

Aatos Siro

Selvitys Loviisan voimalaitoksen vanhoista asennetuista kaapeleista ja kaapelireiteistä

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2025



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Aatos Siro
Työn nimi	Selvitys Loviisan voimalaitoksen vanhoista asennetuista kaapeleista ja kaapelireiteistä
Toimeksiantaja	Fortum Power and Heat Oy
Vuosi	2025
Sivut	47
Työn ohjaaja(t)	Risto Kuitunen ja Jarmo Suihko

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö toteutettiin Fortum Power and Heat Oy:n Loviisan voimalaitokselle. Työn tavoitteena oli tarkastella kaapeleiden ja kaapelihyllyjärjestelmien nykytilaa suojarakennuksen ulkopuolisissa tiloissa. Työ vastaa käytännön tarpeeseen arvioida ja parantaa järjestelmällistä seurantaa tilanteessa, jossa laitoksen käyttöä jatketaan vuoteen 2050 saakka.

Työ toteutettiin analysoimalla aiheeseen liittyvää dokumentaatiota, tekemällä asiantuntijahaastatteluja sekä hyödyntämällä kesällä 2024 toteutetun kaapeleiden kartoitusprojektin tuloksia. Aineistojen pohjalta arvioitiin järjestelmien nykytilaa.

Keskeisissä tuloksissa nousi esille, että suojarakennuksen ulkopuolisia kaapeleita ei ole seurattu järjestelmällisesti. Tämän vuoksi niiden kuntoa tulisi jatkossa seurata tarkemmin ja säännöllisemmin. Kaapelihyllyjen osalta havaittiin merkittäviä ongelmia ylikuormituksesta, joka voi aiheuttaa rakenteellisia ja kaapeleiden lämpöhaurastumisen nopeutumisen riskejä. Opinnäytetyössä esitetään kehityssuosituksia näihin haasteisiin.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin kattava selvitys, joka muodostaa kokonaiskuvan kaapeleiden ja kaapelihyllyjärjestelmien tämänhetkisestä kunnosta. Tulokset tukevat järjestelmien seurantaa ja ikääntymisen hallintaa sekä toimivat perustana jatkotoimenpiteiden suunnittelulle ja järjestelmien kehittämiselle.

Asiasanat: kaapeli, kaapelihylly, ikääntyminen

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Aatos Siro
Thesis title	Survey of the old installed cables and cable routes of the Loviisa power plant
Commissioned by	Fortum Power and Heat Oy
Time	2024
Pages	47
Supervisor	Risto Kuitunen ja Jarmo Suihko

ABSTRACT

The thesis was carried out for Fortum Power and Heat Oy at the Loviisa nuclear power plant. The aim of the thesis was to examine the current condition of cables and cable tray systems located outside the containment building. The thesis responds to a practical need to assess and improve systematic supervision in a situation where the plant's operation will continue until 2050.

The work was carried by analyzing documentation, conducting expert interviews, and utilizing the results of a cable field inspection and documentation project implemented in the summer of 2024. Based on this material, the current state of the systems was assessed.

Key findings revealed that the cables located outside the containment building have not received structured attention. Therefore, more consistent and regular attention should be given to their condition in the future. With regard to cable trays, significant issues related to overfilling were identified, which may lead to structural stress and increased risk of thermal ageing of the cables. The thesis presents development recommendations to address these challenges.

As a result, the thesis produced a comprehensive review that provides an overall picture of the current condition of the cable and cable tray systems. The findings support systematic supervision of the systems and ageing management, and serve as a basis for planning further actions developing the systems.

Keywords: cable, cable tray, ageing

SISÄLLYS

LYHENNELUETTELO	6
1 JOHDANTO	7
2 FORTUM JA LOVIISAN VOIMALAITOS	8
3 IKÄÄNTYMISEN HALLINTA YDINVOIMALOISSA	9
4 TURVALLISUUSLUOKITUKSET JA KAAPELEIDEN KELPOISTAMINEN	10
5 KAAPELITYYPIT YDINVOIMALOISSA	11
6 KAAPELEIDEN RAKENNE	13
7 POLYMEERIMATERIAALIT KAAPELEISSA	15
8 KAAPELEIDEN IKÄÄNTYMISMEKANISMIT	16
8.1 Lämpöaurastuminen	16
8.2 Sähköiset rasitukset.....	17
8.3 Mekaaniset rasitukset	18
8.4 Säteilyaurastuminen	19
8.5 Kemikaaliset rasitukset	20
9 KAAPELEIDEN KUNNONVALVONTAMENETELMÄT	21
9.1 Paikalliset menetelmät.....	22
9.2 Globaalit menetelmät.....	22
10 KAAPELEIDEN IKÄÄNTYMISEN HALLINTA LOVIISASSA	24
11 SELVITYS LOVIISAN KAAPELEISTA JA KAAPELIREITEISTÄ	25
11.1 Kaapeleiden nykyinen tilanne Loviisan voimalaitoksella.....	25
11.2 Kaapeleiden kunnonvalvontamenetelmät	26
11.3 Suojarakennuksen ulkopuolisten kaapeleiden testaus	28
11.4 Kaapelihyllyt ja -reitit.....	30
11.5 Yli täydet kaapelihyllyt	32
11.6 Turvallisuuslohkojen kaapeleiden palosuojaus.....	37
11.7 Näytelaatikot.....	40

11.8 Kaapelitietokanta	43
12 YHTEENVETO SELVITYKSESTÄ.....	44
13 POHDINTA.....	45
LÄHTEET.....	47

LYHENNELUETTELO

AMP	Ageing management program (ikäntymisen hallintaohjelma)
DBA	Design based accident (suunnitteluperusteinen onnettomuus)
EaB	Elongation at break (murtovenymän enimmäismuutos)
ETA	European Technical Assessment (Eurooppalainen tekninen arviointi)
EMI	Electromagnetic Interference (sähkömagneettinen häiriö)
EYT	Ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu
FDR	Frequency domain reflectometry (taajuusalue heijastusmittaus)
IAEA	International Atomic Energy Agency (kansainvälinen atomienergiajärjestö)
LOCA	Loss-of-Coolant Accident (jäähdytteenmenetysonnettomuus)
post-LOCA	Jäähdytteenmenetysonnettomuuden jälkeiset ympäristöolosuhteet
RFI Radio	Frequency interference (radiotaajuinen häiriö)
STUK	Säteilyturvakeskus
TDR	Time domain reflectometry (aika-alueheijastusmittaus)
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
WENRA	The Western European Nuclear Regulators Association (Länsi-Euroopan ydinlaitosten sääntelyviranomaisen)

1 JOHDANTO

Valtioneuvosto myönsi vuonna 2023 Fortumin Loviisan ydinvoimalaitokselle käyttöluvan jatkumaan vuoteen 2050 saakka. Tämä päätös korostaa ikääntymisen hallinnan merkitystä ydinvoimalaitoksen järjestelmien turvallisuuden ja toimintavarmuuden varmistamisessa koko jäljellä olevan käyttöiän ajan. (Fortum 2023d; IAEA 2009, 1.)

Kaapelit ja kaapelihyllyt järjestelmillä on keskeinen merkitys ydinvoimalaitoksen toiminnallisuuden ja turvallisuuden kannalta, erityisesti nyt, kun laitoksen käyttöluvat on jatkettu vuoteen 2050 saakka. Tämän myötä Loviisan voimalaitoksella on tunnistettu tarve kiinnittää entistä enemmän huomiota näiden järjestelmien kuntoon ja ikääntymisen hallintaan. Aiemmin kaapelit järjestelmän ikääntymisen hallinta on painottunut höyrystintilassa sijaitseviin kaapeleihin, mutta jatkossa huomiota tulee kohdentaa myös enemmän suojarakennuksen ulkopuolella sijaitseviin kaapeleihin. Tämän perusteella on päätetty toteuttaa erillinen selvitystyö, joka tehdään tämän opinnäytetyön insinööriyönä. Höyrystintilassa sijaitsevat kaapelit rajataan tarkastelun ulkopuolelle.

Opinnäytetyössä tehdään selvitys, jossa tutkitaan Loviisan voimalaitoksen vanhojen kaapeleiden ja kaapelireittien yleistä tilannetta ja kuntoa sekä tarkastellaan mahdollisia jatkotoimenpiteitä näiden järjestelmien osalta. Lisäksi selvitys käsittelee ajankohtaisia projekteja sekä voimalaitoksella ilmeneviä käytännön ongelmia ja esittää suosituksia niiden ratkaisemiseksi.

Opinnäytetyön teoreettisessa osuudessa käsitellään Loviisan voimalaitosta ja ikääntymisen hallintaa ydinvoimaloissa. Lisäksi tarkastellaan kaapeleiden turvallisuusluokituksia ja kelpoistamista, ydinvoimaloissa käytettäviä kaapelityyppejä, kaapeleiden rakennetta sekä niissä käytettäviä polymeerimateriaaleja. Teoreettiseen osuuteen sisältyvät myös kaapeleiden ikääntymismekanismit ja kunnonvalvonnan menetelmät sekä ikääntymisen hallinta Loviisan voimalaitoksella.

Työ perustuu aiheeseen liittyvien julkisten ja työnantajan sisäisten dokumenttien analysointiin, asiantuntijahaastatteluihin, käytännön havaintoihin sekä keksällä 2024 toteutettuun kaapeleiden kartoitusprojektiin.

2 FORTUM JA LOVIISAN VOIMALAITOS

Fortum Power and Heat Oy on osa Fortum-konsernia, joka kuuluu Pohjois-Euroopan johtaviin energiayhtiöihin. Yhtiö keskittyy puhtaasti energian tuotantoon, jakeluun ja myyntiin sekä tarjoaa ympäristöystävällisiä ja kestäviä energiaratkaisuja, jotka edistävät vastuullista kehitystä. Sen toiminta kattaa sähkön ja lämmön yhteistuotannon sekä kaukolämpöratkaisuja Suomessa ja laajemmin Pohjois-Euroopassa. Fortumin perusarvoihin kuuluvat ympäristövastuullisuus, energiatehokkuus ja innovatiiviset ratkaisut, joiden avulla pyritään kohti hiili-neutraalia tulevaisuutta. (Fortum 2023a.)

Fortumilla on Loviisassa kaksi ydinvoimalaitosta (Loviisa 1 ja Loviisa 2) (ks. kuva 1) sekä osakkuuslaitoksia Suomessa ja Ruotsissa. Loviisa 1 aloitti toimintansa vuonna 1977 ja Loviisa 2 vuonna 1980. Kummankin laitoksen sähköntuotantokapasiteetti on 507 MW, ja niiden yhteinen osuus Suomen sähköntuotannosta on noin 10 %. Vuonna 2023 valtioneuvosto myönsi molemmille laitoksille uudet käyttöluvat, jotka mahdollistavat niiden toiminnan jatkumisen vuoteen 2050 asti. (Fortum 2023a.)

Loviisan ydinvoimalaitoksessa on kaksi painevesireaktoria, joista kumpikin toimii omana, itsenäisenä laitoksikkonä. Reaktoreissa kiertävä primääripiirin vesi kuumennetaan noin 300 asteeseen, ja korkeapaineen avulla vesi ei kiehu vaan pysyy nestemäisenä. Vesi siirtyy reaktorista höyrystimille, joissa primääripiirin vedellä höyrystetään sekundääripiirin vesi. Muodostunut höyry johdetaan turbiineille, jossa se muuttuu mekaaniseksi energiaksi pyörittäen generaattorin roottoria tuottaen sähköä. Turbiinin jälkeen höyry johdetaan lauhduttimiin, joissa meriveden avulla höyry jäähdytetään takaisin vedeksi. Tiivistynyt lauhdevesi johdetaan lopuksi takaisin kiertoön höyrystimiin. (Fortum 2023a.)



Kuva 1. Loviisan voimalaitos (Työ- ja elinkeinoministeriö 2023)

3 IKÄÄNTYMISEN HALLINTA YDINVOIMALOISSA

Ikääntymisen hallinta ydinvoimaloissa perustuu kansainvälisiin ohjeisiin ja standardeihin sekä lainsäädäntöön Suomessa. Kansainvälinen atomienergia järjestö (IAEA) ja Länsi-Euroopan ydinlaitosten sääntelyviranomaisen (WENRA) tekevät turvallisuusohjeita näiden periaatteiden tueksi. Suomessa ikääntymisen hallintaa säädellään STUKin asettamalla asetuksella STUK Y/1/2016 ja viranomaisohjeella YVL A.8. (Säteilyturvakeskus 2017, 4.)

Ikääntymisen hallinta ydinvoimalassa on kriittinen osa laitoksen elinkaaren hallintaa ja turvallisuuden varmistamista koko laitoksen käyttöiän ajan. On tärkeää ottaa huomioon ajan myötä ja käytössä tapahtuvat muutokset voimalaitoksen toiminnassa. Ikääntymisen hallinta kattaa kaikki laitoksen osa-alueet, mukaan lukien rakenteet, järjestelmät ja komponentit, jotka vaativat säännöllistä seuranta ja kunnossapitoa. (IAEA 2009, 1.)

Ydinvoimalaitosten järjestelmät, rakenteet ja laitteet altistuvat lukuisille rasituksille ikääntymisen myötä. Tämä johtaa järjestelmien suorituskyvyn ja luotettavuuden heikkenemiseen. Ydinvoimalaitosten pitkän käyttöiän vuoksi järjestelmiin ja rakenteisiin kohdistuvat vaatimukset voivat ajan myötä muuttua. Tämän seurauksena järjestelmät, komponentit ja rakenteet on suunniteltu ja to-

teutettu aikanaan voimassa olleiden vaatimusten mukaisesti. Laitteita uusittaessa huomioidaan aina ajantasaiset vaatimukset. Myös teknologian nopea kehittyminen tuo haasteita vaatimusten pitämiseen ajankohtaisina. Näihin on kuitenkin varauduttu jo suunnitteluvaiheessa optimaalisilla ratkaisuilla. Käytön aikana järjestelmiä, rakenteita ja laitteita valvotaan ja ylläpidetään jatkuvasti aina käytöstä poistamiseen asti. (Stuklex 2019a.)

4 TURVALLISUUSLUOKITUKSET JA KAAPELEIDEN KELPOISTAMINEN

”Ydinlaitoksen turvallisuus on varmistettava peräkkäisillä ja toisistaan riippumattomilla suojuuksilla (syvyysuuntainen turvallisuusperiaate). Tämä periaate on ulotettava laitoksen toiminnalliseen ja rakenteelliseen turvallisuuteen.” (Ydinenergialaki 11.12.1987/990 7 b §.)

Ydinvoimalaitosten järjestelmät, rakenteet ja laitteet on luokiteltu turvallisuusluokkiin, joiden perusteet määritellään ydinenergialaissa. Turvallisuusluokkia ovat luokat 1, 2, 3, EYT/STUK ja EYT, joista viimeksi mainitut eivät ole ydinteknisesti turvallisuusluokiteltuja. Korkeimpaan turvallisuusluokkaan 1 kuuluvien laitteiden tehtävänä on varmistaa laitoksen toiminnan säilyminen normaalitilassa, kun taas turvallisuusluokkaan 2 kuuluvat laitteet ovat olennaisia poikkeustilanteiden ja onnettomuustilanteiden hallinnassa. Turvallisuusluokkaan 3 kuuluvia laitteita käytetään kaikilla suojuuksen tasoilla. On keskeistä tiedostaa, että turvallisuusluokitus ei suoraan liity syvyysuuntaisen puolustuksen periaatteeseen tai tapahtumien luokitteluun. Eri turvallisuusluokkiin kuuluvia laitteita kuitenkin käytetään suojuuksen eri tasoilla erilaisten tilanteiden hallitsemiseksi. (Säteilyturvakeskus 2019, 3.)

Kaapeleiden turvallisuusluokittelu edellyttää niiden kelpoistamista, mikä perustuu ydinlaitoksen toimintavarmuuden varmistamiseen. Kelpoistamisen tarkoituksena on varmistaa, että kaapelit soveltuvat suunniteltuun käyttötarkoitukseensa ja -paikkaansa. Mikäli kaapeli on tarkoitettu toimimaan onnettomuusolosuhteissa tai sisältää nopeasti vanhenevia komponentteja, kelpoistus on uusittava tai kaapeli vaihdettava sille soveltuvuusarvioissa määriteltyyn käyttöikänsä mennessä. Turvallisuusluokiteltujen kaapeleiden vaatimustenmukai-

suus varmistetaan vertaamalla laitoksen asettamia vaatimuksia kaapelivalmistajan teknisiin tietoihin. Jos kaapelin kelpoistus päätetään uusiksi, sille on suoritettava testit, jotka perustuvat sen todellisiin käyttöolosuhteisiin. Suositeltavaa on, että kaapelityyppi sertifioidaan kaikkiin eri turvallisuusluokkiin ja ympäristöolosuhteille. (Stuklex 2019b.)

5 KAAPELITYYPIT YDINVOIMALOISSA

Ydinvoimalaitoksien kaapelityypit voidaan jaotella eri käyttötarkoitusten mukaan. Pien- ja keskijännitekaapeleita (alle 1 kV ja alle 35 kV) käytetään tyypillisesti pienjännitteisten signaalien siirtoon ja sähkönsyöttöön. Ne soveltuvat suurempaa tehonsiirtoa vaativiin sovelluksiin, kuten moottoreiden ja muiden sähkölaitteiden käyttöön sekä sähkön siirtoon voimalaitoksista eteenpäin. Yleisimmät kaapelityypit ovat instrumentointi- ja ohjauskaapelit, pien- ja keskijännitekaapelit, erikoiskaapelit sekä yleispalvelukaapelit (ks. kuva 2) (IAEA 2017, 4.) Arvioiden mukaan yksittäisessä ydinvoimalaitoksessa voi olla määrällisesti noin 1000–2000 kilometriä kaapeleita. (Sipilä 2024a, 4.)

Instrumentointi- ja ohjauskaapeleita, joita kutsutaan myös automaatiokaapeleiksi, käytetään muun muassa mittalaitteiden ja antureiden, kuten lämpötila- ja paineanturien yhteydessä. Ne voivat olla esimerkiksi koaksiaali- tai triaxiaalikaapeleita tai muita suojattuja kaapeleita, jotka siirtävät analogisia tai digitaalisia signaaleja matalalla jännitteellä. Pien- ja keskijännitekaapeleita hyödynnetään sähkönsyötössä laitteille, kuten moottoreille, ohjauskeskuksille, lämmittimille ja pienille muuntajille. Erikoiskaapelit on tarkoitettu erityisen vaativiin olosuhteisiin, esimerkiksi alueille, joilla esiintyy voimakasta säteilyä tai mekaanista rasitusta. Yleispalvelukaapeleita ovat esimerkiksi maadoitus- ja puhelin-kaapelit, joita käytetään laitoksen yleisessä toiminnassa. (IAEA 2017, 4.)

Cable type	Structure insul/fill/sheath/jacket
YXCH 1x185 mm ²	PEX/Cu/Hypalon
YHLH 1x185 mm ²	PEX/Pb/Hypalon
3x70+35 mm ²	EPR/jute/Cu/CSP
LJNCM3x70+35 mm ²	EPDM/PCP/Cu/PVC
LJNSM3x2,5 mm ²	EPDM/PCP/Cu/PVC
MHMS-SI(2-20)x2x0,8 mm ²	PVC/Al/PVC
(2-8)x2x0,6 mm ²	FRPO/Cu/FRPOX
(8-16)x1,5 mm ²	SiR/SiR
SSJS(8-16)x1,5 mm ²	SiR/SiR
MHMS-SI	PVC/Al/PVC
MAMSI	PVC/PVC
MAMSI-E	PVC/PVC
MKHMS	PVC/PVC
MONETTE	SiR/SiR
MMJ 4x2.5N	PVC/fil/LinylPVC
MCMK 3x	PVC/fil/PVC
AMCMK 3x	PVC/PVC
APYAKMM 3x185 mm ²	paper/PE/PE
MMAO-A	PVC/polyes.Al/PVC
MMO-A 37x1.0	PVC/PVC
MMAAM-A	PVC/polyes.Al/PVC
MMO	PVC
MMJ	PVC
HHJ	Hypalon/Hypalon
HHO	Hypalon/Hypalon
HHSO	Hypalon/Hypalon
JFJ	PVC
RXSR-G	PEX/Hypalon
FSSJ	Hypalon/Hypalon
FSPK	PEX/Pb/PVC
HCHKEM	Lipalon/Hypalon
MXS	PEX/Hypalon
FSPK	Lipalon/Hypalon
MLJM	PVC/PVC
AHXDMK	PEX/PVC
AHXDMKG	PEX/PVC

Kuva 2. Kaapelityypit ja kaapeleiden rakenneosat, joita käytetään usein suomalaisissa ydinvoimaloissa (VTT 1997, 11)

Loviisan voimalaitoksen suojarakennuksen höyrystintiloissa käytetään LOCA-kaapeleita, jotka on suunniteltu kestävämmään vaativia onnettomuusolosuhteita. Näissä tiloissa ympäristöolosuhteet ovat jatkuvasti haastavat, sillä korkea lämpötila ja säteily rasittavat kaapeleita ja heikentävät niiden ominaisuuksia ajan myötä. (Fortum 2024a.)

LOCA- ja post-LOCA-onnettomuustilanteissa primääripiirin putkistossa tapahtuu vuoto, jolloin reaktorin jäähdytysvettä valuu kontainmentin pohjalle. Näissä olosuhteissa ympäristö muuttuu entistä vaativammaksi. Ilmanpaine voi nousta jopa 1,9 bar:iin, ja ympäristön lämpötila voi kohota 160 °C:een. Lisäksi onnettomuuden aikana kaapeleihin kohdistuu voimakasta säteilyä, joka edellyttää niiden kestävämmän merkittäviä säteilyannoksia. Vesiolosuhteet ovat erityisen haastavat, sillä kaapeleiden ja muiden järjestelmien on säilytettävä toimintakuntoisuutensa, vaikka ne joutuisivat täysin upoksiin. Lisäksi käyttöpaikoille valuva vesi voi sisältää kemiallisia yhdisteitä, joiden aiheuttamat rasitukset on kaapeleiden kestävämmä. (Fortum 2023b.)

Suojarakennuksen sähkö- ja automaatiolaitteet ovat keskeisessä roolissa onnettomuuden seurausten hallinnassa ja jälkihoidossa. Ne on kelpoistettu toimimaan vaativissa käyttöolosuhteissa, kuten jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa tai höyryputken katkeamistilanteissa. Suojarakennuksessa on kuitenkin myös alueita, joissa ympäristövaatimukset eivät ole yhtä ankaria, mutta joissa laitteiden toimintavarmuus on silti olennainen osa laitoksen turvallisuuden varmistamista. (Fortum 2022a.)

LOCA-kaapeleista on tehty vuonna 2024 opinnäytetyönä selvitystyö, jossa ai-
hetta käsitellään tarkemmin. Työssä perehdyttiin Loviisan ydinvoimalaitok-
seen, ydinturvallisuuteen ja LOCA-kaapeleihin, joiden on kestettävä sekä nor-
maali käyttö että mahdollinen jäähdytteenmenetysonnettomuus. Kaapeleiden
kuntoa arvioitiin käytön, havaintojen ja kelpoisuusmateriaalien perusteella
sekä analysoimalla höyrystintilan ympäristöolosuhteiden vaikutusta mekaanis-
ten testien avulla. (Karisalo 2024, 2, 41.)

6 KAAPELEIDEN RAKENNE

Kaapeleiden rakennetta käsittelevässä osiossa hyödynnän kansainvälisen
atomienergiajärjestön (IAEA) julkaisua: IAEA-TECDOC-1825. Benchmark
Analysis for Condition Monitoring Test Techniques of Aged Low Voltage Ca-
bles in Nuclear Power Plants (2017). Tyypillisestä alhaisen jännitteen kaape-
lista rakennekuva (ks. kuva 3).

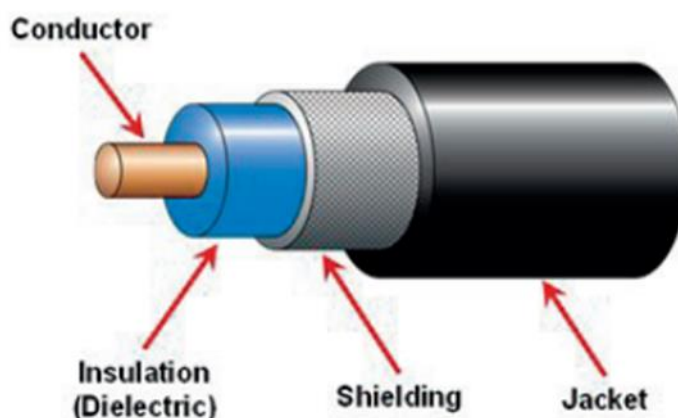
Johtimet ovat metallisia materiaaleja, joilla on erinomainen sähkönjohtavuus.
Kupari, alumiini, nikkeli, kulta ja hopea ovat erityisen hyviä sähkönjohteita, ja
niitä käytetään laajasti kaapeleiden valmistuksessa. Kupari ja alumiini ovat
näistä yleisimmät vaihtoehdot.

Lähteessä (IAEA 2017) ei käsitellä kuitukaapeleita, ja myös tässä työssä tar-
kastelu kohdistuu vain metallijohtimellisiin kaapeleihin. Kuitukaapelit eroavat
merkittävästi sähkökaapeleista toimintaperiaatteeltaan, eikä niitä käsitellä tä-
män työn puitteissa tarkemmin.

Eristeet ovat polymeerimateriaaleja, jotka kestävät erinomaisesti sähkövirran kulutusta. Kaapeleiden johtimet eristetään näillä materiaaleilla, ja eristyksen on lisäksi oltava suojattu vedeltä, kemikaaleilta, kulutukselta ja kuumuudelta. On myös tärkeää, että eristys tarjoaa paloturvallisuutta mahdollisten tulipalojen varalta. Kaapeleiden eristyksessä hyödynnetään monipuolista valikoimaa polymeerejä.

Kaapeleissa käytetään suojausta sähkömagneettisten ja radiotaajuisten häiriöiden (EMI/RFI) torjumiseksi. Suojaus voidaan toteuttaa kahdella tavalla: foliopohjaisena tai punottuna. Foliopohjainen suojaus koostuu yleensä ohuesta alumiinikerroksesta, joka on kiinnitetty polyesterikalvoon. Tällaisissa suojauksissa saatetaan käyttää myös purkujohtoa, joka yhdistää suojan maadoitukseen. Punottu suojaus sen sijaan tehdään usein kuparista tai alumiinista ja tarjoaa tehokkaan suojan häiriöitä vastaan.

Kaapelin vaippa antaa mekaanista suojaa ja kestävyyttä fyysisiä vaurioita vastaan. Vaippamateriaali valitaan yleensä sen mukaan, millaisissa ympäristöolosuhteissa kaapelia käytetään. Usein vaipat valmistetaan samoista tai samankaltaisista materiaaleista kuin kaapelin eristys, mutta niihin voidaan lisätä myös erityisiä polymeeriyhdisteitä, jotka parantavat niiden suorituskykyä tietyissä olosuhteissa.



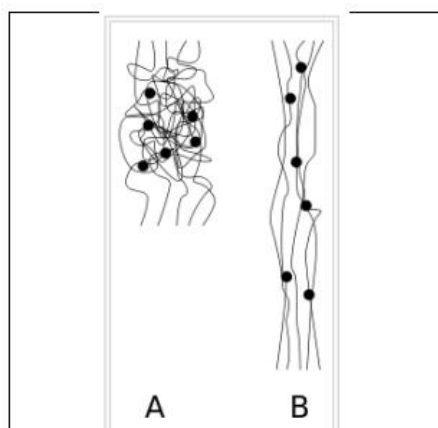
Kuva 3. Tyypillisen kaapelin kaaviokuva (IAEA 2017, 5)

7 POLYMEERIMATERIAALIT KAAPELEISSA

Kaapeleiden ikääntymisen ymmärtäminen edellyttää perehtymistä polymeerien käyttäytymiseen ja niiden vanhenemiseen erilaisissa ympäristöolosuhteissa. Polymeerit eroavat metalleista ja keraamisista materiaaleista siinä, että ne voivat hajota jo melko alhaisissa lämpötiloissa ja ovat herkkiä gammasäteilyn vaikutuksille. Tämän vuoksi kaapeleiden kestävyyttä arvioitaessa on tärkeää tarkastella polymeerien rakennetta sekä niiden hajoamisprosesseja eri käyttöolosuhteissa. (Burnay 2018, 4, 9.)

Polymeerit ovat aineita, joiden rakenne muodostuu pitkistä molekyyliketjuista. Yleensä näiden ketjujen perusrakenteessa on hiiltä, vetyä ja happea, mutta mukaan voi kuulua myös muita alkuaineita, kuten rikkiä, klooria, fluoria, typpeä tai piitä. Polymeerin ketjujen pituus vaikuttaa sen näkyviin ominaisuuksiin, joita kutsutaan makroskooppisiksi ominaisuuksiksi. Yksinkertaisemmissa polymeereissä, kuten polyeteenissä, voi esiintyä myös osittaista kiteytymistä, millä voi olla vaikutusta sen kestävyteen ja vanhenemiseen ajan mittaan. (Burnay 2016, 3.)

Kuvassa 4 esitetään kaaviomaisesti polymeerin käyttäytyminen jännityksen alaisena. Pitkät molekyyliketjut ovat kietoutuneet toisiinsa, ja niitä yhdistävät ajoittaiset ristisidokset. Jännityksen vaikutuksesta ketjut venyvät ja venymisen määrä riippuu ristisidosten olemassaolosta. Kun jännitys poistuu, ketjut palautuvat alkuperäiseen asentoonsa. Tämä pitkäketjuinen ja ristisidottu rakenne selittää polymeerien elastisen käyttäytymisen. (Burnay 2018, 9.)



Kuva 4. A on jännittämätön polymeeri; B on sama polymeeri jännityksen alaisena (pisteet edustavat ristisidoksia) (Burnay 2018, 9)

8 KAAPELEIDEN IKÄÄNTYMISMEKANISMIT

Kaapeleiden ikääntymiseen ja heikentymiseen ydinvoimaloissa vaikuttavat ensisijaisesti säteily, lämpötila, kosteus ja värinä. Lisäksi erilaiset ympäristötekijät, kuten altistuminen kemikaaleille, voivat myös nopeuttaa tätä prosessia. Kaapeleiden sisäinen vastus aiheuttaa lämpöä sähkövirran kulkiessa, mikä voi edistää kaapelin ikääntymistä ja rappeutumista. Myös asennuksen tai käytön aikaiset mekaaniset rasitukset, kuten taipuminen ja puristus, voivat vaikuttaa kaapelien vaurioitumiseen. Vaikka heikentyminen ilmenee yleensä kaapelin eriste- tai vaippamateriaalin haurastumisena, myös itse johtimet voivat kärsiä vaurioita ajan myötä. (IAEA 2017, 5–6.)

8.1 Lämpöhaurastuminen

Lämpöhaurastumista syntyy, kun kaapelit ja niiden liitokset altistuvat sekä tavanomaisille että poikkeaville ympäristön lämpötiloille. Tämä ilmiö johtuu paikallisesti kohonneista lämpötiloista ns. ”hot spoteista” tai komponenttien virran kulusta johtuvasta sähköisestä lämpenemisestä. Lämpörasituksen myötä nämä ”hot spotit” kiihdyttävät materiaalien ikääntymistä. Haurastuminen, halkeamat tai säröily, värimuutokset, sulaminen sekä muutokset niiden mekaanisissa ja sähköisissä ominaisuuksissa ovat yleisimpiä seurauksia kaapeleiden lämpöhaurastumisesta. Nämä lämpöhaurastumisen aiheuttamat muutokset heikentävät kaapelin toimintavarmuutta ja johtavat käyttöiän lyhenemiseen. (Gazdinski. ym. 1996, 4–2.) Lämpöhaurastuminen on kaapeleiden yleisin ja hallitsevin ikääntymismekanismi (Sipilä 2024b).

Kaapelin altistuessa lämmölle sen eristemateriaalin polymeerit alkavat imeä lämpöenergiaa, mikä käynnistää kemiallisia reaktioita. Tärkeimmät reaktiot ovat ristosilloittuminen ja ketjujen katkeaminen. Lämpöenergian imeytyminen saa aikaan molekyylien virittymisen, mikä voi vahingoittaa orgaanisten materiaalien kovalenttisia sidoksia. Kiinteissä polymeereissä voi syntyä vapaita radikaaleja, jotka edistävät kemiallisia muutoksia. Ristosilloittuminen yhdistää polymeeriketjuja kovalenttisesti, kun taas ketjujen katkeaminen hajottaa ne pienemmiksi osiksi. Toisin sanoen ristosilloittuminen kovettaa ja ketjujen katkeaminen haurastuttaa kaapeleita. (Gazdinski ym. 1996, 4–2.)

Lämpörasitukselta voidaan suojata kaapeleita käyttämällä erilaisia lämpöeristeitä, lämpökilpiä ja lämmönkestäviä kaapelimateriaaleja. Uusien kaapeleiden reittisuunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon reitillä vallitsevat lämpötilat, mahdolliset kuumat pisteet (hot spotit) sekä ilmanvaihdon riittävyys. Kaapeleiden kunnonvalvonta auttaa tunnistamaan ja ennaltaehkäisemään lämpörasituksen aiheuttamia vaurioita. Esimerkiksi säännöllinen kuvausseuranta lämpökameralla ja eristysresistanssi mittaukset ovat tehokkaita keinoja kaapeleiden lämpörasituksen havaitsemiseksi ja hallitsemiseksi.

8.2 Sähköiset rasitukset

Kaapeleiden pitkäaikainen altistuminen sähköiselle kuormitukselle voi vähitellen kuluttaa materiaalia ja nopeuttaa sen ikääntymistä. Tämä rasitus johtuu jatkuvasta käyttöjännitteen ja -virran vaihtelusta sekä äkillisistä jännitepiikeistä, ylijänniteilmiöistä ja vikakeskeytyksistä, jotka kohdistavat eristeeseen toistuvaa mekaanista ja sähköistä rasitusta. (Gazdinski ym. 1996, 4–19.)

Sähköinen rasitus ja ikääntyminen voivat vaikuttaa kaapelin kestävyysaikaan tavoin. Pitkäaikainen altistuminen käyttöjännitteen kuormitukselle voi vähitellen heikentää materiaalia, ja äkilliset jännitevaihtelut saattavat vaurioittaa eristettä. Osittaispurkaukset hajottavat eristyskykyä ajan myötä, kun taas kosteuden ja epäpuhtauksien läsnäolo voi nopeuttaa kaapelin rappeutumista ja lisätä vikaantumisriskiä. Sähköinen ikääntyminen yhdessä lämpörasituksen ja osittaispurkausten kanssa voi lopulta johtaa eristeen sähkölujuuden häviöön. (Gazdinski ym. 1996, 4–19; Stuklex 2019a.)

Lisäksi, jos kaapeleissa kulkee suuria virtoja, ne kuumenevat kaapelin sisäisen vastuksen aiheuttaman lämmön seurauksena. Jos kaapelihylly on suojattu paloa eristävällä vuorivillalla, lämmön haihtuminen estyy, jolloin kaapelit jäävät eristeen sisään keräämään lämpöä eivätkä pääse jäähtymään, mikä nopeuttaa niiden lämpöhaurastumista.

Vuorivilla on todettu tehokkaaksi palosuojausmenetelmäksi, mutta se voi pitkällä aikavälillä edistää kaapeleiden lämpöaurastumista juuri lämmön poistumisen estymisen vuoksi. Vaihtoehtona voitaisiin käyttää esimerkiksi palosuojamaalia, joka ei rajoita lämmön haihtumista samalla tavalla. On kuitenkin huomioitava, ettei palosuojamaali tarjoa todennäköisesti yhtä tehokasta suojaa palotilanteessa kuin vuorivilla. Tämän takia kaapeleiden palosuojauksien valinnassa tulisi arvioida paloturvallisuuden ja kaapeleiden pitkäaikaiskestävyyden välistä tasapainoa. Palosuojauksessa käytettävää vuorivillaa käsitellään enemmän osiossa 11.6.

8.3 Mekaaniset rasitukset

Kaapeleiden mekaaninen ikääntyminen johtuu useista eri tekijöistä. Tärinä, väsymyrasitus, lämpötilavaihtelut ja painovoiman aiheuttamat mekaaniset voimat sekä erilaiset ulkoiset vaikutukset rasittavat kaapeleita ja edistävät niiden vanhenemista. Nämä rasitukset voivat syntyä sekä kaapeleiden asennuksen aikana että niiden käyttöiän kuluessa. Lisäksi asennuksesta aiheutuvat rasitukset, kaapelin taipuminen ja kulumisen huolto- ja käyttötilanteissa ovat keskeisiä ikääntymismekanismeja. (Gazdinski ym. 1996, 4–28.)

Tärinä voi aiheuttaa kaapeleissa väsymistä, kulumista ja hankautumista, mikä heikentää liitännöiden toimintaa. Yleensä tärinä syntyy ulkoisten laitteiden toiminnasta ja vaikuttaa kaapeleihin, liitoksiin sekä mekaanisesti kytkettyihin rakenteisiin, kuten kaapelihyllyihin ja putkiin. Tämä voi johtaa metalliosien väsymisvaurioihin ja liitosten löystymiseen, mikä puolestaan kasvattaa sähköistä resistanssia ja saattaa irrottaa terminaalin johtimesta. Lisäksi jatkuva liike voi vaurioittaa kaapelin vaippaa ja eristettä, erityisesti terävien reunojen kohdalla, heikentäen sen mekaanista ja sähköistä eheyttä. Tämä lisää oikosulkujen ja kosteuden tunkeutumisen riskiä. (Gazdinski ym. 1996, 4–28.)

Kaapeleita voidaan suojata tärinän vaikutuksilta kiinnittämällä ne tukevasti nippusiteillä kaapelihyllyyn. Tiukka kiinnitys estää kaapeleita liikkumasta ja hankaamasta kaapelihyllyä vasten tärinän seurauksena. Kun hyllyillä on kuitenkin runsaasti kaapeleita, kaikkia ei voida aina kiinnittää tukevasti. Tämä lisää hankauksen riskiä näissä tilanteissa.

8.4 Säteilyhaurastuminen

Ydinvoimalaitoksissa esiintyy neljää pääasiallista säteilytyyppiä: alfa-, beeta-, gamma- ja neutronisäteilyä. Nämä säteilytyypit luokitellaan joko hiukkassäteilyksi tai sähkömagneettiseksi säteilyksi. Eri säteilytyyppien merkitys kaapelien ja pääteliitosten ikääntymisen kannalta vaihtelee säteilylähteen, annosnopeuden ja materiaalien mukaan. Lisäksi myös ultraviolettisäteily voi vaikuttaa erityisesti kaapelimateriaalien pintarakenteisiin, vaikkakin sen läpäisevyys on heikko verrattuna muihin säteilymuotoihin. (Gazdinski ym. 1996, 4–41–4–42.)

Säteily vaikuttaa materiaalien, kuten kaapeleissa polymeereihin, rakenteeseen ja ominaisuuksiin pitkällä aikavälillä. Säteily, erityisesti ydinvoimaloiden kaltaisissa ympäristöissä vuorovaikuttaa aineen kanssa kahdella pääasiallisella tavalla: ionisoimalla tai virittämällä atomeja materiaalissa. Nämä vaikutukset voivat muuttaa molekyyliarakennetta. Tällaiset muutokset voivat käynnistää kemiallisia reaktioita, jotka ajan myötä heikentävät materiaalin ominaisuuksia. Organisisissa materiaaleissa, kuten kaapelien polymeeripinnoissa, säteily voi aiheuttaa molekyyliketjujen katkeamista, hapettumista tai ristosilloittumista. Näitä ilmiöitä kutsutaan yhteisesti radiolyyseiksi. (Gazdinski ym. 1996, 4–45.)

Näiden vaikutuksien seurauksena kaapeleiden mekaaniset ja sähköiset ominaisuudet voivat heikentyä, mikä johtaa esimerkiksi kovuuden muutoksiin, murtovenymän heikkenemiseen sekä johtavuuden alenemiseen. Kaapeleiden dielektrinen lujuus voi myös heikentyä, mikä lisää eristysvaurioiden riskiä. (Gazdinski ym. 1996, 4–45.)

Ionisoivalta säteilyltä suojaamiseen kaapeleissa voidaan käyttää säteilynkkestäviä eristemateriaaleja, suojaavia metallivaippoja ja -kanavia sekä kiinnittämällä huomiota kaapeleiden sekä kaapelireittien sijoittamiseen säteilyaltistuksen vähentämiseksi. UV-säteilyltä voidaan suojata kaapeleita käyttämällä UV-suojattuja eristeitä, jotka kestävät haurastumista ja säilyttävät kaapelin sähköiset ominaisuudet pidempään. Lisäksi suojaputkien ja kaapelikourujen käyttö tarjoaa tehokkaan fyysisen suojan estäen suoran UV-altistuksen ja pidentäen kaapelin käyttöikä.

UV-säteily ei ole tällä hetkellä merkittävä riskitekijä Loviisan voimalaitoksella, sillä LED-valaistus on korvannut aiemmat loisteputket. Kuitenkin kaikkialla ei ole vielä siirrytty LED-valaistukseen, mikä voi vaikuttaa tilanteeseen. Loisteputkia käytettiin kuitenkin useiden vuosikymmenten ajan, joten vaurioita kaapeleihin on saattanut jo syntyä. Esimerkiksi turbiinihalleissa on paljon kaapeleita, joiden kellertynyt väritys viittaa mahdolliseen UV-altistukseen. Tämä ilmiö on tyypillistä PVC-eristeisille kaapeleille.

Pieni kellertäminen ei välttämättä vaikuta suoraan kaapeleiden toimintaan, mutta jos siihen liittyy esimerkiksi myös ympäristön korkeita lämpötiloja, kaapeli voi olla merkittävästi ikääntynyt. Näiden perusteella turbiinihallien kaapeleiden kuntoa tulisi tutkia tarkemmin. Turbiinihallien kaapeleiden testausta käsitellään kohdassa 11.3.

8.5 Kemikaaliset rasitukset

Kemialliset rasitukset ovat yksi tekijöistä, jotka vaikuttavat kaapeleiden ikääntymiseen ja suorituskyvyn heikkenemiseen ajan myötä. Näitä rasituksia syntyy, kun kaapelit ja niiden liitokset altistuvat erilaisille kemiallisille aineille joko ympäristöstä tai kaapelimateriaalien hajoamistuotteista. Kemialliset rasitukset voivat johtua kosteudesta, liuottimista, polttoaineista, voiteluaineista tai muista vastaavista aineista, jotka ovat kosketuksissa kaapelirakenteisiin. (Gazdinski ym. 1996, 4–52.)

Kemiallisten rasitusten vaikutukset kaapeleihin voivat ilmetä useilla eri tavoilla. Orgaanisten materiaalien kemiallinen hajoaminen voi näkyä esimerkiksi kaapelin värin muuttumisena, pinnan karheutumisenä, halkeiluna tai öljymäisinä jääminä. Kaapeleissa käytettävät polymeerit voivat ajan myötä vapauttaa kemiallisia yhdisteitä, kuten peroksidi- tai rikkiyhdisteitä, mikä tekee materiaalista hauraampaa. PVC-materiaaleihin lisätyt pehmittimet voivat ajan myötä erottua materiaalin rakenteesta ja päätyä kaapelin pintaan. Tämä voi johtaa siihen, että lähellä olevat materiaalit, kuten polymeerit, alkavat turvota ja niiden rakenne heikkenee. (Gazdinski ym. 1996, 4–52–4–54.)

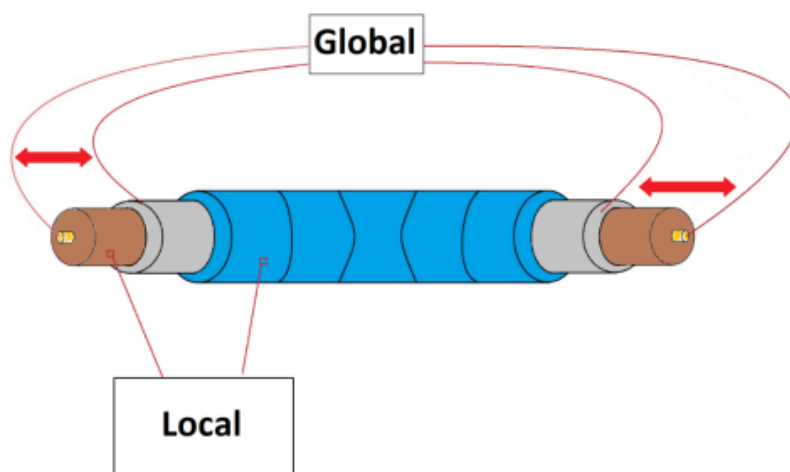
Kemikaalirasituksilta kaapeleita voidaan suojata käyttämällä tähän tarkoitukseen suunniteltuja kestäviä kaapeleita, joiden eristemateriaalit ovat soveltuvia ympäristön kemiallisille olosuhteille. Lisäksi fyysiset suojarakenteet, kuten suoja-putket ja kotelot, estävät kemikaalien pääsyn kaapeleiden pintaan tarjoten lisäsuojaa vaurioilta.

9 KAAPELEIDEN KUNNONVALVONTAMENETELMÄT

Kaapeleiden kunnonvalvontamenetelmät ovat keskeinen osa ikääntymisen hallintaa, ja niiden käyttö auttaa lisäämään ydinvoimaloiden kokonaisturvallisuutta. Ikääntymisen hallintaohjelman tehokas toiminta on erityisen tärkeää, kun ydinvoimalan käyttöikää jatketaan alkuperäisestä 40 vuoden suunnitelmasta. (Sipilä 2024a, 9.)

Tämä on erityisen tärkeää Loviisan voimalaitoksen osalta, sillä sen käyttöluoppa on jatkettu vuoteen 2050 saakka. Lisäksi Loviisa 1 aloitti toimintansa vuonna 1977 ja Loviisa 2 vuonna 1980, mikä korostaa tarvetta kiinnittää ennistä enemmän huomiota kaapeleiden ikääntymiseen. Panostamalla kaapeleiden kunnonvalvontamenetelmiin varmistetaan laitoksen turvallinen ja luotettava toiminta koko sen käyttöajan ajan.

Kaapeleiden kunnonvalvontamenetelmät voidaan jakaa globaalisti ja paikallisesti sovellettaviin menetelmiin, jotka eroavat toisistaan mittausalueensa ja -kohteensa osalta (ks. kuva 5) (Sipilä 2024a, 4).



Kuva 5. Kaaviomainen esitys kaapeleiden globaaleista ja paikallisista kunnonvalvontamittauksista (Sipilä 2024a, 11)

9.1 Paikalliset menetelmät

Paikalliset menetelmät mittaavat kaapelin kuntoa vain tietystä kohdasta, kuten eristeestä tai vaipasta. Näitä menetelmiä käytetään erityisesti tilanteissa, joissa tarkennettu analyysi on tarpeen tietystä kaapelin osasta. Näin ollen paikalliset menetelmät soveltuvat hyvin esimerkiksi yksittäisten vikojen paikantamiseen. (Sipilä 2024a, 11.)

Murto- ja venymäkokeet ovat olleet yleisesti käytössä arvioitaessa yksittäisten kaapeleiden kuntoa. Kaapelin käyttökelpoisuutta arvioidaan murtovenymäärällä (EaB), jonka raja-arvoksi on asetettu 50 %. Tämä arvo on valittu, koska sen uskotaan tarjoavan riittävän varmuusmarginaalin kaapelin toimivuudelle suunnitteluperusteisen onnettomuuden (DBA) aikana. DBA puolestaan viittaa ennalta määriteltyyn testausprosessiin, jossa näytteitä altistetaan pitkään simuloituille olosuhteille, kuten säteilylle, korkeille lämpötiloille ja kuumalle höyrylle, jotta voidaan arvioida niiden kykyä säilyttää toimintansa vaativissa ympäristöolosuhteissa. (Sipilä 2024a, 10.)

Tämän menetelmän haittapuolena on, että kaapeli on irrotettava käyttökohteestaan ja lähetettävä laboratorioon tutkittavaksi, missä se rikkoutuu testauksen aikana. Tämä rajoittaa murto- ja venymäkokeiden soveltuvuutta kaapeleiden kunnonvalvonnassa. Tästä syystä on ryhdytty kehittämään uusia testaus-tapoja, jotka eivät edellytä kaapelin irrottamista käyttökohteestaan tai sen rakenteen rikkomista. (Sipilä 2024b.) Näitä menetelmiä kutsutaan globaaleiksi menetelmiksi.

9.2 Globaalit menetelmät

Globaalit menetelmät keskittyvät arvioimaan kaapelin kuntoa sen koko pituudelta. Tällöin mittauspääät liitetään yleensä kaapelin johtimeen ja suojaukseen, ja eristeen kunto mitataan koko kaapelin matkalta yhdellä mittauksella. (Sipilä 2024a, 11.)

Dielektrisen häviön, eli Tan Delta -mittauksen, tarkoituksena on mitata eristeen läpi kulkevaa virtaa. Mittauksessa syötetään matalataajuinen vaihtojännite kaapelin johtimien välille, jolloin eristeen sähköiset ominaisuudet voidaan määrittää. Mittauksessa tarkastellaan eristeen resistanssia ja kapasitanssia, joiden suhdetta kutsutaan häviökertoimeksi eli tan deltaksi. Uudessa kaapelissa eristeen resistanssi on korkea, mikä tuottaa lähes täysin kapasitiivisen vasteen. Kaapelin ikääntyessä kapasitiivinen vaste heikkenee ja samalla resistiivinen virta kasvaa. Kasvaneet tan delta -arvot viittaavat eristeen vanheneeseen, joten tämä mittausparametri on tehokas keino havaita ikääntymisen aiheuttamat rakenteelliset muutokset. (Sipilä 2024a, 11–12.)

Dielektrisessä spektroskopiassa, eli impedanssimenetelmässä, mittausperiaate on samankaltainen kuin tan delta -mittauksessa, mutta siinä käytettävä taajuusalue on huomattavasti laajempi. Impedanssimenetelmässä hyödynnettävät laitteistot ovat tyypillisesti laboratoriokäyttöön suunniteltuja, ja menetelmällä voidaan tuottaa laaja dielektrinen spektri, mikä erottaa sen tan delta -mittauksesta. Koska taajuusalue on laajempi, tämä menetelmä mahdollistaa tarkemman analyysin kaapelin ikääntymisestä. (Sipilä 2024a, 12.)

Taajuusalueen reflektiometria (FDR) on menetelmä, jossa kaapeliin syötetään taajuussignaali, ja kaapelista palaavia heijastuksia analysoidaan. Tämä auttaa tunnistamaan kaapelin mahdolliset viat. Heijastuksia syntyy yleensä kaapelin epäjatkuvuuskohdissa, kuten liitoksissa tai vaurioituneissa osissa. Näitä heijastuksia voidaan mitata ja analysoida impedanssin vaiheen ja suuruuden perusteella. Mittauksen tuloksena saadaan FDR-datajälki, joka näyttää heijastustehojen jakautumisen kaapelin pituuden mukaan. Tätä tulosta verrataan vertailumittaukseen, jotta poikkeamat voidaan havaita. (Sipilä 2024a, 15.)

Aikadomeenirefektometria (TDR) on hyvin samantyylinen menetelmä kuin FDR. Se on ei-tuhoava tekniikka, jossa tutkittava kaapeli irroitetaan järjestelmästä, kuten FDR-menetelmässä. Menetelmien ero perustuu oikeastaan käytettyyn signaaliin. FDR hyödyntää vaihtelevaa taajuussignaalia, kun taas TDR käyttää matalajännitteistä pulssimuotoista signaalia. TDR-menetelmällä pysty-

tään tunnistamaan erityisesti eristeessä olevia vikoja, joita on vaikeampi havaita kaapelin vaipasta. Lisäksi se mahdollistaa yksityiskohtaisemman analyysin. (Sipilä 2024a, 25.)

10 KAAPELEIDEN IKÄÄNTYMISEN HALLINTA LOVIISASSA

Loviisan voimalaitoksella otettiin lokakuun 2015 alussa käyttöön YVL A.8-ohje, joka koskee ydinlaitosten ikääntymisen hallintaa. Tämän mukaisesti laadittavan ikääntymisenhallintaohjelman (AMP) tavoitteena on varmistaa, että järjestelmät, rakenteet ja laitteet sekä niiden laitososat säilyttävät suunnittelun mukaisen toimintakykynsä ja täyttävät teknologiset vaatimukset koko laitoksen käyttöänsä ajan. (Säteilyturvakeskus 2022, 10–11.)

Loviisan ydinvoimalaitoksen ikääntymisenhallintaohjelma on määritelty omassa ohjeessaan, joka käsittelee järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden elinkaaren hallintaa. Ohjelma kattaa koko voimalaitoksen, myös siihen kuuluvan kiinteytyslaitoksen. Se koostuu useista osa-alueista, kuten kunnossapidosta, kelpuutuksesta, tarkastuksista, seurannasta sekä vesikemian hallinnasta. (Säteilyturvakeskus 2022, 11.)

Sähkökaapeleiden ikääntymisen hallinta toteutetaan myös AMP-ohjelman avulla Loviisan voimalaitoksessa. Tämä ohjelma käsittää kelpoistetut laitoksessa käytössä olevat kaapelityypit, joilla on määritelty käyttöikä esimerkiksi LOCA-kaapelit. Ohjelmassa seurataan näiden kaapelien kuntoa eri rakennuksissa ja ympäristöissä. Lisäksi ohjelmaan sisältyvät kaapelien reititykset, kuten kaapelikourut, liitokset, päät sekä kaapeleiden kanssa kosketuksissa olevat rakenteet, kuten betonipinnat. AMP on jatkuvasti käynnissä oleva prosessi, josta laaditaan säännöllisesti raportti STUKille. Kaapeleiden osalta raportointi tapahtuu neljän vuoden välein, kun taas muiden järjestelmien osalta raportoidaan vuosittain. (Säteilyturvakeskus 2017, 17.)

Sähkökaapeleiden ikääntymistä arvioidaan IAEA TECDOC 1188:n ja NP-T-3.6-ohjeistuksen mukaisesti. Sertifiointissa hyödynnetään standardeja IEEE 308, IEEE 383, IEEE 323 ja IEC 60780, jotka mahdollistavat keinotekoisien vanhentamisen mallintamisen. Lisäksi toiminnassa huomioidaan suomalaiset viranomaismääräykset YVL A.8 sekä YVL E.7. (Säteilyturvakeskus 2017, 20.)

11 SELVITYS LOVIISAN KAAPELEISTA JA KAAPELIREITEISTÄ

Loviisan voimalaitoksella on tutkittu paljon höyrystintilassa sijaitsevia kaapeleita ankarien ikääntymismekanismien takia. Nyt olisi tarkoitus kiinnittää huomiota myös suojarakennuksen ulkopuolella sijaitsevien kaapeleiden ikääntymiseen, koska voimalaitoksen käyttöluvut saivat jatkoa vuoteen 2050 asti ja suurin osa kaapeleista on ollut käytössä laitoksen käytön alusta asti.

Selvityksessä tutkitaan Loviisan voimalaitoksen vanhojen kaapeleiden ja kaapelireittien yleistä tilannetta ja kuntoa sekä tarkastellaan mahdollisia jatkotoimenpiteitä kaapelijärjestelmän osalta. Lisäksi selvitys käsittelee ajankohtaisia projekteja sekä voimalaitoksella ilmeneviä käytännön ongelmia, ja esittää suosituksia niiden ratkaisemiseksi.

11.1 Kaapeleiden nykyinen tilanne Loviisan voimalaitoksella

Loviisan voimalaitoksella kaapeleiden kuntoa seurataan järjestelmällisesti visuaalisilla tarkastuksilla, erilaisilla mittauksilla sekä testauksilla. Kaapeleiden järjestelmän raportointiväli on neljä vuotta ja viimeisin kaapeleiden kunnonvalvontaraportti on vuosilta 2018–2021. Raportista käy ilmi, että ei ole tullut merkittäviä muutoksia kaapeleiden osalta ja todettu kaapeleiden olevan kokonaisuudessaan hyvässä kunnossa. Raportin lyhyen aikavälin jatkotoimenpidesuosituksien kohdentuvat höyrystintilan kaapeleihin, niiden mekaanisiin testauksiin sekä vaihtotarpeen arviointiin. Pitkälle aikavälille todettiin, että jatketaan kaapelijärjestelmän kunnonvalvonnan raportointia normaalisti. (Fortum 2019; Fortum 2022b.)

Kaapeleiden ikääntymisen hallinnassa erityistä huomiota on kiinnitetty suojarakennuksen sisällä sijaitseviin höyrystintilan LOCA-kaapeleihin. Tuoreimman selvityksen testitulosten perusteella näiden kaapeleiden ikääntyminen on ollut vähäistä, mikä tarkoittaa sitä, että vaihdettavien kaapeleiden vaihtoa voidaan suunnitella ilman kiirettä. (Fortum 2024a.)

Loviisan voimalaitoksen käyttöiän jatkamiseen liittyvässä projektissa on arvioitu kaapeleiden ikääntymistä sekä tarvittavia toimenpiteitä turvallisen sähkön- tuotannon varmistamiseksi 70 vuoden käyttöiälle. Suojarakennuksen ulkopuolisia kaapeleita ei pääsääntöisesti uusita, ellei niissä havaita systemaattista viikaantumista. Yksittäiset vioittuneet kaapelit voidaan vaihtaa korjaustyönä. Sen sijaan suojarakennuksen sisäpuolisia kaapeleita joko uusitaan tai niiden käyttöä jatketaan, kun saavuttavat elinkaarensa lopun. (Fortum 2022b.)

Suojarakennuksen ulkopuolisen kaapeloinnin nykykuntoa arvioidaan tällä hetkellä eri organisaatioiden haastatteluiden sekä aiempien ikääntymisselvitysten tulosten perusteella. Näihin kuuluvat esimerkiksi höyrystintilan näytekaapeleiden analyysit, vallitsevat ympäristöolosuhteet ja viimeisimmän kaapeleiden ikääntymisen seurantaraportin johtopäätökset. Viimeisten haastattelujen perusteella kuumien pintojen läheisyydessä tai niitä vasten olevat kaapelit haurastuvat nopeammin korkean lämpötilan aiheuttaman ikääntymisen vuoksi. Tämä edellyttää säännöllistä seurantaa ja korjaavia toimenpiteitä osana käyttö- ja kunnossapitotoimia. (Fortum 2024b.)

11.2 Kaapeleiden kunnonvalvontamenetelmät

Selvityksessä esitetään kohdan yhdeksän kaapeleiden kunnonvalvontamenetelmät kokonaisuus.

Osion 11.1 mainituilla visuaalisilla tarkastuksilla tarkoitetaan kaapeleiden kunnon arviointia silmämääräisesti ilman mittalaitteita tai erikoistyökaluja. Tarkastuksen tavoitteena on havaita esimerkiksi mekaaniset vauriot, kuluminen, halkeamat, eristevauriot, löystyneet liitokset tai muut ikääntymisen merkit. Tarvittaessa tarkastetaan myös kaapelihyllyjen kiinnitysten ja rakenteen tukevuutta käsin tunnustelemalla tai kuormittamalla hyllyä. (Fortum 2024e.)

Tällä hetkellä Loviisan voimalaitoksella kaapeleiden kuntoa ja ikääntymistä valvotaan suorittamalla testauksia, joissa arvioidaan kaapelieristeiden mekaanisia ominaisuuksia. Näitä testejä tehdään höyrystintilan kaapeleille säännöllisesti neljän vuoden välein erillisen ohjeistuksen mukaisesti. Poikkeustapauksissa testauksia suoritetaan yksittäisille kaapeleille tai tietyille kaapelityypeille tarpeen mukaan. (Fortum 2022b.)

Nämä mekaaniset testaukset eli murto- ja venymäkokeet ovat tuhoavia eli ne edellyttävät kaapelinäytteiden ottamista. Ei-tuhoavia menetelmiä on suositeltavaa kokeilla Loviisan voimalaitoksella, jotta voidaan varmistua voisiko niillä korvata ainakin osittain tuhoavat menetelmät. Koska mikään yksittäinen ei-tuhoava menetelmä ei sovellu kaikkiin tilanteisiin, eri menetelmien yhdistäminen voisi tarjota kokonaisvaltaisemman kuvan kaapeleiden kunnosta. Näillä menetelmillä päästään myös tutkimaan kaapeleiden kuntoa, mitkä ovat hankalissa paikoissa.

Höyrystintilan kaapeleiden kunnonvalvonta Loviisan voimalaitoksessa jatkuu nykyisillä menetelmillä, joita on käytetty tähänkin asti. Ei-tuhoavat menetelmät vaikuttavat lupaavilta ja voivat tarjota uusia keinoja kaapeleiden kunnon arviointiin. Näistä menetelmistä nostaisin esille impedanssi- sekä FDR-mittauksen, jotka ovat tuoreen VTT:n dokumentin perusteella lupaavimmat. FDR-menetelmää on testattu todellisessa käyttöympäristössä Yhdysvalloissa Oyster Creekin ydinvoimalassa vuonna 2017 positiivisin tuloksin. Menetelmiin on kuitenkin suhtauduttava kriittisesti, sillä vaikka ne ovat tuottaneet lupaavia tuloksia joko kenttä- tai laboratorio-olosuhteista, ne ovat silti kehitteillä olevia menetelmiä. Erityisesti impedanssimenetelmän kohdalla, sillä sitä ei ole vielä testattu kenttäolosuhteissa.

Impedanssimenetelmä on myös alun perin suunniteltu automaatiokaapeleille, mutta sen soveltuvuutta sähkökaapeleille tulisi selvittää enemmän. Kunnonvalvontamenetelmän tulisi olla käyttökelpoinen molemmille kaapelityypeille, sillä pelkästään automaatiokaapeleille soveltuvan menetelmän hyöty olisi melko rajallinen.

Loviisan voimalaitoksen ja VTT:n välillä on keskusteltu impedanssimenetelmän testaamisesta, ja yhteistyötä olisi hyvä jatkaa, jotta testauksen toteutettavuus selviäisi. Mikäli järjestely onnistuvat, testaus voitaisiin suorittaa esimerkiksi vuosihuollon yhteydessä.

11.3 Suojarakennuksen ulkopuolisten kaapeleiden testaus

Loviisan voimalaitoksen käyttöluvan jatkumisen myötä on päätetty toteuttaa laitoksen alkuperäisten automaatioalustojen kunnan seurantaan sekä pohtia niiden uusintastrategiaa tekemällä suunnitelmia ja jatkotoimenpideselvityksiä. Selvitykset ovat kokonaisuudessaan jaettu omiin projekteihin. Tavoitteena on selvittää alkuperäisten automaatioalustojen sekä niihin liittyvien valvomo-, kenttälaitteiden ja kaapeloinnin tila sekä tunnistaa mahdolliset muutokset, jotka liittyvät ikääntymiseen ja varaosien saatavuuteen. (Fortum 2024b.)

Suojarakennuksen ulkopuoliset tilat ja valtaosin automaatiokaapelit ovat yhtenä osiona projekteissa. Siinä käsitellään kaapelointia, sen nykyistä tilannetta, viimeisintä kaapeleiden järjestelmäraporttia sekä testattavien kaapeleiden testaussuunnitelmaa. Viimeisimmän kaapeleiden järjestelmäraportin mukaan suojarakennuksen ulkopuolisia kaapeleita ei pääsääntöisesti uusita, ellei niissä havaita systemaattista vikaantumista. Kaapeleiden on myös todettu olevan hyvässä kunnossa. Tällä projektilla haetaan varmistusta näihin johtopäätöksiin.

Testauksessa käytettävät kaapelityypit koostuvat pääosin automaatiokaapeleista, mutta mukana on myös muutamia sähkökaapeleita. Automaatiokaapeleita ovat MAMSI, MAMSI-E, MMO, JAMAK, KJAAM, NOMA-E, REDAK, REDAK-E, SSJS, MONETTE ja MHMS-SI. Sähkökaapeleita ovat MMJ ja MCMK.

Tavoitteena on suorittaa keinotekoinen ikäännytyksen vuoteen 2050 saakka sekä tehdä EaB- ja sähkötestaukset. Kaikkia kaapelityyppejä ei kuitenkaan ollut saatavilla. Kaapelinäytteet ovat otettu turbiinihalleista, valvomorakennuksista sekä kaapelitunneleista.

Mikäli testauksien tulokset osoittautuvat kokonaisvaltaisesti huonoiksi, kyseessä on merkittävä ongelma. Esimerkiksi, jos tulokset paljastavat, että kaapelit kestävät enää vain 5–10 vuotta, seurauksena se tarkoittaisi massamaista kaapeleiden uusintaa. Tällainen tilanne tarkoittaisi huomattavia taloudellisia kustannuksia, jotta voimalaitoksen toiminta voitaisiin varmistaa käyttöluopien päättymiseen saakka. Vaikka kyseessä on äärimmäinen skenaario, se on silti mahdollinen. On kuitenkin tärkeää huomioida, että vastaavaa tilannetta ei ole aiemmin historiassa ilmennyt. Taloudellisen puolen lisäksi herää kysymys, riittäisivätkö aika ja työntekijäresurssit näin laajoihin korjaustöihin.

Jos tuloksista ilmenee esimerkiksi joidenkin yksittäisten kaapeleiden merkittävää ikääntymistä, voidaan suorittaa kaapeleiden vaihto normaalina korjaustyönä. Mikäli sen sijaan kaikki kaapelityypit osoittautuvat edelleen hyväkuntoisiksi, kannattaa ne silti ottaa tarkempaan seurantaan, sillä kaapelit ovat olleet käytössä jo pitkään. Tarkempaa seurantaa voitaisiin toteuttaa esimerkiksi turbiinihalleihin sijoitettujen näytelaatikoiden avulla. Näytelaatikoita käsitellään kohdassa 11.6. Tulosten saannin jälkeen on kuitenkin tärkeää arvioida huolellisesti eri ratkaisuvaihtoehdot ja pohtia, mikä olisi järkevin etenemistapa.

Olkiluodon kaapeleiden järjestelmävastaavalta tiedusteltiin näihin testauksiin liittyen, että ovatko he tehneet vastaavanlaisia testauksia suojarakennukset ulkopuolisille kaapeleille. OL1/OL2 -voimalaitoksille ei ole vastaavia testauksia tehty eikä suojarakennuksen ulkopuolisten kaapeleiden ikääntymistä ole seurattu aiemmin tarkemmin. He aloittivat vuoden 2024 loppupuolella suojarakennuksen ulkopuolisten kaapeleiden seurannan, jonka yhteydessä he tekivät visuaalisia ja tunnustelevia tarkastuksia erityisesti kohteissa, joissa lämpötila tai säteily on korkeampi. (Hintukainen 2025a.)

Yhteistyötä Olkiluodon kanssa voidaan jatkaa, mutta näiden tietojen perusteella heillä ei ole tällä hetkellä samanlaista tilannetta, joten heidän kokemuksensa ei välttämättä tarjoa suoraa apua meidän ongelmiimme. On tärkeä muistaa myös, että OL1- ja OL2-voimalaitokset poikkeavat rakenteeltaan ja toiminnaltaan Loviisan voimalaitoksista.

11.4 Kaapelihyllyt ja -reitit

Kesällä 2024 toteutettiin Loviisan voimalaitoksen kaapeleiden sekä kaapelireittien kartoitusprojekti. Kartoitukseen on laadittu kaksi Master Excel tiedostoa, molemmille laitosesyksiköille omansa, LO1 ja LO2 (ks. kuva 6). Tämän projektin tarkoituksena oli selvittää kaapelireittien täyttöasteet, etsiä mahdolliset käytöstä poistetut purettavat kaapelit sekä paikantaa missä voimalaitoksella on kaapeleiden palosuojauksessa käytettävää vuorivillaa. Huomiota kiinnitettiin myös yleisesti kaapelihyllyjen ja kaapeleiden kuntoon sekä dokumentoiden nämä tiedot Exceleihin ja kaapelihyllykuviin.

Master Excel-tiedostot sisältävät huonetunnukset, mitä kaapelihyllyä siellä menee ja kuinka paljon. Kaapelihyllyjen täyttöasteet on arvioitu silmämääräisesti prosentteina:

- Alle 100%: Kaapelihyllyssä on tilaa uusille kaapeleille.
- 100 %: Kaapelihylly on täynnä, ei tilaa uusille kaapeleille.
- Yli 100 %: Kaapelihylly on ylitäynnä, ei tilaa uusille kaapeleille.

Koska kaapelihyllykuvat ovat kaksiulotteisia, niiden tulkinta voi olla haastavaa erityisesti silloin, kun kaapelihyllykuvia on päällekkäin. Tästä syystä Excel-taulukkoon on merkitty kaapelihyllyjen määrä numerollisesti, missä numero yksi kuvaa ylintä kaapelihyllyä ja numerointi jatkuu hyllyjen lukumäärän mukaisesti. Exceeliin on myös kirjattu purettavien kaapeleiden määrät, nimet sekä sijainnit. Lisäksi työssä mitattiin turbiinihallien lämpötila hotspotit, missä kaapelihyllyt ja kaapelit altistuvat korkealle lämmölle.

Projektissa käytettiin kaapelihyllykuvia merkitsemiseen. Lyhyesti tiivistettynä, Master Excelit vastaavat muokattuja kaapelihyllykuvia. Kaapelihyllykuviin sekä Exceleihin on lisätty kaapelireittitunnus merkinnät, purettavien kaapeleiden sijainnit sekä lämpötila hotspottien mittauskohdat.

Kartoituksen yhteydessä havaittiin, että osa kaapelihyllyistä on reilusti yli täynnä sekä käytöstä poistettuja purettavia kaapeleita löydettiin paljon. Silmämääräisessä tarkastuksessa todettiin puutteita kaapeleiden palosuojauksessa,

erityisesti vuorivillojen osalta, jotka ovat huonossa kunnossa. Projektin aikana tuotetut dokumentit tarjoavat yksityiskohtaisen kuvan kaapelihyllyjen nykyisistä täyttöasteista.

Lämpötila	Kaapelireitin tunnus	1 (ylin)	2	3	4	5	6	7	Purettavia kaapeleita
	K93 osa c	70	80	60	100				
	K93 osa d	110	100	90	100				
	K72 osa a	K	50						
39	K99	100	90						
	K99 osa c	85							
	Y09 osa a	40							
	Y09 osa b	90							
	K93 osa c	70	80	60	100				
	K93 osa d	110	100	90	100				
35,2	K72 osa b	K	50						
	K99	50	40						
	K99	100	90						
38	K93 osa b	120	70	40					1

Kuva 6. Kohta Master Excelistä

Kartoituksessa luotu työkalu toimii hyvänä apuna suunnittelijoille. Sen avulla he voivat nopeasti tarkastella kaapelireittien täyttöasteita ja arvioida, mistä uudet kaapelivedot voidaan parhaiten viedä. On kuitenkin huomioitavat, että työkalu ei sisällä tietoa esimerkiksi kaapelireittien kaapelityypeistä, läpivienneistä tai muista vastaavista tiedoista, minkä vuoksi suunnittelijoiden on edelleen tarkastettava osa reiteistä paikan päällä.

Työkalua tulee kuitenkin kehittää, ja kehitysvastuusta voisi vastata kaapeleiden järjestelmävastaava. Tällä hetkellä työkalu näyttää ikäänntymismekanismeista ainoastaan hotspotit. Työkaluun voisi lisätä aluekohtaisia ikäänntymismekanismeja, mikä parantaisi kaapelit järjestelmän ikäänntymisen hallintaa ja antaisi tarkemman kokonaiskuvan kaapeleiden sekä kaapelireittien ympäristötekijöistä.

Työkalun kehittämisen yhteydessä tutkittiin laajasti kaapelihyllyjen reittikuvia ja huomattiin, että LO1:n puolelta puuttuvat lähes kokonaan kaapelihyllyjen reittitunnukset niin suunnitelmakuvistakin kuin kentältäkin. Tämän perusteella työkaluun on luotu LO1:n puolelle reittitunnukset kopioimalla LO2:n puolelta mahdollisimman hyvin. Esimerkiksi molempien laitosten turbiinihallien kaapelireitit vastaavat suurimmilta osin toisiaan, mikä helpotti tunnusten soveltamista.

LO2:n puolella kaapelihyllyjen reittitunnukset löytyvät jo fyysisenä kentältä sekä kaapelihyllykuvista. On järkevää lisätä vastaavat tunnukset myös LO1:n puolelle. Tämä parantaa kaapelireittien hahmottamista kentällä ja toimii tehokkaana viestintävälineenä eri sidosryhmille, jotka työskentelevät voimalaitoksella. Kaapelireittien tunnusten merkitsemisestä kaapelihyllykuviin voisi laatia toimeksiannon suunnittelupuolelle, jotta he voivat arvioida tarpeen ja päättää toteutuksesta.

11.5 Yli täydet kaapelihyllyt

Kaapeleiden kartoitusprojektissa näkyi konkreettisesti ongelma, että osa kaapelihyllyistä on yli täynnä. Kaapelit ovat tiiviisti nipuissa, mikä aiheuttaa erinäisiä ongelmia (ks. kuva 7). Kun kaapeleissa kulkee isoja virtoja, ne kuumenevat kaapelin sisäisen vastuksen aiheuttaman lämmön seurauksena. Lämpö siirtyy johtimista eristeeseen, jonka jälkeen kaapelin vaippaa ja siitä ympäristöön. Normaalisti lämpö siirtyisi ilmaan ja lopulta haihtuisi ympäristöön, mutta jos kaapelihylly on ylitäysi, ilmavirtaus heikkenee huomattavasti. Lämpö ei siis pääse kunnolla poistumaan varsinkin nipun keskellä olevista kaapeleista. Tämä voi johtaa ylikuumentumiseen ja kaapeleiden eristeiden ikääntymiseen pitkällä aikavälillä.

Ongelmana on myös se, että kaapelihyllyillä on liikaa painoa. Loviisan voimalaitoksella on jo havaittu muutamia kaapelihyllyjä, jotka ovat romahtaneet notkolleen, esimerkiksi kaapelitunneleissa. Romahtamisen syinä voivat olla tärinä, korkea lämpötila, ylikuormitetut kaapelihyllyt tai näiden tekijöiden yhteisvaikutus. Kaapelitunneleissa romahtamisen syynä on todennäköisesti se, että kaapelihylly on ylitäynnä, sillä siellä ei ole muita tekijöitä havaittavissa. Yli täysi kaapelihylly altistuu suurelle kuormalle, mikä voi pitkällä aikavälillä heikentää kiinnikkeiden pitävyyttä. Kuva 7 havainnollistaa tilannetta, ja siihen on lisätty nuoli korostamaan kyseistä kohtaa selkeyden parantamiseksi.



Kuva 7. Notkolleen romahtanut kaapelihylly kaapelitunnelissa (nuoli) sekä yli täysiä kaapelihyllyjä

Turbiinihalleissa kaapelihyllyjä on vääntynyt, mutta tässä tapauksessa vääntymisen syy ei ole rakenteellinen kuormitus tai ikääntymisestä johtuva vaurio, vaan se, että hyllyn päällä on aikanaan kävelty (ks. kuva 8). Tämän tulkinnan tukena on havainto, että vastaavanlaista vääntymistä esiintyy useissa paikoissa aina päällekkäisillä, ylimmillä kaapelihyllyillä. Lisäksi kyseinen kaapelihylly ei ole ylitäysi, joten ylikuormitus voidaan sulkea pois.

Mikäli hyllyn päällä ei olisi kävelty, tarkasteluun nousisivat lämpötilan ja värinän vaikutukset mahdollisina vääntymisen aiheuttajina. Pitkällä ajanjaksolla korkea lämpötila voi heikentää teräksen mekaanisia ominaisuuksia, kuten lujuutta ja jäykkyyttä, mikä voi johtaa rakenteen asteittaiseen vääntymiseen ja kantavuuden heikkenemiseen. Turbiinihalleissa vallitseva voimakas värinä puolestaan vaikuttaa merkittävästi kaapelihyllyjen kiinnikkeiden kestävyys. Näiden tekijöiden yhteisvaikutus voi myös merkittävästi nopeuttaa rakenteen ikääntymistä ja vaurioitumista.

Turbiinihallin tilanteen myötä herää kysymys: johtaisiko pelkkä korkea lämpötila vastaaviin ongelmiin, mikäli kaapelihyllyn päällä ei olisi kävelty ja ikääntymismekanismina olisi ainoastaan lämpötila? Tiedustelin lujuuslaskennan puolelta vanhempaa asiantuntijaa aiheeseen liittyen. Pelkän korkean lämpötilan ei kuitenkaan voida katsoa yksinään aiheuttavan hyllyn vääntymistä. Tämän perusteella voidaan todeta, että tällaisessa tilanteessa värinän ja lämpötilan yhteisvaikutus on todennäköisesti johtanut havaittuun vaurioon. Värinä on ollut merkittävin yksittäinen tekijä ja lämpötila on kiihdyttänyt ikääntymisprosessia.



Kuva 8. Vääntynyt kaapelihylly turbiinihallissa

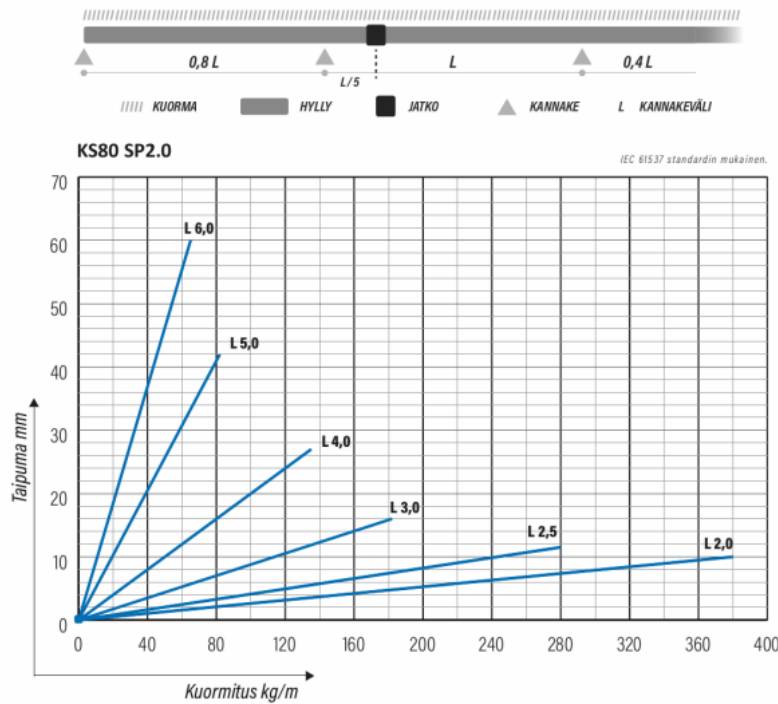
Yhtenä ratkaisuna yli täysille kaapelihyllyille olisi, ettei niille lisättäisi enää uusia kaapeleita. Tämä ei ole kuitenkaan täysin mahdollista, sillä uusi toimilaitteita on tulossa, mikä edellyttää uusia kaapelivetoja. Käytettävä tila on rajallinen ja joudutaan todennäköisesti näin tekemään. Kaapeleiden kartoitusprojektissa löydettiin runsaasti käytöstä poistettuja kaapeleita, joiden purkaminen keventäisi kaapelihyllyjen painoa ja vapauttaisi tilaa sekä parantaisi lämmön haihtumista. Vaikka tämä on hyödyllinen toimenpide, sen vaikutus varsinaiseen ongelmaan jää todennäköisesti vähäiseksi, sillä purettavat kaapelit ovat pääasiassa yksittäisiä tai pieninä nippuina kaapelihyllyillä. Muutaman kaapelin poistaminen ei merkittävästi vähennä hyllyjen ylikuormitusta eikä ratkaise perusongelmaa.

Uusien kaapelihyllyjen asentaminen voisi olla yksi mahdollinen vaihtoehto, mutta se ei ole optimaalinen ratkaisu. Tilankäytön kannalta asennusmahdollisuudet ovat rajalliset, vaikka joissakin tiloissa se periaatteessa onnistuisi. Toisena ongelmana uusissa kaapelihyllyissä on se, että mihin kaapelit sijoitetaan väliaikaisesti. Toimenpide on kuitenkin kustannuksiltaan huomattava.

Romahtaneiden kaapelihyllyjen osalta tulisi asentaa tukirakenteita, jotta vastaavilta ongelmilta vältyttäisiin jatkossa. Ilman riittäviä tukia kaapelihyllyt ovat alttiita liialliselle kuormitukselle. Esimerkiksi kuvan 7 tapauksessa voidaan lisätä hyllykannakkeita tai asentaa käytävän puolelle tukipalkkeja, jotka kiinnittyvät kaikkiin kaapelihyllyihin. Näiden tukipalkkien ei tarvitsisi tukea katosta asti.

Lisäksi olisi tarpeen nostaa romahtaneet kaapelihyllyt takaisin normaalin asentoon, jotta ne eivät heikennä rakenteiden kestävyyttä jatkossa. Pelkkä hyllyjen nostaminen alkuperäiseen asentoon ei yksin tilanteessa riitä, vaan hyllyt on vielä tuettava erikseen, jotta niiden mahdollinen uudelleen romahtaminen voidaan estää.

Tukirakenteita voidaan parantaa lisäämällä kaapelihyllyn kannakkeiden määrää. Kannakkeiden väliset etäisyydet ovat verrannollisia kuorman kestävyyskykyyn. Lyhyemmällä kannakeväleillä saadaan hyllyn kuorman kestoisuutta suuremmaksi (ks. kuva 9). Loviisan voimalaitoksella on käytössä muun muassa kuvan 9 mukaisia kaapelihyllyjä, mutta käytössä on myös eri valmistajien ja erikokoisia hyllytyyppejä.



Kuva 9. KS80 SP2.0 -kaapelihyllyn taipuma eri kannakeväleillä kuormituksen funktio (Meka Group 2021)

Näiden tilanteiden myötä olisi syytä myös kiinnittää enemmän huomiota kaapelihyllyjen kuntoon yleisesti tarkemmalla seurannalla. Voimalaitoksen aiheeseen liittyvän ohjeistuksen mukaan kaapelihyllykiinnityksiä ja tukevuutta tarkastetaan käsin tunnustelemalla tai kuormittamalla hyllyä n. 200 N voimalla. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että ns. rannemomentilla tehdään hyllyyn n. 20 kg kuormitus.

Kaapelihyllyjen tarkempi seuranta olisi perusteltua toteuttaa tunnistamalla kriittiset ympäristöt, joissa ne altistuvat merkittävälle rasituksille ja ikääntymiselle. Esimerkkinä voisi olla turbiinihallit. Kaapeleiden kartoitusprojektin kaapelireitien täyttöasteet tarjoavat arvokasta tietoa siitä, missä hyllyt ovat ylikuormitettuja. Tämä mahdollistaa tarkastusten kohdentamisen sinne, missä riski romahdukselle on suurin. Kun heikot kiinnikkeet ovat tunnistettu ja paikannettu, lisäämällä tukirakenteita ennakkoon voidaan estää hyllyjen romahtamiset ja varmistaa rakenteiden kestävyys.

Kaapeleiden kartoitusprojektin yhteydessä huomattiin myös, että kentällä on runsaasti tyhjiä kaapelihyllyjä, mitä on jäänyt aikaisemmasta projektista. Näiden hyllyjen hyödyntäminen olisi järkevää, sillä monilla alueilla kaapelihyllyt ovat jo nyt yli täynnä. Haastattelin aiheeseen liittyen ja mukana projekteissa ollut vanhempaa insinööriä. Tarkoituksena on ottaa nämä hyllyt käyttöön uudessa kaapeloinnissa, mikäli ne täyttävät vaaditut kriteerit. Toisin sanoen kaapelihyllyn on vastattava uuden kaapelin tyyppiä, turvallisuusluokkaa sekä redundanssia. Kuitenkin osa näistä kaapelihyllyistä sijaitsee alueilla, joihin ei todennäköisesti enää asenneta uusia kaapeleita.

11.6 Turvallisuuslohkojen kaapeleiden palosuojaus

YVL B.1-ohjeen mukaan turvallisuusjärjestelmien luotettavuuden varmistamiseksi niiden moninkertaisuusperiaatetta toteuttavat osat tulee sijoittaa eri rakennuksiin. Mikäli tämä ei ole mahdollista, ne on erotettava toisistaan palo- tai suojaetuilla osastoilla. Tämän tarkoituksena on estää vikojen tai vahinkojen, kuten tulipalojen, tulvien tai rakenteellisten vaurioiden, leviämistä järjestelmän osasta toiseen riippumatta siitä, johtuvatko ne laitoksen sisäisistä vai ulkoisista tapahtumista. (Fortum 2024c.)

YVL B.7-ohjeen mukaan, jos turvallisuuslohkoja ei voida toteuttaa erillisinä palo-osastoina, ne on erotettava joko rakenteellisilla ratkaisuilla tai riittävällä etäisyydellä. Näissä tapauksissa erottelun tulee perustua palontorjunnan syvyyspuolustuksen periaatteisiin (YVL B.8), ja sen soveltuvuus on osoitettava analyyseillä. Tällaisia tilanteita esiintyy esimerkiksi valvomossa ja sen alapuolisissa kaapelitiloissa. (Fortum 2024c.)

Lisäksi YVL B.8-ohjeen kohdan 345 mukaan turvallisuuslohkojen erotuksen on täytettävä vähintään luokan EI-M 120 vaatimukset. Jos tätä vaatimusta ei voida täyttää, rakenteiden palonkeston on vastattava palokuorman edellyttämiä vaatimuksia. Tämä vaatimus koskee myös YVL B.7-ohjeen mukaisia vastaavia tilanteita. (Fortum 2024c.)

Eli toisin sanoen, jos redundanttinen kaapeli joudutaan sijoittamaan toisen redundanssin puolelle, on varmistettava redundanssierotus riittävällä suojauksella sekä sen on varmistettava kaapeleiden toiminta 120 minuutin ajan. Loviisan voimalaitoksella käytettävät suojamenetelmät ovat kaksoissuojaputki, palosuojakouru sekä vuorivilla, joista vuorivilla on tällä hetkellä kriittinen tekijä.

Vuorivilla koostuu 50 mm paksuisesta alumiinipäällysteisestä eristekerroksesta, joka suojaa kaapeleita tulipaloilta. Saumojen tiivistämiseen käytetään alumiiniteippiä, ja koko eristekerros vahvistetaan galvanoidulla teräslankaverkolla (ks. kuva 10) (Fortum 2024c.) Nämä vuorivillat, erityisesti ne, jotka ovat avattu, ovat tällä hetkellä huonossa kunnossa. Ne eivät kestä juuri ollenkaan mekaanista rasitusta ja ovat monin paikoin, erityisesti kaapelitiloissa, rikkoutuneina tai palasina. Tämä aiheuttaa myös ylimääräistä roskaa ja likaa. Ahtaissa tiloissa ne vievät huomattavasti tilaa, mikä vaikeuttaa asennus- ja huoltotöitä. Lisäksi kun kaapelihylly on suojattu vuorivillalla, lämmön haihtuminen estyy, jolloin kaapelit jäävät eristeen sisään keräämään lämpöä eivätkä pääse kunnolla jäähtymään. Tämä nopeuttaa kaapeleiden lämpöaurastumista.



Kuva 10. Vuorivillaa

Tämän perusteella vuorivillalle on etsitty korvaavaa tuotetta, ja hiljattain löydettiin potentiaalinen vaihtoehto: palosuojamalli. Tuote oli saanut ETA-hyväksynnän 120 minuutin palonkestävyydelle, mutta sen toimivuus haluttiin vielä varmistaa. Tämän perusteella järjestettiin Slovakiassa koepolttot tuotteen testaamiseksi.

Koepoltossa käytettiin kahta kaapelihyllyä, joihin asennettiin neljä erityyppistä kaapelia. Molemmat kaapelihyllyt ja kaapelit olivat muuten identtiset, mutta toiseen hyllyyn lisättiin kaksinkertainen kerros palosuojamallia. Testin tavoitteena oli varmistaa, että kaapelit säilyttävät toimintakuntonsa palon aikana ja sen jälkeen sekä että 120 minuutin vaatimus täyttyy.

Koepoltossa ensimmäiset kaapelit menivät oikosulkuun noin kahdeksan minuutin kuluttua koepolton alkamisesta, ja kolmenkymmenen minuutin kohdalla kaikki kaapelit olivat oikosulussa. Tämän jälkeen koepolttoa ei katsottu tarpeelliseksi jatkaa. Havainnot viittaavat siihen, että palo levisi todennäköisesti kaapelihyllyn kiinnityskannakkeiden kautta. Kaapelit paloivat laajalta alueelta, mikä osoittaa, että palon alkaessa missä tahansa kohdassa hyllyä, seurauksena on kaapeleiden palaminen laajalta alueelta. Koetilanteessa toinen kaapelihylly oli suojattu palosuojakankaalla kaksinkertaisesti, mutta tällä ei ollut havaittavaa vaikutusta palon leviämiseen tai suojattavuuteen. Näin ollen joudutaan jälleen etsimään vuorivillalle korvaavaa ratkaisua. (Fortum 2025.)

Koepolton tulosten perusteella tuotteen maahantuoja otti yhteyttä valmistajaan, joka on ilmoittanut halukkuutensa käynnistää uuden tuotekehitysprosessin paremman ratkaisun löytämiseksi kaapeleiden toimivuuden turvaamiseksi palon aikana.

Jatkotoimenpiteitä pohdittaessa nousee esiin kysymys: onko kyseiseen palosuojamallin enää perusteltua luottaa? Koepolttojen tulokset osoittivat tuotteen suorituskyvyn jäävän merkittävästi jälkeen niistä vaatimuksista, joiden täyttämisen maahantuoja oli aiemmin luvannut. Mikäli valmistaja kykenee kehittämään tuotteen, joka täyttää vaatimukset ja jonka suorituskyky voidaan osoittaa luotettavasti, tuotteen arviointia voidaan jatkaa. Tilanteessa voitaisiin myös edetä, mikäli tuote vastaisi vaatimuksia riittävässä määrin. Esimerkiksi, jos

tuote kykenee tarjoamaan vähintään tunnin palosuojan ja varmistamaan kaapeleiden toiminnan, sen hyväksyttävyyttä voitaisiin tarkastella erikseen paloturvallisuuspuolen toimesta.

Olkiluodon kaapelijärjestelmä vastaavalta tiedusteltiin, millaisia palosuojausratkaisuja kaapeloinneissa on käytössä ja onko Olkiluodon järjestelmissä ilmennyt vastaavanlaisia ongelmatilanteita kuin Loviisan voimalaitoksella. Olkiluodossa on jo rakennusvaiheessa varmistettu riittävä erottelu, minkä vuoksi se poikkeaa Loviisan voimalaitoksen tilanteesta, eikä vuorivillaa ole käytössä. Mikäli redundanssin kaapeleita on sijoitettu toisen redundanssin puolelle, ne ovat suojattu palosuojamaalilla (Hintukainen 2025b.) Tämän perusteella Olkiluodosta ei ole apua Loviisan voimalaitoksen tilanteeseen.

Palosuojauksen kyseenalainen kunto on merkittävä turvallisuusriski, joten ongelmaan on kehitettävä ratkaisu. Jatketaan korvaavan tuotteen etsimistä ja selvitystä sekä tehdään tiivistä yhteistyötä palosuojamallin sidosryhmien kanssa seuraten tilanteen edistymistä. Aihetta käsitelleessä palaverissa on myös pohdittu vuorivillan korvaamista uudella villalla, mikä on varteen otettava vaihtoehto. Vuorivilla on kuitenkin aikanaan hyväksytty vaatimuksemme mukaisesti, ja se täyttää vaatimuksemme, ellei toisin todisteta.

11.7 Näytelaatikat

Höyrystintilan kaapeleiden ikääntymistä ja kuntoa seurataan analysoimalla kaapelinäytteiden mekaanisia ominaisuuksia tehtyjen testien avulla. LO2-höyrystintilaan on sijoitettu kolme näytelaatikkoa, jotka sisältävät 0,5 m pituisia kaapelipätkiä höyrystintilan kaapelityypeistä. Testauksen liittyvien ohjeiden mukaisesti laatikosta otetaan neljän vuoden välein yksi näyte kutakin kaapelityyppiä ja ne lähetetään testattavaksi ulkopuoliselle taholle erilliseen laboratorioon. Kaapeleille suoritetaan kaksi erillistä mekaanista testausta: murtovenymä- sekä vetolujuustestit. Nämä testaustulokset analysoidaan ja dokumentoidaan sekä ne toimivat perustana kaapeleiden kunnonvalvonnassa. Mikäli höyrystintilaan tulee uusia kaapelityyppejä, lisätään kyseistä kaapelityyppiä sopiva määrä näytelaatikoihin sekä uudesta kaapelityypistä lähetetään näyte mekaanisiin testeihin. (Fortum 2023c.)

Murtovenymä- ja vetolujuustestit ovat tuottaneet arvokasta tietoa kaapeleiden kunnosta ja ikääntymisprosessista. Näiden testimenetelmien hyödyntäminen myös suojarakennuksen ulkopuolisissa tiloissa olisi perusteltua. On tärkeää tunnistaa, missä suojarakennuksen ulkopuolisissa rakennuksissa kaapelit altistuvat merkittävimmin ikääntymismekanismeille.

Turbiinihallsissa esiintyy korkeita lämpötiloja, värinää ja jonkin verran kosteutta. Säteiloyolosuhteista huomioidaan ainoastaan päivänvalon ja loisteputkien aiheuttama UV-säteily. Loisteputkien määrä on kuitenkin vähentynyt 2020-luvulla, sillä niitä on korvattu LED-valaisimilla (Fortum 2024d.) Tämän perusteella turbiinihallit ovat potentiaalinen sijoituspaikka näytelaatikoille, sillä siellä kaapelit altistuvat useille ympäristötekijöille, jotka aiheuttavat kaapeleihin erilaisia ikääntymismekanismeja.

Höyrystintilan näytelaatikoiden sijainnit on mietitty siltä kannalta, että missä kaapelit altistuvat eniten ikääntymismekanismeille. Tätä samaa logiikkaa voitaisiin hyödyntää myös turbiinihallsissa, joissa kaapeleiden lämpörasitus on merkittävä ikääntymistä edistävä tekijä. Näytelaatikoiden optimaalinen sijoittaminen voitaisiin toteuttaa hyödyntämällä kaapeleiden kartoitusprojektissa kehitettyä työkalua. Kyseisessä projektissa tunnistettiin turbiinihallin hotspotalueet, eli ne kohdat, joissa kaapelit ja kaapelireitit altistuvat korkeille lämpötiloille. Nämä hotspotit on merkitty muokattuihin kaapelihyllykuviin, ja niiden lämpötilat mitattiin Fluken IR-lämpötilamittaria käyttäen. Ennen näytelaatikoiden lopullista sijoittamista olisi perusteltua tarkentaa hotspottien mittauksia vielä lämpökameraa käyttäen. Lämpökamera mahdollistaisi laajemman lämpötilajakauma-analyysin ja auttaisi tunnistamaan tarkemmin alueet, joissa kaapelit altistuvat jatkuvalla kuumuudelle. Tämä parantaisi näytelaatikoiden sijoittelun tarkkuutta ja varmistaisi sen, että ne asennetaan haluttuihin sijainteihin.

Kaapeleiden kartoitusprojektiin on kirjattu yhteenveto turbiinihallien tasoista, joissa lämpötila ylittää 39 astetta. Näitä korkeita lämpötiloja havaittiin jokaiselta turbiinihallien tasoilta, mikä kertoo siitä, että korkeaa lämpötilaa esiintyy turbiinihallsissa kattavasti.

Suojarakennuksen ulkopuolisten tilojen kaapeleiden kunnonvalvonnan tarve kasvaa pidennetyn käyttöluvan myötä. Suojarakennuksen ulkopuolisten kaapelityyppien testausta varten toteutetussa projektissa (ks. kohta 11.4) haasteena oli kaapeleiden löytäminen. Näytelaatikoiden avulla myös kaapeleiden testauttaminen onnistuu jatkossa huomattavasti helpommin. Luonnollisesti myös uudet kaapelityypit lisätään näytelaatikoihin niiden käyttöönoton yhteydessä.

Näytelaatikoihin tulisi sijoittaa kaapelipätkiä, mitkä edustavat turbiinihallissa yleisimmin käytettyjä kaapelityyppejä. Suositeltavaa on sisällyttää kaikki turbiinihallin kaapelityypit, jotta niiden käyttäytymistä voidaan arvioida kattavasti. Näytelaatikoita tulisi olla riittävästi, jotta kaikki keskeiset kaapelityypit voidaan huomioida.

Olennaista on, että tunnetaan näytelaatikoihin sijoitettavien kaapeleiden historia, jotta voidaan seurata niiden vanhenemisprosessia luotettavasti. Lisäksi näytelaatikoihin voitaisiin sijoittaa turbiinihallissa käytettävistä kaapelityypeistä täysin uuden kaapelin. Tämä antaisi referenssiä ja vertailuarvoa kaapeleiden kunnosta eli nähdään, kuinka nopeasti täysin uudessa kaapelissa alkaa esiintymään ikääntymisen merkkejä. Tätä kaapelia ei tarvitsisi testauttaa ihan heti, mutta esimerkiksi kymmenen vuoden päästä sen kunto voitaisiin tarkastaa testauksilla, jonka jälkeen voitaisiin arvioida sekä verrata tuloksia käytössä olleisiin kaapeleihin.

Näytelaatikot tuovat jonkin verran palokuormaa mahdollisen tulipalon varalta, mutta tässä yhteydessä on syytä tarkastella myös niiden hyötyjä suhteessa tähän riskiin. Näytelaatikot tarjoavat turvallisuuden kannalta merkittäviä hyötyjä, erityisesti kaapeleiden testauksen ja seurannan tukena. Nämä hyödyt ovat selvästi suuremmat kuin niiden aiheuttama lisäys palokuormaan. Tämän perusteella näytelaatikoiden käyttöönottoa voidaan pitää perusteltuna.

11.8 Kaapelitietokanta

Monilla ydinvoimalaitoksilla on käytössään kaapelitietokantoja, joiden sisältö vaihtelee laitoksittain. Joissakin tietokannoissa on tallennettu kaikki kaapelit, kun taas toisissa keskitytään vain turvaluokiteltuihin kaapeleihin. Nämä tietokannat paitsi nopeuttavat muutostöiden toteutusta, myös helpottavat ikääntymisen hallintaan liittyvien dokumenttien ylläpitoa ja päivitystä. (Ellmen 2021, 48.)

Kaapelitietokannan luominen Loviisan voimalaitokselle olisi merkittävä edistysaskel. Tällaisen tietokannan rakentaminen voisi mahdollisesti onnistua hyödyntämällä tekoälyä, jota voimalaitoksella on jo käytössä pilottisovelluksina Microsoftin ympäristössä.

Kaapelitietokanta voitaisiin luoda esimerkiksi Exceliin. Tekoälyllä on olemassa sovelluksia, jotka pystyvät tulkitsemaan kuvia vieden tiedon sovelluksen taulukkoon. Tämä helpottaisi käytännössä siten, ettei tarvitsisi erikseen kopioida manuaalisesti kaapeliluetteloista tietoja Exceliin. Työksi jäisi tekoälyn tuottaman taulukon tarkastaminen ja siirtäminen Exceliin. On kuitenkin tärkeää käyttää tekoälyä harkiten ja olla syöttämättä siihen arkaluonteista tietoa. Tämä vaatii enemmän selvitystyötä, mutta tätä voisi kokeilla muutamalla skannattavalla kaapeliluetteloiden sivulla ensin.

Jos tällainen kaapelitietokanta luotaisiin, niin siinä olisi hyvä olla:

- Kaapelin numero
- Tieto mistä mihin
- Kaapelityyppi
- Kaapelin pituus
- Kaapelin kelan numero
- Kaapelin asennusvuosi
- Kaapelinreitti

Kaapelitietokanta on hyödyllinen ratkaisu, mutta kun kaapeleiden ikääntymisen hallintaa tarkastellaan kokonaisvaltaisesti, sen priorisointi ensimmäisten toimenpiteiden joukkoon ei välttämättä ole ensisijaista. Sen suunnittelu voi kuitenkin olla kannattavaa, mikäli kaapelijärjestelmävastaavalla on siihen mahdollisuus muiden töiden ohella. Kehittämistä haastaa myös se, että kaapeliluettelot ovat tällä hetkellä fyysisinä useissa eri kansioissa, eikä kaikkia kuvia ole saatavilla skannattavassa muodossa.

12 YHTEENVETO SELVITYKSESTÄ

Tässä selvityksessä tarkasteltiin Loviisan voimalaitoksen suojarakennuksen ulkopuolisten kaapeleiden ja kaapelireittien nykytilaa, kuntoa sekä palosuojauksia. Selvityksen tavoitteena oli tuottaa ajantasainen kokonaiskuva kaapelijärjestelmän nykyisestä tilasta ja tunnistaa kehitystarpeita kaapeleiden, kaapelihyllyjen, -reittien sekä palosuojauksien osalta. Selvityksen rajauksena oli, että höyrystintilan kaapeleita ei otettu tarkasteluun mukaan.

Suojarakennuksen ulkopuolisten kaapeleiden osalta keskeisin havainto on, että ne tulisi ottaa tarkempaan ja säännöllisempään seurantaan. Kaapelit ovat olleet käytössä pitkään, eikä niiden kuntoa ole aiemmin seurattu järjestelmällisesti. Seurantaa voidaan toteuttaa panostamalla kaapeleiden kunnonvalvontaan ja testaustoimenpiteisiin. Markkinoille on tullut uusia potentiaalisia kunnonvalvontamenetelmiä, joiden kokeileminen alkuperäisten menetelmien rinnalle on suositeltavaa. Kunnonvalvontaa tukemaan turbiinihalleihin tulisi sijoittaa näytelaatikoita, sillä kyseiset tilat altistavat kaapelit vaativille ympäristöolosuhteille. Näytelaatikot helpottavat samalla testauksien toteuttamista käytännön tasolla. Myös mahdollisen kaapelitietokannan luominen on syytä ottaa tarkempaa tarkasteluun.

Kaapelihyllyjen ja -reittien haasteena on, että ne ovat paikoin ylikuormittuneita. Tämä aiheuttaa kaapelihyllyihin rakenteellisia vaurioita sekä kaapeleiden lämpörasitusta niiden ollessa tiiviisti nipuissa. Kaapelihyllyjen rakenteellista kestävyyttä tulisi parantaa käyttämällä lisätukirakenteita erityisesti kohdissa missä kaapelihyllyt ovat yli täynnä. Lisäksi kaapelihyllyjen kuntoa ja kuormitustilanteita on syytä seurata järjestelmällisemmin. Kaapeleiden palosuojauksen

osalta nykyisin käytössä oleva vuorivilla on paikoin huonokuntoista. Tässä yhteydessä on suositeltavaa jatkaa selvityksiä vaihtoehtoisen, korvaavan palo-suojatuotteen löytämiseksi.

13 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Loviisan voimalaitoksen vanhojen kaapeleiden ja kaapelireittien nykytilanne ja kunto sekä tarkastella mahdollisia jatkotoimenpiteitä niiden osalta. Työ perustui aiheeseen liittyvien dokumenttien analysointiin, asiantuntijahaastatteluihin, käytännön havaintoihin sekä kesällä 2024 toteutettuun kaapeleiden kartoitusprojektiin. Näiden pohjalta laadittiin johtopäätökset.

Tuloksina saatiin kattava kokonaiskuva kaapeleiden ja kaapelihyllyjärjestelmien tämänhetkisestä kunnosta. Kaapeleiden osalta selvityksessä havaittiin, että suojarakennuksen ulkopuolella sijaitsevien kaapeleiden kunnan seuranta on puutteellista, eikä sitä ole aiemmin rakenteellisesti. Tämä korostaa tarvetta kiinnittää enemmän huomiota niiden seurantaan tulevaisuudessa. Kaapelihyllyjen osalta havaittiin, että ylikuormittuneet hyllyt ovat konkreettinen käytännön ongelma ja ne voivat pitkällä aikavälillä aiheuttaa merkittäviä ongelmia.

Lisäksi työ esittää konkreettisia ratkaisuja havaittuihin käytännön ongelmiin ja antaa suosituksia jatkotoimenpiteiksi. Vuonna 2024 kesänä toteutetussa kaapeleiden kartoitusprojektissa laaditut dokumentit ja visuaaliset tarkastukset toimivat työn kannalta merkittävänä pohjana ja perusteluna tietyille ehdotuksille. Asiantuntijapalaverit sekä ajankohtainen dokumentaatio tukivat hyvin havaittujen ongelmakohtien tunnistamista ja lisäsivät työn luotettavuutta. Esitetyt ratkaisujen ja suositusten käytännön toteutettavuuden tarkempi arviointi olisi voinut tuoda lisää syvyyttä pohdintaan. Seuraavaksi toimenpiteeksi onkin tarkoitus suunnitella suositukset tarkemmin sekä toteuttaa ne käytännössä.

Opinnäytetyö mahdollisti perehtymisen Loviisan voimalaitoksen kaapelit ja kaapelihyllyt järjestelmiin, niiden tämänhetkiseen tilanteeseen sekä käytännön haasteisiin. Työn aikana kehityin erityisesti siinä, kuinka käytännön havaintoja ja teoriapohjaista tarkastelua voidaan yhdistää perusteltujen johtopäätösten

tekemiseen. Haastavinta työssä oli aiheen laajuus. Tarkasteltavia asioita ja käytännön ongelmia oli useita, jotka edellyttivät paljon taustatyötä. Tämä toi työhön kuitenkin monipuolisuutta ja lisäsi motivaatiani, vaikkakin se oli toisinaan vaativaa. Rajoitteena oli kuitenkin käytettävissä oleva aika, sillä työ toteutettiin opiskelun ohella. Tästä huolimatta mielestäni työn tavoitteisiin päästiin hyvin.

Lopuksi voidaan todeta, että selvitystyö tarjoaa eväät kaapeleiden ja kaapelihyllyjen järjestelmävastaavalle jatkotoimenpiteisiin ja vastaa kysymykseen, mitä tulisi tehdä seuraavaksi.

LÄHTEET

Burnay, S. 2016. Seminar on Degradation of polymers in NPPs. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/21444/1-why_ageing_is_a_concern.pdf [viitattu 15.10.2024].

Burnay, S, G. 2018. Degradation of Polymeric Components in Nuclear Power Applications. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/24410/degradation-of-polymeric-components-in-nuclear-power-applications-energiforskrapport-2018-480.pdf> [viitattu 18.10.2024].

Ellmen, R. 2021. Loviisan voimalaitoksen kaapeleiden ikääntymisenhallinnan menettelyjen arviointi. Metropolia ammattikorkeakoulu. Sähkövoimatekniikka insinööri (AMK) tutkinto. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/499556/ellmen_robert.pdf?sequence=2&isAllowed=y [viitattu 2.3.2025].

Fortum. 2019. Suojarakennuksen sisäpuolisten kaapeleiden ikääntymisen seurantaohje. Sisäinen materiaali. Doris dokumentti.

Fortum. 2022a. FSAR 3.7. Sähkö- ja automaatiolaitteiden ympäristöolosuhteet. Sisäinen materiaali. Doris-dokumentti.

Fortum 2022b. LO1 ja LO2 kaapeleiden kunnonvalvontaraportti 2018–2021. Sisäinen materiaali. Doris-dokumentti.

Fortum. 2023a. Loviisan voimalaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitoksemme/loviisan-voimalaitos> [viitattu 16.9.2024].

Fortum. 2023b. Onnettomuusolosuhteisiin kelpoistettavien kaapelien vaatimusmäärittely. Sisäinen materiaali. Doris-dokumentti.

Fortum 2023c. Suojarakennuksen sisäpuolisten kaapeleiden ikääntymisen seurannan ohje. Sisäinen materiaali. Doris-dokumentti.

Fortum 2023d. Valtioneuvosto myönsi Fortumin Loviisan ydinvoimalaitokselle uuden käyttöluvan. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/media/2023/02/valtioneuvosto-myynsi-fortumin-loviisan-ydinvoimalaitokselle-uuden-kayttoluvan> [viitattu 9.4.2025].

Fortum. 2024a. Höyrystintilojen LOCA-kaapeleiden selvitys. Sisäinen materiaali. Doris-dokumentti.

Fortum 2024b. Ikääntymisen hallinta ja varaosat raportti. Sisäinen materiaali. Doris dokumentti.

Fortum 2024c. Redundanssierotuksen prosessi-, putkisto-, sähkö- ja automaatiosuunnittelussa. Sisäinen materiaali. Doris dokumentti.

Fortum 2024d. Kaapeleiden ikääntymisen testaussuunnitelma. Sisäinen materiaali. Doris dokumentti.

Fortum 2024e. Loviisa 1 ja 2 sähköasennusten kunnonvalvonta. Sisäinen materiaali. Doris dokumentti.

Fortum 2025. Palosuojamallien koepoltto Slovakiassa 7.1.2025-10.1.2025. Sisäinen materiaali. Doris dokumentti.

Gazdinski, F. Denny, M. Toman, J & Butwin, T. 1996. Aging Management Guideline for Commercial Nuclear Power Plants - Electrical Cable and Terminations. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nrc.gov/docs/ML0311/ML031140264.pdf> [viitattu 18.1.2025].

Hintukainen, T. 2025a. Kaapeleiden järjestelmävastaava. Suojarakennuksen ulkopuoliset kaapelit. Sähköpostikeskustelu. 20.1.2025. Olkiluoto.

Hintukainen, T 2025b. Kaapeleiden järjestelmävastaava. Kaapeleiden palosuojaus. Sähköpostikeskustelu 24.2.2025. Olkiluoto.

Kansainvälinen atomienergia järjestö IAEA. 2009. Ageing management for nuclear power plants. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1373_web.pdf [viitattu 21.9.2024].

Kansainvälinen atomienergia järjestö IAEA. 2017. IAEA-TECDOC-1825. Benchmark Analysis for Condition Monitoring Test Techniques of Aged Low Voltage Cables in Nuclear Power Plants. Saatavissa: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1825web.pdf> [viitattu 20.9.2024].

Karisalo, V. 2024. Loviisan voimalaitoksen höyrystintilojen LOCA-kaapeleiden selvitys. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikan insinööritutkinto. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/868738/Karisalo_Ville-Veikko.pdf?sequence=2&isAllowed=y#page=20&zoom=100,159,713 [viitattu 29.1.2025].

Meka Group. 2021. Tikashylly KS80-300 SP2.0 L=6000 HDG. Tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://storage.googleapis.com/datasheet-bucket/datasheet/fi/Tikashylly_KS80-300_SP2.0_L-6000_HDG.pdf [viitattu 4.5.2025].

Sipilä, K. 2024a. Cable condition monitoring methods for nuclear power plants. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://energiforsk.se/media/33445/2024-1016-cable-condition-monitoring-methods-for-nuclear-power-plants.pdf> [viitattu 1.10.2024].

Sipilä, K. 2024b. Senior Scientist. Microsoft Teams -keskustelu 22.10.2024. VTT Oy.

Stuklex. 2019a. Ohje YVL A.8. Ydinlaitoksen ikääntymisen hallinta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLA-8> [viitattu 20.9.2024].

Stuklex. 2019b. Ohje YVL E.7. Ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLE-7> [viitattu 24.1.2024].

Säteilyturvakeskus. 2017. National assesment report of Finland. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ensreg.eu/sites/default/files/attachments/fin-land.pdf> [viitattu 19.9.2024].

Säteilyturvakeskus. 2019. YVL B.2. Ydinlaitoksen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokittelu. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/YVLB.2-perust.pdf> [viitattu 29.1.2025].

Säteilyturvakeskus. 2022. Säteilyturvakeskuksen laatima arvio ydinenergia-asetuksen 36 §:n mukaisista asiakirjoista koskien Loviisan määräaikaista turvallisuusarviota PSR2023. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://stuk.fi/documents/150192312/163652698/STUK-Loviisa-m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4aikainen-turvallisuusarvio-arvioasiakirjoista-2021.pdf/cfd087f2-69d3-ba11-8f06-c1ad4c7a7648/STUK-Loviisa-m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4aikainen-turvallisuusarvio-arvioasiakirjoista-2021.pdf?t=1685610550303> [viitattu 30.1.2025].

Teknologian tutkimuskeskus VTT. 1997. Derating of cables at high temperatures. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://publications.vtt.fi/pdf/publications/1997/p302vanha.pdf> [viitattu 15.10.2024].

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2023. Tiedote. Fortum toimitti työ- ja elinkeinoministeriölle selvityksen Loviisan voimalaitoksen ydinpolttoaineen hankinnasta tulevaisuudessa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tem.fi/-/fortum-toimitti-tyo-ja-elinkeinoministeriolle-selvityksen-loviisan-voimalaitoksen-ydinpolttoaineen-hankinnasta-tulevaisuudessa> [viitattu 17.9.2024].