi. (Elovaara & Haarala 2011b, 102–103.)

Kaksoiskiskojärjestelmässä on mahdollista ryhmitellä johtoja ja muuntajia. Ryhmittelyä voidaan tehdä myös käytön aikana. Kaksoiskiskojärjestelmälle tärkeimpiä etuja on käyttö, joka voidaan jakaa pysyvästi tai tilapäisesti eri ryhmiin rajoittaa oikosulkutehoja. Kun toinen kiskojärjestelmästä on toisen varalla voidaan huollot suorittaa häiritsemättä käyttöä ja katkaisijat voidaan ohi kytkeä jolloin suojaus säilyy selektiivisenä.

Kaksoiskiskojärjestelmässä kiskokatkaisija on tärkeä osa järjestelmältä saatavaan hyötyyn verrattuna yksikiskojärjestelmään. Kiskokatkaisijan avulla voidaan suorittaa lukuisia erikoistehtäviä käyttötapausten ja tavoitteiden mukaan. (Elovaara & Haarala 2011b, 102–103.)

3.2.1 Muuntajat

Muuntaja on sähkölaite, jonka tehtävä on osana vaihtosähköjärjestelmää muuntaa ja usein myös säätää jännitettä ja virtaa. Käämityksien välillä induktiota hyväksi käyttäen. Kolmivaiheinen muuntaja voidaan koota kolmesta yksivaiheyksiköstä tai rakentaa suoraan kolmivaiheiseksi. Muuntajissa käytetään

eristeenä paperia, prespaania sekä muuntajaöljyä. Muuntajaöljy toimii myös jäähdytyksen väliaineena siirtämällä käämissä ja rautasydämessä kehittyvän lämmön muuntajan jäähdytyslementteihin. Kuivamuuntajissa jäähdytys on toteutettu joko luonnollisella jäähdytyksellä AN, tai koteloidulla luonnollisella ilmankierrolla ANAN, tai tuulettimella tehostetulla ilmankierrolla. Öljyjäähdytteisissä muuntajissa jäähdytystapa voi kokonaisuudessaan olla ONAN/ONAF 70 % /100 %, joka tarkoittaa että 70 %:n kuormitettavuus saavutetaan luonnollisen öljyn ja ilman kierrolla ja 100 %:n mitoituskuormitettavuus öljyn luonnollisella ja ilman tehostetulla kierrolla. (Elovaara & Haarala. 2011b 141, 152.)

Kolmivaihemuuntajan jänniteportaan käämeille käytetään Y-tähti, D-kolmio, Z-hakatähtikytkentää verkon rakenteesta ja tarpeesta riippuen. Iso kirjain tarkoittaa yläjännitekäämitystä ja pieni kirjain alajännite käämityksille. I ja i on varattu yksivaihekytkentäisille muuntajille. A ja a säästökytkentäisille muuntajille. Lisäksi jos tähtipiste on tuotu muuntajan kannelle, ilmaistaan se kirjaimella N tai n. Muuntajakytkennässä ilmoitettu numero tarkoittaa vaihe-eroa. Numero ilmaisee, montako astetta alajännitepuolen tietyn vaiheen jännite on jäljessä yläjännitepuolen saman vaiheen jännitteestä. Vaihesiirtoon käytettävän numeron ilmaisuun on käytetty 12-tuntisen analogisen kellotaulun tuntinumeroita siten, että yksi tunti merkitsee 30°:n vaihe-eroa. Täten numero 5 esimerkiksi tarkoittaa sitä, että alajännite on 150°:ta yläjännitettä jäljessä. (Elovaara & Haarala 2011b, 142.)

Suuret muuntajat varustetaan yleensä käämikytkimellä, mikä mahdollistaa kuormitetun muuntajan muuntosuhteen muuntamisen. Käämikytkimen normaali säätöalue on $\pm 15\%$. Säätäminen tehdään yleensä muuttamalla ensiön johdinkierrosmäärää. Käämikytkin on yleensä sijoitettu käämin tähtipisteen puoleiseen päähän. Käämikytkimelle on normaalisti oma erillinen öljytilansa, jotta sen toiminnan aikaansaama kaasu ei peitä muuntajan eristeissä mahdollisesti tapahtuvien osittaispurkauksien aikaansaamia kaasuja. Pienemmät muuntajat varustetaan väliottokytkimellä, joka toimii myös jännitteensäätövälineenä. Väliottokytkimen käyttö edellyttää jännitteettömyyttä ohjaushetkellä. Nykyään suurivirtaiset muuntajat varustetaan kunnonvalvontalaitteilla, jotka valvovat muuntajan lämpötiloja ja ohjaavat jäähdytystä. Muuntajan kuumimman pisteen

valvonta toteutetaan optisin kuiduin. Lämpötilaseuranta tarvitaan, koska liian suuret lämpötilat nopeuttavat muuntajan eristysten vanhenemista. Lisäksi suurivirtaiset muuntajat ovat nykyään jatkuvassa öljyn vikakaasupitoisuuksien valvonnassa, sillä kaasuista saadaan hälytykset laiteviasta ja kaasupitoisuuden ylityksestä, josta voidaan ennakoida muuntajan vikojen syntyminen ja minimoida lisävauriot. (Elovaara & Haarala 2011b, 146–147.)

Paikalleen pysyväksi suunniteltu muuntamo rakennetaan omaan kosteudelta, pölyltä ja räjähdyspaineilta suojattuun tilaansa. Tämän suunnittelun ansiosta muuntajia voidaan käyttää sähkönjakelussa normaalisti käytössä olevia laitteita. Siirrettäväksi tarkoitettu muuntamo tarvitsee suhteellisen pienen tilan, mikä on kaivoskäytössä erinomainen asia. (Niskanen, Mäkeläinen, Schadt & Koistinen 2015, 253.)

Muuntajille on IEC 60076–standardi. CENELEC on vahvistanut standardin muokkaamalla sitä omaksi harmonisointidokumentikseen HD 398. Suomen kansallinen standardi SFS 6001 suurjännitesähköasennuksista ja ilmajohdoista sisältää muuntajien käyttöön liittyvät standardit. (ABB TTT-käsikirja 2000-07, 1.)

Muuntajat suojataan yleensä isoimmilta vaurioilta. Suojaustapaan vaikuttaa muuntajan koko. Kalleimmat muuntajat suojataan yleensä täydellisimmin. Muuntajan suojaukseen käytetään releitä. Käytettävät releitä ovat sähköisiä ja ei-sähköisiä. Ei-sähköisiä suojareleitä ja suoja ovat kaasurele, virtausrele, ylipaineventtiili, käämin lämpötilakuvaaja ja öljyn lämpörele. Kaasurele aiheuttaa laukaisun, kun muuntajan öljystä kehittynyt kaasu kerääntyy releeseen ja saavuttaa hälytyksen ja laukaisun. Virtausrele on käämikytkimen suojalaite, joka laukaisee muuntajan irti verkosta, jos käämikytkimen kytkentä epäonnistuu. Epäonnistumisen seurauksena syntyy valokaari, joka luo paineen ja aiheuttaa öljyn liikkeen paisuntasäiliöön. Syntyvä paine aiheuttaa virtausreleen toiminnan. Ylipaineventtiili estää käämikytkimen räjähdysten. Käämin lämpötilan kuvaaja mittaa käämejä ympäröivää öljyn lämpötilaa. Öljyn lämpörele on koskettiminen mittari, joka mittaa vain öljyn lämpötilaa. Muuntajan suojauksessa käytettäviä sähköisiä suojareleitä ovat differentiaalirele, ylivirtarele ja nollavirtarele. Differentiaalirele on muuntajan suojauksen pääsuojarele, joka mittaa muuntajan

tulevia ja lähteviä virtoja. Jos virtojen ero ylittää asetteluarvot, rele lähettää laukaisukäskyn. Ylivirtarele toimii varasuojana, jonka pääasiallinen tehtävä on toimia kisko- ja johto-oikosulussa. Rele on varustettu pikalaukaisulla. Nollavirtareleen tehtävänä on toimia muuntajan varasuojana ja osallistua sellaisena myös johto- ja kiskosuojaukseen. (Elovaara & Haarala 2011b, 378-380.)

3.2.2 Erottimet, katkaisijat

Erotinta ei ole tarkoitettu kuormitetun virtapiirin sulkemiseen tai avaamiseen, pois lukien kuormaerotin. Erottimen tehtävänä on muodostaa turvallinen avausväli erotettavan virtapiirin ja muun laitoksen välille sekä saada laitoksen osa jännitteettömäksi turvallista työskentelyä varten. Erottimen on kuitenkin kyettävä kiinniasennossa kestäämään piirissä esiintyvät kuormitusvirrat sekä oikosulkuvirrat. Erottimen avausvälin on oltava näkyvä tai se on varustettava mekaanisella ilmaisimella. Lisäksi erotin on voitava lukita auki- sekä kiinniasentoon, jolla estetään erottimen vaaraa aiheuttava käyttö. (Elovaara & Haarala 2011b, 190.)

Kaikille erotintyypeille on hyvä tehdä huolto noin viiden vuoden välein. Tärkeimpinä toimenpiteinä huollossa pidetään virtateiden puhdistamista ja ohjaimen huoltoa sekä koestusta. Viiden vuoden välein ajoitettua huoltoa voidaan perustella, koska tällä huoltovälillä mahdolliseen korroosion aiheuttamaan kangistumiseen pystytään reagoimaan nopeammin ja ylläpitämään erottimen kuntoa paremmin. (Vainio 2017, 54.)

Katkaisijat ovat sähköjakeluverkon laitteita, jonka käyttötarkoitus on virtapiirin avaaminen tai sulkeminen. Katkaisija pystyy vaurioitumatta aukaisemaan ja sulkemaan oikosulkupiirin, jonka virta on moninkertainen nimellisvirtaan nähden. Katkaisijan toiminta voidaan ohjata joko käsin tai automaattisesti. (Elovaara & Haarala 2011b, 162–163.)

3.2.3 Virtamuuntajat ja jännitemuuntajat

Virtamuuntajia ja jännitemuuntajia kutsutaan yleisesti nimellä mittamuuntajat. Mittamuuntajien tarkoitus on erottaa mittauspiiri galvaanisesti suurjännitteisestä päävirtapiiristä, muuttaa mitta-alaa ja samalla mahdollistaa mitta- ja suojalaitteiden standardointi tiettyihin mitoitusarvoihin. Mittamuuntajien tehtävänä on myös tehdä mittauspiiri turvalliseksi ylläpitäjän kannalta. Lisäksi mittamuuntajien tehtävänä on suojella mittareita ylikuormituksilta sekä tehdä mahdolliseksi mittareiden ja releiden sijoitus etäälle varsinaisesta mittauspaikasta. Mittamuuntajat voivat olla induktiivisia ja kapasitiivisia. Jännitemittaukseen käytetään kapasitiivisia mittamuuntajia. Virtamuuntajat on tavallisesti induktiivisia. (Elovaara & Haarala 2011b, 198.)

Virtamuuntajien rakenteelle on ominaista, että samassa virtamuuntajassa voi olla monta erilaista sydäntä. Tämä mahdollistaa sen, että suojaus- ja mittaustarkoituksia varten ei tarvita erillisiä virtamuuntajia. Tähän riittää pelkästään erilaiset sydämet. Eri virtamuuntajasydämet eivät häiritse toisiaan. Ulkokäyttöiset virtamuuntajat on yleensä täytetty öljyllä tai SF_6 -kaasulla ja ovat hermeettisesti suljettuja. Ulkoisen eristyksen muodostaa posliinikuori tai silikonikumipäälysteinen komposiittikuori, joka ei räjähdä virtamuuntajan sisäisessä viassa sirpaleiksi. Jännitemuuntaja on tavallisesti rakennettu yksivaiheiseksi, ja ne ovat toimintaperiaatteeltaan joko induktiivisia tai kapasitiivisia. Induktiivisia jännitemuuntajia käytetään, kun käyttöjännite on ≤ 245 kV. Suuremmilla jännitteillä käytetään yleensä kapasitiivista, koska se on edullisempi. Kapasitiivinen jännitemuuntaja koostuu kapasitiivisesta jännitteenjakajasta ja induktiivisesta jännitemuuntajasta. Induktiiviseen jännitemuuntajaan kuuluu myös kompensoimiskeloja. Ulkokuoren likaantuessa voi kosteissa olosuhteissa kuorella alkaa kulkea vuotovirtoja. Induktiivisen jännitemuuntajan rakenteen periaate on samankaltainen magneettisen virtamuuntajan kanssa. Jännitemuuntajien eristeenä käytetään öljyä, SF_6 -kaasua ja valuhartsieristettä. (Elovaara & Haarala 2011b, 217–218.)

IEC-standardissa 60044-1 on esitetty virtamuuntajien ominaisuudet. Virtamuuntajat jaetaan standardissa kahteen eri luokkaan. Mittaustarkoituksiin

valmistettuihin virtamuuntajiin ja suojaustarkoituksiin valmistettuihin virtamuuntajiin. Suojaustarkoitukseen valmistettujen virtamuuntajien kohdalla mainitaan erikoisluokka PR. PR-luokan virtamuuntajien sydämeen jäävä remanenssi on tavanomaista pienempi kolmen minuutin kuluttua siitä, kun virtamuuntajan kyllästystilaan ajanut ensiövirta on lakannut vaikuttamasta. PR-luokan virtamuuntajille voidaan spesifioida arvot toisiopiirin aikavakiolle ja käämin enimmäisresistanssille. PX-suojausvirtamuuntajan tunnusomainen piirre on pieni oikosulkureaktanssi. Sekä suojaus- että mittaustarkoituksiin valmistetuille virtamuuntajille on määritelty virtavirhe ja kulmavirhe. Virtavirheellä tarkoitetaan toisiovirran poikkeamaa ideaaliarvosta, kun tyhjäkäyntivirtaa ei ole. Kulmavirhe tarkoittaa ensiö- ja toisiovirtojen osoittimien välistä kulmaeroa ja se on määritelty positiiviseksi, kun toisiovirran osoitin on ensiövirran edellä. Taakka tarkoittaa virtamuuntajilla toisiopiirin impedanssia ja sen tehokerrointa. Taakka ilmoitetaan yleensä näennäistehona. Virtamuuntajan virtavirhe ei kasva liian suureksi, kun se toimii mitoitustaakallaan.

(Elovaara & Haarala 2011b, 198–199.)

Suojaukseen käytettävältä virtamuuntajalta määritellään mitoitustarkkuusrajavirta. Mitoitustarkkuusrajavirta on ensiövirran arvo, jolla virtamuuntaja pysyy vielä yhdistetylle virheelle asetettujen vaatimusten rajoissa. (Elovaara & Haarala 2011b, 201.)

Jännitemuuntajan ominaisuuksille asetetut vaatimukset on esitetty IEC-standardissa 60044-2 sekä IEC:n teknillisessä spesifikaatiossa 60044-5. Jännitemuuntajat jaetaan virtamuuntajien tapaan mittaukseen ja suojaukseen. Kaikille jännitemuuntajille on määritetty jännitevirhe ja kulmavirhe. Jännitevirhe on laskennallinen arvo. Kulmavirhe määritetään analogisesti virtamuuntajien kanssa ensiö- ja toisiojännitteiden osoittimien väliseksi kulmaeroksi. Mitoitusjännitekerroin ilmoittaa suurimman mahdollisen käyttötaajuuden ensiöjännitteen, jonka jännitemuuntaja kestää termisesti tietyn ajan. Suojaukseen käytettäviltä jännitemuuntajilta edellytetään, että ne pysyvät tarkkuusluokassaan mitoitusjännitekertoimen edellyttämään jännitteeseen asti. Verkon maadoitustapa ja muuntajan ensiökäämien kytkentä verkkoon vaikuttavat

mitoitusjännitekertoimeen. Mitoitusjännite on IEC:n mukaan valittava verkon nimellisjännitteen mukaiseksi. (Elovaara & Haarala 2011b, 215–216.)

3.2.4 Rakenteet ja relerakennus

Yli 1 kV:n vaihtojännitteisten asennusten suunnittelua ja rakentamista koskee standardi SFS-6001. Tukirakenteiden ja laitteiden perustuksineen on kestettävä ennakoitavissa olevat mekaaniset rasitukset. Kaksi huomioitavaa kuormitustapausta ovat normaalikuormitus ja poikkeuksellinen kuormitus. Tapauksissa on tutkittava useampia kuormitusyhdistelmiä ja epäedullisinta sovelletaan rakenteiden mekaanisen lujuuden määrittämiseen. Normaalikuormituksessa tulee ottaa huomioon oman painon aiheuttama kuormitus, vetokuorma, asennuskuorma, jääkuorma ja tuulikuorma. Rakennusvaiheessa tai kunnossapidossa syntyvät tilapäiset kuormat on myös otettava huomioon. Poikkeuksellisissa kuormitustapauksissa on otettava huomioon normaalikuormituksessa esiintyvät oman painon aiheuttama kuorma ja vetokuorma. Suurimman tilapäisen kuormituksen aiheuttavat kytkentävoimat, oikosulkuvoimat, johtimen katkeamiset ja seismiset kuormitukset. Ulkotiloissa tulee ottaa huomioon ilman lämpötila, joka on enintään 40°C, eikä sen keskiarvo ylitä 24 tunnin ajanjaksolla 35°C. Suomessa voi myös tarvita luokkaa -50°C. Alle -5°C lämpötilassa käytettävistä laitteista tulee toimittajan ja käyttäjän sopia erikseen. (Elovaara & Haarala 2011b, 76; SFS-Käsikirja 601, 2015, 34-37.)

Sähköaseman kojeiden teräsrakenteet yhdistetään maadoitusjohtimilla maadoitusverkkoon. Katkaisijoiden ja erottimien betoniperustusten alle asennetaan maadoitusverkko, joka on kuparilangasta valmistettu. Sen tarkoitus on parantaa maadoitusta sekä saada ohjattua vikavirta betoniperustuksen ohi. Johtimiin tulee 100 mm:n lenkki, joka tehdään maanpinnan alapuolelle enintään 0,5 metrin syvyyteen. Maadoitusjohtimet kiinnitetään terästeliniisiin kahdesta kohdasta, kummaltakin puolelta telinettä. Maadoitusjohdin mitoitetaan siten että, sen poikkipinta-ala on vähintään puolet maadoituselektrodin poikkipinta-alasta (Nasi 2011, 52.)

3.3 20 kV ja 10 kV avojohtojakelu

PAS-kaapeli tarkoittaa päällystettyä avojohtoa. Sen vaihejohtimen ympärillä on ohut muovieriste, jonka vuoksi johtimien yhteen lyönnit eivät aiheuta käyttöhäiriöitä eivätkä johdinvarioita. PAS-kaapelin hyötynä on kapeampi johtokatu. Boliden Kevitsa käyttää PAS-kaapelia sen paremman käyttövarmuuden vuoksi. Olosuhteet kaivoksen sähkönsyötössä ovat kaapelille todella vaativat. (Elovaara & Haarala 2011b, 286, 287.)

3.3.1 20 kV ja 10 kV kaapelijakelu

Maakaapeli on johdinrakennelma, jonka vaippa on rakennettu kestävästi kosteutta, korroosiota ja mekaanista rasitusta. Vaipan sisällä on yksi tai useampia toisistaan eristettyjä sähköenergian siirtoon tarkoitettuja johtimia. Maakaapelointi on avojohtolinjaan verrattuna kalliimpi siirtotapa, koska maakaapeloinnissa kaapelien kulkureittien kaivaminen maksaa enemmän. Suurjännitteisen vaihtosähkökaapelin pituuden ylärajan asettaa kaapelin varausvirta. Maakaapeloinnin etuja avojohtoihin verrattuna ovat pieni tilantarve, jännitteisten osien kosketussuojaus ja vähempi alttius sään vaikutuksille. Haittoja maakaapeloinnissa ovat korkea hinta, huonommat jäähdytysominaisuudet, alttius vahingoittumiselle kaivuutöissä, maa-alueiden käytön rajoittaminen muulle toiminnalle, pitkä korjausaika ja vaikeampi vianpaikannus. (Elovaara & Haarala. 2011b, 303–305.)

Kaapeli rakentuu johtimesta tai johtimista, johdinsuojasta, johdineristyksestä, hohtosuojasta, kosketussuojasta sekä ulkoisista suojakerroksista. Kaapelien johtimet ovat yleensä kuparia tai alumiinia. Johdinsuoja on johtimen pinnalla tarkoituksenaan poistaa johtimen pinnan epätasaisuuksia ja pienentää johdinlankojen aiheuttamia kentänvoimakkuushuippuja. Johdinsuoja valmistetaan puolijohtavasta materiaalista. Johdineristys on johdinsuojan päällä hohtosuojaan saakka ulottuva eristys, jonka tehtävä on siirtää johtimessa ja johdineristyksessä syntyvät lämpöhäviöt riittävän tehokkaasti pois kaapelista. Hohtosuojan tehtävä on johdinsuojan kanssa rajata johtimen aiheuttama sähkökenttä kahden sylinteripinnan väliin. Hohtosuoja valmistetaan johtavista

metallinauhoista. Kosketussuojan tehtävä on toimia varaus- ja vikavirtojen kulkutienä, häiriösuojana ja turvallisuuslaitteena. Tämän vuoksi se on aina valmistettu metallista. Kosketussuojan rakenteisiin vaikuttaa kaapelityyppi ja käyttötarkoitus. Ulkoinen suojakerros, kuten välivaipat, ulkovaipat, korroosiosuoja ja armeeraus, vaihtelevat myös kaapelityypin ja käyttötarkoituksen mukaan. Ulkovaipat voivat olla metallia, muovia tai kumia. Välivaippoja on muovikaapeleissa yhteenkerrattujen johtimien mekaanisena suojana. Lyijyvaippaa käytetään kosteuden eristämiseen erityisesti paperieristeisissä kaapeleissa. Armeerausta käytetään yleensä vain meri- ja kaivoskaapeleissa. Armeeraukseen käytetään bitumoitua tai sinkittyä terästä. (Elovaara & Haarala 2011b, 307–312.)

3.3.2 20 kV ja 10 kV kojeistot

Kojeisto tarkoittaa kokonaisuutta, jossa on kytkentä-, suojaus-, ohjaus- ja valvontalaitteet. Suurjännitekojeistot jaetaan ulko- ja sisäkojeistoihin sekä avorakenteisiin ja koteloituihin kojeistoihin. Eristeenä käytettävä aine määrittelee myös kojeistorakenteita. Tässä työssä tarkasteltavat kojeistot ovat kaikki sisäkojeistoja, jotka ovat koteloituja SF₆-eristeisiä kojeistoja. SF₆ eli rikkiheksafluoridi on eristekaasu, joka on ratkaissut kojeistojen tilantarve ongelman. SF₆-kaasun jännitelujuus on 2,5 kertaa ilmaa parempi lisäksi, kaasulla on hyvät valokaaren sammutusominaisuudet. Sähkönlujuusominaisuudet perustuvat SF₆-molekyylin kemialliseen rakenteeseen, sen raskauteen ja fluorimolekyylin elektronegatiivisuuteen, joka tarkoittaa kykyä sitoa vapaita elektroneja. Vapaat elektronit ovat välttämättömiä läpilyönneissä. Kaasunpaine pidetään normaalia ilmakehän painetta korkeampana, mikä kasvattaa jännitelujuutta. Painealue vaihtelee välillä 0,15-0,6 MPa. SF₆-kaasu on ominaisuuksiltaan myrkytöntä, väritöntä, hajutonta ja palamatonta. Se on kuitenkin voimakas kasvihuonekaasu, minkä vuoksi sen käyttöä kontrolloidaan tarkasti. Kaasuvuodon seurauksena SF₆-kaasu syrjäyttää hapen ja voi aiheuttaa tukehtumisvaaran, jos tuuletusta ei ole järjestetty. (Elovaara & Haarala 2011b, 50–53, 117.)

Kaasueristettyjen kojeistojen suurin hyöty on suuri tilansäästö. Kaasueristettyjen kojeistojen hinta on Suomessa korkea, koska niiden ympärille joudutaan rakentamaan lämmitetty rakennus. Sisäasennuskojeistoille on standardissa määritetty asennusolosuhteet. Sisälämpötila ei saa ylittää 40°C. Käyttölämpötilalle on kolme eri luokkaa ja se ei saa olla alle -5°C, -15°C tai -25°C. SF₆-kaasu nesteytyy alhaisessa lämpötilassa ja suuressa paineessa. Tästä syystä Suomessa SF₆-kaasukojeistot on rakennettava lämmitettyihin tiloihin. Tehdasvalmisteisia sisäkojeistoja on käytetty Suomessa jo varsin pitkään, kun käyttöön sopiva kojeisto löytyy valmistajalta suoraan. (Elovaara & Haarala 2011b, 52, 120, 124.)

4 TARKASTUSTEN TEKEMINEN KÄYTÄNNÖSSÄ

Ennakkohuollon tarkoitus on ennen kaikkea pitää sähkölaitteisto vaatimusten mukaisena sekä varmistaa laitteistolle korkea käytettävyyssaste. Selkeä huolto-ohjelma ennakkohuoltoineen parantaa myös työturvallisuutta. Toteutuksen onnistuminen riippuu hyvin pitkälti suunnittelun onnistumisesta ja henkilöstön motivoinnista. Ennakkohuoltotyöt voivat toistua samankaltaisina, ja tämä voi helpottaa koordinoimaan henkilöstöä eri suoritustarkkuutta vaativiin töihin. Pitkäaikaiset ennakkohuoltotyöt osoittavat minkälaisiin, tehtäviin eri henkilöt soveltuvat parhaiten. Häiriöaikojen minimoimiseksi joudutaan sähkölaitteiden ja järjestelmien koulutukseen käyttämään paljon aikaa. Koulutus tulee antaa sekä käyttö- että kunnossapitohenkilöstölle. Koulutuksen laajuuden ja yksityiskohtaisuuden määrittää laitteen tai järjestelmän vaikutus tuotantoon. Kuitenkaan kaikkien laitteiden asiantuntijoita ei yksittäiselle teollisuuslaitokselle voi kouluttaa. (Etto 1998a, 13–14.)

4.1 110 kV suurjännitelinja

Boliden Kevitsan sähkön syöttö tulee Fingrid Oy:n Vajukosken sähköasemalta. Syöttö tulee sähköaseman kentästä AE07 maakaapelilla REKA AHXCHBMK-W 3x1x1200/35, Kevitsan avojohdon päätepylväälle, tästä syöttö jatkuu 110 kV 2x3 Duck avojohdolla 5,8 km ja päättyy Kevitsan kaivoksen 110 kV kytkinkentälle. Keskimääräinen tehonkulutus linjassa on noin 43-50 MW. (Boliden Kevitsa 2018)

110 kV avojohtolinjaosuudella pylväitä on 30 kpl. Pylvästyyppeinä on käytetty harustettua puu- ja teräspylvästä. Linjan on rakentanut Empower. Sähkönsiirto linjalla on aloitettu 8.12.2011. Boliden Kevitsa kuuluu sähkön käyttöluokkaan 2c. (Boliden Kevitsa 2018.)

Linjan kunnossapidossa noudatetaan Suomen sähköturvallisuuslakia. Fingrid Oy:n ohjeita sovelletaan kokonaisuudessaan soveltuvin osin. (Boliden Kevitsa 2018.)

Tarkistuksista tehdään aina pöytäkirja. Tarkistuspöytäkirja tulee säilyttää seuraavaan tarkistukseen asti, koska ne pitää voida esittää viranomaiselle

tarvittaessa. 110 kV avojohtolinjan määräaikaistarkastusta suoritettaessa kiinnitetään huomiota seuraaviin asioihin:

- johtotien kasvillisuus ja reunapuut
- maadoitusjohtimien ja –liitosten kunto
- perusteiden asennot ja kunto
- vieraat esineet, säiekatkeamat, johtimien kunto
- eristimien kunto ja likaisuus, eristinvarusteiden kunto
- harusten kireys ja kunto
- pylväiden kunto.

(Ojakaski & Puranen 2011, 38.)

Linjalle voidaan tehdä käytön aikana jännitettä katkaisematta joitakin töitä. Tällaisia töitä ovat muun muassa haruksiin liittyvät työt, varoituskylttien vaihto, pienet perustusten korjaukset ja maadoitustyöt. (Ojakaski & Puranen 2011, 51.)

Kevitsaan tulevan 110 kV ilmalinjan lyhyt matka ja leveä johtokatu tekevät verkosta vakaamman. Pitkillä matkoilla puuston aiheuttamatta riskit kasvavat ja vaikuttavat näin linjan käyttövarmuuteen. Linja on kaivoksen toiminnalle kriittinen, minkä takia kunnossapito on tärkeä osa linjan kunnan varmistamiseksi. (Boliden Kevitsa 2018.)

4.1.1 Pylväät, maadoitukset, merkinnät

Avojohtolinjalla pylväitä on 30 kpl, pylvästyypiltään harustettuja puu ja putkipylväitä. Pylväille suoritettavassa kuntotarkastuksessa kuntotarkastaja arvioi jalkojen kunnan ja merkkää ne ylös. Suoritettaviin kuntotarkastuksiin kuuluu myös maadoitusjohtimien ja liitosten kunto, teräsosien ruostuminen, pylväiden kunto havainnot tikkajäljistä ja muurahaisista, harusten kireys ja kunto, peruspilarien asennot ja kunto, johtotien kasvillisuus ja reunapuut. (Vanha 2012, 25.)

Maadoitusmittaus tehdään siten että, ukkosjohtimet eristetään pylväsrakenteesta tai maadoitusjohtimet irrotetaan elektrodista ja eristetään harukset. Mittaus

tehdään joko jokaiselta pylväältä tai vain joka toiselta. (Ojakaski & Puranen 2011, 45.)

Boliden Kevitsan maadoituksen jatkuvuus mitataan 12 vuoden välein. Edellisen kerran 110 kV avojohtolinjan pylvää on tarkastettu 3.5.2016 tarkistuksen. Suoritti Empower Oy, ja korjaukset suoritettiin Eltel Networks Pohjoinen Oy:n toimesta 28.9-29.9.2016. (Boliden Kevitsa 2018.)

4.2 110 kV kytkinkenttä

Boliden Kevitsan 110 kV kytkinkenttä on VEO:n valmistama. Sähköasemalla seurataan vahinkojen välttämiseksi laitteiden mahdollisia öljyvuotoja, lukituksia, asennonosoituksia ja toimintakertoja. Silmämääräisen tarkkailun lisäksi kunnossapitotoimenpiteitä ovat erilaiset mittaukset. Huollon tarkoitus on pitää yllä käyttöominaisuuksia, palauttaa heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä ja estää vaurion syntyminen. Tässä tapauksessa aseman tarkoitus on pelkästään toimia verkoston kytkentä- ja muuntoasemana. Kytkinkenttä on yksikiskoinen, mikä tekee järjestelmästä selväpiirteisen, mutta ominaisuuksiltaan rajoitetun. Huollon mahdollisuudet on rajoitettu. Huoltotoimenpiteen kesto määrittää samalla katkon keston, myös kiskostovika aiheuttaa katkon sähkönjakelussa. (Takala 2009, 9.)

110 kV kytkinkentän turvallisuuden kannalta on tärkeä ylläpitää kentän ulkoaidan ehjyyttä. Aidassa ei saa olla yli 0,1 metrin aukkoja ja aidan yläreunan on yletyttävä vähintään 2,0 metrin korkeudelle maanpinnasta. Aidan ulkopuolelle ei saa välittömään läheisyyteen varastoida tavaraa, sekä porttien ehjyys tulee varmistaa. Aitaan pitää merkitä hengenvaara-kilvet noin 10 metrin välein joka sivulla. (Isaksson 2011, 4.)

Liittimille ja kiskostolle ei voida tehdä varsinaista kunnossapitoa. Kuitenkin asematarkastuksen yhteydessä kiskosto on hyvä lämpökuvata vuosittain. Tällöin mahdolliset huonot liitokset löytyvät jo varhaisessa vaiheessa. Huonon liitoksen löydyttyä liitos avataan, kosketuspinnat puhdistetaan ja voidellaan johtavalla rasvalla sekä kiristetään takaisin valmistajan ilmoittamaan momenttiin. Mahdollinen ongelma kentällä on liitosten ylimenovastuksen kasvaminen, josta

syntyy lämpenemistä. Mekaanisia ongelmia aiheuttavat liian suuri kiristysmomentti sekä materiaalin väsyminen. 110 kV kytkinkentälle tehtäviin tarkastuksiin kuuluvat myös

- muuntajien silmämääräinen tarkastus
- paloilmoitinjärjestelmän tarkastus
- hälytysjärjestelmän tarkastus
- suojausten releindikointien kuittaus
- asemarakennuksen kunto
- tasa- ja vaihtosuuntaaja; tarkistetaan toiminnot ja kuunnellaan äänet lähietäisyydeltä.
- tasa- ja vaihtosähkökeskusten silmämääräinen tarkastus, maavuotojännitteen tarkastus keskukselta, jos jännitettä löydetään kirjataan se ylös. Etsitään maavuodon aiheuttaja.
- kaapelipäätteiden ja ylijännitesuojien kilvet, maadoitukset, puhtaus ja kunto
- tarkista ilmankuivaimen kunto, silikageelipselin vaihto kun $\frac{3}{4}$ kostunut
- suoja-altaan tarkastus ja vesitys jos öljyä ei vesitetä, vaan öljy poistetaan ensin, jos öljyä suuri määrä selvitetään ja vesimäärä mitataan, kaivoa vesitettäessä tulee muistaa valvonta, myös vesitysreitien puhtaus ja kunto tarkistetaan.

(Poikela 2018)

4.2.1 Päämuuntajat, erottimet, katkaisijat

Muuntajan huollossa suoritettavat toimenpiteet ovat seuraavat:

- Muuntajan öljysäiliön öljynmäärä ja lämpötila tarkistetaan, ja öljyä lisätään tarvittaessa.
- Muuntajan suojalaitteiden toiminta koestetaan.
- Muuntajatilan kosteudenesto, patruunat tarkistetaan ja vaihdetaan tarvittaessa uusiin.
- Muuntajatilasta poistetaan sinne kuulumattomat esineet.
- Vuosittainen öljynäytteen ottaminen. (Etto 1998b, 7-8; Koivula 2018; Poikela 2018. Isaksson 2011, 9.)

Boliden Kevitsan päämuuntajina toimii kaksi CHINTin valmistamaa muuntajaa, jotka ovat molemmat kolmikäämimuuntajia ja teholtaan 90 MVA. Muuntajien kytkentäryhmä on YNd11yn0, joka tarkoittaa että muuntajien ensiöpuoli on siis tähdessä ja toisiopuolen kääminnöistä 10 kV kojeistoa syöttävä osa on tähdessä ja 20 kV kojeistoa syöttävä osa kolmiossa. (Boliden Kevitsa 2018.)

Päämuuntajan kunto tulee arvioida, jotta varmistutaan sähkönsyötön jatkuvuudesta. Muuntajan käytönaikaisella kunnonvalvonnalla pyritään estämään muuntajavikojen tapahtuminen yleisimpiä. Vikakohteita muuntajissa on käämitys, käämikytkin ja kiskosilta. Käämityksen viat johtuvat yleensä kierrossulusta, salamasta ja/tai kosteudesta. Muuntajan kunnonvalvonnan osalualueita ovat määräväleihin tehtävät syvällisemmät tarkastukset. Näitä ovat muuntajaöljyn tutkiminen, kiinteiden eristeiden tutkiminen, ja sähköiset mittaukset. Muuntajan öljystä otetaan öljynäyte, joka analysoidaan. Öljynäytteestä nähdään kaasupitoisuudet, joista tärkein pitoisuus on asetyleenin määrä. Asetyleenin määrä kertoo onko, muuntajassa tapahtunut valokaaria. (Etto 1998b, 7–8; Isaksson 2011, 9; Koivula 2018; Poikela 2018.)

Muuntajille on suoritettu käämikytkimien ja ohjaimien tarkastus sekä öljynäytteen analysointi ABB:n toimesta 4.10.2017. Muuntajat olivat tarkastuksissa kunnossa. Molempiin muuntajiin vaihdettiin käämikytkimenkansitiiviste sekä rasvattiin tehokytkimen puoleinen kulmavaihte. Öljynäytteet on analysoitu ABB:n toimesta 13.10.2017. Näytteissä olleet mitta-arvot olivat normaalit, joten muuntajille jatketaan normaalilla 1-vuoden tarkastusvälillä. (Boliden Kevitsa 2018.)

Boliden Kevitsan 110 kV kytkinkentän erotin on kiertoerotin. Kiertoerotin on vaakatasossa liikkuva erotinmalli. Kiertoerotin on yleinen erotinmalli, joka sopii kun tarvitaan erityisesti erottimien rinnankäyttöä. Erottimien huollossa tehdään seuraavat asiat:

- päävirtapiirien ylimenovastusmittaukset ennen huoltoa
- pääkoskettimien kunnon tarkastus
- pääkoskettimien puhdistus
- kosketinsäädön tarkastus ja voitelu

- päävirtapiirin liitântälaakerin tarkastus
- suurjänniteliitântöjen tarkastus
- kosketinvarsiensa asennon tarkastus kiinniasennossa
- ohjausvivuston ja laakerien voitelu
- kiertoeristimien puhdistus ja tarkastus
- päävirtapiirien ylimenovastus mitataan ennen ja jälkeen huollon vertailuarvon saamiseksi. (Poikela 2018.)

Käsiohjaimen huollossa käydään läpi seuraavat asiat: ohjaimen toiminnan tarkastus, apukoskettimien toiminnan tarkastus, lukituksen toiminnan tarkastus, kuivausvastuksen toiminnan tarkastus, vivustojen ja laakerien puhdistus ja voitelu, riviliittimien ja johdinliitosten tarkastus sekä ohjauskotelon tiivisteiden ja merkintöjen tarkastus. Huollon jälkeen ohjaimen toiminta kokeillaan ja varmistetaan. (Poikela 2018.)

Moottoriohjaimen huollossa läpikäytävät asiat:

- moottoriohjaimen toiminnan tarkastus
- apukoskettimien toiminnan tarkastus
- lukituksen toiminnan tarkastus
- kuivausvastuksen toiminnan tarkastus
- vivustojen ja laakerien puhdistus ja voitelu
- riviliittimien ja johdinliitosten tarkastus
- moottorin virtamittaus kiinni-/auki ohjauksessa
- moottorisuojakytkimen toiminnan tarkastus
- rajakytkimien toiminnan tarkastus
- mato- ja hammaspyörästä puhdistus ja rasvaus
- kiinni-/ auki ohjausten kokeilu ja hälytysten testaus. (Poikela 2018.)

Boliden Kevitsan kaikki suurjännite katkaisijat ovat SF₆-kaasukatkaisijoita. Rikkiheksafluoridia SF₆ käytetään katkaisijoissa valokaaren sammutukseen. SF₆ on elektronegatiivinen kaasu, jonka dielektrinen kestoisuus ilmanpaineessa on noin kolme kertaa suurempi kuin ilman. SF₆-kaasun osalta on huomioitava seuraavat standardit: SFS-EN 60480 jossa on määräykset kojeistossa olevalle kaasulle, SFS-EN 60376 joka määrittää vaatimukset uudelle kaasulle. Suomessa

on myös SLY:n julkaisema SF₆-kaasun turvaohje. Kaasun käsittelijällä on oltava F-kaasujen käsittelypätevyys. Vaadittava paine kaasutilassa ennen avaamista on GIS < 1mbar, AIS < 10mbar. SF₆ kaasukatkaisijoiden huollossa tärkeää on varmistaa katkaisijassa oleva kaasunpaine ja sen pysyvyys. (ABB TTT-käsikirja 2000-07.)

Katkaisijoille tyypillisin perushuolto on silmämääräinen tarkastus, jonka tavoite on varmistua laitteen toimintakunnosta. Toimintakuntoon vaikuttavat erityisesti katkaisijan puhtaus ja eheys. Samalla tarkastetaan katkaisijan indikoinnit sekä toimintalaskurin lukemat, jos ne ovat saatavissa. Keskimääräinen huoltoväli teollisuuden katkaisijoille on 5 vuotta, jonka yhteydessä katkaisijalle suoritetaan ohjainlaitihuolto. Katkaisijalle tehdään myös avaava huolto sen eliniän puolessavälissä. Katkaisijan kuntoa voidaan seurata SF₆-kaasunpaineen erilaisilla mittauksilla, ylimenovastusmittauksella, toiminta-ajan mittaamisella, magneettien toiminnan mittaamisella, kiinnilyöntijousien viritysmoottorin mittaamisella. Lisäksi kuntoa seurataan asennon osoituksen paikallis- ja kaukotason, sekä hälytyksien paikallistason tarkistamisella. (Etto 1998b, 9–10; Mäkelä 2017, 54–55.)

Boliden Kevitsan 110 kV SF₆ katkaisija on viimeksi huollettu 4.10.2017, jolloin katkaisijan kaasunpainetta on nostettu 0,627MPa:sta 0,662MPa:iin. Tarkastuksessa kojeisto on todettu hyväkuntoiseksi. Tarkistuksen ja huollon on suorittanut ABB. (Boliden Kevitsa 2018.)

4.2.2 Virtamuuntajat ja jännitemuuntajat

110 kV kytkinkentällä olevat virtamuuntajat on sijoitettu ulkotiloihin. Virtamuuntajissa käytettävät merkinnät ovat P1, ensiökäämi ja S1, toisiokäämi. Virtamuuntajan toisiopiiriä ei saa koskaan avata eikä sinne saa myöskään asentaa minkäänlaisia varokkeita, koska jännite voi nousta todella korkeaksi, ihmiselle ja laitteelle vaaralliseksi. (Elovaara & Haarala. 2011b, 214.)

Jännitemuuntajat sijaitsevat 110 kV kentällä virtamuuntajien tapaan ulkotiloissa. Jännitemuuntajat valmistetaan yksivaiheisiksi. Sitä käytetään jännitteen

mittaamiseen. Sillä voidaan myös mitata maasulku. Jännitemuuntaja voidaan tarpeen vaatiessa varustaa ensiösulakkeilla. (Elovaara & Haarala 2011b, 220.)

Mittamuuntajien koestusvaatimukset poikkeavat jonkun verran muista laitteista, koska mittamuuntajissa joudutaan käyttämään vaurioituvia eristeitä. Mittamuuntajat huolletaan jännitteettömänä ja työmaadoitettuna. Huollossa suoritetaan seuraavat asiat:

- napaisuuden tarkastus
- ensiökäämin vaihtojännitekoe
- toisiökäämin vaihtojännitekoe
- ensiökäämin häviökulman mittaus
- osittaispurkausmittaus (virtamuuntajille)
- virhemittaus, jolla todetaan muuntajan täyttävän standardien vaatimukset.
- silmämääräinen tarkastus halkeamien varalta
- arvokilpien tarkistus

Mittamuuntajien ulkokuori puhdistetaan pölystä ja liasta huolellisesti. (Elovaara & Haarala 2011b, 224.)

4.2.3 Rakenteet ja relerakennus

Relerakennuksen ensiapu-, suoja- ja turvavälineiden kunto tulee tarkistaa säännöllisesti tarkistamalla, että paikalta löytyy ensiapukaappi perustarpeineen. Samalla tarkistetaan, että välineet ei ole vanhentuneita ja niiden ohjeistus on ajantasainen. Yleinen järjestys ja siisteys kuuluvat, myös relerakennukselle suoritettavien tarkistusten joukkoon. Tarkastuksen yhteydessä kiinnitetään huomiota vesivuotoihin, halkeamiin, rapautumiin, lämmityspattereihin, termostaatteihin. Lisäksi tehdään hälytystaulun tarkistus. Talvella lumitöiden tekeminen kuuluu kunnossapitoon, jotta relerakennukseen on aina esteetön pääsy. (Isaksson 2011, 5, 19.)

Kevitsassa olevat suojareleet ovat digitaalisia releitä, jotka tulee kojeistaa vähintään 5 vuoden välein (TUKES). Releille suoritetaan määräaikaistarkastuksia sekä suojausta tarkkaillaan käyttötoiminnan osana.

Mahdolliset esiintyneet viat korjataan ja niiden syyt selvitetään mahdollisimman tarkasti. Releille suoritetaan myös silmämääräisiä tarkastuksia, joiden tarkoitus on seurata mekaanisten vaurioiden, hapettumisen tai syöpymisen ja pölyn ja lian kerääntymistä. (Mäkelä 2017, 57.)

4.3 20 kV avojohtojakelu

20 kV jakelun kunnossapidossa noudatetaan hyvin pitkälti samoja periaatteita kuin 110 kV avojohtoverkon kunnossapidossa. Boliden Kevitsan 20 kV jakelu on toteutettu avojohtolinjana pumppaamoille sekä avolouhokselle. 20 kV avojohto on pääsääntöisesti PAS-kaapelia. Joissakin osissa käytetään myös ruotsalaista SAX- kaapeleita (Boliden Kevitsa 2018.)

Boliden Kevitsan 20 kV avojohtojakelu kostuu noin 145 pylväästä. Linjan kunnossapito on pääsääntöisesti linjan läpikäymistä silmämääräisesti ja vikojen raportointi. Erotinasemilla käydään tekemässä silmämääräisen tarkastuksen lisäksi aistinvarainen tarkastus, jossa kuunnellaan erotinaseman mahdollisia poikkeavia ääniä. Viankorjaukset linjalle suorittaa Rovakairan verkonrakennus. Avolouhoksen 20 kV avojohtojakelun tarkistaminen on vikaherkkyden takia aktiivisempaa kuin pumppaamo linjojen tarkistaminen. (Koivula 2018.)

Sellaisten pylväiden, jotka koulutettu tarkastaja toteaa lahoiksi, merkitään kunnan mukaan yhdellä tai kahdella pylvään ympäri kierretyllä keltaisella nauhalla, jotka kiinnitetään kahden metrin korkeudelle pylvään juuresta. Keltaisten nauhojen merkitys on se, että yhdellä nauhalla merkattuun pylvääseen saa kiivetä vasta kun pylväs on tuettu kuormausnosturilla tai apuharuksilla. Kahdella nauhalla merkattuun pylvääseen ei saa kiivetä vaan, on aina käytettävä henkilönostokoria. Kyltit, taulut ja ilmoitukset on tehtävä kulutusta ja korroosiota kestävästä materiaalista ja painettava kestävillä merkeillä. Varoitukset sähkönvaarallisuudesta mastot ja pylväät tulee varustaa sähkön vaarallisuudesta kertovilla kylteillä. (Vanha 2012, 33–37; Työturvallisuuskeskus 2013. 4-9.)

4.3.1 20 kV kaapelijakelu

Boliden Kevitsan 20 kV maakaapelijakelu lähtee 110 kV kytkinkentältä kaapelihyllyä pitkin suoraan sähkötilaan, jossa on 20 kV kojeisto. Kojeistossa on 20 lähtöä. Jakelu on toteutettu kahdella AHXCMK-WTC 3x(3x1x630) Al kaapelilla, joiden pituudet ovat 250 m ja 235 m. Kaapelit päättyvät eri päihin kahteen jaettuun kiskostoon. Vikatilanteessa jakelu voidaan suorittaa käyttämällä vain toista kaapelia. (Boliden Kevitsa 2018.)

Maakaapeloinnin ennakkohuolto on hyvin haasteellista, koska kaapeli on kaivettuna maahan. Sen kuntoa on todella vaikea arvioida, joten maakaapelia ei käytännössä pysty ennakkohuoltamaan mitenkään.

4.3.2 20 kV kojeisto

20 kV kojeisto syöttää kaikkia sähkötiloja. Kuten kaivostoimistoa, näytteiden käsittelyä, konekorjaamoa, myös. Avolouhoksen muuntajakonttien 20 kV avojohtolinja saa syötön 20 kV kojeistolta. Lisäksi kojeistossa on prosessilaitteiden kompensointi. Kojeisto sijaitsee MCC4-tilassa eli neljännessä sähkötilassa. Kojeisto on jaettu kahdelle kiskolle, joilla molemmilla on omat 10 lähtöä. Kojeistossa on jokaiselle lähdölle SF₆-kaasukatkaisija. Katkaisija on 10 kV tapan Siemensin valmistama NXPlus-kojeisto. Käyttöönotto on tehty 28.8.2011. Kojeistolle ei ole tehtyä tarkastushuoltoa, mutta se on suunnitteilla. (Boliden Kevitsa 2018.)

20 kV kojeiston tarkastuksessa käydään läpi tukieristimien tarkastukset, katkaisijoiden, erottimien sekä kaapeliliitosten tarkastaminen. Tarkastushuoltokojeistolle tehdään tilaustyönä yleensä kojeiston valmistajan asentajien suorittamana. (Vainio 2017, 56.)

Katkaisijoille tyypillisin tarkastus on silmämääräinen tarkastus, jonka tavoite on varmistua laitteen toimintakunnosta, johon vaikuttavat puhtaus ja eheys. Samalla tarkastetaan katkaisijan indikoinnit sekä toimintalaskurin lukemat. Keskimääräinen huoltoväli teollisuuden katkaisijoille on 5 vuotta, jonka

yhteydessä katkaisijalle suoritetaan ohjainlaitehuolto. Katkaisijalle tehdään myös avaava huolto sen eliniän puolessa välissä. (Mäkelä 2017, 54–55.)

4.3.3 20 kV jakelumuuntajat

Boliden Kevitsassa on 20 kV jakelumuuntajia noin 19 kpl joista, noin 8 kpl avolouhoksella. Kaivoksella on myös jonkin verran pylväsmuuntajia televerkon syöttöä varten sekä aliurakoitsijoiden toimistoille. Kaikki 20kV muuntajat ovat kaksikämmimuuntajia. 20 kV muuntajilta on otettu öljynäyte 13.10.2017 samalla kun öljynäyte on otettu päämuuntajista. (Boliden Kevitsa 2018.)

Muuntajien huolto on jännitetasosta riippumatta samanlaista, kuten aiemminkin on mainittu. Muuntajan huoltoon kuuluvat sen yleisen kunnan tarkistaminen ja siisteys. Muuntajan kunnanvalvonnan osa-alueita ovat määräväleihin tehtävät tarkastukset, muuntajaöljyn tutkiminen, kiinteiden eristeiden tutkiminen ja mittaukset. Muuntajan öljystä otetaan öljynäyte, joka analysoidaan. Öljynäytteestä nähdään kaasupitoisuudet, joista tärkein pitoisuus on asetyleenin määrä. Asetyleenin määrä kertoo onko, muuntajassa tapahtunut suuritehoisia purkauksia. (Etto 1998, 7–8; Isaksson 2011; 9 Koivula 2018; Poikela 2018.)

Muuntajan huollossa suoritetaan öljysäiliön öljymäärän ja lämpötilan tarkistaminen. Öljyä lisätään tarvittaessa. Muuntajan suojalaitteiden toiminta koestetaan. Muuntajatilan kosteudenesto patruunat tulee vaihtaa uusiin, sekä muuntajatilasta poistetaan sinne kuulumattomat esineet. (Etto 1998, 7–8; ; Isaksson 2011, 9; Koivula 2018; Poikela 2018.)

Avolouhoksen muuntajille suoritetaan samat tarkastukset, mutta koska muuntajien sijainti on avolouhoksella ja kesäaikaan tiestä nousee todella paljon pölyä, on muuntajatilassa oleviin ilmansuodattimiin ja niiden puhtauteen kiinnitettävä erityistä huomiota. Suodattimet on hyvä vaihtaa kesäaikaan aina kun muuntaja on mahdollista pitää jännitteettömänä. Samalla puhdistetaan muuntajan liitokset ja eristimet pölystä. Kesäaika aiheuttaa myös ongelmia pumppuasemien muuntajille, joiden lämpötiloja on seurattava tiheämmin kesän kuumimpaan aikaan. Tarvittaessa muuntajatilaan on lisättävä ilmanvaihtoa

esimerkiksi raottamalla ovea, jottei käyttö lämpötila nouse liian korkeaksi. (Koivula 2018.)

20 kV jakelumuuntajilta on otettu öljynäyte aikavälillä 2.3.2017 – 31.10.2017 ja öljynäyte on analysoitu ABB:n toimesta aikavälillä 29.3.2017 – 3.11.2017. Pääsääntöisesti muuntajien öljynäytteet olivat hyvät ja niiden osalta jatketaan normaalilla vuoden täyttövälillä. Kolmella muuntajalla oli kaasupitoisuuksien nousua, näistä kaksi on jo vaihdettu uusiin. (Boliden Kevitsa 2018.)

4.4 10 kV jakelu

10 kV maakaapelijakelu on toteutettu kuten 20 kV jakelu. 110 kV kytkinkentältä tulee kaksi maakaapelia AHXCMK-WTC 4x(3x1x630) Al. Kaapelien pituudet ovat 325 m ja 305 m. Kaapelit menee kahteen osaan jaetulle kiskostolle. Vikatilanteessa voidaan käyttää vain toisen kaapelin syöttöä. (Boliden Kevitsa 2018.)

Maakaapelin ennakkohuolto on todella vaikeaa, koska kaapeli on kaivettu maan alle ja peitetty. Kaapelin vikaantuessa vikapaikka täytyy paikanta ensin, mikä hankaloittaa korjaamista. Vianpaikantamisen jälkeen kaapeli pitää kaivaa ylös ja paikata tai korvata uudella kaapelilla.

4.4.1 10 kV kojeisto

20 kV jakelun tavoin Kevitsassa on yksi 10 kV keskijännitekojeisto. 10 kV:n kojeistolla syötetään ainoastaan kolmen jauhinmyllyn moottoreita. Kojeisto on SF₆-kaasueristetty Siemensin valmistama Nxplus-C kojeisto. Kojeiston erotointoiminnot, erotus ja maadoitus, ovat käsikampikäyttöisiä ja poikkeavat näin ollen 20 kV kojeiston moottorihjatuista erotinlaitteista. Kojeistossa on seitsemän kennoa: primäärimylylähtö K01, sekundäärimyly 1 lähtö K02, sekä päämuuntaja 1 tulokenno K05, päämuuntaja 2 tulokenno K06 ja sekundäärimyly 2 moottori 2 lähtökenno K07. (Boliden Kevitsa 2018; Koivula 2018.)

Kojeisto on käytännössä huoltovapaa ja seurattavia asioita ovatkin lähinnä SF₆-kaasun indikointi, katkaisu- ja erotintoimintojen valvominen sekä katkaisutoimintakertalaskurien seuranta. Katkaisijoiden toimintalaskurien lukema antaa viitteen laitteiston erottimien käyttökerroista. Katkaisijoille luvataan toimittajan puolesta noin 10000 käyttökertaa ilman ongelmia, mutta erottimille vain 1000. Keskimääräinen huoltoväli teollisuuden katkaisijoille on 5 vuotta, ja sen yhteydessä katkaisijalle suoritetaan ohjainlaitehuolto. Tämä asettaa Kevitsan 10 kV kojeiston käytölle kovia haasteita, koska myllyjen käytössä erottimien käyttökertoja voi tulla vuodessa useita satoja. Kevääseen 2018 mennessä 10 kV kojeistosta onkin vaihdettu kaksi moottorilähtökennoa yli 1000 erotintoiminnon vuoksi. Keskimääräinen huoltoväli teollisuuden katkaisijoille on 5 vuotta, ja sen yhteydessä katkaisijalle suoritetaan ohjainlaitehuolto. (Mäkelä 2017, 54–55; Koivula 2018.)

4.4.2 10 kV jakelumuuntaja

Boliden Kevitsassa on myös yksi 10 kV kolmikäämimuuntaja. Tämä on ABB:n erikoisvalmisteinen taajuusmuuttajaa syöttävä muuntaja jännitetasoilla 10000/1750/1750 V. Muuntajalla syötetään pelkästään 1-myllyn kahdella välipiirillä varustettua ABB:n ACS6000-taajuusmuuttajaa. Muuntajasta on otettu öljynäytteet 13.10.2017 tehdyn laajemman muuntajahuollon yhteydessä. (Mikkola 2018; Koivula 2018.)

10 kV muuntajan ennakkohuoltotyöt sisältävät samoja silmämääräisesti tehtäviä tarkastuksia kuin muillekin keskijännitemuuntajille tehdään. Kevitsan oman kunnossapidon piiriin kuuluvia tarkastuksia ovat

- öljyvuo-tojen havainnointi
- muuntajatilan yleinen siisteys
- muuntajan rakenteellinen tarkastus, johon kuuluu esimerkiksi ruostumisen tarkkailu ja mahdollisen paisumisen havainnointi
- öljypintojen tarkastus
- ylä- ja alajänniteliityntäpisteiden silmämääräinen eheys
- muuntajasuojien silmämääräinen tarkastus

- muuntajatilän kaivon tarkastus
(Koivula 2018; Poikela 2018.)

Lisäksi keskijännitemuuntajille ostetaan ostopalveluna seuraavat huoltotyöt:

- muuntajan pintojen ulkoinen imurointi jännitteisenä
- öljynäytteet ja niiden analysointi
(Koivula 2018; Poikela 2018.)

Muuntajan öljynäytteillä analysoidaan muuntajan käämityksen kuntoa. Korkeat kaasupitoisuudet, kuten asetyleeni, voivat kertoa muuntajan läpilyöntilujuuden heikkenemisestä esimerkiksi sisäisten valokaarien johdosta. Öljynäytteiden avulla voidaan arvioida muun muassa muuntajan vaihdon tarve tai saada ennakkovaroitus mahdollisesta vakavasta muuntajavauriosta. Tällaisen ennakkovaroituksen ansiosta Kevitsassa on vältettiin tuotantokatos ja muuntaja vaihdettiin ennen sen lopullista hajoamista.

5 POHDINTA

Kunnossapito, tai kuten nykyään puhutaan käynnissäpidosta, on monimutkainen käsite, joka koostuu monesta eristä tekijästä. Kunnossapitoon ja sen tehokkuuteen vaikuttavat useat asiat, joihin ei välttämättä työtä tekevällä osastolla ole suoria vaikutusmahdollisuuksia. Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli kartoittaa ja suunnitella Boliden Kevitsan suurjännitelinjan ja -jakelun ennakkohuolto. Työssä on käyty läpi kunnossapidon kannalta tärkeitä standardeja ja suosituksia, sekä työvaiheita laitteiston kunnossapitoon. Työ on tarkoitettu käytettäväksi lähteenä suurjänniteasennuksien kunnossapitotöille Boliden Kevitsan kaivokselle. Työn tekemisen kannalta suurin haaste oli koota materiaali tehdyistä huolloista sekä laitteistoja koskevien standardien löytäminen. Työssä on onnistuttu kokoamaan tieto suurjännitesyötöstä ja jakelusta kaivosalueella yhteen tiedostoon tiiviiksi paketiksi, josta asioita on helppo tarkistaa.

Työ toteutettiin suunnitelman mukaan eikä muutoksia suunniteltuun työhön tullut. Työ rajattiin käsittelemään suurjännitepuolelta keskijännitteelle 10 kV laitteistoihin saakka. Laitteistoa riittää 6.3 kV asti, mutta tämän laitteiston mukaan ottaminen olisi kasvattanut työmäärää liian laajaksi Opinnäytetyön jatkokehityksenä voitaisiin jatkaa suunnitelmaa 6.3 kV laitteistoille, jakelujännitelaitteistoille sekä kiinteistösähköistykselle.

LÄHTEET

ABB:n TTT-käsikirja 2000-07

Boliden.com. 2018. Boliden Kevitsa. Viitattu 8.2.2018
<https://www.boliden.com/operations/mines/boliden-kevitsa/>

Boliden Kevitsa Mining Oy 2018. Kaivosesittely. Kaivoksen oma materiaali.

Etto, J. 1998a. Kunnossapitokoulu 47.

Etto, J. 1998b. Kunnossapitokoulu 48.

Elovaara, J. & Haarala, L. 2011a. Sähköverkot 1, Helsinki: Otatieto

Elovaara, J. & Haarala, L. 2011b. Sähköverkot 2, Helsinki: Otatieto

Isaksson, J. 2011. Sähköasemien kunnossapito. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikka. Opinnäytetyö.

Mäkelä, K. 2017. Teollisuuden Sähköjakeluverkon luotettavuus metsäteollisuusintegraatissa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta Sähkötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö

Nasi, T. 2011. Kelukosken 110kV kytkinkentän saneeraus. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikka. Opinnäytetyö.

Niskanen, P., Mäkeläinen, R., Schadt, K. & Koistinen, P. 2015 kaivos- ja louhintatekniikka, Helsinki: Opetushallitus.

Ojakoski, E & Puranen, T. 2011. 110 kV Alueverkon elinkaari. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikka. Opinnäytetyö

SFS-KÄSIKIRJA 601. 2015 Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot. Helsinki: SFS.

Työturvallisuuskeskus. STO 3/2009 työturvallisuusohje. 14.3.2017.

Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135.

Takala, T. 2009. Sähköverkkoyhtiön sähköasemien kunnossapitoprosessin kehittäminen tietojärjestelmä uudistuksella. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikka. Diplomityö.

Vainio, E. 2017. Sähköasemien huolto ja kunnossapito. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikka. Diplomityö.

Vanha, H. 2012. Sähköverkon tarkastukset. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikka. Opinnäytetyö.

Poikela, K. 2018 Boliden Kevitsa Mining Oy. Työnjohtajan haastattelu 10.1.2018

Koivula, P. 2018 Boliden Kevitsa Mining Oy. Sähköinsinöörin haastattelu 18.4.2018

Mikkola, P. 2018 Boliden Kevitsa Mining Oy. Työnjohtajan haastattelu 23.3.2018

Tukes 2017a. Asennus ja käyttöönotto. 18.5.2017. Viitattu 19.3.2018
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteistot/Asennus-ja-kayttoonotto/>

Tukes.fi 2017b. Sähkölaitteistot. 7.11.2017. Viitattu 19.3.2018
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteistot/>

Tukes 2017c. Tukes-ohje 16/2017 10.1.2017. Viitattu 19.3.2018.
<http://www.tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/1Sahko-ja-hissit/Tukes-ohje-162017-Sahkolaitteistot-ja-tarkastukset/>

Tukes 2017d. Turvallisuusvaatimukset. 19.4.2017d. Viitattu 19.3.2018
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteistot/Turvallisuusvaatimukset> 19.4.2017