

Paula Hannola

Primääripiirin jäähdytysjärjestelmän kuvaus osana Loviisan lopullista turvallisuusselostetta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

5.5.2015

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Paula Hannola Primääripiirin jäähdytysjärjestelmän kuvaus osana Loviisan lopullista turvallisuusselostetta 20 sivua + 1 liite 5.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Suunnittelupäällikkö, prosessisuunnittelu Satu Sipola Lehtori Tomi Hämäläinen
<p>Insinööritöiden tarkoituksena oli tarkastella Loviisan ydinvoimalan turvallisuusselosteen lukua 5 <i>Reaktorin jäähdytysjärjestelmä</i>. Luvun rakenteeseen oli tarkoitus antaa kehitysehdotuksia ja alalukuun 5.1. <i>Reaktorin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaus</i> lisäysehdotuksia.</p> <p>Insinööritöiden teoriaosuudessa on selvitetty ydinvoimaloiden ja niiden turvallisuusselvitysten lainsäädäntöä ja käytäntöjä Suomessa sekä turvallisuusselvitysten kansainvälisiä laatimisohteita. Teoriaosuuden lopussa on kerrottu perustietoja Loviisan ydinvoimalasta.</p> <p>Insinööritöissä verrattiin Loviisan ydinvoimalaitoksen turvallisuusselosteen reaktorin jäähdytysjärjestelmästä kertovaa lukua kahteen kansainväliseen turvallisuusselosteen laatimisohteeseen sekä suomalaisiin Ydinvoimalaitosohjeisiin. Western European Nuclear Regulator's Associationin (WENRA) ohjeesta otettiin mallia sekä turvallisuusselosteen rakenteeseen että sisällön selkiyttämiseen. International Atomic Energy Agency (IAEA) ohjeeseen turvallisuusselostetta verrattiin ainoastaan sisällöllisesti, mutta Loviisan turvallisuusseloste täytti jo tämän ohjeen vaatimukset. Suomalaisen ydinvoimalaitosohjeiden todettiin olevan jo riittävän laajasti pohjana turvallisuusselosteessa, joten ne eivät aiheuttaneet muutosehdotuksia.</p> <p>Turvallisuusselosteen lukuun 5.1 <i>Reaktorin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaus</i> kerättiin kehitysehdotuksia WENRAn ohjeesta sekä kahdesta rakennusvaiheessa olevan ydinvoimalaitoksen turvallisuusselosteesta. Näiden lisäksi turvallisuusselosteeseen suositeltiin lisättäväksi Loviisan uuden turvallisuusautomaation mukaiset turvallisuustoimintojen koodit selityksineen.</p> <p>Insinööritöiden tarkoitus oli antaa Fortumille neuvoja Loviisan ydinvoimalan turvallisuusselosteen kehittämiseksi. Tämä tavoite saavutettiin ja raportissa esitettiin selkeitä ja yksinkertaisia ohjeita turvallisuusselosteen reaktorin jäähdytystä koskevan luvun kehittämiseksi.</p>	
Avainsanat	ydinvoimala, turvallisuusseloste, jäähdytysjärjestelmä

Author Title Number of Pages Date	Paula Hannola Description of the Reactor Coolant System as a part of Loviisa Nuclear Power Plant's Final Safety Analysis Report 20 pages + 1 appendix 5 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Satu Sipola, Manager, Process Engineering Tomi Hämäläinen, Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to study Loviisa Nuclear Powerplant's Final Safety Analysis Report and especially chapter 5 <i>Reactor coolant system</i>. The aim was to give suggestions for the chapter's structure and suggest additions to chapter 5.1 <i>Summary description of reactor coolant system</i>.</p> <p>The theory section of this Bachelor's thesis contains information about the legislation and established practices for nuclear power plants and their safety analysis reports in Finland and around the world. The international guides for writing nuclear power plants' safety analysis reports are discussed and furthermore, basic information of Loviisa nuclear power plant is given.</p> <p>To start with, Loviisa nuclear power plant's final safety analysis report's chapter 5 <i>Reactor coolant system</i> was compared to two international guides for safety analysis reports and to Finnish legislation concerning nuclear power plants' safety analysis reports. In addition, suggestions for the improvement of the structure and contents of the report were given after comparing Loviisa's report to Western European Nuclear Regulator's Association's (WENRA) guide for safety analysis reports. The contents of Loviisa's report were compared to International Atomic Energy Agency's guide for safety analysis reports, but this comparison did not raise any suggestions for improvement. Finnish legislation was widely taken into account in Loviisa's safety analysis report. Thus the laws did not raise suggestions for improvements.</p> <p>Suggestions to improve Loviisa's safety analysis report's chapter 5.1 <i>Summary description of reactor coolant system</i> and to clarify its content were gathered by comparing the chapter to WENRA's guide and to two other nuclear power plants' safety analysis reports. The codes and explanations of Loviisa's new safety automation system were suggested to be added to safety analysis report's chapter 5.1.</p> <p>The aim of the Bachelor's thesis was to give suggestions to Fortum Corporation how to improve Loviisa's final safety analysis report's chapter five. The aim was achieved and simple suggestions were made for the improvement of the safety analysis report.</p>	
Keywords	safety analysis report, coolant system, nuclear power plant

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ydinvoimalaitoksen lopullinen turvallisuusseloste	2
2.1	Vaatimukset Suomessa	2
2.2	Standardit maailmalla	3
2.3	Loviisan ydinvoimala ja sen turvallisuusseloste	4
3	Arvio primääripiirin jäähdytysjärjestelmän kuvauksen kattavuudesta	5
3.1	WENRAn ohje turvallisuusselosteen rakenteesta ja sisällöstä	5
3.2	Kansainvälisen atomienergiajärjestön ohje turvallisuusselosteen sisällöstä	12
3.3	Ydinvoimalaitosohjeiden vaatimukset turvallisuusselosteelle	13
4	Kehitysehdotukset primääripiirin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaukselle	13
4.1	Rakenne	13
4.2	Turvallisuus- ja muut toiminnot	16
5	Suosittelut jatkotoimenpiteet	18
5.1	Selvitystä vaativat kehityskohteet	18
5.2	Turvallisuusselosteeseen uusina lisättävät kohteet	18
5.3	Rakenteelliset muutokset	19
5.4	Täydennettävät kohteet	19
5.5	Päivitettävät kohteet	20
6	Yhteenveto	20
	Lähteet	21

Liitteet

Liite 1. Loviisan ydinvoimalan lyhyen ja pitkän aikavälin turvallisuustoiminnot (vain työn tilaajan käyttöön)

Lyhenteet

FSAR	<i>Final Safety Analysis Report</i> . Ydinvoimalaitoksen lopullinen turvallisuusseloste.
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i> . Kansainvälinen atomienergiajärjestö.
LOCA	<i>Loss Of Coolant Accident</i> . Jäähdytteenmenetyssonnettomuus.
LOFSAR	<i>Loviisa Final Safety Analysis Report</i> . Loviisan ydinvoimalaitoksen lopullinen turvallisuusseloste.
PRA	<i>Probabilistic Risk Assessment</i> . Todennäköisyysperusteinen riskianalyysi.
PSAR	<i>Preliminary Safety Analysis Report</i> . Ydinvoimalaitoksen alustava turvallisuusseloste.
STUK	Säteilyturvakeskus.
UK-AP1000	Isobritannialainen painevesireaktoriydinvoimalaitos.
US-APWR	<i>U.S. Advanced Pressurized-Water Reactor</i> . Amerikkalainen painevesireaktoriydinvoimalaitos.
WENRA	<i>Western European Nuclear Regulators' Association</i> . Eurooppalainen ydinvoimajärjestö.
YVL-ohje	Ydinvoimalaitosohje.

1 Johdanto

Fortum on suuri suomalainen energiayhtiö, joka panostaa hiilidioksidivapaaseen energiantuotantoon ja jatkuvaan toimintansa kehittämiseen. Fortum omistaa Suomen vanhimman ydinvoimalaitoksen Loviisassa ja vastaa tämän voimalaitoksen käyttämisestä Suomen lainsäädännön ja suomalaisten viranomaisvaatimusten edellyttämällä tavalla. Lisäksi Fortum omistaa eri yhtiöiden kautta osia kahdeksasta muusta reaktorista Suomessa ja Ruotsissa. Loviisan ydinvoimalaitoksen käyttökertoimet ovat kansainvälisesti vertailtuna huippuluokkaa. Vuoden 2013 käyttökerroin oli 92,5 %. Fortumilla on vuosien kokemuksen kautta syntynyt vahva osaaminen ydinvoimatekniikasta ja vakuuttavat näytöt ydinvoiman turvallisesta käyttämisestä. [1.]

Säteilyturvakeskuksen asettamien ydinvoimalaitosohjeiden (YVL-ohjeet) uudistuttua vuonna 2013, Loviisan ydinvoimalaitosta arvioidaan uusien ohjeiden tiukentuneiden vaatimusten mukaisesti. Uusista YVL-ohjeista annetaan Loviisan voimalaitosta koskevat soveltamispäätökset sen jälkeen, kun viranomainen on kuullut käyttöluvan haltijaa, eli Fortumia. Tämä kuulemismenettely on insinööriyön laatimisen aikana käynnissä. Samaan aikaan on käynnissä Loviisan voimalaitoksen tämänhetkiseen käyttölupaan liittyvä turvallisuuden väliarviointi (Periodic Safety Review). Väliarviointi on osa suurempaa projektikonaisuutta, jossa Loviisan voimalaitoksen lopullista turvallisuusselostetta FSAR (Final Safety Analysis Report) pyritään kehittämään kokonaisuutena. Fortumin turvallisuuden väliarviointiprojekti päättyy alkuvuodesta 2016, mutta projektin aikana käynnistetyt kehityshankkeet tulevat jatkumaan tämän jälkeenkin. [2.]

Tässä työssä tarkastellaan Loviisan ydinvoimalaitoksen lopullisen turvallisuusselosteen (LOFSAR) lukua, jossa kuvataan primääripiirin jäähdytystä. Luvun rakennetta arvioidaan kahden eri kansainvälisen ydinvoimalaitosohjeen ja Suomen ydinvoimalaitosohjeiden avulla sekä annetaan kehitysehdotuksia luvun kehittämiseksi ja parantamiseksi. Tämän lisäksi tarkastellaan primääripiirin jäähdytyksen yleiskuvauksen rakennetta ja sisältöä kahden rakenteilla olevan laitoksen vastaavan dokumentin pohjalta ja nimetään primääripiirin jäähdytysjärjestelmän automatiikan suorittamia turvallisuustoimintoja. Luku primääripiirin jäähdytysjärjestelmästä on kirjoitettu alun perin WENRAn (Western European Nuclear Regulators' Association) yleiseurooppalaisen ohjeen mukaisesti. Teksti on vuo-

sien kuluessa havaittujen päivitystarpeiden myötä muokkautunut omanlaisekseen kokonaisuudeksi ja eroaa nykyisellään alkuperäisestä ohjeen muodosta. Työssä verrataan näitä eroja ja arvioidaan muutosten tarvetta.

2 Ydinvoimalaitoksen lopullinen turvallisuusseloste

2.1 Vaatimukset Suomessa

Ydinvoimalaitosten onnettomuudet ovat epätodennäköisiä, mutta vakavia seurauksiltaan. Sen takia ydinvoimaloita ja niiden toimintaa valvotaan tarkasti. Suomessa ydinvoimalan käyttöluvan hakeminen ja saaminen on monivaiheinen prosessi, johon osallistuvat useat päättävät tahot. Voimalaitosluvan hakeminen alkaa periaatepäätöksen jättämisellä valtioneuvoston käsiteltäväksi. Valtioneuvosto pyytää periaatepäätökseen kannanottoja monelta taholta kuten Säteilyturvakeskukselta, ympäristöministeriöltä ja suunnitellun voimalaitoksen sijaintikunnalta sekä sen naapurikunnilta. Näiden selvitysten perusteella valtioneuvosto päättää joko hylätä tai myöntää periaatepäätöksen. Myöntämisen jälkeen eduskunnan tulee vielä vahvistaa periaatepäätös. [3.]

Seuraava vaihe voimalaitosprojektissa on rakentamisluvan ja käyttöluvan hakeminen. Näiden lupien saaminen vaatii paljon yksityiskohtaisia selvityksiä laitoksen tekniikasta ja rakenteesta sekä turvallisuudesta. Tarvittavat asiakirjat on mainittu Ydinenergialaissa. Tarvittavien selvitysten riittävyttä, laitoksen tekniikkaa ja turvallisuutta valvoo Suomessa muiden viranomaisten ohella Säteilyturvakeskus (STUK), jonka suosituksen perusteella valtioneuvosto tekee päätöksen lupien saamisesta. [3.]

Säteilyturvakeskus on riippumaton ydinenergialaissa säädetty asiantuntijaviranomainen, joka valvoo ydinenergian käyttöä Suomessa. Säteilyturvakeskuksen tehtävänä on estää ja rajoittaa säteilyn vahingolliset vaikutukset. Se valvoo ydinvoiman turvallisuutta, turvallisuusjärjestelyitä ja valtioneuvoston myöntämien käyttölupien ja niiden ehtojen noudattamista. Näiden tehtävien lisäksi Säteilyturvakeskus antaa ehdotuksia ydinenergialainsäädännön parantamiseksi sekä antaa voimalaitoksille yksityiskohtaiset ohjeet lain vaatimusten täyttämiseksi. Näitä ohjeita kutsutaan Ydinvoimalaitosohjeiksi ja niissä kerrotaan ydinenergian käyttöä koskevat turvallisuusvaatimukset ja Säteilyturvakeskuksen menettelytavat voimalaitosten valvonnassa [3.]

Ydinturvallisuusvalvonta on Suomessa toteutettu siten, että voimalaitoksen luvanhaltija on itse vastuussa ydinenergian käytön turvallisuudesta. Ennakoiva viranomaisvalvonta on laissa suunniteltu niin kattavaksi, että ydinvoiman käytön turvallisuudesta voidaan varmistua. Tästä johtuen luvanhaltijan tulee todistaa Säteilyturvakeskukselle hyvin kattavasti toimintansa turvallisuus. Todistaminen tapahtuu ydinvoimalaitosohjeissa määritettyjen asiakirjojen kuten turvallisuusselosteiden, todennäköisyysslaskelmien ja laadunhallinnan raporttien avulla. Ensimmäisen kerran laitoksen turvallisuus tulee todistaa rakentamislupaa haettaessa toimittamalla Säteilyturvakeskukselle alustava turvallisuusseloste (Preliminary Safety Analysis Report, PSAR). Alustavalla turvallisuusselosteella osoitetaan, että turvallisuuteen vaikuttavat tekijät ja määräykset on huomioitu laitoksen suunnittelussa. Käyttölupaa hakiessa alustava turvallisuusseloste päivitetään lopulliseksi turvallisuusselosteeksi (Final Safety Analysis Report, FSAR), joka sisältää tiedot laitoksen toteutuneesta rakenteesta sekä käyttöönotosta ja käytöstä. Ydinvoimalaitoksen lopullisen turvallisuusselosteen sisältö pidetään ajan tasalla koko laitoksen käyttöajan ajan. Sen rakennetta tarkastellaan kokonaisuutena ja päivitetään vähintään kymmenen vuoden välein. Päivityksissä otetaan huomioon laitoksen käyttökokemukset, tekniikan ja tieteen kehitys sekä mahdollisesti muuttuneet turvallisuusvaatimukset. [3; 4.]

2.2 Standardit maailmalla

Maailmalla ja Euroopassa on perustettu useita yhdistyksiä ja järjestöjä ajamaan ydinvoiman turvallisen käytön asiaa. Järjestöistä tärkein on International Atomic Energy Agency (IAEA) eli Kansainvälinen atomienergiajärjestö. IAEA on Yhdistyneiden kansakuntien alainen järjestö ja se on perustettu vuonna 1957. Kansainvälisen atomienergiajärjestön tärkeimmät tavoitteet ovat ydinaseiden leviämisen estäminen sekä ydinturvallisuus ja ydinteknologian tietotaidon siirtäminen. IAEA antaa yleisiä suosituksia ydinturvallisuuden liittyviin lakeihin ja standardeihin ja on luonut oman ohjeensa ydinvoimalaitoksen turvallisuusasiakirjan tarvittavasta sisällöstä. Tätä ohjetta voivat uuden laitoksen rakentajat käyttää mallina kirjoittaessaan laitoksen turvallisuusasiakirjaa. [3; 5.]

Toinen suomalaiselle ydinvoimalle tärkeä järjestö on eurooppalainen Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA). Järjestön tavoitteena on koota tietoa Länsi-Euroopan ydinvoimalaitosten turvallisuustasosta ja laatia Euroopan yhteiset turvallisuusvaatimukset. WENRA sekä Yhdysvaltojen vastaava järjestö U.S. Nuclear Regulatory

Commission ovat tehneet omat ohjeensa ydinvoimalaitoksen turvallisuusasiakirjan sisällöstä ja rakenteesta. Ohjeen nimi on *Regulatory Guide 1.70: Standard Format and Content of Safety Analysis Report for Nuclear Power Plants*. Useiden voimalaitoksien turvallisuusselosteissa käytetään suoraan tämän ohjeen rakennetta sen selkeyden vuoksi. [3; 6.]

Ydinvoimaloiden turvallisuusasiakirjat ovat aina laajoja ja koko laitoksen kattavia kokonaisuuksia, joiden rakenteesta ei yleensä ole laeissa tarkkaa määräystä. Niinpä maailmalla on kehitetty useita erilaisia ohjeita turvallisuusasiakirjojen laatimiseksi. Eri maiden ydinvoimalaitokset voivat käyttää näitä malleja osoittaakseen kyseisen maan viranomaisille voimalaitoksensa turvallisuustason. Ainoastaan selosteen sisällöllä on lain ja turvallisuustason toteamisen kannalta merkitystä, joten mitä tahansa selosteen rakennemallia voidaan yleensä käyttää minkä tahansa ydinvoimalan selosteessa.

2.3 Loviisan ydinvoimala ja sen turvallisuusseloste

Loviisan ydinvoimalaitos koostuu kahdesta painevesireaktorista, joista kummankin sähköteho on 496 MW. Ensimmäisen reaktorin rakentaminen aloitettiin vuonna 1971 ja toisen vuonna 1972. Laitokset valmistuivat vuosina 1977 ja 1980. Suomen ensimmäinen atomienergi laki säädettiin ydinvoimakeskustelun alettua vuonna 1957. Tuolloin laki säädettiin pikemminkin energiapolitiittiseksi kuin turvallisuuteen tähtääväksi. Loviisan voimalaitoksen suunnittelun alkaessa päätettiin luoda suomalainen ydinturvallisuussäädös, minkä seurauksena syntyivät ensimmäiset Säteilyturvakeskuksen laatimat ydinvoimalaitosohjeet. 1980-luvulla uudistettiin myös atomienergi laki kokonaisuudessaan sekä julkaistiin uusi ydinenergi laki ja -asetus. Loviisan ydinvoimalan rakentaminen ja sen turvallisuus seloste on toteutettu rakentamishetkellä voimassa olleen lain ja ohjeiden perusteella. Uusien ydinvoimalaitosohjeiden tullessa voimaan, keskusteleval luvan haltija ja Säteilyturvakeskus aina siitä, miten uudistukset kyseisen laitoksen kohdalla toteutetaan. Sen takaamiseksi, että vastaava turvallisuustaso saavutetaan, uusien voimalaitosohjeiden kohdalla sovitaan erikseen, kuinka uusia ohjeita sovelletaan jo olemassa olevaan laitokseen. [3; 7; 8].

3 Arvio primääripiirin jäähdytysjärjestelmän kuvauksen kattavuudesta

Tässä luvussa arvioidaan Loviisan lopullisen turvallisuusselosteen reaktorin jäähdytysjärjestelmän kuvausta kahteen kansainvälisesti tunnustettuun ohjeeseen verrattuna. Eri-tyisesti keskitytään arvioimaan kuvauksen rakenteellista vastaavuutta WENRAn Req. Guide 1.70:n vastaavaan kuvaukseen. WENRAn ohje turvallisuusselosteen rakenteesta ja sisällöstä on tunnetuin ja hyvin laajasti käytetty ohje ydinvoimalan turvallisuusselosteen laatimiseksi. Turvallisuusseloste on monituhatsivuinen raportti, jonka tulee sisältää kaikki viranomaisten tarvitsemat tiedot laitoksen turvallisuudesta. Turvallisuusselostetta laadittaessa on järkevää noudattaa jotakin tarjolla olevista ohjeista, jotta asiat tulevat käsitellyiksi loogisessa järjestyksessä eikä selosteesta jää puuttumaan oleellisia tietoja. [6.]

3.1 WENRAn ohje turvallisuusselosteen rakenteesta ja sisällöstä

Taulukossa 1 on esitetty Loviisan ydinvoimalan turvallisuusselosteen reaktorin jäähdytysjärjestelmän kuvausta koskeva otsikkorakenne sekä WENRAn turvallisuusselostetta koskevan ohjeen malliotsikkorakenne. Otsikoiden ollessa taulukoituna huomataan niiden rakenne hyvin samantyyllisiksi ja -sisältöisiksi. Seuraavaksi tarkastellaan tekstin rakennetta luvuittain. [6; 9.]

Taulukko 1. LOFSARin ja WENRAn ohjeen otsikkorakenteet [6; 9].

5 REAKTORIN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄ	Chapter 5 REACTOR COOLANT SYSTEM AND CONNECTED SYSTEMS
5.1 Reaktorin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaus	5.1 Summary Description 5.1.1 Schematic Flow Diagram 5.1.2 Piping and Instrumentation Diagram 5.1.3 Elevation Drawing
5.2 Reaktorin jäähdytysjärjestelmän eheys 5.2.1 Reaktorin jäähdytysjärjestelmän suunnitteluperusteet 5.2.2 Ylipainesuojaus 5.2.3 Primääripiirin painetta kantavat materiaalit 5.2.4 Turvallisuusluokan 1 määräaikaistarkastukset 5.2.5 Primääripiirin vuotojen valvonta	5.2 Integrity of Reactor Coolant Pressure Boundary 5.2.1 Compliance with Codes and Code Cases 5.2.2 Overpressurization Protection 5.2.3 Reactor Coolant Pressure Boundary Materials 5.2.4 Inservice Inspection and Testing of Reactor Coolant Pressure Boundary 5.2.5 Detection of Leakage Through Reactor Coolant Pressure Boundary 5.2.6 NSSS Interface
5.3 Reaktoripaineastia (YC) 5.3.1 Reaktoripaineastian materiaalit 5.3.2 Paine- ja lämpötilarajat 5.3.3 Reaktoripaineastian eheys	5.3 Reactor Vessels 5.3.1 Reactor Vessel Materials 5.3.2 Pressure-Temperature Limits 5.3.3 Reactor Vessel Integrity
5.4 Muut komponentit 5.4.1 Pääkiertopumput 5.4.2 Höyrystimet 5.4.3 Pääkiertoputkisto 5.4.4 Paineistin 5.4.5 Puhallussäiliö 5.4.6 Pääsulkuventtiilit 5.4.8 Primääripiirin venttiilit 5.4.7 Paineistimen varo- ja ulospuhallusventtiilit 5.4.9 Komponenttien tuennat	5.4 Component and Subsystem Design 5.4.1 Reactor Coolant Pumps 5.4.2 Steam Generators 5.4.3 Reactor Coolant Piping 5.4.4 Main Steam Line Flow Restrictions 5.4.5 Main Steam Line Isolation System 5.4.6 Reactor Core Isolation Cooling System 5.4.7 Residual Heat Removal System 5.4.8 Reactor Water Cleanup System 5.4.9 Main Steam Line and Feedwater Piping 5.4.10 Pressurizer 5.4.11 Pressurizer Relief Discharge System 5.4.12 Valves 5.4.13 Safety and Relief Valves 5.4.14 Component Supports
5.5 Primääripiirin ja siihen liittyvien järjestelmien sekä polttoainealaiden kemia	

Reaktorin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaus (luku 5.1)

Primääripiirin jäähdytysjärjestelmää käsitellään Loviisan turvallisuusselosteen luvussa viisi. Ensimmäinen alaluku 5.1 on tiivistelmä loppuluvusta ja sisältää yhteenvedon primääripiirin jäähdytysjärjestelmästä ja sen suunnitteluperusteista. Lukua 5.1 *Reaktorin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaus* käsitellään yksityiskohtaisesti tämän insinööritoimiston luvussa 4 yhdessä yleiskuvauksen kehittämisen kanssa. [6; 9.]

Reaktorin jäähdytysjärjestelmän eheys (luku 5.2)

Luvussa 5.2 käsitellään painerajan eheyttä reaktorin jäähdytykseen liittyvissä komponenteissa (taulukko 2).

Taulukko 2. Luvun 5.2 otsikkorakenne Loviisan turvallisuusselosteessa ja WENRAn ohjeessa.

5.2 Reaktorin jäähdytysjärjestelmän eheys	5.2 Integrity of Reactor Coolant Pressure Boundary
5.2.1 Reaktorin jäähdytysjärjestelmän suunnitteluperusteet	5.2.1 Compliance with Codes and Code Cases
5.2.2 Ylipainesuojaus	5.2.2 Overpressurization Protection
5.2.3 Primääripiirin painetta kantavat materiaalit	5.2.3 Reactor Coolant Pressure Boundary Materials
5.2.4 Turvallisuusluokan 1 määräaikaistarkastukset	5.2.4 Inservice Inspection and Testing of Reactor Coolant Pressure Boundary
5.2.5 Primääripiirin vuotojen valvonta	5.2.5 Detection of Leakage Through Reactor Coolant Pressure Boundary
	5.2.6 NSSS Interface

Luvun ensimmäisessä kappaleessa 5.2.1 tulisi WENRAn ohjeen mukaan käsitellä jäähdytysjärjestelmään liittyvien lakien ja asetusten määräykset sekä vaatimusten täyttyminen. Ohjeessa neuvotaan laatimaan esimerkiksi taulukko, jossa mainitaan laki tai asetus ja siihen liittyvät komponentit. Kappaleessa neuvotaan käsittelemään myös laitoksessa käytetyt primääripiirin jäähdytykseen liittyvät standardit, niiden sopivuus tarkoitukseensa sekä standardien vaatimusten täyttyminen laitoksessa. Loviisan ydinvoimalan turvallisuusselosteessa standardeja ei ole esitelty erikseen, sillä laitoksella käytetään Suomen lakien, asetusten ja normien mukaisia standardeja. Mahdollinen normeista poikkeaminen on kerrottu tekstissä komponenttien yhteydessä, joten sitä ei ollut tarpeen erikseen taulukoida. [6; 9.]

Luvussa 5.2.2 aiheena on ylipainesuojaus. Ensimmäisessä kappaleessa käsitellään suunnitteluperusteita sekä käyttötilassa että erikoistapauksissa kuten laitoksen ylös- ja

alasajon sekä vikatilanteiden aikana. Loviisan ydinvoimalan turvallisuusselosteessa on käsiteltyä eri ylipainesuojauskomponenttien perusteet sekä vikatilanteet, jotka johtavat niiden aktivoitumiseen. Ohjeessa pyydetään erittelemään usean samaan aikaan sattuvan vikatilanteen aiheuttamat tapahtumat järjestelmissä sekä näistä tapahtumista johtuvat tulo- ja lähtösignaalit. Nämä tiedot voidaan esittää esimerkiksi taulukossa, joka liitetään selostukseen tai selostuksen liitteeksi, ja jonka sisältöä avataan tekstiin muutamalla lauseella. [6; 9.]

Ylipainesuojauksen toinen kappale koskee suunnitteluperusteiden arviointia. Loviisan laitoksella prosessiarvojen ja jäähdytysjärjestelmän suorituskyvyn arviointia on ehditty tehdä runsaasti johtuen laitoksen iästä. Tämän vuoksi materiaalia on paljon ja sitä on käsitelty monessa turvallisuusselosteen osassa sekä useissa liitteissä. Turvallisuutta arvioiva kappale FSARissa on kattava ja siinä on avattu eri viitteiden sisältöä laajasti. [6; 9.]

WENRAn ohje suosittelee näiden kappaleiden lisäksi useita muita alaotsikoita selkiyttämään kokonaisuutta. Ylipainesuojaukseen liittyvät putkisto- ja instrumentointikaaviot eli PI-kuvat olisi hyvä liittää lukuun ja niitä voisi avata tekstiin sanallisesti. Kaikki ylipainesuojaukseen liittyvät komponentit ja laitteet sekä niiden toiminta ja suunnitteluarvot tulisi ohjeen mukaan olla esiteltyinä kappaleessa 5.2.2.4. Komponentit ja niiden arvot olisi helpointa esittää taulukossa. Ylipainesuojausjärjestelmän komponenttien asennustiedot neuvotaan esittelemään asennuksiin kohdistuvine jännityksineen ja arvioimaan jännityksien minimointia sekä maksimisuuruuksia vikatilanteissa. Näiden asioiden lisäksi voisi käsitellä asiaa koskevia lakeja, asetuksia ja käytettyjä standardeja, käytettyjä materiaaleja ja niiden sopivuutta, järjestelmän automaatiota sekä järjestelmän luotettavuutta ja koestuksia sekä käytön aikana että laitoksen ollessa seisokissa. Loviisan turvallisuusselosteessa ei ole esitelty näitä asioita juuri tässä luvussa, sillä niitä on käsitelty laajasti turvallisuusselosteen muissa kohdissa. Kappaleen eheyttämiseksi omaksi kokonaisuudekseen, voisi näiden asioiden lisäämistä tekstiin harkita. Näin kappaleesta saisi selkeän kokonaiskuvan laitoksen toiminnasta ilman tarvetta perehtyä ensin turvallisuusselosteen muihin osioihin. [6; 9.]

Luvussa 5.2.2 *Ylipainesuojaus* tulisi ohjeen mukaan esittää jäähdytysjärjestelmä paineentasauksen osalta, paineentasaukseen liittyvät lämpötilansäätöjärjestelmät sekä kaikki paineentasauskomponentit. Jäähdytysjärjestelmän kuvauksen kohdalla voidaan

viitata lukuun 5.1 eli yleiskuvaukseen ja alajärjestelmien kohdalla niitä käsitteleviin lukuihin. Lämpötilansäätöjärjestelmiä on kuvattu Loviisan turvallisuusselosteen kappaleen 5.2.2 kohdassa suunnitteluperusteet. Loviisan turvallisuusselosteen täydentämiseksi siihen voisi WENRAn ohjeen mukaisesti lisätä viittauksen kohtaan, jossa käsitellään höyrystimien sekundääripuolta sekä taulukon tai luettelon paineentasauskomponenteista tai viittauksen niitä käsittelevään lukuun. [6; 9.]

Luvussa 5.2.3 käsitellään reaktoripainesäiliön materiaaleja, niiden kestävyyskäsitteitä ja raskautuksia sekä materiaalien sopivuutta kohteisiinsa. Loviisan turvallisuusselosteen kappale on kattava ja rakenteeltaan identtinen WENRAn ohjeen kanssa. [6; 9.]

Luku 5.2.4 käsittelee ylimmän turvallisuusluokan määräaikaistarkastuksia. Tarkastukset suoritetaan Loviisassa ASME-säännösten eli insinööritieteiden standardijärjestelmän ja Suomen ydinenergia- ja painelaitelakien mukaisesti. Loviisan turvallisuusselosteen luku on rakenteeltaan ohjetta vastaava ja siinä on eritelty ohjeessa mainitut asiat. Lukemisen helpottamiseksi kappaleita *Tarkastustekniikka ja tarkastusohjeet* sekä *Tarkastuskohteiden luokittelu ja vaatimukset* voitaisiin syventää niin, että niissä kerrotaisiin pääpiirteittäin käytettävät tarkastustekniikat sekä tarkastuskohteiden luokittelu. Tällä hetkellä kappaleissa viitataan yleisiin tarkastusohjeisiin ja kerrotaan, että tarkastukset tehdään niiden mukaisesti. [6; 9.]

Luku 5.2.5 koskee vuotoja reaktoripainesäiliöstä. Loviisan turvallisuusselosteessa luku on laaja ja siinä kerrotaan kattavasti erilaisista tavoista havaita vuotoja. Ohjeessa pyydetään näiden asioiden lisäksi kertomaan eri mittausten herkkyyksistä ja järjestelmien toimintakunnon kriittisyydestä. Loviisassa nämä tarkastelut on toteutettu erillisinä dokumentteina, joiden sisältöä voisi tarvittaessa avata turvallisuusselosteeseen. [6; 9.]

Reaktoripaineastia (luku 5.3)

Luku 5.3 koskee reaktoripaineastiaa. Luvun otsikkorakenne Loviisan turvallisuusselosteessa ja WENRAn ohjeessa nähdään taulukossa 3.

Taulukko 3. Luvun 5.3 otsikkorakenne Loviisan turvallisuusselosteessa ja WENRAn ohjeessa.

5.3 Reaktoripaineastia (YC)	5.3 Reactor Vessels
5.3.1 Reaktoripaineastian materiaalit	5.3.1 Reactor Vessel Materials
5.3.2 Paine- ja lämpötilarajat	5.3.2 Pressure-Temperature Limits
5.3.3 Reaktoripaineastian eheys	5.3.3 Reactor Vessel Integrity

Ensimmäinen alaluku 5.3.1 koskee paineastian materiaaleja. Nykyisen turvallisuusselosteen luku on selkeä ja johdonmukainen. Sen rakenne ei vastaa täysin ohjeen rakennetta, mutta on silti selkeä ja luvussa on esitetty suurin osa ohjeen pyytämistä asioista. Ohje pyytää esittämään luvussa tarkat tiedot ferriittisten ja austeniittisten terästen koestuksista. Loviisan turvallisuusselosteessa nämä tiedot esitetään toisessa kohdassa eikä niitä ole välttämätöntä esittää myös tässä yhteydessä. Luvussa on muutamia vanhentuneita vuosilukuja, joita voitaisiin päivittää. [6; 9.]

Luku 5.3.2 käsittelee paine- ja lämpötilarajoja. Luvussa on käsitelty laskennan perusteita sekä käyttö- ja onnettomuustilanteita, että ylös- ja alasajotilanteita kattavasti. Myös tässä luvussa on muutamia vanhentuneita vuosilukuja, joita voisi päivittää. [6; 9.]

Alaluku 5.3.3 sisältää lisätietoja reaktoripaineastian materiaaleista, valmistuksesta ja koestuksista. Se on hyvä lisä aiemmille luvuille ja erittäin kattava. Tässä luvussa on mainittu 2000-luvun alussa suoritetuista koestuksista: mahdolliset niiden jälkeiset koestukset voisi päivittää selosteeseen. Ohje toivoo perusteluita materiaali-, koestus- ja valmistajavalinnoista. Loviisan laitoksen osalta nämä tiedot ovat muissa dokumenteissa eivätkä ole iäkkään laitoksen kohdalla enää välttämättömiä tässä kohtaa. [6; 9.]

Muut komponentit (luku 5.4)

Luku 5.4 käsittelee muita reaktorin jäähdytysjärjestelmään liittyviä komponentteja kuten pumppuja, höyrystimiä ja putkistoja. Kuten taulukosta 4 havaitaan, Loviisan turvallisuusselosteen rakenne noudattaa lähes yhdenmukaisesti WENRAn ohjeen rakennetta. Ohjeessa on muutamia lukuja enemmän kuin Loviisan turvallisuusselosteessa, mikä sotkee lukujen numerointia hieman. Kaikki ohjeessa pyydyt asiat on kuitenkin esitelty turvallisuusselosteessa. [6; 9.]

Taulukko 4. Luvun 5.4 otsikkorakenne Loviisan turvallisuusselosteessa ja WENRAn ohjeessa.

5.4 Muut komponentit	5.4 Component and Subsystem Design
5.4.1 Pääkiertopumput	5.4.1 Reactor Coolant Pumps
5.4.2 Höyrystimet	5.4.2 Steam Generators
5.4.3 Pääkiertoputkisto	5.4.3 Reactor Coolant Piping
	5.4.4 Main Steam Line Flow Restrictions
	5.4.5 Main Steam Line Isolation System
	5.4.6 Reactor Core Isolation Cooling System
	5.4.7 Residual Heat Removal System
	5.4.8 Reactor Water Cleanup System
	5.4.9 Main Steam Line and Feedwater Piping
5.4.4 Paineistin	5.4.10 Pressurizer
	5.4.11 Pressurizer Relief Discharge System
5.4.5 Puhallussäiliö	
5.4.6 Pääsulkuventtiilit	5.4.12 Valves
5.4.8 Primääripiirin venttiilit	
5.4.7 Paineistimen varo- ja ulospuhallusventtiilit	5.4.13 Safety and Relief Valves
5.4.9 Komponenttien tuennat	5.4.14 Component Supports

Ensimmäinen alaluku 5.4.1 käsittelee ydinvoimalaitoksen pääkiertopumppuja. WENRAn ohje neuvoo kertomaan tässä alaluvussa pääkiertopumppujen suunnitteluperusteista, toiminnasta, luotettavuuden arvioinnista, testeistä ja koestuksista sekä radioaktiivisuuden vaikutuksesta pumppujen toimintaan. Lisäksi ohjeessa halutaan kiinnittää huomiota roottorin ryntäämisen estämiseen LOCA:n eli jäähdytteen menettämiseen johtavan onnettomuuden aikana. Loviisan turvallisuusselosteen luku on laaja ja kattava. Pääkiertopumppujen suunnitteluperusteet, toiminta sekä huollot ja koestukset on käsitelty turvallisuusselosteessa kattavasti ja selkeästi. Selosteeseen ei ole käsitelty luotettavuutta eikä radioaktiivisuuden vaikutuksia. Luotettavuutta arvioidaan erikseen Loviisan todennäköisyysperusteisella riskianalyysillä (PRA), josta on oma erillinen raporttinsa, mutta radioaktiivisuuden vaikutuksien lisäämistä selosteeseen voisi harkita. [6; 9.]

Luvussa 5.4.2 käsitellään voimalaitoksen höyrystimiä. WENRAn ohje neuvoo kertomaan höyrystimien suunnittelusta, toiminnasta, materiaalivalinnoista sekä käytön aikana tehtävistä mittauksista. Loviisan turvallisuusselosteessa on kerrottu suunnittelukriteerit selkeästi ja höyrystimien eri osat on kuvailtu tarkasti. Tässä yhteydessä kerrotaan myös komponenttien materiaaleista. Materiaalivalintoja käsitellään laajemmin luvun liitteissä, mutta niitä voisi avata myös leipätekstissä. Käytön aikana tehtävä mittaukset ja turvallisuusarvio on kirjoitettu Loviisan turvallisuusselosteeseen kattavasti. [6; 9.]

Luku 5.4.3 käsittelee pääkiertoputkistoa. Luvussa tulisi olla yleiskuvaus pääkiertoputkiston toiminnasta, suunnitteluperiaatteet sekä perustellut materiaalivalinnat. Loviisan turvallisuusselosteessa on kerrottu edellä mainitut asiat sekä tehty turvallisuusarvio pääkiertoputkiston toiminnasta. [6; 9.]

Alaluvussa 5.4.4 kerrotaan paineistimesta ja sen toiminnasta. WENRA ohjeistaa kertomaan paineistimen suunnitteluperusteista, toiminnasta, turvallisuuden arvioinnista, automaatiosta sekä mittauksista. Nämä tiedot on käsitelty Loviisan turvallisuusselosteessa eikä muutos- tai lisäystarpeita ole. [6; 9.]

Luvut 5.4.5 – 5.4.9 kuvaavat puhallussäiliön ja venttiilien toimintaa sekä komponenttien tuentoja. Jokaisessa alaluvussa tulisi käsitellä kyseisen osan suunnitteluperiaatteet, toiminta, automaatio sekä turvallisuusarvio. Turvallisuusseloste on näiltä osin melko kattava ja rakenteeltaan jokainen luku on lähes samanlainen. Alaluvusta 5.4.8 *Primääripiirin venttiilit* puuttuu turvallisuusarvio. *Komponenttien tuennat* -alaluvussa 5.4.9 asiasta on kerrottu pääpiirteittäin, lisäksi tekstissä on viitattu liitteisiin, jotka sisältävät lisätietoja tuennoista. Tekstiin voisi harkita liitteiden avaamista sanallisesti koskien esimerkiksi tuentojen suunnitteluperusteita. [6; 9.]

Primääripiirin ja siihen liittyvien järjestelmien sekä polttoainealtaiden kemia (luku 5.5)

Loviisan ydinvoimalan turvallisuusselosteeseen on WENRAn ohjeesta poiketen lisätty oma luku koskien primääripiirin kemialla. Tässä luvussa kerrotaan eri järjestelmien kemiasta, sen suunnitteluperusteista, mittauksista ja säädöistä. Luku kuvaa kattavasti kemian käyttöä laitoksella. Luvussa esitetään monia asioita, joita WENRAn ohje pyytää esittämään muun tekstin seassa. Tällaisia ovat esimerkiksi radioaktiivisuuden vaikutukset komponentteihin sekä radioaktiivisuuteen liittyvät materiaalivalinnat. [6; 9.]

3.2 Kansainvälisen atomienergiajärjestön ohje turvallisuusselosteen sisällöstä

Kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA on laatinut oman ohjeensa ydinvoimalan turvallisuusselosteen sisällöksi. Tämän ohjeen nimi on GS-G-4.1. Ohje on kattava ja selkeä, mutta ei anna suoraa mallia turvallisuusselosteen rakenteelle. Tämän insinööritöiden puitteissa on todettu, että Loviisan ydinvoimalan turvallisuusseloste täyttää sisällöllisesti ohjeen vaatimukset, mutta rakenteellista vertailua ei ole järkevää tehdä. [5; 9.]

3.3 Ydinvoimalaitosohjeiden vaatimukset turvallisuusselosteelle

Suomessa ydinvoimalaitosten turvallisuusselosteiden sisältövaatimuksia säätelevät viimemainitussa Säteilyturvakeskuksen laatimat ydinvoimalaitosohjeet. Ydinvoimalaitosohjeissa kerrotaan yksityiskohtaisesti turvallisuusselosteeseen vaadittava sisältö. Säteilyturvakeskus on Suomen valvova viranomainen ydinvoimaloiden ja niiden turvallisuusselosteiden osalta, joten YVL-ohjeita on noudatettu hyvin tarkasti Loviisan selostetta kirjoitettaessa.

YVL-ohjeet uudistuivat suurelta osin vuoden 2013 aikana. Fortum on vuoden 2014 aikana arvioinut vaatimuskohtaisesti uusien ohjeiden toteutumisen Loviisan ydinvoimalaitoksen osalta. Tämän tarkastelun perusteella aloitetut lopulliseen turvallisuusselosteeseen kohdistuvat muutos- ja täydennystyöt ovat jo käynnissä, joten ydinvoimalaitosohjeiden osalta muutostarpeita turvallisuusselosteeseen ei ole.

4 Kehitysehdotukset primääripiirin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaukselle

Tässä luvussa tarkastellaan Loviisan ydinvoimalan turvallisuusselosteen luvun 5 *Reaktorin jäähdytysjärjestelmä* ensimmäisen alaluvun 5.1 *Reaktorin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaus* rakennetta ja sisältöä. Kyseisen alaluvun on tarkoitus antaa lukijalle kokonaiskuva laitoksen rakenteesta ja reaktorin jäähdytysjärjestelmästä, jotta tulevien lukujen lukeminen ja spesifin tiedon sisäistäminen olisi helpompaa. Loviisan turvallisuusselosteessa reaktorin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaukseen ei ole kiinnitetty erityistä huomiota, sillä laitoksen toiminta on kuvattu selosteen aiemmissa luvuissa. Selostetta lukevat ja tarvitsevat ihmiset tuntevat laitoksen rakenteen jo valmiiksi. [6; 9.]

4.1 Rakenne

Seuraavassa verrataan Loviisan turvallisuusselosteen rakennetta WENRAn Regulatory Guiden ohjeelliseen rakenteeseen sekä kahden vasta rakenteilla olevan kansainvälisen ydinvoimalan vastaavien lukujen rakenteisiin. Näiden lukujen otsikkorakenne on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Turvallisuusselosteiden lukujen 5.1 otsikkorakenteet [6; 9; 10; 11].

Reg Guide	US-APWR	UK-AP1000	LOFSAR
1 Summary Description	5.1 Summary Description	5.1 Summary Description	5.1 Reaktorin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaus
5.1.1 Schematic Flow Diagram	5.1.1 Schematic Flow Diagrams	5.1.1 Design Bases	5.1.1 Yleiskuvaus
5.1.2 Piping and Instrumentation Diagram	5.1.2 Piping and Instrumentation Schematics	5.1.2 Design Description	5.1.2 Liiteluettelo
5.1.3 Elevation Drawing	5.1.3 Elevation Drawing	5.1.3 System Components	5.1.3 Viitteet
	1. Reactor vessel (RV)	5.1.3.1 Reactor Vessel	
	2. Steam generators (SGs)	5.1.3.2 AP1000 Steam Generator	
	3. Reactor coolant pumps (RCPs)	5.1.3.3 Reactor Coolant Pumps	
	4. Reactor coolant piping	5.1.3.4 Primary Coolant Piping	
	5. Pressurizer	5.1.3.5 Pressurizer	
	6. Pressurizer relief tank (PRT)	5.1.3.6 Pressurizer Safety Valves	
		5.1.3.7 Reactor Coolant System Automatic Depressurization Valves	
	5.1.4 Combined License Information	5.1.4 System Performance Characteristics	
		5.1.4.1 Best-Estimate Flow	
		5.1.4.2 Minimum Measured Flow	
		5.1.4.3 Thermal Design Flow	
		5.1.4.4 Mechanical Design Flow	
	5.1.5 References	5.1.5 Combined License Information	

WENRAn turvallisuusselosteen ohjeen mukainen rakenne sisältää luvut laitoksen prosessikaaviosta, putkisto- ja instrumentointikaavioista sekä sivukuvan laitoksesta. Taulukosta nähdään, että amerikkalaisen US-APWR (U.S. Advanced Pressurized-Water Reactor) -ydinvoimalaitoksen turvallisuusselosteessa on noudatettu tarkalleen WENRAn ohjeen mukaista otsikkorakennetta. Lukuun on lisätty otsikot ja selitykset laitoksen pääkomponenteille sekä lisensioinnille. UK-AP1000 -laitoksen turvallisuusselosteessa on kaaviokuvien sijaan päädytty kertomaan laitoksen suunnitteluperiaatteista sekä virtauksista. Kuten US-APWR -laitoksella, on turvallisuusselosteessa esitelty laitoksen pääkomponentit lyhyesti. [9; 10; 11.]

Loviisan turvallisuusselosteessa on hyvin lyhyt kuvaus reaktorin jäädytysjärjestelmästä sekä liitteinä (taulukko 6) kuva reaktorin jäähdytysjärjestelmästä, putkisto- ja instrumenttikuva, sivukuva laitoksesta, sekä kaavioita primääripiirin mittauspisteistä. Mainittuihin kuviin on viitattu tekstissä vain lyhyesti. Lukemisen helpottamiseksi voisi lukua kirjoittaa uudestaan WENRAn ohjeen mukaan. Tämä tarkoittaisi, että tekstissä käsiteltäisiin kaavio kerrallaan kaikki luvun liitteet. Kuvien lisäksi luvussa voisi käsitellä primääripiirin pääkomponentit kuten referenssilaitosten turvallisuusselosteissa on tehty. Näin asioiden käsittelyjärjestys saataisiin selkeämmäksi ja lukija saisi kattavamman kuvan primääripiirin toiminnasta. [9.]

Taulukko 6: Turvallisuusselosteiden lukujen 5.1 liiteluettelot [9; 10; 11].

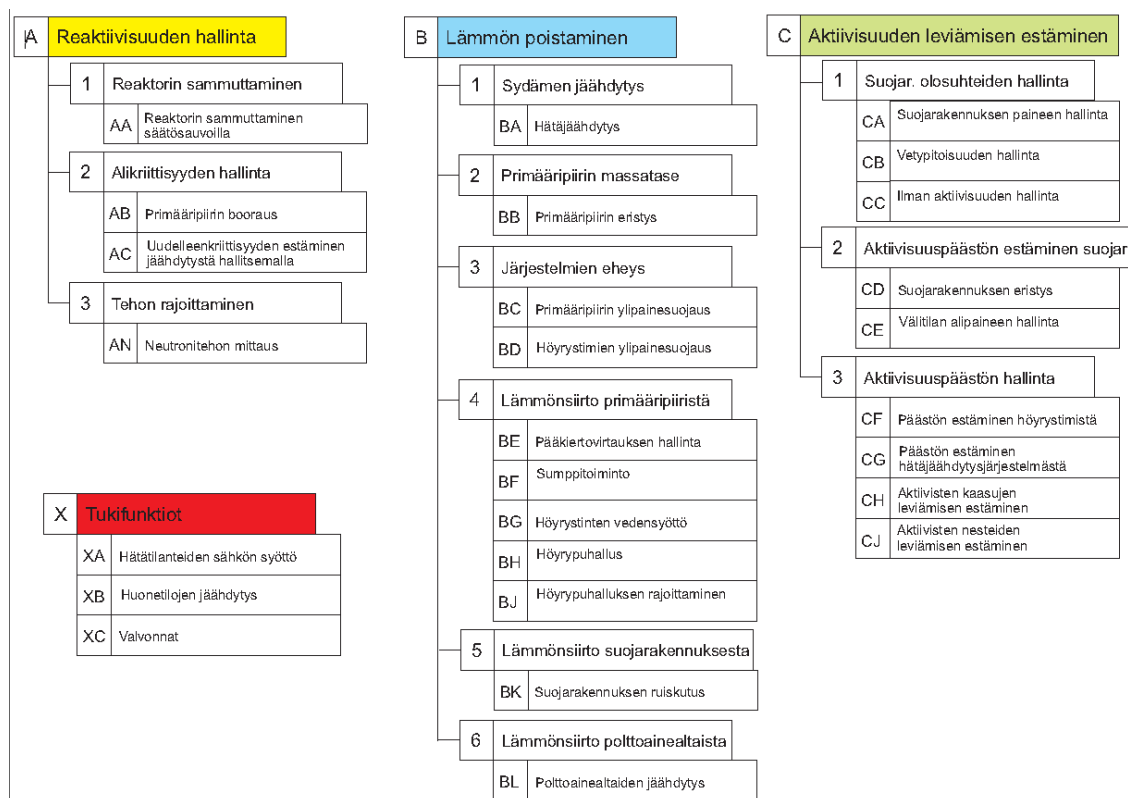
Taulukko 5.1-1 Reaktorin jäähdytysjärjestelmä.	Table 5.1-1 Reactor Coolant System Design and Operating Parameters	Table 5.1-1 PRINCIPAL SYSTEM PRESSURES, TEMPERATURES, AND FLOW RATES (Nominal Steady-State, Full Power Operating Conditions)
	Table 5.1-2 Principal System Pressure, Temperature and Flow Rates Under Normal Steady-State Full Power Operating Conditions	Table 5.1-2 NOMINAL SYSTEM DESIGN AND OPERATING PARAMETERS
	Table 5.1-3 Thermal-Hydraulic Parameter	Table 5.1-3 THERMAL-HYDRAULIC PARAMETERS (Nominal)
Kuva 5.1-1 Loviisa 2 Primäärijärjestelmä, P-kaavio, A9 LO2.320.001	Figure 5.1-1 Reactor Coolant System Schematic Flow Diagram	Figure 5.1-1 Reactor Coolant System Schematic Flow Diagram
Kuva 5.1-2 Primääripiirin mitat ja korkeussuhteet, PE9 LO2.321.070	Figure 5.1-2 Reactor Coolant System Piping and Instrumentation Diagram (Sheet 1 of 3)	Figure 5.1-2 Reactor Coolant Loops – Isometric View
Kuva 5.1-3 A LO1 395 105 Loviisan voimalaitos 1. Tärkeimmät primääripiirin pinta-, paine- ja lämpötilamittaukset. PI-kaavio.	Figure 5.1-3 Reactor Coolant System Loop Layout	Figure 5.1-3 Reactor Coolant System – Loop Layout
Kuva 5.1-4 A LO2 395 111 Loviisan voimalaitos 2. Tärkeimmät primääripiirin pinta-, paine- ja lämpötilamittaukset. PI-kaavio.	Figure 5.1-4 Reactor Coolant System-Elevation	Figure 5.1-4 Reactor Coolant System – Elevation Inside Reactor Containment
Kuva 5.1-5 Primääripiirin osatilavuudet ja korkeudet		Figure 5.1-5 (Sheet 1 of 3) Reactor Coolant System Piping and Instrumentation Diagram

4.2 Turvallisuus- ja muut toiminnot

Loviisan voimalaitoksella toteutetaan parhaillaan turvallisuusautomaation uudistusta. Automaatiossa on paljon primääripiiriin liittyviä toimintoja, joita voisi esitellä primääripiirin yleiskuvauksen yhteydessä. Turvallisuusautomaation toiminnot takaavat ydinvoimalan saattamisen turvalliseen tilaan onnettomuuden tai poikkeustapauksen sattuessa. Automaatiouudistuksessa turvallisuusautomaatiota täydennetään, jotta turvallisen tilan saavuttaminen olisi taattua kaikissa tilanteissa ja laitoksen operaattorin inhimillisen virheen mahdollisuus pienenisi.

Kuvassa 1 nähdään primääripiirin toiminnot, jotka on jaettu kolmeen pääluokkaan: reaktiivisuuden hallintaan, lämmön poistamiseen, aktiivisuuden leviämisen estämiseen ja lisäluokkaan tukifunktiot. Näiden luokkien sisällä toiminnot on jaoteltu vielä alaluokkiin.

Jokaisen yksittäisen toiminnon nimi koostuu kahdesta kirjaimesta sekä kahdesta numerosta. Numeroista ensimmäinen kertoo toiminnon turvallisuusluokan, joka kuvaa toiminnon tärkeyttä onnettomuudenhallinnan kannalta. Turvallisuusluokka 2 tarkoittaa ensisijaista turvallisuustoimintoa, turvallisuusluokka 3 ehkäisevää tai täydentävää turvallisuustoimintoa tai ensisijaisten turvallisuustoimintojen tukitoimintoa ja EYT-luokka (tässä numeroinnissa numero 4) tarkoittaa, että toiminnolla ei ole ydinteknistä vaikutusta. Toiminnon toinen numero on juoksevan numeroinnin mukainen järjestysluku. [12.]



Kuva 1. Primääripiiriin toiminnot [12].

Liitteessä 1 nähdään taulukko Loviisan ydinvoimalan lyhyen ja pitkän aikavälin automaation turvallisuustoiminnoista. Tässä taulukossa on esitetty turvallisuustoiminnon kirjain- ja numerokoodi kuten *AB21* sekä toiminnon nimi *Hätäjäähdytys – booraus*. Toiminnot, jotka eivät ole turvallisuustoimintoja itsessään, mutta liittyvät suoraan turvallisuustoimintoihin, on merkitty taulukkoon sanalla *LIITTYY*. Viimeisenä taulukon sarakkeena nähdään turvallisuustoiminnon tehtäväkategoria. Tämä kategoria kertoo, suorittaako tehtävä esimerkiksi ehkäisevää suojausta vai reaktorisuojausta. Pitkän aikavälin kirjain- ja numerokoodin perässä esiintyy lisäksi kirjaimia M ja D, joista M tarkoittaa manuaalista turvatoimintoa ja D diverssiä eli vaihtoehtoista turvatoimintoa. Liitteenä olevan

taulukon kaltaisen taulukon voisi lisätä Loviisan ydinvoimalan turvallisuusselosteeseen selventämään turvallisuusautomaation toimintoja. [12.]

5 Suositellut jatkotoimenpiteet

Tämä luku kokoaa yhteen aiemmin esitetyt kehitysehdotukset Loviisan ydinvoimalan lopullisen turvallisuusselosteen lukuun 5 *Reaktorin jäähdytysjärjestelmä*. Erilaiset kehitysehdotukset jaotellaan alaotsikoiden alle, jotta kehitystarpeet ja -laajuudet olisi helppo hahmottaa. Jatkotoimenpiteinä esitetään aluksi eniten työtä vaativat kehitystoimet ja tämän jälkeen nopeammin kehitettävät kohteet.

5.1 Selvitystä vaativat kehityskohteet

Primääripiirin suunnittelua koskevia vaatimuksia ja alkuperäisiä suunnitteluperusteita ei ole tällä hetkellä yksiselitteisesti kirjattu lopulliseen turvallisuusselosteeseen. Niiden lisääminen toisi turvallisuusselosteelle huomattavaa lisäarvoa, sillä ne kuvaavat laitoksen toimintaa ja prosessiarvoja kattavasti.

5.2 Turvallisuusselosteeseen uusina lisättävät kohteet

Turvallisuusselosteeseen on tullut automaatiouudistuksen takia tarpeelliseksi lisätä tietoja turvallisuusautomaatiosta. Aiheesta voisi kirjoittaa turvallisuusselosteen lukuun 5.1 *Reaktorin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaus* oman lukunsa. Kaikki lukuun vaadittavat tiedot ovat työn tilaajalla dokumentoituina. Tämä kehitystyö vaatisi siis tiedon tiivistämisen lähdedokumenteista turvallisuusselosteeseen.

Reaktorin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvauksen kohdalla voisi käsitellä lyhyesti primääripiirin pääkomponentit. Tarkat komponenttien kuvaukset löytyvät luvusta 5.4, mutta niiden avaaminen jo luvussa 5.1 helpottaisi kokonaiskuvan saamista.

5.3 Rakenteelliset muutokset

Turvallisuusselosteen luettavuutta voidaan parantaa yksinkertaisilla rakenteellisilla muutoksilla. Nämä muutokset aiheuttavat tarpeen kirjoittaa tekstiä uudestaan, kun lähtötiedoista suurin osa on saatavilla alkuperäisestä tekstistä. Suurin rakenteellisen muutoksen tarve on luvussa 5.1 *Reaktorin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaus*.

Alalukujen osalta rakenteellista kehittämistä voisi harkita luvussa 5.3.1. Luvun 5.4 otsikorakenne on selkeä, mutta ei vastaa numeroinniltaan WENRAn ohjetta. Rakenteelliseen muutokseen ryhtymistä voitaisiin harkita, mutta välttämätöntä se ei ole.

5.4 Täydennettävät kohteet

Seuraavassa esitellään kohteet, joiden sisältö voisi olla laajempi tai joihin yksinkertainen lisäys, kuten ylimääräinen taulukko, toisi lisäarvoa.

Lukua 5.2.2 voitaisiin täydentää lisäämällä taulukko primääripiirin ylipainesuojaukseen liittyvistä vikatilanteista ja niiden tulo- ja lähtösignaaleista, ylipainesuojaukseen liittyvät PI-kuvat, ylipainesuojaukseen liittyvät komponentit ja niiden suunnitteluarvot taulukoituina sekä tietoa komponenttien tuennoista ja jännityksistä sekä koestuksista.

Luvussa 5.2.4 olisi hyvä avata tarkastus- ja koestusstandardien ja -normien sisältöä, jotta kokonaiskuva tarkastuksista olisi helpommin ymmärrettävissä. Samoin luvussa 5.2.5 voitaisiin kuvata lyhyesti mittausten herkkyyksiä. Tällä hetkellä luvussa on vain viitattu asiaa käsitteleviin dokumentteihin.

Luvussa 5.3.1 lisäarvoa toisivat tiedot reaktoripaineastian valmistusmateriaalien koestuksista. Nämä tiedot on esitetty toisessa kohdassa turvallisuusselostetta, joten niiden lisääminen ei ole aivan välttämätöntä.

Lukuun 5.4.1 voitaisiin lisätä Loviisan laitoksen kannalta oleellista tietoa roottorin ryntämisestä LOCA:n aikana sekä radioaktiivisuuden vaikutuksista pumppuihin. Luvussa voitaisiin myös viitata todennäköisyysperusteisen riskianalyysin kohtaan, jossa käsitellään pääkiertopumppujen luotettavuutta. Luvun 5.4.2 liitteistä voisi leipätekstiin avata muuta-

malla lauseella höyrystimien materiaalivalintoja ja perusteita niille. Lukuun 5.4.8 voisi lisätä tietoa komponenttien turvallisuudesta ja sen arvioinnista. Lisäksi luvussa 5.4.9 voitaisiin avata lyhyesti tietoja venttiilien tuennoista, tiedot ovat nyt vain liitteissä.

5.5 Päivitettävät kohteet

Loviisan turvallisuusselosteen luvussa 5.3 *Reaktoripaineastia* on muutamia vanhentuneita vuosilukuja. Yksinkertaisilla verbien aikamuotojen muutoksilla ja pienillä päivityksillä luku saataisiin helposti ajan tasalle.

6 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tarkasteltiin Loviisan ydinvoimalan lopullisen turvallisuusselosteen lukua 5 *Reaktorin jäähdytysjärjestelmä* ja esitettiin siihen kehitysehdotuksia. Luvun rakennetta verrattiin WENRAn ohjeen rakenteeseen, jonka perusteella seloste on aikanaan kirjoitettu. Tämän perusteella turvallisuusselosteen lukuun ehdotettiin pieniä rakenteellisia muutoksia sekä täydennyksiä. Sisällöllisesti Loviisan turvallisuusselosteen lukua reaktorin jäähdytysjärjestelmästä verrattiin myös toiseen kansainväliseen ohjeeseen ja Suomen ydinvoimalaitosohjeisiin, mutta näissä vertailuissa ei löytynyt kehityskohteita.

Turvallisuusselosteen luvun 5 *Reaktorin jäähdytysjärjestelmä* alalukua 5.1 *Reaktorin jäähdytysjärjestelmän yleiskuvaus* tarkasteltiin kahden muun ydinvoimalaitoksen vastaavan dokumentin sekä WENRAn ohjeen avulla. Näiden tarkasteluiden perusteella esitettiin muutoksia luvun rakenteeseen ja täydennysehdotuksia luvun sisältöön.

Tämän insinööriyön avulla Loviisan ydinvoimalan turvallisuusselosteen lukua reaktorin jäähdytysjärjestelmästä on helppo kehittää. Insinööriyö auttaa työn tilaajaa eli Fortumia kehittämään Loviisan turvallisuusselosteesta mahdollisimman kattavan ja selkeän kokonaisuuden. Tälle työlle asetetut tavoitteet saavutettiin toivotusti ja insinööriyön ohjeet muutosten tekemiseen ovat helppolukuiset ja selkeät.

Lähteet

- 1 Ydinvoima. 2013. Verkkodokumentti. Fortum. <http://www.fortum.com/fi/energi-antuotanto/ydinvoima/pages/default.aspx>. Luettu 15.12.2014.
- 2 Ydinlaitosten turvallisuutta ohjaavat säädökset uudistuvat. 2013. Verkkodokumentti. Säteilyturvakeskus. http://www.stuk.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2013/fi_FI/news_872/print/. Luettu 15.12.2014.
- 3 Sandberg, Jorma. 2004. Ydinturvallisuus. Hämeenlinna: Säteilyturvakeskus.
- 4 YVL A.1. 2013. Verkkodokumentti. Säteilyturvakeskus. <http://plus.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/YVLA-1>. Luettu 15.12.2014.
- 5 Safety Guide No. GS-G-4.1. 2004. International Atomic Energy Agency. Austria: IAEA.
- 6 Regulatory Guide 1.70. 1978. Western European Nuclear Regulators' Association.
- 7 Voimalaitoksen toiminta. 2015. Verkkodokumentti. Fortum. http://www.fortum.com/fi/energiantuotanto/ydinvoima/loviisan_voimalaitos/vl-toiminta/sivut/default.aspx. Luettu 16.4.2015
- 8 YVL-ohjeet. 2015. Verkkodokumentti. Säteilyturvakeskus. http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/viranomaisohjeet/fi_FI/yvl/. Luettu 16.4.2015.
- 9 Loviisa Final Safety Analysis Report. Fortum Power and Heat Oy.
- 10 Design Control Document for the US-APWR. 2013. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
- 11 UK EPR Pre-Construction Safety Report. 2012. Areva.
- 12 Rein, Suvi. 2014. ELSA Loviisan voimalaitoksen lyhyen aikavälin onnettomuudenhallinnan toiminnallinen arkkitehtuuri. Fortum Power and Heat Oy.