

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
School of Energy Systems
Energiatekniikka

Tino Kallio

Ydinvoimalaitoksen suojarakennuksen eristys

Työn tarkastaja: Professori Juhani Hyvärinen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Energiatekniikka

Tino Kallio

Ydinvoimalaitoksen suojarakennuksen eristys

Diplomityö 2021

Tarkastaja: Professori Juhani Hyvärinen

Ohjaajat: DI Mika Harti

DI Olli Suurnäkki

71 sivua, 4 taulukkoa ja 7 kuvaa.

Hakusanat: Loviisan ydinvoimalaitos, suojarakennus, eristysventtiili

Diplomityössä tutkitaan ydinvoimalaitoksen suojarakennuksen eristämiseen liittyviä asioita. Työssä käsitellään suojarakennuksen tarkoitusta, kansainvälisten ydinvoimaorganisaatioiden vaatimuksia suojarakennuksen eristykselle ja suojarakennuksen eristyksen toiminnallista toteutusta. Diplomityön osana tehdään Loviisan ydinvoimalaitoksen eristysventtiilien kartoitus ja eristysventtiileihin liittyvä YVL-vaatimusten täyttymisarvio.

Diplomityössä havaittiin, että jotkin laitoksen suojarakennuksen eristykseen käytetyt ratkaisut eivät täytä uusimpia selvästi tiukentuneita vaatimuksia ja joiltain osin vaatimusten käytännön tason soveltaminen on epäselvää. Tapaukset, joissa vaatimukset eivät täyty on jaoteltu luokkiin, ja niille on tehty tapauskohtaiset jatkotoimenpide-ehdotukset.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
School of Energy Systems
Energy Technology

Tino Kallio

Nuclear power plant containment isolation

Master's Thesis 2021

Examiner: Professor Juhani Hyvärinen

Supervisors: M. Sc. Mika Harti

M. Sc. Olli Suurnäkki

71 pages, 4 tables and 7 figures.

Keywords: Loviisa nuclear power plant, containment, isolation valve

In this Master's Thesis, issues related to nuclear power plant containment are studied. The purpose of isolation, requirements of international nuclear organizations and implementation in functional level are discussed. As a part of the study, isolation valves of Loviisa nuclear power plant and their properties are listed in order to analyze if they meet the current YVL requirements.

In the study it was found that some solutions used for the isolation of the containment don't fulfill the current requirements. In some cases it was unclear how the regulations should be applied in practice. Cases where regulations weren't met were divided into classes and separate suggestions for the future were provided to them.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENNELUETTELO

1	Johdanto	7
1.1	Työn tavoite.....	8
1.2	Tutkimusrakenne	9
2	Syvyysuuntainen turvallisuusperiaate ydinvoimalaitoksissa	10
2.1	Syvyysuuntaisen turvallisuusperiaatteen soveltaminen ydinvoimalaitoksen suunnittelussa	12
2.1.1	Onnettomuusluokat ja vikakriteerit.....	12
2.1.2	Ydinlaitoksen turvallisuusluokitus.....	14
2.1.3	Suojarakennus säteilyn ja radioaktiivisuuden leviämistään.....	14
2.1.4	Sisäisiltä ja ulkoisilta tapahtumilta suojautuminen.....	15
3	Laitosesittely	17
3.1	Loviisan ydinvoimalaitoksen suojarakennus	19
3.2	Suojarakennuksen rajapinnan puhkaisevat aukot ja muut läpiviennit.....	21
4	Suojarakennuksen eristyksen toiminnallisuutta koskevat viranomaisvaatimukset.....	23
4.1	Kansainvälinen näkemys suojarakennuksen eristämisestä.....	23
4.1.1	IAEA	24
4.1.2	WENRA	25
4.1.3	NRC	26
4.2	YVL-vaatimukset suojarakennuksen eristyksestä.....	27
4.3	Eroavaisuudet YVL-säännösten ja kansainvälisen säännösten välillä.....	30
5	Loviisan suojarakennuksen eristystoiminnot	32
5.1	Eristysjärjestelmän suunnitteluperusteet	32
5.2	Laitossuojauksen suunnitteluperusteet	34
5.3	Eristyssignaalien laukaisukriteerit	35
5.4	Laitossuojaussignaalin muodostuminen.....	36
5.5	Suojarakennuksen eristyksen SAM-varmennus	37
5.6	SAM-varmennettavien eristysventtiilien paikallisohjaus.....	38
6	Suojarakennuksen tiiveys.....	39
6.1	Vuotobudjetti.....	39
6.2	Tiiveyskoeyhteet.....	39
6.3	Suojarakennuksen tiiveyden turvallisuustekniset käyttöehdot.....	40
6.4	Eristysventtiilien ja niiden toimilaitteiden kunnossapito	41

7	Eristysventtiilien toimilaitteiden kelpuus.....	42
7.1	Loviisan ydinvoimalaitoksen eristysventtiilien toimilaitteiden olosuhdekelpuutukset 42	
8	Suojarakennuksen eristyksestä auki jäävät putkilinjat.....	45
8.1	Tuorehöyry- ja syöttövesilinjat.....	45
8.2	Hätälisävesijärjestelmä ja hätäjäähdytysjärjestelmä.....	46
8.3	Normaali lisävesijärjestelmä	46
8.4	Suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmä.....	46
8.5	Lämpökilven alaslaskujärjestelmä.....	47
9	Suojarakennuksen eristykseen liittyvä riskitutkimus.....	48
9.1	Riskitutkimuksen kattavuus ja alkutapahtumat	48
9.1.1	Suojarakennuksen eristyksen luotettavuusmallissa käytetyt oletukset	48
9.1.2	Eristysventtiilit PRA-mallissa.....	49
10	Työn kuvaus.....	51
10.1	Excel työkalun kuvaus	51
10.2	Esimerkkitapaus 1: Pääkiertopumpun tiivistevesilinja	53
10.3	Esimerkkitapaus 2: Paineistimen näytelinja	55
10.4	Esimerkkitapaus 3: Puhdas välijäähdytyspiiri	56
11	Tulokset ja ehdotukset jatkotoimenpiteille	59
11.1	Laitoksen pienet putkilinjat.....	59
11.2	Laitoksen dokumentoinnista puuttuvat eristysventtiilit	60
11.3	Olosuhdekelpuutukset.....	60
11.4	SAM-varmennukset	61
11.5	Muut huomiota vaativat tapaukset	62
11.6	Tulosten ja oletusten varmistaminen laitoskierroksella	64
12	Yhteenveto	65
13	Lähteet.....	67

LYHENNELUETTELO

DBC	Design Basis Condition
DEC	Design Extension Condition, oletetun onnettomuuden laajennus
DN	Diameter Nominal, putken kokoa kuvaava nimellishalkaisija millimetreissä
FSAR	Final Safety Analysis Report, lopullinen turvallisuusseloste
FC	Kriittisyystärkeys
IAEA	International Atomic Energy Agency, kansainvälinen atomienergiajärjestö
LOCA	Loss of Coolant Accident, jäähdytteenmenetysonnettomuus
MSLB	Main Steam Line Break, tuorehöyryputken katkeamisonnettomuus
mSv	Millisievert, säteilyannoksen yksikkö
NRC	Nuclear Regulatory Commission, Yhdysvaltojen ydinturvallisuusviranomaisen
PRA	Probabilistic Risk Assessment, todennäköisyysperäinen riskianalyysi
RIF	Riskinnousuarvio
SAM	Severe Accident Management, vakavan reaktorionnettomuuden hallinta
STUK	Säteilyturvakeskus
TBq	Terabecquerel, aktiivisuuden yksikkö
TTKE	Turvallisuustekniset käyttöehdot
WENRA	Association of Regulators of Western Europe, Länsi-Euroopan turvallisuusviranomaisten järjestö
YVL	Ydinturvallisuusohjeet

1 Johdanto

Ydinvoima on jo vuosikymmeniä toiminut tärkeänä osana Suomen sähköntuotantoa. Vuonna 2020 noin kolmasosa Suomen sähköntuotannosta oli ydinvoimaa (Energieollisuus 2021), ja luku kasvaa lähitulevaisuudessa Olkiluodon 3. yksikön aloittaessa sähköntuotannon. Uutta ydinvoimalaitosta suunnitellaan myös rakennettavaksi Pyhäjoelle.

Ydinvoimalla on tärkeä rooli ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Tulevaisuudessa yhä kasvava tuuli- ja aurinkoenergian tuotanto lisää volatilitteettia sähkömarkkinoilla, kun erot tuntikohtaisessa sähköntuotannossa voivat olla suuria. Ydinvoiman tasainen perustuotanto auttaa sähkön kysynnän ja tarjonnan kohtaamisessa, ja perustuotannon tasaisuus on arvokasta myös tulevaisuudessa.

Ydinvoiman haasteena on radioaktiivisuus ja ionisoiva säteily. Ionisoiva säteily on suurissa määrissä ihmiselle vaarallista, jonka vuoksi ympäristöä pyritään suojelemaan sen vaikutuksilta. Tämän vuoksi ydinvoimalaitokset suunnitellaan mahdollisimman turvallisiksi, ja radioaktiivisten aineiden leviäminen pyritään estämään. Samasta syystä ydinvoimalaitoksia myös valvotaan tarkasti.

Säteilyturvakeskuksen (STUK) tehtävänä on valvoa ydinlaitoksen toimintaa sen koko elinkaaren aikana. Ydinenergialain (990/1987) 7 r § mukaisesti STUKin vastuulla on turvallisuusvaatimusten asettaminen. STUKin ylläpitämät ydinturvallisuusohjeet (YVL-ohjeet) nojaavat ydinenergialain (990/1987) 7 a § periaatteisiin, jonka mukaan ”*Ydinenergian käytön turvallisuus on pidettävä niin korkealla tasolla kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista.*”. Pykälä edellyttää myös ydinturvallisuuden jatkuvaa kehittämistä, jonka vuoksi YVL-ohjeita päivitetään jatkuvasti. (STUK 2020a). Ydinenergialaissa ja -asetuksessa annetaan joitakin laitoksen tekniikkaan ja organisaatioon liittyviä vaatimuksia, mutta pääasiallisesti vaatimukset esitetään STUKin määräyksissä ja YVL-ohjeissa.

Turvallisuusvaatimusten kehittämisen yhteydessä esiin nousee uusia vaatimuksia ydinturvallisuuden parantamiseksi, joita ei ydinvoimalaitoksen alkuperäisessä suunnittelussa ole välttämättä huomioitu. Ydinenergialaki mahdollistaa kuitenkin sen, että laitoksen luvanhaltija voi esittää YVL-vaatimuksista poikkeavan menettelytavan tai hakea YVL-

ohjepoikkeamaa, kunhan lait ja asetukset sekä STUKin määräykset täyttyvät. Ydinvoimalaitoksen suojarakennusta käsittelevä YVL B.6 päivitettiin 15.9.2019, edellisen version ollessa vuodelta 2013. Tämän myötä suojarakennuksen eristykseen liittyviin vaatimuksiin tuli selviä tiukennuksia.

1.1 Työn tavoite

Diplomityön tavoitteena on tarkastella Loviisan ydinvoimalaitoksen suojarakennuksen eristystä päivitetyn YVL B.6 ohjeen kannalta. Suojarakennuksen eristyksellä tarkoitetaan suojarakennuksen läpäisevien linjojen eristysventtiilien tai ilmastointipeltien sulkemista, jotka ovat laitoksen normaalin käytön aikana auki.

Osana työtä selvitetään kuinka suojarakennuksen eristys nähdään kansainvälisellä tasolla, ja miten suojarakennus toimii osana ydinvoimalaitoksen turvallisuustoimintoja- ja periaatteita. Tavoitteena on tutkia miten eristysventtiilit liittyvät suojarakennuksen toimintaan, ja edelleen mitä asioita eristysventtiilien toimintaan liittyy.

Työn tarkoituksena on selvittää läpivientikohtaisesti täyttävätkö eristysventtiilit ja ilmastointipellit nykyiset YVL-vaatimukset eri läpivientien kohdalla. Työssä määritellään mahdollisia keinoja parantaa vaatimustenmukaisuutta. Työ toimii turvallisuusarvion lähtötietona varsinkin siinä tapauksessa, jos uudet vaatimukset eivät täytyisi.

Laitoksen nykyiset käyttöluvut ovat voimassa vuosiin 2027 ja 2030. Fortum käynnisti 13.8.2020 ympäristövaikutusten arviointimenettelyn (YVA-menettelyn), jossa tarkastellaan laitosten käytön jatkamista vuoteen 2050 asti (Fortum 2020). Diplomityön havaintoja voidaan hyödyntää myös käyttöään mahdollisen jatkamisen tukena.

Tavoitteena on, että työn lopuksi Loviisan ydinvoimalaitoksen molempien laitousyksiköiden kaikki eristysventtiilit ja on kartoitettu, ja niille on tehty vaatimusten täyttymisarvio. Vaatimusten täyttymisen tutkiminen on tärkeää, sillä luvanhaltijan odotetaan täyttävän YVL-vaatimukset, tai ryhtyvän toimenpiteisiin mikäli vaatimusten täyttymistä ei voida arvioida. Vaatimusten täyttymisen perusteella voidaan puolestaan ehdottaa jatkotoimenpiteitä, mikäli niille on tarvetta. Jatkotoimenpiteet voivat olla muutoksia laitokseen, ohjeistoon tai jopa

YVL-poikkeamihakemus. Kattavasta eristysventtiiliselvityksestä on myös hyötyä muille eristysventtiilien parissa työskenteleville.

1.2 Tutkimusrakenne

Diplomityö koostuu kirjallisuusosuudesta, jossa tutustutaan ydinvoimalaitoksen suojarakennuksen tarkoitukseen ja sen eristämiseen liittyviin vaatimuksiin. Viranomaisvaatimuksissa keskitytään STUKin YVL-vaatimuksiin ja kansanvälisten ydinvoimaorganisaatioiden vaatimuksiin ydinvoimalaitoksen suojarakennuksen eristämisestä.

Kirjallisuusosuudessa selvitettyjä tietoja sovelletaan käytännössä Loviisan ydinvoimalaitokseen. Työssä selvitetään, kuinka voimalaitoksen suojarakennus eristetään, ja mitkä ovat siihen johtavat syyt. Eristysventtiilejä tutkitaan monesta eri näkökulmasta, esimerkiksi kuinka ne toimivat vakavan reaktorionnettomuuden sattuessa, kuinka ne liittyvät suojarakennuksen tiiveyteen ja minkälaisia olosuhdevaatimuksia niille on.

Kartoitusta varten luodaan Excel-työkalu, johon kootaan eristysventtiilien ja ilmastointipeltien ja niiden toimilaitteiden tiedot. Näiden tietojen ja prosessilogiikan perusteella voidaan arvioida YVL-vaatimusten soveltamista ja täyttymistä eri tapauksissa. Olennaisia ovat myös järjestelmät, joihin eristys kuuluu. Kartoituksen lopputuloksena saadaan koottua olennaiset tiedot kaikista eristysventtiileistä ja -pelleistä, ja nähdään miltä osin eri vaatimukset täyttyvät. Mikäli vaatimukset eivät täyty, selvitetään mitä asialle tulisi tehdä ja annetaan ratkaisuehdotus.

2 Syvyysuuntainen turvallisuusperiaate ydinvoimalaitoksissa

Syvyysuuntainen turvallisuusperiaate on toiminut ydinturvallisuuden kulmakivenä jo vuosikymmeniä. Periaate perustuu perättäisten esteiden asettamiseen radioaktiivisen materiaalin ja ympäristön väliin, jolloin yhden esteen pettäessä seuraava toimii suojana. Fyysisiä esteitä ovat ydinpolttoaine ja sen suojaakuori, primääripiiri ja suojarakennus. (IAEA 1996)

Syvyysuuntaista ajattelutapaa sovelletaan sekä fyysisinä esteinä että toiminnallisina periaatteina. Perinteisesti syvyysuuntainen turvallisuusperiaate on jaettu viiteen osaan, jotka luetellaan taulukossa 1.

Taulukko 1. Syvyysuuntaisen turvallisuusperiaatteen toiminnalliset tasot. (IAEA 1996, 2016), (STUK 2018)

	Tavoite	Tärkeimmät keinot
Taso 1	Ennalta ehkäiseminen sen varmistamiseksi, että laitoksen käyttö on turvallista ja poikkeamat normaaleista käyttöolosuhteista harvinaisia.	Konservatiivinen suunnittelu, rakentaminen, huolto ja käyttö.
Taso 2	Häiriötilanteiden hallinta ja vikojen havaitseminen, jotta häiriötilanteisiin voidaan reagoida ja estää niiden kehittymisen onnettomuudeksi.	Laitoksen varustaminen järjestelmillä, jotka kykenevät havaitsemaan häiriötilanteita ja rajoittamaan niitä.
Taso 3	Onnettomuustilanteiden hallinta automaattisesti ja luotettavasti toimivilla järjestelmillä, jotka estävät vakavien polttoainevaurioiden syntymisen oletetuissa onnettomuuksissa ja niiden laajennuksissa.	Turvallisuustoiminnot ja onnettomuuskäytännöt.
Taso 4	Päästöjen rajoittaminen vakavissa reaktioonnettomuuksissa.	Järjestelmät, jotka varmistavat suojarakennuksen tiiveyden.
Taso 5	Seurausten lieventäminen tilanteissa, joissa ydinlaitokselta pääsee radioaktiivisia aineita ympäristöön.	Väestöön kohdistuvan säteilyannoksen rajoittaminen.

Ensisijaisesti syvyysuuntaisen turvallisuussuunnittelun perustana on ehkäistä onnettomuuksien syntyä, joita tasot 1 ja 2 kuvaavat. Tason 1 tarkoituksena on pitää normaalista käytöstä poikkeavat tilanteet harvinaisina, ja tason 2 mukaisesti laitoksella on oltava järjestelmiä, jotka pystyvät havaitsemaan ja reagoimaan näihin epänormaaleihin tiloihin. (YVL B.1 2019)

Tasojen 3-5 on tarkoitus hallita onnettomuuksia ja minimoida niiden haittavaikutuksia. Ydinvoimalaitoksessa on oltava tasolla 3 automaattisesti ja luotettavasti toimivat järjestelmät, jotka estävät vakavien polttoaineaurioiden syntymistä oletetuissa onnettomuuksissa. Polttoaineaurioiden estämisen lisäksi on estettävä radioaktiiviset päästöt ympäristöön, jolloin suojarakennus tulee eristää. Tällaisten onnettomuustilanteiden hallintaan voidaan käyttää tarvittaessa käsin käynnistettäviä järjestelmiä, jos se on turvallisuuden kannalta tarpeellista (YVL B.1 2019).

STUK jakaa tason 3 edelleen kahteen osaan, 3a ja 3b. Tason 3a tarkoituksena on hallita yksittäisistä alkutapahtumista ja niiden seurauksista johtuvia onnettomuuksia. Tasolla 3b onnettomuuksien hallinta laajenee koskemaan esimerkiksi yhteisvikoja, monimutkaisia viikayhdistelmiä ja harvinaisia ulkoisia tapahtumia. Tällaisia tilanteita kutsutaan oletetun onnettomuuden laajennukseksi ja tavoitteena on välttyä vakavilta polttoaineaurioilta. (YVL B.1 2019)

Tasolla 4 onnettomuus on edennyt vakavaksi reaktorionnettomuudeksi, jolloin tärkeäksi nousee onnettomuuden laajuuden rajaaminen ja sen vaikutusten minimointi. Tasolla 3 saavutettu suojarakennuksen tiiveys on tasolla 4 pystyttävä varmentamaan, jotta ympäristöön ei pääse radioaktiivisuutta myöskään vakavan reaktorionnettomuuden aikaisissa olosuhteissa.

Viidennellä tasolla kaikki edeltävät toiminnot ovat pettäneet, ja ympäristöön on päässyt laitokselta radioaktiivisia aineita. Tason 5 mukaisesti tähän tulee varautua laitoksen ympäristöön kohdennettavilla toimenpiteillä, joita voivat olla esimerkiksi lähialueiden evakuointi ja joditablettien jakaminen.

2.1 Syvyysuuntaisen turvallisuusperiaatteen soveltaminen ydinvoimalaitoksen suunnittelussa

Onnettomuuksien estämiseksi ja hallitsemiseksi ydinvoimalaitoksissa on oltava järjestelmiä, joiden avulla reaktori voidaan pysäyttää ja pitää alikriittisenä, poistaa jälkilämpöä ja pitää radioaktiiviset aineet laitoksen sisällä. Näiden järjestelmien suunnittelussa tulee soveltaa moninkertaisuus-, erottelu- ja erilaisuusperiaatteita (STUK Y/1/2018). Suojarakennuksen rooli radioaktiivisten aineiden leviämissestään tulee siis täyttää nämä periaatteet.

Syvyysuuntaisen turvallisuusperiaatteen tasojen on oltava toisistaan mahdollisimman riippumattomia, jotta yhden tason pettämiseen johtava syy ei aiheuttaisi myös seuraavan tason pettämistä. YVL B.1 425 mukaisesti tasojen tulee olla niin riippumattomia kuin on käytännöllisin toimenpitein mahdollista. Puolustustasojen riippumattomuuden tulee perustua toiminnalliseen erotteluun, erilaisuusperiaatteeseen ja fyysiseen erotteluun riittäväällä tavalla (YVL B.1 2019).

Vakavan reaktorionnettomuuden, eli tason 4, jälkeiseen hallittuun tilaan pääsemiseksi liittyvät järjestelmät on myös erotettava toiminnallisesti ja fyysisesti tasojen 1-3 järjestelmistä. Tason 4 järjestelmiä voi myös tilanteen vaatiessa käyttää oletetun onnettomuuden laajennustapauksissa vakavien polttoainevaurioiden estämiseen, kunhan se ei estä järjestelmää toimimasta vakavassa reaktorionnettomuudessa, mihin se on alun perin tarkoitettu (YVL B.1 2019).

2.1.1 Onnettomuusluokat ja vikakriteerit

Ydinvoimalaitosten turvallisuussuunnittelussa onnettomuudet jaetaan kolmeen pääluokkaan: oletettuihin onnettomuuksiin (DBC) ja oletettujen onnettomuuksien laajennuksiin (DEC) ja vakavaan reaktorionnettomuuteen (SAM). Oletetulla onnettomuudella tarkoitetaan sellaista poikkeamaa normaalista käyttötilasta, jonka oletetaan esiintyvän harvemmin kuin kerran sadassa käyttövuodessa. Laitoksen oletetaan selviytyvän näistä onnettomuuksista ilman vakavia polttoainevaurioita, vaikka yksittäisiä turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä olisi poissa käytöstä. (STUK 2018b)

Oletetut onnettomuudet jaetaan kahteen luokkaan niiden esiintymistodennäköisyyden mukaisesti. Luokan 1 oletettujen onnettomuuksien voidaan olettaa esiintyvän harvemmin kuin kerran sadassa käyttövuodessa, mutta vähintään kerran tuhannessa käyttövuodessa. Luokan 2 oletetut onnettomuuden voidaan olettaa esiintyvän harvemmin kuin kerran tuhannessa käyttövuodessa.

Oletettujen onnettomuuksien laajennukset jaetaan kolmeen alaluokkaan. DEC A tarkoittaa onnettomuutta, jossa odotettavissa olevaan käyttöhäiriöön tai luokan 1 oletettuun onnettomuuteen liittyy turvallisuustoiminnon toteuttamiseen liittyvä yhteisvika turvallisuusjärjestelmissä. DEC B tarkoittaa onnettomuutta, jonka aiheuttaa todennäköisyysperäisen riskianalyysin perusteella merkittäväksi havaittu vikayhdistelmä. DEC C tarkoittaa onnettomuutta, jonka aiheuttaa harvinainen ulkoinen tapahtuma, josta edellytetään selviytyvän ilman vakavia polttoainevaurioita. (YVL B.1 2019)

Vakavalla reaktorionnettomuudella tarkoitetaan tilannetta, jossa huomattava osa reaktorin polttoaineesta menettää alkuperäisen rakenteensa (STUK Y/1/2018). Häiriö- tai onnettomuustilanne saattaa edetä reaktorisydämen vaurioitumiseen, mikäli useat turvajärjestelmät ovat poissa käytöstä samanaikaisesti esimerkiksi operaattorin virheiden tai vikaantumisten vuoksi. Mikäli polttoaineen tuottamaa lämpöä ei pystytä siirtämään jäähdytyksen avulla pois, polttoaine kuumenee niin kauan kunnes se menettää rakenteensa.

Erityyppisiin onnettomuuksiin on varauduttu vikakriteereillä, jotta tarvittavat turvallisuustoiminnot saadaan toteutettua myös vikaantumisten sattuessa. Yksittäisvikakriteeri (N+1) viittaa siihen, että turvallisuustoiminto on pystyttävä toteuttamaan, vaikka mikä tahansa turvallisuustoimintoa toteuttava yksittäinen laite vikaantuisi. Vikakriteeriä N+2 sovelletaan ydinvoimalaitoksen tärkeimpiin turvallisuustoimintoihin, ja sitä on sovellettava oletetuissa onnettomuuksissa. N+2 mukaisesti turvallisuustoiminto pitää pystyä toteuttamaan, jos yksi laite on epäkunnossa ja toinen samanaikaisesti poissa käytöstä huollon tai koestuksen vuoksi (YVL B.1 2019).

Oletettujen onnettomuuksien hallintaan tarkoitettujen järjestelmien on oltava turvallisuusluokkaa 2. Oletettujen onnettomuuksien laajennuksia varten sovelletaan kevyempiä

vikakriteerejä ja turvallisuusluokkia. DEC A -onnettomuuden hallintaan sovelletaan yksittäisvikakriteeriä. DEC B ja C -tilanteiden hallintaan taas ei sovelleta vikakriteereitä. Vaka-
vien reaktorionnettomuuksien hallintajärjestelmiin sovelletaan N+1 vikakriteeriä, ja ne lue-
taan turvallisuusluokkaan 3. (YVL B.1 2019)

YVL B.1 vaatimuksen 456e mukaisesti suojarakennuksen eristystoiminnon tulee täyttää yksittäisvikakriteeri, ja eristys on pystyttävä toteuttamaan vaikka sitä toteuttava automaatiojärjestelmä tai muun tukijärjestelmän osajärjestelmä olisi poissa käytöstä korjauksen, huollon tai testauksen vuoksi. (YVL B.1 2019)

2.1.2 Ydinlaitoksen turvallisuusluokitus

Ydinlaitoksen järjestelmät, rakenteet ja laitteet on luokiteltava niiden turvallisuusmerkityk-
sen perusteella turvallisuusluokkiin 1, 2, 3 ja EYT (ei ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu).
Luokittelu perustuu deterministisiin menetelmiin, joita täydennetään todennäköisyysperäi-
sen riskianalyysin (PRA) ja asiantuntija-arvioiden avulla (YVL B.2 2019).

Ydinvoimalaitoksessa primääripiiri luokitellaan turvallisuusluokkaan 1. Turvallisuusluok-
kaan 2 tulee luokitella oletettujen onnettomuuksien varalle tarkoitetut turvallisuustoimintoja
suorittavat järjestelmät ja niiden välttämättömät tukijärjestelmät, joiden avulla laitos voidaan
saattaa turvalliseen tilaan. Turvallisuusluokkaan 2 luokitellaan myös oletetuissa onnetto-
muuksissa suojarakennuksen eristystoimintoa toteuttavat järjestelmät ja laitteet, sekä niihin
liittyvät välttämättömät tukijärjestelmät. (YVL B.2 2019)

Turvallisuusluokkaan 3 ja EYT puolestaan liittyy runsaasti erilaisia luokitusperusteita. Suo-
jarakennuksen läpäiseviin putkilinjoihin liittyy olennaisesti pienputkistoja koskeva YVL B.2
vaatimus 320, jonka mukaisesti turvallisuusluokkaan 2 kuuluva DN (nimellinen halkaisija,
mm) ≤ 50 putkisto luetaan turvallisuusluokkaan 3 (YVL B.2 2019). Suojarakennuksen
tiivetyteen liittyvät osiot luetaan kuitenkin normaalisti turvallisuusluokkaan 2, johon kuuluu
eristysventtiilit ja niiden välinen osuus.

2.1.3 Suojarakennus säteilyn ja radioaktiivisuuden leviämisestään

Suojarakennuksella on olennainen osa syvyysuuntaisessa turvallisuusperiaatteessa fyysi-
senä esteenä sekä toiminnallisten puolustustasojen toteuttajana. Fyysisesti suojarakennus

toimii viimeisenä esteenä radioaktiivisuuden leviämistä vastaan. Toiminnallisista puolustus-tasoista suojarakennus toimii tasoilla 3a, 3b ja 4, jolloin ollaan edetty onnettomuuden hal-lintaan. Tasolla 3a tehdään onnettomuuden rajaamiseksi ja hallitsemiseksi toimenpiteitä, joi-hin suojarakennuksen eristäminen kuuluu. Tason 4 mukaisessa vakavassa reaktorionnetto-muudessa suojarakennuksen tiiveys tulee edelleen pystyä varmistamaan.

Suojarakennus ei käytännössä pysty toimimaan aivan täydellisenä suojana radioaktiivisuutta ja säteilyä vastaan. Ydinenergia-asetuksessa 22 b § (19.12.2017/1001) on säädetty sallitut säteilyannosrajat, jotka ydinvoimalaitoksen normaali käyttö ja eri onnettomuudet saavat vä-estöön tuottaa. Normaalin käytön ja odotettavissa olevan käyttöhäiriön seurauksena väes-töön kuuluvan yksilön vuosiannos saa olla enintään 0,1 mSv. Luokan 1 oletetuille onnetto-muuksille raja on 1 mSv, luokan 2 oletetuille onnettomuuksille 5 mSv ja oletetun onnetto-muuden laajennukselle 20 mSv. Suomalaisen keskimääräinen vuodessa eri lähteistä saatu säteilyannos on 5,9 mSv (STUK 2020b).

Vakavasta onnettomuudesta ei saa aiheutua tarvetta väestön laajoille suojautumistoimin-noille, eikä maa- ja vesialueiden käyttörajoituksille. Vakavassa onnettomuudessa vapautu-van cesium-137 päästön raja-arvo on 100 TBq, ja mahdollisuus sen rikkoutumiselle on ol-tava erittäin pieni (YVL C.3 2019). 100 TBq päästöraja liittyy erityisesti pitkäaikaisiin maa- ja vesialueiden käyttörajoituksiin. Väestön suojatutumistoimenpiteitä tehdään ympäristön annosnopeuden perusteella, ja erilaisia suojautumistoimenpiteitä voidaan joutua tekemään myös huomattavasti pienemmän päästön kohdalla.

2.1.4 Sisäisiltä ja ulkoisilta tapahtumilta suojautuminen

Suojarakennuksen tehtävänä on ensisijaisesti suojella ympäristöä sisäisiltä tapahtumilta, ja reaktorirakennuksen tehtävä on suojella reaktorirakennuksen järjestelmiä ulkopuolisilta ta-pahtumilta. Voimalaitoksen sisäisiin uhkiin voidaan suunnittelussa varautua esimerkiksi tila- ja sijoittelusuunnitelman avulla. Laitoksen sisäisiä uhkia on tarkasteltava tapauskohtai-sesti, YVL B.7 vaatimus 311 velvoittaa tarkastelemaan ainakin seuraavia ilmiöitä sisäisinä uhkina:

- 1. tulipalot ja niistä muodostuvat savun ja kaasujen leviäminen ja räjähdykset,*

2. kemikaalien räjähdykset ja reaktiot,
3. vaarallisten kaasujen ja nesteiden vapautuminen,
4. valokaaret,
5. sähkömagneettiset häiriöt,
6. nesteitä tai kaasuja sisältävien laitteiden rikkoutumisen vaikutukset, missiilit, suihkuvoimat putkihuitaisut ja paineaallot,
7. pyörivien koneiden ja muiden laitteiden rikkoontumisesta aiheutuvat heitteet,
8. raskaiden taakkojen putoaminen,
9. tulvat paloveden ja sammutusjärjestelmän aiheuttoman toiminnan takia ja
10. ilmanvaihdon menetys ja aiheeton toiminta.

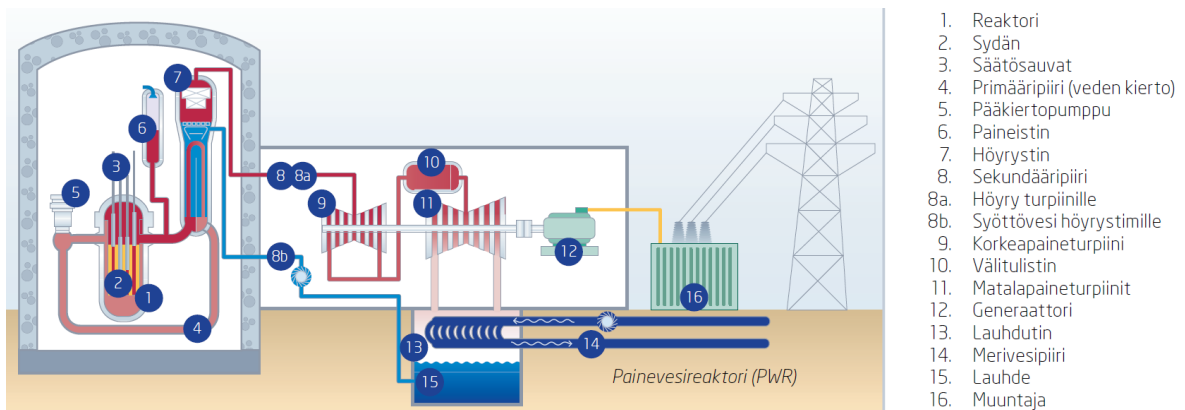
Suojarakennuksen suunnittelussa tulee huomioida oletetut onnettomuudet, joita laitoksen käytön aikana saattaa ilmetä. Näitä ovat esimerkiksi vuodot primääripiirissä, kaikenkokoiset vuodot tuorehöyry- ja syöttövesijärjestelmissä, radioaktiivista nestettä sisältävien järjestelmien rikkoutuminen ja polttoaineen käsittelyn onnettomuuden suojarakennuksen sisällä. Suojarakennuksen tulisi kestää erilaiset sisältä päin tulevat iskut, esimerkiksi raskaiden nostojen onnettomuudet, missiilit ja räjähdysen aiheuttama paineaalto. (IAEA 2019)

Reaktori- ja suojarakennuksen tulee pystyä suojelemaan primääripiiriä ja muita suojarakennuksen järjestelmiä ulkoisilta tapahtumilta.. Ulkoisiin tapahtumiin luokitellaan sääilmiöt, joita laitospaikalla voi esiintyä. Näitä sääilmiöitä ovat esimerkiksi matala ja korkea lämpötila, voimakas tuuli, korkea ja matala ilmanpaine, vesi-, lumi-, räntä-, rae- ja jäätävä sade, ilmankosteus, sumu, salamet, kuivuus ja auringon hiukkaspurkaukset (YVL B.7 2019). Sääilmiöt tulee suojarakennuksen lisäksi huomioida myös muissa suunnitteluratkaisuissa.

3 Laitosesittely

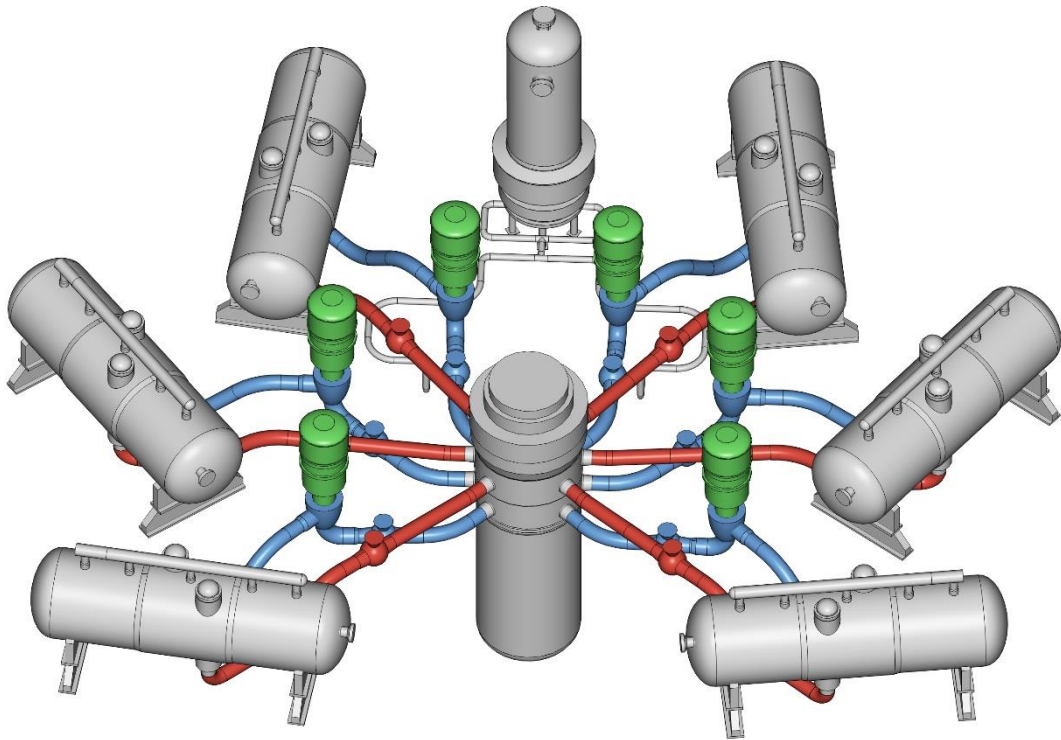
Loviisan ydinvoimalaitos koostuu kahdesta VVER-440-laitosyksiköstä, jotka on otettu käyttöön vuosina 1977 ja 1980. Alun perin 440 MW sähkötehoon suunnitellut laitosyksiköt toimivat reaktorin tehonkorotuksen ja monien hyötysuhteen parantamiseen tähänneiden hankkeiden jälkeen 507 MW sähkötehoilla (PRIS 2019). Vuosittain laitosyksiköt tuottavat yhteensä noin 8 TWh sähköä, joka vastaa kymmenesosaa koko Suomen sähkönkulutuksesta (Fortum 2020).

VVER-440 on tyypiltään painevesilaitos, joka koostuu primääripiiristä, sekundääripiiristä ja merivesipiiristä. Painevesilaitoksen periaate on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Painevesilaitoksen periaate ja pääkomponentit. (Energiateollisuus 2020)

Laitoksen toiminta perustuu reaktorissa ydinpolttoaineen fission tapahtuvaan lämmöntuottoon. Fissionreaktiossa syntynyt lämpö siirtyy polttoaineesta moderaattorina ja jäähdyttimenä toimivaan veteen, josta puolestaan lämpö siirtyy höyrystimille. Höyrystimien tarkoituksena on siirtää reaktorissa tuotettu lämpö sekundääripiiriin suuren lämmönsiirtopinta-alan avulla. Painevesilaitoksen periaatteen mukaisesti primääripiirin vesi ei kiehu, vaan se pidetään kovan paineen avulla nestemäisessä olomuodossa. Kuvassa 2 on esitetty Loviisan ydinvoimalaitoksen primääripiiri.



Kuva 2. Loviisan ydinvoimalaitoksen primääripiiri. Keskellä näkyy reaktoripainesäiliö, punaisella kuumat ja sinisellä kylmät haarat. Kylmiin haaroihin yhteydessä olevat pääkiertopumput näkyvät kuvassa vihreällä. Reaktorin yläpuolella höyrystinten välissä oleva komponentti on paineistin. (Leppäsalo 2021)

VVER-440-laitostyyppissä höyrystimiä on kuusi, ja Neuvostoliittolaisen suunnittelun mukaisesti ne on sijoitettu vaakasuoraan. Reaktorista tulevasta kuumasta haarasta primäärijäähdye virtaa höyrystimen kuumaan kollektoriin, josta se jakautuu eteenpäin halkaisijaltaan pieniin höyrystintuubeihin. Höyrystintuubien läpi virtaava jäähdye luovuttaa lämpöään sekundääripuolelle, jolloin matalammassa paineessa oleva sekundääripiirin vesi höyrystyy. Primäärijäähdye poistuu tuubien jälkeen höyrystimen kylmästä kollektorista kylmään haaraan. Kylmässä haarassa sijaitsevat primääripiirin pääkiertopumput, joita on yksi jokaista höyrystintä kohden, eli yhteensä kuusi kappaletta. Pääkiertopumpun tehtävänä ylläpitää vesikiertoa höyrystimien ja reaktorin välillä. Primääripiirin painetta hallitaan vettä ja höyryä sisältävän paineistimen avulla, joka on yhteydessä primääripiiriin. (Leppäsalo 2021)

Höyrystimien sekundääripuolella höyrystynyt vesi johdetaan höyrytukkien kautta laitoksen tuorehöyrylinjaan, josta se jatkaa matkaa turbiinille. Turbiinin läpi mennessään höyryn paine

laskee ja ominaistilavuus kasvaa höyryn luovuttaessa energiansa turbiinin liike-energiaksi, joka muutetaan generaattorin avulla sähköksi. Turbiinivaihe on jaettu paineen mukaisesti korkeapaine- ja kahteen matalapaineturbiiniin, joiden välissä on höyryn välitulistus. Voimalaitoksen tärkeimpiä prosessiarvoja on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Loviisan ydinvoimalaitoksen prosessiarvot. (Leppäsalo 2021)

	Lämpötila [°C]	Paine [bar]
Primääripiirin kuuma haara	299	123
Primääripiirin kylmä haara	265	127
Tuorehöyry	255	44
KP turbiinin jälkeen	140	3,3
Lauhdutin	25	0,03

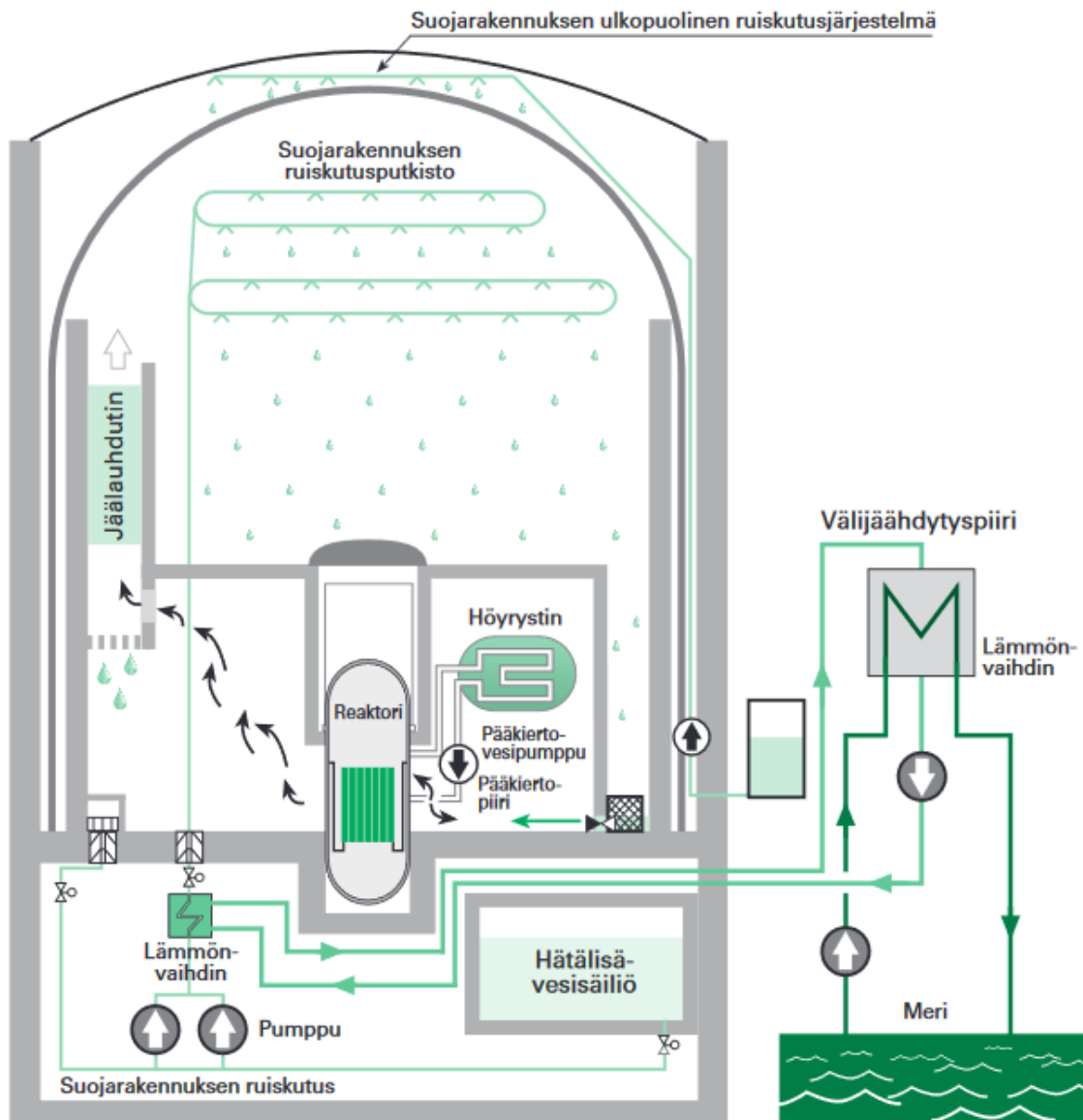
Kun höyry on paisutettu lähes tyhjiöön, se ohjataan lauhduttimeen, jossa höyry lauhtuu takaisin vedeksi. Lauhtumisessa vapautunut lämpö ohjataan merivesipiirin avulla lämpönieneluna toimivaan mereen. Lauhduttimen prosessiarvot muuttuvat hieman vuodenaikojen mukaan riippuen meriveden lämpötilasta. Lauhduttimen jälkeen lauhde puhdistetaan, esilämmitetään ja siirretään syöttövesisäiliöihin. Syöttövesisäiliöiden jälkeen sijaitsevat pääsyöttövesipumput, joilla vesi siirretään korkeapaine-esilämmityksen jälkeen takaisin höyrystimien sekundääripuolelle, ja kierto voi alkaa alusta. (Leppäsalo 2021)

3.1 Loviisan ydinvoimalaitoksen suojarakennus

Loviisan ydinvoimalan ensimmäinen laitosyksikkö tilattiin Neuvostoliittolaiselta V/O Technopromexportilta vuonna 1970. Voimalaitoksen suunnittelu, rakentaminen ja käyttöönotto suoritettiin kansainvälisenä yhteistyönä.

Laitoksen alkuperäinen omistaja Imatran Voima (IVO) ja Suomen viranomaiset edellyttivät, että laitoksen tulee täyttää länsimaiset turvallisuusvaatimukset. Näin ollen Loviisan voimalaitokseen lisättiin tehokkaampi hätäjähdytysjärjestelmä ja suojarakennus, jota ei alkuperäisessä VVER-440-suunnittelussa ollut (Eurasto et al. 2004a). Loviisan voimalaitos eroaakin muista VVER-440-laitoksista erityisesti turvajärjestelmiensä kohdalla.

Loviisan voimalaitokset edustavat VVER-440 mallia V213, johon tyypillisesti kuuluu kaasutiivis höyrystintila, paineenhallintaan tarkoitettu bubbler-lauhdutintorni ja ilmastointikeskus (Prandorfy 2001). Loviisan laitosta vanhemmat VVER-440-yksiköt puolestaan ovat mallia V230, joissa on kaasutiivis höyrystintila ja ilmastointijärjestelmä (Prandorfy 2001). Loviisan suojarakennus on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Loviisan ydinvoimalaitoksen suojarakennus ja onnettomuustilanteissa käytettävä hätälämmönsiirto- ketju. (Eurasto et al. 2004b)

Kuvan 3. mukaisesti suojarakennuksessa on kaksi osaa, joista sisempi on valmistettu teräksestä ja ulompi teräsbetonista. Uloimmasta suojarakennuksesta käytetään myös nimitystä reaktorirakennus. Teräksinen suojarakennus on vapaasti seisova hitsattu teräspainesäiliö,

joka koostuu kupolista, sylinterimäisestä keskiosasta, ja tasopohjasta. Tasopohjaan kuuluu teräksellä vuorattu reaktorikuoppa. (Leppäsalo 2021)

Reaktorirakennuksen ja suojarakennuksen välinen tila, ulompi välitila, pidetään käynnin aikana alipaineisena, ja sen kautta on mahdollista onnettomuustilanteessa kerätä ja suodattaa pienet vuodot. Suojarakennuksen parametrejä on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Teräksisen suojarakennuksen parametrejä. (Leppäsalo 2021)

Bruttotilavuus	74500 m ³
Suunnittelupaine	170 kPa
Sallittu vuoto	0,2 % tilavuudesta/vuorokausi suunnittelupaineessa

Alhaisen suunnittelupaineen mahdollistaa suojarakennuksen jäälauhdutin. Fyysisesti jäälauhdutin sijaitsee suojarakennuksen ylä- ja alatilan välissä, kuten kuvasta 1. nähdään. Jäälauhdutinsuojarakennuksen periaatteena on, että primääripiirin vuodosta aiheutuva höyry kulkee jäälauhduttimien kautta suojarakennuksen ylätilaan. Tällöin merkittävä osa höyrystä tiivistyy vedeksi, jolloin suojarakennuksen paineenousua saadaan rajoitettua. Tämänkaltaisen suojarakennuksen etuna on, että jäähdytteenmenetysonnettomuudessa (LOCA) paineenousu jää muihin ratkaisuihin verrattuna pieneksi. Jäähdytteenmenetysonnettomuudella tarkoitetaan primääripiirin vuotamista suojarakennukseen. Alhainen suunnittelupaine taas helpotti suojarakennuksen rakenteellista suunnittelua, sillä primääripiiri vaatii runsaasti tilaa. (Eurasto et al. 2004)

3.2 Suojarakennuksen rajapinnan puhkaisevat aukot ja muut läpiviennit

Suojarakennuksessa on monia erikokoisia aukkoja, jotka tulee huomioida suorarakennuksen tiiveyttä ja eristämistä tarkasteltaessa. Sulut koostuvat aina kahdesta ovesta, joista vähintään toisen on pysyttävä kiinni tiiveysvaatimusten ollessa voimassa.

Suurin aukko on materiaalisulku, jonka kautta tehdään suuri ja raskas tavaraliikenne suojarakennukseen ja sieltä pois. Materiaalisulku koostuu materiaalikäytävälle avautuvasta suuresta teräsovesta ja sulun yläosassa olevasta vaakaluukusta, joka avautuu suojarakennuksen sisälle. Materiaalisulussa on normaalin tiivisteen lisäksi varatiiviste onnettomuuksia varten.

Henkilökulkuaukkoja suojarakennuksen sisälle on kaksi, joista toinen toimii varakulkuaukkona. Henkilökulkuaukko koostuu kahdesta sähkökäyttöisestä ovesta, jotka on tarvittaessa myös mahdollista avata ja sulkea käsin. Myös reaktorikuoppaan on olemassa kulkuaukko, jonka ovet ovat käsikäyttöisiä. Molemmat ovet on varustettu itsetiivistyvillä kaksoistiivisteillä ja lisäkiristimillä. (Leino 2017)

Työssä käsiteltävien putkilinjojen lisäksi suojarakennuksen rajapinnan lävistää myös moni muu läpivienti. Mittausputkiläpivientejä on laitossyksikköä kohden 25 kappaletta, joiden läpi kulkee useita pieniä putkilinjoja, ei pelkästään mittausputkia. Suojarakennuksen lävistää kaksi jäätäyttyöputkea, joiden päät on tulpattu umpilaiipoilla. Tarkastuslaitteiden kaapeleita varten on kolme läpivientiä, kaksi suojarakennuksen pohjasta höyrystintilaan ja yksi reaktorikuoppaan. Sähköläpivientejä on molemmilla laitossyksiköillä satoja. (Immanen 2020)

4 Suojarakennuksen eristyksen toiminnallisuutta koskevat viranomaisvaatimukset

STUKin ylläpitämissä YVL-vaatimuksissa suojarakennusta käsitellään osiossa B.6. Vaatimukset pohjautuvat edellä esitettyyn syvyysuuntaiseen turvallisuusperiaatteeseen, jonka mukaan suojarakennuksen on toimittava radioaktiivisen aineen leviämisestään. Samalla se toimii yhdessä reaktorirakennuksen kanssa biologisena suojana säteilyltä.

Suojarakennukselle esitettäviin perusvaatimuksiin kuuluu sen eheys ja läpivientien tiiveys. Suojarakennuksen tulee säilyttää tiiveytensä käyttöhäiriöissä ja onnettomuustilanteissa. Suunnittelussa tulee huomioida onnettomuustilanteissa syntyvät olosuhteet. Vakavan reaktorionnettomuuden sattuessa hallitun tilan saavuttamiseen ja ylläpitoon tarvittavat järjestelmät on oltava riippumattomia normaalia käyttöä, käyttöhäiriöitä ja muita onnettomuuksia varten suunnitelluista järjestelmistä (YVL B.6 2019).

Reaktori- ja suojarakennus toimivat reaktorin ja muun primääripiirin suojana luonnosta ja ihmisen toiminnasta johtuville ulkoisille tapahtumille, ja se on suunniteltava ne huomioiden. Suojarakennuksen suunnittelussa on huomioitava, että oletetun onnettomuuden ja sen laajentumisen jälkeen laitos voidaan saattaa tilaan, jossa polttoaineen poisto reaktorista on mahdollinen. (YVL B.6 2019)

Suojarakennuksen eristyksestä on esitetty ohjeita ja vaatimuksia monien eri organisaatioiden taholta. STUK on hyödyntänyt YVL-vaatimusten luomisessa ja päivittämisessä useita kansainvälisiä lähteitä, ja osaltaan ollut mukana luomassa niitä. Näin ollen Suomessa käytettävät YVL-vaatimukset vastaavat ainakin suurimmilta osin kansainvälisiä vaatimuksia.

4.1 Kansainvälinen näkemys suojarakennuksen eristämisestä

Tässä kappaleessa käsitellään kansainvälisten ydinvoimaorganisaatioiden ohjeita ja vaatimuksia suojarakennuksen suunnittelulle ja eristykselle. Eri ydinvoimaorganisaatioita on paljon, ja niiden linjaukset ovat pääosin yhteneviä. Työssä tarkasteltavia organisaatioita ovat International Atomic Energy Agency (IAEA), Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) ja Yhdysvaltalainen Nuclear Regulatory Commission (NRC).

Kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA julkaisee mm. ydinvoimamaiden yhdessä laatimia vaatimuksia ja ohjeita ydinvoimalaitosten suunnittelua varten. EU:n ydinvoimamaiden ydinturvallisuusviranomaisten yhdistys WENRA puolestaan pyrkii harmonisoimaan jäsenmaidensa ydinturvallisuusvaatimuksia. NRC on puolestaan Yhdysvalloissa toimiva ydinvoimaloita valvova viranomainen. Loviisan voimalaitoksen turvallisuusperiaatteet ja suojarakennuksen eristys suunniteltu NRC:n vaatimusten mukaisesti.

4.1.1 IAEA

IAEAn viimeisin ydinvoimalaitoksen suunnittelua koskevat turvallisuusvaatimukset esitetään dokumentissa SSR 2/1 rev. 1. Julkaisun taustalla on vuonna 2011 tapahtunut Fukushima Daiichin onnettomuus, jonka vuoksi turvallisuusvaatimuksia ja niiden soveltamista ydinvoimalaitoksissa oli parannettava. (IAEA 2016)

IAEA:n mukaisesti suojarakennuksella on kolme päätarkoitusta: radioaktiivisten aineiden sulkeminen sisälle normaalin käytön aikana ja onnettomuusolosuhteissa, reaktorin suojeleminen luonnollisilta ulkoisilta tapauksilta ja ihmisten aiheuttamilta ulkoisilta tapauksilta ja säteilysuojana toimiminen normaalin käytön aikana ja onnettomuusolosuhteissa. (IAEA 2016)

Radioaktiivisten päästöjen määrä ympäristöön on pidettävä niin alhaisena kuin on käytännöllisesti mahdollista. Suojarakennuksen aukot ja läpiviennit on suunniteltava niin, että niiden tiiveys pystytään mittaamaan suojarakennuksen suunnittelupaineessa. Läpivientien lukumäärä suojarakennuksessa on pidettävä mahdollisimman alhaisena, niihin sovelletaan samoja suunnitteluvaatimuksia kuin suojarakennukseenkin. Läpiviennit on suojattava iskuilta, joita esimerkiksi missiilit ja suihkuvoimat voivat aiheuttaa.

Julkaisun vaatimus 56 koskee suojarakennuksen eristystä. Sen mukaisesti jokainen putkilinja, joka lävistää suojarakennuksen ja on yhteydessä reaktorin jäähdytteen painerajaan (reactor coolant pressure boundary), on oltava automaattisesti ja luotettavasti suljettavissa. Putkilinjat, jotka ovat yhteydessä suojarakennuksen ilmatilaan tai reaktorin jäähdytteen painerajaan tulee varustaa ainakin kahdella peräkkäin asetetulla eristysventtiilillä. Eristysventtiilien tulee sijaita mahdollisimman lähellä suojarakennuksen seinämää, ja niiden tulee

pystyä toimimaan luotettavasti ja itsenäisesti. Poikkeus tähän vaatimukseen sallitaan instrumentointilinjoille, ja muille pienemmän tärkeyden putkilinjoille, joita vaatimuksessa ei erikseen luetella. (IAEA 2016)

Mikäli suojarakennuksen lävistävä putkilinja ei ole yhteydessä suojarakennuksen ilmatilaan tai reaktorin jäähdytteen painerajaan, putkilinjalle riittää yksi suojarakennuksen ulkopuolella sijaitseva eristysventtiili, jonka pitää sijaita mahdollisimman lähellä suojarakennusta.

IAEAN julkaisu ”Design of the Reactor Containment and Associated Systems for Nuclear Power Plants, Specific Safety Guide SSG-53” tarkentaa SSR-2/1 rev. 1 esitettyjä vaatimuksia suojarakennuksen eristykselle. Sen mukaisesti kaksi eristysventtiiliä tulee olla tapauksissa, jossa putkilinja on yhteydessä primäärijäähdytteeseen tai suojarakennuksen ilmatilaan normaalitilanteessa tai onnettomuudessa. Tämän myötä kaksi eristysventtiiliä tulee olla myös esimerkiksi järjestelmissä, jotka syöttävät vettä primääripiiriin tai suojarakennukseen onnettomuuksissa. (IAEA 2019)

Putkilinjat, jotka eivät ole yhteydessä primäärijäähdytteeseen tai suojarakennuksen ilmatilaan, tulee varustaa vähintään yhdellä suojarakennuksen ulkopuoleisella eristysventtiilillä, jonka on oltava automaattisesti toimiva, perustilaltaan suljettu tai kauko-ohjattava venttiili. Pienet toisesta päästä suljetut suojarakennuksen lävistävät instrumentointilinjat, tulisi niin ikään varustaa vähintään yhdellä suojarakennuksen ulkopuolisella eristysventtiilillä. (IAEA 2019)

Instrumentointilinjat, jotka eivät ole yhteydessä ilmakehään, eivät tarvitse erikseen eristysventtiiliä. Sen sijaan huone, johon nämä linjat menevät tulisi varustaa suodatusjärjestelmällä ja pitää alipaineisena. (IAEA 2019)

4.1.2 WENRA

WENRAn Safety Reference Levels for Existing Reactors uusin versio julkaistiin vuonna 2014, jolloin siihen oltiin päivitetty Fukushima onnettomuudessa saatujen kokemusten perusteella tehdyt muutokset. WENRAn ohjeet eristysventtiileille ovat samankaltaiset kuin IAEA:lla. Suojarakennuksen seinämän läpäisevä putkilinja, joka on yhteydessä

primäärijäähdytteen painerajaan tai suojarakennuksen ilmatilaan tulee varustaa kahdella automaattisella ja luotettavasti suljettavalla eristysventtiilillä, joiden tulee sijaita mahdollisimman lähellä suojarakennusta. Julkaisussa ei eritellä tarkemmin venttiilityyppejä, tai tapauksia joissa toinen venttiili olisi perustilaltaan suljettu. Mikäli yhteyttä ilmatilaan tai primäärijäähdytteeseen ei ole, yksi eristysventtiili riittää. (WENRA 2014)

4.1.3 NRC

NRC:n ylläpitämä NUREG-0800 6.2.4 rev. 3, Containment Isolation System tarjoaa paljon yksityiskohtaisia linjauksia suojarakennuksen eristysjärjestelmälle. Sen mukaisesti suojarakennus ja siihen liittyvien toimintojen tulee yhdessä toimia tiiviinä suojana radioaktiivisuuden leviämistä vastaan. Mikäli putkilinja on yhteydessä primäärijäähdytteen painerajaan tai suojarakennuksen ilmatilaan tulee läpiviennissä olla kaksi eristysventtiiliä, yksi eristysventtiili suojarakennuksen sisäpuolella ja toinen ulkopuolella. Eristysventtiili saa olla kiinni lukittu tai automaattisesti toimiva. Suojarakennuksen ulkopuolinen eristysventtiili ei saa olla tyyppiltään takaiskuventtiili.

Mikäli yhteyttä suojarakennuksen ilmatilaan, primäärijäähdytteen painerajaan tai ilmakehään ei ole, edellytetään yksi suojarakennuksen ulkopuoleinen eristysventtiili, joka on kiinni suljettu, automaattisesti toimiva, tai etäohjattava.

Instrumentointilinjat, jotka ovat suljettuja suojarakennuksen sisä- ja ulkopuolelta ja suunniteltu kestämään LOCA:n olosuhteet, voidaan hyväksyä ilman eristysventtiilejä. LOCA:n olosuhteilla tarkoitetaan nousseita lämpötila-, paine-, säteily- ja ilmankosteustasoja suojarakennuksen sisällä, jotka aiheutuvat primäärijäähdytteen vuotamisesta.

Mikäli suojarakennuksen sisäpuolinen eristysventtiili on epäkäytännöllinen, ja sillä on vaara esimerkiksi onnettomuustilanteessa joutua veden alle, voidaan käyttää kahta suojarakennuksen ulkopuolista eristysventtiiliä.

Yksittäinen eristysventtiili on mahdollista hyväksyä, mikäli turvatoimintoa toteuttavan putkilinjan voidaan katsoa toimivan luotettavammin yhden eristysventtiilin kanssa, putkilinja on suojarakennuksen ulkopuolella suljettu, ja yksittäinen vika pystytään hoitamaan yhden

eristysventtiilin avulla. Tämän suljetun systeemin tulisi olla suojattu missiileiltä, kuulua seis-
miseen kategoriaan 1, laatustandardiltaan luokkaan B ja omata vähintään samat paine- ja
lämpötilasuunnittelu-arvot, kuin itse suojaraken-
nuksen eristysventtiileinä, mikäli niiden avautumispaine on suurempi kuin 1,5 kertaa suoja-
rakennuksen suunnittelupaine.

4.2 YVL-vaatimukset suojarakennuksen eristyksestä

Suojarakennuksen eristysventtiilejä käsitellään YVL B.6 luvussa 3. Suojarakennuksen eris-
tyksen voi jakaa eristysventtiileihin, läpivienteihin ja kulkuaukkoihin, joiden kaikkien tulee
olla tiiviitä. Diplomityössä suojarakennuksen eristysventtiilit ovat ensisijainen tarkastelun
kohde. Eristysventtiilejä koskevista vaatimuksista erityisesti 323, 324, 325, 326 ja 329a ovat
työn kannalta olennaisia.

Vaatimuksen 323 mukaisesti: ”*Jokainen putki, joka lävistää suojarakennuksen paineraja-
pinnan ja joka on yhteydessä primäärijäähdytteeseen tai yhteydessä suojarakennuksen kaa-
sutilaan, on onnettomuustilanteissa voitava sulkea luotettavasti. Tällaisessa putkessa on ol-
tava vähintään kaksi toisistaan riippumatonta peräkkäistä eristysventtiiliä. Peräkkäisiin
eristysventtiileihin on sovellettava erilaisuusperiaatetta*”.

Erilaisuusperiaatteella tarkoitetaan toiminnon varmistamista eri toimintaperiaatetta käyttä-
vällä laitteella tai järjestelmällä, joista kumpikin pystyy suorittamaan halutun toiminnon.
Erilaisuusperiaate on tässä tapauksessa kuitenkin tulkinnanvarainen käsite, ja sitä voi sovel-
taa eri tavoilla. Erilaisuusperiaate täyttyy yksiselitteisesti mikäli venttiilit toimivat eri toi-
mintaperiaatteella, esimerkiksi moottoriohjattu venttiili ja takaiskuventtiili. Toisaalta myös
erilainen käyttövoima, esimerkiksi paineilma ja sähkö täyttävät erilaisuusperiaatteen ainakin
osittain. Tarkemmin katsottuna voidaan myös vertailla venttiilin valmistajaa ja mallia, joiden
eroavaisuudet myös lisäävät turvallisuutta, kun esimerkiksi valmistajan suunnittelussa tai
valistuksessa mahdollisesti tapahtunut virhe tai venttiilin ominaisuus ei toteudu samalaisena
toisen valmistajan venttiilissä.

Vaatimus 323 on eristysventtiileiden vaatimuksista korkein, ja sitä sovelletaan kun suojaraka-
kennuksen lävistävä putkilinja on yhteydessä primäärijäähdytteeseen tai suojarakennuksen

ilmatilaan. Vaatimuksen täyttymistä tarkasteltaessa on kiinnitettävä huomiota erityisesti siihen onko kyseessä primääripiirin jäähdyte. Suojarakennuksen kaasutilaan yhteydessä olevia linjoja ovat esimerkiksi sisäpuolisen ruiskutusjärjestelmän putkisto ja ilmastointijärjestelmien kanavisto. Vaatimus 324 tarkentaa eristysventtiileille asetettuja vaatimuksia:

”Vaatimuksen 323 mukainen eristysventtiili voi olla joko kiinni lukittu tai automaattisesti toimiva, jolloin sen on oltava laitoksen suojausjärjestelmän ohjaama tai passiivisesti sulkeutuva (takaiskuventtiili). Sekä suojarakennuksen sisä- että ulkopuolella on oltava vähintään yksi eristysventtiili”. Vaatimus 324 määrittelee venttiilien ohjausta ja toimintaa. Automaattisesti toimiva venttiili seuraa laitossuojausjärjestelmän eristyssignaaleja.

Vaatimuksen mukaisesti eristysventtiili ei tarvitse automaattista ohjausta, kunhan se on perustilaltaan kiinni. Perustilalla tarkoitetaan venttiilin tilaa laitoksen normaalin käytön aikana. Perustilaltaan kiinni olevaa eristysventtiiliä voidaan kuitenkin avata esimerkiksi vuosihuollossa tehtävien toimenpiteiden vuoksi. Passiivisesti sulkeutuvalla venttiilillä tarkoitetaan käytännössä takaiskuventtiiliä, joka kuitenkin ei saa toimia suojarakennuksen ulkopuolisena eristysventtiilinä (YVL B.6 329).

Vaatimus 325 määrittelee vaatimusta 323 kevyemmän tason: *”Jokaisessa putkessa, joka lävistää suojarakennuksen painerajapinnan eikä ole yhteydessä primäärijäähdytteeseen eikä suoraan yhteydessä suojarakennuksen kaasutilaan, on oltava vähintään yksi suojarakennuksen ulkopuolinen eristysventtiili”.* Kevyempi vaatimus johtuu siitä, että suojarakennuksen lävistävä putkilinja ei ole yhteydessä primäärijäähdytteeseen tai suojarakennuksen ilmatilaan, jolloin onnettomuuden sattuessa radioaktiivisen päästön mahdollisuus sen kautta on myös pienempi.

Vaatimuksen 325 eristysventtiili määritellään tarkemmin vaatimuksessa 326, jonka mukaan: *”Vaatimuksen 325 mukaisen eristysventtiilin on oltava joko automaattisesti toimiva, kiinniasentoon lukittu tai käsin kauko-ohjattava”.* Samalla tavalla kuin vaatimuksessa 323, eristysventtiili voi olla automaattisesti ohjattava tai perustilaltaan lukittu kiinni. Myös käsin kauko-ohjattava venttiili on vaatimuksessa mahdollinen, joka tarkoittaa siis operaattorin

valvomosta ohjaamaa venttiiliä. Eroavaisuus vaatimukseen 323 tulee myös takaiskuventtiilin käytöstä, sillä se ei saa toimia suojarakennuksen ulkopuoleisena eristysventtiilinä.

Takaiskuventtiiliä ei saa käyttää suojarakennuksen ulkopuoleisena eristysventtiilinä YVL B.6 329 mukaisesti. Tämä pohjautuu NRC:n vaatimukseen, ja sen taustalla on mahdolliset ongelmat takaiskuventtiilien tiiveydessä. Peräkkäisiltä eristysventtiileiltä vaaditun erilaisuusperiaatteen mukaisesti on myös käytännöllistä, että takaiskuventtiili sijaitsee suojarakennuksen sisäpuolella ja toimilaitteellinen eristysventtiili suojarakennuksen ulkopuolella. Näin ollen on mahdollista käyttää toimilaitteellista eristysventtiiliä käsin suojarakennuksen ulkopuolelta. Myös olosuhdevaatimukset ovat selvästi lievemät. Vaatimuksesta on mahdollista poiketa, mikäli voidaan osoittaa että suojarakennuksen eristys saadaan luotettavasti toteutettua. (STUK 2019)

Vaatimuksen 329a mukaisesti: *”Suojarakennuksen eristysventtiilien ohjaustoiminto on varmistettava vakavien reaktorionnettomuuksien hallintaan suunnitelluilla järjestelmillä. Varmistuksen on oltava yksittäisvikasietoinen niiden putkien osalta, joita ei eristetä automaattisesti suojarakennuksen eristykseen johtavan alkutapahtuman yhteydessä”*. Tämän vaatimuksen mukaisesti jokaisella automaattisesti ohjattavalla eristysventtiilillä tulisi olla SAM-varmennus (Severe Accident Management). Vaatimuksen mukaisesti linjat, jotka jätetään suojarakennuksen eristyksessä auki tulisi myös varustaa yksittäisvikasietoisella SAM-varmennuksella. SAM-varmennuksen osalta eristysventtiilien ohjaustoiminnolla tulee olla kokonaan itsenäinen ohjausjärjestelmä, joka erotteluperiaatteen mukaisesti on eroteltu muista ohjaustoiminnoista.

Työssä tarkastellaan myös YVL B.1 vaatimusta 404, jonka mukaisesti: *”Ydinvoimalaitoksen kaikille järjestelmille, rakenteille ja laitteille on määriteltävä suunnitteluperusteiksi ympäristöolosuhteet, joissa niiden edellytetään toimivan. Suunnittelussa huomioon otettaviin ympäristöolosuhteisiin voivat tilanteen mukaan kuulua värähtely, lämpötila, paine, sähkömagneettiset vaikutukset, säteily, kosteus, virtaavan aineen ominaisuudet ja näiden yhdistelmät”*. Tämä vaatimus koskettaa erityisesti suojarakennuksen eristysventtiilien toimilaitteita, jotka tulisi kelpuuttaa vastaamaan relevanteja onnettomuusolosuhteita.

Eristysventtiilin turvallisuusluokkaan kohdistuu myös YVL-vaatimuksia. YVL B.2 312a mukaisesti suojarakennuksen eristystoimintoa toteuttavat järjestelmät, laitteet ja toiminnon toteuttamiseksi välttämättömät tukijärjestelmät tulee luokitella turvallisuusluokkaan 2. Vaatimuksen myötä eristysventtiilin turvallisuusluokkaan tulee olla 2, ellei eristysventtiili kuulu pieneen putkilinjaan. Pienputkistoihin liittyvien YVL B.2 vaatimusten 320 ja 321 mukaisesti turvallisuusluokkaan 2 kuuluva pienputkisto ($DN \leq 50$) voidaan luokitella turvallisuusluokkaan 3, mikäli putken vuoto ei aiheuta luokituksen perusteena olevan turvallisuustoiminnon menetystä.

4.3 Eroavaisuudet YVL-säännösten ja kansainvälisen säännösten välillä

YVL-vaatimukset ovat pääasiallisesti linjassa kansainvälisen säännösten kanssa, sillä niiden laatimisessa on ainakin hyödynnetty IAEA:n ja WENRAn näkemyksiä. Joitain eroavaisuuksia YVL-vaatimukseen kuitenkin löytyy.

YVL B.6 vaatimuksessa mainittu yhteys primäärijäähdytteeseen on mainittu IAEA:n vastineessa termillä ”reactor coolant pressure boundary”. Tällä tarkoitetaan reaktorin jäähdytysjärjestelmään kuuluvia ja siihen välittömässä yhteydessä olevia painetta kantavia osia, joihin kuuluu putkistoja, pumppuja ja venttiilejä.

Aikaisemmin suojarakennuksen eristämistä kuvaavissa vaatimuksissa käytettiin termiä primääripiiri. STUKin YVL B.6 perustelumistion perusteella termimuutoksen tarkoituksena oli kuvata paremmin vaatimuksen tavoitetta, joka on eristää primääripiirin vesi ja sen mukana kulkeutuvat fissiotuotteet. Tällä tavoin vaatimusta ei voi tulkita siten, että se koskisi vain suoraan primääripiiriin yhteydessä olevia putkia. (STUK 2019).

Termin muuttaminen luo kuitenkin haasteita laitoksen luvanhaltijalle, sillä uuden vaatimuksen myötä eristysventtiilejä saattaa puuttua järjestelmistä, jotka sisältävät primäärijäähdytettä, mutta eivät kuulu primääripiiriin. Primäärijäähdytettä löytyy laitoksella myös järjestelmistä, jotka eivät ole suoraan yhteydessä primääripiiriin painerajaan.

IAEA:n vastineen mukaisesti kahden eristysventtiilin vaatimuksesta voidaan poiketa erityisissä tapauksissa (IAEA 2016, 44), esimerkiksi instrumentointilinjojen kohdalla.

Instrumentointilinjoista mainitaan myös, että niiden kohdalla eristysventtiilit eivät ole tarpeen, mikäli putkilinjat on suunniteltu kestävään onnettomuusolosuhteita. YVL B.6 ei nykyisessä muodossaan mainitse tämänkaltaista poikkeusta instrumentointilinjoille, tai muille pienille putkilinjoille.

5 Loviisan suojarakennuksen eristystoiminnot

Suojarakennuksen eristyksen voi laukaista käynnin aikana joko primäärijäähdytteen menty tai paineen nousu suojarakennuksessa, joka laukaisee eristysventtiilejä ohjaavan laitos-suojaussignaalin. Kaikilla venttiileillä ei ole automaattista eristyssignaalia, koska joissain tapauksissa niiden kuuluu olla auki tarvittavien toimintojen suorittamiseksi tai siihen varautumiseksi, ja monet eristysventtiilit ovat perustilaltaan kiinni.

Joissain tapauksissa eristysventtiilit voivat seurata myös muita laitossuojaussignaaleja, mikäli eristysventtiili liittyy toisen turvallisuustoiminnon toteuttamiseen. Esimerkki tämänkaltaisesta tapauksesta on tuorehöyrylinjan eristysventtiilit, jotka sulkeutuvat jos tuorehöyryputkessa havaitaan vuoto.

5.1 Eristysjärjestelmän suunnitteluperusteet

Suojarakennuksen eristyksen perustana on käytetty STUKin edeltäjän, Säteilyturvalaitoksen ohjetta ”Ydinvoimalaitoksen Suunnittelussa Noudatettavat Yleiset Periaatteet”, joka on julkaistu 27.1.1976. Loviisan ydinvoimalaitoksen 1. yksikön rakentaminen oli kuitenkin näiden vaatimusten julkaisuaikana jo pitkällä, jolloin suunnitteluratkaisut oli jo tehty. Diplomi-työssä tulee samalla tarkastettua, kuinka hyvin nämä alkuperäiset suunnitteluperusteet oikein toteutuivat, vaikka laitokselle onkin tehty muutoksia ajan saatossa.

Julkaisua edelsi vuodelta 1969 olevat 70 suunnittelukriteeriä, joita ei enää ole saatavilla STUKin vanhojen YVL-ohjeiden tietokannassa. Ohjeessa esitetään seuraavat vaatimukset, mikäli suojarakennuksen lävistävä putkilinja on yhteydessä primääripiiriin tai suojarakennuksen ilmatilaan:

- 1) *Yksi kiinni lukittu eristysventtiili suojarakennuksen sisäpuolella ja yksi kiinni lukittu eristysventtiili suojarakennuksen ulkopuolella,*
- 2) *yksi automaattinen eristysventtiili suojarakennuksen sisäpuolella ja kiinni lukittu eristysventtiili ulkopuolella,*
- 3) *yksi kiinni lukittu venttiili suojarakennuksen sisäpuolella ja automaattinen ulkopuolella, ulkopuolinen venttiili ei saa olla takaiskuventtiili, tai*

- 4) yhdet automaattiset eristysventtiilit suojarakennuksen molemmin puolin. Yksinkertaista vastaventtiiliä (takaiskuventtiiliä) ei saa käyttää suojarakennuksen ulkopuolisena automaattisena eristysventtiilinä.

Eristysventtiilien tulee sijaita mahdollisimman lähellä suojarakennusta, ja käyttövoiman menettäytään niiden on asetettava korkeimman turvallisuuden takaavaan tilaan. Suljetut putkilinjat, jotka eivät ole yhteydessä primääripiiriin tai suojarakennuksen ilmatilaan tulee varustaa yhdellä suojarakennuksen ulkopuoleisella eristysventtiilillä, joka ei saa olla tyypiltään takaiskuventtiili.

Instrumentointilinjoille ja muille pienemmille putkilinjoille, on ohjeessa annettu vaihtoehto toteuttaa eristys eri tavoin, joita ei kuitenkaan tarkemmin määritellä ohjeessa. Laitoksen käytännön suunnittelun vuoksi eri toiminnallisuutta toteuttavat putkistot on jaettu eri luokkiin, jonka mukaisesti eristysventtiilejä on laitokselle sijoitettu. Suojarakennuksen eristyksen lopullisessa turvallisuusselosteessa (FSAR, Final Safety Analysis Report) on esitelty, miten eristysventtiilejä on suunnitteluvaiheessa eri putkilinjoihin sijoitettu. Taulukkoon 4 on koottu putkiston funktionaalisia luokkia, joita on käytetty suunnitteluperusteiden tarkempaan määrittelyyn.

Taulukko 1. Putkiston suunnittelu- ja eristysventtiililuokat. (Leino 2017)

Luokka	Perustelu	Eristysventtiilejä
A	Yhteys ulkopuoliseen ilmakehään ja primääripiiriin, tai avoin suojarakennuksen ilmatilaan.	2
B	Yhteys suojarakennuksen ulkopuoliseen suljettuun järjestelmään ja primääripiiriin. Saa olla avoin suojarakennuksen ilmatilaan.	1
C	Yhteys suojarakennuksen ulkopuoliseen avoimeen järjestelmään.	1
D	Yhteys suojarakennuksen ulkopuoleiseen suljettuun järjestelmään.	1

E	Normaalisti suljettuna oleva ulkopuoleinen linja. Perustilaltaan suljettu käsiventtiili suojarakennuksen ulkopuolella.	1
F	Pysyttävä toiminnassa hypoteettisten (oletettujen, DBC) onnettomuuksien jälkeen. Kauko-ohjattava käsiventtiili.	1

Taulukon 4 luokitteluista huomataan, että putkiston suunnittelu- ja eristysventtiililuokissa ei ole huomioitu yhteyttä primäärijäähdytteeseen, mikä nykyisten YVL-ohjeiden mukaan vaatisi kaksi eristysventtiiliä. Putkiluokassa B on lisäksi maininta, jonka mukaisesti se saisi olla yhteydessä ilmatilaan. Luokassa kuitenkin on vain yksi eristysventtiili, jolloin se ei ole nykyisen YVL B.6 vaatimuksen 323 mukainen. Vaatimus edellyttää ilmatilaan yhteydessä olevalta putkilinjalta kahta eristysventtiiliä.

Laitoksen eristysventtiilit luokitellaan turvallisuusluokkaan 2, ja niiden tiiveyskoeysteet turvallisuusluokkaan 3. Poikkeuksena on hätäsisävesijärjestelmän eristysventtiilit, jotka luokitellaan turvallisuusluokkaan 1, ja sen tiiveyskoeysteet turvallisuusluokkaan 2. Tiiveyskoeysteet ovat pieniä putkiyhteitä, joihin kuuluu käsin suljettava venttiili. Tiiveyskoeysteiden avulla suoritetaan eristysventtiilien tiiveyskoestukset, joita käsitellään luvussa 6.2.

Suojarakennuksen läpivientien suunnittelupaine ja -lämpötila on suunniteltu olosuhteisiin suojarakennuksessa. Eristetyllä alueella kaikkien putkistojen ja niihin liittyvien laitteiden suunnittelupaine on suojarakennuksen suunnittelupainetta korkeampi.

Suojarakennuksen eristysventtiilit ja niihin liittyvät putkistot on suojattu putkiston värähtelyltä ja pääosin myös lentäviltä irtokappaleilta. Eristysventtiilien voimanlähteet, niiden käyttölaitteet ja sulkeutumistapa on määrätty turvallisuustoimintojen mukaisesti.

5.2 Laitossuojauksen suunnitteluperusteet

Automaattisesti toimiva eristysventtiili sulkeutuu laitossuojaussignaalin käskystä, jolloin itse signaalin toimintavarmuus ja käyttäytyminen nousevat tärkeään rooliin. Laitossuojajärjestelmä osallistuu nimensä mukaisesti myös muihin turvallisuustoimintojen käynnistämiseen suojarakennuksen eristämisen lisäksi. Laitossuojauksen signaalit ohjaavat venttiilien asentoja ja pumppuja.

Laitossuojausjärjestelmä on suunniteltu vuoden 1971 julkaistun General Design Criteria for Nuclear Power Plants, USNRC, mukaisesti. Sen lisäksi sovellettiin myös IEEE:n standardia 279-1971 ”Criteria for Protection Systems for Nuclear Generating stations”. Näiden olennaisimmat suunnitteluperusteet ovat:

- 1) *Suojaustoiminto ei saa estyä yksittäisen laitteistovian vuoksi.*
- 2) *Laitossuojaus on rakennettava monikanavaiseksi, ja se on erotettava fyysisesti ja sähköisesti.*
- 3) *Laitossuojausjärjestelmä tulee olla mahdollista koestaa käytön, tai seisokin aikana.*
- 4) *Suojaussignaalin estokytkenän tulee olla mahdollista, ja sen tapahduttava automaattisesti, mikäli suojaustoimintoa tarvitaan. Poikkeamasta on tultava tieto valvomoon.*
- 5) *Suojaustoiminnot, joita käytetään vain laitoksen ohjaamiseen turvalliseen tilaan, saa olla käsiohjaukset. Sen sijaan suojaustoiminnot, joilla voi olla haitallisia vaikutuksia, tulee olla automaattisia.*
- 6) *Suojaussignaalin muodostukseen on käytettävä kahta eri prosessimuuttujaa. Mikäli se ei onnistu, on laitteiden oltava mahdollisimman luotettavia.*
- 7) *Laitossuojausjärjestelmän tila on oltava tiedossa valvomossa.*
- 8) *Laitteiden soveltuvuus on pystyttävä osoittamaan.*
- 9) *Mittauskanavien analogiaosan kuntoa on pystyttävä valvomaan.*
- 10) *Laitossuojaussignaaleilla on etusija muihin signaaleihin nähden.*
- 11) *Suojaustoiminnon on käynnistytävä automaattisesti, ja toteuduttava täydellisesti.*
- 12) *Laitossuojausjärjestelmä ei täytä yksittäisvikakriteeriä aiheettomien laukaisujen suhteen, laitevikojen todennäköisyys on oltava alhainen.*

5.3 Eristyssignaalien laukaisukriteerit

Laitossuojaus laukaisee suojarakennuksen eristymiseen johtavat signaalit, kun paine suojarakennuksessa nousee tai primääripiirin paine laskee. Ilmastointikanavien eristymiseen johtava signaali seuraa primääripiirin ja suojarakennuksen paineen lisäksi myös suojarakennuksen alatilaa, eli höyrystintilan, ylipainetta. Eristyksen varmentamiseksi tai vakavan reaktionnettomuuden (SAM-tilanne) sattuessa laitoksen operaattori voi kytkeä laitosuojaussignaaleja manuaalisesti päävalvomosta. (Hartikainen & Repo 2021)

Suojarakennuksen eristymistä ohjaavia laitossuojaussignaaleja on kuusi, joiden mukaisesti eristysventtiilit voidaan jakaa ryhmiin. Signaalin tullessa voimaan kaikki kyseisen ryhmän venttiilit eristyvät, ja niiden tila on tiedossa laitossuojaustaululla.

Signaaliryhmään 1 kuuluvat venttiilit liittyvät pääkiertopumppujen sekä säätösauvojen ohjauskoneiston jäähdytyspiiriin toimintaan. Signaalin tullessa voimaan putkilinjan pumput, jossa eristysventtiilit sijaitsevat, pysäytetään 10 sekunnissa. Venttiilit suljetaan muutamien minuuttien jälkeen, riippuen tapauksesta. Venttiilit suljetaan viiveellä, koska pumpun suuren hitausmomentin vuoksi veden pumppaus jatkuu vielä jonkin aikaa, jonka ajan venttiilit on pidettävä auki. (Hartikainen & Repo 2021)

Ryhmä 2 muodostuu komponenteista, joita ohjaamalla reaktorin välijäähdytyspiiri ja merivesipiiri jaetaan eri redundansseihin. Ryhmään 3 kuuluvat liittyvät vaihtolatausaltaiden jäähdytyspiiriin, ja niiden kuuluu olla normaalikäytössä auki. Ryhmän 3 venttiilit voidaan koestaa laitoksen tehokäytön aikana. Ryhmä 4 koostuu venttiileistä, joista osa on normaalisti auki ja osa normaalisti kiinni, ja ne voidaan koestaa käytön aikana. (Hartikainen & Repo 2021)

Ryhmä 5 on logiikaltaan samankaltainen kuin ryhmä 4, mutta se voidaan koestaa vain polttoaineen vaihdon yhteydessä, muulloin venttiilien on oltava auki. Ryhmä 6 koostuu ilmastointijärjestelmän läppäventtiileistä. Suojarakennuksien ulkoisten vuotojen eristämiseen on käytössä erillinen signaali. Kaikki suojarakennuksen eristykseen liittyvät signaalit voidaan laukaista myös käsin, lukuun ottamatta suojarakennuksen ulkoista vuotoa koskevaa signaalia. (Hartikainen & Repo 2021)

5.4 Laitossuojaussignaalin muodostuminen

Laitossuojausjärjestelmä on jaettu kahteen redundanssiin ja se toimii neljässä kanavassa. Suojaussignaalin muodostuminen perustuu prosessiarvon, kuten paineen tai lämpötilan, antamaan mittausviestiin. Järjestelmä on jaettu analogiaosaan ja logiikkaosaan. Analogiaosa mittaa valvottavia prosessimuuttujia ja vertaa niistä saatuja mittausviestejä raja-arvoihin.

Logiikkaosa puolestaan valvoo pulssien ja raja-arvojen olemassaoloa, ja muuttaa niitä haluttuun muotoon, jotta saavutetaan haluttu tila järjestelmässä. (Hartikainen & Repo 2021)

Suunnitteluperusteen mukaisesti laitossuojauksen on siedettävä yksittäiset viat. Suojausjärjestelmä on toimintakykyinen myös tilanteessa, jossa on yksittäisen vian lisäksi alkutapahtuman aiheuttama vika. Toimintavarmuuden takaa nelikanavainen ja kaksiredundanttinen järjestelmä, ja fyysinen ja sähköinen erotus toisistaan. Järjestelmän osat on sijoitettu kanavien ja redundanssien mukaan eri huoneissa oleviin elektroniikkakaappeihin. (Hartikainen & Repo 2021)

Järjestelmä saa sähkönsyötön tasajännitekiskoista, joiden sähkönsyöttö tulee akustoista, jotka ovat edelleen kytkettynä dieselvarmennettuun 0,4 kV kiskoon. Tasasuuntaajan jännitettä valvotaan, ja tarvittaessa sähkönsyöttö siirtyy akuston varaan. (Hartikainen & Repo 2021)

5.5 Suojarakennuksen eristyksen SAM-varmennus

YVL B.6 329a mukaisesti eristysventtiilien ohjaustoiminto on varmistettava vakavien reaktorionnettomuuksien hallintaan suunnitelluilla järjestelmillä. Tämän varmistuksen tulee olla yksittäisvikasietoinen niiden putkilinjojen osalta, jotka eivät eristy automaattiseen eristykseen johtavan alkutapahtuman johdosta.

Vakavien reaktorionnettomuuksien varalle suojarakennuksen eristykselle on tehty lisäyksiä, joita ovat eristyssignaalien manuaalinen varmistus, eristysventtiilien paikallisohjaukset ja eristyksen toteutumisen valvonta. SAM-tilanteessa suojarakennuksen tiiveys on ensisijaisen tärkeää, sillä suojarakennuksessa on paljon radioaktiivisia aineita, joiden vuotaminen suojarakennuksesta vaikeuttaisi onnettomuuden hallintaa ja aiheuttaisi säteilyannoksia sekä voimallaitoksen henkilöstölle että laitoksen ympäristössä.

Onnettomuuden sattuessa suojarakennus eristetään ennen kuin tilanne ehtii eskaloitua vakavaksi reaktorionnettomuudeksi. Automaattisten laitossuojaustoimenpiteiden toteutuessa, operaattorin ei tarvitse kuin valvoa eristyksen tilaa suojarakennuksessa. SAM-strategiaan kuitenkin kuuluu, että suojarakennuksen eristys tulee pystyä suorittamaan ja ylläpitämään.

Onnettomuustilanteessa laitossuojajärjestelmän laukaisemiseen johtavat kriteerit eivät välttämättä täyty ja näissä tilanteissa operaattorit aktivoivat ja lukitsevat eristyssignaalin. Lukitus tehdään myös varmuuden vuoksi, vaikka laitossuojajärjestelmä olisikin eristänyt suojarakennuksen. Signaalin lukituksella pyritään estämään venttiilien aukeaminen.

Suojarakennuksen eristymiseen johtavat laitossuojaussignaalit voidaan kytkeä manuaalisesti päälle valvomosta. Päävalvomosta on mahdollista myös ohjata kiinni yksittäisiä eristysventtiilejä. Vakavan reaktorionnettomuuden sattuessa kytkentä voidaan tehdä päävalvomosta ja paikallishjauskeskuksilta. Eristysventtiilien tila tiedossa sekä pää- että SAM-valvomossa. Eristyksen aikana sen tilaa voidaan valvoa säteily- ja olosuhdemittausten avulla. (SAM-käsikirja 2010)

5.6 SAM-varmennettävien eristysventtiilien paikallishjaus

Yksittäisohjauksen ja signaalin manuaalisen kytkennän lisäksi laitoksen kahdeksassa läpiviennissä on paikallishjausmahdollisuus, jota voidaan hyödyntää, mikäli venttiiliä ei saada ohjattua päävalvomosta kiinni. Paikallishjaus tehdään +3-tasolla, eli maanpinnan tasolla, sijaitsevassa ulommassa rengastilassa olevilta ohjauskeskuksilta, johon on pääsy kuljetuskäytävän lisäksi myös suoraan ulkoa.

Laitosyksikköä kohden paikallishjattavia eristysventtiilejä on yhteensä 31 kappaletta 18 läpiviennissä. Useimmissa tapauksissa paikallishjausmahdollisuus on tehty venttiilipareille, jotka ovat molemmat moottoriohjattuja. Sisä- ja ulkopuolisen eristysventtiilin ohjaus toteutetaan eri redundanssiin kuuluvasta ohjauskeskuksesta. Näistä läpivienneistä kahdeksan on sellaisia, joiden eristysventtiilit vaativat vaihtosähkön syöttöä. Vaihtosähkö saadaan SAM-dieselvarmennetusta keskuksesta. Näiden läpivientien ulkopuoliset eristysventtiilit voidaan lisäksi sulkea käsin venttiilin käsipyörästä.

Suojarakennuksen ulkopuoliset pneumaattiset eristysventtiilit voidaan sulkea katkaisemalla pilot-venttiilin ohjaussähkö, jos venttiilin asento käyttövoiman hävitessä on suljettu. Samalla periaatteella myös paineilman katkaisu sulkee venttiilin, mutta sillä saattaa olla vaikutus myös muihin laitteisiin, jotka toimivat paineilmalla.

6 Suojarakennuksen tiiveys

Suojarakennuksen tiiveys on kokonaisuus, jonka ylläpitämiseksi kaikkien aukkojen ja läpivientien tulee olla tiiviitä. Toiminnallisesti tiiveys saavutetaan, kun kaikki tiiveyttä ylläpitävät venttiilit ja aukot on suljettu. Käytännössä suojarakennusta ei saada aivan täysin tiiviiksi eristettynäkään, vaan sen vuodolle on asetettu yläraja.

6.1 Vuotobudjetti

Suojarakennuksen vuotoa valvotaan vuotobudjettiohjelman mukaisesti, jolloin eristysventtiileille ja muille suojarakennuksen tiiveyttä pitävillä läpivienneille ja kulkuaukoille tehdään tiiveyskokeet. Tiiveyskokeiden tulokset summataan yhteen, jolloin saadaan suojarakennuksen kokonaisvuoto. Sen sallituksi määräksi on asetettu 75 % suunnitteluvuodosta vuorokaudessa, 1814,2 Ncm³/s, joka vastaa 0,2 % suojarakennuksen tilavuudesta 1,7 bar suunnittelu-paineessa. Kokonaisvuoto on jaettu tasan eristysventtiileille ja aukoille, jolloin molemmille ryhmille sallitaan enintään 907,1 Ncm³/s suuruinen vuoto. (Riekkinen 2019)

Aukoista koestettavia ovat materiaalisulku, henkilökulkuaukko, reaktorikuoppa ja varakulkuaukko. Sisemmät ja uloimmat eristysventtiilit koestetaan erikseen, ja niiden summasta saadaan eristysventtiilien vuotobudjetti. Jokaiselle tiiveyskoestettavalle venttiilille tai aukolle on asetettu vuoto- ja huomioraja, joka määräytyy läpiviennin koon mukaan.

Putkille on kolme ryhmää, jotka ovat alle DN50, DN50 - DN150 ja yli DN150. Huomioraja on tavallisesti viidesosa vuotorajasta. Mikäli huomioraja ylittyy kahdessa peräkkäisessä tiiveyskoestuksessa, on se korjattava. Jos vuotoraja ylitetään, venttiili on korjattava välittömästi. (Riekkinen 2019)

6.2 Tiiveyskoeyhteet

Eristysventtiilien tiiveyskokeet suoritetaan tiiveyskoeyhteiden avulla, jotka usein sijaitsevat eristysventtiilin ja läpiviennin välissä. Tiiveyskoeyhde koostuu käsikäyttöisestä venttiilistä ja tiivistetystä tulpasta, jolla pyritään varmistamaan ettei tiiveyskoeyhteen kautta tapahdu vuotoa.

Tiiveyskoeoyhteet eivät kuulu laitoksen viralliseen eristysventtiililistaukseen, ja niitä ei ylipäättänsä laitoksella pidetä eristysventtiileinä. Perustilaltaan tiiveyskoeoyhteet ovat suljettuja, joten YVL B.6 vaatimukset täyttyvät putkilinjan tyypistä riippumatta.

Tiiveyskoeoyhteet kuuluvat turvallisuusluokkaan 3, kun eristysventtiilien turvallisuusluokan pitää olla vähintään 2. YVL B.2 vaatimus 320 kuitenkin oikeuttaa tämän. Sen mukaisesti pienputkisto, joka liittyy turvaluokan 2 putkistoon kuuluu turvallisuusluokkaan 3. Pienputkistoihin liittyy myöskin YVL B.2 vaatimus 321, jonka mukaisesti pienputkiston turvallisuusluokitusta ei alenneta, mikäli putken vuoto aiheuttaa turvallisuustoiminnon menetyksen. Suojarakennuksen eristys on itsessään turvallisuustoiminto, mutta tiiveyskoeoyhteen pienen koon vuoksi sen vuoto jäisi pieneksi.

Tiiveyskoeoyhteiden käsitteleminen eristysventtiileinä aiheuttaisi kuitenkin laitoksella haasteita. Virallisena eristysventtiilinä tiiveyskoeoyhteet tulisi lukea vuotobudjettiin, mikä tarkoittaa sitä, että sen vuoto tulisi mitata tiiveyskokeella muiden eristysventtiilien tapaan. Teknisesti se ei onnistu laitoksen nykyisissä venttiilikonfiguraatioissa eikä tiiveyskokeissa käytettävillä laitteilla ja menetelmillä.

6.3 Suojarakennuksen tiiveyden turvallisuustekniset käyttöehdot

Turvallisuusteknisten käyttöehtojen (TTKE) tarkoituksena on turvata ydinvoimalaitoksen turvallinen käyttö. Sen mukaisesti laitoksen on täytettävä sille asetut laitostilakohtaiset ehdot, joista yksi on suojarakennuksen tiveys. Tehokäytössä TTKE määrittelee suojarakennuksen tiiveydelle vaatimuksia, joiden tulee täytyä.

Tiiveydelle asetetut TTKE-vaatimukset koostuvat venttiileille, aukoille ja läpivienneille asetetuista ehdoista. Suojarakennuksen kokonaisvuodon on pysyttävä sallitun kokonaisvuodon rajoissa, eli alle $1814,2 \text{ Ncm}^3/\text{s}$. Kaikkien käsikäyttöisten eristysventtiilien ja eristyslaippojen on oltava kiinni, lukuun ottamatta impulssiputkia. Eristysventtiilien tiiveyskoeoyhteiden ja sulkutulppien on oltava kiinni. Kaikkien suojarakennuksen aukkojen on oltava kunnossa ja tiiviit. Materiaali- ja henkilösulkua käytettäessä toisen ovista on oltava kiinni. Kaikkien eristys- ja alipaineventtiilien on oltava kunnossa ja tiiviit. TTKE:ssa sallitaan impulssiputkien käsikäyttöisten venttiilien auki oleminen, joka on laitoksen käytännön toiminnan

kannalta edellytys. Impulssiputkilla tarkoitetaan laitoksella olevia paine, paine-ero ja virtausmittausputkia (Leino 2017).

Näiden ehtojen on oltava voimassa tehokäytön aikana, vuosihuollon aikaisessa kylmäseisokissa tiiveysvaatimukset eivät ole näin tiukat. Mikäli TTKE poikkeuksia ilmenee, on niihin reagoitava. Eristysventtiileille ja aukoille on myös määrätty korjausajat, minkä puitteissa toiminnallisuus palautettava. Mikäli tähän ei ole mahdollisuuksia, on laitos ajettava kylmäseisokkiin.

6.4 Eristysventtiilien ja niiden toimilaitteiden kunnossapito

Venttiilien tarkastuksia suoritetaan laitoksella normaalisti kunnossapitotoimien yhteydessä. Eristysventtiilien kunnossapito-ohjelmana toimii niille tehtävät tiiveyskoestukset, jotka määräytyvät todennäköisyysperäisen riskianalyysin (PRA) ja kunnossapitohistorian mukaisesti. (Riekkinen 2019). PRA:ta käsitellään tarkemmin luvussa 9.

Laitoksella sovelletaan sähkömoottorikäyttöisille venttiilitoimilaitteille tarkastusvälejä, joiden perusteella toimilaitteen tarkastus tai avaava huolto tehdään. Eristysventtiilien toimilaitteet on jaettu laiteluokittelussa neljään eri luokkaan niiden tärkeyden perusteella. Toimilaitteen luokittelukriteereihin kuuluu laiteluokka, turvallisuusluokka, tärkeys, huollon seisokkityyppi, voiteluaine, käyttökerrat ja ympäristöolosuhteet. (Puustinen 2019)

Toimilaitteen luokittelun perusteella sille määritetään huoltojaksot. Suojarakennuksen sisäpuoliset toimilaitteet luokitellaan LOCA- ja MSLB-ympäristöluokkaan, ja kuuluvat turvallisuusluokkaan 2. Tämän myötä niille määräytyy peruskorjaus höyrystintilassa 8 vuoden välein ja muissa tiloissa 12 vuoden välein. Toimintatarkastuksia toimilaitteille tehdään 2, 4 tai 8 vuoden välein. Ulkopuolisten eristysventtiilien toimilaitteille suoritetaan peruskorjaus 16 vuoden välein. Neuvostoliittolaisille toimilaitteille peruskorjaus on korvattu täyshuollolla. (Puustinen 2019)

7 Eristysventtiilien toimilaitteiden kelpuutus

Ydinvoimalaitoksissa turvallisuuden kannalta tärkeät järjestelmät, rakenteet ja laitteet on kelpuutettava, eli osoitettava että ne sopivat käyttötarkoitukseensa ja täyttävät niille asetetut turvallisuusvaatimukset. YVL B.1 mukaisesti kelpuutus tarkoittaa objektiiviseen näyttöön perustuvaa varmistusta siitä, että tiettyä käyttöä tai soveltamista koskevat vaatimukset on täytetty. YVL-ohjeissa esiintyy usein myös termi kelpoistus, jolla tarkoitetaan usein samaa kuin kelpuutuksella (YVL B.1 2019).

Turvallisuudelle tärkeiden laitteiden kelpuutuksen tärkein tehtävä on varmistua riittävällä tavalla, että laite pystyy suorittamaan toimintonsa suunnitellusti. Näiden laitteiden toimintakyky tulee varmistaa niihin kohdistuvalla ohjelmalla, johon kuuluu suunnittelun hallinta, laadunvalvonta, kelpuutus, asennus, huolto, määräaikaistarkastukset ja kunnonvalvonta. (IEC 60780-323 2017)

Ympäristöolosuhteet saattavat aiheuttaa turvallisuudelle tärkeän laitteen vikaantumisen. Tästä syystä on tärkeää määritellä laitteelle kelpuutuksen voimassaoloaika, jolloin laitteen voidaan odottaa toimivan näissä olosuhteissa. Tämä aika voidaan määritellä testaamalla laitteiden kestävyyttä määritellyissä olosuhteissa, jolloin sen toimintakykyä voidaan havainnoida. (IEC 60780-323 2017). Toimilaitteiden kelpuutusta varten voidaan hyödyntää laitoksen onnettomuusprofiilia, jotta saadaan selville laitteiden kelpuutusvaatimukset (IEC/IEEE 60780-323 2016).

7.1 Loviisan ydinvoimalaitoksen eristysventtiilien toimilaitteiden olosuhdekelpuutukset

Ympäristöolosuhteet suojarakennuksessa voidaan jakaa normaaliluokan olosuhteisiin, onnettomuudenaikaisiin olosuhteisiin ja vakavan reaktorionnettomuuden olosuhteisiin. Toimilaitte altistuu käyttöikänsä aikana tietyille lämpötilalle, paineelle, kosteudelle ja säteilylle, josta sen tulee selvitä. Laitteen vanhetessa on tärkeää, että laite pysyy toimintakykyisenä koko sen suunnitellun elinkaaren ajan.

Suojarakennuksessa vallitsevat normaalit ja onnettomuuden aikaiset olosuhteet on määritetty erikseen suojarakennuksen ylä- ja alatilalle. Ylätilan lämpötila pysyy normaalikäytössä

välillä 15 - 40 °C, ja suhteellinen kosteus alle 90%. Suojarakennuksen alatilaa lämpötila normaalikäytön aikana pysyy alle 50 °C ja suhteellinen kosteus alle 90%. Säteilyannosta kertyy eniten suojarakennuksen alatilassa primääripiiriin lähettyvillä, ja 30 käyttövuoden aikana kertyvä annos on usein $1 - 2 \cdot 10^5$ Gy. (Ahokas 2018)

Suojarakennuksessa olevat sähkö- ja automaatiolaitteet, joita tarvitaan onnettomuuden hallintaan, tulee kelpuuttaa vastaamaan onnettomuutta vastaavia olosuhteita. Kelpuutuksia on tehty pääosin LOCA:n ja pähörylinjan rikkoutumisen (MSLB) olosuhteille. LOCA-tapahtumiksi luetaan primääripiiriin ja MSLB-tapahtumissa sekundääripiiriin vuoto suojarakennuksen ilmatilaan. Tapahtumat vaativat useiden turvallisuustoimintojen toimimista, joista yksi on suojarakennuksen eristys. Eristysventtiilien tulee toimia LOCA- ja MSLB-tilanteissa, jolloin ne tulee kelpuuttaa molempia varten. Turvallisuusselosteen mukaisesti suojarakennuksen sisäpuolelle toimilaitteille on tehty LOCA- ja MSLB-kelpuutukset, joka tulee tarkastettua osana työtä. (Ahokas 2018)

LOCA- ja MSLB-tilanteiden aikaisia kosteus-, paine- ja lämpötilaolosuhteita on mallinnettu, jotta kelpuutusolosuhteet on saatu selville. Näiden mallinnusten perusteella on muodostettu olosuhdekäyriä, josta eri onnettomuusolosuhteet voidaan havainnollistaa ajan funktiona.

Toimilaitteiden tulee kestää paineen, lämpötilan ja kosteuden lisäksi myös onnettomuuden aikaiset säteilyolosuhteet. Säteilyolosuhteiden laskennassa on huomioitu onnettomuustyyppi, säteilylähteen ominaisuudet ja geometria, sijainti, kohteen rakenne ja aika. Eri toimilaitteiden saama säteilyannos koostuu siis monesta tekijästä.

Vakavan reaktorionnettomuuden aikaisiin olosuhteisiin on kelpuutettu vakavan reaktorionnettomuuden hallittuun tilaan pääsemiseksi tarvittavia laitteita. Lämpötilalle ja paineelle on määritelty LOCA- ja MSLB-kelpuutuksien mukaisesti paine- ja lämpötilakäyrät, jotka perustuvat vakavan reaktorionnettomuuden aikaisiin mallinnettuihin paineisiin ja lämpötiloihin (Ahokas 2018). Suojarakennuksen sisäpuolisten eristysventtiilien toimilaitteilta ei edellytetä SAM-kelpoisuutta, sillä suojarakennus eristetään jo ennen tilanteen eskaloitumista vakavaksi reaktorionnettomuudeksi.

Suojarakennuksen ulkopuolisten eristysventtiilien toimilaitteille ei ole määritetty LOCA- tai MSLB-kelpuutuksia. Suojarakennuksen ulkopuolisten sähkö- ja automaatiolaitteiden toimintakyky on varmistettu ympäristölämpötilan kestolla, fyysisellä erotuksella, etäisyydellä, mekaanisella suojauksella ja kotelointiluokituksella. (Ahokas 2008)

Diplomityössä käsiteltävän YVL B.1 404 täyttymiseksi oli tarpeellista selvittää, onko eristysventtiilien toimilaitteilla vaadittavat kelpoisuudet. Asian tutkimiseksi hyödynnettiin selvitystä ympäristöolosuhdekelpoistettavista käyttöpaikoista ja laitteista Loviisan voimalaitoksella, jonka yhteydessä oli listaus kelpuutustiedoista.

8 Suojarakennuksen eristyksestä auki jäävät putkilinjat

Diplomityössä oli tarpeen tunnistaa suojarakennuksen eristyksestä auki jäävät putkilinjat, sillä ne on saatava tarvittaessa myös eristymään. Voimalaitoksen laitossuojauksen käynnistämällä eristys on määritelty erikseen jokaiselle eristysventtiilille, ja eroja löytyy myös järjestelmien sisällä.

Yleisesti auki pidettävillä linjoilla on onnettomuus- ja poikkeustilanteissa jokin turvallisuus-toiminto suoritettavanaan, jonka vuoksi sen eristysventtiilit pidetään auki. Usein tällä pyritään siihen, että turvallisuustoiminnon tarvetilanteessa venttiilejä ei tarvitsisi operoida, ja siten vältettäisiin toiminnon epäonnistuminen. Toisaalta joidenkin järjestelmien eristysventtiilit voivat seurata toisen turvallisuusjärjestelmän käskyjä, jolloin ne eivät eristy suoraan suojarakennuksen eristyssignaalista, vaan tarvittaessa jostain toisesta syystä.

8.1 Tuorehöyry- ja syöttövesilinjat

Suojarakennuksen eristyssignaalien lisäksi tuorehöyrylinjaan vaikuttaa muita laitossuojauksignaaleita, jotka seuraavat pääasiassa tuorehöyrylinjan painetta. Jokaisessa höyrystintä vastaavassa tuorehöyrylinjassa on pneumaattisella toimilaitteella toimivat eristysventtiilit.

Normaalikäytössä nämä venttiilit ovat luonnollisesti auki, ja ne eivät eristy suoraan suojarakennuksen eristykseen käynnistävästä signaalista. Sen sijaan tuorehöyrylinjan eristysventtiilit seuraavat eri signaaliryhmän käskyjä, ja eristyvät mikäli tuorehöyryssä havaitaan radioaktiivisuutta, tai höyryn paine laskee. Radioaktiivisuus viittaa höyrystintuubin murtumaan ja paineen lasku putken murtumaan tai säätöhäiriöihin. Automaattisen eristymisen lisäksi tuorehöyrylinjat saadaan tarpeen vaatiessa eristymään ohjaamalla niihin vaikuttavia laitossuojauksignaaleja manuaalisesti, joka onnistuu päävalvomosta ja ohjauskeskuksilta.

Syöttövesilinjat seuraavat samankaltaista logiikkaa kuin tuorehöyrylinjatkin. Jokaista syöttövesilinjaa kohden on yksi suojarakennuksen eristysventtiili. Tuorehöyrylinjan mukaisesti syöttövesilinja ei seuraa suojarakennuksen eristymiseen vaikuttavia signaaleja, vaan se totelee muita laitossuojauksignaaleja. Syöttövesilinja saadaan tarvittaessa eristettyä, mikäli sille ilmenee tarvetta.

8.2 Hätälisävesijärjestelmä ja hätäjähdytysjärjestelmä

Hätälisävesijärjestelmän ja matalapaineisen hätäjähdytysjärjestelmän tärkeimpänä tehtävänä on lisäveden syöttö primääripiiriin jälkilämmön poistamiseksi polttoaineesta. Eristysventtiilien näkökulmasta järjestelmäkokonaisuus on monitahoinen, ja järjestelmistä löytyy käsi- ja moottoriohjattavia venttiilejä. Tämän lisäksi osa automaattisesti ohjattavista venttiileistä seuraa suojarakennuksen eristyssignaalia, ja osa venttiileistä muita laitossuojaussignaaleja.

Matalapaineisen hätäjähdytysjärjestelmän suoraan reaktorin vedensyöttöön osallistuvien putkilinjojen moottoritoimiset eristysventtiilit jäävät auki, eivätkä seuraa suojarakennuksen eristymiseen johtavaa signaalia. Hätäjähdytysjärjestelmään kuuluu osana myös paineistimen ruiskutukseen liittyvät linjat, joiden moottoritoimiset eristysventtiilit ohjautuvat kiinni suojarakennuksen eristyssignaalista.

Hätälisävesijärjestelmän periaate on sama, mikäli putkilinjasta on tarkoitus saada reaktoriin vettä, eristysventtiilin perustila on auki eikä sitä suljeta suojarakennuksen eristyksen yhteydessä.

8.3 Normaali lisävesijärjestelmä

Lisävesijärjestelmän tehtävä on säädellä primääripiirin boorihappopitoisuutta normaalin käytön aikana. Boorihappoa käytetään primääripiirissä reaktiivisuuden hallintaan ja tehon säätöön. Järjestelmää käytetään myös valvottujen vuotojen keruuseen ja kompensointiin, kaasunpoistoon, vesikemian säätöön ja ylipaineistumisen estämiseen.

Lisävesijärjestelmän boorinsyöttöön osallistuvat putkilinjat pidetään suojarakennuksen eristystilanteessa auki, jotta reaktorin boorinsyöttö saadaan varmennettua. Eristyssignaali puolestaan sulkee pääkiertopumppujen vuotojen keruulinjan eristysventtiilit.

8.4 Suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmä

Suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmä on onnettomuuden hallintaan tarkoitettu järjestelmä, jonka pääasiallisena tehtävänä on suojarakennuksen paineen hallinta. Järjestelmä ruiskuttaa

viileää vettä pisaroina suojarakennuksen ylätilaan, jolloin pisarat jäädyttävät ilmaa ja lauhduttavat höyryä. Samalla pisarat sitovat itseensä radioaktiivisia aineita.

Järjestelmässä on neljä eristysventtiiliä, kaksi kumpaakin redundanssia kohden. Ruiskutusjärjestelmässä käytettävä vesi voidaan ottaa joko hätäsisävesisäiliöstä lattiakaivosta. Putkilinjojen painepuolella olevat suojarakennuksen ulkopuoliset moottorikäyttöiset eristysventtiilit pidetään auki.

8.5 Lämpökilven alaslaskujärjestelmä

Lämpökilven alaslaskujärjestelmä on tarkoitettu vakavan reaktorionnettomuuden hallintaan. Järjestelmä on oleellinen reaktoripainesäiliön alaosassa olevan sydänsulan jäädyttämiseksi. Järjestelmä laskee lämpökilpeä 900 mm, jolloin reaktoripainesäiliön alaosa paljastuu ja vesi pääsee kosketuksiin sen kanssa. Järjestelmässä on kaksi moottorikäyttöistä eristysventtiiliä, joiden tulee pysyä eristyksessä auki. Venttiilit pidetään auki, jotta lämpökilpi voidaan laskea alas. Tämän jälkeen eristysventtiilit voidaan sulkea käsiohjauksella.

9 Suojarakennuksen eristykseen liittyvä riskitutkimus

YVL A.1 ja A.7 mukaisesti ydinvoimalaitoksella tulee soveltaa todennäköisyysperäistä riskianalyysia (PRA, Probabilistic Risk Assessment) erilaisissa ydinenergian turvalliseen käyttöön liittyvissä asioissa. PRA jaetaan kahteen tasoon, joista taso 1 tutkii reaktorisydämen vaurioitumiseen johtavia onnettomuusketjuja ja niiden todennäköisyyksiä. Taso 2 taas tarkastelee suojarakennuksen vaurioitumista ja päästön suuruutta tapauksessa, jossa sydänvaurio on jo tapahtunut.

9.1 Riskitutkimuksen kattavuus ja alkutapahtumat

PRA tutkii sisäisiä ja ulkoisia alkutapahtumia, joissa otetaan huomioon laitoksen tehokäyttö ja vuosihuollot. Ulkoisiksi tapahtumiksi on tunnistettu sääilmiöt, tulipalot ja maanjäristykset. Ihmisen tahallisesti aiheuttamaa haittaa ei ole PRA:ssa huomioitu. Sisäisillä alkutapahtumilla tarkoitetaan pääasiassa laitoksen laitteiden vikaantumisesta alkavia häiriöitä. Niiden lisäksi sisäisiksi alkutapahtumiksi luetaan ulkoisen sähköverkon menetykset ja inhimilliset virheet. (Jänkälä & Paavola 2020)

PRA:n lähtökohtana toimii alkutapahtumien tunnistaminen, joiden perusteella voidaan arvioida mahdollisia onnettomuuksien aiheuttajia ja onnettomuuksia estäviä tekijöitä. Sydänvaurion estämiseksi alkutapahtuman jälkeen on huolehdittava mm. alikriittisyydestä, sydämen jäähtymisestä ja suojarakennuksen toiminnasta. (Jänkälä & Paavola 2020)

Tason 2 PRA:ssa suojarakennustoiminnoille on muodostettu tapahtumapuun, joka koostuu vakavan reaktorionnettomuuden eri ilmiöiden hallinnasta ja sen onnistumisesta. Tapahtumapuun seurauksena päästöt saadaan jaettua eri luokkiin, jotka vaihtelevat päästön mukaisesti. (Jänkälä & Paavola 2020)

9.1.1 Suojarakennuksen eristyksen luotettavuusmallissa käytetyt oletukset

Suojarakennuksen eristymisen epäonnistumista käsitellään eristyksen luotettavuusmallissa kolmessa kokoluokassa, joiden lisäksi käsitellään itse suojarakennuksen vuotoa. Huipputapahtumiksi on määritelty suojarakennuksen aukiolo (suuret aukot tai ilmastointilinjat), suuri eristysvika (ilmakehäyhteys suojarakennuksesta), pieni eristysvika (muu kuin ilmakehäyhteys) ja suojarakennuksen vuoto. (Siltanen & Tarkiainen 2009)

Suojarakennuksen eristyksen luotettavuusarvio tarkastelee ensisijaisesti putkistoja, jotka ovat yhteydessä reaktorin primääripiiriin tai suojarakennuksen ilmatilaan. Tarkastelu koskee myös putkilinjojen lisäksi muita suojarakennuksen läpivientejä. Joitain järjestelmiä on jätetty tarkastelusta pois. (Siltanen & Tarkiainen 2009)

Luotettavuusmallin ulkopuolelle on jätetty pienikokoisia ja vuodon kannalta epätodennäköisiä läpivientejä, joihin kuuluvat sähkö- ja mittaputkiläpiviennit, impulssiputket, endoskoopiläpiviennit ja läpivientien tiiveyskoeyhteet. Epätodennäköisiksi luokitellaan myös suojarakennuksen laipalla suljetut läpiviennit, joita ovat reaktorirakennuksen sokeat laipat, jääntäyttyputkien sokeoidut läpiviennit, latausseinäsokeiden tarkastuslaitteiden läpiviennit ja huoltoilmastoinnin tehokäytön aikana laipoitetut läpiviennit. (Siltanen & Tarkiainen 2009)

9.1.2 Eristysventtiilit PRA-mallissa

Eristysventtiilit lukeutuvat herkkyys-, tärkeys- ja epävarmuuslaskuihin. Tärkeyslaskujen avulla on mahdollista tarkastella eri lopputuloksiin vaikuttavia tekijöitä, johon vaikuttavat eri laitteiden vikaantuminen, huollot ja inhimilliset virheet. (Siren et al. 2020)

Komponenteille on laskettu erilaisia tärkeysmittoja, joiden perusteella pystytään arvioimaan komponenttien vaikutusta sydänvauriotaajuuteen (Siren et al. 2020). Eristysventtiilien tapauksessa olennaisinta olisi selvittää, kuinka venttiilin toimimattomuus vaikuttaisi kokonaisuuteen ja kuinka suuria eroavaisuuksia eri eristysventtiilien välillä on. Tätä tietoa voisi myöhemmin hyödyntää turvallisuusarvioissa.

Kriittisyystärkeys (FC) määrittelee, millä todennäköisyydellä sydänvaurio tapahtuu kyseisen tapahtuman sisältävän minimikatkojoukon seurauksena. Riskinnousuarvio (RIF) puolestaan kertoo, kuinka paljon sydänvauriotaajuus nousee, mikäli kyseinen tapahtuma tapahtuu. PRA-mallissa näitä tärkeysmittoja on laskettu venttiilin aukeamiselle ja sulkeutumiselle. (Siren et al. 2020)

Osa voimalaitoksen eristysventtiileistä luokitellaan riskimerkitykselliseksi, joka vaikuttaa eristysventtiilin tiiveyskoestusväliin. Riskimerkityksellisiä eristysventtiilejä on kumpaakin laitoyksikköä kohden 52 kappaletta, ja niiden koestusväli on yksi vuosi. (Riekkinen 2020)

Riskimerkityksellisyys ottaa kantaa lähinnä eristysventtiilien läpivuotovikoihin, joiden riskiä voidaan tiheiden koestusvälien avulla pienentää. Eristysventtiilin näkökulmasta myös muut viat ovat mahdollisia, esimerkiksi venttiilin juuttuminen kiinni tai avautumisen häiriöt. Nämä riskimerkitykselliset eristysventtiilit eivät siis yksiselitteisesti tarkoita, että venttiili olisi muihin eristysventtiileihin nähden tärkeä eristystoiminnon kannalta. Eristysventtiilin tärkeyttä arvioitaessa tulisi muodostaa kokonaisarvio, joihin otetaan huomioon eristysventtiilien riskitärkeysmitat.

10 Työn kuvaus

YVL vaatimusten käsittelemiseksi luotiin Excel-työkalu, johon on kerätty eristysventtiileiden ja niiden toimilaitteiden tietoja, kuten venttiilityyppi, prosessiaine ja käyttötila. Eristysventtiilien kartoituksen pohjana käytettiin FSAR 6.2.3 mukaista eristysventtiililuetteloa, jonka tulisi sisältää kaikki laitoksen eristysventtiilit ja niihin liittyvät tiedot.

FSAR 6.2.3 eristysventtiililuettelon eristysventtiilit käytiin läpi järjestelmäkohtaisesti, eli jokainen listauksessa lueteltu eristysventtiili paikallistettiin järjestelmän PI-kaaviosta. PI-kaavioiden avulla pystyttiin toteamaan eristysventtiilin sijainti prosessissa ja järjestelmän logiikka. Samalla oli mahdollista lisätä PI-kaaviossa näkyvä venttiili, joka ei kuulunut eristysventtiililistaukseen, mutta pitäisi vaatimusten mukaisesti olla eristysventtiili. Listaan kuulumattomat eristysventtiilit merkattiin työkaluun keltaisella ja ne listattiin ylös, jotta niihin voidaan myöhemmin kohdistaa tarvittaessa toimenpiteitä.

Eristysventtiililuettelon tietoihin lisättiin LOMAX-laitostietojärjestelmästä haettuja tietoja, joita olivat esimerkiksi venttiilityyppi, venttiilin toimilaitteen tyyppi ja perustila. Näiden tietojen tarkoituksena on tukea vaatimusten täyttymisen tarkastelua, jossa esimerkiksi venttiilin perustila on tärkeä tieto. Työkalu sisältää tämän lisäksi alkuperäisessä FSAR 6.2.3 listauksessa olevien eristysventtiilien tietoja, jotka eivät välttämättä ole työn kannalta oleellisia.

10.1 Excel työkalun kuvaus

Työkalun kehittämiseksi valittiin ensin pääkiertopumpun tiivistevesijärjestelmä tarkastelun kohteeksi, joka käsitellään seuraavassa luvussa. Tämän jälkeen kehitystä jatkettiin muiden järjestelmien osalta. Suuren venttiili- ja läpivientimäärän analysoimiseksi oli perusteltua rakentaa Exceliin työkalu. Tarkoitus oli luoda yhden järjestelmän perusteella pohja, jota olisi mahdollista käyttää myös muissa järjestelmissä.

Eristysventtiilien tiedot kerättiin Excelissä sarakkeisiin siten, että venttiilit ovat samassa järjestyksessä kuin PI-kaaviossa. Työkalussa venttiilit on listattu allekkain järjestyksessä sisäpuolinen eristysventtiili, läpivienti ja ulkopuolinen eristysventtiili. Mikäli sisä- tai ulkopuolisia eristysventtiilejä on useita, ne on listattu vierekkäin. Kuvassa 4 on esitetty vaatimusten täyttymiseksi käytetty pohja, jossa on esitettynä yhden läpiviennin tulokset.

YVL B.6 vaatimukset	
323 Yhteydessä kaasutilaan tai primäärijäähdytteeseen Kaksi perättäistä eristysventtiiliä Venttiilien erilaisuusperiaate	Sovelletaan Kyllä Kyllä Kyllä Täyttyy
324 Venttiilit on kiinni lukittu, takaisku tai laitossuojausohjattu Sisä- ja ulkopuolinen eristysventtiili	Sovelletaan Kyllä Kyllä Täyttyy
325 Yhteydessä kaasutilaan tai primäärijäähdytteeseen Vähintään yksi ulkopuolinen eristysventtiili	Ei sovelleta Kyllä Kyllä Täyttyy
326 Automaattisesti toimiva, kiinni lukittu tai käsin kauko-ohjattava	Ei sovelleta Kyllä Täyttyy
329a SAM-varmennus Eristetään laitossuojausignaaliilla automaattisesti Yksittäisivikasetoinen SAM-varmennus	Sovelletaan Kyllä Kyllä Kyllä Täyttyy
YVL B.1 404 Suojarakennuksen sisäpuolinen LOCA olosuhdekelpoistus Ulkopuolinen LOCA olosuhdekelpoistus Ylittää vaatimustason	Sovelletaan Kyllä N/A Täyttyy Ei

Kuva 4. YVL-vaatimusten täyttymisen arviointityökalu.

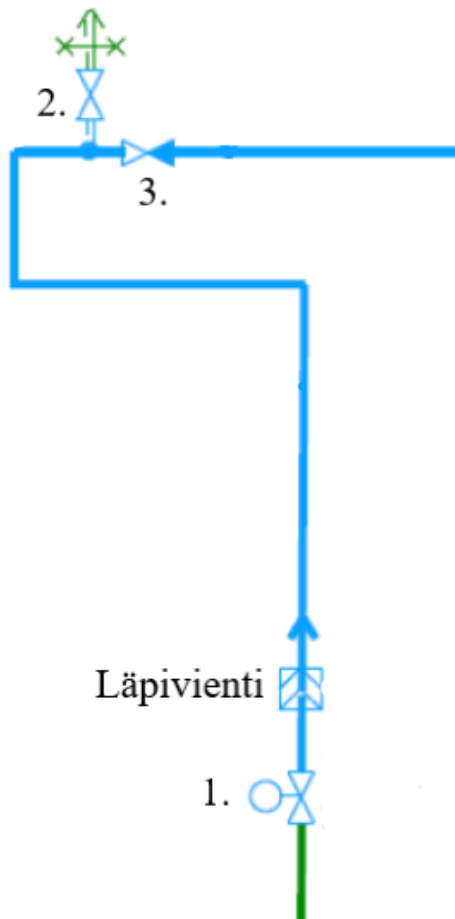
Sarakkeisiin kerätyn tiedon avulla voidaan tarkastella jokaisen YVL-vaatimuksen täyttymistä läpivientikohtaisesti. Esimerkiksi YVL B.6 vaatimus 323 koostuu kolmesta alakohdasta, joita ovat yhteys primäärijäähdytteeseen tai suojarakennuksen kaasutilaan, kaksi perättäistä eristysventtiiliä ja eristysventtiilien erilaisuusperiaate. Kuvan 4 tapauksessa kaikki kohdat täyttyvät, jolloin myös itse vaatimus täyttyy.

Exceliin rakennetun logiikan avulla vaatimusten täyttymistä pystytään arvioimaan tehokkaasti. Tässä tapauksessa yhteys kaasutilaan tai primäärijäähdytteeseen johtaa suoraan vaatimusten 323 ja 324 soveltamiseen, ja samalla tiedolla pystytään rajaamaan vaatimusten 325 ja 326 soveltaminen pois. Lähtökohtana oli tarkastella samalla välilehdellä kaikki kyseisen järjestelmän läpiviennit ja sen eristysventtiilit, joskin joissain tapauksissa järjestelmän muuttumisen vuoksi tästä oli tehtävä poikkeuksia. Suuren venttiili- ja läpivientijoukon tutkimiseksi työkaluun rakennettiin värikoodaus, jonka tarkoituksena on helpottaa vaatimusten täyttymisen tarkastelua.

Muiden kohtien täyttymiseen tarvittavat tiedot löytyvät samalta sarakkeelta ylempää. Kokonaistarkastelun helpottamiseksi myös kaikki tarvittavat PI-kaaviot on lisätty järjestelmän välilehdelle.

10.2 Esimerkkitapaus 1: Pääkiertopumpun tiivistevesilinja

Tehdyn analyysin selkeyttämiseksi tarkastellaan pääkiertopumpun tiivistevesilinjan eristysventtiilejä, joita käytettiin myös työkalun suunnitteluvaiheessa. Pääkiertopumpun normaalin toiminnan edellytys on jatkuva tiivistevedensyöttö sen kahdelle hydrauliselle tiivistelle, jonka vuoksi putkilinjan eristysventtiili on pidettävä auki. Tilanne on havainnollistettu kuvassa 5, josta nähdään PI-kaavion logiikan mukaisesti venttiilien ja läpiviennin paikat.



Kuva 5. Pääkiertopumpun tiivistevesilinjan eristysventtiilit. 1. on automaattisesti ohjautuva moottoritoimilaitteellinen venttiili, 2. on käsin suljettava venttiili ja 3. on takaiskuventtiili.

Kuvassa 5 venttiili 1. on suojarakennuksen ulkopuolinen eristysventtiili, joka on moottoriohjattava. Normaalkäytössä venttiili on auki, ja se sulkeutuu suojarakennuksen eristykseen johtavasta laitossuojaussignaalista.

Venttiili 2. on tiivistevesilinjan ilmausventtiili, joka laitoksen tehokäytön ajan pidetään suljettuna. Ilmausventtiili on käsikäyttöinen, ja se tulisi lukea suojarakennuksen sisäpuoliseksi eristysventtiiliksi YVL B.6 vaatimusten mukaisesti. Venttiiliä 2 ei ole listattu laitoksen eristysventtiililistaukseen. Venttiili 3. on myös suojarakennuksen sisäpuolinen eristysventtiili, ja tyypiltään se on takaiskuventtiili.

Pääkiertopumpun tiivistevesilinjassa virtaa primäärijäähdytettä, jolloin sovelletaan YVL B.6 vaatimuksia 323 ja 324. Vaatimuksen 323 mukaisesti linjassa on oltava kaksi eristysventtiiliä, joiden toimintaperiaate on erilainen. Vaatimus 323 täyttyy, koska eristysventtiilejä on kaksi putkilinjaa kohden, ja ne toimivat eri periaatteella.

Vaatimuksen 324 mukaisesti näiden eristysventtiilien on sijoitettava suojarakennuksen läpiviennin eri puolilla, joka täyttyy. Sisäpuolisista eristysventtiileistä toinen on takaisku, ja toinen suljettuna pidettävä, joten näiden osalta vaatimukset täyttyvät. Suojarakennuksen ulkopuolella sijaitseva toimilaitteellinen eristysventtiili on automaattisesti toimiva ja laitossuojauksen ohjaama.

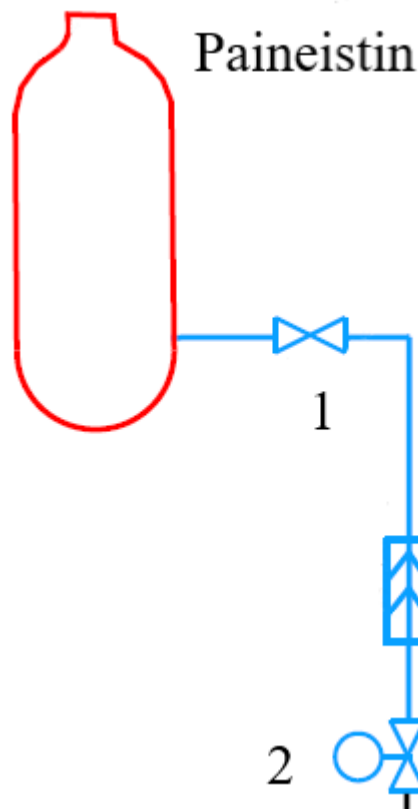
Vaatimuksen 329a mukaisesti suojarakennuksen automaattisesti ohjattavien eristysventtiilien ohjaustoiminto tulisi olla varmennettu vakavan reaktorionnettomuuden hallintajärjestelmillä. Vaatimus koskee suojarakennuksen ulkopuolista eristysventtiiliä. Laitossuojauksen ohjaamana venttiilin sulkeva signaali voidaan kytkeä käsin voimaan vakavan reaktorionnettomuuden hallintaan liittyvän ohjeistuksen mukaisesti, mutta se ei riitä vaatimuksen täyttymiseen. Venttiiliä voidaan myös ohjata käsin kytkinlaitokselta, mutta vaatimuksen täyttymiseksi tulisi olla kokonaan erillinen järjestelmä, jolloin venttiilin normaalissa toimintajärjestelmässä tehtävät toimenpiteet eivät ole riittäviä.

YVL B.1 404 mukaisesti venttiilien toimilaitteiden tulee toimia kaikissa suunnitteluperusteisissa olosuhteissa, joka sisältää myös onnettomuusolosuhteet. Vaatimuksen täyttymiseksi

on tarkasteltu venttiilien toimilaitteiden olosuhdekelpuutuksia. Tässä tapauksessa suojarakennuksen sisäpuolella ei ole toimilaitteellisia venttiilejä, jolloin vaatimusta ei tarvitse niiden osalta käsitellä. Suojarakennuksen ulkopuolisella toimilaitteella ei ole LOCA-kelpuutusta, mutta venttiili suljetaan suojarakennuksen eristyssignaalilla eikä venttiilillä ole toimintavaadetta vakavassa reaktorionnettomuudessa. Tästä syystä vaatimuksen voidaan katsoa täyttyvän.

10.3 Esimerkkitapaus 2: Paineistimen näytelinja

Toiseksi esimerkkitapaukseksi valittu painestimesta lähtevä näytelinja, joka nähdään kuvassa 6.



Kuva 6. Paineistimen näytelinja, missä suojarakennuksen sisäpuolinen venttiili (1) ja ulkopuolinen eristysventtiili (2).

Paineistimen vesi kuuluu selvästi primäärijäähdytteeseen, jolloin YVL B.6 323 mukaisesti tulee olla sisä- ja ulkopuolinen eristysventtiili. Kuvassa 6 näkyvä sisäpuolinen venttiili 1 on kuitenkin käsikäyttöinen ja perustilaltaan auki, jolloin se ei täytä vaatimusta 324, jonka mukaisesti käsikäyttöisen eristysventtiilin perustila on oltava suljettu. Venttiili 2 on puolestaan

pneumaattisella toimilaitteella varustettu, perustila on auki ja venttiili sulkeutuu suojarakennuksen eristyssignaalin käskystä.

Kuvassa on myös merkillepantavaa se, että saman läpiviennin jakavat monet muut pienet näytelinjat. Vaatimusten täyttymiseksi sisäpuolella tulisi olla toimilaitteellinen eristysventtiili, jonka perustila on auki. Toimilaitteellisen eristysventtiilin tulisi olla LOCA-kelpuutettu, laitossuojauksen ohjaama, ja täyttää erilaisuusperiaate suhteessa ulkopuolisen eristysventtiiliin.

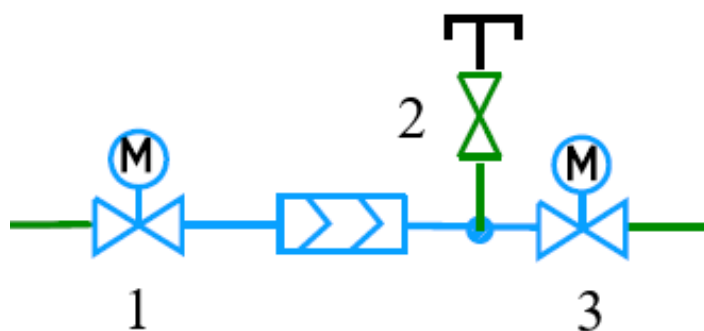
Sisäpuolinen eristysventtiili tulisi olla myös mahdollista tiiveyskoestaa, mikä vaatisi tiiveyskoeyhteen asentamisen, olettaen että käytetään laitoksella käytössä olevia tiiveyskoemenetelyjä. Nykyisin yksittäisiä näyteputkia ei tiiveyskoesteta eikä lueta vuotobudjettiin, vaan asia on korvattu koko läpiviennin tiiveyden tarkastamisella.

Sisäpuolisen eristysventtiilin haasteena olisi myös tilanpuute. YVL B.6 328 mukaisesti sisäpuolisen eristysventtiilin tulisi sijaita mahdollisimman lähellä läpivientä. Samanaikaisesti monista pienistä näyteputkista koostuva rykelmä tekisi tämän vaikeaksi toteuttaa, erityisesti kun vielä huomioidaan, että molempien laitousyksiköiden höyrystintilat ovat jo valmiiksi ahtaat.

Mikäli sisä- ja ulkopuolinen eristysventtiili olisivat molemmat toimilaitteellisia, eli ns. aktiivisesti toimivia, tulisi nämä olla varmistettu vakavan reaktorionnettomuuden hallintajärjestelmillä, tai pystyä perustelemaan miksi sitä ei tulisi soveltaa tässä tapauksessa.

10.4 Esimerkkitapaus 3: Puhdas välijäähdytyspiiri

Puhtaan välijäähdytyspiirin tehtävänä on jäähdyttää primääripiirin apujärjestelmiä. Kuvassa 7 esitetään yksi tämän järjestelmän läpivienti, ja sen eristysventtiilit.



Kuva 7. Puhtaan välijäähdytyspiirin yhden putkilinjan läpivienti ja eristysventtiilit. Venttiilit 1. ja 3. ovat moottoritoimilaitteellisia eristysventtiilejä. Venttiili 2. on tiiveyskoeyhde, jonka päässä on tulppa.

Luonteeltaan puhdas välijäähdytyspiiri on suljettu vesikierto, eikä suoraa yhteyttä ilmatilaan tai primäärijäähdytteeseen ole. Tässä tapauksessa sovelletaan siis YVL B.6 vaatimusta 325 ja 326, eli suojarakennuksen ulkopuolella tulisi olla vähintään yksi eristysventtiili, joka on automaattisesti ohjattava, kiinni-lukittu tai käsin kauko-ohjattava.

Tässä tapauksessa YVL B.6 325 mukaisesti riittäisi ainoastaan yksi suojarakennuksen ulkopuolinen eristysventtiili, eli kuvassa 6 venttiili 1. On kuitenkin huomioitavaa, että YVL-vaatimukset esittävät ainoastaan minimivaatimukset eristysventtiileille, ja monissa tapauksissa eristysventtiilit osallistuvat samalla muihin turvallisuustoimintoihin. Näiden turvallisuustoimintojen turvaamiseksi venttiileihin saattaa kohdistua lisävaatimuksia esimerkiksi vikakriteerien suhteen.

Kuvassa 6 nähdään moottoritoimisten eristysventtiilien lisäksi myös turvaluokkaan 3 kuuluva tiiveyskoeyhde. Perustilaltaan tiiveyskoeyhde on suljettu, ja se on käsikäyttöinen. Tämän myötä tiiveyskoeyhde täyttää venttiilien perustilalle asetetut vaatimukset putkilinjasta riippumatta. Tiiveyskoeyhteen turvallisuusluokka on 3, kun eristysventtiilien tulisi olla turvaluokkaa 2. Tässä tapauksessa YVL B.6 vaatii vain ulkopuolisen eristysventtiilin, jolloin tämän tiiveyskoeyhteen ei periaatteessa tarvitsisi olla eristysventtiili.

Molemmilla moottoritoimilaitteellisilla eristysventtiileillä on SAM-paikallisohtausmahdollisuus, jolloin YVL B.6 329a vaatimuksen mukainen SAM-varmennus toteutuu. Vaatimuksen mukaan SAM-varmennuksen on oltava yksittäisvikasietoinen niiden putkien osalta, jotka eivät eristy automaattisesti eristykseen johtavan alkutapahtuman yhteydessä.

Yksittäisvikasietoisuus koskisi siis venttiilejä, jotka jäävät eristyksestä auki. Tämän tapauksen eristysventtiilit kuitenkin sulkeutuvat laitossuojaussignaalin käskystä, jolloin yksittäisvikasietoisuus ei ole sen puolesta välttämätön.

YVL B.1 404 mukaisten olosuhdevaatimusten voidaan tässä tapauksessa katsoa täyttyvän, vaikka asia ei ole aivan yksiselitteinen. Sisäpuolisen eristysventtiilin toimilaitte on LOCA-kelpuutettu, eli se pystyy toimimaan myös LOCA:n olosuhteissa. Ulkopuolisella toimilaitteella sen sijaan ei ole LOCA-kelpuutusta, vaan toimilaitteen malli on tarkoitettu suojarakennuksen ulkopuolelle. Vaatimus kuitenkin täyttyy, sillä toimilaitetta ei tarvita vakavan reaktorionnettomuuden hallintaan.

11 Tulokset ja ehdotukset jatkotoimenpiteille

Diplomityön osana tehtävässä YVL-vaatimusten täyttyvyysanalyysissä huomattiin tapauksia, joissa nykyiset YVL-vaatimukset eivät täyty. Työssä tutkittiin molempien laitossuojarakennusten kaikki putkistoläpiviennit, ja saadut tulokset olivat melko yhteneviä laitossuojarakennusten välillä. Putkistoläpivientien suuren lukumäärän vuoksi seuraavissa kappaleissa käsitellään havaittuja asioita luokittain, yksityiskohtaisia tietoja ei tässä diplomityössä esitetä, vaan ne ovat saatavilla Excel-työkalussa.

11.1 Laitoksen pienet putkilinjat

Laitoksella on useita eri käyttötarkoitukseen olevia pieniä putkilinjoja, joissa tulisi YVL-vaatimusten mukaisesti olla vähintään kaksi eristysventtiiliä. Näitä pieniä linjoja ovat esimerkiksi näyteputket ja impulssiputket.

Laitoksella on lähes jokaisessa suojarakennuksen lävistävässä putkilinjassa tiiveyskoe-yhteitä, joiden tulisi sijaintinsa puolesta kuulua eristysventtiileihin. Kuten esimerkkitapauksen 3 yhteydessä todettiin, tiiveyskoe-yhteen asema eristysventtiilinä toisi kuitenkin epäkäytännöllisiä seurauksia, jos sen tiiveys täytyisi testata.

Tiiveyskoe-yhteet voisi lukea eristysventtiiliksi ongelmitta, mikäli niille on mahdollista saada vapautus tiiveyskokeista. Perustilaltaan suljetut tiiveyskoe-yhteet tulpataan tiiveyskokeiden jälkeen, tulppa tiivistetään ja tulpan tila tarkastetaan jälkikäteen erillisellä työmääräimellä. Tiiveyskoe-yhteen vuotaminen vaatisi siis venttiilin sekä tulpan vuotamisen. Yksittäisen tiiveyskoe-yhteen vuoto jäisi myös vähäiseksi, sillä tiiveyskoe-yhteet ovat halkaisijaltaan pieniä.

YVL B.2 vaatimuksen 320 mukaisen pienputkisäännön perusteella tiiveyskoe-yhteet voidaan lukea turvallisuusluokkaan 3, johon ne valmiiksi kuuluvatkin, sillä putkilinjan koko on alle DN50. Pienputkisäännön alemman turvallisuusluokan edellytyksenä on, että putkilinjan vuoto ei saa aiheuttaa minkään turvallisuustoiminnon menettämistä. Suojarakennuksen eristys on itsessään turvallisuustoiminto. Kuitenkin yksittäisen yhteen vuotamisen seurauksena mahdollinen vuoto olisi hyvin pieni, joten tässä yhteydessä YVL B.2 vaatimuksen 321 voitaisiin katsoa täyttyvän.

YVL-ohjeistuksessa näytelinjoja käsitellään kuten muitakin läpivientejä. Näytelinjojen suhteen on kuitenkin mahdollista hakea poikkeamaa, jos pystytään osoittamaan että putkilinjan vuodosta johtuva radioaktiivinen päästö jää riittävän pieneksi. Tässä tapauksessa ilmatilaan ja primäärijäähdytteeseen yhteydessä olevia putkilinjoja tulisi arvioida erikseen, sillä ilman ja veden välityksellä leviävällä aktiivisuudella on käytännön eroja.

Yleisesti pieniin putkilinjoihin liittyvät haasteet voitaisiin perustella osoittamalla, että putkilinjan vuodosta ei aiheudu liian suurta radioaktiivista päästöä ympäristöön ja arvioida vuodon todennäköisyyttä. Vakavassa reaktorionnettomuudessa rajana on 100 TBq cesium-137 päästö ja käytännössä tämä on rajoittavin tilanne. Pienen putkilinjan vuotoa mallintamalla voidaan tutkia päästöä, ja päästörajan alittuessa sitä voidaan käyttää perusteluna turvallisuusarviossa.

11.2 Laitoksen dokumentoinnista puuttuvat eristysventtiilit

Eristysventtiilien kartoituksessa löydettiin eristysventtiilejä, joita ei ollut nykyisessä FSARin eristysventtiilistauksessa. Puuttuvista venttiileistä on koottu Excel-työkaluun listaus. Suurin osa puuttuvista venttiileistä kuuluu tiiveyskoeysteisiin, vesitys- ja ilmauslinjoihin tai näytelinjoihin. Nämä venttiilit ovat käsikäyttöisiä ja perustilaltaan suljettuja, pois lukien jotkin näytelinjojen venttiilit, joiden perustila on auki.

Tuorehöyrylinjassa ja pääkiertopumpun tiivistevesilinjassa havaittiin listauksesta puuttuvia eristysventtiilejä, jotka ovat käsikäyttöisiä ja perustilaltaan suljettuja. Venttiilien lukumäärää ja perustilaa koskevien YVL B.6 vaatimusten kannalta venttiilin voi lisätä eristysventtiililistaukseen, ja ne kuuluvat valmiiksi turvallisuusluokkaan 2. Haaste näiden eristysventtiilien osalta on niiden tiiveyden toteaminen, joka saattaa vaatia uusien tiiveyskoeysteiden lisäämistä. Ennen uusien tiiveyskoeysteiden asentamista tulisi kuitenkin selvittää voiko putkilinjan todeta tiiviiksi muulla tavalla, tai voiko mahdollisen vuodon todeta tarpeeksi pieneksi.

11.3 Olosuhdekelpuutukset

Työssä tarkasteltiin eristysventtiilien olosuhdekelpuutuksia YVL B.1 vaatimuksen 404 täyttämiseksi, jonka mukaan eristysventtiilien toimilaitteiden tulisi pysyä toimintakykyisinä

kaikissa sille edellytetyissä olosuhteissa. Työssä todettiin, että sisäpuolisten eristysventtiilien toimilaitteet olivat LOCA-kelpuutettua mallia, kuten pitääkin olla.

Ulkopuolisilla toimilaitteilla ei LOCA-kelpuutusta puolestaan ole, minkä arveltiin voivan aiheuttaa ongelmia tilanteissa, joissa auki jäänyt eristysventtiili tulisi saada vakavan reaktorionnettomuuden olosuhteissa suljettua. LOCA-kelpuutus ei suoranaisesti tarkoita, että toimilaitte on kykeneväinen toimimaan SAM-tilanteessa suojarakennuksen sisällä, vaan sitä varten on olemassa erillinen SAM-kelpuutus.

Työssä kuitenkin tutkittiin erityisesti LOCA-kelpuutuksia, sillä siihen kuuluva säteilykestoisuus voisi antaa hyvät edellytykset toimia suojarakennuksen ulkopuolisissa olosuhteissa vakavan reaktorionnettomuuden aikana. Sisäpuoliset toimilaitteet, jotka eivät osallistu vakavassa reaktorionnettomuudessa laitostilan hallintaan eivät myöskään tarvitse SAM-kelpuutusta, kunhan ne on suljettu jo aikaisemmin vähemmän vaativissa olosuhteissa ja venttiilit on suunniteltu oikein. SAM-kelpuutus on tehtävä erikseen, mikäli olosuhteet aiheuttaisivat venttiilin avautumisen. Työssä selvitettiin suojarakennuksen eristyksestä auki jäävät putkilinjat, joiden kohdalla venttiilin toimintakyvyn säilyttäminen olisi oleellista.

Auki jääneiden putkilinjojen kohdalla olisi tärkeää tuntee suojarakennuksen ulkopuolisille toimilaitteille onnettomuustilanteessa kohdistuvat olosuhteet ja säteilyannokset, jotka onnettomuustilanteessa voisivat uhata ulkopuolisten toimilaitteiden toimintakykyä. Mikäli pystytään osoittamaan, että toimilaitteisiin ei kohdistu liian suuria säteilyannoksia tai muita sen toimintaa uhkaavia olosuhteita, vaatimuksen voisi katsoa täyttyvän. Toisaalta mikäli todetaan, että toimilaitteet eivät ole toimintakykyisiä, tulisi harkita toimenpiteitä. Yksi vaihtoehto olisi tilan muuttaminen esimerkiksi perustiloituksen tai automaatiologiikan osalta. Vaihtoehtoisesti toimilaitteet voitaisiin vaihtaa säteilykestävään malliin tai asentaa nykyisten toimilaitteiden ympärille suojaavia rakenteita.

11.4 SAM-varmennukset

YVL B.6 329a vaatiman eristysventtiilien ohjauksen SAM-varmistuksen piirissä on nykyisin vain 31 laitoksen eristysventtiiliä, vaikka vaatimuksen mukaisesti varmistus tulisi olla kaikkien eristysventtiilien ohjaustoimintojen tukena. Käytännössä ainoastaan perustilaltaan

suljettujen eristysventtiilien ja takaiskuventtiilien kohdalla tätä vaatimusta ei tarvitsisi soveltaa, sillä ne eivät vaadi ohjausta.

Tässä tapauksessa poikkeaman hakeminen lienee paras lähestymistapa. Nykyiset SAM-varmennukset kohdistuvat tapauksiin, joissa suojarakennuksen sisä- ja ulkopuolinen eristysventtiili ovat kummatkin toimilaitteellisia ja perustila on auki. Poikkeuksena tähän on pääkiertopumpun tiivistevesilinjan kaksi läpivientä, joissa on vain ulkopuolinen eristysventtiili, jolla on paikallisohjausmahdollisuus. Myös tyyppijärjestelmän yhdellä ulkopuolisella eristysventtiilillä on paikallisohjausmahdollisuus, vaikka sen sisäpuolinen eristysventtiili on tyyppiltään takaisku.

Paikallisohjatut venttiilit ovat moottoritoimilaitteellisia, lukuun ottamatta ilmastointijärjestelmän kahden suurikokoisen ilmastointikanavan sisäpuolisia eristysventtiilejä, joiden toimilaitteet ovat pneumaattisesti toimivia. Näissä tapauksissa ulkopuoliset eristysventtiilit on mahdollista sulkea katkaisemalla toimilaitteille menevä paineilma, jolloin erillinen paikallisohjaus ulkopuolisille eristysventtiileille ei ole tarpeen.

SAM-varmennus on erityisen tärkeä niissä tapauksissa, joissa molempien eristysventtiilien sulkeminen vaatii aktiivisen toiminnon. Tapauksissa, joissa sisäpuolinen eristysventtiili olisi tyyppiltään takaiskuventtiili, SAM-varmennus ei ole yhtä oleellinen. Takaiskuventtiili pystyy eristämään putkilinjan, vaikka toimilaitteellinen eristysventtiili ei sulkeutuisikaan, jolloin riski putkilinjan vuotamiselle pienenee. Pienet putkilinjat, tai ulkopuolinen pneumaattinen toimilaitte voisivat olla tapauksia, joissa vaatimuksesta 329a on mahdollista poiketa. Näissä tapauksissa radioaktiivinen päästö jäisi pieneksi kappaleen 11.1 perusteluiden mukaisesti, tai putkilinja saataisiin eristettyä myös ilman erillistä ohjausjärjestelmää.

11.5 Muut huomiota vaativat tapaukset

Syöttövesilinjan läpivientien ulkopuolella läpiviennistä seuraava venttiili on takaiskuventtiili, minkä käsitteleminen eristysventtiilinä ei täytä vaatimusta YVL B.6 329. Takaiskuventtiilin jälkeen linja haarautuu, ja haaroissa sijaitsevat moottoritoimilaitteelliset venttiilit, jotka puolestaan voisivat toimia eristysventtiileinä. Samasta läpiviennistä lähtee myös yksi putkilinja, joka on tulpattu takaiskuventtiilin jälkeen.

Tässä tapauksessa tulisi selvittää, voiko moottoritoimilaitteelliset venttiilit käsitellä suojarakennuksen eristysventtiileinä takaiskuventtiilin sijaan. STUK on todennut YVL B.6 perustelumuistiossa, että ulkopuolisen takaiskuventtiilin kieltävästä vaatimuksesta voidaan poiketa, mikäli suojarakennuksen eristys venttiilityypistä huolimatta toteutuu luotettavasti (STUK 2019).

Pääkiertopumpun tiivistevesilinjoissa ei ole nykyisin sisäpuolisia eristysventtiilejä, vaikka järjestelmä sisältää primäärijäähdytettä. Suojarakennuksen sisäpuolella seuraava mahdollinen eristysventtiili on injektioveden lämmönvaihtimen jälkeen sijaitseva sähkömoottoritoimilaitteellinen sulkuventtiili. Venttiilin toimilaitte ei ole LOCA-kelpuutettua mallia, ja lämmönvaihtimen vuoksi venttiili ei sijaitse mahdollisimman lähellä läpiviientiä, kuten YVL B.6 328 edellyttäisi. Tässä tapauksessa voidaan harkita uuden toimilaitteellisen eristysventtiilin asentamista tai luvussa 11.3 esitettyjä menettelyjä, mikäli venttiilin sijainti on riskiarvion perusteella hyväksyttävä.

Ilmastointijärjestelmän viidessä läpiviennissä olevat pneumaattisella toimilaitteella varustetut eristysventtiilit ja niiden toimilaitteet olivat LOMAX-tietojärjestelmän mukaisesti samaa mallia. YVL B.6 vaatimus 323 edellyttää saman läpiviennin eristysventtiileiltä erilaisuusperiaatetta, jolloin eroavaisuutta tulisi löytyä joko venttiilin valmistajasta, mallista tai toimilaitteesta. Asian selvittämiseksi toimilaitteiden ja eristysventtiilien malleja tulisi tutkia tarkemmin.

Laitoksella monissa suojarakennuksen ilmatilaan yhteydessä olevissa putkilinjoissa ei ole YVL B.6 323 vaatimaa kahta eristysventtiiliä. Useimmissa tapauksissa tämä putkilinja oli kuitenkin pienikokoinen, jolloin voidaan käyttää kappaleen 11.1 esittämiä perusteluja. Suuria putkilinjoja oli kuitenkin kaksi kappaletta laitoksen ilman sekoitus- ja vedynkäsittelyjärjestelmässä, jossa putken halkaisija on 159 mm. Primäärijäähdytteeseen yhteydessä olevia putkilinjoja, joista puuttui toinen eristysventtiili, oli näytelinjojen lisäksi erikoisviemäröintijärjestelmässä. Erikoisviemäröintijärjestelmän kaksi putkilinjaa, joissa toinen eristysventtiili puuttui, ovat kuitenkin halkaisijaltaan vain 12 mm.

11.6 Tulosten ja oletusten varmistaminen laitoskierroksella

Diplomityössä tarkastellut eristysventtiilit tulisi vielä varmentaa laitoskierroksella, jossa voidaan tutkia esimerkiksi eristysventtiilin etäisyyttä läpivientiin, jonka YVL B.6 328 mukaisesti tulisi olla mahdollisimman lyhyt. Työssä tutkittiin ensisijaisesti järjestelmien PI-kaavioita, joista ei näe komponenttien ja laitteiden todellisia etäisyyksiä. Putkistoisometreistä nämä selviäisivät, mutta työn aikana todettiin, että varmistus on syytä tehdä mieluummin laitoskierroksen muodossa, sillä tällöin nähdään myös läpiviennin ympäristö.

Laitoskierroksella tulisi myös tarkastaa paikallisohjattavat venttiilit uloimmassa rengastilassa sijaitsevilta ohjauskeskuksilta, sillä niiden dokumentoinnissa havaittiin jotain epäselvyyksiä.

Laitoskierroksen tuloksia ei sisällytetä enää tähän diplomityöhön. Ensimmäinen mahdollisuus kattavalle laitoskierrokselle on vuosihuollon 2021 aikana, jolloin on mahdollista myös vieraila höyrystintilassa suojarakennuksen sisäpuolisten eristysventtiilien tutkimiseksi. Ulkopuolisten eristysventtiilien paikallistaminen olisi mahdollista, mutta työn kirjoittamishetkellä vallinneen koronapandemian vuoksi laitoksella vierailu muista kuin välttämättömistä syistä ei ole ollut suotavaa.

12 Yhteenveto

Diplomityössä tutkittiin suojarakennuksen eristystä ja siihen liittyviä viranomaisvaatimuksia. Suojarakennuksen eristykseen liittyvä YVL B.6 ohje päivitettiin vuonna 2019 ja suojarakennuksen eristyksen vaatimustasoa kiristettiin. Tämän myötä tuli tutkia, täyttävätkö Loviisan ydinvoimalaitoksen eristysventtiilit uudistetut vaatimukset. Työssä tutkittiin suojarakennuksen tarkoitusta, sekä kansainvälisten ydinvoimaorganisaatioiden näkemyksiä suojarakennuksen eristämisestä.

Työn kirjallisuusosuuteen valikoitui tutkittavaksi eristysventtiileihin liittyviä olennaisia asioita, kuten eristyksen käynnistävän laitossuojaussignaalin toiminta, eristysventtiilien tiiveyskoestukset, kunnossapito, kelpuutukset ja riskitutkimus. Kirjallisuusosion tavoitteena oli tutkia laaja-alaisesti eristysventtiileihin liittyviä asioita, jotta YVL-vaatimusten täyttymistä oli mahdollista arvioida. Kirjallisuusosuus tukee myös eristysventtiileihin liittyvien haasteiden ratkaisua, sekä työn jälkeen tehtäviä toimenpiteitä.

Työn soveltavassa osuudessa luotiin Excel-työkalu, jossa tutkittiin Loviisan eristysventtiilien YVL-vaatimusten täyttymistä. Työkalussa käsiteltiin laitoksen kaikki tunnetut eristysventtiilit, ja siihen lisättiin useita laitoksen virallisesta listauksesta puuttuvia venttiilejä järjestelmien PI-kaavioiden perusteella. YVL-vaatimusten täyttymisen lisäksi työkalu sisältää kattavasti eristysventtiileihin liittyviä tietoja, jotka on kerätty Fortumin eri järjestelmistä.

Työkalun avulla tutkittiin YVL B.6 vaatimuksia 323, 324, 325, 326, 329a ja YVL B.1 vaatimusta 404, jotka työn alussa määriteltiin tarkasteltavaksi. Näitä vaatimuksia tarkasteltiin läpivientikohtaisesti, eli jokaisen läpiviennistä seuraavan eristysventtiilin tulisi olla näiden vaatimusten mukainen.

Eristysventtiilien vaatimusten täyttyvyysanalyysissä huomattiin, että osa laitoksen eristysventtiileistä ei täytä nykyisiä YVL-vaatimuksia. Suurin yksittäinen kategoria oli laitoksen pienet putkilinjat, jotka ovat halkaisijaltaan alle 25 mm. Useissa näissä tapauksissa oli ainoastaan yksi eristysventtiili vaatimusten edellyttäessä kahta eristysventtiiliä, tai näytelinjojen kohdalla perustilaltaan auki oleva venttiili. Suurempiin putkilinjoihin liittyviä tapauksia,

joissa venttiileiden tyyppiin tai lukumäärään liittyvät vaatimukset eivät täyty, löytyi myös pääkiertopumpun tiivistevesijärjestelmästä ja syöttövesijärjestelmästä.

Laitoksen pieniin putkilinjoihin liittyviin haasteisiin ehdotettiin, että venttiilin vuotaessa tai putkirikon yhteydessä oleva radioaktiivinen päästö jäisi alle vakavan reaktorionnettomuuden 100 TBq cesium-137 päästörajan, jota voidaan käyttää perusteluna poikkeamalle turvallisuusarviossa.

YVL B.1 vaatimuksen 404 mukaisessa eristysventtiilien toimilaitteiden olosuhdekelpuutusten selvityksessä huomattiin, että suojarakennuksen sisäpuolisilla toimilaitteilla on tarkoituksenmukaiset LOCA- ja MSLB-kelpuutukset. Ulkopuolisilla toimilaitteilla näitä kelpuuksia ei ole, vaan niiden mallit eivät ole tarkoitettu suojarakennuksen sisäpuolisiin olosuhteisiin. Ulkopuolisilta toimilaitteilta, joiden tulisi pysyä toimintakykyisenä vakavan reaktorionnettomuuden olosuhteissa, arveltiin vaativan säteilykestoisuutta, johon niitä ei ole kelpuutettu.

YVL B.6 vaatimuksen 329a selvityksessä havaittiin, että vaatimuksen edellyttämä eristysventtiilin ohjaustoiminnon SAM-varmennus toteutuu vain 18 läpiviennin kohdalla. Läpivientejä, joiden läpi kulkee suuria putkilinjoja on laitosta kohden noin 100. Tämän lisäksi näyteputkiläpivientejä on 25 kappaletta, joiden läpi kulkee useita pieniä putkilinjoja. Osa laitoksen läpivienneistä ei ole käytössä, ja kaikkien läpivientien kohdepaikkatunnusta ei ollut saatavilla. YVL-vaatimusten täyttyvyysanalyysissä ei eroteltu pieniä ja suuria putkilinjoja, sillä kaikkien putkilinjojen tulisi täyttää YVL-vaatimukset linjan koosta huolimatta.

Diplomityön monet löydökset vaativat lisätarkastelua ja aiheuttavat toimenpiteitä työn jälkeen. Yhtenä toimenpiteenä on laitoksen dokumentoinnin täydentäminen, jotta työssä havaitut laitosdokumentaatiosta puuttuneet eristysventtiilit saadaan lisättyä. Lisätarkastelun kohteita ovat ainakin ilmastointijärjestelmän eristysventtiilien erilaisuusperiaatteen täytyminen, ja eristysventtiilien etäisyys läpiviennistä. Etäisyys läpiviennistä voidaan tarkastaa laitoskierroksella vuosihuollossa 2021. Laitoskierroksella voidaan myös tarkastaa niitä tapauksia, jotka vaativat mahdollisesti muutostöitä tulevaisuudessa.

13 Lähteet

Ahokas J. 2018. Sähkö- ja automaatiolaitteiden ympäristöolosuhteet, versio 2.2. Lopullinen turvallisuusseloste (FSAR) 3.7. [Viitattu 20.5.2021]. Fortum Power and Heat. Sisäinen dokumentti. Arkistotunnus: LO1-K852-00652

Eurasto, T et al. 2004a. Ydinturvallisuus. Säteilyturvakeskus (STUK). [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.12.2020]. Saatavissa: https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirjasarjaV_ydinturvallisuus_1.pdf/95095d35-1496-4a62-8f90-d402c6ad6e7e

Eurasto T et al. 2004b. Ydinvoimalaitostekniikan perusteita. Säteilyturvakeskus (STUK). [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.12.2020]. Saatavissa: https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirjasarjaV_ydinturvallisuus_2.pdf/74b3643c-419f-4381-89ff-423e406f98b1

Energiateollisuus. 2020. Hyvä tietää ydinvoimasta. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 22.5.2021]. Saatavilla: https://energia.fi/files/5161/Ydinvoima_esite_2020.pdf

Fortum. 2020. Loviisan voimalaitoksen ympäristövaikutusten arviointi (YVA). [Verkkoaineisto]. [Viitattu 3.3.2021]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/loviisayva>

Hartikainen M & Repo T. 2021. Lopullinen turvallisuusseloste (FSAR) 7.5.3. Laitossuojajärjestelmä, versio 4.0. Arkistotunnus: LO1-K852-00503.

International Atomic Energy Agency (IAEA). 2019. Design of the Reactor Containment and Associated Systems for Nuclear Power Plants. IAEA Safety Standards. Specific Safety Guide. No. SSG-53. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 7.12.2020]. Saatavissa: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1856_web.pdf

International Atomic Energy Agency (IAEA). 1996. Defence in Depth in Nuclear Safety INSAG-10. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 5.12.2020]. Saatavissa: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1013e_web.pdf

International Atomic Energy Agency (IAEA). Safety of Nuclear Power Plants: Design. Specific Safety Requirements No. SSR-2/1 (Rev. 1). 2016. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.3.2021]. Saatavissa: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1715web-46541668.pdf>

Immanen R. 2020. Teräsuojarakennuksen materiaalisulun, kulkuaukkojen ja läpivientien toimintakokeet ja tiiveyskoestukset, versio 6.0. Fortum Power and Heat. Sisäinen ohje. Ohjenumero: Y-02-00008

Lamroth H. 2006. Loviisan rakennusprojekti ja suunnittelun vertailu eräihin muihin VVER-voimalaitoksiin. Lopullinen turvallisuusseloste (FSAR) 1.3, versio 2.0. Arkistotunnus: LO1-K852-00694

Leino K. 2017. Suojarakennuksen eristys. Lopullinen turvallisuusseloste (FSAR) 6.2.3, versio 2.3. Sisäinen dokumentti. Fortum Power and Heat Oy. Arkistotunnus: LO1-K852-00761.

Leppäsalo N. 2021. Lopullinen turvallisuusseloste (FSAR) 1.2. Loviisan ydinvoimalaitoksen yleiskuvaus. Fortum Power and Heat. Sisäinen dokumentti. Arkistotunnus: LO1-K852-00898.

Nuclear Energy Agency (NEA). 2016. Implementation of Defence in Depth at Nuclear Power Plants. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 8.12.2020]. Saatavissa: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14950

NRC 2007. NUREG-0800, 6.2.4 Containment Isolation System. Revision 3. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 25.3.2021]. Saatavissa: <https://www.nrc.gov/docs/ML0703/ML070380197.pdf>

PRIS. Power Reactor Information System, Loviisa 1, Loviisa 2. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 23.1.2021]. Saatavissa: <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=157>

Prandorfy M, 2001. Containment leak-tightness enhancement at VVER 440 NPPs. IYNC. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 9.6.2021]. Saatavissa: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/011/33011216.pdf

Puustinen M, 2019. Toimilaittehuoltojen jaksotus, versio 9.0. Fortum Power and Heat. Sisäinen ohje. Ohjenumero: Y-03-00050.

Riekkinen M, 2019. Suojakuoren eristysventtiilien tiiveyskoestus, versio 14.0. Fortum Power and Heat. Sisäinen ohje. Ohjenumero: Y-02-00064.

SAM-käsikirja luku 2, versio 1.2. 2019. Suojarakennuksen tiiveyden varmistaminen. Fortum Power and Heat. Sisäinen dokumentti. Arkistotunnus: LO1-K852-00936.

SFS-EN 60780-323. 2017. Nuclear facilities. Electrical equipment important to safety. Qualification

Siltanen S, Tarkiainen S. 2009. PRA taso 2. Suojarakennuksen eristyksen luotettavuusmallit. Fortum Power and Heat. Sisäinen raportti. [Viitattu 20.5.2021].

Siren et al. 2020. Loviisa 1 ja 2 riskitutkimus pääraportin luku 12: Herkkyys-, tärkeys-, ja epävarmuuslaskut, versio 8.0. Fortum Power and Heat. [Viitattu 15.4.2021]. Sisäinen dokumentti. Arkistotunnus: LO1-T841912-00006.

STUK Y/1/2018. Säteilyturvakeskuksen määräys ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 10.6.2021]. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/maarays/stuk-y-1-2018>

Säteilyturvakeskus (STUK). 2020b. Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 2.6.2021]. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/ihmisen-radioaktiivisuus/suomalaisen-keskimaarainen-sateilyannos>

Säteilyturvakeskus (STUK). 2020a. Ydinturvallisuusohjeet (YVL-ohjeet). [Verkkoaineisto]. [Viitattu 21.12.2020]. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/saannosto/stukin-viranomaisohjeet/ydinturvallisuusohjeet>

Säteilyturvakeskus (STUK). 2018. Säteilyturvakeskuksen määräys ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta. [Viitattu 1.2.2021]. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/maarays/stuk-y-1-2018>

Säteilyturvakeskus (STUK). 2019. YVL B.6 perustelumuistio. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 4.5.2021]. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/YVLB.6-perust.pdf>

WENRA. 2014. Safety Reference Levels for Existing Reactors. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 25.3.2021]. Saatavissa: http://www.wenra.org/media/filer_public/2014/09/19/wenra_safety_reference_level_for_existing_reactors_september_2014.pdf

YVL B.1. 2019. Ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelu. Säteilyturvakeskus (STUK) [Verkkoaineisto]. [Viitattu 7.2.2021]. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLB-1>

YVL B.2. 2019. Ydinvoimalaitoksen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokittelu. Säteilyturvakeskus (STUK). [Verkkoaineisto]. [Viitattu 13.3.2021]. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLB-2>

YVL B.6. 2019. Ydinvoimalaitoksen suojarakennus. Säteilyturvakeskus (STUK). [Verkkoaineisto]. [Viitattu 10.12.2020]. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLB-6>

YVL B.7. 2019. Varautuminen sisäisiin ja ulkoisiin uhkiin ydinlaitoksessa. Säteilyturvakeskus (STUK). [Verkkoaineisto]. [Viitattu 19.5.2021]. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLB-7>

YVL C.3. 2019 Ydinlaitoksen radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen ja valvonta. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 17.5.2021]. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLC-3>

Ydinenergia-asetus 22 b § (19.12.2017/1001)