

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Energiatekniikan koulutusohjelma

Simo Sihvola

**LOVIISAN YDINVOIMALAITOKSEN
KAAPELIREITTIEEN TIEDONHALLINNAN
KEHITTÄMINEN PALORISKITUTKIMUSTA
VARTEN**

Tarkastajat: Professori Riitta Kyrki-Rajamäki
TkL Kalle Jänkälä

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Energiatekniikan koulutusohjelma

Simo Sihvola

Loviisan ydinvoimalaitoksen kaapelireittien tiedonhallinnan kehittäminen paloriskitutkimusta varten

Diplomityö
2012
75 sivua, 22 kuvaa, 3 taulukkoa ja 0 liitettä

Tarkastajat: Professori Riitta Kyrki-Rajamäki
TkL Kalle Jänkälä

Hakusanat: PRA, todennäköisyyspohjainen paloriskianalyysi, palo, kaapeli, tietokanta

Tässä diplomityössä kehitetään Loviisan voimalaitoksen todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin kaapelitietokantaa tulevaisuuden haasteita varten. Tietokannan kehittämistä varten tutustutaan todennäköisyyspohjaiseen riskianalyysiin varsinkin paloriskianalyysin osalta. Käytännönläheisempää kehittämistä varten tutustutaan voimalaitoksella nykyisin käytössä oleviin kaapelitietokantoihin: paloriskitutkimusta varten laadittuun PSA-ELTIEen, kunnossapidon tiedonhallintajärjestelmä LOMAXiin, sähkö- ja automaatio suunnitteluyksikköjen arkistoihin sekä automaatiouudistuksen tietokantaan. Tietokannan käytännönläheisempien ominaisuuksien selvittämiseksi voimalaitoksella kokeiltiin kenttätarkastusmenetelmää, joka on ensisijainen kaapelikartoitusmenetelmä.

Tietokantoihin tutustumisen perusteella vaihtoehtoisiksi tulevaisuuden tietokannoiksi mietittiin LOMAXia, PSA-ELTIEtä tai uutta tietokantaa. Tulevaisuuden tietokantavaihtoehdoksi on päädytty ehdottamaan LOMAXia, joka vaatii vähemmän muutoksia muihin vaihtoehtoihin nähden. Tällainen laajalti käytössä oleva yhteinen tietokanta mahdollistaa sen, että tiedot ovat helpommin ja varmemmin kaikkien niitä tarvitsevien käytettävissä ja asiantuntijoiden muokattavissa, millä myös varmistetaan tietojen oikeellisuutta ja pysymistä ajan tasalla. Tulevaan LOMAX päivitykseen on ehdotettu tarpeellisia tietokenttien lisäyksiä ja kaapelihierarkian parantamista kaapelitietokannaksi käyttöönottamista varten.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Degree Programme of Energy Technology

Simo Sihvola

Development of cable routing database of Loviisa power plant for fire risk analysis

Master's thesis

2012

75 pages, 22 figures, 3 tables and 0 appendices

Examiners: Professor Riitta Kyrki-Rajamäki
Lic.Sc. (tech.) Kalle Jänkälä

Keywords: PRA, Probabilistic fire risk analysis, fire, cable, database

This Master's thesis creates a cable routing database of Loviisa power plant probabilistic fire risk analysis for the needs of future challenges. For the needs of database development, probabilistic risk analysis is presented, especially in respect of fire risk analysis. Due to more practical development, the databases used at the power plant today are also presented: PSA-ELTIE, which is made for fire risk analysis, the maintenance data management system LOMAX, the archives of the electricity and automation planning units and the automation renewal database. The examination in field method, which is mainly a cable mapping method, was tested to find out more practical features needed in the database.

Based on the information gathered from getting acquainted with databases, LOMAX, PSA-ELTIE and a new database were considered as possibilities for the future database. LOMAX, which requires fewer changes than other possibilities, has been proposed to be the future database. This widely used database enables information available for use to all those needing it, and for modification to experts, which also ensures correctness and updating of information. Addition of necessary data fields and improving of cable hierarchy has been proposed to the incoming LOMAX update for cable database introduction.

Alkusanat

Tämä työ on tehty Fortumin Loviisan voimalaitoksen ydinturvallisuusryhmässä. Ensimmäiseksi haluan kiittää työni ohjaajaa Kalle Jänkälää ja työn tarkastajaa professori Riitta Kyrki-Rajamäkeä. Haluan kiittää myös esimiestäni Timo Hiltusta diplomityön mahdollistamisesta.

Lisäksi haluan kiittää kaikkia niitä henkilöitä, jotka ovat avustaneet minua diplomityön eri vaiheissa. Erityisesti haluan kiittää Tommi Purhoa avusta ja ohjauksesta koko työn ajan Loviisan voimalaitoksen päässä.

Lopuksi haluan kiittää vanhempiani, veljeäni ja kihlattuani tuesta koko opiskelujen aikana ja lopputyön yhteydessä.

Loviisassa, 10.12.2012

Simo Sihvola

Sisältö

1	JOHDANTO	8
1.1	Työn tausta	8
1.2	Työn tavoite ja rajausta	9
1.3	Raportin rakenne.....	10
2	LOVIISAN VOIMALAITOS JA YDINTURVALLISUUS.....	11
2.1	Yleiskuvaus	11
2.2	Turvallisuusperiaatteet.....	12
2.2.1	SAHARA.....	13
2.2.2	Redundanssi.....	14
2.2.3	Erotteluperiaate.....	14
2.2.4	Erilaisuusperiaate.....	15
3	TODENNÄKÖISYYSPOHJAINEN RISKIANALYYSI.....	17
3.1	PRA rakenne ja tarvittavat tiedot.....	17
3.1.1	Alkutapahtumat	18
3.1.2	Tapahtumapuu	19
3.1.3	Vikapuu	19
3.1.4	Laitteiden vikatiedot	20
3.1.5	Inhimillisen toiminnan vaikutus	21
3.1.6	Yhteisviat ja seurausviat.....	21
3.2	Tulokset	22
3.3	Todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin tasot.....	22
3.3.1	Taso 1	23
3.3.2	Taso 2	24
3.3.3	Taso 3	24
3.4	Todennäköisyyspohjainen paloriskianalyysi	25
3.4.1	Paloskenaariot.....	26
3.4.2	Kaapelireittien merkitys paloriskille	27
3.4.3	Palotaajuuden määrittäminen.....	28
4	NYKYISET TIETOKANNAT	31
4.1	PSA-ELTIE	31
4.1.1	Tietojen syöttäminen	32

4.1.2	Tietojen tulostus	35
4.1.3	Tietokannan laajuus	37
4.2	Suunnittelujen arkistot	37
4.2.1	Automaatiosuunnittelu	38
4.2.2	Sähkösuunnittelu	39
4.2.3	Tietokantojen laajuus	40
4.3	LOMAX	40
4.3.1	Reitin hakeminen kaapelinumerolla	41
4.3.2	Sähkölaitteet ja -kaapelit	42
4.3.3	Automaatiolaitteet ja -kaapelit	44
4.3.4	LOMAXin laajuus	45
4.4	Loviisan automaatiouudistus	45
4.4.1	Kaapelireitit	46
4.4.2	Automaatiouudistuksen kaapelitietokannan laajuus	48
5	KAAPELIKARTOITUS LAITOKSELLA	49
5.1	Nykyiset tietokannat apuna	49
5.2	Kenttätarkastukset	50
5.2.1	Kokemukset sivumerivesipiiristä VF	54
5.3	Kaapelitutkikaus	58
6	TULEVAISUUDEN TIETOKANTA JA APUOHJELMA KARTOITUKSIIN	60
6.1	Vaihtoehdot tulevaisuuden tietokannaksi	60
6.1.1	PSA-ELTIE	61
6.1.2	LOMAX	62
6.1.3	Uusi järjestelmä	64
6.2	Ehdotus tulevaksi tietokannaksi	65
6.2.1	LOMAXin muutokset	66
6.2.2	Tietokannan käyttäminen tulevaisuudessa	66
6.3	Kaapelikartoituksen apuohjelma	68
7	YHTEENVETO	71
8	LÄHTEET	73

SYMBOLILUETTELO

A	Kaikkia huoneen sytytyslähdeitä kuvaava tekijä
B	Palavan aineen levinneisyyttä kuvaava tekijä
C	Ihmisen läsnäoloa huoneessa syttymishetkellä kuvaava tekijä
H	Palokuorman määrästä riippuva levinneisyystermi, jolla huomioi- daan syttymän itsestään sammumisen mahdollisuus
HTf	Huonetyypin palotaajuus
G	Ilmanvaihdonsuuruutta kuvaava tekijä
P_{fi}	Huoneen palotaajuus
P_{pi}	Huoneen suhteellinen palotodennäköisyys
$\sum A_i$	Tarkasteltavien huoneiden pinta-alojen summa
$\sum A$	Laitosyksikön kaikkien huonetyypin huonetilojen pinta-alojen sum- ma
$\sum P_{pi}$	Tarkasteltavan huonetyypin kaikkien huoneiden suhteellisten palo- todennäköisyyksien summa

LYHENTEET

AAT	Alustava alkutapahtuma
CCDP	Conditional Core Damage Probability
CDF	Core damage frequency
EYT	Ei ydinteknisesti luokiteltu
FSC	Framatome - Siemens konsortio
LARA	Loviisa automation renewal
PRA	Probabilistic risk assessment
PSA	Probabilistic safety assessment
PWR	Pressurized water reactor
SAHARA	Safety As High As Reasonably Achievable
STUK	Säteilyturvakeskus
YVL	Ydinvoimalaitos

1 JOHDANTO

Ydinvoimaloissa kuten muissakin voimalaitoksissa sähkön tuottaminen perustuu lämmön hyödyntämiseen. Ydinvoimassa lämpöä ei kuitenkaan tuoteta polttamalla vaan hallitulla fissiolla, jossa syntyy radioaktiivisia aineita. Nämä radioaktiiviset aineet voivat olla biologiselle elämälle vaarallisia ja joutuessaan luontoon aiheuttavat ympäristöriskin. Ydinvoimalaitoksilla tulee varautua onnettomuustilanteisiin, jotta ydinvoimaa voidaan pitää yhteiskunnan kokonaisedun kannalta hyväksyttävänä. Todennäköisyyspohjaisella riskianalyysillä (PRA tai PSA) voidaan tunnistaa ja arvioida mahdollisia onnettomuustilanteita sekä keskittää turvallisuusparannukset tulosten perusteella oleellisiin kohteisiin.

Tulipalot polttavat tieltään palavan materiaalin ja voivat aiheuttaa näin suurta tuhoa. Tuhovaikutuksien takia tulipalot vaikuttavat turvallisuuteen ydinvoimalaitoksissa, joissa tulipalo voi aiheuttaa onnettomuuksia vaikuttamalla yhtä aikaa moniin laitoksen laitteisiin. Jotta tulipalojen vaikutuksia voitaisiin arvioida todennäköisyyspohjaisella riskianalyysillä, tarvitaan turvallisuudelle tärkeistä laitteista ja kaapeleista kattava tietokanta.

1.1 Työn tausta

Loviisan voimalaitoksen tulee tehdä määräaikainen turvallisuusarviointi, jolla arvioidaan käyttöluvan perusteita käyttöluvajakson aikana [1]. Määräaikainen turvallisuusarviointi tulee olla toimitettuna vuoden 2015 loppuun mennessä säteilyturvakeskukselle. Osana turvallisuusarviointia ovat uusittujen turvallisuusarvioiden yhteenveto sekä johtopäätökset näistä [1]. Tämän takia Loviisan voimalaitoksen todennäköisyyspohjainen riskianalyysi pitää päivittää voimalaitoksen ensimmäisen ydinvoimalaitosyksikön osalta. Toiselle ydinvoimalaitosyksikölle pitää tehdä oma todennäköisyyspohjainen riskianalyysi. Tällä hetkellä sille käytetään samaa riskianalyysiä ykkösyksikön kanssa. Osana todennäköisyyspohjaista riski-

analyysiä on tulipalojen vaikutusten arvioiminen, jolle käytetään nimitystä todennäköisyyspohjainen paloriskianalyysi.

Todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin tekemistä varten täytyy tietää kaapelien sijainnit laitoksella ja ne tulee olla dokumentoituna järkevästi. Nykyisin kaapelitietokantana käytetään PSA-ELTIEtä, joka on alkujaan perustettu todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin tekemistä varten. PSA-ELTIE perustui alkujaan ADABAS-tietokantaan ja se on myöhemmin muutettu Microsoft Access-formaattiin. Loviisan voimalaitoksella on tarkoitus siirtyä käyttämään Windows 7 -käyttöjärjestelmää vuoden 2012 alussa. Muutoksen yhteydessä Access-tietokantaohjelma päivitetään 2010-versioon.

Tietokantaformaatin päivityksen tulee varmistaa tietokannan toimivuus, koska tulossa on paljon kaapelikartoituksia määräaikaisen turvallisuusarvioinnin takia. Nykyisessä tietokannassa on esiintynyt jo joitain ongelmia ja virheitä. Formaattimuutokseen liittyy riski uusien ongelmien esiintymisestä. Tämän takia tietokannan kehittäminen tai uusiminen on tullut ajankohtaiseksi.

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Työn tavoitteena on kehittää Loviisan voimalaitoksen todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin kaapelitietokantaa soveltumaan paremmin tulevaisuuden vaatimuksiin. Tietokannan vaatimusten selvittämiseksi tutustutaan voimalaitoksella nykyisin käytössä olevien kaapelitietokantojen sisältöön ja ominaisuuksiin sekä tulevien kaapelikartoitusten menetelmiin. Tutustumisen perusteella voidaan määrittää, mitkä tiedot ja ominaisuudet ovat oleellisia tulevaisuudessa käytettävässä tietokannassa. Tietokannan tarvitsemien tietojen selvittämisen jälkeen on tarkoitus esittää tulevaisuuden vaatimukset täyttävä tietokantaratkaisu, joka toimii myös Windows 7 käyttöjärjestelmässä.

Työmäärän rajoittamiseksi tarkastellaan suurimpia kaapelitietokantoja, joita ovat paloriskitutkimusta varten laadittu PSA-ELTIE, kunnossapidon tietojärjestelmä

LOMAX, sähkö- ja automaatio suunnitteluyksikköjen arkistot sekä Loviisan automaatiouudistuksen yhteydessä päivittyvät tiedot. Näiden tietokantojen pohjalta saa tarvittavan yleiskuvan kaapelitietokantojen laajuudesta ja nykyisissä tietokannoissa olevista tiedoista. Muita tietokannan vaatimuksia varten perehdytään kaapelikartoitukseen, jonka päämenetelmään kenttätarkastuksiin tutustutaan laitoksella tehtävällä mallikartoituksella.

1.3 Raportin rakenne

Työ rakentuu kolmesta osa-alueesta: teoriasta, tietokantoihin ja kartoitukseen tutustumisesta sekä tietokannan valitsemisesta. Työn teoriaosa alkaa toisesta luvusta, jossa käsitellään Loviisan voimalaitosta ja ydinvoimalaitoksilla käytössä olevia yleisiä turvallisuusperiaatteita. Luvussa 3 käsitellään todennäköisyyspohjaista riskianalyysiä yleisellä tasolla ja paloriskianalyysin erikoispiirteitä.

Luvussa 4 käsitellään kaapelitietoja sisältäviä tietokantoja. Tietokantojen osalta tarkastellaan niiden käyttämistä, tietojen löytymistä sekä laajuutta. Luvussa 5 esitellään kaapelikartoitusvaihtoehdot ja käydään esimerkin kautta läpi kaapelikartoitusta. Luvussa 6 esitellään vaihtoehtoiset tietokantaratkaisut ja esitetään uutta tietokantaratkaisua. Yhteenveto raportista on koottu lukuun 7.

2 LOVIISAN VOIMALAITOS JA YDINTURVALLISUUS

Loviisan voimalaitos koostuu kahdesta VVER-440 tyyppisestä painevesireaktorista. Neuvostoliittolaisesta ydinvoimalaitosmallista huolimatta laitokselle tehtiin jo rakennusvaiheessa länsimaalaisia ja kotimaisia laitosmuutoksia. Laitoksen valmistuttua laitokselle on tehty lisäksi modernisointeja sekä taloudelliset että turvallisuuslähtökohdat huomioiden. Ydinturvallisuutta on pyritty parantamaan poistamalla erilaisten turvallisuusanalyysien havaitsemia turvallisuusongelmia. Suomessa ydinturvallisuusperiaatteita noudatetaan ja niiden noudattamista valvoo erittäin tarkasti säteilyturvakeskuksen (STUK) toimesta. Tässä luvussa käsitellään näitä ydinturvallisuusperiaatteita ja niiden näkyvyyttä Loviisan voimalaitoksen sähkö- ja automaattioratkaisuissa.

2.1 Yleiskuvaus

Loviisan voimalaitos sijaitsee noin 12 kilometrin päässä Loviisan keskustasta Hästholmenin saarella. Voimalaitos koostuu kahdesta Neuvostoliittolaisesta VVER-440 (Водо-водяной энергетический реактор = vesi-vesi-tehoreaktori) tyyppisestä painevesireaktorista (PWR). Laitosyksiköt on otettu kaupalliseen käyttöön vuosina 1977 Loviisa 1 ja 1980 Loviisa 2. [2]. Laitokselle tehdyn tehonkorotuksen jälkeen nettosähköteho on 490 MW laitosyksikköä kohden [3]. Loviisan voimalaitos tuottaa sähköä vuodessa hieman alle 8 terawattituntia, joka vastaa noin kymmenesosaa Suomen sähköntuotannosta.

Loviisan voimalaitos on laitostyyppiltään VVER-440, mutta se eroaa kuitenkin vastaavista muista laitoksista länsimaisten modifiointien takia. Laitosta suunniteltaessa ja rakentaessa otettiin huomioon sekä neuvostoliittolaiset että suomalaiset laatuvaatimukset. Alkuperäisiä Neuvostoliittolaisia järjestelmäratkaisuja laitoksella ovat primääripiiri pää- ja apujärjestelmineen, turbiinit, päägeneraattorit apulaitteineen ja suurin osa putkistosta. Näissäkin laitteissa on länsimaisia turvallisuutta

parantaneita modifiointeja, joita ovat esimerkiksi tiettyjen komponenttien suuremmat seinämävahvuudet ja suomalaisvalmisteiset pääkiertopumput. Laitoksen sähkö- ja automaattikaratkaisut eroavat vastaavista laitoksista, koska valmistuksessaan Loviisan voimalaitoksen ainut alkuperäinen automaattioratkaisu oli reaktorisuojajärjestelmä. Laitoksen muu automaatiikka on Saksan Liittotasavaltalaisen Siemensin toimittamaa ja sähköjärjestelmät on suunnitellut Imatran voima (IVO). [2]

Painevesireaktorilaitoksille tyypilliseen tapaan myös Loviisan voimalaitoksella on kaksi jäähdytyspiiriä: primääri- ja sekundääripiiri. Tämän lisäksi laitoksella on merivesipiiri, jonka tehtävänä on siirtää merivettä lauhduttimelle. Primääripiirissä sijaitsee reaktori, josta lämpö siirretään kiertopiirin veteen. Primääripiirissä vesi ei pääse kiehumaan korkean paineen (12,3 MPa) ansiosta. Vesi johdetaan höyrystimiin, joista lämpö siirtyy sekundääripiiriin. Sekundääripiirissä on pienempi paine ja vesi kiehuu höyryksi höyrystimissä. Höyry ohjataan pyörittämään turbiineita, joiden pyörimisliikkeen energian laitoksen kaksi turbogeneraattoria muuttavat sähköksi. Turbiinien jälkeen höyry muutetaan takaisin vedeksi lauhduttimilla, joita jäähdytetään merivedellä. [4]

2.2 Turvallisuusperiaatteet

Loviisan voimalaitoksen suunnittelussa on kaksi keskeistä turvallisuustavoitetta: Laitos ei saa tuottaa ympäristölle olennaista säteilyannosten lisääntymistä ja onnettomuustilanteissa ei saa vapautua suurta määrää radioaktiivisia aineita. Näiden tavoitteiden toteutumista varmennetaan kahdella toisistaan eroavalla analyysillä. Kaikkien tapahtumien todennäköisyyttä arvioidaan todennäköisyyspohjaisten turvallisuusanalyysien (PRA luku 3.) avulla. Tapahtumien vaikutuksia arvioidaan lisäksi deterministisillä analyyseillä. [5]. Deterministisissä analyyseissä oletetaan häiriön tai onnettomuuden tapahtuvan ja mallinnetaan ohjelmilla (esim. APROS) onnettomuuden vaikutuksia ja turvallisuusjärjestelmien toimintaa.

Näiden turvallisuustavoitteiden saavuttamiseksi ydinvoima-alalla on käytössä tiettyjä periaatteita, jotka on kirjattu myös ydinvoimalaitosohjeisiin (YVL-ohjeet). YVL-ohjeita sovelletaan vanhoille laitoksille Säteilyturvakeskuksen päätöksellä [6]. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään yleiset turvallisuusperiaatteet ja miten ne vaikuttavat Loviisan voimalaitoksen sähkö- ja automaatiojärjestelmiin.

2.2.1 SAHARA

Ydinvoimalaitoksissa turvallisuutta pidetään etusijalla ja turvallisuustason ylläpitämiseksi on olemassa SAHARA-periaate (Safety as high as reasonably achievable). Tällä tarkoitetaan, että turvallisuustason tulee olla niin korkea kuin käytännöllisin toimin on mahdollista. Periaate on voimassa niin uusien laitosten kuin kaupallisessa käytössä olevien laitosten muutosten suunnittelussa. [4]. kaupallisessa käytössä olevilla laitoksilla tämä tarkoittaa järjestelmien parantamista huoltoseisokkien yhteydessä, sekä puuttumista havaittuihin epäkohtiin.

Loviisan voimalaitoksella on tehty valmistumisen jälkeen useita turvallisuutta parantaneita muutoksia. Turvallisuusperusteisten laitosmuutosten taustalla ovat yksityiskohtaisemmat onnettomuus- ja turvallisuusanalyysit, maailmalla tapahtuneet onnettomuudet, viranomaisvaatimukset ja käyttökokemukset. Osa näistä muutoksista on keskittynyt pienentämään tulipalojen riskiä ja lieventämään syntyviä vahinkoja palotilanteissa. Osa muutoksista on perustunut esimerkiksi taloudellisiin intresseihin, kuten laitossyksiköille toteutetut tehonkorotukset. Muissakin muutoksissa, jotka vaikuttavat laitokseen, täytyy tehdä turvallisuusarviot ennen varsinaisia muutostöitä. [7]

Sähkö- ja automaatiolaitteiden ydinturvallisuutta on parannettu siirtämällä kaapeleita kulkemaan paloturvallisempia reittejä ja tekemällä palosuojauksia. Yksi sähköjärjestelmien tärkeimpiä palo- ja ydinturvallisuusmuutoksia on automaattisen vesisprinklerijärjestelmän lisääminen. Toinen tärkeä lisäys on vesisammutusjärjestelmän toimintaa varmentavan uuden dieselkäyttöisen palovesi- ja ruiskutusvarapumppaamon rakentaminen omilla runkovesilinjoilla vanhan järjestelmän rin-

nalle. Automaatioon tehtyjä ydinturvallisuusparannuksia ovat useat automaatiolisäykset, laitteiden uusiminen tarkemmilla mittauksilla sekä automatiikkojen muuttaminen käyttökokemusten perusteella. Lisäksi pää- ja varavalmomoita on uudistettu. Päävalvomon prosessitietokoneet on uusittu laajemman mittaustietomäärän käsittelemiseksi ja ohjelmien lisäämiseksi. Varavalmomon ominaisuuksia on lisätty tilanteita varten, joissa päävalvomo ei ole käytettävissä. [7]

2.2.2 Redundanssi

Redundanssi tarkoittaa rinnakkaisperiaatetta, jossa turvallisuusjärjestelmät on jaettu useiksi toisiaan varmentaviksi järjestelmiksi. Järjestelmät pitäisi suunnitella täyttämään turvallisuustarkoituksensa, vaikka yksittäinen laite vioittuisi ja samaan aikaan toinen laite on epäkäytettävä esimerkiksi huollon tai korjauksen seurauksena. Hätäsähköjärjestelmissä redundanssin tulisi olla yhtenäinen sen järjestelmän kanssa, mitä se palvelee. [8],[4]

Loviisan voimalaitoksen sähkösuunnittelun perustana on, että turvafunktioiden tarvitsema sähkö on käytettävissä käyttämällä joko laitoksen ulkoista tai sisäistä sähköjärjestelmää. Sähkön käytettävyyksivaatimuksen pitää toteutua myös yksittäisen komponentin vioitessa. Sekä laitoksen omaa sähköä käyttävä omakäytösähköjärjestelmä että varmentava dieselsähköjärjestelmä on suunniteltu kaksiredundanttisiksi. Lisäksi tärkeimmät sähköjärjestelmät toteuttavat radioaktiivisten järjestelmien komponenttien kahdentamisperiaatteen, jonka mukaisesti komponentit tuplataan. Tämän takia esimerkiksi dieseleitä on neljä kappaletta. Tassähköjärjestelmät on toteutettu 2 X 100 % redundanssilla. Automaation turvallisuusjärjestelmät on suunniteltu toisistaan fyysisesti erotettuina osina. [5]

2.2.3 Erotteluperiaate

Erotteluperiaatteen mukaan redundanssien laitteet tulee erottaa toisistaan sekä fyysisesti että toiminnallisesti. Fyysisellä erottamisella tarkoitetaan eri redundanss-

sien laitteiden ja kaapeleiden sijoittamista eri huoneisiin. Poikkeustapauksissa osia voidaan sijoittaa myös samaan tilaan, mutta etäälle toisistaan tai asentamalla laitteiden välille suojarakenteita. Turvallisuusjärjestelmät pyritään myös sijoittamaan eri tiloihin kuin laitoksen muut laitteet, jotta muut laitteet eivät aiheuta turvallisuusjärjestelmien vioittumista. Toiminnallisella erottamisella tarkoitetaan, että eri redundansseille pitää olla omat käyttövoima- ja toimintakäskylähteet. Esimerkiksi sähkön- ja automaation syöttö pitää tulla eri lähteistä eri redundansseille. [4]

Loviisan voimalaitoksella redundanttiset sähköjärjestelmät on sijoitettu eri huone-tiloihin ja ne ovat myös apulaitteiden osalta toisistaan riippumattomia. Kahdenne- tun redundanssin sisällä puoliskot on erotettu myös lähes kaikkialla ja esimerkiksi puoliskojen kaapelit viedään kaapelikanavissa eri seinillä. [9]. Myös automaatiolaitteet on erotettu toisistaan koko automaatiopiirin osalta. Lisäksi uusissa automaatiotiloissa kaapelit on jaoteltu kaapelihyllyille turvallisuusluokituksen mukaan. Joissakin tapauksissa molempien redundanssien kaapeleita joudutaan kuitenkin sijoittamaan samaan tilaan. Tällöin eri redundanssien kaapelit pyritään sijoittamaan mahdollisimman kauas toisistaan ja ainakin toinen redundanssi palosuojataan. [10]

2.2.4 Erilaisuusperiaate

Erilaisuus- eli diversiteettiperiaatteen mukaan turvallisuustoiminto toteutetaan useisiin eri toimintaperiaatteisiin perustuvilla laitteilla ja järjestelmillä. Tämä ideologia parantaa turvallisuustoiminnon luotettavuutta pienentämällä yhteisvian todennäköisyyttä. [4]

Sähkölaitteilla erilaisuusperiaate tarkoittaa useita vaihtoehtoisia sähkönsyöttötapoja turvallisuuden kannalta tärkeille laitteille. Laitoksella on yhteydet 400 ja 110 kilovoltin valtakunnanverkkoihin ja laitos käyttää normaalin tehokäytön aikana omakäyttö sähköä generaattoreilta. Häätötilanteita varten kummallakin laitostyksiköllä on 4 dieselgeneraattoria, jotka käynnistyvät automaattisesti, kun dieselkiskolla havaitaan alijännite. Yksi dieselgeneraattori kummaltakin laitokselta voi-

daan korvata Ahvenkosken vesivoimalaitoksen generaattorilla. Lisäksi toisesta redundanssista tai laitoksesta voidaan syöttää sähköä tarpeen tullessa. [9]. Sähkönkäyttöä varten on laitoksella vielä sekundäärinen varadieselvoimalaitos, jolla on korvattu käytöstä poistettu kaasuturbiinilaitos [11].

3 TODENNÄKÖISYYSPOHJAINEN RISKIANALYYSI

Ydinvoimalaitosten determinististä turvallisuusajattelua tukemaan käytetään todennäköisyyspohjaista riskianalyysiä (Probabilistic risk assessment, PRA) [4]. PRA:n lisäksi käytetään samaa tarkoittavaa termiä todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi (Probabilistic safety assessment, PSA) [12]. PRA:ssä sovelletaan tilastollisia ja todennäköisyyspohjaisia menetelmiä riskien kartoittamiseen voimalaitoksilla. Valmiilla todennäköisyyspohjaisella riskianalyysimallilla pystytään tunnistamaan merkittävimmät riskitekijät ydinvoimalaitoksella ja keskittämään turvallisuusparannukset kriittisimmille alueille. [4]

Todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin tarkoituksena on löytää tapahtumayhdistelmät, jotka johtavat reaktorisydämen vaurioitumiseen. Tapahtumaketjun jokaiselle tapahtumalle saadaan todennäköisyys joko tilastoista tai todennäköisyyspohjaisista analyyseistä. Kun ketju käydään läpi alustavasta alkutapahtumasta (AAT) sydänvaurioon, saadaan tulokseksi tapahtumaketjun taajuus. Kaikki tapahtumaketjut yhdistämällä saadaan koko laitoksen kattava sydänvauriotaajuus. [4]

3.1 PRA rakenne ja tarvittavat tiedot

Todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin tekeminen alkaa tiedon hankkimisella laitoksen häiriötilanteista, laitoksen käyttäytymisestä ja erityisesti turvallisuusjärjestelmien toiminnasta ja operaattoritoiminnoista häiriötilanteissa, turvajärjestelmien ja niiden laitteiden vioista sekä inhimillisistä virheistä ja kunnossapidosta. Ensisijaisena vikatietolähteenä käytetään laitoksesta omaa vikahistoriaa ja käyttökokemusta. Tämän lisäksi yleensä joudutaan tekemään tarkentavia analyysejä, joihin kuuluu ilmiöiden ja järjestelmien tarkempi mallintaminen. Todennäköisyyspohjaisessa paloriskianalyysissä tarkentavia analyysejä ovat esimerkiksi tulipalojen syttymisen ja leviämisen analysointi. [4]. Laitoshistorian puuttuessa tietoa voidaan hakea myös kansainvälisistä vikahistoriatietokannoista.

3.1.1 Alkutapahtumat

Tiedonkeruun jälkeen siirrytään tunnistamaan mahdollisia alustavia alkutapahtumia eli etsimään tilanteita, jotka voivat johtaa sydänvaurioon, jos turvallisuusjärjestelmät eivät toimi. Alkutapahtumatilanteen hallitseminen polttoaineen turvaamiseksi vaatii laitoksen normaaleista päivärutiineista poikkeavia toimenpiteitä. Useimmat toimenpiteet tapahtuvat automaattisesti, kuten esimerkiksi pikasulku. Kuitenkin tapahtumaketjun jatkoon kannalta tärkeä rooli on laitoksen operaattoreilla ja henkilökunnalla. [4]

Alkutapahtumataajuuksia arvioidaan ensisijaisesti tapahtumatietojen perusteella. Aina laitoksen omat tapahtumatiedot eivät kuitenkaan riitä ja tällöin laajennetaan tiedonhakua muihin ydinvoimaloihin. Koko laitosta käsittävissä alkutapahtumaluokissa tapahtumatietoihin perustuva taajuusarviointi on riittävä. Kun alkutapahtuma on määritelty rajatusti esimerkiksi Loviisan laitokselle ominaiseen putkiosuuteen, eivät tarpeeksi tarkan arvion tekoon riitä pelkät laitoskohtaiset tapahtumatiedot. Tällöin alkutapahtumataajuuden määrittämisessä käytetään tilanteeseen sopivia arvioita. Esimerkiksi putkelle putkivikataajuus voidaan määrittää putkimetriä kohden. [13]

Palosta johtuvat alkutapahtumat eroavat hieman laitevikaan perustuvista alkutapahtumista siinä, että laitteen vioittumisen aiheuttaa pääsääntöisesti tulipalo. Laitteiden vioittumiseen vaikuttaa todennäköisyyspohjaisessa paloriskianalyysissä palotaajuus. Palotaajuuden määrittämiseksi useiden maiden ydinvoimalaitoksilta kerätty palotapahtumien tilastoaineisto luokitellaan huonetyypin mukaan. Eri huonetyypeillä palotaajuuteen vaikuttavat eri asiat. Pääsääntöisesti palotaajuuteen vaikuttavat tekijät ovat syttymislähteet, ihmisten vaikutus, palokuorma ja tilastoaineisto.

3.1.2 Tapahtumapuu

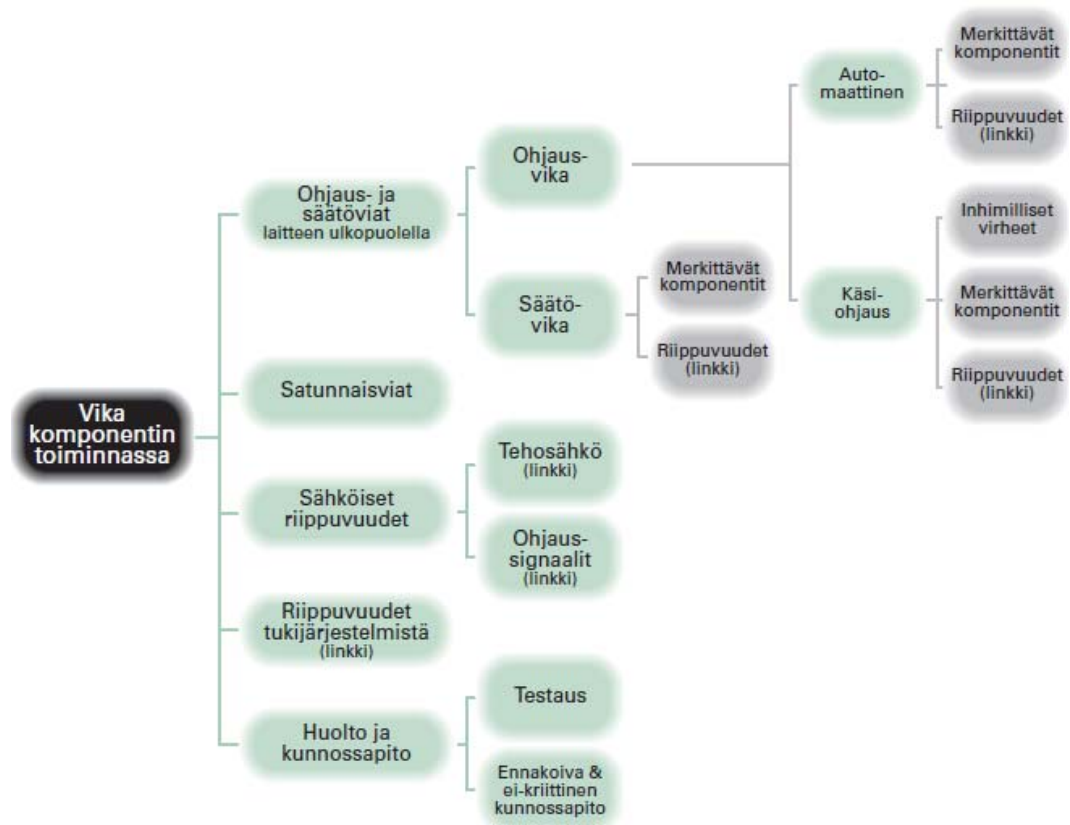
Alkutapahtuma ja sen hallintamenettelyjen onnistuminen tuottaa tapahtumaketjun, joka voi johtaa turvalliseen tilaan tai ei-toivottuun tilaan. Kaikkien tapahtumaketjujen graafiseen esitykseen käytetään tapahtumapuuta (Kuva 1). Tapahtumapuun alkuna toimii alkutapahtuma ja huipputapahtumat toimivat eräänlaisina oksina. Huipputapahtumilla kuvataan erilaisten turvallisuusjärjestelmien toiminnan onnistumisia. Tapahtumapuussa käsitellään kaikki sellaiset järjestelmät, jotka voivat vaikuttaa alkutapahtuman hoitamiseen. Tapahtumapuussa keskitytään yleensä merkitsemään pelkästään epäonnistumistodennäköisyys. Onnistumisen todennäköisyys on lähellä yhtä. Tämän takia ne merkitään pelkästään OK-merkinnällä. [4]

Initiator: Total loss of service water caused due to fire	PCP seal failure (PCP trip)	Heat removal by YB fails (1/6)				
2P_TLSW-FIRE	2P_PCPTRIP-TLSW	2P_YBTRAN-TLSW	No.	Freq.	Conseq.	Code
27			1		OK	
			2	7,37E-08	2P_CD,2P_PN	2P_YBTRAN-TLSW
			3	1,09E-06	2P_CD,2P_PN	2P_PCPTRIP-TLSW

Kuva 1. Tason 1 liityntätapahtumapuu tason 2 paloanalyysien suojarakennustapahtumapuuta varten.

3.1.3 Vikapuu

Tapahtumapuussa olevien huipputapahtumien epäonnistumiselle saadaan todennäköisyys vikapuuta (Kuva 2) käyttämällä. Vikapuulla on tarkoitus esittää huipputapahtumaan vaikuttavat tekijät loogisessa järjestyksessä. Vikapuuhun on sisällytetty tarkasteltavan laitteen vikojen lisäksi kaikkien tarvittavien apu- ja tukijärjestelmien toimivuus sekä inhimillisen toiminnan vaikutukset. Vikojen vaikutusmallit ovat monimutkaisia ja niiden laadinta suoritetaan ryhmissä, joihin kuuluu eri alojen asiantuntijoita. [4]



Kuva 2. Vikapuussa normaalisti huomioon otettavat asiat [4].

3.1.4 Laitteiden vikatiedot

Laitteiden luotettavuuksista tarvitaan tietoa, jotta saadaan laskettua vikapuiden huipputapahtumien todennäköisyydet. Luotettavuustunnuslukujen määrittämisessä käytetään aluksi kirjallisuudesta löytyviä yleisiä arvoja. Kun laitokselle on kertynyt tarpeeksi käyttökokemusvuosia, pyritään käyttämään laitoksen omaa vikaistoriaa hyväksi määrittäessä luotettavuuslukuja. Eri ydinvoimalaitosten tapahtumista koottuja yleisten tietokantojen tietoa ei voida suoraan soveltaa laitokseen johtuen laitosten erilaisista käyttöolosuhteista, huolloista ja ikärakenteista. Näiden seikkojen takia laitoksen omien luotettavuushistoriatietojen käyttäminen antaa todennukaisemman kuvan juuri tietystä laitoksesta. Osa Loviisan laitoksen laitteista ei kuitenkaan ole koskaan vioittunut, mutta nolla ei ole realistinen arvo turvallisuusarviota tehtäessä. Realistisen arvon saamiseksi käytetään yleisistä tietokannoista löytyvää tietoa, joka sovitetaan laitokselle sopivaksi esimerkiksi Bayesin menetelmällä. [13]

3.1.5 Inhimillisen toiminnan vaikutus

Inhimillisen toiminnan luotettavuutta arvioitaessa Loviisan voimalaitoksella käytetään kolmen päätyypin virheitä. A-luokan virheisiin kuuluvat ennen alkutapahtumaa sattuneet virheet, joita ovat esimerkiksi kalibrointi- ja koestusvirheet. Alkutapahtumaan johtaneet virheet kuuluvat luokkaan B. C-luokkaan kuuluvat häiriötilan aikana tehtävät virheet, joita voivat olla esimerkiksi operaattorin väärä toiminta. [14]

Inhimillisen toiminnan tarkka arviointi on vaikeaa, koska siihen liittyy yleensä paljon subjektiivista arviointia. Inhimillisten virheiden arviointia ei voi myöskään tehdä pelkästään raportoitujen kansainvälisten kokemusten ja laitospöytäkirjan perusteella, koska arvioitavia virheitä vastaavia tapahtumatietoja ei yleensä löydy. Tämä johtuu siitä, että palautuskeinot tavallisesti onnistuvat eikä tapauksia välttämättä dokumentoida todennäköisyysarviointin kannalta riittävässä määrin. [14]

Pelkkien yksittäisten peruslukujen eli asiantuntija-arvioiden käyttö soveltuu huonosti erilaisten tilanteiden erojen huomioimiseen, joten arvioinneissa käytetään peruslukujen lisäksi olosuhteista riippuvia korjauskertoimia A- ja C-luokan tapauksille. B-tyyppin tapausten on aikaisemmissa Loviisa 1:n todennäköisyyspohjaisissa riskianalyseissä katsottu sisältyneen alkutapahtumataajuuksiin ja laitoshistoriaan, eikä niihin ole yleensä kiinnitetty erityishuomiota. Virhetodennäköisyyksien lopputuloksia verrataan kansainvälisiin kokemuksiin ja laitospöytäkirjaan, ettei tuloksista tule kokemuksiin nähden liian konservatiivisia tai optimistisia. [14]

3.1.6 Yhteisvialat ja seurausvialat

Yhteisvialat tarkoitetaan usean laitteen yhteisestä syystä aiheutuvia samanaikaisia vikoja. Yhteisvialle herkistäviä tekijöitä ovat esimerkiksi sama valmistaja, laitetyyppi tai valmistuserä, sama huolto ja vaatimus samanlaisesta ja -aikaisesta toiminnasta. Nykyisissä voimalaitoksissa yhteisvian mahdollisuutta on pienennetty käyttämällä useita toisiaan varmentavia laitteita. [4]

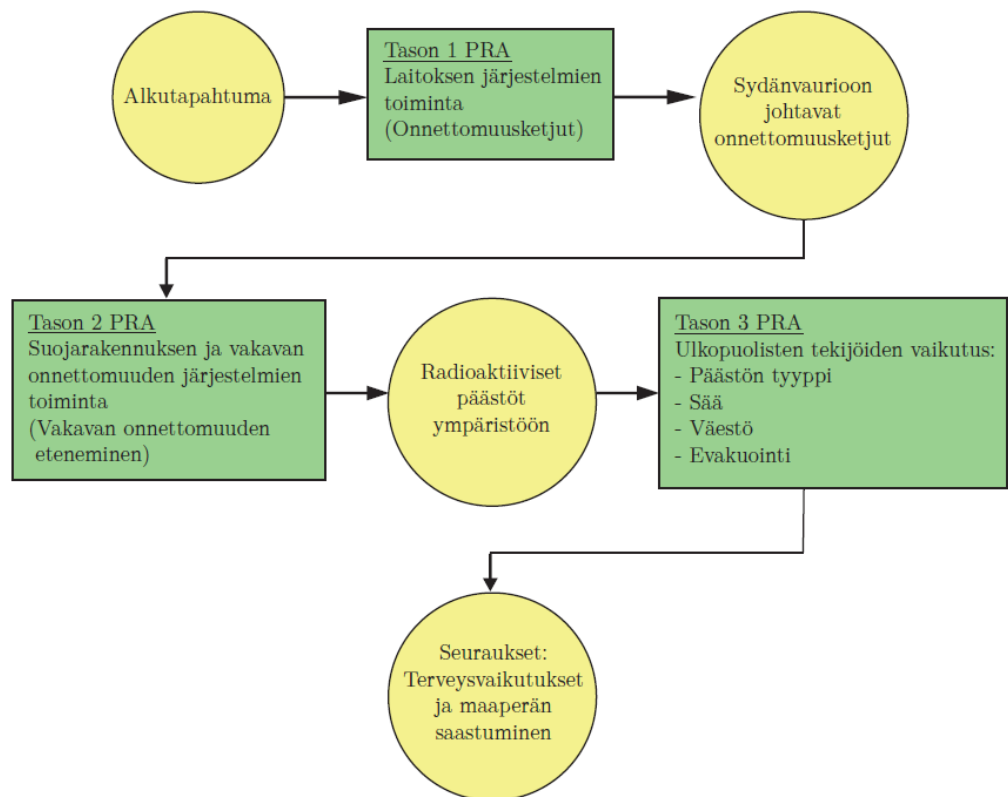
Seurausvioilla tarkoitetaan vikoja joiden todennäköisyys kasvaa muun vian seurauksena. Seurausvaikutukset voivat olla ehdottomia tai ehdollisia. Ehdottomat vaikutukset estävät joidenkin laitteiden toiminnan varmasti, kun taas ehdolliset vain lisäävät muiden laitteiden vioittumisen todennäköisyyttä. [4]

3.2 Tulokset

Kun kaikki tarpeellinen tieto on saatu koottua onnettomuuksia ja turvallisuusjärjestelmien toimintaa kuvaavaan malliin, voidaan suorittaa onnettomuusketjujen laskenta. Laskennan tuloksena saadaan minimikatkosjoukot, joilla tarkoitetaan onnettomuusketjun toteutumiseen johtavia pienimpiä mahdollisia vikayhdistelmiä. Onnettomuustaajuuksista nähdään laitoksen turvallisuudelle tärkeimmät turvallisuustoiminnot, järjestelmät ja alkutapahtumat. Vaikka sydänvaurion todennäköisyys on erittäin pieni, ydinvoima-alalla yleisesti käytössä olevan SAHARA (Safety As High As Reasonably Achievable) periaatteen mukaisesti laitoksia yritetään tehdä aina turvallisemmiksi. Toteutettavat parannukset kannattaa aloittaa suurimmasta riskistä ja tähän PRA:n antamat tulokset antavat oivan lähtökohdan. [4]

3.3 Todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin tasot

Ydinvoimalaitoksien todennäköisyyspohjaisia riskianalyysyjä tehdään kolmella eri tasolla, joista jokaisella siirrytään arvioimaan onnettomuutta pidemmälle. Ensimmäisellä tasolla arvioidaan sydänvaurion todennäköisyyttä, toisella päästön mahdollisuutta suojarakennuksen ulkopuolelle ja kolmannella mahdollisten päästöjen vaikutuksia laitoksen ulkopuolella. Onnettomuuden mallintaminen jatkuu edellisen tason tulosten perusteella ja näin ylempien tasojen tulokset ovat liitoksissa tason 1 tuloksiin (Kuva 3).



Kuva 3. Todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin tasot [15], katso [16].

Tasojen 1 ja 2 analyyseillä on merkitystä laitoksen turvallisuutta ajatellen ja mietittäessä turvallisuusparannuksia. Taso 3 keskittyy onnettomuuden seurausten tarkasteluun ja analyysi kannattaakin tehdä vasta siinä vaiheessa, kun alempien tasojen analyysit on tehty mahdollisimman kattavasti. Suomessa ydinvoimalaitosohjeet vaativat laitoksilta tason 1 ja 2 turvallisuusperusteista riskianalyysiä [1].

3.3.1 Taso 1

Tason 1 PRA:ssa arvioidaan sydänvauriotaajuutta (core damage frequency CDF), jolla tarkoitetaan reaktorisydämen vaurioitumiseen johtavien onnettomuuksien tapahtumataajuutta. PRA:n tason 1 mallissa havainnoidaan ydinvoimalaitoksen reagoitua erilaisiin laitosta uhkaaviin tapahtumiin. Laitoksen reagoitopolkuja kutsutaan onnettomuusketjuiksi, jotka alkavat alkutapahtumista. Jokainen alkuta-

pahtuma voi johtaa useisiin onnettomuusketjuihin riippuen suojaukseen tarkoitettujen laitteiden toimimisesta ja operaattoreiden toimenpiteistä. [16]

Kun kaikkien katkaisurajan ylittävien onnettomuusketjujen tapahtumataajuudet on arvioitu, lasketaan taajuudet yhteen. Tästä saadaan lopullinen sydänvauriotaajuus, jota käytetään myös lähtötietona tason 2 PRA:n laskennassa. [16]

3.3.2 Taso 2

Tasolla 2 arvioidaan suojarakennuksen ulkopuolelle tapahtuvien radioaktiivisten päästöjen tapahtumataajuutta tason 1 PRA:n sydänvaurioon johtavien onnettomuusketjujen pohjalta. Yli 100 terabecquerelin päästöä (Cs-137) sanotaan suureksi päästökseksi. Tasolla 2 arvioidaan suuren päästön taajuus. Tasolla 2 analysoidaan vakavan onnettomuuden etenemistä huomioiden suojarakennuksen rakenteet ja turvallisuusjärjestelmät, jotka toimivat onnettomuustilanteessa. Vaikutusten suuruus riippuu suojarakennuksen ja turvallisuusjärjestelmien tilasta onnettomuuden alkuhetkellä, sekä siitä, kuinka hyvin ne on suunniteltu kestäämään ankarat onnettomuusolosuhteet. [16]

Tasolla 2 täytyy harkita onnettomuuden etenemisen kannalta merkittävimmät ilmiöt. Esimerkkejä näistä ilmiöistä ovat höyryputkiston kestäminen ehjänä tai sen hajoaminen ja reaktorisulan pysyminen jäähdytettävässä muodossa. Kun suojarakennuksen kestävyys on arvioitu, voidaan määrittää radioaktiivisen päästön määrä ja tyyppi suojarakennuksen ulkopuolelle. Tätä radioaktiivista päästöä käytetään lähtöarvona PRA tason 3 laskennassa. [16]

3.3.3 Taso 3

PRA:n tasoa 3 sanotaan seurausten arvioinniksi. Vakavan onnettomuuden radioaktiivisten päästöjen seurauksista arvioidaan terveysvaikutukset ja kontaminaatio. Terveydellisiä vaikutuksia ovat lyhyellä aikavälillä ilmenevät oireet sekä myö-

hemmin ilmenevät syöpäsairaudet. Kontaminaatiolla taas tarkoitetaan radioaktiivisen laskeuman aiheuttamaa maaperän saastumista. Säätiloilla on suuri vaikutus laskeuma-alueeseen. Tuuli ja sateet määrittävät suurelta osalta, mihin radioaktiiviset hiukkaset kulkeutuvat ja milloin ne laskeutuvat. [16]

Tason 3 PRA toimii lopullisena riskimittana, joka yhdistää seuraukset niiden suhteelliseen taajuuteen. Esimerkiksi analyysin perusteella laitoksen lähellä asuvalle henkilölle aiheutuu röntgenkuvausta vastaava radioaktiivinen altistus kerran miljoonassa vuodessa.

Maailmalla tason 3 analyysien teko on vasta alkuvaiheessa ja niitä on toistaiseksi tehty vain vähän. Menetelmiä tason 3 mallintamiseksi kehitetään tällä hetkellä. Loviisan voimalaitoksella ei ole vielä tehty päätöksiä kannattaako tason 3 PRA:ta tehdä sen jälkeen, kun tasojen 1 ja 2 turvallisuuspohjaiset riskianalyysit on saatu kattavasti tehtyä. Vaihtoehtona on tehdä seurausanalyysyjä, joissa kuitenkin hyödynnettäisiin tason 2 tuloksia.

3.4 Todennäköisyyspohjainen paloriskianalyysi

Todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin yhtenä osa-alueena ovat tulipalojen aiheuttamat riskit laitosturvallisuudelle. Tulipalot ovat merkittäviä vaaran aiheuttajia ydinvoimalaitoksilla, koska yksi palo voi tehdä käyttökunnottomiksi kaikki huoneissa sijaitsevat laitteet ja kaapelit. Tämän lisäksi tulipalot voivat levitä viereisiin huoneisiin. Jo yhden huoneen palo voi aiheuttaa jonkun turvatoiminnon laitteiden menetyksen toisessa redundanssissa ja levitessään palo saattaa viedä toisenkin redundanssin turvatoiminnon. Näiden seikkojen takia paloriskien tunnistaminen on tärkeää ja todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin avulla pyritään tunnistamaan riskialteimmat kohdat laitoksella.

3.4.1 Paloskenaariot

Paloskenaarioiden tarkoituksena on arvioida todennäköisyyttä sille, kuinka suurella todennäköisyydellä tietty palokuorma tietyssä paikassa aiheuttaa sydämensulamisen. Paloskenaarioissa seurataan syttymisen jälkeen kahta rinnakkaista ja kilpailevaa prosessia. Ensimmäinen seurattava asia on palon kehittyminen, havaitseminen, tukahtuminen ja lopulta sammuttaminen. Toisaalta samaan aikaan on seurattava laitteiden ja kaapeleiden altistumista palolle, komponenttien ja systeemien vahingoittumista sekä operaattorien toimintaa. [17]

Laskettaessa sydänvaurion todennäköisyyttä CDF (yhtälö 1) kahden kilpailevan prosessin tapahtumat ja toimenpiteet on yhdistetty kolmeen termiin: palotaajuuteen, alkutapahtuman todennäköisyyteen ja ehdolliseen sydänvauriotodennäköisyyteen (Conditional Core Damage Probability CCDP) [17],[18]. Palotaajuuteen vaikuttavat pääsääntöisesti palavan aineen määrä ja syttymislähteet huoneen sisällä [17]. Kuitenkin merkittävä vaikutus on sillä, miten palava materiaali ja syttymislähde sijoittuvat huoneessa toisiinsa nähden.

$$\text{CDF} = \text{Palotaajuus} \cdot \text{alkutapahtuman syntytodennäköisyys} \cdot \text{CCDP} \quad (1)$$

Alkutapahtumien syntytodennäköisyyteen vaikuttavat huomattavasti useammat muuttujat kuin palotaajuuteen. Palon leviäminen ja tuhojen rajoittaminen on pitkälti kiinni palon etenemisestä ja etenemisen estävistä toimenpiteistä. Palo voi levitä huoneessa muihin palaviin materiaaleihin ja komponentteihin alustavan palopaikan lisäksi. Palon laajenemista estää merkittävästi se, kuinka nopeasti palo havaitaan joko ihmisen havainnoilla tai automaattisilla palon havaintsijoilla. Palon sammuttaminen voi tapahtua aluksi automaattisen tai manuaalisen sammutusjärjestelmän toimesta. Lisäksi paikalla olevat ihmiset voivat suorittaa alkusammutustoimenpiteitä. Myöhemmässä vaiheessa palon voi sammuttaa paikalle ehtinyt palokunta. Palon laajeneminen ja sammutustoimenpiteet vaikuttavat laitteiden altistukseen ja vahinkoihin. Palossa tärkeille laitteille vahinkoa tekevät lämpö, savu ja tuli. Näiden lisäksi sammutuksessa käytetty vesi voi aiheuttaa vikoja sähkölaitteissa sammutusveden kastelemisen tai osaston tulvimisen seurauksena. [17]

Viimeisenä terminä laskentayhtälössä oleva CCDP eli ehdollinen sydänvaurioto-dennäköisyys huomioi palosta riippumattomat epäkäytettävyydet ja laitoksen toi-minnan sekä operaattorien toimenpiteet. Riippumattomia epäkäytettävyyksiä voi-vat olla esimerkiksi laitteiden viat, huollot testaukset sekä palon jälkeen laitoksel-la tai laitteilla vallitsevat poikkeavat olosuhteet, kuten avoimet läpiviennit. Lai-toksen automaatio ja operaattorien palautustoimenpiteet laitokselle ovat merkittä-vässä roolissa laitoksen turvallisuuden kannalta palon aikana ja sen jälkeen. Pa-lautustoimia voivat kuitenkin vaikeuttaa mittausten ja sähköjen menetykset palon seurauksena, koska operaattorit ovat valvomossa ilmoitusten ja hälytysten varassa. Tämän lisäksi palosta aiheutunut savu saattaa kulkeutua valvomoon ja vaikeuttaa näin operaattorien toimintaa. [17]

3.4.2 Kaapelireittien merkitys paloriskille

Kaapelit voivat paloissa olla syttymisen aiheuttajana sekä palokuormana. Kaapelit kuljettavat sähköä, joka on mahdollinen palon syttymislähde, ja niiden sisältämä palava materiaali on pääsääntöisesti eristeessä ja vaipassa. Kaapeleista syttyvät palot johtuvat joko kaapeliviasta tai hetkellisestä kaapelin ylikuormituksesta. Kaapelin itsesytyminen on aloittanut ainakin 5 tulipaloa ydinvoimaloissa. Vuon-na 1968 San Onofressa tapahtunut kaapelin itsesytyminen oli ehtinyt levitä kol-melle rinnakkain sijaitsevalle kaapelihyllystölle ennen palokunnan ehtimistä pai-kalle (muutama minuutti syttymisen jälkeen). Kaapeleiden itsesyttymisen riskiä pidetään kuitenkin todella pienenä, mutta kaapelien suuren määrän takia niitä ta-pahtuu. Kaapelien itsesyttymisen riskiä voidaan pienentää käyttämällä paloa hi-dastavaa kaapelityyppiä. [17]

Kaapelien palaminen voimalaitoksella voi aiheuttaa useita eri seurauksia, joista osa voi olla kaukana varsinaisesta palokohdasta. Kaapelien palaminen voi aiheut-taa vääriä signaaleita kaapeleiden syöttämiin laitteisiin, mikä voi aiheuttaa laitteen siirtymisen väärään tilaan. Esimerkiksi laitteet voivat vaihtaa tilaa, pysähtyä tai käynnistyä aiheetta. Myös mittaukset voivat antaa väärää tietoa laitoksen operaat-toreille, jotka voivat tehdä vääriä tulkintoja laitoksen todellisesta tilanteesta. Palon

edetessä kaapelit vioittuvat niin paljon, että sähkön syöttäminen laitteille estyy ja laitteet ilman varasyöttöä muuttuvat käyttökelvottomiksi. Kaapelin palaminen voi sytyttää myös toisia paloja, kun kaapelin palaminen yhdestä kohtaa aiheuttaa ylikuormitusta koko kaapelin osuudelle. Ylikuormitus lisää riskiä muun kaapeliosuuden ja kaapeliin yhteydessä olevien laitteiden syttymiseen. [17]

Yhdysvalloissa Browns Ferryssä tapahtui 1975 kaapelipalo, joka ei levinnyt suu-
relle alueelle, mutta aiheutti siitä huolimatta merkittävää vaaraa ydinturvallisuudelle. Työntekijät tutkivat läpivientejä liekillä, kun polyuretaania oleva läpivienti imaisi liekin valvomon alaisesta kaapelitilasta reaktorirakennukseen, ja sytytti läpiviennin tuleen. Tuli levisi kaapeleita pitkin viereisiin kaapelihyllyihin, aiheuttaen vahinkoa 1600 kaapelille. Näistä kaapeleista hieman yli 600 oli turvallisuudelle tärkeitä, joko palaneelle ykkösyksikölle tai kakkosyksikölle. Kaapelien palaminen aiheutti useiden turvallisuudelle tärkeiden laitteiden menetyksiä, joista osa oli redundanttisia. Laitteiden menetykset ja savun pääseminen valvomoon vaikeuttivat operaattorien toimintaa, mutta eivät estäneet laitoksen siirtämistä turvalliseen tilaan. [17]

Turvallisuudelle tärkeät kaapelit tulisi olla jaettu eri huoneisiin redundanssin mukaan. Tällä turvataan, ettei yksittäinen palo voi aiheuttaa kuin yhden redundanssin laitteiden ja mittausten menetyksen ilman palon leviämistä. Jos laitokselta löytyy eri redundanssien kaapeleita samoista huonetiloista, on niillä sydämensulamiseriskiä suurentava merkitys. Näissä tilanteissa palon aiheuttamaa riskiä on pienennetty kaapeleiden ja kaapelihyllyjen palosuojauksilla. Turvallisuudelle tärkeät kaapelit kannattaa pyrkiä kuljettamaan huonetiloissa, joissa ei ole muita palolähteitä kuten esimerkiksi moottoreita, koska kaapelien itsesyttymiseriski on melko pieni.

3.4.3 Palotaajuuden määrittäminen

Loviisan voimalaitoksella palotapahtumien taajuuksia lasketaan huonetilakohtaisesti erityyppisille huoneille. Huonetyyppikohtainen palotaajuus määritetään palotietokannassa olevien maailman laitosten ja Loviisan voimalaitoksen palotapah-

tumien ja tarkasteluaikojen avulla. Ensimmäiseksi maailman palotapahtumista täytyy karsia laitokselle sopimattomat palotapahtumat pois. Näitä tapahtumia ovat esimerkiksi palot jäähdytystorneissa, joita Loviisan voimalaitoksella ei ole. Karsinnan jälkeen tapahtumat jaotellaan laitoksen vastaaviin huonetyyppeihin, joita ovat esimerkiksi kaapelitilat, prosessitilat ja suojarakennus. Pohjatiedot syötetään estimointiohjelmalle, jonka avulla arvioidaan huonetyyppikohtaiset palotaajuudet. [19]

Huonetyyppikohtaisia palotaajuuksien käytetään laskettaessa huonekohtaisia palotaajuuksia. Huonekohtaisien palotaajuuksien laskentaan käytetään Berry-Rolandson-mallin yhtälöitä (2) ja (3) [19]. Yhtälöllä (2) arvioidaan prosessitilojen huonekohtaista palotaajuutta.

$$P_{fi} = \frac{\sum A_i}{\sum A} \cdot HTf \cdot \frac{P_{pi}}{\sum P_{pi}} \quad (2)$$

jossa

P_{fi} on huoneen palotaajuus

$\sum A_i$ on tarkasteltavien huoneiden pinta-alojen summa

$\sum A$ on laitousyksikön kaikkien huonetyypin huonetilojen pinta-alojen summa

HTf on huonetyypin palotaajuus

P_{pi} on huoneen suhteellinen palotodennäköisyys

$\sum P_{pi}$ on tarkasteltavan huonetyypin kaikkien huoneiden suhteellisten palotodennäköisyyksien summa

Yhtälössä tarvittavat huoneiden palotodennäköisyydet lasketaan yhtälön (3) avulla.

$$P_{pi} = A \cdot B \cdot (1 - C(1 - B)H) \cdot (1 - H^2) \cdot G \quad (3)$$

jossa

A kuvaa kaikkia huoneen sytytyslähteitä

B kuvaa palavan aineen levinneisyyttä

C kuvaa ihmisen läsnäoloa huoneessa syttymishetkellä

H on palokuorman määrästä riippuva levinneisyystermi, jolla huomioidaan syttymän itsestään sammumisen mahdollisuus

G kuvaa ilmanvaihdonsuuruutta

Palotaajuus on laskettu suoraan huonetilakohtaisesti sellaisille huonetiloille, jotka kaikki ovat sisällöltään samanlaisia. Esimerkiksi dieselgeneraattorihuonetyypin palotaajuus on arvioitu suoraan dieselgeneraattorivuosien perusteella, jolloin se kuvaa suoraan yhden huonetilan palotaajuutta. Kun huonetilatyypin kuuluvat huoneet eroavat merkittävästi toisistaan, jaetaan huonetilatyypin palotaajuus huoneille yllä esitetyn yhtälön mukaan. Yleisesti ottaen huonetilan osuus huonetilatyypin palotaajuudesta perustuu siihen, kuinka suuri osuus koko laitoksen kyseiselle huonetyypille merkittävistä sytytyslähteistä sijaitsee huoneessa. Esimerkiksi akkuhuoneissa palotaajuus perustuu siihen, kuinka moni laitoksen akuista sijaitsee kyseisessä huoneessa. [19]

4 NYKYISET TIETOKANNAT

Loviisan voimalaitoksella on arvioitu olevan 1000-3500 kilometriä kaapelia laitosyksikköä kohden [20]. Näiden kaapeleiden tunnustietoja sekä reittitietoja on kerätty muutamaiin tietokantoihin eri tarpeiden mukaan. Laajimpina lähteinä voidaan pitää sähkö- ja automaatio suunnittelun arkistoja, joihin kaapeleiden tietoja on kerätty pitkältä ajalta ja niitä on päivitetty. Sähköisiä tietokantoja ovat PSA-ELTIE ja LOMAX. Näistä ensimmäinen on tehty todennäköisyyspohjaista paloriskianalyysiä varten kaapelitietokanta ja toinen laitoksen kunnossapito- ja materiaalitietojen hallintajärjestelmä. Tässä luvussa käsitellään kyseisten tietokantojen käyttämistä ja niiden sisällön laajuutta.

Kaapeloinnin kirjaaminen eri tietokantoihin on tehty melko vaihtelevasti. Sähköisiin tietokantoihin tietoja on viety enemmän Loviisa 1:n osalta, joka on seurausta analyysien ja uudistusten tekemisestä ensimmäisenä kyseiselle laitokselle. Sähkösuunnittelun arkistossa löytyy kaapelin numero melkein kaikille kaapeleille ja suurimmalle osalle kaapelihyllyreitit. Automaatio suunnittelussa arkistointi on tehty hyvin Loviisa 2:lle, mutta Loviisa 1:sen osalta tiedot ovat puutteellisia. Automaatio suunnittelussa tietoja on myös arkistoitu huonosti vuosien 1980-2000 välillä.

4.1 PSA-ELTIE

PSA-ELTIE on kaapelireittitietoja varten luotu tiedosto, jota on käytetty ensimmäisen kerran diplomityössä [21] 1990-luvun vaihteessa. Tietokanta oli aluksi ABADAS-tietokantaformaattissa ja se on myöhemmin siirretty Access-formaattiin. Tietokantaan on merkitty virtapiiri- ja toimintakaavioita hyväksikäyttäen laitteet ja niihin yhteydessä olevat kaapelit reitteineen. Tietokanta voi sisältää myös virheellistä tietoa, koska osa kaapeleiden reiteistä on arvioitu todennäköisen reitin kautta, kun reitistä ei ole ollut varmaan tietoa. Lisäksi valvomorakennuksen sisällä kaapelireittejä ei ole selvitetty kartoitustyön monimutkaisuuden takia. [21]

Alkuperäiseen PSA-ELTIE tietokantaan on tehty lisäyksiä, kun todennäköisyyspohjaista paloriskianalyysiä on päivitetty. Tietokannan päivitysten yhteydessä vanhoja tietoja on myös päivitetty, mutta osa tietokannan tiedoista voi olla vanhentuneita. Viimeksi tietokantaan on tehty suurempia lisäyksiä vuonna 2007. Koska tietokantaa on päivitetty todennäköisyyspohjaista paloriskianalyysiä varten, suurin osa tiedoista on Loviisa 1:n laitteille. Loviisa 2:n osalta laitteita on tallennettu tietokantaan muutamia tuhansia. Kuitenkin vain harvalle laitteelle on merkitty kaapeleita. Tietokantaan kirjatuista kaapelireiteistä noin puolelle on tehty laitoksella tarkastuskäynti.

4.1.1 Tietojen syöttäminen

PSA-ELTIE kaapelitietokanta on suunniteltu todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin tueksi, joten tietokanta sisältää vain todennäköisyyspohjaiseen paloriskianalyysiin liittyviä tietojen syöttökenttiä. Tietokanta on myös rakenteeltaan varsin yksinkertainen ja tarvittavat syöttökentät löytyvät aiheeseen liittyvien välilehtien alta. Kaapelikartoituksen näkökulmasta tietokannan kaikki syöttöpaikat eivät ole oleellisia. Kaikki kaapelikartoituksessa tarvittavat syötekentät löytyvät ”Piirit”- ja ”Laitteet”-välilehtien alta, eikä muihin välilehtiin tarvitse tehdä lisäyksiä tietoja syötettäessä.

Tietojen syöttämisen ensimmäisenä vaiheena on syöttää ”Piirit”-välilehdelle (Kuva 4) tutkittavan laitteen käyttöpaikkatunnus ”Piiritunnus”-kenttään. Laitteelle voi syöttää tämän jälkeen tarkentavia tietoja, joista aiemmat tietokannan käyttäjät ovat syöttäneet redundanssi- ja turvaluokkatietoja. Kaapelikartoituksen osalta tärkeimmät sarakkeet löytyvät ”Laitteet”-osiosta, joka sijaitsee vasemmassa alalaidassa. Tähän laatikkoon syötetään tiedot sähkö- ja automaatioreiteistä, joita pitkin syöttö kyseessä olevalle laitteelle tulee.

Piirin tiedot

Piiritunnus: 10RV12S005
 Nimi:
 Redundanssi: 0
 Turvaluokka A / S: 3 / 3
 Pros. vaat. luokka:
 Toimintovaatimus / Kuvaus: E /
 Käyttörajoitus / Kuvaus: E /
 Määräaikaistarkastus / Kuvaus: E /
 Piirin sijaintiluokka:

Käyttökohteet

Käyttöolosuht

Laitteet

Laji	Laitetunnus	Nro	Vikakoodi 1, 2, 3	Laitelaji
S	10RV12S005F11	1010		TOIMILAITE
S	10RV12S005F12	1020		KAAP. A S
S	10RV12S005F13	1030		LIITIN
S	11FU2127	1220		ASENN.KAAP
S	11FU	1230		PÄÄJÄKOKES
A		9999		

Turvatoiminnot
 Piirin turvatoiminto: Norm. tila: Toimintatapa:

Record: 309 of 6660

Kuva 4. PSA-ELTIE:n tiedonsyöttölomakkeen ”Piirit”-välilehti. [22]

Reitin syöttämisen ensimmäisenä vaiheena on syöttää lajin kohdalle laitteen tyyppi S (sähkö) tai A (automaatio). Laitetunnuskohdasta valitaan tai syötetään reitillä sijaitsevan kaapelin, suojarakennuksen läpiviennin, keskuksen tai kaapin käyttöpaikkatunnus. Jos kenttään syötettyä arvoa ei vielä löydy tietokannasta, ohjelma kysyy tallennetaanko laite taulukkoon. Tallennettaessa ohjelma lisää uuden laitteen. Numero eli ”Nro”-kenttää käytetään reitin laitteiden järjestämiseen oikeaan järjestykseen. Laitteiden numerointiin käytetään eri numeroita sen mukaan, onko kyseessä sähkö- (1000-4999) vai automaatiolaite (5000-9999). Numerointiin kannattaa jättää väliä myöhempiä lisäyksiä varten, jotta kaikkia numeroita ei tarvitse vaihtaa myöhemmin tulleiden muutosten tai löytöjen takia.

”Laitteet”-välilehdelle (Kuva 5) voidaan siirtyä kahdella tavalla klikkaamalla ”Laitteet”-välilehteä, jolloin halutun laitteen joutuu hakemaan selaamalla. Toinen vaihtoehto vie suoraan oikealle laitepaikalle, kun klikkaa laitetunnuslistasta laitetta ja sen jälkeen ”Selaa”-painiketta, joka on punaisena ”Laitetunnus”-kentän yläpuolella. Tällä välilehdellä laitteelle syötetään laitetyyppiryhmä ja huoneet, joissa kyseinen laite sijaitsee. Laitetyypiryhmät merkitään XXXX??. jossa kysymys-

merkkien tilalle tulee numeroita laitteen tyyppin mukaan (Taulukko 1). Ohjelma hakee myöhemmin laitelajin tämän tiedon perusteella [23].

Taulukko 1. Laitetyyppiryhmät PSA-ELTIEn laitteille [23].

Automaatiolaitteet		Sähkölaitteet	
Koodi	Selitys	Koodi	Selitys
XXXX00	Anturi	XXXX50	Toimilaite
XXXX01	Anturikaapeli	XXXX51	Moottori
XXXX02	Alajakokotelo	XXXX52	Alajakokeskus
XXXX03	Runkokaapeli	XXXX53	Suojarakennuksen sisäpuolinen kaapeli
XXXX04	Venttiili	XXXX54	Suojarakennuksen läpivienti
XXXX05	Suojarakennuksen läpivienti	XXXX55	Suojarakennuksen ulkopuolinen kaapeli
		XXXX56	Pääjakokeskus

Välilehden alalaita on varattu sijainnille, jolla tarkoitetaan huonetilaa tai huonetiloja, kun on kyseessä kaapeli. Huonetilojen syöttäminen alkaa syöttämällä numerokenttään järjestysluku, jolla määritetään huonetilojen järjestys. Huonetilat on järjestetty tutkittavalta laitteelta kohti sähkönsyöttöä tai automaatiokaappia. Huonetilat kirjataan ”Huonetunnus”-kenttään, joko valitsemalla listasta tai kirjoittamalla huonetilan tunnus, jos sitä ei löydy valmiina. Sijaintivarmuus (”Sij. varm.”-kenttä) on varattu laitospäivillä suoritettavaa varmistamista varten. Laitoksella tehdyn varmistuksen jälkeen sijaintivarmuus eli ”Sij. Varm.”-kenttään syötetään varmuusprosentteja 100, 80 tai 60 %. Kun kaapeli kulkee varmasti huonetilassa, syötetään huonetilan kohdalle 100 % varmuus. Pienempiä prosentteja 80 ja 60 käytetään yleensä silloin, kun kaapelihylly jakaantuu tai hyllyltä lähtee kaapeleita ja ei olla varmoja seurattavan kaapelin suunnasta. Kun kaapelihyllyltä eroaa pieni määrä kaapeleita ja oletetaan seurattavan kaapelin jatkavan suuremman kaapelijoukon mukana, käytetään 80 % varmuutta. Prosenttilukua 60 on käytetty tilanteissa, joissa kaapelihyllyn kaapelit jakaantuvat puoliksi kahteen suuntaan ja kaapelin oletetaan jatkavan 60 % suuntaan. Tiedolla määränpäästä voidaan kuitenkin useimmissa tilanteissa olla melko varmoja kaapelin suunnasta, kun hyllyltä erka-

nee kaapeleita. Suojauskentällä tarkoitetaan palosuojausta ja siihen kirjoitetaan ”PALO”, jos kaapeli on suojattu huonetilassa palosuojauksella.

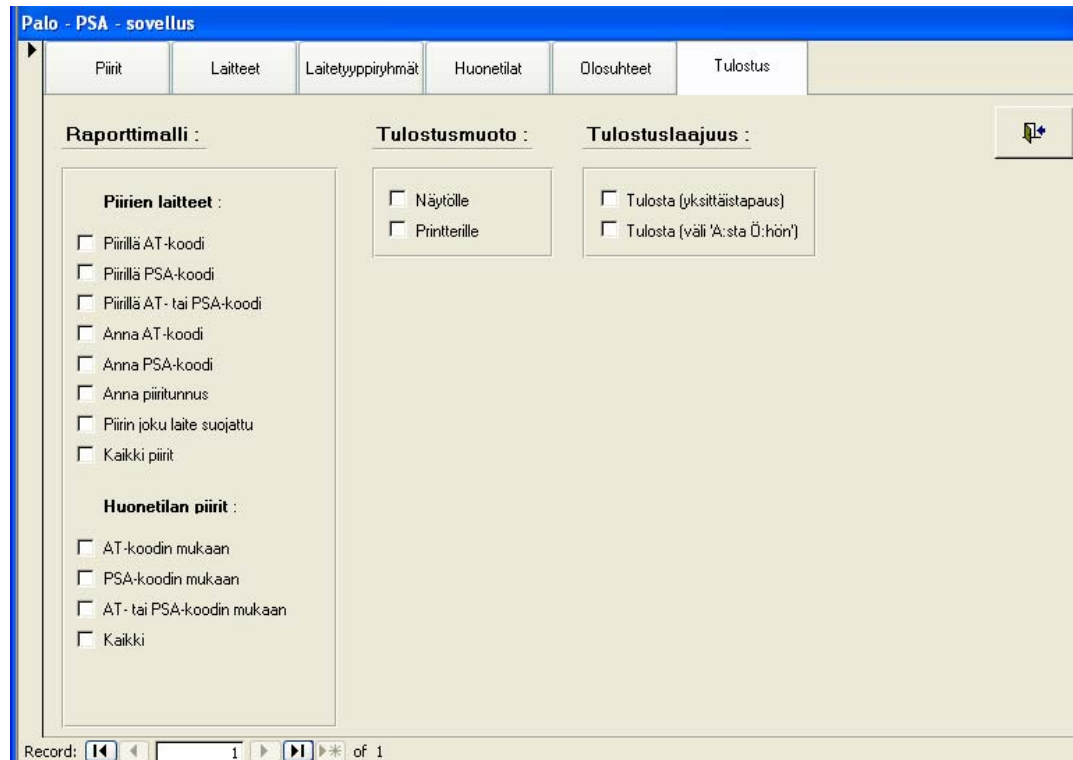
Kuva 5. PSA-Eltien ”Laitteet”-välilehti. [22]

Muut välilehdet eivät ole tärkeitä kaapeleiden kartoittamisen yhteydessä. Niihin voidaan kuitenkin syöttää tarkentavia tietoja. Laitetyyppiryhmiä voi lisätä ja muokata omalla välilehdellä ja huonetiloille voi syöttää tarkentavaa tietoa omalla välilehdellä. ”Olosuhde”-välilehdellä sijaitsevat onnettomuustyyppit. Lisäksi ”Piirit”-välilehdelle voi syöttää oikeaan ylälaitaan onnettomuustyyppin ja alkutapahtuman koodin.

4.1.2 Tietojen tulostus

PSA-ELTIessä tietojen tulostaminen käytettävään muotoon tapahtuu ”Tulostus”-välilehden kautta (Kuva 6). Tulostuksen voi tehdä kahdella päätasolla laitteen piiriin tai huonetilan mukaan. Tulostettaessa täytyy vielä tarkentaa hakua valitsemalla, mitä halutaan tulostaa. Vaihtoehtoja ovat AT- Ja PSA-koodit, piiritunnus

(vain laitteille) ja kaikki. Kartoitusta varten käyttökelpoisinta on tulostaa ”Kaikki piirit”-toiminnolla, joissa voidaan rajata haku tietyille välille aakkosten mukaan. Piiritunnuksen mukaan tulostus on myös vaihtoehto kartoitettaessa, mutta se ei toiminut kaikille kohteille oikein.



Kuva 6. PSA-Eltien ”Tulostus”-välilehti. [22]

Tulostettaessa kannattaa käyttää näytölle tulostusta, jolloin näkee tulevan tulosteen etukäteen, koska osassa tapauksista tietokanta ei löydä hakutuloksia. Lisäksi printterille tulostus ei ole toiminut kokeiltaessa. Näytölle tulevan tulosteen voi siirtää muihin tiedostomuotoihin klikkaamalla hiiren oikealla näppäimellä tuloksia ja valitsemalla export. Tällä tiedon saa tallennettua esimerkiksi Exceliä tai Wordiä tukeviin formaatteihin. Word-formaattiin siirrettyssä tulosteessa (Kuva 7) ensimmäisenä oikealla on laitteen käyttöpaikkatunnus. Seuraavat paikat ovat todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin laskennan koodeille. Loput paikat on varattu kaapelireiteille, joihin on merkitty myös palosuojaukset. Kulkureitit on kuvattu numeroidun järjestyksen mukaan, jolloin ensimmäisenä on sähköreitti, jonka jälkeen heti automaatioreitti. Huonetilan mukaan tulostamisella saa huoneessa sijaitsevat laitteet, sekä niihin liittyvät sähkö- ja automaatioreitit huonetilassa.

IVO POWER ENGINEERING

14.6.2012
Sivu 43

Palo-PSA - tietokanta

Piirien laitteet ja huonetilat

Piiritunnus:	Piirin lisätieto:	Vikakoodi:	Laitte-ryhmä:	Laitetunnus:	Laitelaji:	Huone:	Sijainti-vamuuus:	Suojaus:
AT:	PSA:							
22RL97S050								
	LCCS	AK	S	22RL97S050	TOIMILAITE	1S0020		
	LIRV	AK	S	22FW2652	KAAPELI	1S0020		
	LMFW	AK	S			1S0003		
	LOOP	AK	S			1S0337		
	RT	AK	S	22FS03V001	ALAJAKOKES	1S0337		
	TLFW	AK	S	22FW2266	KAAPELI	1S0337		
		AK	S			1S0003		PALO
		AK	S			1L0001		
		AK	S			1V9222		
		AK	S			1V9041		
		AK	S			1V9051		
		AK	S			2V9001		
		AK	S			2V9021		
		AK	S			2V9031		
		AK	S			2V9041		
		AK	S			2V0341		
		AK	S	22FW15D	PAAJAKOKES	2V0341		
		AK	A	22RL97S050F01	TOIMILAITE	1S0020		
		AK	A	22JA9924	ANT.KAAP.	1S0020		
		AK	A			1S0003		
		AK	A			1S0337		
		AK	A	22KS03P003	ALAJAKOK.	1S0337		
		AK	A	22JA9774	RUNKOKAAP.	1S0337		
		AK	A			1S0003		
		AK	A			1L0001		

Kuva 7. Malliesimerkki ”Kaikki piirit”-toiminnolla tehdystä tulosteesta. [22]

4.1.3 Tietokannan laajuus

Tietokanta sisältää tällä hetkellä molemmilta laitoksilta yhteensä 6660 käyttöpaikkaa. Loviisa 1:n käyttöpaikkojen kaapeleita on kartoitettu laajasti todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin tekemisen yhteydessä, mutta Loviisa 2:n osalta kartoitusta on tehty vain satunnaisille kaapeleille. Karkeasti arvioiden noin 85 prosentille Loviisa 1:n ja neljäsosalle Loviisa 2:n kaapeleista on kirjattu kaapelireitti, mutta osa näistä reiteistä sisältää kaapelin kulkureitin vain suojarakennuksen sisällä. Laitoksella tehtyjä varmistuskartoituksia on tehty Loviisa 1:llä noin 60 prosentille reiteistä, mutta Loviisa 2:lla on tehty vain muutamia yksittäisiä varmistuksia.

4.2 Suunnittelujen arkistot

Loviisan voimalaitoksen sähkö- ja automaatio suunnitteluilla on omat arkistot, joiden kansioihin on koottu tietoa laitteiden kaapeleista sekä kaapelien hyllyrei-

teistä. Kaapelien arkistointi on tehty kattavasti Loviisa 2:n osalta, mutta Loviisa 1:n osalta kaapelireittejä ei ole arkistoitu alusta alkaen kunnolla. Suunnitteluyksikköjen kansiot ovat laajin kaapelireittitietokanta, joka on tällä hetkellä käytössä. Laajuutensa johdosta niiden käyttäminen on hidasta, koska tiedon joutuu hakemaan selaamalla useita kansioita.

4.2.1 Automaatiosuunnittelu

Automaatiokaapelireittien etsintä alkaa asennusdokumenttikansiosta tai mittauskansiosta, joista haetaan käyttöpaikalle menevän kaapelin numero. Asennusdokumenttikansiosta kaapelinumeroa etsittäessä on hyvä tietää vähintään automaatiokaapin tunnus, koska laitteet ja kaapelit on järjestetty ohjauskoordinaattien mukaan. Automaatiokaappien käyttöpaikkatunnus on sama kuin ohjauskoordinaattien alkuosa. Asennusdokumenttikansiossa (Kuva 8) vasemmalta löytyy ohjauskoordinaatti, seuraavana kaapilta lähtevän kaapelin tunnus ja toiseksi viimeisessä sarakkeessa ohjattava laiteen käyttöpaikan tunnus. Ilman ohjauskoordinaattia tiedon löytäminen vaatii hidasta selailua, mutta osa ohjauskoordinaateista löytyy LOMAXin sähkönsyöttösivulta (4.3). Mittaukset on jaettu kahteen kansioon sen mukaan onko kyseessä analoginen vai binäärinen signaali. Mittauskansiot on järjestetty mittauksen käyttöpaikkatunnuksen mukaan.

KENNZEICH. KAB-ANSCHL	1. KL	AN Z	ANPL KABEL-NR	ANPL KABEL	ANPL BRUE.	KABEL- GEGEN-ZIEL	GRT	KENNZEICH.	AEND. INDEX
2HA21K04			0A8216	IS81D	1	GF 16. 11. 600		2TK70S002	000000
2HA21K06			0A8201	IS84K	2	GF 16. 23. 620		2UJ13S001	000000
2HA21K06			0A8201	IS84K	4	GF 16. 10. 620		2TN71S004	000000
2HA21K06			0A8201	IS84K	1	GF 16. 31. 600		2TY71S005	000000
2HA21K06			0A8201	IS84K	3	GF 16. 33. 600		2TY70S006	000000
2HA21K08			0A8202	IS84K	1	GF 16. 12. 612		2TN73S002	000000

Kuva 8. Automaatioarkiston kansioista löytyvät tiedot automaatiokaapilta lähtevästä kaapelista ja määränpäälaitteesta.

Kaapelitunnuksen selvityksen jälkeen siirrytään kaapeliluettelokansioihin, joihin kaapelien tiedot on koottu kaapelitunnuksen mukaan (Kuva 9). Jokaiselta riviltä löytyy tiedot kaapelin lähtö- ja määränkäyttöpaikasta ja niiden sijaintihuoneista. Oikeassa laidassa löytyy reittitiedot kaapelille kaapelihyllytunnusten muodossa ja kaapelin kokonaismitta. Kaapelin päättyessä suojarakennuksen läpivientiin voidaan läpiviennin toisella puolella jatkuva kaapeli katsoa läpivientikansiosta.

-NUMERO-	---KAAPELILAJI---		-----KANSIOSTA-----		-----KANSIOIHIN-----		-----REITTI-----										PIT M			
	KDI		TUNNUS	HUONE	TUNNUS	HUONE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
0A 8130	021	MAMSI	8X1	21HA14	2V1346	20GF14	2V1321	Y349												48 S
0A 8134	021	MAMSI	8X1	21HA14	2V1346	20GF11	2V1321	Y348												49 S
0A 8135	021	MAMSI	8X1	21HA14	2V1346	20GF14	2V1321	Y348												48 S
0A 8137	021	MAMSI	8X1	21HA11	2V1346	20GF12	2V1321	Y349												47 S
0A 8138	021	MAMSI	8X1	21HA13	2V1346	20GF13	2V1321	Y348												48 S
0A 8139	021	MAMSI	8X1	21HA13	2V1346	20GF12	2V1321	Y349												48 S
0A 8140	021	MAMSI	8X1	21HA15K38	2V1346	20GF14	2V1321	Y344												50 S
0A 8201	023	MAMSI	32X1	22HA21K06	2V1351	20GF15.04.584	2V1321	Y348												59 S
0A 8202	023	MAMSI	32X1	22HA21K08	2V1351	20GF15.04.588	2V1321	Y349												59 S

Kuva 9. Kaapeliluettelokansion rivit sisältävät tiedot kaapelin päätepisteistä sekä kaapelihyllyreitit.

Kaapelihyllyreitti voidaan muuttaa hyllytiloiksi ”Kaapelireitit”-kansion tiedoilla. ”Kaapelireitit”-kansioista löytyy piirroksia, joihin on lisätty tasoilla kulkevat kaapelireitit. ”Kaapelireitit”-kansioiden karttojen taitteleminen ja lukeminen on kuitenkin hidasta, koska kartat ovat usein noin A2-kokoluokkaa ja taiteltu kasaan. Reittiä seurattaessa joudutaan myös siirtymään kansion laidasta toiseen siirryttäessä rakennuksesta toiseen.

4.2.2 Sähkösuunnittelu

Sähkökaapeleiden etsiminen toimii melkein samalla tavalla kuin automaattisuunnittelusta etsittäessä. Sähkösuunnittelulla ei ole kansioita, joihin sähkönsyötöt olisi järjestetty sähköä käyttävän laitteen mukaan. Tieto kaapelinumeroista haetaan joko piirikaavioista tai LOMAXin sähkösyöttösivulta. Ensisijaisesti kannattaa pyrkiä etsimään tieto LOMAXista, koska kaapelinumero löytyy ainakin useimmille laitteille, kun taas piirikaavioista saman tiedon joutuu kaivamaan usean välivaiheen

kautta. Jos kaapelinumeroa ei löydy, voi LOMAXin sähköhierarkiasta katsoa sähköä syöttävän keskuksen. Kaapelit on järjestetty syöttävän keskuksen mukaan, joten keskuksen tietäminen rajaa käytävien kaapelien määrää muutamiin satoihin. Kun kaapelinumero on selvillä, kaapelireitin selvitys tapahtuu samalla tavalla kuin automaatio suunnittelun kansioissa.

4.2.3 Tietokantojen laajuus

Loviisa 2:n osalta tietokantojen pitäisi olla kattavia ja sisältää ainakin turvallisuudelle tärkeiden kaapeleiden tiedot. Automaatio suunnittelun osalta 1980-2000-lukujen välillä tehtyjä muutoksia ei ole aktiivisesti arkistoitu, joten kansioiden sisältöön ei voi välttämättä luottaa. Loviisa 1:n osalta kaapelitietoja ei ole arkistoitu rakentamisajalta yhtä hyvin kuin Loviisa 2:lla ja tämän takia Loviisa 1:n arkistoinnissa on paljon enemmän puutteita. Nykyisin sekä sähkö- että automaatiokaapelikansioita päivitetään aktiivisesti ja uusimpien kaapelien tietojen pitäisi olla ajan tasalla.

4.3 LOMAX

LOMAX on Loviisan voimalaitoksen tarpeisiin muokattu versio MAXIMO-ohjelmasta, joka on Fortumilla käytössä oleva kunnossapito- ja materiaalihallinta järjestelmä. Voimalaitoksella LOMAX-tietokantaa käytetään laitoksen töiden, hankintojen ja laitehistorian hallintaan, joten se sisältää valmiiksi tiedon laitoksen toiminnalle tärkeistä laitteista sekä osasta kaapelointia. Tietokannassa olevien laitteiden ja kaapeleiden tietoja voidaan tarkastella ja muokata LOMAXin käyttöliittymästä. Tietoja voidaan myös tulostaa LOMAXin ulkopuolelle käyttämällä Excel-makroja.

4.3.1 Reitin hakeminen kaapelinumeroilla

LOMAXissa tietoja voidaan hakea suoralla haulla, kun kaapelitunnus on tiedossa. ”Käyttöpaikka”-välilehden päästään yläpalkin ”Mene”-pudotusvalikon käyttöpaikat ja ”Laitteet”-kohdasta tai suoraan aloitussivulta löytyvän ”Mene”-painikkeen alta ilmestyvästä pudotusvalikosta. ”Käyttöpaikka”-välilehdelle (Kuva 10) siirryttäessä aukenee ensimmäiseksi ”Haku”-välilehti, jonka yläosa on samanlainen kuin ”Käyttöpaikka”-välilehti, mutta siinä kaikki tietopaikat ovat tyhjiä. Kaapelitunnus syötetään ”Käyttöpaikka”-kenttään (kuvassa vihreällä) ja painetaan alareunan etsipainiketta tai palautusnäppäintä (enter). Jos kaapelin tunnusta ei tiedä kokonaan, voi haun suorittaa myös vajaalla tunnuksella. Useamman sopivan hakutuloksen löytyessä LOMAX avaa listan, josta voi valita haluamansa tuloksen. Jos hakutuloksia on vain yksi, LOMAX avaa automaattisesti ”Käyttöpaikka”-välilehden (Kuva 10).

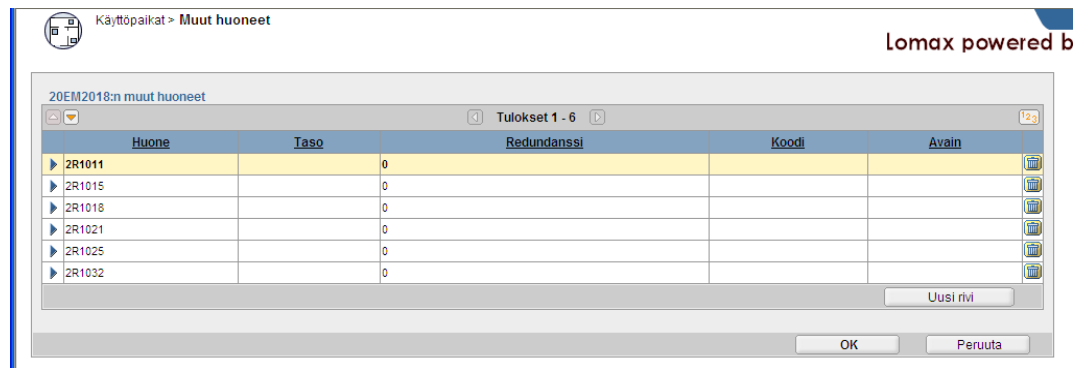
The screenshot shows the LOMAX 'Käyttöpaikka' form. The 'Käyttöpaikka' field is highlighted in green and contains '20EM2018'. The 'Huone' table is highlighted in red and contains two rows: '1: 2R0952' and '2: 2R1432'. The 'Muut huoneet' button is also visible in the red box.

Ohje	Otsikko	Järjestys nro	Huone	Taso	Paloryhmä	Koodi	Avain	Redu
1:			2R0952					0
2:			2R1432					0
3:								
4:								

Kuva 10. LOMAXin ”Käyttöpaikka”-välilehden yläosa kaapelille. Käyttöpaikkatunnuksen kohta on merkitty vihreillä reunuksilla ja huonetilat punaisella.

”Käyttöpaikka”-välilehdeltä löytyy tieto kaapelin huonetiloista punaisella merkityltä alueelta (Kuva 10). Huonetiloista vain kaksi mahtuu ”Käyttöpaikka”-välilehdelle ja loput huoneet voi katsoa ”Muut huoneet”-linkin takaa. Painamalla

”Muut huoneet”-linkkiä avautuu huonelistasivu (Kuva 11). Huonereittejä katsottaessa on tärkeää huomata, että huoneet eivät ole välttämättä kulkureitin mukaisessa järjestyksessä. Tärkeää on myös varmistaa, että kaikki huonetilat ovat listalla, koska osassa tapauksia ”Käyttöpaikka”-välilehdellä olevia huoneita ei löydy ”Muut huoneet”-sivulta. ”Muut huoneet”-sivulta löytyy tietoa huoneen redundanssista ja siitä, vaatiiko huoneeseen meneminen jonkin avaimen.

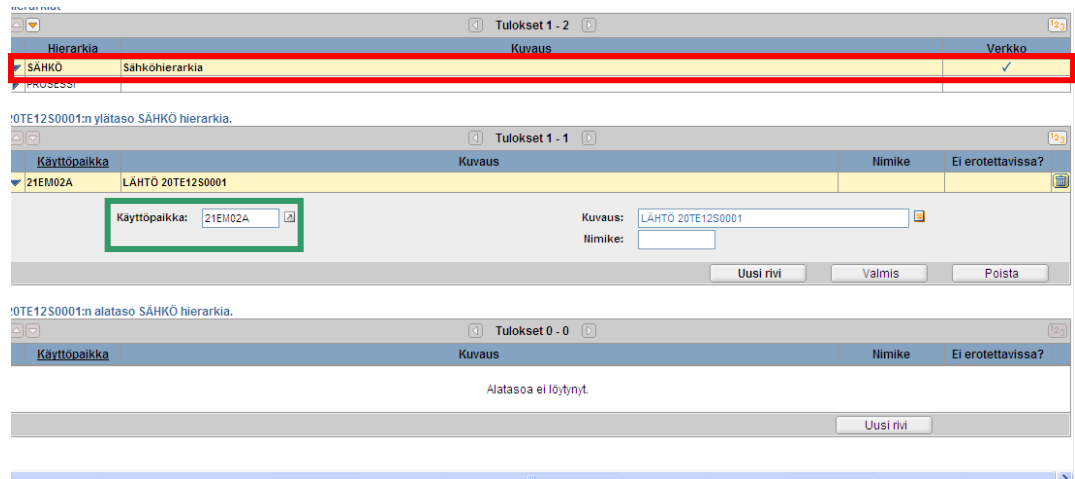


Huone	Taso	Redundanssi	Koodi	Avain
▶ 2R1011		0		
▶ 2R1015		0		
▶ 2R1018		0		
▶ 2R1021		0		
▶ 2R1025		0		
▶ 2R1032		0		

Kuva 11. ”Muut huoneet”-sivulta löytyvät tiedot lopuista huonetiloista.

4.3.2 Sähkölaitteet ja -kaapelit

Sähkölaitteiden etsinnän osalta toimitaan samalla tavalla kuin kaapeleita etsittäessä, mutta kaapelitunnuksen sijasta käytetään käyttöpaikkatunnusta. ”Käyttöpaikka”-välilehdellä on enemmän tietoa kuin kaapeleiden tapauksessa, mutta kaapelikartoituksessa mielenkiinto kohdistuu ruudun alareunasta löytyvään hierarkiaosiin. Hierarkioista sähköhierarkia (Kuva 12) on kiinnostava, koska sieltä löytyy tieto sähköä laitteelle syöttävästä käyttöpaikasta eli sähköhierarkian ylätaso. Hierarkian saa auki painamalla halutun hierarkian kohdalta (kuvassa punainen kehys). Ylä- ja alatason laitteisiin voi siirtyä avaamalla käyttöpaikan samalla tavalla kuin hierarkian, ja klikkaamalla käyttöpaikan vierestä yläviistoon osoittavaa nuolta (kuvassa vihreä reunus). Avautuvasta listasta valitaan ”siirry: XX”, jossa XX-paikalla lukee käyttöpaikan tunnus.



Kuva 12. LOMAXin ”Käyttöpaikka”-välilehden alareunassa sijaitseva hierarkia-osio, jossa sähköhierarkia avoinna.

Käyttöpaikkojen sähkönsyöttökaapelin tiedot löytyvät ”Sähkönsyöttö” -välilehdeltä (Kuva 13). Sähkönsyöttökaapelin numerolle on oma rivi (Kuva 13 punaisella), jossa on tiedot kaapelin tyypistä, läpiviennistä sekä kaapelinumero läpiviennin jälkeen. Kun kaapeli vaihtuu läpiviennissä, niin pelkkä kaapelinumero tarkoittaa sähkökeskuksen puoleista kaapelia ja kaapelinumeroläpiviennin jälkeinen kyseisen käyttöpaikan puoleista kaapelia. Kaapelin reittitietoja voi hakea samalla tavalla kuin haettaessa reittiä kaapelinumerolla (4.3.1).

Käyttöpaikat Kohde: LOVILSA2 | LOV 1 KÄY | LOV 2 LAT | Mene | Poistu | Ohje | Viesti

Lomax powered by maxin

Nyk. kysely: [Valitse toimenpide]

aku Käyttöpaikka Laite Sähkön syöttö VBL Historia Vaarat Mittaus Reitit Turvallisuusluokka Tekniset tiedot LOPLIM Liitetyt dokumentit

Käyttöpaikka: 20TE12S0001 TE12 ULOSLASKU (LOCA)

Ei erotettavissa? Lisätiedot: [] Huoltokoodi: 1LO41 Ylläpitäjä: MROUSER Pvm: 15/12/2005 14:59

Syöttävä sulake: 16 Lämpöreele as. alue (A): 3,00 - 4,50 Virtamuuntajan muuntosuhde: []
 Sulakkeen tyyppi: [] Lämpöreelele as. arvo (A): 3,40 Vikavirtasuojaja:
 Ohjauskenttä: R22 Ohjausk. koordinaatti: GA03.29.096 Lisäohjauspaikat: []
 Ohjausyksikkö: B32 Ohjausyks. koordinaatti: 20HA32B01-07 Paikallisohjaus: []

Kaapelinumero	Kaapelityyppi	Kaapelinum.läpiv.jälk.	Kaapelityyppi läpiv.jälk.	Läpivienti	Ohjausk.läpivienti	
Kaapelinumero 1:	20EM2002	MMJ 4*2,5S	20EM2018	SENOPYR 3*2,5+2,5	20XG02Z1	20XG01S013
Kaapelinumero 2:						

Ohjelmoitavat laitteet Tulokset 0 - 0

Tyyppi	Asettelut	Päivittäjä	Pvm
Ei löydy tietoja.			

Kaapelihyllyt Tulokset 0 - 0

Kaapelihylly	Läpiviennin tunnus	Läpiviennin huone
Ei löydy tietoja.		

Kuva 13. LOMAXin käyttöpaikan ”Sähkösyöttö”-välilehti.

4.3.3 Automaatiolaitteet ja -kaapelit

LOMAXissa on mahdollista rakentaa samanlainen automaatiohierarkia, joka on jo olemassa sähkölaitteille, mutta sitä ei ole vielä tehty. Automaatiokaapeleille ei ole vastaavaa laitteiden käyttöpaikkaan liittyvää kenttää, kuin sähkökaapeleille on ”Sähkösyöttö”-välilehdellä. Automaatiokaapeleiden tunnuksia voi ja on syötetty omina käyttöpaikkoina LOMAXiin. Vaikka automaatiokaapeleiden tunnuksia ei ole linkitetty laitteisiin, löytyy automaatiokäyttöpaikoille ohjausyksikön koordinaatit ”Sähkösyöttö”-välilehdeltä (Kuva 13 vihreä kehys). Tämä helpottaa tietojen etsimistä varsinkin automaatiosuunnittelun kansioista, joissa laitteelle tulevan kaapelin joutuu etsimään ohjausyksikön koordinaatin perusteella.

4.3.4 LOMAXin laajuus

LOMAX on laaja tietokanta, koska sillä hallinnoidaan voimalaitoksella tehtäviä huoltotoimenpiteitä. Tietokanta sisältää käyttöpaikkatunnuksen omaavista laitteista ainakin suurimman osan. Käytettäessä hakusanaa ”kaapeli” Loviisa 2:lle tuloksia on 1085, mutta ainakin puolet tuloksista on läpivientejä, kaapelitunneleita tai liitântäkaapeleita. Lopuista tuloksista noin puolelle on syötetty huonetiloja, joten kaapelireittejä on tällä hetkellä muutamille sadoille kaapeleille. Laitteiden sähkökaapelien etsintää laitoksella helpottaa käyttöpaikan ”Sähkönsyöttö”-välilehdeltä (Kuva 13) löytyvä kaapelitunnus kenttä, josta on löytynyt muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta laitteen sähkönsyöttökaapelin tunnus.

4.4 Loviisan automaatiouudistus

Loviisan voimalaitoksella on käynnissä nelivaiheinen automaatiouudistus LARA (Loviisa automation renewal). Nykyinen automatiikka on toiminut laitoksella luotettavasti, mutta nykyisellä automaatiolla ei pärjätä voimalaitoksen käyttöiän loppuun asti. Automaatiouudistuksessa tehtävillä muutoksilla on tarkoitus varmistaa laitteiden toimivuus ja varaosien saatavuus myös tulevaisuudessa. [24]

Automaatiouudistuksen ensimmäinen vaihe oli pienimuotoinen pilotti-vaihe, jossa muutamien ennaltaehkäisevien turvasysteemien automaatiota. Toisessa vaiheessa uudistetaan reaktorin suojaukseen liittyvä turvallisuusautomaatio. Kolmannessa vaiheessa uudistetaan ilmastoinnin ja sähköjärjestelmien automaatio. Viimeisessä neljännessä vaiheessa uudistetaan sekundääripiirin käyttöautomaatio. [24]

Automaatiouudistuksen aikana suurimmat muutokset tehdään päävalvomotilassa, nykyisissä apu- ja ilmastointivalvomoiden kaappitiloissa, dieselvalvomojen tiloissa sekä näihin liittyvissä kaapeliyhteyksissä. Tämän lisäksi molemmille laitoksille on rakennettu kaksi toisistaan erillään sijaitsevaa rakennusta valvomo- ja reaktorirakennuksen väliin. Näitä rakennuksia kutsutaan LARA-rakennuksiksi. Uuteen rakennukseen sijoitetaan automaatiouudistuksen yhteydessä lisättäviä kaappeja ja

kaapeleita. Laitteuudistuksia tehdään myös kentällä ja suurimmat näistä sijoittuvat reaktori- ja turbiinirakennuksiin. [24]

4.4.1 Kaapelireitit

Automaatiouudistuksen yhteydessä laitokselle tehdään tarvittavat kaapeliyhteydet uusien ja vanhojen tilojen välille. Tässä yhteydessä vanhoja kaapeleita poistetaan ja korvaavien kaapelien reitit tulevat ainakin osittain kulkemaan eri tiloissa. Suurin osa muutoksista tulee koskemaan LARA-rakennuksia, joihin sijoitettaviin uusiin kaappeihin tullaan siirtämään vanhoja yhteyksiä sekä rakentamaan uusia. LARA-rakennuksesta tullaan rakentamaan uusia reittejä sekä reaktori- että turbiinirakennukseen. Vanhoja reittejä käytetään rakennettaessa kaapeliyhteyksiä laitosalueen muille rakennuksille. Tarkemmat reittivalinnat selviävät yksityiskoh- taisemman suunnittelun yhteydessä. [24]

Kaapeleita vedettäessä tullaan huomioimaan redundanssien erotteluvaatimus sekä vanhoissa että uusissa tiloissa. Uusissa tiloissa turvallisuusluokan 2 ja 3 kaapelointi tullaan sijoittamaan omille hyllyilleen. Turvallisuusluokkien 4 ja EYT (ei ydinteknisesti luokiteltu) kaapelit sijoitetaan yhteisille hyllyille. Vanhoissa tiloissa vain turvaluokan 2 kaapelointi on omilla hyllyillään ja muiden turvaluokkien kaapelit laitetaan samoille hyllyille. Vanhat kaapelit tullaan katkaisemaan ja liittämään uusiin kaappeihin meneviin kaapeleihin kentälle sijoitettavilla välilytkentä- koteloilla. [24]

Automaatiouudistuksen suunnittelusta ja toteutuksesta vastaa ulkopuolinen FSC (Framatome - Siemens konsortio). FSC:lla on oma sähköinen kaapeli- ja laitosda- tan tietojärjestelmä KADIS, josta löytyy tietoa esimerkiksi kaapeleiden pituudes- ta, hyllyreiteistä, lähtö- ja määränpäähuoneista. Kaapeleiden asentamista varten tietokannasta on mahdollista tulostaa kaapelivetokortteja (Kuva 14).

AREVA NP CABLE PULLING CARD		Cable number	Cable from	Cable to
System		CPC-Index:	Room from	Room to
Unit Stage		Voit. level: I	1V1382	1R0306
Gang (No./Name)		Cable type:	φ 14	OC:
		PK2XS711/PK2XV711		PU:
				CC:
				T: 2
				R: 2
				SC: SC2
		Cable drum number	Drum length marking	Laid length
			Start End	Laying date
				Calc. length
				168 m
				Print date
Route number:		Length from / to tray:		Remark: Calculated length is only a valuation and not binding for the cable pull!
1V B23: 006-000 (3)		1V B26: 002-000 (2)		1V B22: 000-011 (3)
1V B21: 002-000 (3)		1V B02: 005-000 (6)		1R M25: 000-007 (1)
1R L21: 008-041 (5)		further to room 1R0306 in new cable trays which will built by Fortum		(not exist yet)
				Laying data registered: <input type="checkbox"/>
Cable no.: 12HK6001	Voit. level: I	Cable no.:	Voit. level:	
Cable from: P10HQ7	Room from: 1V1382	Cable from:	Room from:	
Cable to: 12KR03E0008	Room to: 1R0306	Cable to:	Room to:	
Cable no.:	Voit. level:	Cable no.:	Voit. level:	
Cable from:	Room from:	Cable from:	Room from:	
Cable to:	Room to:	Cable to:	Room to:	
12HK6001				<input type="checkbox"/> Connected from: <input type="checkbox"/> ----- <input type="checkbox"/> Connected to: <input type="checkbox"/> ----- <input type="checkbox"/> Insulation resistance: <input type="checkbox"/> -----
Note: Cable will be mounted in a metallic conduit				

Kuva 14. Kaapelivetokortista löytyvät uusien kaapeliosuuskien hyllyreitit.

Kaapelivetokortista löytyy hyllyreitti keskeltä laatikon sisältä (kuvassa punainen kehys). Kaapelihyllyreititunnukset ovat muotoa 1V B23:006-000 (3). Hyllytunnusten ensimmäiset kaksi merkkiä kertovat laitoksen ja rakennuksen. Seuraavat 3 merkkiä kertovat hyllyreititunnuksen. Kaksoispisteen jälkeiset kolmenumeroiset luvut ovat metrejä kaapelihyllyn alusta, joista ensimmäinen kertoo kaapelihyllylle tulokohdan ja jälkimmäinen poistumiskohdan. Suluissa oleva luku ilmaisee, mille hyllylle kaapeli sijoitetaan. Vaakahyllyillä suluissa olevan numerointi alkaa ylimmältä hyllyltä ja numero suurenee alemmille hyllyille siirryttäessä. Esimerkitapauksen kaapelihyllyreitti tunnus 1V B23:006-000 (3) tarkoittaa, että kaapeli kulkee Loviisa 1:n valvomorakennuksessa hyllyreitillä B23, jolle se nousee 6 metrin päässä kaapelihyllyn alusta ja poistuu alkupisteessä, kolmannella hyllyllä ylhäältä päin. Uusista kaapelireiteistä on olemassa myös kaapelireittikartat. Näistä karttoista voidaan selvittää kaapelin sijaintihuoneet käyttämällä kaapelivetokortissa olevia kaapelihyllytunnuksia.

4.4.2 Automaatiouudistuksen kaapelitietokannan laajuus

Automaatiouudistuksen jälkeinen KADIS-tietokanta tulee sisältämään tiedot kaikista automaatiouudistuksen yhteydessä tehdyistä kaapelimuutoksista. Kuitenkin tällä hetkellä tietokanta sisältää vasta kaapelit, joille on tehty muutoksia nelivaiheisen automaatiouudistuksen ensimmäisessä vaiheessa. Tietokanta tulee olemaan valmis LARA-projektin valmistuessa noin 2017-2018. [25]

Voimalaitoksella ei ole KADIS-tietokantaa tällä hetkellä, vaan se saadaan vasta LARA-projektin valmistuttua [25]. Täten tietokantaa ei voida hyödyntää vuoden 2015 todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin päivityksessä. Tarpeen tullen tietoja automaatiouudistuksen kaapeleista voi kuitenkin kysyä LARA-projektiryhmältä.

5 KAAPELIKARTOITUS LAITOKSELLE

Tässä luvussa tutustutaan kahteen mahdolliseen kaapelinkartoitustapaan laitoksella. Lisäksi tutustutaan näistä tavoista toiseen esimerkkien muodossa. Mahdollisia tapoja ovat kaapelin seuraaminen kentällä ja kaapelitutkaus, joita voidaan helpottaa hyödyntämällä nykyisistä tietokannoista löytyvää tietoa. Molemmat tavat sisältävät heikkouksia ja ovat hitaita suorittaa. Useimmissa paikoissa kentällä tehtävällä kaapelin seuraamisella saavutetaan tarvittava tulos, mutta haluttaessa täysin varma lopputulos joudutaan turvautumaan kaapelitutkaukseen.

5.1 Nykyiset tietokannat apuna

Valmiiden tietojen hyödyntäminen ennen laitoskartoituksia on järkevää, koska se nopeuttaa kartoittamista huomattavasti. Valmiilla tiedoilla paikat löytyvät nopeammin, epäselvissä tapauksissa reitti voi selvitä ja oikean kaapelin löytyminen helpottuu. Toisille tapauksille löytyy myös valmiita huonetilareittejä, jotka tarvitsee vain käydä varmistamassa laitoksella. Näistä on hyötyä varsinkin radioaktiivisia kohteita sisältävissä huonetiloissa, joissa työskentelyn nopeus vähentää kertyvää säteilyannosta.

Kun aletaan tutkia kaapelia, jolla ei ole tietokannoissa valmista huonereittiä, on hyvä etsiä mahdollisimman paljon kaapelin kartoittamista helpottavaa tietoa. Olennaisimpia tietoja kaapelin osalta ovat laitteen sijaintihuone, syöttävän sähkökeskuksen ja automaatiokaapin sijainti, kaapelinumero sekä hyllyreitti. Kaapelinumeroa ja sijainteja kannattaa alkaa etsiä ensin LOMAXista tai PSA-ELTIEstä, mutta automaatiokaapeleiden osalta LOMAXista ei löydy kaapelinumeroa linkitettyinä laitteeseen vaan ohjausyksikön koordinaatit. Näillä tiedoilla voidaan mennä automaatio- ja sähkösuunnittelun kansioista etsimään kaapelihyllyreittiä luvussa 4.2.1 esitetyllä tavalla. Useissa tapauksissa kaapelitunnus vaihtuu kotelossa ennen käyttöpaikkaa. Sähkökaapeleilla jatkuva kaapelinumero on yleensä lähellä alkuperäistä tunnusta ja sen löytää selaamalla hiukan listaa. Automaatiokaapeli-

tunnuksen muuttuessa uusi kaapelinumero ei ole välttämättä lähellä alkuperäistä ja nopein tapa on käydä laitteella tai kotelolla katsomassa kaapelinumero lähteivistä kaapeleista.

5.2 Kenttätarkastukset

Kenttätarkastuksilla tarkoitetaan laitoksella tehtäviä tarkastuksia, joissa pyritään seuramaan kaapelia laitteelta sähkökeskukselle tai automaatiokaapille. Seuranta voidaan tehdä myös toisinpäin. Ennen kentälle lähtemistä kannattaa tarkastaa tietokannoista, onko kaapelille jo merkitty reitti tai kaapelihyllyt. Järkevin tapa alkaa kartoittaminen on tutustua nykyisiin tietokantoihin ja kerätä niistä mahdollisimman paljon avustavaa tietoa. Joissakin tapauksissa tietoja ei kuitenkaan ole tai niiden etsiminen on liian työlästä ja kartoitus kannattaa aloittaa menemällä suoraan laitteen käyttöpaikalle.

Tiedonkeruun jälkeen siirrytään tutkittavan laitteen luokse. Tutkittavan kaapelin löytämiseksi etsitään laitteelta lähteivistä kaapeleista kaapelitunnuksia (Kuva 15). Kaapelitunnukset on yleensä tulostettu paperille ja suojattu muovikalvolla, mutta myös metallisia merkintäkilpiä käytetään. Kaapelitunnukset on normaalisti kiinnitetty nippusiteellä kaapeliin ja ne sijaitsevat alle puolen metrin päässä kaapelin alkupisteestä. Kaapelitunnuksista löytyy yleensä syöttävän sähkökeskuksen tai automaatiokaapin kirjaintunnus, mutta osa automaatiokaapelitunnuksista sisältää vain numeroita. Tästä tiedosta on apua tapauksissa, joissa kaapelitunnus ei ole etukäteen tiedossa. Laitokselta löytyy myös kaapeleita, joihin ei ole kiinnitetty kaapelitunnuksia. Näissä tapauksissa kaapelitunnuksen voi löytää esimerkiksi seuraamalla kaapelia lähellä sijaitsevalle kotelolle, josta merkinnät saattavat löytyä. Kaapelitunnuksen ollessa tiedossa oikean kaapelin voi myös päätellä koosta tai seuraamalla kaapelia kaapelihyllylle. Kaapelihyllyjen perusteella voi päätellä kaapelin redundanssin ja tyyppin, mutta tämä tunnistustapa selitetään myöhemmin tässä luvussa.



Kuva 15. Muovisella suojakotelolla suojattu kaapelitunnusmerkintä.

Kun oikea kaapeli on löydetty, voidaan sen seuraaminen aloittaa. Laitteen läheisyydessä saattaa olla kotelo, johon kaapelit yleensä aluksi suuntaavat. Kotelon jälkeen kaapelin tunnus yleensä muuttuu ensimmäisen kerran, mutta muutos on yleensä pieni ja vaikutus lähinnä viimeisissä numeroissa. Kaapelihyllyille kaapelit siirtyvät lyhyttä mutta järkevää reittiä joko kotelolta tai suoraan laitteelta. Kaapeleita on helppo seurata kaapelihyllyille, kun kaapelit pysyvät näkyvillä koko matkan ajan. Osassa tapauksista samanlaisia kaapeleita kulkee askelsuojissa tai kasattuna palosuojamassaan, jolloin yksittäistä kaapelia on vaikea seurata. Askelsuojien alla kaapelit kulkevat usein samaan suuntaan, mutta kaapelien erkaantuessa voi joutua nostamaan useita askelsuojia varmistuakseen oikeasta kaapelista.

Yleensä kaapelia pystyy seuraamaan kaapelihyllyreitille asti ja näkemään, mille päällekkäisistä hyllyistä kaapeli sijoittuu. Toisissa paikoissa useita kaapeleita kasataan ja ne viedään seinän läpi. Seinän toisella puolella samanlaisista kaapeleista on vaikea erottaa seurattavaa kaapelia. Näissä tapauksissa kaapelin seuranta helpottaa hyllyjako, jossa kaapelit sijoitetaan tietyssä järjestyksessä päällekkäisille hyllyille seuraavassa järjestyksessä ylhäältä alas: 6kV kaapelit, rakennussähkökaapelit, 0-redundanttiset voimakaapelit, redundanttiset voimakaapelit, 0-redundanttiset automaatiokaapelit, redundanttiset automaatiokaapelit [26]. Loviisa 2:lla

ja uusissa merkittävissä uudisasennuksissa Loviisa 1:llä käytetään tunnuskirjaimia eri järjestelmien kaapelihyllyille (Taulukko 2).

Taulukko 2. Sähkö- ja automaatiokaapelien sijoittuminen hyllytunnusten mukaan Loviisa 2:lla ja merkittävissä uudisasennuksissa Loviisa 1:llä. [26]

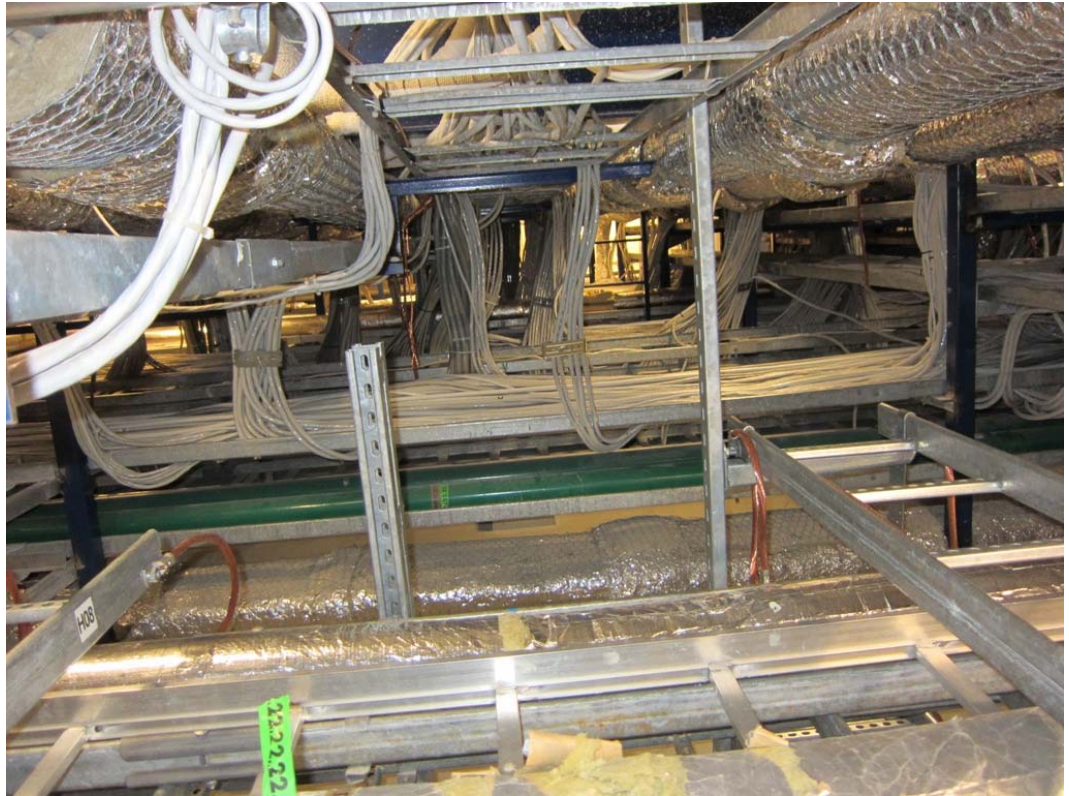
Kaapelin järjestelmätyyppi	Hyllyn kirjaintunnus
0-redundanttiset automaatiokaapelihyllyt	A, B, C, D, E, F
0-redundanttiset voimakaapelihyllyt	H, J, K, L, M, N
1- ja 2-redundanttiset automaatiokaapelit	P, Q, R
Laitossuojauksen kanavat 1, 2, 3 ja 4	S
1- ja 2-redundanttiset voimakaapelihyllyt	T, V
Reaktorisuojauksen kanavat 5, 6 ja 7	Z
Sydäninstrumentoinnin hyllyt	X

Viimeistään kaapelihyllyillä tietyn kaapelin seuraaminen muuttuu erittäin vaikeaksi, koska samassa kaapelihyllyssä voi kulkea jopa sata kaapelia, joista osa on samanlaisia kuin seurattava kaapeli. Yhden huonevälin kaapelia voi seurata kädelä kiinni pitäen, mutta siirryttäessä seinän läpi toiseen huoneeseen kaapelia on vaikea tunnistaa ilman merkittävää eroavaisuutta muista kaapeleista. Tällaisissa tapauksissa kannattaa ensisijaisesti varmistaa suunnittelukansioista löytyvän kaapelihyllyreitien paikkansapitävyys mahdottoman yksittäisen kaapelin seuraamisen sijaan. Kaapelihyllyreitien tunnukset on merkitty kylteillä kaapelihyllyjen sivuun (Kuva 16). Hyllyissä käytetään myös väritunnuksia erottamaan redundansseja. Sininen tarkoittaa 1-redundanssia ja vihreä 2-redundanssia. Jos kaapelille ei kuitenkaan ole valmista reittiä, pystyy reittiä arvioimaan melko luotettavasti etsimällä määränpään nähden järkeviä poistumiskohtia kaapelihyllyltä. Tämä menetelmä vaatii laitostuntemusta, mutta periaatteessa kaapelihyllyltä ei ole kuin harvoja poistumiskohtia, jotka voivat viedä määränpään.



Kuva 16. Kaapelihyllyreittien ja kaapelihyllyjen merkinnät.

Voimalaitoksella on paikkoja, joissa kaapelia on periaatteessa mahdollonta seurata luotettavasti. Esimerkiksi valvomorakennuksen kaapelitiloissa (Kuva 17) kulkee erittäin paljon kaapeleita ja ne voivat siirtyä useita kertoja eri kaapelihyllyille samassa huonetilassa. Valvomotiloissa samalla kaapelihyllyllä voi kulkea yli sata muuta kaapelia ja seurattavaa kaapelia ei pysty näkemään koko matkalta. Valvomorakennuksen osalta täytyykin luottaa nykyisiin tietokantoihin tai mahdollisesti tehdä kaapelitutkauksia (luku 5.3). Keskuksen tai kaapin läheltä voi pyrkiä etsimään kaapelitunnuksen, jos kaapelia on helpompi seurata vastakkaisesta suunnasta. Tästä päästä kaapelit kuitenkin yleensä siirtyvät suoraan paljon kaapeleita sisältäville kaapelihyllyille.



Kuva 17. Kahden kaapelihyllyn väli valvomotason alapuolisesta kaapelitilasta.

5.2.1 Kokemukset sivumerivesipiiristä VF

Kenttätarkastuskohteeksi valittiin Loviisa 2:n sivumerivesipiirit VF11-14, jotka jäädyttävät useita järjestelmiä laitoksella sekä toimivat varajärjestelmänä päämerivesipiireille. Nämä piirit valittiin kaapeleiden kartoitukseen, koska niiden tiloihin on helppo päästä käytön aikana ja ennen valvomorakennusta niiden kaapelit ovat lukitsemattomissa huonetiloissa. Tämä mahdollistaa kaapelikartoituksen tekemisen rauhassa ja mahdollistaa palaamisen kartoituspaikalle helposti. Lähtötiedoiksi kartoitukseen tutkittiin LOMAXista sivumerivesipiiriin kuuluvat laitteet ja automaation sekä näiden sähkön ja automaation syöttöpaikat. Nämä tiedot VF11-laitteista löytyvät taulukosta (Taulukko 3). Kaapelireittejä ei yritetty selvittää suunnitteluarkistoista ennen laitokselle menoa, koska tarkoituksena oli selvittää, kuinka monimutkaista kartoitus on ilman reittitietoja.

Taulukko 3. Sivumerivesipiiriin VF11 kuuluvat sähkölaitteet sekä niiden sähkö- ja automaatio-työt.

Laite	huone	Sähkö	huone	Automaatio	huone
21VF11D0001	2M0312	21BU02	2V0306	21HA12	2V1346
21VF11S0002	2M0312	21EU01F	2V0306	21HA14	2V1341
21VF11W0001	2M0312	21CA14D	2V0306		

Näillä pohjatiedoilla varustettuna siirryttiin merivesipumppaamolle huonetilaan 2M0312 tutkimaan kyseisiä laitteita. Sivumerivesipumpun 21VF11D0001 pääsähkönsyöttökaapeli löytyi, mutta siinä ei ollut kaapelimerkintää. Tämän lisäksi pumpulta lähti kaksi pienempää valkoista kaapelia. Toisesta kaapelista löytyi kaapelitunnus 21BU3004. Kyseinen kaapeli kulki vieressä olevaan sähkökoteloon ja vaihtui tämän jälkeen kaapeliksi 21BU3003. Toinen kaapeli oli merkitsemätön ja se selvisi LOMAXin tutkimisen jälkeen pumpun staattorin lämmityksen 21VF11W0001 kaapeliksi. Painepuolen sulkuventtiilin 21VF11S0002 automaatio- ja sähkökaapelit löytyivät helposti venttiilin luota.

Kaapeleiden tarkka seuraaminen vaikeutui heti alussa, kun kaapelit menivät askelsuojan alle. Pienellä askelsuojien siirtelyllä pystyi toteamaan, että kaapelit menevät VF11 vesiputken vierestä alas huoneen 2M9741 puolelle. Alapuoliseen huoneeseen kaapelit tulivat katonrajasta kahtena kimpuna, joista toisessa oli automaatio- ja toisessa sähkökaapelit. Kaapelit kulkivat seinää pitkin kaapelihyllyreiteille. Seurattavat kaapelit jakaantuivat neljälle eri hyllylle. Hyllyn ja koon perusteella seurattavat kaapelit pystyi tunnistamaan, mutta VF12-puolelta tulleista samanlaisista kaapeleista niitä ei pystynyt erottamaan.

Kaapelihyllyille tuli merivesipumppaamolla kaapeleita merivesipumpuilta, mutta seurattavat kaapelit olivat vielä tunnistettavissa. Ennen kaapelitunnelia 2U9034 kaapelihyllyt jakautuivat eri seinille kaapelihyllyreiteiksi M33 ja M34. Automaatiokaapelit erkaantuivat reitille M34, kun sähkökaapelit pysyivät reitillä M33. Kaapelitunnelissa kaapelireitit kulkivat omilla seinustoillaan ja kaikkia kaapeleita pystyi vielä seuraamaan hyllyillä. Seuraavaksi kaapelireitit siirtyivät huoneeseen 2V9451, jossa kaapelihyllyille liittyi paljon kaapeleita apu- ja reaktorirakennuksi-

en kaapelitunneleista. Tässä vaiheessa kaapelihyllyillä oli useita kymmeniä samanlaisia kaapeleita ja yksittäistä kaapelia olisi voinut seurata vain pitämällä sitä kädessä koko matkan. Kädellä seuraamisesta ei olisi ollut kuitenkaan mitään hyötyä, koska kaapelit nousivat huoneen päädystä huoneeseen 2V0931. Nousun ja lattian lävistyksen jälkeen kaapelia ei olisi voinut tunnistaa ulkonäkönsä perusteella useista samanlaisista kaapeleista.

Huoneeseen 2V9031 tulevien samanlaisten kaapelien tunnistaminen on mahdollonta, koska läpiviennin kaapelihyllyissä on useita kymmeniä samanlaisia kaapeleita. Osan seurattavista kaapeleista pystyi kuitenkin tunnistamaan kyseisessä huonetilassa. Kuuden kilovoltin kaapelin tunnisti sen koosta ja nousukohdasta. Kaapeli oli merkitty keskuksen päästä huoneessa 2V9021, josta sitä pystyi seuraamaan. Sulkuventtiilin automaatiokaapeli 21HA5171 oli merkattu heti ylösnousun jälkeen huonetilassa 2V9031 (Kuva 18). Loput seurattavat sähkökaapelit kulkivat kimpussa samanlaisten kaapelien kanssa. Kimppua pystyi seuraamaan huoneen seinustalle, mistä osa nousi ylös katosta ja osa jatkoi viereiseen huonetilaan, josta loput kaapelit nousivat ylös.



Kuva 18. Automaatiokaapeleiden merkintöjä huoneeseen 2V9031 nousun jälkeen.

Kaikki muut kaapelit paitsi automaatiokaapeli olivat määränpäässään huonetilan läpiviennin jälkeen. Automaatiokaapelin osalta seuraaminen muuttui mahdottomaksi ilman valmista kaapelireittiä, koska kaapeli nousi yhdessä kimpussa satojen kaapelien kanssa kaapelinousuhuonetilaan 2V0344 (Kuva 19). Kaapelien erotessa

hylllyltä ei pystyisi sanomaan, mikä niistä on seurattava kaapeli. Loppu reitti selvitetiin automaatiosuunnittelun kansioita ja kaapelireittikarttoja hyväksikäyttäen.



Kuva 19. Läpivienti kaapelinousutilaan 2V0344.

Muiden VF-piirien kaapelien kartoittaminen ei paljon eronnut VF11-piiristä. Suurimpana erona oli toisen redundanssin kaapelien palosuojaus ja kaapelien kulkeminen eri reittiä redundanssiperiaatteen mukaisesti. Palosuojaus vaikeutti kartoittamisen tekemistä suuresti, vaikka kaapelit olivatkin merkattu paremmin näillä sivumerivesipumppuilla. Palosuojaus esti näkemästä millaisia lähteneet kaapelit olivat ja tämän takia kaapeleita ei pystynyt erottamaan toisistaan niiden tullessa yhtenä kimppuna merivesipumppaamolta kaapelikäytävään 2U9033 (Kuva 20). Kaapelit voidaan erottaa käyttämällä valmiita reittitietoja ja tunnistamalla kaapelihyllyjen perusteella kaapeleita. Lisäksi voidaan olettaa kaapelien olevan vastaavan kokoisia kuin 1. redundanssissa.



Kuva 20. 2. redundanssin kaapelien laskeutuminen kaapelitunneliin.

5.3 Kaapelitutkaus

Toinen tapa on tehdä kaapelitutkauksia, joista puhutaan myös kaapelin ”huudatuksina”. Kaapelitutkauksien tekemiseen vaaditaan kolme työntekijää. Ensimmäisen tehtävänä on toimia kaappitiloissa, missä hän ilmoittaa tutkittavan kaapelin muille ja antaa kaapeliin merkkijännitettä. Toisen tehtävänä on toimia alajakokeskuksella, missä hän irrottaa ja maadoittaa kaapelin, sekä varmistaa jännitemittauksella oikean kaapelin. Kolmas henkilö toimii kentällä, jossa hän tutkaa kaapelia. [27]

Yhden kaapelin kartoittaminen alkaa kiinnittämällä mittausjohdin maahan alajakotelolla. Kaapilla ja alajakotelolla varmistutaan, ettei tunnistettavassa piirissä ole muita yhteyksiä. Tämän jälkeen kaapilta kytketään tunnistussignaali, joka varmistetaan alajakokeskuksella samaksi virtamittauksella. Kun kaapeli on varmistettu oikeaksi mittauksella, poistetaan mittausjohto alajakotelosta ja se suljetaan. [27]

Kaapelihyllyjen luona kaapelin tunnistus alkaa käyttämällä kaapelitutkaa, jossa on käytössä tunnistusnokka. Tunnistusnokka sopii karkeaan kartoittamiseen ja sillä on helppo havaita kaapelihylly, jossa tutkettava kaapeli sijaitsee. Kun oikea kaapelihylly on löydetty, otetaan käyttöön tarkempi stetoskooppi. Stetoskoopin päättä kuljettamalla kuultava signaali vahvistuu, mitä lähemmäksi oikeaa kaapelia tullaan. Löydetty kaapeli varmistetaan vielä mittaamalla pihtimittarilla tunnistuslähtövirtien syöttämä virta kaapelista. [27]

LARAN yhteydessä on tehty kaapelitutkauksia kaapeleille, mutta tutkimuksen toteuttaminen on hidasta. Normaali tunnistusvauhti on noin 10 kaapelia vuorokaudessa. Jos kaapelitutkauksia tehdään pelkästään todennäköisyyspohjaista paloriskianalyysiä varten, voidaan prosessia nopeuttaa selvittämällä vain kaapelihylly ja jättämällä kaapelin etsiminen hyllystä väliin. Nykyiseen todennäköisyyspohjaiseen paloriskianalyysiin riittää tieto huonetilasta ja tarkennettaessa analyysiä hyllytieto on riittävä tarkkuus. Kaapelin oletetaan vioittuvan hyllyn palaessa riippumatta siitä, missä kohtaa hyllyä kyseinen kaapeli sijaitsee.

6 TULEVAISUUDEN TIETOKANTA JA APUOHJELMA KARTOITUKSIIN

Tässä luvussa käsitellään vaihtoehdot tulevaksi tietokannaksi sekä käsitellään niiden hyviä ja huonoja puolia. Vaihtoehtoisten tietokantojen esittelyn jälkeen esitellään uutta tietokantaformaattia ja perusteet juuri sen valintaan. Luvun loppupuolella käsitellään tulevaisuudessa tehtäviä kartoituksia ja niiden tulosten lisäämistä tietokantoihin. Kartoitusten yhteydessä esitellään myös kartoitusten tekemistä varten kehitettyä apuohjelmaa.

6.1 Vaihtoehdot tulevaisuuden tietokannaksi

Tulevaisuuden tietokannan ei välttämättä tarvitse sisältää kaikkia samoja tietoja, joita tällä hetkellä käytettävään PSA-ELTIEen voi syöttää. PSA-ELTIE sisältää paljon käyttämättömiä tai vähäisessä käytössä olevia kenttiä. Tietokannan täyttämisen ja tietojen käyttämisen myöhemmin tulee olla mahdollisimman selkeää ja helppokäyttöistä. Vaihtoehtoina on joko kehittää yhtä nykyisistä tietokannoista tai rakentaa kokonaan uusi tietokantaratkaisu.

Ensimmäiseksi käsitellään nykyisiä tietokantavaihtoehtoja, joista tarkasteltaviksi on valittu kehityskelpoiset sähköiset tietokantavaihtoehdot PSA-ELTIE ja LO-MAX. Paperiset tietokantavaihtoehdot on jätetty tarkastelematta sähköisten tietokantojen paremman muokattavuuden, siirrettävyyden ja helpommin tehtävien hakujen takia. Myöhemmin käsitellään uutena tietokantaformaattivaihtoehtona Excelliin tai Accessiin pohjautuvaa tietokantaa. Uuden tietokannan tulisi sisältää samoja ominaisuuksia kuin nykyisin käytössä olevan PSA-ELTIE:n, mutta kaikkia käyttämättömiä tai vähemmän käytössä olleita toimintoja ei kannata lisätä uuteen tietokantaan. Tärkeintä uudelle vaihtoehdolle olisi olla helppo ja toimiva tietokantaratkaisu.

6.1.1 PSA-ELTIE

PSA-ELTIE on alkujaan turvallisuuspohjaisen paloriskianalyysin kaapelikartoituksen kaapelitietokanta. Tietokanta on perustettu aluksi ADABAS-tietokantaan, josta se on siirretty myöhemmin Access 1997 -tietokantaformaattiin. Nykyisin tietokanta on tallennettuna Access 2003 -tietokantamuodossa. Nykyisessä tietokantaformaattissa on joitakin virheitä, jotka ovat syntyneet todennäköisesti tietokantaformaattien muutosten yhteydessä. Tällaisesta tapauksesta esimerkkinä on tietojen tulostusvaiheessa tulevat ylimääräiset kysymykset, joita ainakaan Access 1997 -version ohjeistuksessa ei ole [23]. Nämä epäselvät rajausvaihtoehdot aiheuttavat pahimmillaan tulosten rajoittumisen nolnaan vaihtoehtoon. Vastaavien uusien ongelmakohtien ilmaantuminen on mahdollista, kun laitoksella siirrytään keväällä 2013 käyttämään Access 2010 -versiota Windows 2007 -käyttöjärjestelmän käyttöönoton yhteydessä.

Access 2003 -version tiedostojen käyttäminen on mahdollista uudessa 2010-versiossa. Tietokannan formaattia pystyy myös muuttamaan uudempaan versioon tallentamalla tiedoston uuteen tietokantaformaattiin. Muutoksen yhteydessä saa käyttöön uuden version ominaisuudet. Muutoksessa saattaa olla myös haittapuolia. Esimerkiksi mahdollisesta haittapuolesta on, etteivät tehdyt linkitykset välttämättä toimi muutoksen jälkeen. [28]

Tietokannassa on lisäksi muutamia vikoja, jotka todennäköisesti johtuvat alkupe räisessä tietokantaversiossa olevista virheistä tai tietokantaformaatin muutoksista. Esimerkkinä tästä voidaan pitää ”Paluu”-painikkeita, jotka välillä palauttavat aivan väärälle käyttöpaikalle. Tällaisten tilanteiden takia nykyisessä järjestelmässä täytyy olla varuillaan, ettei syötä vahingossa kaapelitietoa väärälle laitteelle. Tietojen syöttäminen tietokantaan toimii tätä ongelmaa lukuun ottamatta moitteettomasti. Myös luvussa 4.1.1 esitetyistä laitetyyppikoodeista pitäisi pyrkiä luopumaan niiden vaatiman ohjeistuksen takia.

Nykyinen PSA-ELTIE sisältää kaikki tarvittavat tiedonsyöttöpaikat, mutta myös paljon raporteissa näkymättömiä tietoja, joille ei ole tarvetta paloriskianalyysissä.

Tietojen lisääminen ja raporteissa näkymättömien kohtien etsiminen vaatisi hakutoiminnon lisäämistä, koska tällä hetkellä käyttöpaikka tai laite täytyy haarukoida koko tietokannan sisältä. Haarukointi isosta tietokannasta on hidasta ja hakutoiminnolla pystyttäisiin nopeuttamaan huomattavasti tietojen käsittelyä.

PSA-ELTIEn raporttipohjat sisältävät kaikki tarvittavat tietojen tulostusvaihtoehdot, jotka ovat oleellisia todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin tekemisen kannalta. Raporteista löytyvät kaapelireitit varustettuina kaikilla välivaiheilla ja tarvittavilla tiedoilla. Tietojen tulostaminen vaatii kuitenkin pientä kehittämistä, koska osassa tulostusvaihtoehdoista on jo aiemmin tässä luvussa mainittuja epäselviä rajausvaihtoehtoja. Tulostusvaihtoehdot täytyy tarkastaa ja esitettävät rajausvaihtoehdot tarkentaa tulevaisuuden käyttöä varten. Uuteen versioon siirtymisen jälkeen ongelmat pitää ratkaista, jos PSA-ELTIEtä aiotaan tulevaisuudessa käyttää tietokantana.

Yhteenvedona PSA-ELTIE on sisällöltään loistava kaapelitietokanta, jossa tiedot ja tulostusmahdollisuudet on optimoitu todennäköisyyspohjaista paloriskianalyysiä varten. Kuitenkin hyvä pohja vaatisi kehittämistä virheiden korjaamisessa ja tulostuksen selvennyksessä. Myös jonkinasteisen hakutoiminnon lisääminen tietokantaan olisi suotavaa.

6.1.2 LOMAX

Tällä hetkellä LOMAX sisältää suurimman osan tarvittavista kentistä todennäköisyyspohjaista paloriskianalyysiä varten. Ongelmana kuitenkin ovat muutamat puuttuvat syöttökentät ja se, ettei automaatiohierarkiaa ole tehty. Automaatiohierarkian tekemiseen on kuitenkin valmius LOMAXissa. Automaation puolella ongelman aiheuttaa kaapeleiden laitteisiin linkityksen puuttuminen. Näihin puutteisiin voidaan kuitenkin vaikuttaa, kun keväällä 2013 voimalaitoksella siirrytään käyttämään Windows 7 -käyttöjärjestelmää. Tämän muutoksen jälkeen myös LOMAX päivitetään uuteen versioon. Tässä yhteydessä LOMAXiin voidaan lisätä tarvittavia kenttiä ja kaapelien linkitysmahdollisuus laitteisiin. Jos tietokantaan

halutaan lisätä uusia syöttöpaikkoja, ei niitä voi tehdä ryhmän omasta toimesta, vaan muutokset täytyy tehdä yhteisinä päivityksinä ohjelmaan.

Tietokannassa ei ole tällä hetkellä aivan kaikkia kenttiä, joita todennäköisyyspohjainen paloriskianalyysi tarvitsee. Kaikki puuttuvat kentät ovat ”Muut huoneet”-sivulla nykyisessä versiossa. Näitä ovat palosuojauskenttä ja laitoksella tehdyn varmistuksen kenttä.

Tietojen syöttämisessä tietokantaan on melko pienet virhemahdollisuudet, koska kaikki tiedot syötetään käyttöpaikan tai kaapelin omilla sivuilla tai välilehdillä. Tietoja joutuu tosin syöttämään useassa eri paikassa, jotta kaikki tiedot saa lisätyiksi. Tietokanta sisältää tarvittavien käyttöpaikkojen tiedot jo tällä hetkellä, joten kaapelitietojen lisäys onnistuu periaatteessa yhdeltä sivulta. Automaatiohierarkian osalta tiedot täytyy syöttää erillisille sivuille. Niiden kenttien osalta, joille ei tällä hetkellä ole syöttömahdollisuutta, nähdään sijainnit vasta uuden version käyttöönoton jälkeen.

LOMAXista tietoja voi hakea kahdella tavalla, joko selaamalla tietokantaa tai Excel-makroiin perustuvilla hauilla. Makrojen käyttäminen hakutoiminnoissa on tehokasta, koska silloin raporttipohjat voidaan rakentaa omien tarpeiden mukaisiksi ja tiedot saadaan järjestettyä halutulla tavalla. Excel-makrot hakevat tiedot Excel-taulukoihin, joista tiedot voidaan siirtää eteenpäin. Raportteja voidaan myös kehittää havaittaessa uusia tarpeita.

LOMAX on laitoksen kunnossapito- ja materiaalihallintatietojärjestelmänä. Tätä järjestelmää käyttämällä tiedot olisivat kaikkien hallittavissa, muokattavissa ja käytettävissä. Tällöin kerättyjä tietoja voisivat käyttää muutkin kuin PRA-ryhmän jäsenet. Tietojen sijainti yhteisessä tietokannassa mahdollistaa päivitysten tekemisen muille ryhmille. Kaapelitietokannan yhdistäminen jo käytettävään tietokantaan vähentää käytettävien sovellusten määrää, mikä vähentää käytettävien sovellutusten osaamis- ja koulutustarvetta.

LOMAX on hyvä tietokanta, joka sisältää jo paljon muiden ryhmien tietoa. Tietokanta on myös muiden ryhmien käytettävissä ja päivitettävissä. Tietokannasta tulostettavat raportit voidaan laatia PRA-ryhmän tarpeiden mukaisiksi. Kehitettävää on muutamissa puuttuvissa kentissä ja hierarkioissa. Yllättävän syöttöpaikan lisäystarpeen ilmetessä joudutaan odottamaan ohjelman päivitystä, koska ohjelmaa ei pysty itsenäisesti muokkaamaan.

6.1.3 Uusi järjestelmä

Uuden tietokantajärjestelmän tekemisessä suurimpana etuna olisi se, että voidaan luoda täysin uusi järjestelmä ilman vanhan järjestelmän ratkaisujen mukanaan tuomia ongelmia. Tietokantaratkaisuun voidaan rakennusvaiheessa sisällyttää kaikki halutut ominaisuudet ja huomioida kaikki erilaiset toiveet. Uuden tietokannan etuna on myös se, että muutostarpeiden ilmetessä muutoksia voidaan tehdä itsenäisesti. Uutta tietokantaa perustettaessa on kuitenkin huomioitava, että tiedot vanhoista tietokannoista pitäisi pystyä siirtämään helposti. Huomioitava on, että vanhoihin tietokantoihin täytyy siirtää puuttuvat tiedot, koska uudessa tietokannassa ei ole minkäänlaisia pohjatietoja.

Uutta järjestelmää ei kannata luoda kuitenkaan täysin alusta alkaen vaan käyttää mieluummin taulukko- tai tietokantaratkaisuun pohjautuvaa ohjelmaa. Vaihtoehtoisia ratkaisuja ohjelmaksi, johon tietokanta rakennettaisiin, ovat Microsoft Excel tai Access. Vaihtoehtoisista Access on käytännöllisempi, koska Excelissä kaikki tiedot täytyy saada tallennettua taulukkoon. Yleensä reitillä on erilaisia määriä huonetiloja ja tiedot täytyisi saada eri taulukoihin. Tähän sovellukseen Access toimii paremmin, koska se on tietokantaohjelma.

Uuden tietokannan osalta huonona puolena on, että se täytyy rakentaa periaatteessa alusta alkaen. Tietokannan toiminta täytyy varmistaa ja testata, jotta tietokannan käytön aikana ei esiinny ongelmia. Tietokantaan voi myös testaamisesta huolimatta jäädä joitakin ongelmia, joita ei suunnittelu- ja testausvaiheessa tule ajateltua. Huonoa on myös se, että tehdään taas yksi ylläpidettävä sovellus lisää.

Yhteenvetona uusi tietokanta mahdollistaisi täysin uusien ideoiden ja ratkaisujen tuomisen tietokantaan. Omana tietokantana sitä voidaan myös myöhemmissä vaiheissa muokata tuleviin tarpeisiin. Tietokanta täytyy kuitenkin rakentaa alusta alkaen uudestaan, mikä vaatii toiminnan varmistamisen. Lisäksi uusi järjestelmä tuo yhden ylläpidettävän sovelluksen lisää. Tiedonsiirto muista tietokannoista pitää myös järjestää, koska tietokanta ei sisällä minkäänlaisia pohjatietoja.

6.2 Ehdotus tulevaksi tietokannaksi

Tulevaisuuden tietokannalla ei ole tällä hetkellä kovin monimutkaisia vaatimuksia. Kuitenkin tiedot pitää saada tallennettua järkevästi ja ne tulee saada käyttöön sopivassa muodossa. Tässä mielessä täysin uuden tietokannan tekeminen voi olla turhan rankka prosessi tietojen siirtämisen kannalta. Lisäksi pyritään välttämään uusia ylläpidettäviä ohjelmia. Täten vaihtoehtoiksi jää täten nykyisten tietokantojen kehittäminen. Kummankin nykyisen tietokannan päivittäminen kannattaa tehdä uusiin versioihin siirryttäessä, koska sekä Accessiin että LOMAXiin tulee suuria muutoksia päivitysten myötä.

Tietokantoina sekä LOMAX että PSA-ELTIE ovat hyviä ja molemmissa tiedot pystyy syöttämään ja tulostamaan järkevästi. Kummassakin tietokannassa on omat ongelmansa ja puutteensa, jotka voidaan korjata tulevissa päivityksissä tai sen jälkeen. Tulevaksi tietokannaksi ehdotetaan LOMAXia, koska laajasti käytössä olevana yhteisenä tietokantana tiedot ovat siinä kaikkien niitä tarvitsevien käytössä. Tämän takia tiedot ovat myös paremmin asiantuntijoiden muokattavissa, mikä parantaa tietokannan oikeellisuutta ja sen pysymistä ajantasaisena. Yhteistä tietojärjestelmäohjelmaa ei tarvitse myöskään ylläpitää PRA-ryhmän toimesta, vaan ohjelmiston toiminnasta vastaa ohjelman hallinnoija.

6.2.1 LOMAXin muutokset

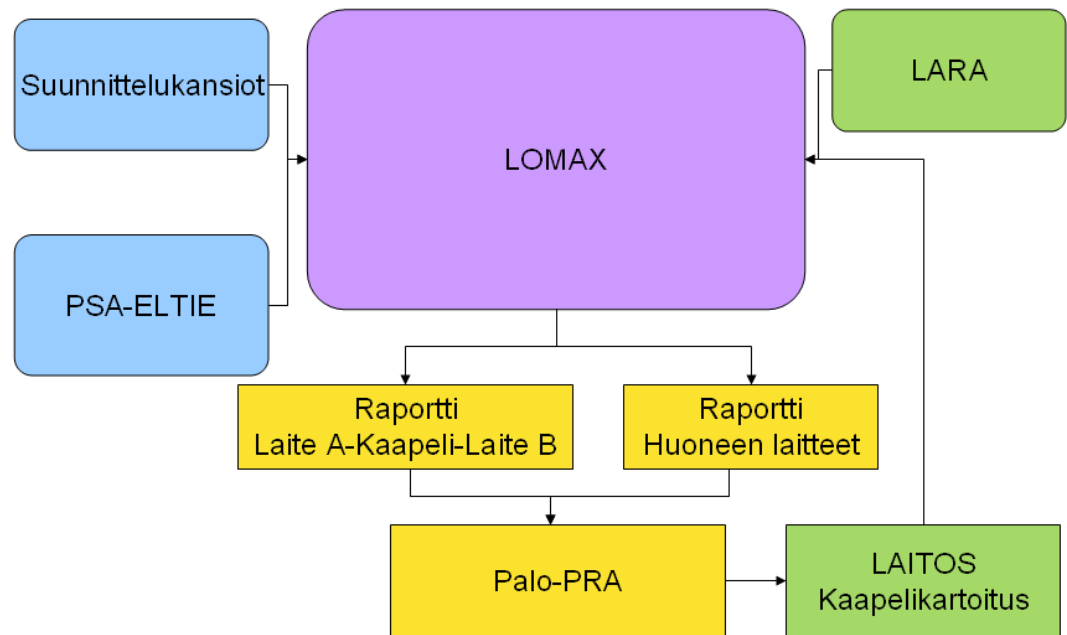
Uutta LOMAX-versiota varten kehitysryhmälle on ehdotettu tarpeellisia muutoksia todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin kannalta. Ehdotetut parannukset voidaan jakaa kahteen kategoriaan, tiedonsyöttöpaikkojen lisäämiseen ja kaapelihierarkian parantamiseen. Kumpaankin kategoriaan täytyy tehdä pienet muutokset, jotta tietokantaa voisi käyttää tehokkaasti todennäköisyyspohjaisessa paloriskianalyysissä.

Kaapelihierarkian ensimmäinen parannusehdotus on kaapelien liittäminen käyttöpaikkoihin linkillä, jotta käyttöpaikoilta voidaan siirtyä suoraan kaapelin tietoihin. Tällä hetkellä alajakokeskuksia ja -kaappeja ei ole huomioitu hierarkiassa. Toisena parannusehdotuksena onkin niiden huomioiminen hierarkiassa.

Kaapelireittien merkitsemisen helpottamiseksi LOMAXiin on ehdotettu lisättäväksi muutamia kenttiä. Ehdotettuja kenttiä ovat palosuojausrastipaikka, kaapelihylly- ja lisätietokenttä. Lisätietokenttää voidaan käyttää kirjattaessa kaapeliin liittyviä huomautuksia, joihin voi tulla tarvetta tarkempaa analyysiä tehtäessä. Kaikki lisäkenttäehdotukset ovat nykyisessä LOMAX-versiossa ”Muut huoneet”-sivulla ja ne tulisi saada jokaisen huoneen kohdalle erikseen.

6.2.2 Tietokannan käyttäminen tulevaisuudessa

LOMAXin käytettävyyden kannalta on oleellista, että se sisältää tarvittavat kaapelitiedot todennäköisyyspohjaista paloriskianalyysiä varten ja että niitä voidaan käyttää järkevästi hyödyksi. Turhan työn välttämiseksi tietojen siirtäminen ja tuleva käyttö täytyy suunnitella ennen siirtymistä toteutusvaiheeseen. LOMAXiin siirtyminen ja käyttö tulevaisuudessa on esitetty ajatuskartan (Kuva 21) avulla.



Kuva 21. Ajatuskartta LOMAXin käyttämisestä pääsääntöisenä kaapelitietokantana.

Ensimmäisenä vaiheena siirryttäessä käyttämään yhtä tietokantaa on siirtää tarvittavat tiedot muista tietokannoista LOMAXiin. Tietojen siirto kannattaa aloittaa sähköisistä tietokannoista (PSA-ELTIE ja LARA), joissa voidaan hyödyntää tietojen sähköisiä siirtomahdollisuuksia. Suunnitteluarkistojen tietoja sekä kaapelikartoituksia voitaisiin käyttää puuttuvien kaapelitietojen ja PSA-ELTIEn reittien varmistamiseen. LARA-kaapelien osalta ongelmana on, että KADIS-tietokanta saadaan vasta LARA-projektin valmistuttua eli noin vuonna 2017-2018 [25]. Tarvittaessa tietoja LARAN kaapeleista täytyy ne kysyä suoraan LARA-ryhmältä.

Tietojen syöttämisen jälkeen tietoja voidaan alkaa hyödyntää todennäköisyyspohjaisessa paloriskianalyyssissä. Tätä varten uuteen LOMAX-versioon täytyy tehdä hakumakrot, joilla tiedot saadaan sopivassa muodossa raportteihin. Raportteja voidaan sitten käyttää todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyyssin päivittämiseen.

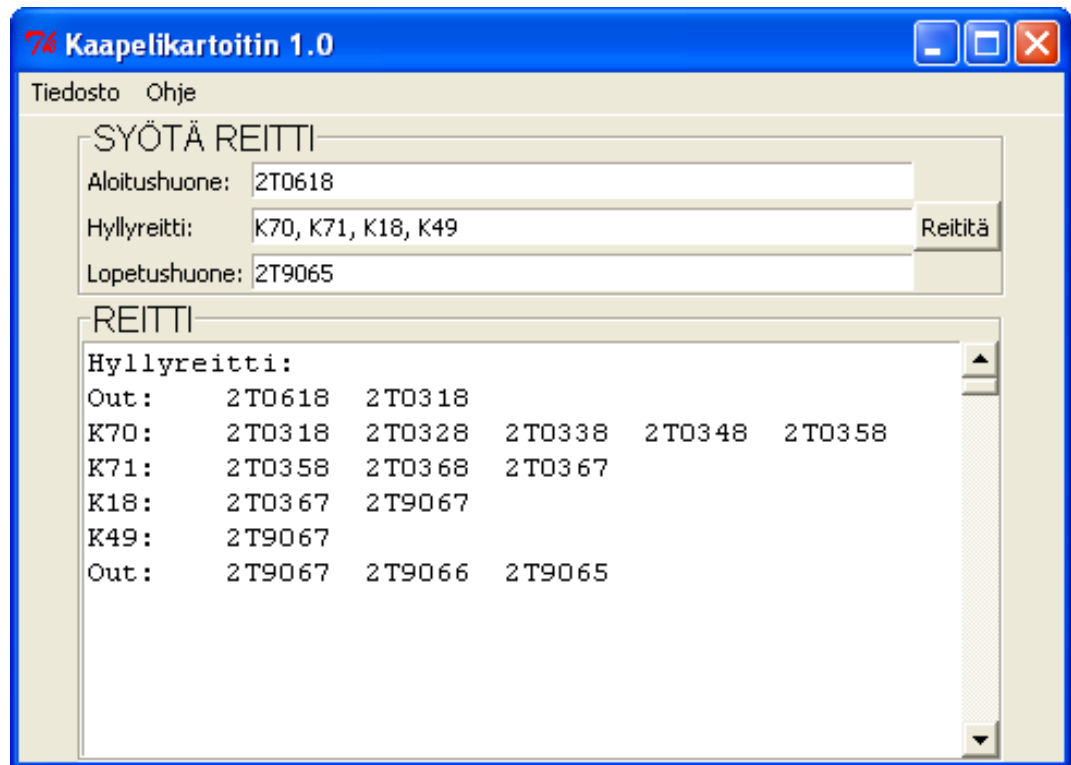
Päivityksessä saadaan laitokselle uusi paloriskiarvio, jonka perusteella paloriskitilanteet voidaan järjestää merkittävyyden mukaan. Tämän järjestämisen perusteella kaapelikartoitukset voidaan keskittää ensisijaisesti merkittävimpien paloriskitilanteiden kaapeleiden selvittämiseen. Myöhemmin voidaan siirtyä selvittämään pienempien paloriskitilanteiden kaapeleita. Tiedot kaapelikartoituksista siirrettäisiin

LOMAXiin ja näiden pohjalta voidaan tehdä uusi päivityskierros todennäköisyyspohjaiselle paloriskianalyysille.

Tulevaisuudessa tehtäviä kaapelipäivityksiä ja uusia kaapeleita varten LOMAXin tietojen päivityksen pitää toimia, jotta tietokanta pysyy ajantasaisena. Suunnitteluyksiköt eivät ainakaan vielä ole halukkaita siirtämään itse omia tietokantojaan sähköiseen muotoon. Tämän takia tietojen päivityksiä varten täytyy luoda lista laitteista, joiden kaapelimuutoksilla on merkitystä todennäköisyyspohjaiselle paloriskianalyysille. Listan pohjalta suunnitteluyksiköt voisivat toimittaa tärkeitä järjestelmiä koskevat kaapelitiedot PRA-ryhmälle, joka voisi tehdä muutokset LOMAXiin.

6.3 Kaapelikartoituksen apuohjelma

Sähkö- ja automaatio suunnittelusta löytyy useille kaapeleille kaapelihyllyreitit, mutta niiden hyödyntäminen sellaisenaan on hidasta. Yhden kaapelin kaapelihyllyreitit muuttamiseksi saattaa joutua etsimään ja tutkimaan useita hyllyreitikkarttoja. Lisäksi tämä prosessi joudutaan tekemään erikseen jokaiselle tutkittavalle kaapelille. Tässä työssä päädyttiin laatimaan ”Kaapelikartoitin”-apuohjelma (Kuva 22), jolla pystytään muuntamaan kaapelihyllyreitit suoraan huonetilareiteiksi. Kun apuohjelmaan on kerran syötetty kaapelihyllyreitien huonetilat, voidaan kaikki huonetilareitit selvittää syöttämällä kaapelihyllyreitit ohjelmaan.



Kuva 22. ”Kaapelikartoitin”-apuohjelma täytettynä esimerkireitin syötteillä ja tulostuksilla.

Ohjelman käyttäminen on tehty mahdollisimman yksinkertaiseksi, jotta periaatteessa kuka tahansa voisi käyttää ohjelmaa. Kaapelihyllyreitti syötetään sille varattuun kenttään kolmimerkkisillä hyllytunnuksilla, joissa on kirjain ja kaksi numeroa. Kaapelihyllytunnusten erottamiseen toisistaan käytetään pilkkua. Toisissa kaapelihyllyreiteissä voi olla useita haaroja ja ne on erotettu tietokannassa erillisiksi reiteiksi. Jos hyllyreitti alkaa tai loppuu useita haaroja sisältävällä hyllyllä, täytyy aloitushuone- ja lopetushuonekenttään lisätä kaapelin hyllylle meno- tai poistumishuone, jotta ohjelma osaa etsiä oikean reitin. Alkuhuonetilaan kannattaa kuitenkin aluksi syöttää laitteen huonetila, koska tietokantaan on mahdollista syöttää reitit, joista kaapeli voi tulla kaapelireitille. Tämä ominaisuus on kuitenkin ajateltu hyödynnettäväksi lähinnä suurimmissa kaapelin poistumis- ja tulokohdissa, koska kaikkien mahdollisuuksien lisääminen olisi työmäärältään liian suuri verrattuna hyötyyn. Painamalla reitityspainiketta ohjelma tulostaa reitin.

Tulosteessa oleellisin tieto on hyllyreitikohtaisessa, josta näkyvät kaikki kaapelin kulkemat huonetilat ja kaapelihyllyreitit. Tulosteessa ”Out”-kohdilla tarkoitetaan

huonetiloja, joiden kautta kaapeli tulee ja poistuu kaapelihyllyltä laitteelle. Kaapelihyllytunnusten kohdalle on lisätty kaikki huoneet, joissa kaapeli kulkee hyllyllä.

7 YHTEENVETO

Tutkimuksen lähtökohtana oli valmistautua Loviisan voimalaitoksen todennäköisyyspohjaisen paloriskianalyysin päivittämiseen ja laajentamiseen kattamaan Loviisa 1:n lisäksi myös Loviisa 2. Todennäköisyyspohjainen paloriskiarvio on osa vuonna 2015 mennessä Säteilyturvakeskukselle toimitettavaa määräaikaista turvallisuusarviointia. Todennäköisyyspohjaisen paloriskiarvioinnin tekemiseksi voimalaitoksella täytyy tehdä kaapelikartoituksia ja varmistaa kaapelitietokannan ajantasaisuus. Tähän käytettävä tietokanta PSA-ELTIE on kuitenkin tehty ennen 2000-lukua ja siinä on nykyisellään alkuperäisiä tai formaattimuutoksista johtuvia vikoja. Loviisan laitoksella siirrytään käyttämään Windows 7 -käyttöjärjestelmää vuoden 2013 alkupuolella ja tarkoitus on varmistaa, että tämän jälkeenkin todennäköisyyspohjaisella riskianalyysillä on toimiva tietokanta.

Laitoksen nykyisen kaapelitietokantatilanteen selvittämiseksi tutustuttiin PSA-ELTIE:n lisäksi kahteen tietokantaan sekä Loviisan automaatiouudistukseen. Muut tutkitut tietokannat olivat LOMAX ja suunnitteluyksikköjen kansiot. Nykyisistä tietokannoista PSA-ELTIE ja suunnitteluyksiköiden kansiot sisälsivät eniten tietoa kaapeleista. Ajantasaisuudeltaan suunnitteluyksiköiden kansiot ovat luotettavimmat, koska niihin tehdään muutoksia jatkuvasti. PSA-ELTIE:n ja LOMAXiin tietoja on lisätty tarpeen mukaan tai yhdellä kertaa, eikä tietoja ole päivitetty syöttämisen jälkeen. Loviisan automaatiouudistuksen kaapelitietokanta KADIS on vielä keskeneräinen ja sitä täydennetään uudistuksen edetessä. Loviisan voimalaitos saa lopullisen tietokannan toimittajalta vasta automaatiouudistuksen valmistuttua nykyisen aikataulun mukaan 2017-2018.

Tutkimuksessa tutustuttiin myös voimalaitoksella tehtävään kaapelikartoitukseen. Kaapelikartoituksen menetelmiä ovat kenttätarkastukset ja kaapelitutkaus. Kenttätarkastuksissa kaapelia pyritään seuraamaan laitteelta sähkökeskukselle tai automaatiokaapille. Usein kaapelihyllyillä on kuitenkin paljon samanlaisia kaapeleita ja yksittäistä kaapelia voi olla mahdotonta tunnistaa seinien läpivientien jälkeen. Tätä varten menetelmässä joudutaan välillä tarkastelemaan kaapelin reittisijaintia

kaapelihyllyreititäsolla ja pyrkiä löytämään loppupisteen kannalta mahdollisia poistumakohtia. Kenttätarkastuksia käytiin läpi myös sivumerivesipiirin esimerkin kautta. Kaapelitutkaus on kenttätarkastuksia varmempi keino selvittää reitti, koska siinä kaapelit voidaan tunnistaa koko matkalta. Kaapelitutkaus on kuitenkin toissijainen menetelmä, koska se on hidasta ja sitä voidaan tehdä ainoastaan vuosihuollon aikana.

Uudeksi tietokantaratkaisuksi pohdittiin uutta tietokantaa ja PSA-ELTIEn tai LOMAXin päivitysversioita. Uudeksi tietokannaksi päädyttiin ehdottamaan LOMAXia, koska muut vaihtoehdot olisivat vaatineet paljon suurempia muutoksia ja LOMAXin käyttö avaa mahdollisuuden muidenkin ryhmien käyttää ja tehdä muutoksia tietokantaan. Yhteistä tietokantaa ei myöskään tarvitse ylläpitää itse, vaan ylläpidon hoitaa ohjelman hallinnoija. Uuteen LOMAX-versioon on ehdotettu muutoksia, joita ovat palosuojaus, lisätieto- ja kaapelihyllykenttien lisäys huonetilojen yhteyteen. Lisäksi ehdotettiin automaatiokaapelien linkitysmahdollisuutta käyttöpaikkoihin.

8 LÄHTEET

- [1] YVL 1.1.2006. Ydinvoimalaitosten turvallisuuden valvonta. Ydinvoimalaitosohjeet. Helsinki 2006, Säteilyturvakeskus. ISBN 952-478-085-2. 20 s.
- [2] Lamroth Harry. Loviisan rakennusprojekti ja suunnittelun vertailu eräisiin muihin VVER-ydinvoimalaitoksiin. FSAR 1.3. LO1-K852-00694. Rev. 5, 2006. Fortum. Luottamuksellinen. 12 s.
- [3] Pirinen Henri. Laitoksen yleiskuvaus (LO 1&2). FSAR 1.2. LO1-K852-00898. Rev. 6, 2010. Fortum. Luottamuksellinen. 25 s.
- [4] Sandberg Jorma (toim.). Ydinturvallisuus. Kirjasarja: Säteily- ja ydinturvallisuus. Hämeenlinna 2004, Säteilyturvakeskus. ISBN: 951-712-500-3. 418 s.
- [5] Hiltunen Timo. Yleiset suunnitteluperusteet. FSAR 3.1. LO1-K852-00722. Rev. 5, 2007. Fortum. Luottamuksellinen. 12 s.
- [6] YVL 2.0. 2002. Ydinvoimalaitosten järjestelmien suunnittelu. Ydinvoimalaitosohjeet. Helsinki 2002, Säteilyturvakeskus. ISBN 951-712-587-9. 11 s.
- [7] Raiko Eerikki. Käyttökokemukset ja käytön aikainen kehitys. FSAR 1.4. LO1-K852-00512. Rev. 6, 2004. Fortum. Luottamuksellinen. 20 s.
- [8] International Atomic Energy Agency. Design of emergency power systems for nuclear power plants: Safety guide. Vienna, 2004. ISBN 92-0-103504-7. 61 s.
- [9] Linnamaa Lasse. Sähköjärjestelmät – Johdanto. FSAR 8.1. LO1-K852-00775. Rev 6, 2010. Fortum. Luottamuksellinen. 9 s.
- [10] Pirinen Henri. Yleistä automaatiojärjestelmistä. FSAR 7.1. LO1-K852-00736. Rev 11, 2010. Fortum. Luottamuksellinen. 10 s.
- [11] Harti Mika. Luonnonilmiöihin ja sähkönsyötön häiriöihin varautuminen Loviisan voimalaitoksella. LO1-K859-00754. Versio 1.0, 14.4.2011. Fortum. Luottamuksellinen. 14 s.
- [12] Nuclear energy agency, committee on the safety of nuclear installations. Use and development of probabilistic safety assessment. NEA, 2007. NEA/CSNI/R(2007)12. 338 s.

- [13] Purho Tommi (koonnut). Loviisa 1 riskitutkimus, Pääraportin luku 7 &: Laitteiden luotettavuus. Loviisan voimalaitos, 2012. Fortum, Nuclear safety. Julkaisematon raportti. 72 s.
- [14] Purho Tommi (koonnut). Loviisa 1 riskitutkimus, Pääraportin luku 6 &: Inhimilliset toiminnot ja niiden luotettavuus. Loviisan voimalaitos, 2012. Fortum, Nuclear safety. Julkaisematon raportti. 244 s.
- [15] Paajanen Antti. Loviisan ydinvoimalaitoksen todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin tason 2 epävarmuustarkastelut. Diplomityö. Espoo 2011. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan koulutusohjelma. 82 s.
- [16] NRC. 2012. Probabilistic risk assessment (PRA) [WWW]. [Päivitetty: 29.3.2012. Viitattu 7.6.2012]. Saatavissa: [<http://www.nrc.gov/about-nrc/regulatory/risk-informed/pr.html>].
- [17] Nowlen S. P., Kazarians M. ja Wyant F. 2001. Risk Methods Insights Gained From Fire Incidents. Washington DC, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research. NUREG/CR-6738 ja SAND2001-1676P. 61 s.
- [18] Sirén Sami & Paavola Ilkka. Loviisa 1 vuosihuoltoseisokin paloriskiarvio. LO1-T841915-00012. Versio 1.0, 2011. Fortum. Luottamuksellinen. 18 s.
- [19] Lehto Matti & Tarkiainen Seppo. Paloriskianalyysi (palo-PSA). 1997, IVO, PSALO1: Pääraportti, luku 8.3. 70 s.
- [20] Loimula Mikko. Evaluation of Fire Risks for a Room in the Loviisa Nuclear Power Plant Using Two Methods. Diplomityö. Espoo 2009. Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen fysiikan koulutusohjelma. 86 s.
- [21] Lehto Matti. Paloriskialueiden analysointi ydinvoimalaitoksilla. Diplomityö. Loviisa 1991. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan osasto. 79 s.
- [22] PSA-ELTIE. 1997 [tietokanta]. Fortum [viitattu 19.9.2012]. Luottamuksellinen.
- [23] Lehto Matti. PSA-ELTIE tietokannan täydentäminen [Ohje]. Espoo 2003, Fortum. Luottamuksellinen. 5 s.
- [24] Välisuo Martti. Automaatiouudistuksen valmistelu, Automaatiouudistuksen periaatesuunnitelma. LO1-K600-600-00064. Loviisan voimalaitos 15.1.2004, Fortum. Luottamuksellinen. 103 s.

- [25] Ulf Lindén. Diplomi-insinööri, Paikallisjohtaja, Fortum Power & Heat Oy. Sähköpostiviestit 19.11.2012.
- [26] Virtanen Juha. Redundanssierotuksen huomioiminen prosessi-, putkisto-, sähkö- ja automaatio suunnittelussa. T-01-00013, versio 2.0. Loviisan voimalaitos 26.8.2009. Luottamuksellinen. 15 s.
- [27] Sievers, Kimmo. LARA, LO2, Automaation runkokaapeleiden tutkaus. Asennussuunnitelma. LO2-K691-691-00025. Versio 1.0, 12.7.2010. Fortum. Luottamuksellinen. 15 s.
- [28] Microsoft. Siirtyminen Access 2010-versioon Access 2003-versiosta [WWW]. [Viitattu 13.11.2012]. Saatavuus: <http://office.microsoft.com/fi-fi/access-help/siirtyminen-access-2003-sta-access-2010-ee-HA101886851.aspx?CTT=1>.