

Jyri Piensalo

Kaapeleiden ja kaapelijatkosten suojaaminen ja koestaminen Loviisan voimalaitoksella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

25.3.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jyri Piensalo Kaapeleiden ja kaapelijatkosten suojaaminen ja koestaminen Loviisan voimalaitoksella 36 sivua 25.3.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	sähkösuunnittelija Jarmo Suihko lehtori Tuomo Heikkinen
<p>Insinööriä tehtiin Fortum Power and Heat Oy:lle. Työn tavoitteena oli uusia Loviisan voimalaitokselle vuonna 1986 tehty ohje 1–30 kV kaapeleiden koestukseen ja vuonna 1993 tehty ohje kaapelijatkosten asennukseen ja koestukseen.</p> <p>Työssä käsiteltiin kaapeleiden ja kaapelijatkosten suojausta ja koestusta sekä sivuttiin kaapelijatkosten asennusta. Näitä asioita tutkittiin käyttäen hyväksi eri standardeja ja Loviisan voimalaitoksen teknisiä dokumentteja. Työssä tutkittiin myös erään valmistajan koestuslaitteiston soveltuvuutta Loviisan voimalaitoksella vaadittaviin kaapeleiden koestuksiin. Kaapeleiden koestuksissa käytettävien suurjännitteiden takia työssä käytiin lyhyesti läpi sähkötyöturvallisuutta.</p> <p>Ydinenergiaan liittyvät suunnittelu- ja asennustekniset asiat eroavat valvonnan ja määräysten osalta melko paljon ydinenergian ulkopuolisesta työympäristöstä. Tämän takia työssä käsiteltiin myös ydinenergian valvontaa ja ydinturvallisuutta, joiden tutkimiseen käytettiin materiaalina Säteilyturvakeskuksen ydinvoimalaitosohjeita ja Loviisan voimalaitoksen teknisiä dokumentteja.</p> <p>Insinööriä lopputuloksena saatiin Loviisan voimalaitokselle uudet ohjeet 1–30 kV kaapeleiden koestukseen sekä kaapelijatkosten asennukseen ja koestukseen. Lisäksi tutkitun koestuslaitteiston todettiin olevan sopiva suurimpaan osaan kaapeleiden koestuksia.</p>	
Avainsanat	kaapelit, kaapelijatkokset, koestus, suojaus

Author Title Number of Pages Date	Jyri Piensalo Protection and Testing of Cables and Cable Joints in Loviisa Nuclear Power Plant 36 pages 25 March 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Jarmo Suihko, Desing Engineer, Electrical Systems Tuomo Heikkinen, Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to update two out-of-date instructions for Fortum Power and Heat Oy. The first instruction contains testing methods and test values for 1–30 kV cables and the second instruction comprises installation and testing of cable joints.</p> <p>Cable and cable joints' protection and testing are included in this thesis. This thesis also takes a look at cable joint installations and at a high voltage tester, which may be used in cable testing. High voltage is used in testing, so electrical safety has to be taken into consideration when performing these high voltage tests.</p> <p>As regards supervision and regulations, nuclear environment design and installation are quite different from design and installation in other environments. That is why also the supervision of the Radiation and Nuclear Safety Authority Finland (STUK) and the principles of safety in nuclear environment are handled in this thesis.</p> <p>Information and theory of this thesis is gathered from several international and national standards and guidelines, STUK's Regulatory Guides on nuclear safety and from Loviisa Nuclear Power Plant documents.</p> <p>As a result the two above mentioned instructions were made for use at Loviisa Nuclear Power Plant. Also the studied high voltage tester was found suitable for most of the tests.</p>	
Keywords	cables, cable joints, testing, protection

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähkötyöturvallisuus	3
2.1	Sähkötyöhön valmistautuminen	3
2.2	Sähkötyön suoritus	4
2.3	Valmiin sähkötyön jälkeiset toimenpiteet	4
3	Ydinturvallisuus	5
3.1	Viranomaisten ohjeistukset, valvonta ja määräykset ydinvoimalaitoksille	5
3.1.1	Säteilyturvakeskuksen valvonta ja ohjeistot	5
3.1.2	Ydinvoiman turvallisuusnäkökohdat ja turvallisuusluokitus	6
3.2	Olosuhteet käyttö- ja onnettomuustilanteissa ydinvoimalaitoksella	7
3.2.1	Normaalit ympäristö- ja käyttöolosuhteet ydinvoimalaitoksella	7
3.2.2	Onnettomuustilanteet ydinvoimalaitoksella	7
3.3	Onnettomuustilanteisiin varautuminen ydinvoimalaitoksessa	8
3.4	Komponenttien soveltuvuus ja kelpoistaminen	10
3.4.1	Alustava soveltuvuusarvio	10
3.4.2	Komponentin kelpoistuksen tehdastestit	11
3.4.3	Lopullinen soveltuvuusarvio	11
3.4.4	Muuta kelpoistuksesta	11
4	Kunnonvalvonta Loviisan voimalaitoksella	12
4.1	Kunnonvalvontaa varten tehtävät tarkastukset	12

4.2	Kunnonvalvontaa varten tehtävät mittaukset, koestukset ja testit	13
4.3	Kunnonvalvonnasta johtuvat toimenpiteet	15
5	Kaapelijatkosten asennus	16
5.1	Kaapeliasennusten suunnittelussa huomioon otettavia asioita	16
5.2	Kaapelijatkoksen tekeminen	17
5.2.1	Alkuselytys ennen kaapelijatkoksen tekemistä	18
5.2.2	Kaapelijatkoksen tekemisvaihe	18
5.2.3	Valmiin kaapelijatkoksen asennus	21
6	Kaapeleiden koestus	21
6.1	Koemenettelyt kaapeleiden koestukseen	21
6.2	Koestusvaatimukset kaapeleille 1–3 kV	23
6.3	Koestusvaatimukset kaapeleille 6–30 kV	25
6.4	Yhteenveto kaapeleiden koestuksista	27
7	Suurjännitekoestuslaitteisto	28
7.1	Koestuslaitteiston tarkastelu	28
7.1.1	Koestuslaitteiston ohjausyksikkö	29
7.1.2	Koestuslaitteiston suurjänniteyksikkö	30
7.1.3	Koestuslaitteiston toimintaperiaate	30
7.2	Koestuslaitteiston soveltuvuus Loviisan voimalaitokselle	31
8	Yhteenveto	33
	Lähteet	34

1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehtiin Fortum Power and Heat Oy:lle, joka on osa Fortum Oyj konsernia. Työ toteutettiin Loviisan voimalaitoksella.

Fortum Oyj on vuonna 1998 perustettu energiayhtiö, joka muodostui valtionyhtiön Imatran Voiman (IVO) ja pörssinoteeratun Neste Oyj:n fuusiosta. Fortum Oyj:n toiminta on keskittynyt Pohjoismaihin, Puolaan, Baltiaan ja Venäjälle, ja sen liiketoiminta perustuu sähkön ja lämmön tuotantoon, myyntiin ja jakeluun. Lisäksi Fortum Oyj tarjoaa osaaamista energia-alan asiantuntijapalveluissa. Fortum Oyj koostuu eri yksiköistä ja divisiosta. Loviisan voimalaitos kuuluu Fortum Power and Heat -divisioonaan ja Power -yksikköön. [1; 2.]

Loviisan voimalaitos (kuva 1) sijaitsee Hästholmenin saarella Loviisassa, ja se tuottaa sähköä Suomen 400 kV:n kantaverkkoon. Energiansa se tuottaa kahdella VVER-440 painevesireaktorilla: Loviisa 1 ja Loviisa 2. Loviisa 1 on Suomen ensimmäinen ydinvoimalaitos, ja se aloitti tuotantonsa helmikuussa 1977. Loviisa 2 pääsi tuotantoon marraskuussa 1980. Molempien voimalaitosyksikköjen nettotuotantokapasiteetti on noin 490 MWh ja yhdessä nämä yksiköt tuottavat noin 10 % Suomen vuosittaisesta energiatarpeesta. [3.]



Kuva 1. Loviisan voimalaitos [4].

Loviisan voimalaitoksella on olemassa vuonna 1985 tehty kaapeleiden koestusohje *Muovi- ja paperieristeisten 1...30 kV kaapelien asennusten jälkeinen jännitekoe* ja vuonna 1993 tehty ohje *Kaapelijatkoksen asennus- ja koestus*. Nämä ohjeet eivät vastaa nykyisiä standardeja ja vaatimuksia, ja ne ovat päivitystä vailla. Tämän insinöörityön pohjalta tehdään uudet korvaavat ohjeet edellä esitettyjen ohjeiden tilalle. Ohjeiden tulee olla käyttökelpoiset Loviisan voimalaitoksella, koska niitä hyödynnetään tulevaisuudessa suunnittelussa ja niitä koskevissa asennuksissa.

Loviisan tekniikkayksikkö (LT) tilasi tämän työn, koska ohjeiden päivitys on tarpeen, ja työn lopputuloksena olevat ohjeet parantavat tulevaisuudessa tietoutta kaapeleiden koestuksesta sekä kaapelijatkosten asennuksesta ja koestuksesta Loviisan voimalaitoksella. Työssä käsitellään sekä 1–30 kV kaapeleiden että kaapelijatkosten suojausta – erityisesti palosuojaus – ja koestuksia Loviisan voimalaitoksella. Tämän lisäksi työssä tutkitaan kaapeleiden koestuslaitteistoa, käsitellään ydinvoimalaitoksen käytön ja suunnittelun viranomaisvalvontaa sekä tutustutaan joihinkin ydinvoimalaitoksen ja sähkötöiden turvallisuusnäkökohtiin. Työssä ei tarkastella erityisesti Loviisan voimalaitoksella käytössä olevia kaapelityyppejä ja niiden asennusta, vaan kaapeleita tarkastellaan niiden asennusten jälkeisen koestuksen ja kaapelijatkosten suojaamisen kannalta.

Tämä työ perustuu *Suomen standardoimisliitto SFS Ry:n*, *International Electrotechnical Committeeen* (IEC) ja *European Committee for Electrotechnical Standardizationin* (CENELEC) standardeihin. Näitä standardeja, Loviisan voimalaitoksen teknisiä dokumentteja sekä STUKin (Säteilyturvakeskuksen) ydinvoimalaitoksen turvallisuutta koskevia YVL-ohjeita (ydinvoimalaitosohje) hyödynnetään tämän työn laatimiseksi. Loviisan voimalaitoksen tekniset dokumentit on tehty käyttäen hyväksi eri standardoimisliittojen hyväksymiä standardeja, vuosien mittaisia kansainvälisten ydinvoima-alan käyttökokemuksia sekä erilaisia testauksia ja koestuksia.

Ydinenergialain 11.12.1987/990 nojalla insinöörityön koko sisältöä ei voida julkaista, koska työ sisältää huomattavan määrän ydinenergialain mukaista salattavaa materiaalia. Työ on säilytteillä Loviisan voimalaitoksella.

2 Sähkötyöturvallisuus

Kaapeleiden koestuksissa käytetään suurjännitettä, joten sähkötyöturvallisuus on olennainen osa tätä insinööriä. Osa koestuksista joudutaan tekemään myös lähellä jännitteisiä osia, joten on tärkeää tietää turvalliset työskentelytavat. Työssä kerrotaan toiminnasta ydinvoimalaitoksella, joten koestuksia tekeviä henkilöjä voidaan pitää työhön pätevinä sähköalan ammattilaisina.

Loviisan voimalaitoksella sähköitä tekevällä henkilöllä on oltava asianmukaiset suojaruusteet. Tällaisia suojaruusteita ovat kumipohjaiset turvakengät, palonkestävä suoja-asu, kypärä sekä yli 25 A:n sähkötoissa käytettävät kokovisiiri tai suojalasit. [5.]

Jos kaapelijatkosten tekemisessä käytetään kutisteletkuja, joiden supistamiseen tarvitaan joko kuumailmapuhallinta tai puhdasliekkistä propaanikaasupoltinta, kaapelijatkoksen tekijällä on oltava voimassaoleva tulityökortti. Tällaisen kaapelijatkoksen tekemisen jälkeen paikalle on jätävä palovahti varmistamaan, ettei syty tulipaloo.

Kaikki sähkötyöt pyritään tekemään jännitteettömänä. Koska insinööriyössä käsiteltävät koestukset tehdään jännitteettömänä niin, ettei virtapiiri ole päällä, jännitetyötä ei käsitellä. Koestuksissa esiintyvät jännitteet ovat lähtöisin koestuslaitteistosta, joten on kuitenkin syytä olla varovainen työskennellessä.

2.1 Sähkötyöhön valmistautuminen

Ennen työn aloittamista on otettava huomioon säädökset, vaatimukset ja ohjeet, jotka liittyvät työhön ja sen turvallisuuteen. On tiedettävä, mitä tehdään, ketkä työhön osallistuvat, työkohteen laajuus, aikataulu jne. Kun tällaiset tiedot on selvitetty, arvioidaan työn riskit. Riskejä voivat olla esimerkiksi jännitteisten osien läheisyys tai muut vaaratilanteet kuten putoamisriski ja painejärjestelmän läheisyys. Ennen työn aloittamista on myös kiinnitettävä huomiota poistumisteihin ja mahdollisiin jännitteen hätäpoiskytkennän mahdollisuuksiin.

2.2 Sähkötyön suoritus

Kun työn pohjatiedot on selvitetty, voidaan siirtyä työn fyysiseen osuuteen. Ensimmäinen varsinaisen työn osuus on kaikkien tarpeellisten paikkojen merkitseminen erilaisilla merkinnöillä ja kilvillä, jotta kukaan ulkopuolinen ei voi vahingossakaan joutua vaaraan tai saattaa työn suorittajia vaaraan, esimerkiksi kytkemällä sähköt päälle työn alla olevaan virtapiiriin. Merkintöjä ja kilpiä lisätään tarvittaessa työn edetessä.

Järjestelmä saatetaan jännitteettömäksi erottamalla sähkönsyöttö joko avaamalla pääkytkin tai poistamalla sulake. Suurjännitteellä (>1 000 V) avataan katkaisija ja erotin. Erottamisen jälkeen jännitteen tahaton päällekytkytyminen estetään lukolla tai muulla vastaavalla menetelmällä. Erotuksen tekijän nimi, puhelinnumero ja erottamisen päivämäärä on esitettävä erotuskohdassa asianmukaisella tavalla kuten merkintäkilvellä. Tämän jälkeen varmistetaan mittaamalla, ettei järjestelmässä tosiaan ole jännitettä. Kun jännitteen on todettu olevan poissa, tehdään tarvittaessa työmaadoittaminen. Työmaadoittamisen jälkeen vielä kosketussuojataan mahdolliset lähellä olevat jännitteiset osat. [6.]

Työ suoritetaan käyttämällä asianmukaisia työvälineitä ja huomioimalla työn alussa pohdittuja turvallisuusseikkoja. Loviisan voimalaitoksella sähkösuunnittelija tekee jokaiselle asennustyölle asennussuunnitelman, jossa on kerrottu oikeanlaisista työskentelytavoista ja työmenetelmistä, joiden lisäksi siinä esitetään tarvittavat työkuvat ja piirustukset. Asennussuunnitelman työmenetelmissä voidaan kertoa esimerkiksi, että kaapeli on oikosuljettava, jos se irrotetaan työn ajaksi.

2.3 Valmiin sähkötyön jälkeiset toimenpiteet

Kun työ on todettu asianmukaisesti tehdyksi, tarkastetaan kytkennät, poistetaan maadoitukset ja lukot sekä tehdään tarvittavat koestukset. Ennen kuin jännitteet kytketään päälle, kaikki työssä käytössä olleet varoitusmerkinnät, -kyttilit sekä kosketussuojat on poistettava. Lisäksi paikat on siistittävä mahdollisesta jätteistä ja työkaluista. Joissakin tapauksissa on kysyttävä lupa vuoropäälliköltä jännitteen takaisinkytkemiseksi. Kun kaikki edellä mainittu on kunnossa, jännite voidaan kytkeä päälle.

3 Ydinturvallisuus

3.1 Viranomaisten ohjeistukset, valvonta ja määräykset ydinvoimalaitoksille

Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) – nykyinen työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) – on laatinut ydinennergialain 11.12.1987/990, joka määrittelee STUKin toimimaan valvontaviranomaisena ydinennergian turvallisuuden valvonnassa [7, §55].

3.1.1 Säteilyturvakeskuksen valvonta ja ohjeistot

Ensimmäinen atomienergielaki säädettiin vuonna 1957 ja YVL-ohjeita on tehty jo 70-luvulta asti. Silloin STUK toimi nimellä säteilyfysiikan laitos ja ohjeet olivat nimeltään SFL-ohjeet. Nykyinen ydinennergialaki 11.12.1987/990 määrittelee, että STUKin tulee laatia yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset ydinennergian käyttöön. Tämän takia STUK on laatinut yksityiskohtaisille turvallisuusvaatimuksille ohjeet, joita ydinvoimalaitosten suunnittelussa ja käytössä tulee noudattaa. Näitä niin kutsuttuja YVL-ohjeita STUK päivittää tarpeen mukaan. STUK myös valvoo, että voimalaitosten käyttäjät menettelevät YVL-ohjeiden mukaan. Koska ohjeita päivitetään usein, vanhassa ydinvoimalaitoksessa ei ole aina mahdollista noudattaa niitä täysin kirjaimellisesti, mutta tietyn perusteiden on mahdollista hakea poikkeuksia ohjeistosta. [7, §55 ja §7r; 8, s. 356–357.]

YVL-ohjeissa on esitetty turvallisuusvaatimusten lisäksi STUKin käyttämät valvontamenettelyt. Niissä määritellään muun muassa järjestelmän muutokseen vaadittavat aineistot, joihin vaaditaan STUKin lupa ja/tai tarkastus. Insinööriyössä kerrotaan STUKin määrittelemästä turvallisuusluokitusjärjestelmästä, jonka pohjalta voimalaitoksen käyttäjän (luvanhaltijan) tulee määrittää voimalaitoksen eri järjestelmät (ks. 3.1.2). Luvanhaltijan määrittelemät turvallisuusluokitukset hyväksytetään STUKilla. STUK voi halutessaan tarkastaa järjestelmämääritelmien paikkansapitävyyden.

3.1.2 Ydinvoiman turvallisuusnäkökohdat ja turvallisuusluokitus

Ydinvoiman turvallisuuteen ja epävarmuuteen kohdistuvat pelot ja odotukset sekä erityisesti Tshernobylissä vuonna 1986 tapahtunut vakava ydinvoimalaonnettomuus ovat johtaneet siihen, että ydinvoimatoimintaa valvotaan hyvin tarkasti. Lähiaikoina ydinvoiman turvallisuus on tullut uudestaan puheenaiheeksi Japanissa vuonna 2011 käyneen Fukushima ydinvoimalaonnettomuuden myötä. Osittain tämän onnettomuuden takia moni valtio on päättänyt lopettaa ydinvoimatoiminnan vähitellen kokonaan ja pyrkii panostamaan uusiutuviin energiamuotoihin. STUK toimii Suomessa ydinvoiman turvallisuutta valvovana elimenä.

STUK on pyrkinyt laatimaan YVL-ohjeet ALARA- (As Low As Reasonably Achievable) ja SAHARA-periaatteiden (Safety As High As Reasonably Achievable) mukaan. ALARA-periaatteen mukaan voimalaitoksen henkilökunnan saama säteilyannos ja radioaktiivisten päästöjen määrä on oltava mahdollisimman pieni. SAHARA-periaatteessa taas pyritään pitämään ydinvoimalaitoksen turvallisuustaso mahdollisimman korkeana. Näiltä kanteilta katsottuna STUK on laatinut järjestelmille, rakenteille ja laitteille turvallisuusluokitukset. [8, s. 91 ja 386.]

Turvallisuusluokitukset määrittelevät sen, miten tärkeä jokin järjestelmä tai osa on voimalaitoksen ydinturvallisuuden näkökulmasta. Turvallisuusluokat ovat ydinturvallisuuden kannalta tärkeysjärjestyksessä 1, 2, 3, 4 ja EYT (ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu). Turvallisuusluokkaan 1 kuuluu siis voimalaitoksen ydinturvallisuuden kannalta tärkeimmät järjestelmät ja osat, ja turvallisuusluokkaan 4 vähiten tärkeät. Turvallisuusluokalla EYT ei ole merkitystä voimalaitoksen ydinturvallisuuteen. Sähköjärjestelmät ja sen komponentit kuuluvat turvallisuusluokkaan 2, 3, 4 tai EYT [9]. STUKilta saatujen tietojen mukaan turvallisuusluokka 4 on poistumassa, koska sen rajapintaa on hankala määritellä. Näin ollen tulevaisuudessa osa turvallisuusluokan 4 järjestelmistä luokitellaan turvallisuusluokkaan 3 ja osa ydinturvallisuuteen liittymättömäksi (EYT).

3.2 Olosuhteet käyttö- ja onnettomuustilanteissa ydinvoimalaitoksella

3.2.1 Normaalit ympäristö- ja käyttöolosuhteet ydinvoimalaitoksella

Käytettävät sähköiset komponentit tulee olla sopivia niihin ympäristöolosuhteisiin, joihin ne tulevat käyttöön. Sähköiset komponentit lajitellaan tila- ja turvallisuusluokkien (ks. 3.1.2) mukaan. Tilaluokka kertoo, minkälaiseen huone- tai ulkotilaan, komponentti asennetaan. Tilaluokkia määrittäessä on huomioitava muun muassa lämpötila, säteily, värinä ja kosteus. Turvallisuudesta vastaaville komponenteille annetaan normaalia tiukemmat määräykset, jotta ne kestäisivät onnettomuusolosuhteet.

3.2.2 Onnettomuustilanteet ydinvoimalaitoksella

Koska onnettomuustilanteista on hyvin vähän konkreettista kokemusta, niiden luonnetta ei voi varmasti määritellä, ja sen takia on tehty erilaisia analyyseja ja tutkimuksia mahdollisista onnettomuustilanteista. Näitä analyyseja ja tutkimuksia on pääasiassa tehneet eri tutkimuslaitokset, ja ydinvoimalaitokset ovat ottaneet näistä suunnitteluperusteita.

Analyseissa ja tutkimuksissa oletettuja onnettomuustilanteita ovat muun muassa LOCA-tilanne (Loss-Of-Coolant Accident) sekä MSLB- (Main Steam Line Break), vetyputki- ja reaktiivisuusonnettomuus. Jokaiselle onnettomuustilanteelle on omat turvakomponenttinsa, ja ne kuuluu kelpoistaa (ks. 3.4) onnettomuustilanteen mukaisesti. Yksi pahimmista kuviteltavista onnettomuuksista vesijäähdytteisellä ydinvoimalaitoksella on LOCA-tilanne. Loviisan voimalaitos on vesijäähdytteinen, ja tästä syystä LOCA-tilannetta on käsitelty hieman tarkemmin.

LOCA-tilanteita on sekä pieniä että suuria, mutta tässä käsitellään pahimman skenaarion mukaista LOCA-tilannetta eli *large break* LOCA-tilannetta (LBLOCA), jota käytetäänkin onnettomuudenhallinnan suunnitteluperusteena Loviisan voimalaitoksella. LBLOCA-tilanne on primääripiirin päävesi- tai päähöyryputken täydellinen halkeaminen (riippuen laitostyyppistä). Loviisan voimalaitoksella tämä olisi primääripiirin päävesiputken halkeaminen. Tällaisessa halkeamisessa menetetään reaktorin normaali jäähdyte.

Loviisan voimalaitoksen tyypisessä reaktorissa (VVER-440) reaktorin jäähdytteenä toimii kevyt vesi, jonka lämpötila on noin 300 °C, mutta se ei höyrysty primääripiirissä olevan korkean paineen (n. 123 bar) takia. Primääriputken haljettua paine pääsee laskemaan, ja reaktorissa oleva vesi alkaa höyrystyä. Tämä johtaa reaktorin lämpenemiseen ja näin myös suojarakennuksen lämpenemiseen. Jotta lämpötila ei karkaisi käsistä, säätösauvat putoavat reaktoriin hidastamaan fissioreaktioita ja primääripiirin pääkiertopumput sammuvat automaattisesti.

Paine ja lämpötilan kohoaminen saadaan hallintaan jäähdyttämällä reaktoria ja suojarakennusta. Jäähdytykseen on useita eri järjestelmiä. Osalla järjestelmistä täytetään reaktoriollasta vedellä ja toisilla muutetaan höyryä vedeksi, joiden lisäksi itse suojarakennusta jäähdytetään eri järjestelmillä. Jäähdytys vaikuttaa myös paineen muutokseen. Reaktorin polttoainesauvoissa lämpötila voi LBLOCA-tilanteen edetessä kohota parhaimmillaan 800 °C:een [8, s. 178], mutta lämpö ei jäähdytyksen takia pääse tällaisena etenemään.

3.3 Onnettomuustilanteisiin varautuminen ydinvoimalaitoksessa

Ydinturvallisuuden kannalta tärkein tekijä on ennaltaehkäisy. Ennaltaehkäisy toteutetaan erilaisilla huolto- ja korjaustöillä. Esimerkiksi Loviisan voimalaitoksen molemmat yksiköt ajetaan tarkoituksellisesti alas kerran vuodessa, jolloin suoritetaan paljon huolto- ja korjaustöitä, joita käynnin aikana ei voida suorittaa. Tällaisissa vuosihuoltotilanteissa muun muassa testataan toimilaitteita, vaihdetaan vanhoja kaapeleita uusiin ja vahvistetaan putkisaumoja, jotta voimalaitos toimisi suunnitellusti.

Mikäli käynnin aikana jostakin syystä jokin tärkeä järjestelmä pettää, ja tulee onnettomuustilanne, on tärkeää, että turvallisuusluokitellut suojojärjestelmät todella toimivat. Jotta suojojärjestelmiin voidaan luottaa, niiden suunnittelussa on käytetty hyödyksi syvyys- ja rinnakkaissuuntaista turvallisuusajattelua. Syvyys-suuntaista turvallisuusajattelua toteutetaan varmennuksella ja rinnakkaissuuntaista moninkertaisuus-, erottelu- ja erilaisuusperiaatteilla.

Varmennus

Sähköjärjestelmissä varmennuksella varmistetaan sähkön saanti. Normaalisti Loviisan voimalaitos saa omakäyttösähkensä päägeneraattoreilta tai valtakunnan verkosta (110 kV ja 400 kV). Jos kuitenkin jostakin syystä menetetään nämä yhteydet, Loviisan voimalaitoksella on useita dieselgeneraattoreita, akustoja ja UPS-järjestelmiä. Näillä apulaitteilla varmistetaan sähkönsyöttö turvallisuusjärjestelmiin ja taataan sähkön saanti myös sellaisiin järjestelmiin, joilla ei ole ydinturvallisuuden kannalta merkitystä. Näiden lisäksi Loviisan voimalaitokselle on yhteys läheiseltä Ahvenkosken vesivoimalaitokselta, josta saadaan tarvittaessa sähköä.

Moninkertaisuusperiaate

Moninkertaisuusperiaate tarkoittaa, että saman tai saman vaikutuksen suorittavan toiminnon voi suorittaa vähintään kaksi eri komponenttia. Esimerkiksi toinen samaa toimintoa suorittava toimilaitte voidaan erottaa toiminnasta huollon ajaksi ilman, että voimalaitoksen turvallisuustaso laskee. Sähköjärjestelmissä tällainen periaate toteutetaan muun muassa syöttämällä samaa toimilaitetta kahdesta eri lähdöstä, joiden toimilaitteelle lähtevät syöttökaapelit kulkevat eri reittiä. Moninkertaisuusperiaatetta kutsutaan myös redundanttisuudeksi.

Erotteluperiaate

Erotteluperiaatteella pyritään sijoittamaan moninkertaisuusperiaatteella toteutetut komponentit niin, ettei jokin ulkoinen voima, esimerkiksi tulipalo, vaikuttaisi molempiin (tai useampiin) komponentteihin samanaikaisesti. Toisin sanottuna pyritään sijoittamaan komponentit toistensa vaikutusalueen ulkopuolelle. Helpoiten tämä käy sijoittamalla komponentit eri huonetiloihin (eri palo-osastoihin). Myös kahden tai useamman toisistaan riippuvaisen komponentin tai järjestelmän sijoitus pyritään tekemään erotteluperiaatteella. Lisäksi turvallisuustoimintoja suorittavat komponentit pyritään sijoittamaan eri tiloihin kuin voimalaitoksen muut komponentit.

Erilaisuusperiaate

Erilaisuusperiaatteella tarkoitetaan kahden tai useamman samaa toimintoa suorittavan komponentin erilaista toimintaperiaatetta. Yksinkertaisimmillaan sähkötekniikan osalta se tarkoittaa esimerkiksi kahden eri valmistajan relettä, jotka tekevät samaa toimintoa. Tällöin toisen releen vikaannuttua valmistusvian takia on epätodennäköistä, että toinen vikaantuisi samaan aikaan. Estetään siis yhteisvikaantuminen. [8, s. 67 ja 102–104.]

3.4 Komponenttien soveltuvuus ja kelpoistaminen

Kun suunnitellaan muutoksia ydinenergian käyttöön, on otettava huomioon suuri määrä eri näkökohtia ja asioita, kuten ympäristöolosuhteet ja STUKin valvonta, joita tämän muutoksen piiriin kuuluu. Jokainen muutokseen liittyvä komponentti on sovellettava siihen tehtävään, joka komponentille annetaan. Turvallisuusluokiteltujen komponenttien soveltuvuus ydinenergian käyttöön todennetaan kelpoistuksella. Se minkä turvallisuusluokan järjestelmään ja minkälaiseen tilaluokkaan komponentti asennetaan, määrää komponentin kelpoistuksen vaatimustason.

STUK vaatii, että turvallisuusluokan 2 ja 3 sähköjärjestelmien komponenteille tehdään kelpoistussuunnitelma, jossa esitetään laadittavat soveltuvuusarviot. Kelpoistussuunnitelma toimitetaan STUKille ensimmäisen aineiston eli alustavan soveltuvuusarvion yhteydessä. Tämän jälkeen komponentille tehdään tehdastestit ja viimeiseksi tehdään lopullinen soveltuvuusarvio, jonka pohjalta komponentti joko kelpoistetaan käyttöön tai todetaan epäsopivaksi. [10; 11.]

3.4.1 Alustava soveltuvuusarvio

Alustavalla soveltuvuusarviolla osoitetaan, että hankinnan alainen komponentti on soveltuva sen suunniteltuun käyttöön. Jos kyseessä on sähköinen komponentti, esitetään alustavassa soveltuvuusarviossa muun muassa sen sähköiset ominaisuudet ja siltä vaaditut mekaaniset ominaisuudet sen tuleviin ympäristö- ja onnettomuusolosuhdekertoisuuteen liittyen. Lisäksi esitetään selvitys valmistajasta ja tämän mahdollisuudesta toimittaa komponenttia tulevaisuudessa. Alustavassa soveltuvuusarviossa myös määritetään komponentille tehtävät ympäristö- ja onnettomuusolosuhdetestit ja esitetään selvitys organisaatiosta, joka suorittaa nämä testit. [10.]

3.4.2 Komponentin kelpoistuksen tehdastestit

Tehdastestit tekee organisaatio, joka on osoitettu päteväksi suorittamaan testit alustavan soveltuvuusarvion mukaisesti. Testejä tekevän organisaation on annettava voimailaitokselle ja STUKille mahdollisuus osallistua testien valvontaan. Testien jälkeen tulokset toimitetaan voimailaitokselle. [10.]

STUK on antanut YVL-ohjeissaan seuraavan vaatimuksen: "Testien tulee vastata epäedullisimpien mahdollisten käyttö- ja ympäristöolosuhteiden yhteisvaikutuksia" [11]. Kaapeleiden testauksessa kaapeli vanhennetaan keinotekoisesti sen odotettuun käyttöikänsä, ennen kuin sille tehdään onnettomuusolosuhtetestit. Kaapelin ominaisuudet huononevat iän myötä, joten vanhentamalla kaapeli käyttöikänsä loppuun, kaapelin voidaan olettaa olevan käyttöikänsä heikoimmassa kunnossa. Vanhennetulle kaapelille annetaan onnettomuusolosuhteiden mukainen säteilyannos, minkä jälkeen tehdään virtakuormitus- vetolujuus- ja kapasitanssikoe, joiden lisäksi mitataan kaapelin eristysresistanssi ja jännitteenkestävyys sekä tehdään kaapelille visuaalinen tarkastus. [12.]

3.4.3 Lopullinen soveltuvuusarvio

Lopullisessa soveltuvuusarviossa esitetään testien tulokset ja todetaan, onko komponentti vielä alustavassa soveltuvuusarviossa määriteltyjen ominaisuuksien mukainen. Jos näin on, komponentti voidaan kelpoistaa, ja näin ollen sitä voidaan käyttää voimailaitoksella. Lisäksi lopullisessa soveltuvuusarviossa tulee osoittaa komponentin laadunvalvonnan toteutus, eli esitetään komponentin ja sen varaosien saatavuus tulevaisuudessa ja selvitetään, miten komponentin vanhenemista seurataan.

3.4.4 Muuta kelpoistuksesta

Kelpoistussuunnitelmaa päivitetään koko kelpoistusprosessin ajan, mikäli tähän on tarvetta [10]. Tarve kelpoistussuunnitelman päivittämiseen voi tulla, jos esimerkiksi valmistaja osoittautuu kelvottomaksi, tehdastestit eivät mene läpi tai kelpoistussuunnitelmassa huomataan joitakin puutteita.

4 Kunnonvalvonta Loviisan voimalaitoksella

Loviisan voimalaitoksella uusilta asennettavilta kaapeleilta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia. Kaapelin valmistaja on tehnyt ja/tai teettänyt kaapeleille standardien mukaisia testejä, joista saadaan kaapelin ominaisuudet selville. Joskus Fortumkin joutuu teettämään näitä testejä, kun jotkin kaapelin ominaisuudet eivät ole selvillä. Testien teettäminen on kuitenkin kallista, joten pyritään siihen, että kaapelin valmistaja tekee ja/tai teettää testit.

Testeissä tutkittuja ominaisuuksia ovat muun muassa vetolujuus, lämmönkesto, säteilynkesto ja kaapelin odotettava ikä. Jos kaapeli täyttää Loviisan voimalaitoksen ja STUKin vaatimat ominaisuudet, se voidaan kelpoistaa (ks. 3.4) käyttöön Loviisan voimalaitokselle. Kelpoistettua kaapelityyppiä voidaan käyttää Loviisan voimalaitoksella.

Kaapeleiden ja kaapelijatkosten ominaisuudet huononevat iän myötä. Tästä syystä ja STUKin vaatimusten takia Loviisan voimalaitoksella on erilaisia ohjeita, joiden mukaan kaapeleiden vanhenemista seurataan, ts. valvotaan, että niiden kunto on hyvä.

Kaapeleiden kuntoa valvotaan muun muassa visuaalisilla tarkastuksilla, näytteiden ottoilla, koestuksilla ja mittauksilla. Kaapeleiden kunnonvalvonnan pohjalta voidaan kaapeleiden toimintakyky varmistaa tekemällä kaapeleiden uusintoja ja huoltoja, kuten eristeiden korjaamisia tai kaapelijatkoksia vioittuneille kaapeleille, joita ei voida kokonaan vaihtaa. Suurin huomio kaapeleiden kunnonvalvonnassa kohdistuu reaktorin höyrytintilaan, koska siellä on kaapeleiden ja laitteiden käyttöiän näkökulmasta yhden laitoksen hankalimmat olosuhteet sekä normaalikäytön aikana että onnettomuustilanteissa.

4.1 Kunnonvalvontaa varten tehtävät tarkastukset

Loviisan voimalaitoksella tarkastettavat kohteet on jaettu niihin, joita voidaan tehdä käynnin aikana ja niihin, joita voidaan tehdä vain laitoksen ollessa pois käytöstä (vuosihuollossa). Tarkastettaville kohteille on tehty oma dokumentti, jossa kerrotaan, mitä pitää tarkastaa ja kuinka usein.

Käynnin aikana tehdään pääasiassa vain visuaalisia tarkastuksia, koska laitoksen ollessa toiminnassa on joihinkin paikkoihin rajoitettuja kulkuoikeuksia ja sähköisiä piirejä ei välttämättä voida tai haluta erottaa käynnin aikana. Visuaalisten tarkastusten lisäksi voidaan tarkastaa esimerkiksi kaapelihyllyjen kiinnityksiä kuormittamalla niitä pienellä voimalla. Näiden tarkastusten pohjalta voidaan heti tehdä pieniä korjaustoimenpiteitä kuten kaapeleiden kiinnitysten kiristämisiä ja kaapelihyllyn korjaamisia. [13.]

Vuosihuollon aikana tehdään niitä tarkastuksia, joita ei voida muulloin toteuttaa. Vuosihuollon aikaisten kaapeleiden tarkastusten pääprioriteettina ovat turvallisuuspiireissä olevat kaapelit. Koska laitos ei ole toiminnassa vuosihuollon aikana, ja sähköiset piirit ovat turvallisesti erotettavissa, korjataan havaitut puutteet ja viat ennen laitoksen ylösajamista.

4.2 Kunnonvalvontaa varten tehtävät mittaukset, koestukset ja testit

Kaapeleille tehdään mittauksia, koestuksia ja testejä, joiden perusteella analysoidaan kaapeleiden kunto. Kaapeleiden kuntoa tutkitaan pääasiassa kaapelinäytteillä sekä eristysresistanssi- ja jännitelujuusmittauksilla, joiden lisäksi höyrystintilan kaapeleiden ja kaapelihyllyjen pintalämpötiloja mitataan vuosihuollon aikana. Pintalämpötilojen mitaaminen on tärkeä osa kaapeleiden kunnonvalvontaa, ja sillä saadaan hyvin tietoa siitä, minkälaisissa olosuhteissa kaapeli sijaitsee käynnin aikana, ja miten se tulee vanhenemaan näissä olosuhteissa. Myös LIRA-mittauksia (*Line Resonance Analysis*) on testattu, ja niistä kerrotaan hieman tarkemmin. Kaapeleiden mekaanista kuntoa tutkitaan myös visuaalisin tarkastuksin, mutta kaapelinäytteiden ja mittausten avulla saadaan tarkempia tietoja esimerkiksi lämpötilasta ja säteilystä johtuvasta kaapelin pinnan haurastumisesta.

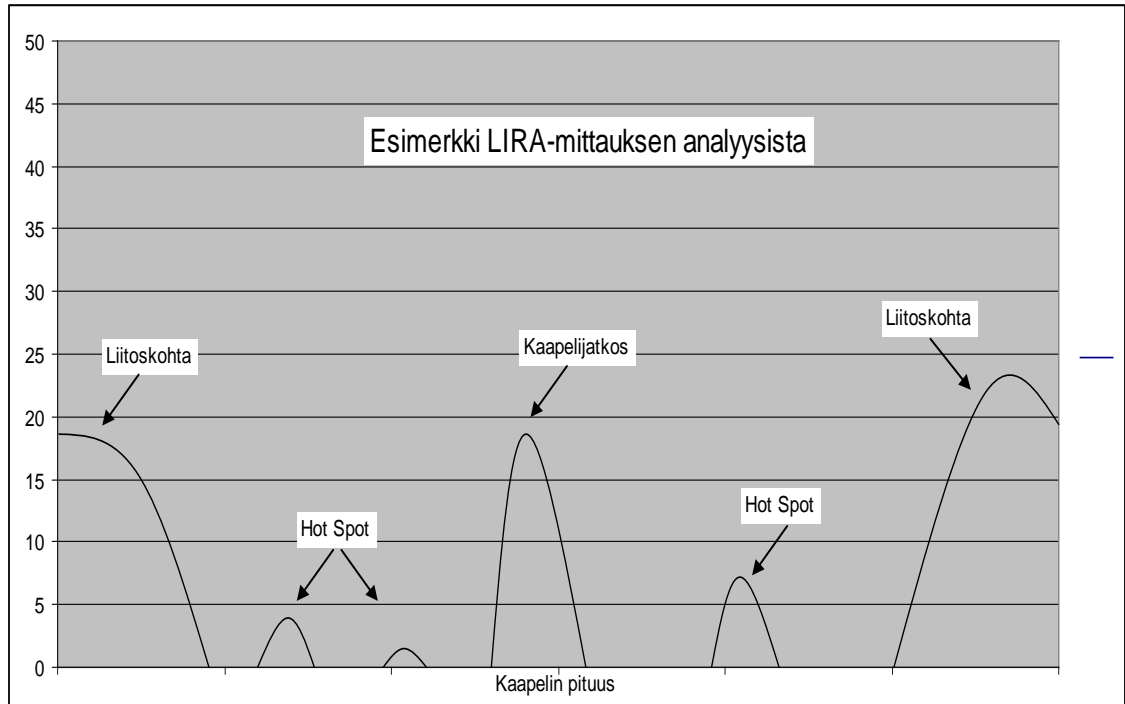
Analyyseihin tarvittavia kaapelinäytteitä varten on höyrystintilaan, jossa on korkeat lämpötilat ja suuri säteilytaso, asennettu näytteenottolaatikoita, joihin on asennettu erityyppisiä ja erikokoisia kaapeleita. Näitä kaapeleita ei ole sähköisesti kytketty mihinkään piiriin. Näytteenottolaatikoita on Loviisa 2 voimalaitoksen höyrystintilassa kolme kappaletta, ja ne on sijoitettu eri olosuhteet omaaviin paikkoihin, jotta saadaan tietoa, miten kaapelien mekaaniset ominaisuudet muuttuvat kussakin olosuhteessa ajan kuluessa.

Aikanaan höyrystintilassa sähköisesti käytössä olevista kaapeleista on otettu näytteitä. Näytteet on otettu katkaisemalla kaapeli valmiiksi määritellystä kohtaa. Katkaisukohdaksi on yleensä määritelty kaapelin kuumin kohta. Katkaistun kaapelipätkän tilalle on jouduttu asentamaan uusi kaapelinpätkä ja kaapelijatkos. Nykyään höyrystintilassa vältetään kaapelijatkosten tekoa viimeiseen asti. Näytteitä voidaan kuitenkin ottaa esimerkiksi kaapelin uusintakelpoistusta varten, mutta tällöin näytekaapeli uusitaan tai poistetaan kokonaan.

LIRA-mittauksella tutkitaan kaapelin ominaisuuksia ja etsitään vikakohtia. Ensin LIRA-mittaus suoritetaan referenssikaapelilla, jonka tyyppi ja pituus tiedetään. Referenssikaapelin on oltava samaa tyyppiä kuin tutkittava kaapeli, jotta analyysit olisivat mahdollisimman tarkkoja. LIRA-mittalaite analysoi referenssikaapelin ominaisuudet ja määrittää kaapelityypin VR-arvon (*velocity rate*). VR-arvo kertoo sähkömagneettikentän nopeuden kaapelissa suhteessa valonnopeuteen tyhjiössä.

Referenssimittauksen ja VR-arvon määrittämisen jälkeen LIRA-mittalaite osaa analysoida tutkittavan kaapelin ominaisuudet kuten impedanssin, induktanssin, ja kapasitanssin. Kun referenssikaapelin on samaa tyyppiä kuin tutkittava kaapeli, saadaan tällä mittauksella mittalaitteen valmistajan mukaan 0,4 % tarkkuudella tieto, missä kohtaa kaapelissa on vika, jos sellainen on.

LIRA-analysointori piirtää kuvan, jossa esiintyy ns. *hot spotit* eli piikit. Kuvassa esiintyvien piikkien kohdalla on kaapelin normaaleista dielektrisistä ominaisuuksista poikkeavat kohdat, mikä viittaa vikaan kaapelissa. Koska kaikissa kaapeleiden liitoskohdissa, kuten päätteissä ja kaapelijatkoksissa, dielektriset ominaisuudet ovat erilaiset kuin suoralla, ehjällä kaapelilla, pitää analysointorin piirtämää kuvaa tulkittaessa jättää huomiotta tällaiset ns. normaalit piikit. Periaatteessa LIRA-mittauksella olisi mahdollista tunnistaa myös huono liitos, mikäli liitoksen kohdalla oleva piikki olisi poikkeuksellisen suuri. Käytännössä tämä ei kuitenkaan ole niin yksinkertaista, koska myös liitokselle pitäisi olla vertailukohde, esimerkiksi samanlainen kaapelijatkos samassa kaapelissa. Kuvassa 2 (ks. seur. s.) esitetään esimerkki LIRA-analysista. [14; 15.]



Kuva 2. Esimerkki LIRA-analyysistä

4.3 Kunnonvalvonnasta johtuvat toimenpiteet

Tarkastuksissa, koestuksissa ja testeissä havaitut viat korjataan harkinnan mukaan heti, kun se on mahdollista tai tarpeellista. Käynnin aikana tehdään sellaisia korjaus- ja huoltotöitä sekä testauksia, jotka eivät vaaranna laitoksen toimintaa tai turvallisuutta. Käynnin aikana voidaan esimerkiksi testata akustojen kuntoa, tehdä joitain toimilaittehuoltoja ja korjata kaapelin eristevikoja [16].

Vuosihuollon aikana tehdään paljon kaapeloinnin uusimisia sekä sellaisia korjaus ja huoltotöitä, joita ei käynnin aikana voi tehdä. Loviisan voimalaitoksen kaapeleiden käyttöinhallintakaavakkeessa on esitetty, mitä toimenpiteitä, kuten kaapeleiden uusintoja, kaapeleille on tehty, ja mitä toimenpiteitä tulevaisuudessa tehdään. Laitosta ei ajeta ylös, ennen kuin kaikki laitoksen prosessiin liittyvät korjaus- ja huoltotyöt on saatu tehtyä.

Joskus tulee myös sellaisia ongelmia tai vikoja, että voimalaitos joudutaan ajamaan alas, tai se ajaa itsensä alas automaattisesti normaalikäytön aikana. Nämä ovat taloudellisesti ydinvoimayhtiöille harmittavia tilanteita, mutta turvallisuuden kannalta on

hyvä, että laitossuojaus toimii ja ongelman aiheuttanut vika korjataan mahdollisimman nopeasti. Tällaisissa tilanteissa toimitaan kuten vuosihuollon aikana, eli tehdään kaikki tarvittavat korjaustyöt, ennen laitoksen uudelleen ylösajoa.

5 Kaapelijatkosten asennus

5.1 Kaapeliasennusten suunnittelussa huomioon otettavia asioita

Kaapeliasennusten suunnittelussa on otettava huomioon kaapeleiden sähköinen ja mekaaninen suojaus. Tarkemmin kaapeliasennuksista, niiden suunnitteluun liittyvistä vaatimuksista sekä asennuksen yhteydessä huomioon otettavista asioista on kerrottu muun muassa SFS-käsikirjoissa 600 ja 650. Loviisan voimalaitokselle asennettava kaapeli on oltava kelpoistettu sen tulevaan turvallisuusluokkaan. Kaapelit, kuten muutkin sähköjärjestelmät, voivat kuulua turvallisuusluokkaan 2, 3, 4 tai EYT.

Lähtökohtana kaapeleiden asennuksissa on pyrkiä välttämään kaapelijatkoksia. Voidaan ajatella, että kokonainen kaapeli on luotettavampi kuin kaksi kaapelia, jotka on liitetty toisiinsa kaapelijatkoksella, koska kaapelin dielektriset ominaisuudet huononevat liitoksen myötä, kaapeli käy kuumempänä liitospohdasta ja asennusvirhe tulee mahdolliseksi. Joskus kaapelijatkos on kuitenkin tarpeen tehdä, mutta sen tekeminen on oltava hyvin perusteltua.

Kaapelijatkos voidaan tehdä, jos

- kaapelin pituus ei ole riittävä
- kaapelityyppi vaihtuu
- kaapelikoko vaihtuu
- välilyöntä korvataan kiinteällä jatkoksella
- kaapeli haaroitetaan useaksi kaapeliksi.

Edellisellä sivulla lueteltujen syiden lisäksi kaapelijatkos voidaan tehdä, jos kaapeli on vaurioitunut vain tietyistä kohdista ja koko kaapelin vaihto on ongelmallista. Tällainen tilanne voi tulla, jos esimerkiksi kaapeli on mennyt lyttyyn tai poikki ulkoisen voiman

seurauksena. Tällöin kaapelista poistetaan vaurioitunut kohta ja poistetun vaurioituneen kohdan tilalle asennetaan vastaavaa kaapelia, jonka molempiin päihin tehdään kaapelijatkos. Jos vaurioituneesta kaapelista saadaan riittävästi löysää, väliin ei tarvitse asentaa uutta kaapelia. Edellä mainitut toimenpiteet tehdään myös, jos kaapelista otetaan näyte (ks. 4.2).

Seuraavassa luettelussa esitetään kaapelijatkoksen asennuksen suunnittelussa huomioon otettavia asioita:

- Voiko kaapeli tulla kosketuksiin vieraan kemikaalin tai syövyttävän aineen kanssa?
- Onko kaapelijatkos pakko tehdä vai onko mahdollista uusia koko kaapeli?
- Miten kaapelijatkos tulisi suojata? (Esim. palo- ja mekaaninen suojaus)
- Jos kaapeli on mennyt poikki tai vaurioitunut jostakin tietystä kohtaa, niin pitäisikö koko kaapeli uusia eri reittiä pitkin. Eli voiko vaurion aiheuttanut tapahtuma toistua.
- Onko kohdassa, johon kaapelijatkos tehdään, muita kaapeleita.

Jos kaapelijatkoksen asennukselle löydetään riittävät perusteet, edellisen luotelman pohjalta voidaan miettiä, miten kaapelijatkos kannattaa tehdä. Loviisan voimalaitoksella sähkösuunnittelija tekee asennussuunnitelman kaapelijatkoksen asennukselle.

Kaapelijatkoksia on erilaisia ja eri valmistajilla on hieman erilaiset tarvikkeet, menetelmät ja asennusohjeet kaapelijatkosten asennukseen. Kuitenkin kaapelijatkoksen tekemisen eri vaiheet ovat eri valmistajien kesken pääpiirteittäin samanlaiset. Kaapelijatkoksen tekemisessä on myös otettava huomioon suojaukseen liittyviä asioita kuten palosuojaus ja mekaaninen suojaus.

5.2 Kaapelijatkoksen tekeminen

Kaapelijatkoksen tekemiseen on oltava riittävät perusteet (ks. 5.1). Kaapelijatkos on oltava mekaanisesti ja sähköisesti luotettava, ja sen on vastattava johtavuudeltaan ja jännitelujuudeltaan itse kaapelia. Sekä kaapelin että kaapelijatkoksen jännitelujuus todennetaan jännitekoestuksella (ks. 6).

Kaapelijatkoksia on pääasiassa kolmea erilaista: valujatkos, nauhajatkos ja kutistejatkos. Kutistejatkoksia on kahdenlaisia: lämpö- ja kylmäkutistejatkoksia. Kylmäkutiste-, nauha- ja valujatkoksien asentamisessa ei tarvita tulityökorttia, mutta lämpökutistejatkoksien asentamisessa tarvitaan. Yleisimmin käytettävä kaapelijatkos on lämpökutistejatkos, joten sitä käytetään esimerkkinä insinööriyössä käsiteltävänä jatkostyyppinä.

5.2.1 Alkuseelvitys ennen kaapelijatkoksen tekemistä

Ennen kaapelijatkoksen tekemistä, tulee sen sijainti sekä asennus- ja ympäristöolosuhteet selvittää. Voidaan sanoa, että prosessiin liittyvällä kaapelilla, johon kaapelijatkos tehdään, on oltava tiukemmat suunnitteluperusteet kuin normaaliin rakennussähköistykseen liittyvässä kaapelissa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että rakennussähköistykseen tulevan kaapelijatkoksen suojauksesta voisi luistaa. Alkuseelvityksessä onkin erityisesti otettava huomioon, minkälainen kaapelijatkoksen suojauksen tulee olla. Usein rakennussähköistykseen kuuluvalle kaapelille riittää, että se jatketaan jakorasiassa [17].

Myös kaapelityypit pitää määrittää, koska eri kaapelityypeille on erilaisia kaapelijatkospakkauksia. Kaapelijatkospakkaus sisältää kaikki kaapelijatkokseen tarvittavat osat. Kaapelijatkospakkauksen valmistajasta riippuen pakkauksissa on pieniä eroja, mutta jokaisen kaapelijatkospakkauksen mukana tulee asennusohje. Usein kaapelijatkos tehdään kuitenkin erillisillä holkeilla ja kutistepakkauksilla. Tällöin joudutaan määrittämään sopivat holkkikoot ja kutistepakkaukset erikseen.

5.2.2 Kaapelijatkoksen tekemisvaihe

Kaapelijatkosten tekeminen aloitetaan mitoittamalla ja katkaisemalla kaapeleiden päät oikean mittaisiksi, jotta lopullinen kaapeli ei jää turhaan mutkalle. Näin viedään mahdollisimman vähän tilaa esimerkiksi kaapelihyllyllä. Kaapeleita ei saa lyhentää liikaa, jotta kaapelijatkokseen ei kohdistuisi vectorasitusta. Kaapeleiden päät katkaisemisella myös varmistetaan, että kaapeleiden johtimien päät ovat varmasti ehjät, eikä niissä esiinny paljoakaan epäpuhtauksia. Tässä vaiheessa, tai kutisteletkujen pujottamisen jälkeen, kaapeleiden suojavaipat voidaan kuoria valmistajan antamien mittojen mukaan.

Kaapelijatkosten päälle tulevia kutisteletkuja on eri määrä eri kaapelityypeillä ja eri valmistajilla, mutta jokaiseen kaapelijatkokseen tulee vähintään kahta erilaista kutisteletkua – yhdysholkkien päälle tuleva kutisteletku, ja kaapelijatkoksen kokonaan peittävä kutisteletku. Jos yhdistettävät kaapelit ovat erikokoiset, pienemmän kaapelin päälle pitää asentaa ylimääräinen kutisteletku, jotta kaapelijatkoksesta tulee mahdollisimman tasainen. Kutisteletkut asennetaan tasaiselle ja puhtaalle pinnalle, joten kaapelia voi olla tarpeen hioa tasaiseksi esimerkiksi hienolla hiekkapaperilla ja puhdistaa sopivalla kemikaalilla mahdolliset kaapelin tai johtimien päällä olevat rasvat, öljyt ja muut epäpuhtaudet. Joillakin valmistajilla, kuten Enstolla, jatkospakkauksen mukana tulee väli-neet, joilla kaapeli saadaan tasaiseksi ja puhtaaksi [18].

Kutisteletkut pujotetaan kaapelin ja johtimien päälle ennen liitosten tekemistä, jotta ne voidaan liu'uttaa kohdilleen liitoksen tekemisen jälkeen. Kutisteletkujen kutistaminen aloitetaan aina keskeltä, ja jatketaan siitä sen päihin, jotta kutisteletkuun ei jäisi ilma-kuplia, ja siitä tulisi mahdollisimman tiivis. Kutistettaessa kaapelia pitää kuumailmapu-haltimen tai puhtasliekkisen propaanipolttimen olla koko ajan liikkeessä, ettei kutisteletku kuumene liikaa yhdestä kohtaa, ja että kutisteesta tulee tasainen. Liimapintaisten kutisteletkujen päistä pitää kutistamisen jälkeen pursuta hieman liimaa ulos. Joissain kaapelijatkospakkauksissa on mukana myös tiivistenauha, joka asennetaan yleensä ennen viimeistä, koko kaapelijatkoksen päälle tulevaa, kutisteletkua [19].

Johtimet kuoritaan valmistajan antamien ohjeiden pituudelta, puhdistetaan epäpuhta-uksilta ja liitetään toisiinsa joko puristus- tai momenttijatkosholkkeilla (kuvat 5 ja 6, ks. seur. s.). Kumpiakin holkkeja asennettaessa on katsottava, että kuorittu kaapeli menee holkkiin riittävän syvälle, jotta saadaan hyvä kosketuspinta johtimen ja holkin välille. Tämä vaihe on kriittinen kaapelijatkoksen lämpenemisen kannalta, koska johtimen ja holkin välinen liitos vaikuttaa kaapelijatkoksen dielektrisiin ominaisuuksiin kaikkein eni-ten. Jokaisen holkin päälle tulee kutisteletku.

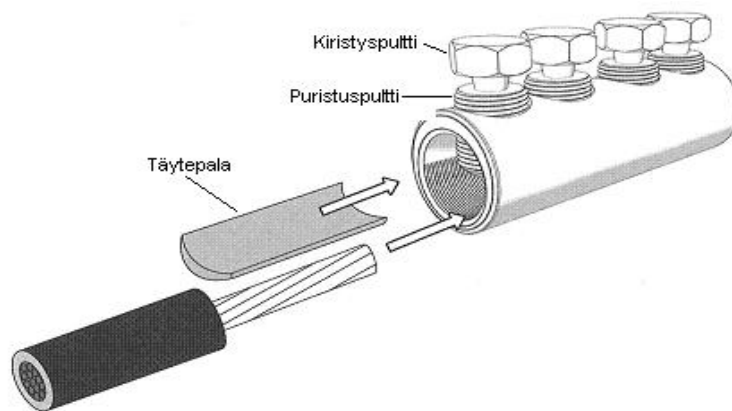
Jos johdin on pieni verrattuna holkkiin, holkin ja johtimen väliin voidaan asettaa täyte-pala (kuva 6, ks. seur. s.). Pienillä johtimen poikkipinnoilla johdin voidaan taittaa kak-sinkerroin, jos valmistaja sallii tämän. Nämä toimenpiteet mahdollistavat holkille suun-niteltua pienemmän johdinpinta-alan, mutta takaavat silti tiiviin kontaktin holkin ja johti-men välille. Liian pientä holkkia ei saa asentaa johtimeen.

Momenttijatkosholkissa on kaksi pulttia päällekkäin. Ylempää pulttia kiristetään niin kauan, kunnes se naksahtaa ja irtoaa. Tämä toimenpide puristaa alemman pultin johtimeen kiinni oikealla momentilla. Ainakin Enston suuremmissa momenttijatkosholkeissa alempi pultti lyödään vasaralla kiristyksen jälkeen tiiviisti kiinni kaapeliin [20].

Puristusjatkosholkeihin työnnetään johtimet sisään ja puristetaan holkki lyttyyn liitokselle tarkoitetuilla puristuspihdeillä holkkivalmistajan antaman momentin mukaan. Pie-nillä johtimen poikkipinnoilla käytetään mekaanisia puristuspihtejä. Johdinkoon ja vaadittavan momentin kasvaessa, mekaanisen puristuspihdin lisäksi on olemassa hydraulisia, pneumaattisia ja sähköisiä puristuspihtejä sekä näiden yhdistelmiä kuten sähköhydraulinen puristuspihti. Puristusten järjestys on yleensä holkin keskeltä ulospäin, mutta jotkut valmistajat, kuten Elpress, antavat ohjeet juuri päinvastoin [21]. Puristusjatkosholkeihin jää puristuksen jälkeen usein myös teräviä reunoja, jotka voivat vahingoittaa kutisteletkua. Tästä syystä nämä terävät reunat on viilattava tasaiseksi.



Kuva 3. Puristusjatkosholkki [lähdettä 21 mukaillen].



Kuva 4. Momenttijatkosholkki [lähdettä 20 mukaillen].

Mikäli kaapeleissa on konsentrisen suojajohdin, joissakin kaapelijatkoksissa äärijohtimien päälle asennetaan joko kutisteletku tai tiivistenauha. Tällöin konsentrisen suojajohtimen yhdysholkin päälle ei välttämättä tule kutisteletkua. Muissa tapauksissa konsentrisen suojajohtimen kanssa toimitaan samoin kuin äärijohtimien jatkamisessa. Suojajohtimien, PEN-johtimien ja nollajohtimien yhdistämisessä pitää olla erityisen huolellinen, jotta vikavirrat pääsevät luotettavasti kulkemaan tätä kautta.

5.2.3 Valmiin kaapelijatkoksen asennus

Kun kaapelijatkos on saatu valmiiksi, sen pitää antaa jäähtyä, ennen kuin sitä voi liikutella, koska kutisteletkut voivat vahingoittua. Jäähtymisen jälkeenkään kaapelijatkosta ei saa tarpeettomasti taivuttaa, vaan kaapelijatkosta on pyrittävä liikuttamaan kokonaisuutena. Koska lämpökutistejatkoksen teko luokitellaan tulityöksi, sen asentamisen jälkeen on järjestettävä palovartiointi [22].

Kaapelijatkos pitää asentaa siten, ettei siihen kohdistu veto-, vääntö- tai puristusrasitusta. Jos vetorasitusta ei voida välttää, kaapeli on kiinnitettävä tukevasti kaapelijatkoksen päiden kohdalta.

6 Kaapeleiden koestus

Uusille kaapeleille ja kaapelijatkoksille on tehtävä käyttöönotto-koestus, koska kaapelin ominaisuudet ovat saattaneet muuttua kuljetuksen, varastoinnin tai asennuksen aikana. Ominaisuudet voivat myös muuttua, jos vanha kaapeli on korvattu uudella kaapelilla, jonka tyyppi on eri kuin alkuperäisen kaapelin.

6.1 Koemenettelyt kaapeleiden koestukseen

Käyttöönotto-koestuksella varmistetaan, että kaapeli täyttää vaaditut standardit ja toimii suunnitellusti. Kaapeleille tehtävät koestukset koostuvat pääasiassa jännitelujuus- ja osittaispurkauskoestuksesta sekä eristysresistanssi- ja johtavuustestistä. Tarvittaessa uudelle kaapelille tai kaapelijatkokselle voidaan tehdä myös rasiustesti, jossa kaapelia väännetään erikseen määritellyllä momentilla tiettyyn suuntaan.

Insinööriyössä käsitellään jännitekoestuksia, joilla varmistetaan kaapelin eristeen tai vaipan kestävyys. Näissä koestuksissa ei saa esiintyä läpilyöntiä. Vaikka Loviisan voimalaitoksella ei olekaan käytössä kaikkia standardeissa esitettyjä jännitteitä, ne esitetään tässä luvussa havainnollistamaan sitä, miten koestusjännitteet muuttuvat kaapeleiden nimellisjännitteen mukaan.

Yksijohdinkaapelin koestuksessa jännite kytketään johtimen ja metallivaipan väliin. Kolmivaihekaapelin johtimet voidaan koestaa johdin kerrallaan tai kaikki johtimet saman aikaisesti käyttämällä kolmivaihemuuntajaa. Jos kolmivaihekaapelia koestetaan johdin kerrallaan, jännite pitää kytkeä yhden johtimen ja muiden yhteen kytkettyjen johtimien ja metallivaipan väliin. Jos kolmivaihekaapelin koestus tehdään käyttäen kolmivaihemuuntajaa, muuntajan vaiheet kytketään johtimiin ja tähtipiste kaapelin metallivaippaan. Jännite pitää nostaa jokaisessa koestuksessa portaattomasti määriteltyyn arvoonsa.

Koska kaapelijatkos ei saa olla jännitelujuudeltaan heikompi kuin ehjä kaapeli, molemmille on tehtävä koestus samoilla jännitteillä [23]. Koestettavan kaapelin päät on oltava puhtaat ja ne on puhdistettava tarvittaessa. Näin saadaan hyvä kosketuspinta koestuslaitteiston ja johtimien välille. Koestettaessa on varmistuttava siitä, ettei koestuksessa ole mukana komponentteja, jotka voivat vahingoittua koestusjännitteestä. Tällaisia komponentteja ovat mm. jännitemuuntajat ja virtamuuntajat. Komponenttien jännitekestoisuudet on tarkastettava, ja ne on irrotettava koestuksen ajaksi, jos ne eivät tule kestämään koestusjännitettä.

Lukujen 6.2 ja 6.3 lasketut koestusjännitteet on pääasiassa pyöristetty ylöspäin, koska koestustilanteen halutaan olevan kaapelille mahdollisimman epäsuotuisa. Kuitenkin luvun 6.3 kaapelin 3,6 / 6 (7,5) kV rutiinikoejännite on pyöristetty alaspäin, koska se on mainittu standardissa.

6.2 Koestusvaatimukset kaapeleille 1–3 kV

IEC 60502-1 -standardi käsittää sellaiset 1–3 kV kupari- ja alumiinikaapelit, joiden eristemateriaaleina ovat

- PVC; *polyvinyylidikloridi*
- EPR / EPM / EPDM; *eteeni-propeenikumi*
- HEPR; *kovaluokkainen eteenipropeenikumi*
- XLPE; *ristisilloitettu polyeteeni*.

XLPE tunnetaan Suomessa paremmin nimellä PEX. IEC 60502-1 -standardissa käytetyt jänniteluokat määritetään seuraavasti:

$$U_0 / U (U_m), \quad (1)$$

jossa U_0 on kaapelille suunniteltu vaihejohtimen ja maan tai metallisen suojan välinen käyttötaajuinen jännite, U on kaapelille suunniteltu vaiheiden välinen käyttötaajuinen jännite – eli pääjännite – ja U_m on suurin mahdollinen käyttöjännite, jolla laitteistoa voidaan käyttää. Määritelmän 1 mukaan IEC 60502-1 -standardiin kuuluvat seuraavat jänniteluokat: 0,6 / 1 (1,2) kV ja 1,8 / 3 (3,6) kV.

Yleensä jokaiselle valmistetulle kaapelipituudelle tehdään rutiinitestit/-koestukset. Nämä testit ja koestukset koostuvat johtavuustestistä ja jännitekoestuksesta, ja ne suorittaa kaapelin valmistaja. Jännitekoestus voidaan varmuuden vuoksi toistaa voimalaitoksella ennen kaapelin asennusta. Rutiinijännitekoestuksen kestoaika on 5 minuuttia. Rutiinikoestuksissa käytettävät jännitteet määritetään yksivaihekoestuksen mukaan seuraavasti: $2,5 * U_0 + 2$ kV. IEC 60502-1 -standardin kattavien kaapeleiden koestusjännitteet yksivaihekoestuksille ovat

$$(2,5 * 0,6 + 2) \text{ kV} = 3,5 \text{ kV}$$

$$(2,5 * 1,8 + 2) \text{ kV} = 6,5 \text{ kV}.$$

Jos koestus suoritetaan kolmivaihekaapelille kolmivaiheisella muuntajalla, koestusjännitteen tulee olla 1,73 kertaa normaalin rutiinikoestuksen vaatiman jännitteen suuruinen:

$$1,73 * 3,5 \text{ kV} = 6,055 \text{ kV} \approx 6,1 \text{ kV}$$

$$1,73 * 6,5 \text{ kV} = 11,245 \text{ kV} \approx 11,3 \text{ kV}.$$

Jos koestus suoritetaan tasajännitteellä (DC), koestusjännitteen tulee olla 2,4 kertaa normaalin rutiinikoestuksen vaatiman jännitteen suuruinen:

$$2,4 * 3,5 \text{ kV} = 8,4 \text{ kV}$$

$$2,4 * 6,5 \text{ kV} = 15,6 \text{ kV}.$$

IEC 60502-1 -standardin kattavien kaapeleiden asennuksen jälkeinen koestus suoritetaan vain tarvittaessa, ja se tehdään vain uusille asennuksille – ei korjatuille asennuksille. Koestus suoritetaan 15 minuutin ajan tasajännitteellä (DC) ja koestusjännite on $4 * U_0$. IEC 60502-1 -standardin kaapeleille tämä tarkoittaa:

$$4 * 0,6 \text{ kV} = 2,4 \text{ kV}$$

$$4 * 1,8 \text{ kV} = 7,2 \text{ kV}.$$

Mikäli kaapeli on jo ollut käytössä, ja sille tehdään jännitekoestus, se tehdään SFS 5546 ja SFS 4880 -standardien mukaisesti. Tällaisia ovat esimerkiksi tilanteet, joissa kaapeliin on tehty kaapelijatkos. Näiden standardien mukaan 0,6 / 1 (1,2) kV:n kaapeleille voidaan tehdä jännitekoestus vaihtojännitteellä (AC) 3 kV ja 5 minuuttia tai tasajännitteellä (DC) 10 kV ja 15 minuuttia. PEX-eristeisiä kaapeleita ei suositella koestettavan tasajännitteellä, koska tämä saattaa vahingoittaa kaapelin eristystä. [24; 25; 26.]

6.3 Koestusvaatimukset kaapeleille 6–30 kV

IEC 60502-2 -standardi käsittää sellaiset 6–30 kV kupari- ja alumiinikaapelit, joiden eristemateriaaleina ovat

- PVC
- EPR / EPM / EPDM
- HEPR
- XLPE.

Määritelmän 1 mukaan IEC 60502-2 -standardiin kuuluu seuraavat jänniteluokat: 3,6 / 6 (7,5) kV, 6 / 10 (12) kV, 8,7 / 15 (17,5) kV, 12 / 20 (24) kV ja 18 / 30 (36) kV.

Yleensä jokaiselle valmistetulle kaapelipituudelle tehdään rutiinitestit/-koestukset. Nämä testit ja koestukset koostuvat johtavuustestistä sekä osittaispurkaus- ja jännitekoestuksesta, ja ne suorittaa kaapelin valmistaja. Jännitekoestus voidaan varmuuden vuoksi toistaa voimalaitoksella ennen kaapelin asennusta. Rutiinijännitekoestuksen kestoaika on 5 minuuttia.

Rutiinikoestuksissa käytettävät jännitteet määritetään yksivaihekoestuksen mukaan seuraavasti: $3,5 * U_0$. IEC 60502-2 -standardin kattavien kaapeleiden koestusjännitteet yksivaihekoestuksille ovat

$$3,5 * 3,6 \text{ kV} = 12,6 \text{ kV} \approx 12,5 \text{ kV}$$

$$3,5 * 6 \text{ kV} = 21 \text{ kV}$$

$$3,5 * 8,7 \text{ kV} = 30,45 \text{ kV} \approx 30,5 \text{ kV}$$

$$3,5 * 12 \text{ kV} = 42 \text{ kV}$$

$$3,5 * 18 \text{ kV} = 63 \text{ kV}.$$

Jos koestus suoritetaan kolmivaihekaapelille kolmivaiheisella muuntajalla, koestusjännitteen tulee olla 1,73 kertaa normaalin rutiinikoestuksen vaatiman jännitteen suuruinen:

$$1,73 * 12,5 \text{ kV} = 21,625 \text{ kV} \approx 21,7 \text{ kV}$$

$$1,73 * 21 \text{ kV} = 36,33 \text{ kV} \approx 36,4 \text{ kV}$$

$$1,73 * 30,5 \text{ kV} = 52,765 \text{ kV} \approx 52,8 \text{ kV}$$

$$1,73 * 42 \text{ kV} = 72,66 \text{ kV} \approx 72,7 \text{ kV}$$

$$1,73 * 63 \text{ kV} = 108,99 \text{ kV} \approx 109 \text{ kV}.$$

IEC 60502-2 -standardin kaapeleille on suositeltu, että kaapeleiden asennusten jälkeen kaapelille tehdään tasajännitekoestus, jolla testataan kaapelin vaipan kestävyyttä. Lisäksi asennetulle kaapelille voidaan tarvittaessa tehdä eristysjännitekoestus joko vaihto- tai tasajännitteellä. Työn tilaajan (voimalaitoksen) ja urakoitsijan välillä voidaan sopia, että kaapelin vaipan kestävyyskoestus ja asennuksen aikainen laadunvarmistus korvaavat eristysjännitekoestuksen.

Kaapelin vaipan kestävyyttä testaava koestus tehdään yhdistämällä kaapelin jokainen metallisuoja, ja koestamalla näiden ja maan väliltä tasajännitteellä (DC). Koestuksesta saadaan paras tulos, kun kaapelin vaipan ulkopinta saa hyvän kosketuksen maahan koko pituudeltaan. IEC 60229 -standardin mukaan koestusjännite määritellään kaapelin ulkovaipan paksuuden mukaan niin, että 1 mm paksuus vaipassa vastaa 4 kV:n koestusjännitettä, mutta koestusjännite saa olla maksimissaan 10 kV. Koestusaika on 1 minuutti, ja koestuksessa ei saa tapahtua vaipan läpilyöntiä. [27]

Asennuksen jälkeinen eristysjännitekoestus tehdään käyttötaajuisella vaihtojännitteellä johtimen ja metallisuojan väliltä joko 5 minuuttia *järjestelmän nimellispääjännitteellä* tai 24 tuntia *järjestelmän normaalilla käyttöjännitteellä*. Vaihtojännitekoestus voidaan korvata tasajännitekoestuksella. Tällöin on huomioitava, että tasajännitekoestus saattaa vahingoittaa kaapelin eristystä. Tasajännitekoestuksen kesto on 15 minuuttia ja koestusjännite on $4 * U_0$.

IEC 60502-2 -standardin kaapeille koestusjännitteet ovat

$$4 * 3,6 \text{ kV} = 14,4 \text{ kV}$$

$$4 * 6 \text{ kV} = 24 \text{ kV}$$

$$4 * 8,7 \text{ kV} = 34,8 \text{ kV}$$

$$4 * 12 \text{ kV} = 48 \text{ kV}$$

$$4 * 18 \text{ kV} = 72 \text{ kV.}$$

Jos kaapeli on ollut käytössä ennen asennusten jälkeisiä koestuksia, voidaan käyttää pienempiä koestusjännitteitä ja lyhyempiä kestoajoja. Tällaisissa tilanteissa pitää huomioida kaapelin ikä, ympäristöolosuhteet, vikahistoria ja syy koestuksen tekemiselle. PEX-eristeisiä kaapeleita ei suositella koestettavan tasajännitteellä, koska tämä saattaa vahingoittaa kaapelin eristystä. [28.]

6.4 Yhteenveto kaapeleiden koestuksista

Läpikäytyt kaapeleiden koestusjännitteet ja -ajat esitetään yhteenvetona taulukossa 1.

Taulukko 1. Kaapeleiden koestusjännitteet ja koestusten kestoajat

								Koestusaika
Kaapelin nimellispääjännite (kV)	1	3	6	10	15	20	30	-
Kaapelin nimellisvaihejännite (kV)	0,6	1,8	3,6	6	8,7	12	18	-
Yksivaiheinen rutiinikoestusjännite (kV)	3,5	6,5	12,5	21	30,5	42	63	5 min
Rutiinikoestusjännite kolmivaihemuuntajalla tehtävälle koestukselle (kV)	6,1	11,3	21,7	36,4	52,8	72,7	109	5 min
Rutiinikoestusjännite tasajännitteellä (DC) tehtävälle koestukselle (kV)	8,4	15,6	-	-	-	-	-	5 min
Asennusten jälkeinen tasajännitteen (DC) koestusjännite (kV)	2,4	7,2	14,4	24	34,8	48	72	15 min

Vaihtojännitteellä 6–30 kV kaapeleille tehtävät asennusten jälkeiset koestukset voidaan tehdä joko

- 5 minuuttia *järjestelmän nimellisjännitteellä* tai
- 24 tuntia *järjestelmän normaalilla käyttöjännitteellä*.

Lisäksi 0,6 / 1 (1,2) kV kaapeli voidaan koestaa vaihtojännitteellä viiden minuutin ajan 3 kV:n jännitteellä tai tasajännitteellä viidentoista minuutin ajan 10 kV:n jännitteellä.

Kaapeleita koestettaessa, koestuslaitteistolla ei välttämättä päästä yhtä tarkkoihin koestusjännitteisiin kuin taulukossa 1 (ks. ed. s.) esitettiin. Tällöin koestuslaitteistolla pyritään asettamaan koestusjännite mahdollisimman lähelle taulukossa 1 annettua arvoa. Koestusajoista on kuitenkin syytä pitää kiinni, jotta voidaan luotettavasti todeta kaapelin olevan ehjä.

7 Suurjännitekoestuslaitteisto

7.1 Koestuslaitteiston tarkastelu

Työssä tutkittava koestuslaitteisto on saksalaisvalmisteinen BAUR PGK 70 HB, joka koostuu ohjaus- ja suurjänniteyksiköstä. Koestuslaitteiston mukana on myös purkaus-sauva, jota käytetään varausten purkamiseen. Virtalähteekseen koestuslaitteisto tarvitsee 220 V:n jännitteen ja 45–60 Hz:n käyttötaajuuden, eli se voidaan kytkeä normaaliin verkkovirtaan (220 / 230 V ja 50 Hz). Koestuslaitteisto ei sovellu ainoastaan kaapeleiden koestukseen, vaan sillä voidaan koestaa muun muassa kondensaattorien, generaattorien, moottorien, muuntajien ja eristysaineiden läpilyöntikestoisuutta. Sitä voidaan myös käyttää suurjännitegeneraattorina, jos tarvitaan suuri tasajännite, mutta pieni virta. Kuvassa 5 (ks. seur. s.) esitetään koestuslaitteiston ohjaus- ja suurjänniteyksikkö.



Kuva 5. BAUR PGK 70 HB, ohjaus- ja suurjänniteyksikkö [29].

Koestuslaitteiston säätöalue on vaihtojännitteelle (AC) 0...50 kV ja tasajännitteelle (DC) 0...70 kV. Sen toisiopuolen ulostulovirta on maksimi tasajännitteellä jatkuvana 3 mA ja läpilyönnin aikana 12 mA. Sen toisiopuolen ulostulovirta on maksimi vaihtojännitteellä jatkuvana 3 mA ja läpilyönnin aikana 20 mA. Näyttämätarkkuus on tasajännitteellä $\pm 2,5\%$ 3 mA:n ulostulovirtaan asti ja vaihtojännitteellä $\pm 2,5\%$ 7 mA:n ulostulovirtaan asti. Lisäksi jännitemittarin luettavuuden parantamiseksi koestuslaitteistossa on valittavana kaksi eri jännitteen mittausaluetta. Kaapeleiden koestus voidaan tapauksesta riippuen suorittaa yksi- tai kolmevaiheisena. [30.]

7.1.1 Koestuslaitteiston ohjausyksikkö

Ohjausyksiköllä valitaan joko AC- tai DC-koestusasento ja säädetään koestukseen tarvittavat jännitteet. Ohjausyksikön etupaneelissa on seuraavat komponentit:

- *käynnistyskytkin*, jolla valitaan kV-mittarin mittausalue sekä käynnistetään suurjänniteyksikkö
- *käyttötapakytkin*, jolla voidaan valita mittaustavaksi AC tai DC sekä valita DC:n napaisuus (+ tai -)
- *kV-mittari*, josta nähdään koestuksessa olevien jännitteiden huippuarvot
- *mA-mittari*, josta nähdään koestuksessa olevien virtojen aritmeettinen keskiarvo

- *mA-mittausalueen valintakytkin*, jolla voidaan muuttaa mA-mittarin mitta-
usalueetta
- *merkkivalo*, joka ilmoittaa ylivirran
- *merkkivalo*, joka ilmoittaa suurjännitteen olevan valmis kytkettäväksi
- *merkkivalo*, joka ilmoittaa, että suurjännite on kytketty
- *painonappi*, joka kytkee jännitteen säätömuuntajaan ja suurjänniteyksik-
köön, mikäli suurjännitteen säätönappi on nollassa.
- *lasiputkisulakkeet*, joilla suojataan ohjausyksikön sisäisiä komponentteja
- *suurjännitteen säätönappi*, jolla säädetään haluttu koestusjännite
- *ylivirtalaukaisin*, joka toimii ohjausyksikön ylikuormasuojana.

Ohjausyksikön sisällä olevista komponenteista mainitsemisen arvoinen on säätömuun-
taja, joka säättää suurjänniteyksikön muuntajan ensiöön menevää jännitettä, mikä vai-
kuttaa muuntajan toision jännitteeseen eli koestusjännitteeseen. Säätömuuntaja on
kytketty ohjausyksikön etupaneelissa olevaan suurjännitteen säätönappiin, jolla sääde-
tään säätömuuntajaa. [30.]

7.1.2 Koestuslaitteiston suurjänniteyksikkö

Koestuslaitteiston suurjänniteyksikkö koostuu sylinterinmuotoisesta öljy-yksiköstä sisäl-
täen suurjännitemuuntajan ja piitasasuuntaajan. Periaatteessa suurjänniteyksikkö on
siis muuntaja, jolla saadaan tarvittavan suuret jännitteet koestuksiin. Piitasasuuntaaja
on käytössä, jos ohjausyksikön käyttötapakytkin on käännetty DC asentoon. Vaikka
ohjausyksiköstä voidaan kääntää DC:n napaisuus, napaisuuden vaihto voidaan tehdä
tarpeen tullen myös suurjänniteyksiköstä. Tehtiin napaisuuden vaihto kummassa yksi-
kössä tahansa laitteet eivät saa olla kytkettynä sähköverkkoon ja varauksien on oltava
poistettuina. [30.]

7.1.3 Koestuslaitteiston toimintaperiaate

Ohjausyksikkö kytketään sähköverkkoon ja suurjänniteyksikköön koestuslaitteistossa
mukana olevilla kaapeleilla. Suurjänniteyksikkö maadoitetaan siinä olevasta maadoi-
tusruuvista, johon liitetään myös purkaussauva. Aluksi mA-mittausalueen valintakytkin
asetetaan suurimmalle mitta-alueelle, jotta koestuksissa mahdollisesti esiintyvät suuret

virrat eivät vahingoittaisi mittaria. Koestuksen aikana voidaan mitta-alueita tarvittaessa pienentää. Ennen koestuksen aloittamista valitaan käynnistyskytkimellä kV-mittarin mitta-alue kahdesta eri vaihtoehdosta. Ohjauksyksikön painonapista kytketään jännite suurjänniteyksikköön, mutta jännite kytkeytyy vain siinä tapauksessa, että suurjännitteen säätönappi on nollassa.

Koestusjännite säädetään suurjännitteen säätönupilla. Koestusjännite tulee nostaa hitaasti ja portaattomasti, jotta varausvirran pienenemistä voidaan seurata tarkasti. Koestusjännitteen suuruutta voidaan seurata ohjauksyksikön etupaneelissa olevasta kV-mittarista ja virran muutosta luetaan ohjauksyksikön etupaneelissa olevasta mA-mittarista. Kaapeleiden koestuksessa jännitettä nostettaessa virta nousee aluksi nopeasti melko suureksi. Tämän jälkeen virta pienenee eksponentiaalisesti, minkä jälkeen virran pitäisi pysyä lähes vakiona. Mikäli virta ei kuitenkaan pienene vaan jatkaa kasvuaan, kaapeli on viallinen, ja odotettavissa on läpilyönti. Jos virta kuitenkin heilahtelee edes takaisin, kyse voi olla myös verkkojännitevaihtelusta.

Mikäli virta pysyy vakiona koko loppukoestuksen ajan, kaapeli on kunnossa. Näin ollen läpilyöntiä ei tapahtunut. Jos läpilyönti kuitenkin tapahtuu, on ryhdyttävä tarpeellisiin toimenpiteisiin. Yleensä toimenpide on kaapelin vaihto, mutta mikäli vian todetaan olevan kaapelijatkoksessa, voidaan vanha kaapelijatkos korvata uudella ja toistaa koestus. Jos tämänkin jälkeen tulee läpilyönti, kaapeli on vaihdettava. Kun koestus on suoritettu, suurjännitteen säätönappi säädetään nolnaan, ja kaapelin varaus puretaan purkaussauvan avulla, koska kaapelissa saattaa vielä olla hengenvaarallisia jännitteitä. [30.]

7.2 Koestuslaitteiston soveltuvuus Loviisan voimalaitokselle

Koestuslaitteistossa on oltava riittävän suuri jännitealue, jotta se voi suorittaa vaadittavat koestukset kaapeleille. Lisäksi koestuslaitteiston on täytettävä kansainväliset standardit ja oltava luotettava ilmoittamaan, mikäli koestuksessa tulee, tai on tuleva, läpilyönti.

BAUR PGK 70 HB koestuslaitteisto on valmistettu saksalaisen standardin VDE 0104 mukaan, joka vastaa kansainvälistä standardia EN 50191, joten sitä voidaan pitää kelpoisena koestuksiin. Lisäksi koestuslaitteisto ilmoittaa, mikäli läpilyönti tapahtuu tai on

tapahtumassa. Koestuslaitteistolla ei kuitenkaan saada kaikkia taulukossa 1 (ks. s. 27) esitettyjä jännitteitä. Samalla koestuslaitteiston valmistajalla (BAUR) on koestuslaitteistoja, joilla puuttuvat koestukset pystytään tehdä. Taulukossa 2 esitetään punaisilla numeroilla koestukset, joita tutkitulla koestuslaitteistolla ei voida toteuttaa.

Taulukko 2. BAUR PGK 70 HB:llä koestettavissa olevat jännitteet

	1	3	6	10	15	20	30	Koestusaika
Kaapelin nimellispääjännite (kV)								-
Kaapelin nimellisvaihejännite (kV)	0,6	1,8	3,6	6	8,7	12	18	-
Yksivaiheinen rutiinikoestusjännite (kV)	3,5	6,5	12,5	21	30,5	42	63	5 min
Rutiinikoestusjännite kolmivaihemuuntajalla tehtävälle koestukselle (kV)	6,1	11,3	21,7	36,4	52,8	72,7	109	5 min
Rutiinikoestusjännite tasajännitteellä (DC) tehtävälle koestukselle (kV)	8,4	15,6	-	-	-	-	-	5 min
Asennusten jälkeinen tasajännitteen (DC) koestusjännite (kV)	2,4	7,2	14,4	24	34,8	48	72	15 min

BAUR PGK 70 HB koestuslaitteistosta ulos saatava vaihtojännite on 50 kV ja tasajännite 70 kV. Taulukon 2 harmaalla pohjalla luvut kuvastavat sitä, että standardeissa määritellyt kaapeleiden koestusjännitteet ovat niin lähellä koestuslaitteiston suorituskykyä, että niiden koestusta ko. laitteistolla voidaan vakavasti harkita. Mikäli koestuksissa käytetään jotakin muuta koestuslaitteistoa, sen soveltuvuus on määritettävä.

8 Yhteenveto

Insinööriyössä käsiteltiin kaapeleiden ja kaapelijatkosten suojausta Loviisan voimalaitoksella sekä tutkittiin standardeja, joiden pohjalta määritettiin kaapeleille ja kaapelijatkoksille tehtävien jännitekoestusten jännitearvot ja kestoajat. Työssä tutustuttiin myös ydinenergian valvontaan, käyttöön ja turvallisuusnäkökohtiin, joiden lisäksi työssä käsiteltiin kaapelijatkosten asennusta ja suurjännitekoestuslaitteistoa.

Insinööriyön lopputulokseksi saatiin Loviisan voimalaitokselle uudet ohjeet kaapeleiden koestukseen ja kaapelijatkosten asennukseen ja koestukseen. Ohjeita voidaan hyödyntää Loviisan voimalaitoksella suunnittelussa ja niitä koskevissa asennuksissa.

Koska kaapelijatkosten asennus on suunniteltava aina kyseisen asennuspaikan mukaan, kaapelijatkosten asennusohjeita voidaan pitää vain suuntaa antavina ja suunnittelua tukevin ohjeina. Kaapeleiden koestusohjeita taas voidaan pitää pääosin velvoittavana, mutta näissäkin ohjeissa annettuja koestusjännitteitä ja -aikoja voidaan tarpeen tullen muuttaa, jos kaapeli on ollut käytössä, ennen kuin sille tehdään koestukset.

Työn lopputuloksena valmistuneet ohjeet *1–30 kV:n kaapeleiden koestus ja Kaapelijatkosten asennus ja koestus* ovat vain Fortum Oyj:n sisäiseen käyttöön. Tästä syystä niitä ei voida julkaista insinööriyössä.

Lähteet

- 1 Historia. 2012. Verkkodokumentti. <<http://www.fortum.com/fi/konserni/fortum-lyhyesti/historia/pages/default.aspx>>. 9.3.2012. Luettu 20.3.2013.
- 2 Fortum lyhyesti. 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.fortum.com/fi/konserni/fortum-lyhyesti/pages/default.aspx>>. 31.1.2013. Luettu 20.3.2013.
- 3 Virtuaalivierailu Fortumin Loviisan voimalaitokselle. 2011. Verkkodokumentti. <http://qsb.webcast.fi/f/fortum/fortum_2011_0421_Virtuaalivierailu_FI_2011/>. Luettu 23.10.2012.
- 4 Kuva Loviisan voimalaitoksesta. Verkkodokumentti. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Loviisan_voimalaitos_ilmas ta.png>. Luettu 26.2.2013.
- 5 Päivärinta, Jukka. 2012. Sähkötyö ja –turvallisuus menettelyt Loviisan voimalaitoksella. Menettelyohje: MO-15-00004. Loviisa: Fortum Power and Heat Oy.
- 6 SFS 6002 -standardi. Sähkötyöturvallisuus. 2005. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 7 Ydinenergi laki 11.12.1987/990. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1987/19870990>>. Luettu 12.11.2012.
- 8 Sandberg, Jorma. 2004. Ydinturvallisuus. Hämeenlinna: Karisto Oy:n kirjapaino.
- 9 Linnamaa L. 2010. Sähköjärjestelmät – Johdanto. Turvallisuusseloste: FSAR 8.1. Loviisa: Fortum Power and Heat Oy.
- 10 Wahlström, Kim. 2012. YVL E.7, Ydinvoimalaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet, luonnos L2. Verkkodokumentti. <<https://ohjeisto.stuk.fi/YVL/E.7-L2.pdf>>. Luettu 22.11.2012.
- 11 STUK. 2004. YVL 5.2: Ydinlaitosten sähköjärjestelmät ja –laitteet. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/data/normit/5780-YVL5-2.pdf>>. Luettu 22.11.2012.
- 12 IEEE Std 383-2003. IEE Standard for Qualifying Class 1E Electric Cables and Field Splices for Nuclear Power Generating Stations. 2003. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- 13 Inkala, A. 2011. Sähköasennusten kunnonvalvonta. Sähköohje: Y-03-00064. Loviisa: Fortum Power and Heat Oy.

- 14 Tähti, Teppo. 2011. LO1, Siemens Sienopyr, LIRA-mittaus 2011. Raportti: LO1-K566-00156. Loviisa: Fortum Power and Heat Oy.
- 15 Tähti, Teppo. Jaospäällikkö, Fortum Power And Heat Oy. 2013. Keskustelu 19.2.2013 Loviisa.
- 16 Inkala, A. 2012. Sähkölaitteiden ja –laitteistojen määräaikaistarkastukset. Menetelyohje: MO-10-00002. Loviisa: Fortum Power and Heat Oy.
- 17 Rautio, Timo. Jaospäällikkö, Fortum Power and Heat Oy. 2013. Keskustelu 1.2.2013. Loviisa.
- 18 Asennusohje. PEM1230. 2011. Verkkodokumentti. <http://products.ensto.com/documents/ii/UN/UG/PEM1230_II.pdf>. Luettu 15.1.2012.
- 19 Ollikainen V. 1985. Raychem-kutistemuovin asennusohje. Selvitys: SYA-0707. Loviisa: Imatran Voima Oy.
- 20 Installation Instruction PEM1163. 2011. Verkkodokumentti. <http://products.ensto.com/documents/ii/UN/UG/PEM1163_II.pdf>. Luettu 17.1.2013.
- 21 Al- ja AlCu-liittimet 16 – 2000 mm². 2012. Verkkodatalehti. <<http://www.elpress.se/elpress/fckImages/File/fi/Al-liittimet.pdf>>. Luettu 17.1.2013.
- 22 Suihko, Jarmo. Sähkösuunnittelija, Fortum Power and Heat Oy. 2013. Keskustelu 30.1.2013. Loviisa.
- 23 IEC 60502-1. Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) – Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) and 3 kV ($U_m = 3,6$ kV). 2004. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- 24 SFS 5637. Vahvavirtakaapeleiden jatkokset. Rakenne ja testaus. 1990. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 25 SFS 5546. 0,6/1 kV Voimakaapelit. Halogeenittomat nippuna itsestään sammuvat kaapelit. Rakenne ja testaus. 1995. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 26 SFS 4880. 0,6/1 kV Voimakaapelit. PVC-eristeiset ja –vaippaiset kaapelit. Rakenne ja testaus. 2008. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 27 IEC 60229. Electric Cables - Tests on extruded oversheds with a special protective function. 2007. Geneva; International Electrotechnical Commission.

- 28 IEC 60502-2. Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) – Part 2: Cables for rated voltages of 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV). 2004. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- 29 BAUR: High Voltage Test Set PGK 70 HB. Verkkodatalehti. <http://www.baur.at/fileadmin/ASSETS/products/PGK70/DS_826-023_PGK70_en-gb.pdf>. Luettu 5.2.2013.
- 30 Dielectric. 1983. Käyttöohje: BAUR PGK HB. Helsinki: Johansson Kommandiittiyhtiö.