

4.5.2009

 ALUSTAVA TURVALLISUUSARVIO OLKILUOTO 4 -YDINVOIMALAITOS-  
HANKKEESTA

## LIITE 1: LAITOSVAIHTOEHTOJEN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTI

1 JOHDANTO.....	3
2 LAITOSVAIHTOEHTOJEN ARVIOINTIPERUSTEET .....	3
3 KIEHUTUSVESIREAKTORILLA VARUSTETUT LAITOSVAIHTOEHDOT.....	6
<b>3.1 ABWR - Advanced Boiling Water Reactor, Toshiba-Westinghouse .....</b>	<b>6</b>
3.1.1 Yleistä.....	6
3.1.2 Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §).....	6
3.1.3 Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 7–10 §) ....	7
3.1.4 Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §).....	8
3.1.5 Turvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §).....	11
3.1.6 Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §).....	17
3.1.7 Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §).....	17
3.1.8 Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	18
3.1.9 Yhteenveto .....	21
<b>3.2 ESBWR - Economical and Simplified Boiling Water Reactor, GE-Hitachi.....</b>	<b>21</b>
3.2.1 Yleistä.....	21
3.2.1 Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §).....	22
3.2.3 Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 7–10 §) ..	23
3.2.4 Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §).....	23
3.2.5 Tuvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §).....	27
3.2.6 Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §).....	33
3.2.7 Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §).....	33
3.2.8 Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	34
3.2.9 Yhteenveto .....	37
4 PAINEVESIREAKTORILLA VARUSTETUT LAITOSVAIHTOEHDOT.....	38
<b>4.1 APR1400 - Advanced Power Reactor 1400 - KHNP.....</b>	<b>38</b>
4.1.1 Yleistä.....	38
4.1.2 Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §).....	39
4.1.3 Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 7–10 §) ..	39
4.1.4 Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §).....	40
4.1.5 Tuvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §).....	43
4.1.6 Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §).....	49
4.1.7 Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §).....	49
4.1.8 Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	50
4.1.9 Yhteenveto .....	52
<b>4.2 EU-APWR - Advanced Pressurised Water Reactor - Mitsubishi Heavy Industries .....</b>	<b>53</b>
4.2.1 Yleistä.....	53

4.2.2 Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §).....	53
4.2.3 Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 8–10 §) ..	54
4.2.4 Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §).....	54
4.2.5 Tuvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §).....	58
4.2.6 Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §) .....	64
4.2.7 Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §) .....	65
4.2.8 Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	65
4.2.9 Yhteenveto .....	67
<b>4.3 EPR - European Pressurised Water Reactor - AREVA</b> .....	<b>68</b>
4.3.1 Yleistä.....	68
4.3.2 Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §).....	68
4.3.3 Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen(VNA 733/2008 7–10 §) ...	69
4.3.4 Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §).....	69
4.3.5 Tuvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §).....	72
4.3.6 Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §) .....	77
4.3.7 Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §) .....	77
4.3.8 Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	78
4.3.9 Yhteenveto .....	79

## 1 JOHDANTO

TVO toimitti periaatepäätöshakemuksen liitteenä STUKille kuvaukset kunkin laitosvaihtoehdon teknisistä ratkaisuista ja oman arvionsa siitä, miten laitosvaihtoehdot täyttävät ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta annetussa valtioneuvoston asetuksessa (733/2008) esitetyt vaatimukset. STUK esittää seuraavassa arvionsa siitä, miten kunkin periaatepäätöshakemuksessa esitetyn laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Alustavan turvallisuusarvioinnin kohteena on kaksi kiehutusvesireaktorilla varustettua ydinvoimalaitosta, ABWR ja ESBWR, sekä kolme painevesireaktorilla varustettua ydinvoimalaitosta, APR1400, APWR ja EPR. Näissä laitosvaihtoehdoissa on käytetty sekä aktiivisia että passiivisia turvallisuusjärjestelmiä. Aktiivisella järjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jonka toiminta perustuu jatkuvasti ulkoista käyttövoimaa tarvitseviin laitteisiin. Passiivisella järjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jonka toiminta ei riipu, käynnistävää toimintoa (esim. venttiilin asennonmuutos) lukuun ottamatta, ulkoisesta käyttövoimasta eikä ohjaajan toimenpiteistä tai joka käyttövoiman menetyksen seurauksena asettuu turvallisuuden kannalta edulliseen tilaan. Käynnistävän toiminnon suorittavan laitteen ja sen käyttövoiman on perustuttava luonteeltaan passiivisiin laitteisiin. Käyttövoimana voi olla esim. sähkö- tai paineakku. ESBWR:n turvallisuustoiminnot perustuvat suurelta osin passiivisiin järjestelmiin. ABWR:ssä on olennaisesti lisätty passiivisten järjestelmien roolia verrattuna nykyisiin laitoksiin. APR1400, APWR ja EPR laitosvaihtoehtojen turvallisuustoiminnot eivät olennaisesti eroa nykylaitoksista. Kaikissa laitosvaihtoehdoissa vakavat onnettomuudet on otettu huomioon suunnittelussa. Taulukossa 1 on esitetty laitosvaihtoehtojen päätiedot.

Taulukko 1. Laitosvaihtoehdot.

Laitos	Toimittaja	Tyyppi	Lämpöteho	Sähköteho
ABWR	Toshiba-Westinghouse	Kiehutusvesireaktori	4300 MWt	n. 1600 MWe
ESBWR	GE-Hitachi	Kiehutusvesireaktori	4500 MWt	n. 1600 MWe
APR1400	Korean Hydro & Nuclear Power	Painevesireaktori	4000 MWt	n. 1400 MWe
EU-APWR	Mitsubishi Heavy Industry	Painevesireaktori	4450 MWt	n. 1700 MWe
EPR	Areva	Painevesireaktori	4590 MWt	n. 1700 MWe

Kiehutusvesi- ja painevesilaitokset on esitetty eri kappaleissa aakkosjärjestyksessä.

## 2 LAITOSVAIHTOEHTOJEN ARVIOINTIPERUSTEET

Arvioinnin perustana on ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta annetun valtioneuvoston asetuksen (VNA 733/2008) keskeiset vaatimukset. Seuraavassa esitetään ne vaatimukset, joita vasten laitosvaihtoehtoja on arvioitu. YVL- ohjeissa esitettyjen vaatimusten täyttymistä arvioidaan tarkemmin lupakäsittelyn myöhemmissä vaiheissa.

### Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §)

Asetuksen 3 §:ssä esitetään vaatimukset sille, miten ydinvoimalaitosten turvallisuutta ja niiden turvallisuusjärjestelmien teknisiä ratkaisuja on perusteltava käyttämällä kokeellisia ja laskennallisia menetelmiä.

Alustavassa turvallisuusarviossa todennetaan asetuksen 3 §:ssä esitettyjen vaatimusten osalta se, että laitostoimittajalla on käytössään deterministiset ja todennäköisyysperustaiset laskentamenetelmät, jotka on asianmukaisesti kelpoistettu ja että malleja on käytetty aikaisempien laitoshankkeiden yhteydessä. Lisäksi arvioidaan, miten laitostoimittaja on kokeellisesti osoittanut uusien, aikaisemmin käyttämättömien laitospirteiden toiminnan.

### Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 8–10 §)

Asetuksen 8-10 §:ssä on esitetty väestön yksilölle asetetun vuosiannoksen raja -arvot normaalikäytössä, odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä ja onnettomuuksissa. Alustavassa turvallisuusarviossa arvioidaan, onko laitostoimittajalla on käytössään asianmukaiset analyysimenetelmät sekä verrataan referenssilaitokselle tehtyjen analyysien tuloksia asetettuihin rajoihin.

### Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §)

Asetuksen 13§ mukaisia teknisiä esteitä radioaktiivisten aineiden leviämiselle ydinvoimalaitokselta ympäristöön ovat polttoaineen suojakuori, primääripiiri ja suojarakennus. Peräkkäiset esteet ovat osa ns. syvyysuuntaista turvallisuuden varmistamista.

Alustava turvallisuusarvio kohdistuu yhtäältä edellytyksiin valmistaa laadukkaat leviämiseesteet, jotka säilyttävät luotettavasti eheydensä ja tiiveytensä. Toisaalta arvioidaan, ottavatko laitoksen turvallisuustoimintojen suunnitteluperusteet riittävästi huomioon kaikki tilanteet, joissa leviämiseesteisiin kohdistuvien mekaanisten ja termisten kuormitusten tulee pysyä suunnittelurajojen puitteissa.

### Turvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §)

Tärkeimmät turvallisuustoiminnot ovat asetuksen 14§ mukaan reaktorin reaktiivisuuden hallinta, reaktorin jäähdyttäminen ja radioaktiivisten aineiden leviämisen estäminen. Niiden osalta arvioidaan, miten laitosvaihtoehdoissa on toteutettu moninkertaisuusperiaate, erotteluperiaate ja erilaisuusperiaate. Näiden periaatteiden noudattaminen jo varhaisessa laitoksen suunnitteluvaiheessa on tärkeää, koska niiden huomioon ottaminen myöhemmin tehtävin muutoksin olisi erittäin vaikeata ja vaativaa.

Moninkertaisuusperiaatteella tarkoitetaan turvallisuustoimintoihin tarvittavien järjestelmien eli turvallisuusjärjestelmien moninkertaistamista useiksi toisiaan korvaaviksi osajärjestelmiksi. Tärkeimpien turvallisuusjärjestelmien on pystyttävä toteuttamaan tehtävänsä, vaikka mikä tahansa järjestelmän yksittäinen laite vikaantuisi ja vaikka mi-

kä tahansa toinen saman järjestelmän laite olisi samanaikaisesti poissa käytöstä. Myös turvallisuusjärjestelmien laitteille olennaiset tukitoiminnot on moninkertaistettava vastaavalla tavalla. Lisäksi sähkönsyöttö on toteutettava siten, että siinä voidaan käyttää sekä ulkoista että sisäistä sähkötehon syöttöjärjestelmää. Ulkoisella sähkötehon syöttöjärjestelmällä tarkoitetaan yhteyttä normaaleihin sähköverkkoihin ja sisäisellä sitä korvaavia sähkölähteitä.

Erotteluperiaate tarkoittaa turvallisuusjärjestelmien rinnakkaisten toisiaan varmentavien osajärjestelmien sijoittamista eri puolille laitosta tai ainakin toisistaan vahvoilla rakenteilla erotettuihin tiloihin. Lisäksi turvallisuuden kannalta tärkeät järjestelmät on sijoitettava eri rakennuksiin tai huonetiloihin kuin muut laitoksen osat. Tällä varaudutaan laitokseen kohdistuvia sisäisiä ja ulkoisia uhkia vastaan.

Erilaisuusperiaatteella tarkoitetaan turvallisuustoimintoihin liittyvien järjestelmien varmentamista eri toimintaperiaatteeseen perustuvilla järjestelmillä tai laitteilla. Tätä periaatetta soveltamalla voidaan parantaa turvallisuustoiminnon luotettavuutta ja välttää turvallisuustoimintoon liittyvien yhteisvikojen aiheuttamia seurauksia. Erilaisuusperiaatetta on sovellettava niihin turvallisuusjärjestelmiin, joilla rajoitetaan odotettavissa olevan käyttöhäiriön ja luokan 1 oletetun onnettomuuden seurauksia. Luokan 1 oletetulla onnettomuudella tarkoitetaan alkutapahtumia, joiden odotetaan tapahtuvan harvemmin kuin kerran sadassa vuodessa, mutta useammin kuin kerran tuhannessa vuodessa.

#### Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §)

Asetuksen 17 §:ssä esitetään vaatimukset sille, miten ydinvoimalaitoksen turvallisuustoiminnot on suojattava laitoksen ulkopuolisia tapahtumia vastaan. Ulkoiset tapahtumat voivat uhata turvallisuustoimintoihin liittyvien järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden eheyttä, aiheuttaa käyttöhäiriön tai onnettomuuden ja estää turvallisuustoiminnon toteutumisen. Tällaisia tapahtumia voivat olla erilaiset sääilmiöt (korkea tai matala lämpötila, kova tuuli, lumimyrskyt), maanjäristys, korkea meriveden pinta (tulvat) sekä lainvastaiset toimet laitoksen vahingoittamiseksi mukaan lukien suuren liikennealentokoneen törmäys. Tässä kohdassa arvioidaan, miten edellä esitetyt ilmiöt on otettu huomioon laitoksen suunnittelussa.

#### Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §)

Vastaavasti kuin asetuksen 17 §:ssä on esitetty suojautumisesta ulkoisia tapahtumia vastaan, asetuksen 18 §:ssä esitetään vaatimukset, miten turvallisuustoimintoihin liittyvät järjestelmät on suojattava sisäisiä tapahtumia vastaan. Sisäisiä tapahtumia voivat olla tulipalot, putkikatkot, säiliöiden rikkoutumiset, missiilit, räjähdykset, raskaiden esineiden putoaminen ja vuodosta aiheutuva tulva. Tässä kohdassa arvioidaan, miten edellä esitetyt ilmiöt on otettu huomioon laitoksen suunnittelussa.

#### Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §)

Asetuksen 19 §:ssä esitetään ydinvoimalaitosten suojausautomaatiota, valvomoa, vara-valvomoa ja paikallisia ohjauspaikkoja koskevat vaatimukset. Tässä kohdassa arvioi-

daan 19 §:ssä esitettyjen vaatimusten ja 14 §:ssä esitettyjen moninkertaisuusperiaatteen, erotteluperiaatteen ja erilaisuusperiaatteen toteutuminen tärkeissä automaatiojärjestelmissä.

### 3 KIEHUTUSVESIREAKTORILLA VARUSTETUT LAITOSVAIHTOEHDOT

#### 3.1 ABWR - Advanced Boiling Water Reactor, Toshiba-Westinghouse

##### 3.1.1 Yleistä

ABWR on japanilaisen Toshiba-Westinghousen suunnittelema sähköteholtaan noin 1600 MWe kiehutusvesireaktori. Ensimmäinen Toshiba suunnittelema ja rakentama ABWR-laitos rakennettiin Japanin Kashiwazaki-Kariwaan (KK6) 1990-luvun alussa ja toinen (KK7) välittömästi sen jälkeen.. Suomeen tarjottavan laitoksen referenssilaitoksena on Hamaoka 5, joka valmistui vuoden 2005 alussa. Mainittujen laitosten lisäksi Japanissa on käytössä yksi, rakenteilla kaksi ja suunnitteilla useita ABWR-laitosyksikköjä.

Toshiba-Westinghouse on Olkiluoto 4 -projektissaan kehittänyt lähtökohtana ollutta referenssilaitosta lisäämällä siihen eräitä turvallisuuspiirteitä, joita suomalaiset turvallisuusvaatimukset edellyttävät. Laitoksen suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta. Laitoksen valmiusaste perussuunnittelun osalta on korkea. Suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

ABWR-laitoksessa turvallisuustoimintojen toteuttamiseen on käytetty sekä aktiivisia että passiivisia järjestelmiä.

##### 3.1.2 Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §)

###### *Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset*

Turvallisuuden arviointia ja todentamista varten laitostoimittajalla on käytössä Toshiba ja Westinghouse Atomin (aikaisemmin ABB ATOM ) deterministiset analyysimenetelmät. Westinghouse Atomin analyysimenetelmiä on käytetty Olkiluoto 1 ja 2 -laitosyksiköiden suunnittelun ja käytön aikana. Menetelmät on asianmukaisesti ylläpidetty ja kelpoistettu käyttötarkoitukseensa. ABWR-laitokselle tehdyt analyysit antavat sen käsityksen, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset vaatimukset täyttävät häiriö- ja onnettomuusanalyysit.

###### *Todennäköisyysperusteiset analyysit*

Toshiballa on käytössä tason 1 ja 2 todennäköisyysperusteisen riskianalyysin (PRA) menetelmät, joita on käytetty Toshibaan Japaniin rakentamien laitosten PRA-analyysissä. Analyysit perustuvat pääosin japanilaiseen ja amerikkalaiseen laitteiden vikatietokantaan. Toshibaan japanilaisille laitoksille tehdyt analyysit kattavat kaikki lai-

toksen ulkoisiin ja sisäisiin uhkiin liittyvät tapahtumat laitoksen kaikissa käyttötiloissa. Analyysimenetelmiä ja ABWR:lle tehtyjen analyysien tuloksia koskevien tietojen perusteella voidaan arvioida, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset PRA-vaatimukset täyttävät analyysit. Tarvittaessa menetelmiä voidaan kehittää suomalaisten yksityiskohtaisten vaatimusten mukaisiksi.

#### *Uuden tyyppisten järjestelmien kelpoistus*

Toshiban ABWR-laitokseen on suunniteltu passiivisia järjestelmiä, joita ei ole aikaisemmin käytetty ydinvoimalaitoksissa. Tällaisia järjestelmiä ovat suoraan reaktoripiiriä jäähdyttävä eristyslauhdutin (IC) ja passiivinen suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmä (PCCS), joita käytetään jälkilämmön poistoon häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Toshiba on kelpoistanut järjestelmät kokeellisesti. Koeohjelma on käsittänyt sekä yksittäisellä jälkilämmön poistoon liittyvän lauhduttimen lämmönsiirtoputkella että täyden mittakaavan lauhduttimilla tehtyjä kokeita. Kokeissa on tutkittu lämmönsiirtomekanismeja sekä lauhduttimien kaasujen vaikutusta laajalla parametrialueella. Kokeiden perusteella on kehitetty korrelaatio lauhduttimien kaasujen vaikutuksesta lauhduttimen lämmönsiirtokykyyn. Kokeet ja teoreettiset analyysit ovat osoittaneet, että sekä eristyslauhdutin että suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmä toimivat luotettavasti onnettomuuksien aikana. Vaikka kokeet on tehty varsin kattavasti, joissakin yksityiskohdissa saattaa olla vielä tarvetta lisäkokeiden suorittamiseen lupamenettelyn myöhemmässä vaiheessa.

#### 3.1.3 Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 7–10 §)

Toshiba on laskenut alustavasti ympäristön väestölle aiheutuvan säteilyaltistuksen onnettomuustilanteissa. Laskut on tehty luokan 2 onnettomuuksille (alkutapahtuman oletetaan sattuvan harvemmin kuin kerran tuhannessa vuodessa). Analyyseissa on käytetty Toshiban analyysimenetelmiä, joita on aikaisemmin käytetty vastaavan tyyppisten laitosten lisensioinnissa Japanissa. Analyysitulosten perusteella annokset jäävät Suomessa luokan 2 onnettomuuksille asetettujen annosrajojen alapuolelle.

Edellä esitetyn analyysituloksen ja laitospäätösuunnittelupiirteiden perusteella voidaan arvioida, että annokset jäävät myös muissa häiriö- ja onnettomuustilanteissa alle suomalaisissa vaatimuksissa asetettujen annosrajojen.

ABWR-laitokselle tehty säteilyaltistukseen ja radioaktiivisiin päästöihin liittyvät analyysit antavat sen käsityksen, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset vaatimukset täyttävät analyysit.

### 3.1.4 Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §)

#### *Reaktori ja polttoaine*

ABWR-laitos on reaktoripainesäiliön sisäpuolisilla pääkiertopumpuilla varustettu kiehutusvesilaitos, joka toiminnallisilta parametreiltaan ja turvallisuusominaisuuksiltaan vastaa nykyisiä suuria kiehutusvesireaktoreita. Pääkiertopumpuja on yhteensä 10 kappaletta. Polttoainepipujen lukumäärä on 872 ja säätösauvojen 205. Polttoaineena on tarkoitus käyttää nykyisissä kiehutusvesireaktoreissa käytössä olevia tai niistä edelleen kehitettyjä polttoainetyyppejä. Reaktiivisuuden hallinta käyttöjakson aikana tapahtuu pääkiertopumpuilla, polttoaineessa olevilla kiinteillä palavilla myrkyillä ja säätösauvoilla.

Reaktorin stabiilisuus on varmistettu samoin menetelmin kuin nykyisissä kiehutusvesireaktoreissa eli osittaisella pikasululla, sydämen ja polttoaineen suunnittelulla sekä suojaustoiminnoilla. Lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa stabiilisuuden hallintaa arvioidaan yksityiskohtaisemmin. Japanissa käytössä olevilla ABWR-laitoksilla ei ole satunut yhtään reaktorin stabiilisuusongelmiin liittyvää käyttötapahumaa.

Polttoaineen poistopalama on suunniteltu suuremmaksi kuin Suomessa hyväksytty polttoainepipun maksimipoistopalama 45 MWd/kgU. Reaktorin käyttö voidaan kuitenkin suunnitella myös suomalaisen palamarajan mukaiseksi. Jos tätä suurempia palamia pyritään hyväksyttämään, pitää hakijan osoittaa kokeellisesti, että polttoaine täyttää suomalaiset onnettomuustilanteita koskevat suunnittelukriteerit.

Reaktorin ja polttoaineen toteutusratkaisu täyttää suomalaiset vaatimukset. Eräät yksityiskohdat kuten reaktorin stabiilisuus ja polttoaineen maksimipalama vaativat lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa lisäanalyysia ja mahdollisesti myös kokeita.

#### *Ydintekniset päälaitteet*

ABWR-laitoksen primääripiirin ydinteknisissä päälaitteissa käytetään materiaali- ja valmistusteknisesti koeteltuja ratkaisuja. Reaktoripainesäiliön materiaalina on niukkaseosteinen teräs, josta valmistetut takeet hitsataan painesäiliöksi. Painesäiliö pinnoitetaan hitsaamalla sisäpuolelta ruostumattomalla teräksellä. Reaktorissa käytettävien materiaalien ja hitsien sitkeyteen on kiinnitetty huomiota. Reaktorin sydänalueen säteilyaurastuminen on huomioitu materiaalivalinnoissa ja sitä seurataan normaalikäytännön mukaisella ohjelmalla.

Myös reaktoriin liittyvissä komponenteissa kuten pääkiertopumpuissa, säätösauvakoneistoissa, putkistoyhteissä ja reaktorin sisäosissa käytetään koeteltuja materiaalaratkaisuja, joilla vähennetään jännityskorroosion, termisen väsymisen, vanhenemisen ym. käytön aikaisten ikääntymisilmiöiden haittavaikutuksia. Päähöyry- ja syöttövesiputkien eroosiorroosio pyritään minimoimaan.



Primääripiirin suunnittelussa on otettu huomioon primääripiiriin liittyvien putkien katkot. Niiden dynaamiset vaikutukset (paineiskut) muihin laitteisiin ja rakenteisiin analysoidaan suomalaisissa turvallisuusvaatimuksissa hyväksytyjen menettelyjen mukaisesti. Turvallisuusjärjestelmien suunnittelussa varaudutaan halkaisijaltaan suurimman putken katkoon. Päävalvomon yläpuolella sijaitseva päähöyrytunneli varustetaan riittäväillä suojuuksilla.

Ydinteknisille päälaitteille osalta esitetyt suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### Reaktorin paineenhallinta

ABWR-laitoksen reaktorin paineenhallintaa varten on 18 varo/puhallusventtiiliä. Paineen rajoittamiseen tarvittavat venttiilit avautuvat reaktorin suojausautomaation ohjaaman pneumaattisen ohjausventtiilin avulla tai suoraan reaktorin paineesta jousikuorman vasten.

Paineen alentamiseen näistä 18 venttiilistä on varattu 8 venttiiliä, jotka avautuvat reaktoripainesäiliön matalasta vedenpinnasta. Nopeaan reaktorin paineen laskuun tarvitaan vain kaksi venttiiliä. Luotettavuuden parantamiseksi sekä pneumaattisesti ohjatuilla varo/puhallus- että paineenalennusventtiileillä on omat typpisäiliönsä.

Eristyslauhduuttimia (IC, 4 x 33 %) voidaan käyttää paineenhallintaan häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Eristyslauhduuttimet on liitetty höyry - ja syöttövesiputkiin siten, että järjestelmän käynnistyttyä reaktorista höyryputkiin kulkeva höyry johdetaan lämmönvaihtimeen ja siellä vedeksi lauhtunut höyry johdetaan syöttövesiputkien kautta takaisin reaktoriin. Eristyslauhduuttimen ja syöttövesiputken välissä on kaksi rinnakkaista, eri periaatteella toimivaa venttiiliä, joista yhden avautuminen riittää eristyslauhduuttimen käynnistymiseen. Eristyslauhduutin toimii häiriötilanteissa siten, että vain lyhytaikainen varo/ulospuhallusventtiilien puhallus (vain kerran) tarvitaan mitoittavassa painetran-sientissa. Tällä rajoitetaan jäädytteen puhaltamista primääripiiristä lauhdutusaltaaseen eli veden määrää reaktorissa on helppo ylläpitää häiriöiden ja onnettomuuksien aikana. Järjestelmät täyttävät valtioneuvoston asetuksen edellyttämät moninkertaisuusperiaatteen ja erilaisuusperiaatteen.

Reaktorin paineen hallinnan osalta suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Suojarakennus*

Suojarakennus on perustyyppiltään kiehutusvesilaitoksille tavanomainen lauhdutusaltaalla varustettu teräsbetonista rakennettu paineenalennussuojarakennus, jossa tehoajon aikana on typpi-ilmakehä. Jäädytteenmenetysonnettomuuksissa reaktoripiiristä suojarakennukseen purkautuva höyry virtaa paine-eron ajamana lauhdutusaltaaseen. Reaktorissa syntyvä jälkilämpö poistetaan lauhdutusaltaasta jälkilämmönpoistojärjestelmän avulla.

la. Suojarakennus on suunniteltu säilyttämään hyväksymiskriteerien mukaisen tiiveytensä häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

#### *Vakavat onnettomuudet*

ABWR-laitoksen vakavia reaktorionnettomuuksia hallitaan primääripiirin paineen alenemisella ennen reaktoripainesäiliön rikkoutumista, sydänsulan jäähdyttämällä reaktoripainesäiliön alapuolella olevassa sydänsiepparissa sekä suojarakennuksen paineen hallinnalla passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän avulla.

Primääripiirin paineenalennukseen on käytettävissä kahdeksan pneumaattisesti ohjattua ja neljä moottoriohjattua venttiiliä. Käyttövoima venttiilien avaamiseen saadaan akkuvarmennetusta vakavien onnettomuuksien sähköjärjestelmästä. Järjestelmä estää reaktoripainesäiliön rikkoutumishetkellä muuten mahdollisesti tapahtuvan korkeapaineisen sulapurkauksen, joka voisi vaurioittaa suojarakennusta.

Suojarakennuksen kaasutila on käytön aikana täytetty tyypellä, minkä johdosta vakavan onnettomuuden aikana syntyvä vety ei tehoajolta alkavissa onnettomuuksissa voi saada aikaan vetypaloa. Vetyä syntyy huomattava määrä, jos kaikki polttoaineen suojakuorisissa ja kiehutusvesireaktorien polttoainekanavissa käytettävä zirkonium hapettuu vakavan onnettomuuden aikana. Reaktiossa syntyvä vety paineistaa suojarakennusta. ABWR-laitoksen primäärisuojarakennuksen mitoituksessa on otettu huomioon vedynkehitys tilanteessa, jossa kaikki reaktorin sisältämä zirkonium hapettuu.

Vakavassa onnettomuudessa jälkilämpö poistetaan ABWR-suojarakennuksesta passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän (PCCS) avulla. Järjestelmä toimii ilman ulkoista käyttövoimaa. PCCS-järjestelmä koostuu neljästä luonnonkiertolauhduttimesta, jotka siirtävät lämpöä primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevan reaktorihallin vesialtaisiin suoraan suojarakennuksen ilmatilaan johdettujen putkilinjojen kautta. Reaktorihallissa on kaksi allasta, joissa kummassakin on kaksi PCCS-luonnonkiertolauhdutinta. Lauhduttimet on altaissa erotettu kynnyksillä, minkä johdosta allas ei vuototilanteessa voi tyhjentyä kokonaan. Altaissa oleva vesi riittää jälkilämmön poistoon 24 tuntia ilman uudelleentäyttöä. Altaat täytetään suojarakennuksen ulkopuolella olevasta varastosäiliöstä. PCCS-järjestelmän toiminta on varmennettu kokeellisesti suuren mittakaavan koelaitteistolla.

Sydänsulan jäähdyttämiseksi reaktoripainesäiliön alapuolelle asennetaan sydänsieppari. Sydänsieppari toimii ilman ulkoista käyttövoimaa. Sulan purkaus sieppariin avaa tulvitusventtiilit, joiden kautta lauhdutusaltaan vesi virtaa siepparin alapuolella oleviin kanaviin ja myöhemmässä vaiheessa sula-altaan päälle. Sydänsiepparissa kehittyvä höyry lauhtuu PCCS-järjestelmässä, mistä vesi virtaa takaisin sieppariin.

Sydänsiepparin suunnittelu on meneillään. Laitostoimittaja on arvioinut sydänsulan virtaus- ja lämpötilajakautumat siepparissa sekä luonnonkierto-olosuhteet sydänsiepparin jäähdytyskanavissa siepparin rakenteiden lämpökuormien määrittämiseksi. Sydänsiepparin toimivuus todennetaan kokeellisesti. Laitostoimittaja on laatinut koeohjelman

lämmönsiirtokokeille. Kokeet on aloitettu yksinkertaisella pienen mittakaavan koelaitteella, jolla tutkitaan paikallista lämmönsiirtoa sydänsulasta jäähdytyskanaviin. Koeohjelman mukaan kokeet täyden mittakaavan koelaitteistolla aloitetaan vuoden 2009 aikana. Kokeissa tutkitaan rakenteisiin kohdistuvia lämpökuormia, virtauskanavien geometriaa, erityisesti niiden kallistuskulmaa, sekä aukko-osuutta sydänsulan yläpuolisessa vesialtaassa.

Laitokselle tullaan asentamaan suojarakennuksen suodatettu ulospuhallusjärjestelmä lauhtumattomien kaasujen pitkän aikavälin hallintaan.

ABWR-laitoksen suojarakennus sekä vakavien onnettomuuksien hallintaan suunniteltujen järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia. Sydänsiepparin toimivuus on vielä varmennettava kokeellisesti. Laitostoimittajalla on käynnissä tätä tutkiva koeohjelma.

### 3.1.5 Turvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §)

ABWR-laitoksessa turvallisuustoimintojen toteuttamiseen käytetään aktiivisia ja passiivisia järjestelmiä. Reaktorisydämen sammuttamiseen ja jälkilämmönpoistoon liittyvät turvallisuustoiminnot on toteutettu sekä aktiivisella että passiivisella järjestelmällä. Lisäveden saanti reaktoriin häiriö- ja onnettomuustilanteissa on toteutettu pelkästään aktiivisiin laitteisiin perustuvilla hätäjäähdytysjärjestelmillä.

#### *Reaktorin reaktiivisuuden hallinta*

Reaktorin tehotaso säädetään normaalitilanteissa säätösauvoilla ja pääkiertopumpuilla kuten nykyisissäkin kiehtusvesireaktoreissa.

Reaktorin sammuttaminen häiriö- ja onnettomuustilanteissa tapahtuu hydraulisen pikasulkujärjestelmän avulla. Järjestelmä on passiivinen ja sen toiminta perustuu tyypellään paineistettuihin vesisäiliöihin, joiden sisältämä paine työntää pikasulkuventtiilin avauttuna säätösauvat reaktorisydämeen. Yksi painevesisäiliö ohjaa kahta säätösauvaa. Pikasulkumoduuleja, jotka koostuvat tyypitankista, pikasulkuventtiilistä ja vesitankista sekä tarvittavasta putkistosta, on yhteensä 120 kappaletta. Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen vaatiman moninkertaisuusperiaatteen.

Pikasulkujärjestelmää varmistaa paineistettuun boorivesisäiliöön perustuva, suoraan reaktorisydämeen booripitoista vettä syöttävä järjestelmä (SLBS, 2 x 100 %). Järjestelmä toteuttaa valtioneuvoston asetuksen edellyttämän erilaisuusperiaatteen.

Reaktorin suojausautomaatio käynnistää passiivisen pikasulkujärjestelmän prosessiparametrien ylittäessä suojausrajan. Reaktorin pikasulun varmistaa ARI-järjestelmä (Alternate Rod Insertion), joka automaation osalta toteuttaa erilaisuusperiaatteen. Järjestelmä on toteutettu langoitettulla tekniikalla. ARI-järjestelmä ohjaa samoja pikasulkuventtiilejä ja paineakkuja kuin normaali suojausautomaatio. Reaktorin sammuttaminen

varmistetaan myös mahdollisuudella ajaa säätösauvat sähkömoottoriohjauksella reaktorisydämeen, sikäli kun hydraulinen järjestelmä ei sitä ole tehnyt.

Reaktorin tehon alentaminen pääkiertovirtausta pienentämällä tapahtuu pysäyttämällä kokonaan alkutapahtumasta riippuen neljä tai kuusi kymmenestä pääkiertopumpusta.

Reaktiivisuuden hallintaan liittyvät suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Reaktorin jäähdytys*

#### *Reaktorin jäähdytys seisokkitilanteissa*

Normaaleissa seisokkitilanteissa reaktorissa syntyvä jälkilämpö siirretään suoraan reaktoripainesäiliöstä jälkilämmönpoistojärjestelmällä (RHR, 3 x 100 %). RHR-järjestelmässä on sammutetun reaktorin jäähdytykseen liittyvä osajärjestelmä, joka huolehtii jälkilämmön poistosta seisokkien aikana. Samaa järjestelmää käytetään myös lisäveden saantiin reaktoriin. RHR-järjestelmästä jälkilämpö siirretään välijäähdytysjärjestelmän (RCWS, 3 x 100 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (RSWS, 3 x 100 %) kautta lopulliseen lämpönieluun. RHR-järjestelmää käytetään jäähdytykseen sekä reaktoripainesäiliön ollessa suljettuna että avoinna.

Erilaisuusperiaatteen toteuttaa RHR-järjestelmän häiriötilanteissa reaktoriveden puhdistusjärjestelmä (CUW, 2 x 100 %), jonka avulla jälkilämpö voidaan siirtää kahdella lämpönvaihtimella (NRHX, 2 x 100 %) lopulliseen lämpönieluun.

#### *Reaktorin jäähdytys onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä*

Onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä, reaktoria jäähdytetään ensisijaisesti aktiivisella korkeapainejäähdytysjärjestelmällä (HPCF, 3 x 100 %).

Erilaisuusperiaate reaktorin hätäjäähdytyksessä on toteutettu siten, että korkeapainehätäjäähdytysjärjestelmä (HPCF) pystytään tarvittaessa korvaamaan matalapainehätäjäähdytysjärjestelmällä (LPCF) alentamalla reaktorin paine automaattisella paineenalennusjärjestelmällä alueelle, jossa matalapainehätäjäähdytyspumput voivat toimia. Jäähdytysvetensä HPCF-järjestelmä saa erillisestä lisävesisäiliöstä ja LPCF-järjestelmä suojarakennuksen sisäpuolella olevasta lauhdutusaltaasta, altaaseen sijoitettujen imusiivilöiden kautta. Hätäjäähdytysjärjestelmien suorituskyvyn edelleen parantamiseksi Toshiba selvittää hydraulisen pikasulkujärjestelmän huuhtelujärjestelmästä saatavan veden syöttöä reaktoripainesäiliöön.

Jälkilämpö siirretään reaktorista johtamalla höyry primääripiirin paineensäätöventtiilien kautta suojarakennuksen lauhdutusaltaaseen, josta jälkilämpö ensisijaisesti poistetaan

jälkilämmönpoistojärjestelmällä (RHR, 3 x 100 %). RHR käyttää samoja pumppuja kuin matalapainehätäjäähdytysjärjestelmä. Tämän jälkeen jälkilämpö siirretään edelleen välijäähdytysjärjestelmän (RCWS, 3 x 100 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (RSWS, 3 x 100 %) kautta lopulliseen lämpönieluun.

Erilaisuusperiaate jälkilämmönpoistojärjestelmän osalta on toteutettu passiivisella luonnonkierrolla toimivalla järjestelmällä, joka muodostuu neljästä eristyslauhduuttimesta (IC, 4 x 33 %). Eristyslauhduuttimet on liitetty höyry - ja syöttövesiputkiin siten, että järjestelmän käynnistyttyä reaktorista höyryputkiin kulkeva höyry johdetaan lämmönvaihtimeen ja siellä vedeksi lauhtunut höyry johdetaan syöttövesiputkien kautta takaisin reaktoriin. Eristyslauhduuttimen ja syöttövesiputken välissä on kaksi rinnakkaista, eri periaatteella toimivaa venttiiliä, joista yhden avautuminen riittää eristyslauhduuttimen käynnistymiseen. Eristyslauhduuttimet on sijoitettu kahteen reaktorihallissa olevaan altaaseen, joissa kummassakin on kaksi eristyslauhduutinta. Kummatkin altaat on erotettu toisistaan kynnyksellä altaan tyhjenemisen estämiseksi. Reaktorihallin altaista jälkilämpö poistetaan ilmakehään. Eristyslauhduuttimien avulla laitos voidaan pitää hallitussa tilassa. Altaissa oleva vesi riittää jälkilämmön poistoon ilman uudelleentäyttöä 24 tuntia. Altaat voidaan täyttää uudelleen suojarakennuksen ulkopuolella olevasta varastosäiliöstä ja jatkaa jälkilämmön poistoa niin kauan kuin on tarpeen, kuitenkin vähintään 72 tuntia.

Erilaisuusperiaatteen toteuttamiseen jälkilämmönpoistojärjestelmän osalta voidaan käyttää myös suojarakennuksen passiivista jälkilämmönpoistojärjestelmää (PCCS). Reaktorissa syntyvä höyry voidaan johtaa primääripiirin paineensäätöventtiileillä suojarakennuksen lauhdutusaltaaseen, josta jälkilämpö siirretään edelleen PCCS järjestelmän kautta ilmakehään.

### *Reaktorin jäähdytys jäähdytteenmenetyssonnettomuuksissa*

Jäähdytteenmenetyssonnettomuuksissa reaktori jäähdytykseen käytetään ensisijaisesti korkeapainehätäjäähdytysjärjestelmää (HPCF, 3 x 100 %) ja matalapainehätäjäähdytysjärjestelmää (LPCF, 3 x 100 %) sekä automaattista paineenalennusjärjestelmää, joka käyttää varo/ulospuhallusventtiilejä. Pienissä jäähdytevuodoissa reaktorin jäähdytykseen käytetään ensisijaisesti korkeapainehätäjäähdytysjärjestelmää (HPCF), joka huolehtii riittävästä veden pinnankorkeudesta reaktorissa.

Erilaisuusperiaate reaktorin jäähdytyksen osalta toteutetaan pienten jäähdytevuotojen yhteydessä samoin kuin edellä on esitetty tilanteessa, jossa primääripiiri on ehjä.

Jäähdytysvetensä HPCF-järjestelmä saa erillisestä lisävesisäiliöstä ja LPCF-järjestelmä suojarakennuksen sisäpuolella olevasta lauhdutusaltaasta, altaaseen sijoitettujen imusiivilöiden kautta. Imusiivilät estävät epäpuhtauksien pääsyn reaktoriin.

Jäähdytteenmenetyssonnettomuuksissa matalapainehätäjäähdytysjärjestelmän luotettavan toiminnan kannalta on tärkeää, että lauhdutusaltaassa olevat pumppujen imusiivilät

eivät tukkeudu onnettomuustilan aikana altaaseen joutuvan epäpuhtauden seurauksena Toshiba on kokeellisesti varmistanut kehittämiensä imusiivilöiden toiminnan onnettomuustilanteita vastaavissa olosuhteissa. Siivilän tukkeutumisen estäminen perustuu sen suureen pinta-alaan. Lisäksi siivilät on varustettu huuhtelujärjestelmällä tukkeutumisen varalle. Lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa voi olla tarvetta tehdä joitakin analyyseja tai kokeita imusiivilöiden toiminnan varmentamiseksi.

Jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa primääripiiristä purkautuva höyry johdetaan lauhdutusaltaaseen erillisillä alaspuhallusputkilla. Lauhdutusaltaasta jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun samoin kuin tilanteissa, jossa primääripiiri on ehjä.

Erilaisuusperiaatteen jälkilämmön poiston osalta toteuttaa suojarakennuksen passiivinen jälkilämmönpoistojärjestelmä, joka on käyttövalmis eikä siis tarvitse minkään aktiivisen laitteen toimintaa käynnistyäkseen. Suojarakennuksen jälkilämmönpoisto tapahtuu luonnonkiertolauhduttimilla (PCCS, 4 x 33%), jotka siirtävät lämpöä primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevan reaktorihallin vesialtaisiin suoraan suojarakennuksen ilmatilaan johdettujen putkilinjojen kautta. Suojarakennuksen passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän (PCCS) luonnonkiertolauhduttimet on sijoitettu kahteen reaktorihallissa olevaan altaaseen, joissa kummassakin on kaksi PCCS-lauhdutinta. Altaat on erotettu toisistaan kynnyksillä tyhjenemisen estämiseksi. Reaktorihallin altaista jälkilämpö poistetaan ilmakehään. Altaissa oleva vesi riittää jälkilämmön poistoon ilman uudelleentäyttöä 24 tuntia. Altaat voidaan täyttää uudelleen suojarakennuksen ulkopuolella olevasta varastosäiliöstä ja jatkaa jälkilämmön poistoa vähintään 72 tuntia.

Reaktorisydämen jäähdytykseen ja jälkilämmön poistoon tarvittavien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Häätäjäähdytysjärjestelmiin liittyvät yksityiskohdat, kuten esimerkiksi korkeapainehätäjäähdytysjärjestelmän imusiivilöiden luotettavan toiminnan kokeellinen osoittaminen, edellyttävät lisäkokeita ja häätäjäähdytysjärjestelmiin liittyvän erilaisuusperiaatteen toteuttavan järjestelmän lopullinen ratkaisu lisäsuunnittelua.

### *Suojarakennuksen eristys*

ABWR-laitoksen suojarakennuksen eristys on suojarakennuksen läpäisevissä putkilinjoissa toteutettu kahdella eristysventtiilillä lukuun ottamatta korkeapainehätäjäähdytysjärjestelmän pumppujen imulinjoja, joissa on yksi suojarakennuksen ulkopuolinen eristysventtiili. Samantyyppisten eristysventtiilien yhteisvikatarkastelua ei ole tehty, joten valtioneuvoston asetuksen edellyttämän erilaisuusperiaatteen toteutumista eristysventtiilien osalta ei voida osoittaa.

Moninkertaisuus- ja erilaisuusperiaatteen toteutuminen suojarakennuksen eristyksen osalta voidaan toteuttaa venttiilivalinnoin hankkeen myöhemmässä vaiheessa.

### *Lopullisen lämpönielun menetys*

Jos normaali lämmönpoistomahdollisuus lopullisena lämpönieluna toimivaan meriveiteen menetetään, jälkilämpö voidaan siirtää reaktorista eristyslauhduttimilla (IC) primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevan reaktorihallin vesialtisiin ja edelleen ilmastointipiipun kautta ilmakehään. Tällä järjestelmällä reaktori saadaan hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja voidaan pitää siinä. Altaissa oleva vesi riittää jälkilämmön poistoon ilman uudelleentäyttöä 24 tuntia. Altaat voidaan helposti täyttää uudelleen suojarakennuksen ulkopuolella olevasta varastosäiliöstä ja jatkaa jälkilämmön poistoa niin kauan kuin on tarpeen, vähintään 72 tuntia. Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen vaatiman erilaisuusperiaatteen.

Lopullisen lämpönielun menetyksen hallintaan osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Polttoainealtaiden jäähdytys*

ABWR-laitoksessa polttoainealtaiden jäähdytys, altain pinnankorkeuden säätö, veden puhdistus ja radio-aktiivisten aineiden hallinta on normaaleissa käyttötilanteissa toteutettu polttoainealtaiden jäähdytys- ja puhdistusjärjestelmällä (FPC, 2 x 100 %). Altaiin saadaan tarvittaessa lisää vettä lauhteen varastosäiliöstä. Häiriö- ja onnettomuustilanteissa jälkilämmönpoisto ja altain pinnankorkeuden säätö hoidetaan jälkilämmönpoistojärjestelmällä (RHR, 3x100 %), joka pumppaa suojarakennuksen lauhdutusaltaasta vettä FPC-järjestelmän kautta polttoainealtaiin. Lisäksi palojärjestelmää (FPS) ja lauhdutusaltaan puhdistusjärjestelmää (SPCU) voidaan käyttää lisäveden syöttöön altaiin.

Polttoainealtaiden jäähdytykseen osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Seisokiturvallisuus*

Reaktorin alikriittisenä pysyminen varmistetaan kaikissa seisokitilanteissa pitämällä säätösauvat reaktorissa.

Seisokin aikana huoltotyöt, etenkin pääkiertopumppujen huolto, on suunniteltu moninkertaisin varmuuksin siten, että jäähdytysvesi ei pääse vuotamaan suojarakennuksen lattialle. Vuotojen varalle suojarakennuksen alakulkuaukot on varustettu kaksoisovella, joista toinen on aina kiinni. Tällöin latausaltaassa ja reaktorissa oleva vesi ei pääse suojarakennuksen ulkopuolelle kulkuaukkojen kautta.

Mikäli latausseisokin aikana sattuu merkittävä jäähdytevuoto, reaktorin jäähdytys varmistetaan jälkilämmön poisto (RHR, 3x100 %)- ja korkeapainehätäjäähdytyspumppuilla (HPCF, 3x100 %). Pumput käynnistyvät veden pinnan laskiessa ja täyttävät suojarakennuksen alemman kuivatilan ja reaktorin aina sydämen yläreunan yläpuolelle asti. Yhden osajärjestelmän RHR-pumppu ja HPCF-pumppu tarvitaan vedenpinnan pitämiseksi sydämen yläpuolella. RHR-pumppu ottaa jäähdytysveden lauhdutusaltaasta ja HPCF-pumppu suojarakennuksen ulkopuolella sijaitsevasta säiliöstä.

Seisokkiturvallisuuteen liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Sähköjärjestelmät*

ABWR-laitoksen ulkoisen sähkötehon syöttö on toteutettu omakäyttömuuntajien ja päämuuntajan kautta 400 kV verkosta tai kahden varaomakäyttömuuntajan kautta 110 kV verkosta. Varaomakäyttömuuntajilta voidaan syöttää sähköä tarvittaessa suoraan turvallisuusjärjestelmien jakokeskuksille ydinteknisesti turvallisuusluokittelemattomien (EYT-järjestelmien) sähkökeskusten ohi.

Ulkoisten syöttölähteiden ollessa vikaantuneita laitoksen turvallisuusjärjestelmien sähkötehon syöttöjärjestelminä toimivat vaihtoehtoisesti

- aktiivisten turvallisuusjärjestelmien sähkösyöttöön tarkoitettujen osajärjestelmien 1–3 varavoimadieselgeneraattorit (3 x 100 %) sekä passiivisten turvallisuusjärjestelmien ja automaation sähkösyöttöön tarkoitettujen osajärjestelmien 4 varavoimadieselgeneraattori (100 %)
- erilaisuusperiaatteen toteuttavat kaasuturbiinikäyttöiset vaihtoehtoiset varavoimadieselgeneraattorit (2 x 100 %). Generaattoreiden lopullista kytkentätapaa laitoksen sähköjärjestelmiin ei ole vielä päätetty.
- akustot varavoimasähkölähteiden käynnistymisen aikana (mitoituspurkausaika 2 h).

Vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmillä on omat erilliset varavoimadieselgeneraattorit (2 x 100 %) ja akustot (mitoituspurkausaika 24 h) sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelminä.

Sähköjärjestelmien erotteluperiaatteita ei hakemusaineistossa ole selvästi kuvattu. Tämä asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

Vuonna 2006 Forsmarkin ydinvoimalaitoksella tapahtuneen sähköhäiriön yhteydessä havaituista suunnitteluvirheistä saadut yleiset opetukset tulee ottaa huomioon. Sähköjärjestelmien ja -laitteiden suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota mm. jännitetransienttien leviämisen estämiseen sekä erilaisuusperiaatteen soveltamiseen sähkönjakelussa ja automaatiojärjestelmien sähkösyötössä. On analysoitava, mitkä ovat pahimmat mahdolliset jännitetransientti ja -häiriötilanteet laitoksen omakäyttösähköverkossa ja mitoitettava sähkönkuluttajat ja järjestelmät kestämaan nämä olosuhteet. Asiaa tul- laan tarkastelemaan yksityiskohtaisesti rakentamislupavaiheessa.

Sähköjärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Rakentamislupaa haettaessa Forsmark häiriöstä saadut yleiset opetukset voidaan käsitellä tarkemmin.

### *Rakennustekniikka ja palontorjunta*



ABWR-laitoksen rakennusten ja talotekniikan suunnitteluperusteet noudattavat referenssinä käytettyjä japanilaisia laitoksia, joiden ympäristöolosuhteet on arvioitu yleensä Suomen olosuhteita vaativammiksi. Laitostoimittajan käytössä on myös pohjoisen alueen kiehutusvesilaitosten suunnitteluosaaminen siten, että nykyiset suunnitteluperusteet antavat riittävän pohjan myös Suomen talviolosuhteiden hallintaan rakennusten ja talotekniikan yksityiskohtaisessa suunnittelussa.

Maanjäristyksien ja ulkoisten uhkien värähtelykestävyyteen liittyvät suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa runkorakenteita tarkastellaan siten, että varmistetaan rakennusten värähtelykestävyys sekä sopivat runkorakenteiden ja laitekiinnitysten värähtelyominaisuudet, kun arvioidaan laitoksen laitteiden värähtelykestävyyttä.

ABWR-laitoksen palontorjuntakonseptin suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Laitoksen sammutusjärjestelmät suunnitellaan maanjäristyskestäviksi, mikä varmistaa maanjäristysten mahdollisesti aiheuttamien seurauspalojen hallinnan.

### 3.1.6 Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §)

ABWR-laitoksen suojautumisstrategia suuren matkustajakoneen törmäykseen varalle on säilyttää reaktorisydämen jäähdytettävyyden, suojarakennuksen eheys, käytetyn polttoaineen jäähdytettävyyden ja polttoainealaiden eheys. Rakennukset, jotka suojataan lentokonetörmäykseltä, ovat reaktorirakennus, valvomorakennus sekä jälkilämmönpoistojärjestelmien pumppamorakennukset. ABWR-laitoksessa käytetään suojaustoimina vahvennettuja teräsbetonirakenteita, rinnakkaisten turvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien välistä fyysistä erottelua, toisten rakenteiden tarjoamaa suojausvaikutusta sekä laitteiden sijoittamista rakennusten maanalaisiin tiloihin.

Ulkoisilta tulvilta suojaudutaan pohjaveden paineen kestäväillä ulkoseinärakenteilla. Tulvarajan alapuoliset läpiviennit varustetaan tulvasuojin sekä tunnelien läpiviennit tehdään vesitiiviiksi.

Esitetyt suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### 3.1.7 Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §)

ABWR-laitoksen tila- ja sijoitussuunnittelussa huomioidaan sisäiset uhkatekijät kuten tulvat ja tulipalot jakamalla keskeiset turvallisuusjärjestelmät kolmeen eri tila-alueeseen. Eri tila-alueet erotetaan toisistaan teräsbetoniseinin, joille on ilmoitettu kahden tunnin paloluokitus. Reaktorirakennuksen alimman kerroksen tila-alueet, joissa sijaitsevat varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS) pumput, on täysin erotettu toisistaan seinin, joilla estetään sisäisen tulvan leviäminen. Osajärjestelmien erotteluperiaatetta toteutetaan myös valvomorakennuksessa. Reaktorirakennuksen ylempiin kerroksiin on käyttö- ja huoltotoiminnan tarpeisiin suunniteltu tila-alueiden välisiä ovia.

Korkeaenergisten putkistojen vaurioiden aiheuttamat painekuormitukset huomioidaan osana reaktorirakennuksen rakenteiden suunnitteluvaatimuksia. Suojarakennuksen alempi huoltokäynti on varustettu kahdella peräkkäisellä sulkuovella. Peräkkäisillä ovilla varmistetaan, että seisokin aikaisessa jäähdytteenmenetystilanteessa purkautuva jäähdyte jää suojarakennukseen ja siten saadaan takaisin jäähdytyskiertoon.

ABWR-laitoksessa suunnittelulähtökohtana on johtaa päähöyry- ja syöttövesiputkilinjat suojarakennuksesta yhtenäisiä tiloja pitkin turbiinirakennukseen valvomorakennuksen läpi. Soveltuvuusselvitysten yhteydessä on tutkittu näiden korkeaenergisten putkilinjojen vaurioiden mahdollisia vaikutuksia laitosturvallisuuteen. Laitokseen on suunniteltu putkikanavan jakamista kahteen tunneliosaan. Toinen olisi reaktorirakennuksen sisäinen osasto sekä toinen valvomorakennuksen läpi johtava osasto. Reaktorirakennuksen sisäisessä osastossa tapahtuvien putkikatkojen seurausten hallintaa on selvitetty. Valvomorakennuksen läpi johtavan osaston rakennetta on vahvistettu ja osasto on varustettu teräsvuorauksella estämään mahdollisen vuodon vaikutukset valvomorakennuksen toimintoihin, mutta asia vaatii lisätarkasteluja.

Laitoksen tiivis tilasuunnittelu asettaa vaatimuksia suojautumiseksi sisäisiltä tapahtumilta kuten tulvilta ja tulipaloilta. Suurten sisäisten tulvien seurauksia, kuten esimerkiksi varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS) tulvaa reaktorirakennuksen yhdessä tila-alueessa, tulee tarkastella lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa. Tarkasteluilla on varmistettava, että tapahtumien vaikutukset rajoittuvat kyseiseen tila-alueeseen.

Esitetyt suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### 3.1.8 Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §)

On huomioitava, että automaatiojärjestelmien turvallisuusperiaatteet on esitetty periaatepäätöksen hakemusasiakirjoissa varsin yleisellä tasolla. Ennen suunnittelun ja suunnitteluaineistojen täsmentymistä varsinaisen teknisen suunnittelun tasolle, kyse on monien turvallisuusperiaatteiden osalta enemmänkin tavoitteista, joiden toteutumista periaatepäätösasiakirjojen perusteella ei voida vielä täysin arvioida. Turvallisuusperiaatteiden aito toteutuminen laitoksen teknisissä ratkaisuihin on varmistettava suunnittelun edetessä myös hankkeen myöhemmissä vaiheissa. Näistä vaiheista rakentamislupakäsittely on ensimmäinen, konkreettisia automaatioteknisiä ratkaisuja käsittelevä laitos-hankkeen viranomaiskäsittelyn vaihe.

#### *Automaattiset turvallisuustoiminnot*

ABWR-laitoksen automaatiossa on useita eri syvyysuuntaiseen turvallisuusperiaatteen liittyviä puolustuslinjoja. Ensimmäisen linjan muodostavat normaali käyttöautomaatio, säätöjärjestelmät ja rajoitusjärjestelmät. Toisessa linjassa ovat reaktorisuojausjärjestelmä (RPS) ja laitossuojausjärjestelmä (ESFAS). Kolmannessa linjassa on erilaisuusperiaatteen perustuva suojausjärjestelmä DAS (Diverse Actuation System). Viimeisen linjan muodostaa vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmä.

Eri puolustuslinjojen automaatiojärjestelmät pyrkivät automaattisesti pitämään laitoksen parametrit turvallisella alueella käyttöhäiriöiden aikana ja rajoittamaan onnettomuustilanteiden seurauksia.

Automaatiojärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Moninkertaisuusperiaate automaatiossa*

Reaktorisuojausjärjestelmä ja laitossuojausjärjestelmä käsittävät neljä rinnakkaista osajärjestelmää. Suojaustoiminto käynnistyy, mikäli kaksi neljästä rinnakkaisesta suojauskanavasta antaa suojaussignaalin. Järjestelmät täyttävät valtioneuvoston asetuksen vaatimukset moninkertaisuusperiaatteen osalta.

Erilaisuusperiaatteeseen perustuvasta suojausjärjestelmästä DAS ei ole ilmoitettu rinnakkaisten osajärjestelmien määrää. Tämä asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

Käyttöautomaatioon lukeutuvat tärkeimmät säätöjärjestelmät, kuten syöttöveden säätöjärjestelmä, pääkiertopumppujen säätöjärjestelmä, turbiinin ohituksen säätöjärjestelmä, höyrynpaineen säätöjärjestelmä ja reaktorin tehonsäätöjärjestelmä, toteutetaan kolmella rinnakkaisella osajärjestelmällä.

Automaatiojärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Moninkertaisuusperiaatteita suojausjärjestelmän DAS osalta ei ole esitetty.

#### *Erotteluperiaate automaatiossa*

Eri turvallisuusluokkien automaatiojärjestelmien välisessä erottelussa turvallisuusluokan 2 järjestelmät on eroteltu fyysisesti ja toiminnallisesti muista laitteista. Turvallisuusluokan 3 järjestelmät on eroteltu muista laitteista toiminnallisesti.

Vakavien onnettomuuksien hallinta-automaatio- ja seurantajärjestelmän erottelua muusta automaatiosta ei ole esitetty. Tämä asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

Automaatiojärjestelmien osajärjestelmät on erotettu toisistaan fyysisesti ja toiminnallisesti.

Automaatiojärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia erotteluperiaatteen osalta. Vakavan onnettomuuden ja muun automaation erottelua toisistaan ei ole esitetty. Tämä asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

#### *Erilaisuusperiaate automaatiossa*

Reaktorisuojausjärjestelmässä erilaisuusperiaatetta on sovellettu siten, että eri onnettomuus- ja vikatilanteita indikoivat signaalit tulevat vaihtoehtoisesti kahdesta eri proses-

sisuureesta. Järjestelmän suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Suunnittelun tässä vaiheessa ei ole selvää, mitä tietokonepohjaisia järjestelmäalustoja käytetään eri automaatiojärjestelmissä. Tämä asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

ABWR-laitoskonseptissa on tietokonepohjaisen suojausjärjestelmän yhteisvikojen varalle erilaisuusperiaatteeseen perustuva suojausjärjestelmä DAS. Se kykenee ohjaamaan reaktiivisuuden säätöä, ylipaineistumissuojausta, sydämen hätäjähdytystä, jälkilämmönpoistoa reaktorista ja suojarakennuksesta, suojarakennuksen eristystä sekä hätäsähkölähteitä. DAS-järjestelmä muodostuu kahdesta osasta, joista toinen varmentaa reaktorin suojausjärjestelmää ja toinen laitossuojausjärjestelmää. Reaktorin suojausta koskeva DAS-järjestelmän osa perustuu langoitettuun tekniikkaan, kun taas laitossuojausjärjestelmää varmentava osa perustuu ohjelmoitavaan automaatioon. DAS-järjestelmällä on omat anturinsa prosessisuureiden mittausta varten. DAS-järjestelmällä laitos voidaan saada hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan. Aineistossa ei ole esitetty menetelmää, jolla laitos saadaan turvalliseen (kylmäsammutettuun) tilaan ohjelmoitavan automaation yhteisvikatilanteessa.

Järjestelmän suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Rakentamislupaa haettaessa on selvitettävä, miten laitos saadaan ohjattua turvalliseen tilaan ja pidettyä siellä ohjelmoitavan automaation yhteisvikatilanteessa.

### *Valvomo*

ABWR-laitoksen valvomossa on pääohjauspulpetti, tauluosuus sekä vuoropäällikön pulpetti.

Pääohjauspulpetista laitosta ohjataan normaalitilassa, käyttöhäiriöissä ja onnettomuustilanteissa. Pääohjauspulpettiin tulee lisäksi ohjaajille tarvittava informaatio ohjaustoimenpiteiden suorittamiseksi edellä mainituissa tilanteissa.

Tauluosuus koostuu kiinteistä indikaattoreista ja kytkimistä sekä suurkuvavideonäytöstä. Tauluosuuden tarkoituksena on esittää kootusti laitoksen ja tärkeimpien komponenttien tila ja tärkeimmät hälytystiedot. Tauluosuudessa on myös ohjaustoimintoja harvemmin käytetyille toiminnoille kuten määräaikaistestauksille.

Vuoropäällikön pulpetista voidaan valvoa laitoksen parametreja ja tilaa, mutta siitä ei voida suorittaa ohjaustoimenpiteitä.

Valvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Varavalvomo*

Laitoksessa on varavalvomo, josta turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä voidaan ohjata päävalvomosta riippumattomasti. Varavalvomosta laitos voidaan ohjata hallittuun (kuumasammutettuun) ja edelleen turvalliseen (kylmäsammutettuun) tilaan. Varavalvomo sijaitsee eri palo-osastossa ja rakennuksessa kuin päävalvomo. Varavalvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Polttoainealtaiden jäähdytyksen ohjaus- ja valvontamahdollisuutta ei ole kuvattu aineistoissa. Tämä asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

### *Reaktoripainesäiliön pinnanmittaus*

Reaktoripainesäiliön pinnankorkeutta mitataan normaalilla paine-eromittauksella, joka ohjaa reaktorin suojausautomaatiota. Mittauksia on neljä. Järjestelmä toimii, kun kaksi kanavaa antaa avautumiskäskyn. Järjestelmä täyttää moninkertaisuusperiaatteen. Erilaisuusperiaatteen toteuttavat kaksi uimuria, jotka on sijoitettu reaktoriveden puhdistusjärjestelmään.

### 3.1.9 Yhteenveto

Laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Eräät tekniset yksityiskohdat edellyttävät lisäanalyyssejä ja kokeellista kelpoistusta sekä lisäsunnittelua, mitkä toimenpiteet voidaan toteuttaa lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa. STUKin käsityksen mukaan mikään niistä ei ole sellainen, että sen voitaisiin olettaa muodostuvan esteeksi ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta annetun valtioneuvoston asetuksen (733/2008) vaatimusten täyttämiseksi. Tällaisia teknisiä yksityiskohtia ovat

- matalapainehätäjäähdytysjärjestelmään liittyvien imusiivilöiden toiminnan kokeellinen varmentaminen
- suojarakennuksen eristystoiminnon moninkertaisuusperiaatteen ja erilaisuusperiaatteen toteuttaminen kaikkien putkilinjojen osalta
- vakavan onnettomuuden hallintaan tarvittavan sydänsiepparin toimivuuden kokeellinen osoittaminen
- Forsmark-häiriöstä saatujen yleisten opetusten huomioon ottaminen sähköjärjestelmissä
- vakavan onnettomuuden hallinta-automaation ja seurantajärjestelmien riippumattomuus muusta automaatiosta
- laitoksen ajo turvalliseen tilaan, jos tietokonepohjainen automaatiojärjestelmä menetetään.

## **3.2 ESBWR - Economical and Simplified Boiling Water Reactor, GE-Hitachi**

### 3.2.1 Yleistä

ESBWR on General Electric/Hitachin (GEH) suunnittelema noin 1600 MWe kiehutusvesireaktori. GE:llä on pitkäaikainen kokemus kiehutusvesireaktoreiden suunnittelussa aina 1960-luvulta asti. Kaikki USA:ssa rakennetut kiehutusvesireaktorit ja useat laitok-

set ympäri maailmaa, esimerkiksi vanhimmat japanilaiset sekä kaikki espanjalaiset ja sveitsiläiset kiehutusvesireaktorit ovat GE:n suunnittelema. Hitachi on suunnitellut useita Japanissa käytössä olevia kiehutusvesireaktoreita. GEH on yhtiö, jossa GE ja Hitachi ovat yhdistäneet aiemman osaamisensa.

ESBWR-laitos on GE:n aikaisemmin suunnitteleminen ja rakentamien kiehutusvesireaktoreiden pohjalle suunniteltu laitos, jossa on pidetty tavoitteena rakenteen yksinkertaistamista ja huoltoa vaativien laitteiden lukumäärän vähentämistä. Yhtään ESBWR-laitosta ei ole toistaiseksi alettu rakentaa.

GEH on Olkiluoto 4 -projektissaan kehittänyt lähtökohtana ollutta laitoskonseptia lisäämällä siihen eräitä turvallisuuspiirteitä, joita suomalaiset turvallisuusvaatimukset edellyttävät. Laitoksen suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta. Suunnittelun valmiusaste on pienempi kuin muissa laitosvaihtoehdoissa. Suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

ESBWR-laitoksen turvallisuus perustuu monelta osin aktiivisten järjestelmien tilalle suunniteltuihin uudentyypisiin luontaisiin ominaisuuksiin ja passiivisiin turvallisuusjärjestelmiin. Esitetyt uudet ratkaisut vaativat kuitenkin ennen käyttöönottoa perusteellisen kokeellisen ja laskennallisen kelpoistuksen.

### 3.2.1 Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §)

#### *Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset*

Turvallisuuden arviointia ja todentamista varten GEH:lla on käytössään vuosikymmenien aikana kehittämiensä analyysimenetelmät. Menetelmät on ylläpidetty ja kelpoistettu käyttötarkoitukseensa. ESBWR-laitokselle tehdyt häiriö- ja onnettomuusanalyysit antavat sen käsityksen, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset vaatimukset täyttävät häiriö- ja onnettomuusanalyysit.

#### *Todennäköisyysperusteiset analyysit*

GEH:lla on käytössä tason 1 ja 2 PRA-menetelmät, joita on käytetty USA:ssa toiminnassa olevien GE -laitosten PRA-analyyseissa. PRA-menetelmiä on käytetty alusta asti myös ESBWR-laitoksen suunnittelussa. Analyysit kattavat ulkoisiin ja sisäisiin uhkiin liittyvät tapahtumat kaikissa laitoksen käyttötiloissa. Analyysimenetelmiä ja ESBWR:lle tehtyjen analyysien tuloksia koskevien tietojen perusteella voidaan arvioida, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset PRA-vaatimukset täyttävät analyysit. Tarvittaessa menetelmiä voidaan kehittää suomalaisten yksityiskohtaisten vaatimusten mukaisiksi.

#### *Uuden tyyppisten järjestelmien kelpoistus*

ESBWR-laitosvaihtoehto sisältää useita uusia passiivisia turvallisuusjärjestelmiä, joita ei ole aikaisemmin käytetty ydinvoimalaitoksissa. Tällaisia uusia järjestelmiä ovat suoraan reaktoripiiriä jäähdyttävä eristyslauhdutin IC, passiivinen suojarakennuksen jälkilämmön poistojärjestelmä PCCS, passiivinen reaktorisydämen tulvitusjärjestelmä GDSC sekä paineenalennusventtiilit.

Järjestelmien toiminta on kelpoistettu asianmukaisesti koelaitteistojen avulla. Vaikka kokeet on tehty varsin kattavasti, joissakin yksityiskohdissa saattaa olla vielä tarvetta lisäkokeiden suorittamiseen lupamenettelyn myöhemmässä vaiheessa.

### 3.2.3 Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 7–10 §)

Laitostoimittaja on osana ESBWR:n suunnitteluprosessia laskenut onnettomuustilanteissa ympäristön väestölle aiheutuvan säteilyaltistuksen. Laskut on tehty ESBWR:n standardilaitokselle. Näiden laskujen perusteella väestön säteilyannokset jäävät selvästi alle suomalaisissa vaatimuksissa onnettomuuksille asetettujen annosrajojen.

ESBWR-standardilaitokselle tehdyt säteilyaltistukseen ja radioaktiivisiin päästöihin liittyvät analyysit antavat sen käsityksen, että analyysimenetelmät täyttävät suomalaiset vaatimukset ja että analyysien tulokset tulevat täyttämään hyväksymiskriteerit.

### 3.2.4 Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §)

#### *Reaktori ja polttoaine*

ESBWR-laitoksen reaktori ja siihen liittyvä jäähdytyspiiri on suunniteltu siten, että laitos toimii luonnonkierrolla eikä laitoksessa ole pääkiertopumppuja. Reaktorin tehoa säädetään normaaliolosuhteissa syöttöveden lämpötilan ja säätösauvojen avulla. Polttoainenippuja on sydämessä 1132 kappaletta ja säätösauvoja 269 kappaletta. Polttoainena reaktorissa on tarkoitus käyttää tyypiltään samanlaisia, mutta noin metrin lyhyempiä polttoainenippuja kuin nykyisissä kiehumusvesireaktoreissa. Reaktiivisuuden hallinta käyttöjakson aikana tapahtuu syöttöveden lämpötilan avulla, polttoaineessa olevilla kiinteillä palavilla myrkyillä ja säätösauvoilla.

Reaktorisydän on korkeudeltaan nykyisiä vastaavankokoisia reaktoreita selvästi matalampi ja sijaitsee reaktoripainesäiliön sisällä alempana kuin nykyisissä kiehumusvesilaitoksissa. Reaktorisydämen tehotiheys on hieman pienempi kuin nykyisissä suurissa kiehumusvesireaktoreissa. Nämä piirteet parantavat luontaista turvallisuutta nykylaitoksiin nähden lämpötekniikan marginaalien osalta. Lisäksi sydän sijaitsee häiriöiden ja onnettomuuksien kannalta edullisessa asemassa. Reaktoripainesäiliön ison tilavuuden ansiosta myös paineensäädön häiriöt ovat nykyisiin kiehumusvesireaktoreihin verrattuna selvästi rauhallisemmin kehittyviä. Eristyslauhduttimen (IC) avulla niistä selvittää siten, että varo- tai puhallusventtiileillä ei ole tarvetta avautua pahimman mahdollisen painetransientin aikana.

Pelkästään luonnonkiertoreaktorissa (reaktori, jossa ei ole pääkiertopumppuja) reaktorin stabiilisuus on eräs turvallisuuden kannalta oleellinen seikka. Nykyiset kiehutusvesireaktorit pystyvät toimimaan luonnonkierrolla aina noin 50 % tehotasolle asti, mutta aika ajoin niissä on ilmennyt stabiilisuusongelmia. ESBWR:ssa reaktorin stabiilisuus on pyritty varmistamaan suunnitteleamalla reaktorin yläpuolelle rakenne (chimney), joka tehostaa luonnonkiertoa reaktorin primääripiirissä. Eräitä samalla periaatteella toimivia pienikokoisia kiehutusvesireaktoreita on ollut käytössä ja niiden stabiilisuus on kokemusten perusteella ollut hyvä. ESBWR:n stabiilisuus on osoitettu teoreettisin laskelmin. Laskuissa käytetty menetelmä on kelpoistettu edellä mainittujen luonnonkiertoreaktoreiden käyttökokemusten ja käytössä olevissa kiehutusvesireaktoreissa tapahtuneiden stabiilisuushäiriöiden sekä joissakin koelaitteissa tehtyjen stabiilisuuskokeiden avulla. Näiden selvitysten perusteella marginaali tehovärähtelyihin on riittävä. Monimutkaiset reaktorin stabiilisuuteen liittyvät ilmiöt eivät ole kuitenkaan suoraan skaalattavissa reaktorin koon mukaan. Näiltä osin laitosvaihtoehto tarvitsee lisäanalyysia reaktorin stabiilisuuden osoittamiseksi kaikissa käyttötilanteissa.

Polttoaineen poistopalama on suunniteltu suuremmaksi kuin Suomessa hyväksytty polttoainepun maksimipoistopalama 45 MWd/kgU. Reaktorin käyttö voidaan kuitenkin suunnitella myös suomalaisen palamarajan mukaiseksi. Jos tätä suurempia palamia pyritään hyväksyttämään, pitää hakijan osoittaa kokeellisesti, että polttoaine täyttää suomalaiset onnettomuustilanteita koskevat suunnittelukriteerit.

Reaktorin ja polttoaineen suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Reaktorin stabiilisuus vaatii lisäanalyysia ja mahdollisesti myös kokeita jotta voitaisiin osoittaa suomalaisen vaatimustason täyttyminen.

### *Ydintekniset päälaitteet*

ESBWR-laitoksen reaktoripainesäiliö valmistetaan niukkaseosteista terästageista, jotka hitsataan säiliökokonaisuudeksi painelaittevalmistukselle tyypillisin koetelluin menetelmin. Päälaitteissa käytettävillä painelaiteteräksillä on asetettu tiukat sitkeysvaatimukset.

Reaktorin sydänalueella käytetään rengastakeita, jotka kootaan lieriöksi pyörähdys-symmetrisin hitsein. Kookkaan reaktoripainesäiliön (sisähalkaisija 7,1 m, korkeus 27,6 m) yläosassa käytetään myös pituussuuntaisia hitsausliitoksia. Reaktorin sisäpuoli pinnoitetaan hitsaamalla ruostumattomalla teräksellä. Sydämen yläpuolelle sijoitettava luonnonkiertoa tehostava rakenne (chimney) sekä reaktorin sisäosat ovat ruostumatonta terästä.

Pääkomponenttien ja niissä käytettävien hitsausliitosten kestävyys käytön aiheuttamia ikääntymisongelmia kuten putkistojen eroosiokorroosiota, eri jännityskorroosioilmiöitä, väsymistä, termistä vanhenemista ja säteilyhaurastumista vastaan on huomioitu materiaalivalinnoissa ja suunnittelussa. Säteilyn aiheuttamaa haurastumista seurataan normaallivaatimusten mukaisella seurantaohjelmalla sekä tähän liittyvillä murtumisanalyysilla.



Materiaalien ja laitteiden kestävyyttä pyritään lisäämään myös vesikemian optimoinnin avulla (vetyvesikemia).

Primääripiiriin ja siihen liittyvien turvallisuusjärjestelmien suunnittelussa varaudutaan primääripiiriin liittyvien putkien katkoon. Eri kohtiin oletettujen putkikatkojen dynaamiset vaikutukset (paineiskut) muihin laitteisiin ja rakenteisiin analysoidaan suomalaisissa turvallisuusvaatimuksissa hyväksytyjen menettelyjen mukaisesti.

Ydinteknisten päälaitteiden suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Reaktorin paineenhallinta*

ESBWR-laitoksen reaktorin paineenhallintaa varten on 18 varo/puhallusventtiiliä. Paineen rajoittamiseen tarvittavat venttiilit avautuvat reaktorin suojausautomaation ohjaaman pneumaattisen ohjausventtiilin avulla tai suoraan reaktorin paineesta jousikuormaa vasten.

Paineen automaattiseen alentamiseen näistä 18 venttiilistä käytetään 10 venttiiliä, jotka avautuvat reaktoripainesäiliön matalasta vedenpinnasta. Näissä kymmenessä venttiilissä on molemmat edellä mainitut avautumismekanismit. Kahdeksassa muussa on vain jousikuormitettu avautuminen.

Eristyslauhduuttimia (IC, 4 x 33 %) voidaan käyttää paineenhallintaan häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Eristyslauhduuttimet on liitetty höyry - ja syöttövesiputkiin siten, että järjestelmän käynnistyttyä reaktorista höyryputkiin kulkeva höyry johdetaan lämmönvaihtimeen ja siellä vedeksi lauhtunut höyry johdetaan syöttövesiputkien kautta takaisin reaktoriin. Eristyslauhduuttimen ja syöttövesiputken välissä on kaksi rinnakkaista, eri periaatteella toimivaa venttiiliä, joista yhden avautuminen riittää eristyslauhduuttimen käynnistymiseen. Eristyslauhduutin toimii häiriötilanteissa siten, että mitoittavassa painetransientissa varoventtiilien ei ole tarvetta avautua. Tällä rajoitetaan jäähdytteen puhaltamista primääripiiristä lauhdutusaltaaseen eli veden määrää reaktorissa on helppo ylläpitää häiriöiden ja onnettomuuksien aikana. Järjestelmät täyttävät valtioneuvoston asetuksen edellyttämät moninkertaisuusperiaatteen ja erilaisuusperiaatteen.

### *Suojarakennus*

ESBWR-laitoksen suojarakennus on perustyyppiltään kiehutuslaitoksissa tavanomainen lauhdutusaltailla varustettu teräsbetonista rakennettu paineenalennussuojarakennus, jossa tehoajon aikana on typpi-ilmakehä. Suunnitteluperustana käytetyissä onnettomuuksissa (putkikatkoissa) reaktoripiiristä suojarakennukseen purkautuva höyry virtaa paineron ajamana lauhdutusaltaaseen. Reaktorissa syntyvä jälkilämpö poistetaan lauhdutusaltaasta polttoaine- ja apualtaidenjäähdytysjärjestelmän (FAPCS, 2 x 100 %) avulla. Suojarakennus on suunniteltu säilyttämään hyväksymiskriteerien mukaisen tiiveytensä häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

*Vakavat onnettomuudet*

ESBWR-laitoksen vakavien reaktorionnettomuuksien hallinta perustuu primääripiirin paineen alentamiseen ennen reaktoripainesäiliön rikkoutumista, sydänsulan jäähdyttämiseen reaktoripainesäiliön alapuolella olevassa sydänsiepparissa sekä suojarakennuksen paineen hallintaan passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän avulla.

Primääripiirin paineenalennukseen on kahdeksan paineenalennusventtiiliä (DPV). DPV-venttiili on tyypiltään murtotappiventtiili (squib-venttiili). Avaussignaali saadaan akkuvarmennetusta järjestelmästä, jota ei kuitenkaan ole varattu suomalaisten vaatimusten edellyttämällä tavalla yksinomaan vakaviin onnettomuuksiin. Primääripiirin paineenalennus estää reaktoripainesäiliön rikkoutumishetkellä muuten mahdollisesti tapahtuvan korkeapaineisen sulapurkauksen, joka voisi vaurioittaa suojarakennusta.

Suojarakennuksen kaasutila on laitoksen käytön aikana täytetty typpellä, minkä johdosta vakavan onnettomuuden aikana syntyvä vety ei tehoajolta alkavissa onnettomuuksissa voi saada aikaan vetypaloa. Vetyä syntyy huomattava määrä, jos kaikki polttoaineen suojakuorissa ja reaktorin polttoainekanaavissa käytettävä zirkonium hapettuu vakavan onnettomuuden aikana. Reaktiossa syntyvä vety paineistaa suojarakennusta. ESBWR:n alkuperäisessä konseptissa suojarakennus on mitoitettu yhdysvaltalaisen normien mukaan, ts. vain polttoaineen suojakuorissa olevan zirkoniumin oletetaan hapettuvan. Suomalaisissa vaatimuksissa on vetylähteenä otettava huomioon kaikki sydänalueella oleva zirkonium. Laitostoimittaja suunnittelee tämän johdosta reaktorirakennukseen ylimääräistä säiliötä, johon vetyä voidaan onnettomuustilanteessa johtaa. Laitostoimittaja suunnittelee lisäksi eräitä muita toimia suojarakennuksen paineen hallinnan tehostamiseksi.

Vakavassa onnettomuudessa jälkilämpö poistetaan suojarakennuksesta passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän (PCCS) avulla. Järjestelmä toimii ilman ulkoista käyttövoimaa. ESBWR:ssä PCCS-järjestelmä koostuu kuudesta lämmönvaihtimesta, jotka siirtävät lämpöä primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevan reaktorihallin vesialtaisiin suoraan suojarakennuksen ilmatilaan johdettujen putkilinjojen kautta. Järjestelmän lämmönsiirtokapasiteetti on suuri, 11 MW/piiri. Altaan jäähdytekapasiteetti riittää vähintään 72 h ajaksi. Lisää jäähdytettä altaaseen saadaan lisävesijärjestelmästä. PCCS-järjestelmän toiminta on varmennettu kokeellisesti suuren mittakaavan koelaitteistolla.

Sydänsulan jäähdyttämiseksi reaktoripainesäiliön alapuolelle asennetaan sydänsieppari. Sulan purkaus painesäiliöstä käynnistää siepparin tulvituksen painovoimaisen jäähdytysjärjestelmän (GDGS) varastoaltaista. Kolmesta GDGS-altaasta johtaa kustakin kaksi putkilinjaa sydänsiepparin syöttöön. Putket on varustettu ns. murtotappiventtiileillä (squib-venttiilit), jotka saavat avauskäskyn alakuivatilan korkeasta lämpötilasta. Avauslogiikan käyttövoima on akkuvarmennettu. Käytettävissä on kaksi muista järjestelmistä erillistä akkua, joista kumpikin voi avata kaikki tarvittavat venttiilit. Sydänsiepparissa kehittyvä höyry lauhdutetaan passiivisella suojarakennuksen jäähdytysjärjestelmällä (PCCS). PCCS-järjestelmässä lauhtunut jäähdyte valuu takaisin sieppariin. Periaatepäätöshakemusaineistossa ei ole esitetty tietoa sydänsiepparin toimivuuden mahdollisesta

kokeellisesta varmennuksesta. Kokeellinen varmentaminen on välttämätön edellytys rakentamisluvulle.

Suojarakennuksen märkätilasta on ilmakehään ulospuhalluslinja, jota voidaan käyttää suojarakennukseen kertyneiden lauhtumattomien kaasujen pitkän aikavälin hallintaan. Alkuperäisessä konseptissa linjaan ei ole liitetty suodatinyksikköä. Laitostoimittajan mukaan Suomeen rakennettavaan laitokseen on mahdollista lisätä radioaktiivisten aineiden pidättämiseen suunniteltu suodatinyksikkö.

ESBWR-laitoksen suojarakennus ja vakavien onnettomuuksien hallintaan suunnitellut järjestelmät vaativat lisäselvityksiä ja laitosmuutoksia, jotta voidaan osoittaa niiden vastaavan suomalaisia vakavien onnettomuuksien vaatimuksia. Sydänsiepparin toimivuus on varmennettava kokeellisesti.

### 3.2.5 Tuvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §)

Turvallisuustoiminnot on ESBWR-laitoksessa toteutettu sekä aktiivisin että passiivisin järjestelmin. Aktiiviset järjestelmät on tarkoitettu ensi sijassa normaalikäyttöä varten. Ne on kuitenkin turvallisuusluokiteltu. Häiriöiden ja onnettomuuksien hallintaan tarvittavat turvallisuustoiminnot voidaan toteuttaa sekä aktiivisilla, normaalikäyttöön tarkoitettuilla järjestelmillä, että pelkästään erillisillä passiivisilla järjestelmillä. Aktiiviset järjestelmät toimivat aina häiriöiden ja onnettomuuksien aikana ensin. Jos ne eivät pysty rajoittamaan tapahtuman seurauksia, varmistetaan turvallisuus passiivisilla turvallisuusjärjestelmillä.

#### *Reaktorin reaktiivisuuden hallinta*

ESBWR-laitoksessa reaktorin tehotasoa säädetään säätösauvoilla ja syöttöveden esilämmittimen avulla syöttöveden lämpötilaa säätämällä.

Reaktorin sammuttaminen häiriö- ja onnettomuustilanteissa tapahtuu toimintaperiaatteeltaan passiivisen pikasulkujärjestelmän avulla. Pikasulun saavat aikaan säätösauvat, jotka hydraulinen järjestelmä työntää reaktoriin. Kukin hydraulinen järjestelmä ohjaa kahta säätösauvaa. Keskenään samanlaisia hydraulisia järjestelmiä, jotka koostuvat korkeapaineisesta typpitankista, pikasulkuventtiilistä ja vesitankista sekä tarvittavasta putkistosta, on kaikkiaan 134 kappaletta. Järjestelmän suunnitteluperiaatteet vastaavat valtioneuvoston asetuksen edellyttämää moninkertaisuusperiaatetta.

Erilaisuusperiaatteen toteuttaa painesäiliöihin perustuva suoraan reaktorisydämeen syöttävä boorijärjestelmä (SLCS, 2 x 50 %). Järjestelmässä on kaksi osajärjestelmää, joista kummankin toiminta tarvitaan turvallisuustoiminnon toteuttamiseen. Boorijärjestelmä käynnistetään murtotappiventtiileillä (squib-venttiili), jotka toimivat vain kerran avaamalla linjan reaktoriin. Tämän seurauksena painesäiliöiden typpipaine ajaa booriliuoksen reaktoriin. Boorin sekoittuminen jäähdytysveteen sammuttaa reaktorin. Squib-venttiilejä on kummassakin osajärjestelmässä kaksi rinnakkain ja vain toisen avautuminen riittää täyttämään turvallisuustoiminnon. Samoin painesäiliön pinnankorkeudensää-

tö on yksittäisvikasietoinen. Kummassakin osajärjestelmässä on kaksi peräkkäistä takaiskuventtiiliä, joista kumman tahansa vikaantuminen voi estää booriveden pääsyn reaktoriin yhdestä boorisäiliöstä. Boorijärjestelmä ei tällä hetkellä täysin täytä yksittäisvikakriteeriä. Laitostoimittaja on esittänyt useita vaihtoehtoja ongelman ratkaisemiseksi.

Reaktorin suojausautomaatio käynnistää passiivisen pikasulkujärjestelmän häiriö- ja onnettomuustilanteissa prosessiparametrien ylittäessä suojausrajan. Reaktorin pikasulun varmistaa automaation osalta erilaisuusperiaatteen toteuttava ARI-järjestelmä (Alternate Rod Insertion). ARI-järjestelmä ohjaa samoja pikasulkuventtiilejä ja korkeapaineisia tyypitankkeja kuin normaali suojausautomaatio. Reaktorin sammuttaminen varmistetaan myös mahdollisuudella ajaa säätösauvat sähkömoottoriohjauksella reaktorisydämeen sikäli, kun hydraulikkajärjestelmä sitä ei ole tehnyt.

Reaktiivisuuden hallintaan liittyvien turvallisuustoimintojen suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Boorijärjestelmä ei tällä hetkellä täysin täytä yksittäisvikakriteeriä, mutta laitostoimittaja on esittänyt useita vaihtoehtoja ongelman ratkaisemiseksi. Tämä asia voidaan ratkaista rakentamislupaa haettaessa.

#### *Reaktorin jäähdytys*

##### *Reaktorin jäähdytys seisokitilanteissa*

Reaktorin jäähdytysvaiheessa ja kylmäseisokissa reaktorissa syntyvä jälkilämpö poistetaan suoraan reaktoripainesäiliöstä sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmällä (RWCU/SDC, 2 x 100 %). Tätä järjestelmää käytetään jäähdytykseen sekä reaktoripainesäiliön ollessa suljettuna että avoinna ja samaa järjestelmää käytetään myös lisäveden saantiin reaktoriin. Vaihtoehtoisesti voidaan jälkilämmön poistoon käyttää seisokitilanteissa myös polttoaine- ja apualtaiden jäähdytysjärjestelmää (FAPCS, 2 x 100 %). Molemmissa tapauksissa jälkilämpö siirretään edelleen välijäähdytyspiiriin (RCCWS) ja merivesipiiriin (PSWS) kautta lopulliseen lämpönieluun. RCCWS järjestelmässä on kaksi linjaa (2x100 %), joissa kummassakin on kolme pumppua (2x3x33%). PSWS järjestelmässä on kaksi linjaa (2x100 %), joissa kummassakin on kaksi pumppua (2x2x50 %).

##### *Reaktorin jäähdytys onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä*

Onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä, reaktorin jälkilämmön poisto voidaan toteuttaa passiivisella luonnonkierrolla toimivalla järjestelmällä ns. eristyslauhduksilla (IC, 4 x 33 %). Eristyslauhduksimet on liitetty höyry- ja syöttövesiputkiin siten, että järjestelmän käynnistyttyä reaktorista höyryputkiin kulkeva höyry johdetaan lämmönvaihtimeen ja siellä vedeksi lauhtunut höyry johdetaan syöttövesiputkien kautta takaisin reaktoriin. Eristyslauhduksimet on sijoitettu kahteen reaktorihallissa olevaan altaaseen, joissa kummassakin on kaksi eristyslauhduksinta. Eristyslauhduksin käynnistyy suojaussignaalista, jolloin vähintään toinen rinnakkaisista, eri

toimintaperiaatteella toimivista venttiileistä avautuu. Eristyslauhduksella reaktori voidaan pitää hallitussa (kuumasammutetussa) tilassa. Järjestelmän suunnitteluperiaatteet vastaavat valtioneuvoston asetuksen edellyttämää moninkertaisuusperiaatetta.

Erilaisuusperiaatteen jälkilämmön poiston osalta toteuttavat reaktorin puhdistusjärjestelmä/sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmä (RWCU/SDC, 2 x 100%). Lisävetä reaktoriin saadaan myös tällä järjestelmällä. Käyttäen kumpaakin linjaa pystytään siirtämään jälkilämpö 30 min kuluttua reaktorin sammuttamisen jälkeen. Turvallinen tila (kylmäsammutettu) voidaan saavuttaa vain reaktorin puhdistusjärjestelmällä/sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmällä (RWCU/SDC), josta jälkilämpö siirretään välijäähdytyspiiriin (RCCWS, 2 x 100 %) ja merivesipiiriin (PSWS, 2 x 100 %) kautta lopulliseen lämpönieluun. RCCWS järjestelmässä on kaksi linjaa (2x100 %), joissa kummassakin on kolme pumppua (2x3x33%). PSWS järjestelmässä on kaksi linjaa (2x100%), joissa kummassakin on kaksi pumppua (2x2x50%). Säätosauvakoneiston puhdistusjärjestelmää (HPCRD, 2 x 100 %) voidaan käyttää reaktorin jäähdyttämiseen.

Jos eristyslauhdutin ei toimi, reaktorin vedensaanti on varmistettu myös painovoimaisesti toimivalla järjestelmällä (GDCS, 4 x 50 %). Järjestelmä on nelinkertainen järjestelmä, jossa on kolme allasta. Yhdessä altaassa on kaksi tyhjennyslinjaa reaktoriin ja kahdessa altaassa yksi tyhjennyslinja kummassakin. Järjestelmä tarvitsee käynnistyäkseen kussakin linjassa olevan squib-venttiilin avautumisen. Kahdesta rinnakkaisesta squib-venttiilistä toisen avautuminen riittää. Reaktorin paine lasketaan automaattisen paineenalennusjärjestelmän (ADS) avulla. GDCS järjestelmässä on vettä niin paljon, että se riittää täyttämään suojarakennuksen n. 1 m. yli reaktorisydämen yläpinnan tason. Tämän jälkeen vettä ei enää virtaisi ulos reaktoripaineastiasta ulospuhallusventtiilien kautta.

Erilaisuusperiaatteen toteuttamiseen jälkilämmönpoistojärjestelmän osalta voidaan käyttää myös suojarakennuksen passiivista jälkilämmönpoistojärjestelmää (PCCS, 6 x 25 %). Paine reaktorissa lasketaan automaattisen paineenalennusjärjestelmän (ADS) avulla ja reaktorissa syntyvä höyry johdetaan suojarakennuksen lauhdutusaltaaseen, josta jälkilämpö siirretään edelleen PCCS järjestelmän kautta ilmakehään.

#### *Reaktorin jäähdytys jäähdytteenmenetyssonnettomuuksissa.*

Jäähdytteenmenetyssonnettomuuksissa reaktorin vedensaanti on varmistettu painovoimaisesti toimivalla järjestelmällä (GDCS, 4 x 50 %). GDCS järjestelmässä on vettä niin paljon, että se riittää täyttämään suojarakennuksen yli reaktorisydämen yläpinnan tason. Suojarakennuksen täytyttyä vettä ei enää vuotaisi ulos reaktoripaineastiasta. Jos vuoto on niin pieni, ettei paine reaktorissa laske sen vaikutuksesta, paine alennetaan automaattisen paineenalennusjärjestelmän (ADS) avulla ja reaktorissa syntyvä höyry johdetaan suojarakennuksen lauhdutusaltaaseen. Lauhdutusaltaaseen siirtyvä jälkilämpö poistetaan passiivisella suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmällä (PCCS, 6 x 25 %). Järjestelmän suunnitteluperiaatteet vastaavat valtioneuvoston asetuksen edellyttämää moninkertaisuusperiaatetta.

Erilaisuusperiaatteen pienissä jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa reaktorin vedensaannin osalta toteuttaa säätösauvakoneistojen puhdistusjärjestelmä (HPCRD, 2 x 100 %) korkeassa paineessa ja polttoaine- ja apualtaiden jäähdytysjärjestelmä (FAPCS, 2 x 100 %) matalassa paineessa. Myös palovesijärjestelmää voidaan käyttää tässä tilanteessa.

Erilaisuusperiaatteen jälkilämmonpoiston osalta toteuttavat sekä suojarakennuksen polttoaine- ja apualtaidenjäähdytysjärjestelmä (FAPCS, 2 x 100 %) että reaktorin puhdistusjärjestelmä/sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmä (RWCU/SCD, 2 x 100 %). Jälkilämpö niistä molemmista siirretään edelleen välijäähdytyspiiriin (RCCWS, 2 x 100 %) ja merivesipiiriin (PSWS, 2 x 100 %) kautta lopulliseen lämpönieluun. RCCWS järjestelmässä on kaksi linjaa (2x100 %), joissa kummassakin on kolme pumppua (2x3x33 %). PSWS järjestelmässä on kaksi linjaa (2x100 %), joissa kummassakin on kaksi pumppua (2x2x50 %).

Reaktorisydämen jäähdytykseen ja jälkilämmön poistoon liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Suunnittelu on kuitenkin vielä varsin alkuvaiheessa ja etenkin erilaisuusperiaatteen toteuttavien järjestelmien käyttö häiriö- ja onnettomuustilanteiden hallintaa vaatii lisäsuunnittelua.

#### *Suojarakennuksen eristys*

ESBWR-laitoksen suojarakennuksen eristys on suojarakennuksen läpäisevissä putkilinjoissa toteutettu kahdella samantyyppisellä eristysventtiilillä. Samantyyppisten eristysventtiilien yhteisvikatarkastelua ei ole tehty, joten valtioneuvoston asetuksen edellyttämän erilaisuusperiaatteen toteutumista eristysventtiilien osalta ei voida osoittaa. Erilaisuusperiaatteen toteutuminen suojarakennuksen eristyksen osalta voidaan toteuttaa venttiilivalinnoin hankkeen myöhemmässä vaiheessa.

#### *Lopullisen lämpönielun menetys*

Jos normaali lämmönpoistomahdollisuus lopullisena lämpönieluna toimivaan meriveiteen menetetään, jälkilämpö voidaan siirtää reaktorista eristyslauhduttimilla primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevan reaktorihallin vesialtaisiin ja edelleen ilmastointipiipun kautta ilmakehään. Eristyslauhduttimet (IC, 4 x 33%) ovat toimintaperiaatteeltaan passiivisia luonnonkiertolauhduttimia IC-lauhduttimilla reaktori saadaan hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja voidaan pitää siinä. Altaissa oleva vesi riittää jälkilämmön poistoon ilman uudelleentäyttöä 24 tuntia. Altaat voidaan täyttää uudelleen suojarakennuksen ulkopuolella olevasta varastosäiliöstä ja jatkaa jälkilämmön poistoa niin kauan kuin on tarpeen, vähintään 72 tuntia. Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen edellyttämän moninkertaisuusperiaatteen.

Lopullisen lämpönielun menetyksen hallintaan osallistuvien järjestelmien suunnitteluperiaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Polttoainealtaiden jäähdytys*

Polttoainealtaiden jäähdytys tapahtuu polttoaine- ja apualtaiden jäähdytysjärjestelmällä (FAPCS, 2 x 100 %). Jälkilämpö siirretään edelleen välijäähdytyspiiriin (RCCWS, 2 x 100 %) ja merivesipiiriin (PSWS, 2 x 100 %) kautta lopulliseen lämpönieluun. Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen edellyttämän moninkertaisuusperiaatteen. RCCWS järjestelmässä on kaksi linjaa (2x100 %), joissa kummassakin on kolme pumppua (2x3x33 %). PSWS järjestelmässä on kaksi linjaa (2x100 %), joissa kummasakin on kaksi pumppua (2x2x50 %).

Erilaisuusperiaate polttoainealtaiden jäähdytyksen osalta toteutetaan siten, että polttoainealtaiden veden alkaessa kiehua lisävesi saadaan palojärjestelmistä ja jälkilämpö siirretään ilmastoinnin kautta ilmakehään..

Polttoainealtaiden jäähdytykseen osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Seisokkiturvallisuus*

Reaktorin alikriittisenä pysyminen varmistetaan kaikissa seisokkitilanteissa pitämällä säätösauvat reaktorissa.

Seisokin aikana reaktorin jäähdytteen menetys on estetty suunnittelemalla suojarakennuksen kulkuaukot siten, että vesi ei pääse pakenemaan ulos suojarakennuksesta ja suojarakennuksessa olevien vesialtaiden vesimäärä riittää aina tulvittamaan reaktorisydämen onnettomuustilanteissa.

Seisokkiturvallisuuteen liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Sähköjärjestelmät*

ESBWR-laitoksen ulkoisen sähkötehon syöttö on toteutettu omakäyttömuuntajien kautta 400 kV verkosta tai kahden varaomakäyttömuuntajan kautta 110 kV verkosta. Muuntajilta voidaan syöttää sähköä tarvittaessa suoraan turvallisuusjärjestelmien jakokeskuskille ydinteknisesti turvallisuusluokittelemattomien (EYT-järjestelmien) sähkökeskusten ohi.

Ulkoisten syöttölähteiden ollessa vikaantuneita laitoksen turvallisuusjärjestelmien sähkötehon syöttöjärjestelminä toimivat vaihtoehtoisesti

- varavoimadieselgeneraattorit (2 x 100 %)
- akustot (mitoituspurkaus aika 72 h), joiden syöttämät tasasähköjärjestelmät ovat yksittäisvikasietoisia osajärjestelmän sisällä.

Vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmillä ei ole sähköjärjestelmien kuvauksen mukaan omia sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelmiä. Kuvauksessa on viitattu omiin

erillisiin akustoihin, mutta akustojen purkausaika on kuitenkin rajoitettu. Akustojen tyhjentyminen varalle on suunniteltava menettelyt.

Laitoksen sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelmistä osa, kuten esimerkiksi varavoimadieselgeneraattorit, on luokiteltu turvallisuusluokkaan 3. Normaalialhaisempi turvallisuusluokka perustuu laitokskonseptin sisältämiin moniin passiivisiin turvallisuustoimintoihin. Varavoimadieselgeneraattoreita tarvitaan vain erilaisuusperiaatteen toteuttavien aktiivisten turvallisuusjärjestelmien sähkön syöttöön. Aktiivisia turvallisuusjärjestelmiä käytetään myös normaaleissa käyttötilanteissa. Varsinaiset passiiviset turvallisuusjärjestelmät eivät tarvitse sähköenergiaa muulloin kuin käynnistyksessä. Tarvittava sähköenergia voidaan ottaa akustoista. STUKin arvion mukaan varavoimadieselgeneraattoreiden alempi turvallisuusluokka on perusteltu.

Sähköjärjestelmien erotteluperiaatteena käytetään standardin IEEE 384 mukaista erottelua, joka tunnistaa vain yhden turvallisuusluokan 1E. Erottelu turvallisuusluokan 3 ja luokan EYT välillä vaatii lisätarkastelua, koska varavoimadieselgeneraattoreiden sähköjärjestelmiä ja alajakelua ei ole luokiteltu luokkaan 1E.

Vuonna 2006 Forsmarkin ydinvoimalaitoksella tapahtuneen sähköhäiriön yhteydessä havaituista suunnitteluvirheistä saadut yleiset opetukset tulee ottaa huomioon. Sähköjärjestelmien ja -laitteiden suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota mm. jännitetransienttien leviämisen estämiseen sekä erilaisuusperiaatteen soveltamiseen sähkönjake-lussa ja automaatiojärjestelmien sähkönsyötössä. On analysoitava, mitkä ovat pahimmat mahdolliset jännitetransientti ja -häiriötilanteet laitoksen omakäyttösähköverkossa ja mitoitettava sähkönkuluttajat ja järjestelmät kestävämmän nämä olosuhteet

Sähköjärjestelmien suunnitteluperiaatteet vastaavat valtioneuvoston asetuksen edellyttämiä turvallisuusvaatimuksia ulkoisen ja sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelmän ja moninkertaisuusperiaatteen osalta. Rakentamislupaa haettaessa tarkemmin arvioitavia asioita ovat sähköjärjestelmien erotteluperiaatteet, vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmän erillinen sähkötehon syöttöjärjestelmä ja Forsmark häiriöstä saadut yleiset opetukset.

### *Rakennustekniikka ja palontorjunta*

Rakennusten ja talotekniikan perussuunnittelun vaatimukset ulkoisten uhkien kannalta ovat pääosin riittävät. Suomen talviolosuhteiden lämpötiloja ja lumikuormia ei ole erikseen käsitelty hakemusaineistossa. Suunnitteluperusteet antavat kuitenkin riittävän pohjan myös Suomen talviolosuhteiden hallintaan rakennusten ja talotekniikan yksityiskohtaisessa suunnittelussa.

Maanjäristysten osalta suunnitteluperusteissa on käytetty PGA-arvoa 0,3 g, mikä ylittää vastaavan suomalaisen vaatimuksen 0,1 g. Maanjäristyksien ja muiden ulkoisten uhkien värähtelykestävyyteen liittyvät suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa runkorakenteita tar-



kastellaan siten, että varmistetaan ensinnäkin itse rakennusten värähtelykestävyys sekä toiseksi sopivat runkorakenteiden ja laitekiinnitysten värähtelyominaisuudet, kun arvioidaan laitoksen laitteiden värähtelykestävyyttä.

EBSWR-laitoksen palontorjuntakonseptin suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Laitoksen sammutusjärjestelmät suunnitellaan maanjäristyskestäviksi, mikä varmistaa maanjäristysten mahdollisesti aiheuttamien seurauspalojen hallinnan.

### 3.2.6 Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §)

ESBWR-laitoksessa lentokonetörmäysstrategia on suunniteltu reaktori-, valvomo- ja polttoainerakennuksen osalta siten, että suuren liikennelentokoneen törmäyksen vaikutukset suojarakennuksen eheyteen, jälkilämmönpoistoon reaktorista ja polttoainealtaista rajoitetaan hyväksyttävälle tasolle.

Polttoainesauvat suojataan lentokonetörmäyksen vaikutuksesta irtoavilta sekundäärimissiileiltä. Muissa osissa laitosta osoitetaan, että sisäiset missiilit ja mahdollisesti vauriokohdasta sisään leviävä lentokonepolttoaine eivät vaurioita sellaista määrää laitteistoja, että laitoksen saaminen turvalliseen tilaan ja jälkilämmön poisto reaktorista estyisivät. Strategian mukaisesti laitoksen neljän redundanssin fyysisellä erottelulla turvataan turvallisuustoimintojen toiminta lentokonetörmäyksessä.

Valvomo, joka sijaitsee maan pinnan tason alapuolella, suojataan ylempien kerrosten vaurioista johtuvalta vahingoittumiselta.

ESBWR-laitoskonseptissa jälkilämmönpoistojärjestelmiä on sijoitettu turbiinirakennukseen, jota ei suojata lentokonetörmäykseltä. Suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi turbiinirakennuksen menetyksen varalle on suunniteltava Olkiluoto 4 -kohtainen jälkilämmönpoistojärjestely.

ESBWR-laitosvaihtoehdossa on valittu strategia, jonka mukaan rakenteita ei suunnitella täysin lentokonetörmäyskestoiseksi, vaan hyväksytään osittaiset rakennusten vauriot. Oletettujen vaurioiden merkitys vaadittaville turvallisuustoiminnoille arvioidaan ja osoitetaan, että laitos voidaan vaurioista huolimatta saada turvalliseen (kylmäsammutettuun) tilaan. STUKin arvion mukaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttymistä ei ole toistaiseksi voitu osoittaa. Esitetty toteutusratkaisu vaatii tarkempia suunnitelmia ja analyyseja sekä laitosmuutoksia.

### 3.2.7 Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §)

ESBWR-laitoksen tila- ja sijoitussuunnittelussa huomioidaan sisäiset uhkatekijät kuten tulvat ja tulipalot jakamalla keskeiset turvallisuusjärjestelmät neljään eri tila-alueeseen. Maanpinnan alapuolisissa kerroksissa sijaitsevien tila-alueiden välille on sijoitettu käyttö- ja huolto-ovia. Eri tila-alueet erotetaan toisistaan teräsbetoniseinin, joille on ilmoitettu kolmen tunnin paloluokitus.

ESBWR-laitoksessa suunnittelulähtökohtana on pähöyry- ja syöttövesiputkiliinjojen johtaminen reaktorirakennuksesta yhtenäisiä tiloja pitkin turbiinirakennukseen.

Laitoksen tiivis tilasuunnittelu asettaa vaatimuksia suojautumislle sisäisiltä tapahtumilta kuten tulvilta ja tulipaloilta. Suuret sisäiset tulvat, kuten varmennetun merivesijärjestelmän tulva reaktorirakennuksen yhdessä tila-alueessa, on tarkasteltava myöhemmissä lupavaiheissa. Tarkasteluilla on varmistettava, että tapahtumien vaikutukset rajoittuvat kyseiseen tila-alueeseen.

### 3.2.8 Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §)

On huomioitava, että automaatiojärjestelmien turvallisuusperiaatteet on esitetty periaatepäätöksen hakemusasiakirjoissa varsin yleisellä tasolla. Ennen suunnittelun ja suunnitteluaineistojen täsmentymistä varsinaisen teknisen suunnittelun tasolle, kyse on monien turvallisuusperiaatteiden osalta enemmänkin tavoitteista, joiden toteutumista periaatepäätösasiakirjojen perusteella ei voida vielä täysin arvioida. Turvallisuusperiaatteiden aito toteutuminen laitoksen teknisissä ratkaisuihin on varmistettava suunnittelun edetessä myös hankkeen myöhemmissä vaiheissa. Näistä vaiheista rakentamislupakäsittely on ensimmäinen, konkreettisia automaatioteknisiä ratkaisuja käsittelevä laitos- hankkeen viranomaiskäsittelyn vaihe.

#### *Automaattiset turvallisuustoiminnot*

ESBWR-laitoksen automaatiossa on useita eri puolustuslinjoja syvyysuunnassa. Ensimmäisen linjan muodostavat normaali käyttöautomaatio, säätöjärjestelmät ja rajoitusjärjestelmät. Toisessa linjassa ovat reaktorisuojausjärjestelmä (RPS) ja laitossuojausjärjestelmä (SSLC/ESF). Kolmannessa linjassa on erilaisuusperiaatteeseen perustuva suojausjärjestelmä DPS (Diverse Protection System). Viimeisen linjan muodostaa vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmä.

Toisen puolustuslinjan järjestelmistä reaktorisuojausjärjestelmä RPS ohjaa pelkästään järjestelmiä, joilla reaktori sammutetaan ja pidetään alikriittisenä. Laitossuojausjärjestelmä SSLC/ESF puolestaan käynnistää häiriö- ja onnettomuustilanteissa passiiviset turvallisuusjärjestelmät, joita ovat eristyslauhduutin, automaattinen paineen alennuksen ja painovoimainen reaktorisydämen tulvitusjärjestelmä.

DPS-järjestelmä ohjaa reaktiivisuuden säätöä, ylipaineistumissuojausta, sydämen hätäjäähdytystä, jälkilämmönpoistoa reaktorista ja suojarakennuksesta sekä suojarakennuksen eristystä. DPS-järjestelmässä on reaktori- ja laitossuojausjärjestelmistä riippumattomat anturit prosessisuureiden mittausta varten.

Eri puolustuslinjojen automaatiojärjestelmät pyrkivät automaattisesti pitämään laitoksen parametrit turvallisella alueella käyttöhäiriöiden aikana ja pyrkivät rajoittamaan onnettomuustilanteiden seurauksia.

Turvallisuustoimintojen käynnistykseen sekä ohjaukseen ja valvontaan häiriöiden ja onnettomuuksien aikana käytettävät suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Moninkertaisuusperiaate automaatiassa*

Reaktori- ja laitossuojausjärjestelmässä on neljä rinnakkaista osajärjestelmää. Suojaus toiminto käynnistyy, mikäli kaksi neljästä rinnakkaisesta suojauskanavasta havahtuu.

Erilaisuusperiaatteeseen perustuvassa suojausjärjestelmässä DPS on kolme rinnakkaista osajärjestelmää.

Tärkeimmät käyttöautomaatiojärjestelmät, kuten reaktorin tehonsäätö- ja -rajoitusjärjestelmä, syöttöveden säätöjärjestelmä, turbiinin ohitus- ja tuorehöyryn paineensäätöjärjestelmä sekä turbiininsäätöjärjestelmä, toteutetaan kolmella rinnakkaisella vikasietoisella ohjausjärjestelmällä.

Automaatiojärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia moninkertaisuusperiaatteen osalta.

#### *Erotteluperiaate automaatiassa*

ESBWR-laitoksen turvallisuusluokan 2 automaatiojärjestelmät on eroteltu fyysisesti ja toiminnallisesti muihin turvallisuusluokkiin kuuluvista laitteista. Turvallisuusluokan 3 järjestelmien erottelu ei käy ilmi hakemuksen liiteasiakirjoista.

ESBWR-laitoksen vakavien onnettomuuksien instrumentointi on osa suojarakennuksen monitorointijärjestelmää. Hakemusaineistosta ei käy ilmi, onko vakavien onnettomuuksien instrumentointi ja sen sähkön syöttö suomalaisten vaatimusten mukaisesti riippumaton laitoksen muusta instrumentoinnista.

Automaatiojärjestelmien osajärjestelmät on erotettu toisistaan fyysisesti ja toiminnallisesti.

Erotteluperiaatteet täyttävät vastaavat pääosin suomalaisia vaatimuksia lukuun ottamatta turvallisuusluokan 3 laitteiden ja vakavien onnettomuuksien järjestelmien erottelua. Nämä asiat voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

#### *Erilaisuusperiaate automaatiassa*

Reaktorisuojausjärjestelmässä erilaisuusperiaatetta ei ole hakemusasiakirjojen perusteella sovellettu kattavasti siten, että eri onnettomuus- ja vikatilanteita indikoivat signaalit tulisivat vaihtoehtoisesti kahdesta eri prosessisuureesta.

ESBWR-laitoksen automaatio perustuu neljään eri järjestelmäalustaan, jotka ovat tietokonepohjaisia. Eri järjestelmäalustoilla ovat reaktorisuojausjärjestelmä, laitossuojausjärjestelmä, vakavien onnettomuuksien hallinnan ohjausjärjestelmä sekä muu automaatio.

Laitoskonseptissa on reaktorisuojausjärjestelmän (RPS) ja laitossuojausjärjestelmän (SSLC/ESF) vikojen varalle erilaisuusperiaatteeseen perustuva suojausjärjestelmä DPS. DPS-järjestelmä on toteutettu samalla järjestelmäalustalla kuin käyttöautomaatio. Aineistossa ei ole esitetty menetelmää, jolla laitos saadaan turvalliseen (kylmäsammutettuun) tilaan ohjelmoitavan automaation yhteisvikatilanteessa.

Reaktorisuojausjärjestelmän vikojen varalle on olemassa langoitettuun tekniikkaan perustuva ATWS-hallintajärjestelmä.

Automaation suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Rakentamislupaa haettaessa on selvitettävä, miten laitos saadaan ohjattua turvalliseen tilaan ja pidettyä siellä ohjelmoitavan automaation yhteisvikatilanteessa.

#### *Valvomo*

ESBWR-laitoksen valvomossa on mm. pääohjauspulpetti ja tauluosuus.

Pääohjauspulpetista laitosta ohjataan normaalitilassa, käyttöhäiriöissä ja onnettomuustilanteissa. Pääohjauspulpettiin tulee lisäksi ohjaajille tarvittava informaatio ohjaustoimenpiteiden suorittamiseksi edellä mainituissa tilanteissa.

Tauluosuus koostuu pääasiassa suurkuvavideonäytöistä. Tauluosuuden tarkoituksena on esittää kootusti laitoksen ja tärkeimpien komponenttien tila ja tärkeimmät hälytystiedot.

Valvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Varavalvomo*

ESBWR-laitoksessa on kaksi varavalvomoa, joista turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä voidaan ohjata päävalvomosta riippumattomasti. Varavalvomosta voidaan ohjata laitos hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja edelleen turvalliseen (kylmäsammutettuun) tilaan.

Varavalvomo sijaitsee eri palo-osastossa ja rakennuksessa kuin päävalvomo.

Varavalvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia

#### *Reaktorin pinnanmittaus*

Veden pinnankorkeutta reaktoripainesäiliössä mitataan normaalilla paineeromittauksella, joka ohjaa reaktorin suojausautomaatiota. Samanlaisia rinnakkaisia

mittauksia on neljä. Järjestelmä toimii kun kaksi kanavaa antaa suojauskäskyn. Järjestelmä täyttää moninkertaisuusperiaatteen.

Pinnanmittausjärjestelmän yhteisvikatarkasteluja ja erilaisuusperiaatteen toteutumista tältä osin ei ole tehty. Erilaisuusperiaatteen toteutuminen pinnanmittauksen voidaan käsitellä rakennuslupaa haettaessa.

### 3.2.9 Yhteenveto

Laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

ESBWR-laitosvaihtoehdossa jälkilämmönpoistoon tarvittavia järjestelmiä on sijoitettu turbiinirakennukseen. Nämä järjestelmät ovat ainoat, joilla laitos saadaan ajettua hallitusta (kuumasammutetusta) tilasta turvalliseen (kylmäsammutettuun) tilaan. Suomalaisien vaatimusten mukaan laitos on saatava turvalliseen tilaan myös tilanteessa, jossa turbiinirakennuksen menetetään esimerkiksi tulipalon tai lentokonetörmäyksen seurauksena. Suomalaisien vaatimusten täytyminen tältä osin vaatii lisäsuunnittelua ja laitosmuutoksia.

Suojarakennuksen suunnittelussa suuren matkustajalentokoneen törmäyksen osalta on valittu strategia, jossa rakenteita ei suunnitella täysin lentokonetörmäyskestoiseksi, vaan hyväksytään osittaiset rakennusten vauriot. Strategiaan kuuluu myös se, että oletettujen vaurioiden merkitys arvioidaan ja lisäksi osoitetaan, että laitos voidaan vaurioista huolimatta saada turvalliseen tilaan. STUKin arvion mukaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttymistä ei ole toistaiseksi voitu osoittaa. Suomalaisien vaatimusten täytyminen tältä osin vaatii tarkempia suunnitelmia ja analyyseja sekä laitosmuutoksia.

Eräät tekniset yksityiskohdat edellyttävät lisäanalyyseja ja kokeellista kelpoistusta sekä lisäsuunnittelua lupamenettelyn myöhemmässä vaiheessa. STUKin käsityksen mukaan mikään niistä ei ole sellainen, että sen voitaisiin olettaa muodostuvan esteeksi ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta annetun valtioneuvoston asetuksen (733/2008) vaatimusten täyttämiseksi. Tällaisia teknisiä yksityiskohtia ovat

- reaktorin stabiilisuus
- passiivisissa turvallisuusjärjestelmissä käytettävän, murtotappiventtiilin (squib-venttiili) luotettavuus
- suojarakennuksen eristystoiminnon erilaisuusperiaatteen toteuttaminen
- reaktorin pinnanmittauksen erilaisuusperiaatteen toteuttaminen
- vakavan onnettomuuden hallintaan tarkoitetun sydänsiepparin toimivuuden osoittaminen
- vakavien onnettomuuksien instrumentointi ja instrumentoinnin vaatiman käyttövoiman toteuttaminen riippumattomana laitoksen muusta instrumentoinnista.
- vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmän erillinen sähkötehon syöttöjärjestelmä

- sähköjärjestelmien erotteluperiaatteiden ja Forsmark-häiriöstä saatujen yleisten opetusten huomioon ottaminen sähköjärjestelmissä
- laitoksen ohjaamismahdollisuudet turvalliseen tilaan, jos tietokonepohjainen automaatiojärjestelmä menetetään.

#### 4 PAINEVESIREAKTORILLA VARUSTETUT LAITOSVAIHTOEHDOT

##### 4.1 APR1400 - Advanced Power Reactor 1400 - KHNP

###### 4.1.1 Yleistä

APR1400 on korealaisen KHNP:n suunnittelema noin 1400 MWe painevesireaktori, joka perustuu alun perin USA:ssa suunniteltuun Combustion Engineeringin System 80+-laitokseen. KHNP aloitti tämän tyyppisten ydinvoimalaitosten rakentamisen Koreaan 1980-luvun lopulla. Laitosten suunnittelu ja laitteiden valmistus siirtyi vähitellen Koreaan, ja kutakin rakennettua laitosta parannettiin aina edellisistä saatujen kokemusten pohjalta. Kotimaisuusasteen noustua merkittäväksi näitä samaa alkuperää olevia laitoksia alettiin kutsua yhteisnimellä OPR1000. Tällä hetkellä Koreassa on käytössä kahdeksan OPR1000-laitosyksikköä ja rakenteilla neljä.

APR1400 on OPR1000 linjasta edelleen kehitetty teholtaan suurempi ja uutta sukupolvea edustava reaktori. Ensimmäiset APR1400-laitokset Shin-Kori 3 ja 4 ovat parhailaan rakenteilla, ja niiden on suunniteltu valmistuvan vuosien 2013–2014 aikana. Lisäksi Koreassa valmistellaan kahden seuraavan APR1400-laitoksen rakentamista.

KHNP on Olkiluoto 4 -projektissaan kehittänyt kotimaansa markkinoille suunniteltua laitosta lisäämällä siihen eräitä turvallisuuspiirteitä, joita suomalaiset turvallisuusvaatimukset edellyttävät. Laitoksen suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta. Laitoksen valmiusaste perussuunnittelun osalta on korkea. Suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

APR1400 laitoksen turvallisuustoimintoja on parannettu OPR1000 laitokseen verrattuna ja siihen on suunniteltu vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmät. Turvallisuustoiminnot on toteutettu pääosin aktiivisilla järjestelmillä, joita täydentävät painevesilaitoksille tyypilliset passiiviset, hätäjähdytystilanteissa käytettävät poikkeuksellisen suurikokoiset painevesisäiliöt.

APR1400-laitoksen primääripiiri poikkeaa suunnittelultaan muista painevesilaitoksista. APR1400-laitoksessa on neljä kylmähaaraa, joissa kussakin on pääkiertopumput. Kylmähaarat on kytketty kahteen kooltaan hyvin suureen höyrytimeen, kaksi kylmähaaraa aina yhteen höyrytimeen. Reaktorista johtaa yksi kuumahaaraa kumpaakin höyrytimeen. Ratkaisusta on käyttökokemuksia Combustion Engineeringin ja KHNP:n rakentamilta voimalaitoksilta.

Sekundääripiiri on periaatteeltaan samanlainen kuin nykyisissä painevesilaitoksissa. Höyrytimiä on kaksi ja ne ovat poikkeuksellisen kookkaita pystysuoria U-

putkihöyrystimiä. Höyrystimet vastaavat tekniikaltaan nykylaitoksissa käytössä olevia uusimpia höyrystimiä, joissa pystyhöyrystimille tyypilliset lämmönsiirtoputkien eheydessä esiintyneet ongelmat on pyritty eliminomaan materiaalivalinnoilla ja rakenneratkaisuilla.

#### 4.1.2 Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §)

##### *Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset*

Turvallisuuden arviointia ja todentamista varten KHNP:llä on käytössä analyysimenetelmät, jotka ovat Korean ydinturvallisuusviranomaisen ja USNRC:n tarkastamia ja hyväksymiä. Menetelmät on ylläpidetty ja kelpoistettu käyttötarkoitukseensa. Menetelmiä on käytetty käytössä olevien laitousyksiköiden luvituksessa ja APR1400-laitoksen suunnittelussa. APR1400-laitokselle tehdyt analyysit antavat sen käsityksen, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset häiriö- ja onnettomuusanalyysimenetelmille asetetut vaatimukset täyttävät analyysit.

##### *Todennäköisyysperusteiset analyysit*

KHNP:lla on käytössä tason 1, 2 ja 3 todennäköisyysperusteisen riskianalyysin (PRA) menetelmät, joita on käytetty olemassa olevien laitosten ja APR1400-laitoksen PRA-analyysissa. Analyysit kattavat kaikki laitoksen käyttötilat mukaan lukien ulkoisiin ja sisäisiin uhkiin liittyvät tapahtumat. Analyysimenetelmiä ja APR1400:lle tehtyjen analyysien tuloksia koskevien tietojen perusteella voidaan arvioida, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset PRA-vaatimukset täyttävät analyysit. Tarvittaessa menetelmiä voidaan kehittää suomalaisten yksityiskohtaisten vaatimusten mukaisiksi.

##### *Uuden tyyppisten järjestelmien kelpoistus*

APR1400-laitosvaihtoehdossa on uuden tyyppiset hätäjähdytysjärjestelmän painesäiliöt, joita ei ole ennen käytetty ydinvoimalaitoksissa. Painesäiliöiden toiminta on kelpoistettu asianmukaisesti koelaitteiston avulla ja käytetyt analyysimenetelmät on päivitetty kokeiden tulosten perusteella. Koreassa on käytössä myös APR1400-laitokseen perustuva ATLAS-niminen koelaitteisto, jota on käytetty ja tullaan edelleen käyttämään analyysimenetelmien kehittämiseen ja uusien laitospiirteiden toiminnan varmistamiseen. Joissakin uusissa laitospiirteissä saattaa olla vielä tarvetta lisäkokeiden suorittamiseen.

#### 4.1.3 Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 7–10 §)

KHNP on osana APR1400 suunnittelua laskenut onnettomuustilanteissa ympäristön väestölle aiheutuvan säteilyaltistuksen. Näiden laskujen perusteella väestön säteilyannokset jäävät alle suomalaisissa vaatimuksissa onnettomuuksille asetettujen annosrajojen.

APR1400-laitokselle tehdyt säteilyaltistukseen ja radioaktiiviisiin päästöihin liittyvät analyysit antavat sen käsityksen, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset vaatimukset täyttävät analyysit.

#### 4.1.4 Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §)

##### *Reaktori ja polttoaine*

APWR1400-laitoksen polttoaineen, reaktorisydämen ja reaktorin suunnittelu seuraa pääpiirteissään nykyisin painevesireaktoreissa sovellettua käytäntöä. KHNP suunnittelee ja valmistaa itse reaktorissa käytettävän polttoaineen. Rakenteeltaan polttoainenippu on tyypillinen moderni polttoainenippu, jossa rakennemateriaalit vastaavat muita nykyisin käytössä olevia polttoainetyyppejä. Polttoaineessa käytetään palavia myrkkijä primäärijäähdytteen booripitoisuuden alentamiseksi ja sitä kautta reaktorin dynaamisten ominaisuuksien parantamiseksi. Reaktorissa on 241 polttoainenippua sekä 76 täyspitkää ja 17 osapitkää säätösauvaa, joilla yhdessä primäärijäähdytteessä olevan boorin kanssa hallitaan reaktorin tehoa. Osapitkiä säätösauvoja käytetään hallitsemaan tämän kokoluokan reaktoreissa tehonmuutosten yhteydessä ilmeneviä ksenonvärähtelyjä. Reaktorin lataussuunnittelu vastaa nykyisin painevesireaktoreissa vallitsevaa käytäntöä.

Polttoaineen poistopalama on suunniteltu suuremmaksi kuin Suomessa hyväksytty polttoainenipun maksimipoistopalama 45 MWd/kgU. Reaktorin käyttö voidaan kuitenkin suunnitella myös suomalaisen palamarajan mukaiseksi. Jos tätä suurempia palamia pyritään hyväksyttämään, pitää hakijan osoittaa kokeellisesti, että polttoaine täyttää suomalaiset onnettomuustilanteita koskevat suunnittelukriteerit.

Reaktorin ja polttoaineen suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

##### *Ydintekniset päälaitteet*

APR1400-laitoksen reaktoripainesäiliö valmistetaan niukkaseosteisesta painelaiteräksestä hitsaamalla pyörähdyssymmetriset takeet yhteen painelaittevalmistukselle tyypillisiin koetelluin menetelmin. Säiliössä käytettävän teräksen analyysi- ja sitkeysvaatimuksissa on huomioitu käytön aikaiset vanhenemisilmiöt. Reaktoripainesäiliö pinnoitetaan sisäpuolelta ruostumattomalla teräksellä ja osin nikkelpohjaisella seoksella. Pinnoitemateriaalien valinnassa huomioidaan hyvä jännityskorroosionkestävyys.

Reaktoripainesäiliön rakenne on suunniteltu niin, että reaktorin sydämen kohdalla ei ole hitsausliitosta. Painesäiliön sydänalueella tapahtuvan säteilyhaurastumisen rajoittaminen on huomioitu materiaalin koostumuksessa ja sen todentamista koskevilla analyysivaatimuksissa. Haurastumista valvotaan normaalikäytännön mukaisella seurantaohjelmalla.

Myös höyrystimien ja paineistimen valmistuksessa noudatetaan käytännössä koeteltuja vaatimuksia ja toteutusperiaatteita. Höyrystimien lämmönsiirtoputket ovat nikkelpoh-



jaista seosta Inconel 690 TT (Thermally Treated), joka on nykytiedon mukaan aiempiin materiaalivalintoihin verrattuna selvästi kestävämpi ratkaisu.

Pääkiertoputkisto valmistetaan niukkaseosteisesta teräksestä, joka pinnoitetaan hitsamalla ruostumattomalla teräksellä. Näin ollen primääripiiriin kuuluvien pääkiertoyhteiden ja pääkiertoputkiston välisissä liitoksissa ei tarvita vaativaa eripariliitosta. Muissa yhteissä, joissa käytetään eripariliitostekniikkaa, hitsaus toteutetaan Inconel 690 -tyyppisellä lisäaineella, jonka jännityskorroosionkestävyys on osoitettu aiemmin käytettyjä lisäainevaihtoehtoja paremmaksi.

Primääripiirin putkistojen suunnittelussa sovelletaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten edellyttämää ”vuoto ennen murtumaa” -periaatetta (LBB). Näin on tarkoitus eliminoida suunnitteluperusteista halkaisijaltaan suurimman putken oletettu katkeaminen. Tähän on kuitenkin varauduttu hätäjähdytysjärjestelmien suunnittelussa. Pääkiertopiirin putkikatkojen dynaamisten vaikutusten huomioiminen vaatii vielä lisäselvityksiä etenkin, jos primääripiiriin ei ole tarkoitus asentaa murtumatukia.

Ydinteknisten päälaitteiden suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Pääkiertopiirin putkikatkojen dynaamisten vaikutusten huomioiminen vaatii kuitenkin vielä lisäanalyseja.

#### *Primääripiirin ja sekundääripiirin paineenhallinta*

APR1400-laitoksessa on primääripiirin paineenhallintaa varten neljä pilot-ohjattua varoventtiiliä, jotka puhaltavat höyryn suoraan IRWST-säiliöön puhallussuuttimien kautta samaan tapaan kuin kiehutusvesilaitoksessa. Näillä venttiileillä voidaan myöskin tarvittaessa alentaa hallitusti primääripiirin painetta, jos mahdollisuus pumpata vettä primääripiiriin korkeassa paineessa on menetetty. Valtioneuvoston asetuksen edellyttämän erillaisuusperiaatteen toteuttaa paineistimen apuruiskutusjärjestelmä, jonka kautta normaallilla lisävesijärjestelmällä (CVCS, 2x100%)(sähkösyöttö on dieselvarmennetettu) voidaan pumpata vettä paineistimen höyrytilaan ja lauhduttaa höyryä.

Sekundääripiirin paineen hallinta tapahtuu höyrytimen ulospuhallusventtiileillä (SG ADV) sekä höyrytimen varoventtiileillä. Paineen hallintaan osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Suojarakennus*

APR1400-laitoksen primäärisuojarakennus on esijännitetystä teräsbetonista rakennettu, tiivistävällä teräs-verhouksella (liner) varustettu ns. iso kuiva suojarakennus, joka on suunniteltu säilyttämään hyväksymiskriteerien mukaisen tiiveytensä häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Sen ulkopuolelle on suunniteltu betoninen sekundäärisuojarakennus, joka suojaaa primäärisuojarakennusta ulkoisilta uhilta.

*Vakavat onnettomuudet*

APR1400-laitoksen vakavia onnettomuuksia hallitaan primääripiirin paineenalennuksella, jälkilämmön poistavalla suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä, sydänsulan pidättämisellä ja jäähdyttämällä reaktoripainesäiliössä sekä vedyn poistavilla rekombinaattoreilla.

Primääripiirin paine alennetaan APR1400-laitoksella osana vakavien onnettomuuksien hallintaa. Toimenpiteen yhtenä päämääränä on vähentää reaktoripainesäiliön jännitystä ja näin varmentaa sydänsulan pidättämistä painesäiliön sisällä. Toinen päämäärä on estää reaktoripainesäiliön puhkeamisen aikana syntyvä korkeapaineinen sulapurkaus, jos painesäiliö kaikesta huolimatta rikkoutuu. Primääripiirin paine voidaan alentaa kahdella rinnakkaisella, laitoksen muista järjestelmistä riippumattomalla paineenalennusventtiilillä. Venttiilit asennetaan paineistimen kanteen ja ne puhaltavat suojarakennukseen. Venttiilien avaukseen tarvittava käyttövoima saadaan akkuvarmennetusta vakavien onnettomuuksien sähköjärjestelmästä.

Jälkilämpö poistetaan vakaviin onnettomuuksiin tarkoitetulla suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä SACSS. Järjestelmässä on kaksi rinnakkain toimivaa pumppua ja yhteinen lämmönvaihdin. Suojarakennukseen johtaa vain yksi ruiskutuslinja. Linjaan kuuluvan suojarakennuksen eristysventtiilin vikaantuminen johtaa järjestelmän toimimattomuuteen. Ratkaisu vaatii tältä osin laitosmuutoksia täyttääkseen suomalaisten vaatimusten vakavien onnettomuuksien järjestelmiltä edellyttämän yksittäisvikakriteerin. SACSS-järjestelmä saa käyttövoimansa vakavien onnettomuuksien sähköjärjestelmästä.

APR1400-laitoksen alkuperäisessä konseptissa sydänsula pyritään pidättämään reaktoripainesäiliön sisällä jäähdyttämällä painesäiliötä ulkopuolelta. Samanlaista ratkaisua sovelletaan mm. Loviisan laitoksella, jonka teho on kuitenkin vain noin kolmannes APR1400-laitoksen tehosta. APR1400:n toteutuksessa jäähdytteen syöttö reaktorikui luun tapahtuu aluksi suojarakennuksen ulkopuolella olevasta säiliöstä SACSS-järjestelmällä. Jäähdytteen kierrättämiseen käytetään ERVCS-järjestelmää, jota on Suomeen tarjottavaan laitokseen vahvennettu. Toteutusratkaisussa ERVCS-järjestelmä on muista järjestelmistä riippumaton. Järjestelmässä on kaksi rinnakkaista pumppua, joilla on yhteinen syöttölinja suojarakennukseen. Järjestelmä saa käyttövoimansa vakavien onnettomuuksien sähköjärjestelmästä. Periaatepäätösaineistossa ei ERVCS-järjestelmän toteutusratkaisua ole esitetty yksityiskohtaisesti, lopulliseen lämpönieluun asti. Rakentamislupaa haettaessa olisi tarpeen osoittaa, että järjestelmä täyttää kaikilta osin vakavien onnettomuuksien järjestelmiltä suomalaisissa vaatimuksissa edellytetyn yksittäisvikakriteerin.

Laitostoimittajalla on käynnissä koeohjelma, jolla pyritään osoittamaan ulkopuolisen jäähdytyksen toimivuus ja kehittämään ratkaisun yksityiskohtia. Lämmönsiirtoa reaktoripainesäiliön ulkopinnalta jäähdytteeseen on parannettu mm. virtauskanavia suurentamalla ja eristeen muotoilulla. APR1400:n kokoisella laitoksella sydämen jälkilämpöteho on niin suuri, että reaktoripainesäiliön ulkopuolisen jäähdytyksen turvallisuusmargi-

naali jää pieneksi. Tämän johdosta laitostoimittaja tutkii myös muita mahdollisuuksia sydänsulan jäähdytettävyyden takaamiseksi. Mahdollinen ratkaisu voi olla esim. reaktoripainesäiliön alapuolelle sijoitettava sydänsieppari.

Vakavan onnettomuuden aikana syntyy huomattava määrä vetyä, joka paineistaa suojarakennusta ja suurina pitoisuuksina voisi palaa tai räjähtää. Painevesireaktorien suojarakennus on käytön aikana ilmatäytteinen, joten siellä on palamiseen tarvittavaa happea. Painevesireaktorien suuri, esijännitetystä betonista tehty suojarakennus on kuitenkin varsin kestävä vetypalojen tai räjähdysten suhteen. APR1400 laitos tullaan vedyn poistoa varten varustamaan noin 40 passiivisella autokatalyyttisellä rekombinaattorilla. Rekombinaattorit eivät tarvitse käyttövoimaa ja ne poistavat vetyä niin pienistä pitoisuuksista, ettei syttyvää kaasuseosta ehdi syntyä.

Suomeen tarjottava APR1400-laitos tullaan varustamaan suojarakennuksen suodatetulla ulospuhallusjärjestelmällä. Sen avulla voidaan onnettomuuden jälkivaiheessa poistaa lauhtumattomat kaasut suojarakennuksesta ja alentaa suojarakennuksen paine ulkoilman kanssa samalle tasolle.

APR1400-laitoksen suojarakennus ja vakavien onnettomuuksien hallintaan suunnitellut järjestelmät vaativat lisäselvityksiä ja mahdollisesti myös laitosmuutoksia täyttääkseen suomalaiset vakavien onnettomuuksien turvallisuusvaatimukset. Reaktoripainesäiliön ulkopuolisen jäähdytyksen turvallisuusmarginaalit ovat suhteellisen pienet. Laitostoimittajalta tutkii parhaillaan vaihtoehtoisia ratkaisuja sydänsulan jäähdytettävyyden takaamiseksi.

#### 4.1.5 Tuvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §)

APR1400-laitoksen turvallisuustoiminnot on toteutettu pääosin aktiivisilla järjestelmillä. Eräissä yksityiskohdissa käytetään periaatteeltaan passiivisia järjestelmiä kuten reaktorin pikasulun toteuttavissa säätösauvoissa ja hätäjähdytysjärjestelmään liittyvissä poikkeuksellisen suurikokoisissa painesäiliöissä.

##### *Reaktorin reaktiivisuuden hallinta*

APR1400-laitoksessa reaktiivisuutta hallitaan säätösauvoilla ja primäärijähdytteessä olevalla boorilla sekä polttoaineessa olevalla palavalla myrkyllä.

Häiriötilanteissa reaktori sammutetaan kuten kaikissa muissakin painevesireaktoreissa pudottamalla säätösauvat reaktorisydämeen. Reaktorin pikasulkujärjestelmä on luonteeltaan passiivinen. Säätösauvat putoavat reaktorisydämeen painovoiman avulla reaktorin suojausautomaation katkaistua virran säätösauvoja kannattelevilta sähkömagneeteilta. Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen edellyttämän moninkertaisuusperiaatteen.

Erilaisuusperiaatteen toteuttaa reaktorin sammuttamisen osalta aktiivinen hätäboorausjärjestelmä (EBS, 2 x 100 %). Sitä käytetään vain tilanteissa, joissa säätösauvoilla toteutettava reaktorin pikasulku epäonnistuu.

Muissa häiriö- ja onnettomuustilanteissa reaktorin pysyminen sammutettuna ja alikriittisenä varmistetaan hätäjähdytysjärjestelmän (SIS) käyttämän booripitoisen veden avulla.

Polttoaineeseen sekoitetun palavan myrkyänsä ansiosta voidaan primäärijähdytteen booripitoisuutta pitää kohtuullisen pienenä myös sen jälkeen, kun reaktoriin on ladattu uutta polttoainetta. Pienemmästä primäärijähdytteen booripitoisuudesta ja tehokkaammas-pikasulusta huolimatta reaktorin suunnittelussa on varauduttu virheelliseen primääripiirin jähdytteen booripitoisuuden laimenemiseen. Tämä ns. puhtaan veden tulpan hallinta on otettu huomioon sekä seisokki- ja käynnistystilanteiden että häiriö- ja onnettomuustilanteisiin varautumisen suunnittelussa. Esitettyjen suunnitelmien tueksi tarvitaan kuitenkin täydentäviä analyysejä ja/tai kokeita.

Reaktiivisuuden hallintaan liittyvien turvallisuustoimintojen suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Kuitenkin boorin äkillisen laimenemisen hallintastrategia vaatii tuekseen täydentäviä analyysejä ja/tai kokeita.

### *Reaktorin jäähdytys*

#### *Reaktorin jäähdytys seisokitilanteissa*

Kuumaseisokissa reaktorin jälkilämpö poistetaan painevesireaktoreille tavanomaiseen tapaan höyrystimien kautta suoraan turbiinin lauhduttimeen käyttäen turbiinin ohituslinjoja. Mikäli tämä ei ole mahdollista, voidaan jälkilämpö poistaa pumpaamalla höyrystimisiin vettä hätäsyöttövesijärjestelmällä ja puhaltamalla höyry ilmakehään sekundääripiiriin ulospuhallusventtiileillä. Tätä käsitellään jäljempänä häiriöiden yhteydessä.

Primääripiirin paineen ja lämpötilan alentamisen jälkeen jälkilämpö poistetaan suoraan primääripiiristä sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmällä ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä (SCS/CSP, 4 x 50 %). Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönielun välijähdytysjärjestelmän (CCWS, 4 x 50 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS, 4 x 50 %) avulla. Näitä järjestelmiä käytetään ensisijaisina jälkilämpöpoistojärjestelminä myös häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

Jos sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmä ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmä (SCS/CSP, 4 x 50 %) ei ole käytettävissä tilanteessa, jossa reaktoripainesäiliön kansi on auki (häiriö jälkilämmön poistossa esim. ”mid-loop operation” tilanteessa), voidaan jälkilämpö poistaa höyrystämällä vettä suojarakennukseen ja siirtämällä jälkilämpö suojarakennuksen ilmajähdyttimien (RCFC, 2 x 100 %) avulla ilmakehään. Korvaava jäähdytysvesi reaktoriin saadaan IRWST-säiliöstä.

*Reaktorin jäädytys häiriö- ja onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä*

Mikäli häiriö tai onnettomuus estää normaalin jälkilämmön poiston turpiinin lauhduttimeen, jälkilämpö primääripiiristä voidaan siirtää ilmakehään käyttämällä sekundääripiirin hätäsyöttövesijärjestelmää (AFWS, 2 x 100%) ja höyrystimen ulospuhallusventtiilejä (SADV). Hätäsyöttövesijärjestelmällä pumpataan vettä hätäsyöttövesisäiliöstä höyrystimiin ja siellä syntyvä höyry johdetaan ulospuhallusventtiilien kautta ulos. Hätäsyöttövesijärjestelmässä on kaksi rinnakkaista osajärjestelmää. Kummassakin osajärjestelmässä on oma hätäsyöttövesisäiliö ja yksi syöttölinja, jossa on kaksi pumpua. Pumpuista toinen on sähkökäyttöinen ja toinen höyrykäyttöinen, ja niistä kumpikin pystyy syöttämään tarvittavan vesimäärän kaikissa tilanteissa. Säiliöt voidaan kytkeä tarvittaessa ristiin. Järjestelmällä saadaan reaktori hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja voidaan pitää siinä vähintään 72 tuntia.

Jos jälkilämmön poisto sekundääripiirin kautta ei ole mahdollista ja primääripiirin paine ja lämpötila ovat korkeat, jälkilämpö voidaan poistaa myös suoraan primääripiiristä pumppaamalla piiriin kylmää booripitoista vettä hätäjäädytysjärjestelmän (SIS) korkeapainepumpuilla (SIP) IRWST-säiliöstä ja poistamalla piiristä kuumaa vettä varoventtiilien läpi takaisin IRWST-säiliöön (ns. ”feed and bleed”-jäädytys). IRWST-säiliöstä jälkilämpö poistetaan edelleen sammutetun reaktorin jäädytysjärjestelmällä ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä (SCS/CSP, 4 x 50 %). Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijäädytysjärjestelmän (CCWS, 4 x 50 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS, 4 x 50 %) avulla.

Häiriö- ja onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä, jäähtymisestä johtuva tilavuuden pienenemisen korvaava lisävesi reaktoriin saadaan ensisijaisesti normaalilla lisävesijärjestelmällä (CVCS, 2 x 100 %)

Vaihtoehtoisesti lisävesi saadaan hätäjäädytysjärjestelmästä (SIS 4 x 100%), joka ottaa lisävetensä suojarakennuksen sisäpuolella sijaitsevasta IRWST-säiliöstä.

*Reaktorin jäädytys jäädytteenmenetysonnettomuuksissa*

Onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin jäädytettä menetetään vuodon seurauksena, reaktori voidaan jäädyttää tätä tilannetta varten suunnitelluilla hätäjäädytysjärjestelmillä.

APR1400-laitoksen hätäjäädytysjärjestelmässä (SIS, 4 x 50 %) on neljä rinnakkaista erillistä osajärjestelmää. Kussakin on korkeapainehätäjäädytyspumppu (SIP) ja passiivinen isokokoinen painevesisäiliö (SIT). Painevesisäiliöihin on suunniteltu virtauksen säätölaitteet (vortex), jotka annostelevat virtauksen reaktorisydämeen optimaalisella tavalla onnettomuuden aikana. Kukin SIS-järjestelmän osajärjestelmä syöttää jäädytysveden oman yhteensä kautta suoraan reaktoripainesäiliöön. Hätäjäädytysjärjestelmän pumput ottavat jäädytteen suojarakennuksen sisäpuolella sijaitsevasta vesisäiliöstä (IRWST) imusiivilöiden kautta. Suojarakennukseen vuotanut reaktorin jäädytysvesi

valuu takaisin IRWST-säiliöön. IRWST-säiliössä sijaitsevat imusiivilät on suunniteltu siten, että ne eivät tukkeudu onnettomuuden seurauksena syntyvästä tai muuten suojarakennuksessa olevasta irtaimesta materiaalista. Lisäksi siivilät on varustettu huuhtelu-järjestelmällä tukkeutumisen varalle. Imusiivilöiden osittainen tukkeutuminen on myös otettu asianmukaisesti huomioon määriteltäessä hätäjähdytyspumpeille tarvittavaa imukorkeutta. Imusiivilöiden toimintaa ei ole toistaiseksi osoitettu kokeellisesti, mutta se voidaan tehdä lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa.

Erilaisuusperiaate edellä esitetyn hätäjähdytyksen osalta pienissä jäähdytevuodoissa on toteutettu siten, että primääripiiri jäähdytetään nopeasti sekundääripiirin paineen alennusventtiilien avulla ja samanaikaisesti primääripiirin paine lasketaan kunnes päästään alueelle, jossa hätäjähdytyksen painevesisäiliöt ja sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmä ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmä (SCS/CSP, 4 x 50 %) voivat toimia. SCS/CSP ottaa jäähdytysvetensä IRWST-säiliöstä samoin kuin korkeapaineinen SIS-järjestelmä. SCS-järjestelmää käytetään myös reaktorisydämen pitkän aikavälin jäähdyttämiseen suunnittelun perustana olevissa onnettomuuksissa.

Jälkilämpö IRWST-säiliöstä poistetaan sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmällä ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä (SCS/CSP, 4 x 50 %). Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijähdytysjärjestelmän (CCWS, 4 x 50 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS, 4 x 50 %) avulla.

Reaktorisydämen jäähdytykseen liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Hätäjähdytysjärjestelmän imusiivilöiden toimintaa ei ole toistaiseksi osoitettu kokeellisesti. Esitetty toteutusratkaisu vaatii lisäkokeita.

#### *Jälkilämmön poisto suojarakennuksesta*

APR1400-laitoksessa jälkilämmön poisto suojarakennuksesta primääripiirin tai sekundääripiirin vuodon yhteydessä voidaan tarvittaessa toteuttaa sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmällä ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä (SCS/CPS, 4 x 50 %). Sen avulla jälkilämpö voidaan siirtää IRWST-säiliöön ja sieltä edelleen välijähdytysjärjestelmän (CCWS) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS) kautta lopulliseen lämpönieluun.

Erilaisuusperiaate suojarakennuksen jälkilämmön poiston osalta pienissä jäähdytevuodoissa toteutetaan suojarakennuksen ilmajähdyttimen (RCFC) avulla.

Jälkilämmön poistoon suojarakennuksesta osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Suojarakennuksen eristys*

APR1400-laitoksen suojarakennuksen eristys on suojarakennuksen läpäisevissä putki-linjoissa toteutettu kahdella eristysventtiilillä. Erilaisuusperiaatteen toteutuminen suoja-

rakennuksen eristyksen osalta voidaan toteuttaa venttiilivalinnoin hankkeen myöhemässä vaiheessa.

#### *Lopullisen lämpönielun menetys*

Jos lopullinen lämpönielu eli mahdollisuus siirtää jälkilämpöä turpiinin lauhduttimen tai varmennetun merivesipiirin kautta mereen menetetään reaktoripiirin ollessa suljettuna, jälkilämpö voidaan poistaa reaktorin jäähdytyspiiristä pumppaamalla höyrystimien sekundääripuolelle vettä hätäsyöttövesijärjestelmällä ja puhaltamalla höyryä ilmakehään. Tällä järjestelyllä saadaan reaktori pidettyä hallitussa tilassa vähintään 72 tuntia.

Reaktorinpainesäiliön kannen ollessa auki sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmä ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmä (SCS/CSP, 4 x 50 %) sekä lämpöä edelleen mereen siirtävä jäähdytysketju voidaan korvata höyrystämällä vettä suojarakennukseen ja siirtämällä jälkilämpö suojarakennuksen ilmajäähdyttimien (RCFC) avulla ilmakehään. Jäähdytysvesi reaktoriin saadaan IRWST-säiliöstä.

Lopullisen lämpönielun menetyksen hallintaan osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Polttoainealtaiden jäähdytys*

Polttoainealtaiden jäähdytys tapahtuu kyseisten altaiden jäähdytys- ja puhdistusjärjestelmällä (FC, 2 x 100 %), joka saa lisäveden boorijärjestelmän varastosäiliöstä (BAST). Järjestelmä täyttää moninkertaisuusperiaatteen.

Valtioneuvoston asetuksen edellyttämä erilaisuusperiaate voidaan toteuttaa siten, että jälkilämpö siirretään ilmakehään höyrystämällä vettä polttoainealtaissa. Lisävesi polttoainealtaisiin saadaan vaihtoehtoisesti apusyöttövesijärjestelmän varastosäiliöstä painovoimaisesti tai boorijärjestelmän varastosäiliöstä booripumppujen avulla. Polttoainealtaiden jäähdytykseen osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Seisokkiturvallisuus*

Reaktorin alikriittisenä pysyminen varmistetaan kaikissa seisokkitilanteissa pitämällä säätösauvat reaktorissa ja lisäämällä riittävän väkevää booriliuosta jäähdytysveteen. Reaktorin alikriittisyyttä seisokeissa valvotaan reaktorin ulkopuolisilla neutronivuodektoreilla.

Laitoksen alasajoissa, käynnistyksessä ja seisokkitilanteissa, kun sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmä (SCS) on käytössä, primääripäin ylipainesuojaus alhaisissa lämpötiloissa on toteutettu ulospuhallusventtiileillä.

Jälkilämmönpoisto primääripiiristä ja suojarakennuksesta reaktoripainesäiliön kannen ollessa seisokkitilanteessa kiinni tai auki toteutetaan kuten edellä kohdassa ”Reaktorin jäähdytys” on kerrottu.

Seisokkiturvallisuuteen liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Sähköjärjestelmät*

APR1400-laitoksen ulkoisen sähkötehon syöttö on toteutettu omakäyttömuuntajien ja päämuuntajan kautta 400 kV verkosta tai varaomakäyttömuuntajien kautta 110 kV verkosta.

Ulkoisten syöttölähteiden ollessa vikaantuneita laitoksen turvallisuusjärjestelmien sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelminä toimivat vaihtoehtoisesti

- varavoimadieselgeneraattorit (4 x 100 %)
- erilaisuusperiaatteen toteuttavat vaihtoehtoiset varavoimadieselgeneraattorit (2 x 100 %)
- akustot varavoimasähkölähteiden käynnistymisen aikana.

Vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmille tulee omat erilliset sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelmänsä.

Sähköjärjestelmien erotteluperiaatteita ei ole selvästi kuvattu. Tämä voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

Vuonna 2006 Forsmarkin ydinvoimalaitoksella tapahtuneen sähköhäiriön yhteydessä havaituista suunnitteluvirheistä saadut yleiset opetukset tulee ottaa huomioon. Sähköjärjestelmien ja -laitteiden suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota mm. jännitetransienttien leviämisen estämiseen sekä erilaisuusperiaatteen soveltamiseen sähkönjakelussa ja automaatiojärjestelmien sähkönsyötössä. On analysoitava, mitkä ovat pahimmat mahdolliset jännitetransientti ja -häiriötilanteet laitoksen omakäyttösjohdossa ja mitoitettava sähkönkuluttajat ja järjestelmät kestäväksi nämä olosuhteet. Asiaa tul- laan tarkastelemaan yksityiskohtaisesti rakentamislupavaiheessa.

Sähköjärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Rakentamislupaa haettaessa tarkemmin tutkittavia asioita ovat sähköjärjestelmien erotteluperiaatteet ja Forsmark-häiriöstä saadut yleiset opetukset.

### *Rakennustekniikka ja palontorjunta*

APR1400-laitoksen rakennusten ja talotekniikan perussuunnittelun vaatimukset ulkoisten uhkien kannalta ovat riittävät lukuun ottamatta sitä, että Suomen talviolosuhteiden lämpötiloja ja lumikuormia ole erikseen käsitelty vaatimuksissa. Perussuunnittelu antaa



riittävän pohjan myös näiden suunnitteluvaatimusten hallintaan rakennusten ja talotekniikan yksityiskohtaisessa suunnittelussa.

Maanjäristyksien ja muiden ulkoisten uhkien värähtelykestävyyteen liittyvät suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Maanjäristysten osalta perussuunnittelussa on käytetty PGA-arvoa 0,3 g, mikä on selvästi yli suomalaisen vaatimuksen 0,1 g. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa runkorakenteita tarkastellaan siten, että varmistetaan ensinnäkin itse rakennusten värähtelykestävyys sekä toiseksi sopivat runkorakenteiden ja laitekiinnitysten värähtelyominaisuudet, kun arvioidaan laitoksen laitteiden värähtelykestävyyttä. Tämä koskee kaikkia ulkoisten uhkien aiheuttamia värähtelyjä.

APR1400-laitoksen palontorjuntakonseptin suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia siten, että rakenteellisen palontorjunnan suunnitteluperusteet ovat riittävät. Laitoksen sammutusjärjestelmät suunnitellaan maanjäristyskestäviksi, mikä varmistaa maanjäristysten mahdollisesti aiheuttamien seurauspalojen hallinnan.

#### 4.1.6 Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §)

APR1400-laitoksen suojautumisstrategia suuren matkustajakoneen törmäyksestä on laitoksen suoja- ja apurakennusten rakentaminen suuren liikennelentokoneen törmäyksen kestäviksi ja tiiviiksi siten, ettei törmäyksen vaikutuksesta leviävä lentokonepolttoaine pääse sisään suojattuihin rakennuksiin.

Laitoksen valvomo sijaitsee apurakennuksessa kuten myös kaksi erillistä dieselgeneraattorikoneikkoa sekä polttoainealtaat. Laitoksen kaksi varavoimadieselrakennusta ja kaksi varmennetun jäähdytysveden pumppaamo on suojattu etäisyserotellulla.

Esitetyn toteutusratkaisun suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia

#### 4.1.7 Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §)

APR1400-laitoksen tila- ja sijoitussuunnittelussa huomioidaan sisäiset uhkatekijät kuten tulvat ja tulipalot sijoittamalla keskeisten turvallisuusjärjestelmien neljä rinnakkaisista, toisensa korvaavaa osaa toisistaan erotettuihin tila-alueisiin. Tilat erotetaan teräsbetoniseinin, joille on ilmoitettu kolmen tunnin palo- ja tulvaluokitus. Reaktorirakennuksen alimman kerroksen rinnakkaiset tila-alueet, joissa sijaitsevat mm. hätä- sekä varmennettujen jäähdytysjärjestelmien pumput, on erotettu toisistaan seinin, jotka estävät sisäisen tulvan leviämisen. Erotteluperiaatetta toteutetaan myös valvomorakennuksessa. Valvomoon johdettavat kaapelikanavat on eroteltu omiin palo-osastoihin ja eri kanavat kohtaavat vasta valvomossa, jossa ne on myös asianmukaisesti eroteltu toisistaan.

APR1400-laitoksessa suunnittelulähtökohtana on päähöyry- ja syöttövesiputkilinjojen johtaminen suojarakennuksesta kahta erillistä reittiä pitkin turbiinirakennukseen. Kum-

pikin erillinen päänhöyry- ja syöttövesireitti kulkee omia teräsbetonirakenteisia kanavia pitkin.

#### 4.1.8 Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §)

On huomioitava, että automaatiojärjestelmien turvallisuusperiaatteet on esitetty periaatepäätöksen hakemusasiakirjoissa varsin yleisellä tasolla. Ennen suunnittelun ja suunnitteluaineistojen täsmentymistä varsinaisen teknisen suunnittelun tasolle, kyse on monien turvallisuusperiaatteiden osalta enemmänkin tavoitteista, joiden toteutumista periaatepäätösasiakirjojen perusteella ei voida vielä arvioida. Turvallisuusperiaatteiden aito toteutuminen laitoksen teknisissä ratkaisuissa on varmistettava suunnittelun edetessä myös hankkeen myöhemmissä vaiheissa. Näistä vaiheista rakentamislupakäsittely on ensimmäinen, konkreettisia automaatioteknisiä ratkaisuja käsittelevä laitoshankkeen viranomaiskäsittelyn vaihe.

##### *Automaattiset turvallisuustoiminnot*

APR1400-laitoksen automaatiossa on useita eri puolustuslinjoja syvyyssuunnassa. Ensimmäisen linjan muodostavat normaali käyttöautomaatio ja säätöjärjestelmät. Toisessa linjassa on ensisijaisesti toimiva, kaikki turvallisuustoiminnot tarvittaessa käynnistävä suojausjärjestelmä. Kolmannessa linjassa on erilaisella tekniikalla toteutettu toinen, tärkeimmät turvallisuustoiminnot käynnistävä suojausjärjestelmä DPS (Diverse Protection System). Viimeisen linjan muodostaa vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmä.

Eri puolustuslinjojen automaatiojärjestelmät on suunniteltu pitämään laitoksen parametrit automaattisesti turvallisella alueella käyttöhäiriöiden aikana ja rajoittamaan onnettomuustilanteiden seurauksia.

Automaatiojärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia automaattisen turvallisuustoimintojen käynnistymisen, ohjauksen sekä valvonnan osalta käyttöhäiriöiden ja onnettomuuksien aikana.

##### *Moninkertaisuusperiaate automaatiossa*

APR1400-laitoksen ensisijaisesti toimivassa suojausjärjestelmässä on neljä rinnakkaista osajärjestelmää. Suojaustoiminto käynnistyy, mikäli kaksi neljästä rinnakkaisesta suojauskanavasta havahtuu. Järjestelmät täyttävät valtioneuvoston asetuksen vaatimukset moninkertaisuusperiaatteen osalta.

Erilaisuusperiaatteen automaation osalta toteuttavasta suojausjärjestelmästä DPS ei hakemusaineistossa ole ilmoitettu rinnakkaisten osajärjestelmien lukumäärää.

Järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Rakentamislupaa haettaessa on selvitettävä DPS-järjestelmän moninkertaisuusperiaate.

*Erotteluperiaate automaatiossa*

APR1400-laitoksen turvallisuusluokan 2 automaatiojärjestelmät on eroteltu fyysisesti ja toiminnallisesti muiden turvallisuusluokkien laitteista. Turvallisuusluokan 3 järjestelmien toiminnallista erottelua muista turvallisuusluokista ei ole kuvattu. Tämä asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa. Vakavien onnettomuuksien hallinta-automaatio ja seurantajärjestelmä on erotettu muusta automaatiosta.

Eri redundanssien automaatiojärjestelmät on erotettu toisistaan fyysisesti ja toiminnallisesti.

Automaatiojärjestelmien erotteluperiaatteeseen liittyvät suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Turvallisuusluokan 3 järjestelmien toiminnallista erottelua muista turvallisuusluokista tulee kuvata rakentamislupaa haettaessa.

*Erilaisuusperiaate automaatiossa*

Hakemusaineistossa ei ole kerrottu, miten erilaisuusperiaatetta sovelletaan reaktorisuojausjärjestelmän mittauksissa ja suojausten aktivoinnissa. Asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

APR1400-laitoksen automaatio perustuu kahteen tietokonepohjaiseen järjestelmälustaan. Reaktori- ja laitossuojausjärjestelmät pohjautuvat toiseen ja muut automaatiojärjestelmät, mukaan lukien erilaisuusperiaatteeseen perustuva suojausjärjestelmä DPS, toiseen laitealustaan. DPS-järjestelmä on nykymuodossaan suunniteltu vain määrätyille alkutapahtumille ja sen toimintoja joudutaan ehkä lisäämään. Laitoskonseptissa on lisäksi varauduttu tietokonepohjaisen automaation järjestelmälustojen yhteisvikaan suunnitteleamalla langoitetut käsiohjaukset tärkeimmille turvajärjestelmille. Näiden käsiohjausten avulla laitos saadaan turvalliseen tilaan.

Järjestelmän suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia erilaisuusperiaatteen osalta. DPS-järjestelmän laajuutta ja reaktorisuojausjärjestelmän erilaisuusperiaatetta mittauksissa ja suojausten aktivoinnissa voidaan tarkentaa rakentamislupaa haettaessa.

*Valvomo*

Valvomossa on ohjauspulpetteja, tauluosuus sekä turvajärjestelmien ohjauspulpetti. Turbiini- ja reaktoriohjaajan ohjauspulpeteista laitosta ohjataan normaalitilassa, käyttöhäiriöissä ja onnettomuustilanteissa. Ohjauspulpetteihin tulee lisäksi ohjaajille tarvittava informaatio ohjaustoimenpiteiden suorittamiseksi.

Turvallisuusjärjestelmien ohjauspulpetista laitosta ohjataan digitaalisten automaatiojärjestelmien vikatilanteessa langoitetuilla käsiohjauksilla.

Tauluosuus koostuu kiinteistä indikaattoreista sekä suurkuvavideonäytöistä. Tauluosuuden tarkoituksena on esittää kootusti laitoksen ja tärkeimpien komponenttien tila ja tärkeimmät hälytystiedot.

Valvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Varavalvomo*

APR1400-laitoksessa on varavalvomo, josta turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä voidaan ohjata päävalvomosta riippumattomasti. Varavalvomosta laitos voidaan ohjata hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja edelleen turvalliseen (kylmäsammutettuun) tilaan.

Varavalvomo sijaitsee eri palo-osastossa ja kerroksessa kuin päävalvomo.

Varavalvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### 4.1.9 Yhteenveto

APR1400-laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Reaktoripainesäiliön ulkopuolelta tapahtuva sydänsulan jäähdytys, jota tarvitaan vakavan onnettomuuden hallinnassa, ei APR1400-laitoksen mittakaavassa ole STUK:n käsityksen mukaan riittävän luotettava sydänsulan vakauttamiseksi. Laitostoimittaja on ilmoittanut tutkivansa muita vaihtoehtoja vakavien onnettomuuksien hallinnan parantamiseksi.

Eräät muut tekniset yksityiskohdat edellyttävät lisäanalyysseja ja kokeellista kelpoistusta sekä lisäsuunnittelua. STUKin käsityksen mukaan mikään niistä ei ole sellainen, että sen voitaisiin olettaa muodostuvan esteeksi ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta annetun valtioneuvoston asetuksen (733/2008) vaatimusten täyttämiseksi. Tällaisia teknisiä yksityiskohtia ovat

- primääripiirin booripitoisuuden äkillisen laimenemisen hallinta
- pääkiertopiirin putkikatkojen dynaamisten vaikutusten huomioiminen
- hätäjäähdytysjärjestelmän imusiivilöiden toiminnan kokeellinen varmentaminen
- suojarakennuksen eristystoiminnon erilaisuusperiaatteen toteuttaminen
- sähköjärjestelmien erotteluperiaatteet ja Forsmark häiriöstä saatujen yleisten opetusten huomioon ottaminen sähköjärjestelmissä
- tärkeimmät turvallisuustoiminnot käynnistävän suojausjärjestelmän moninkertaisuusperiaate ja toimintojen laajuus
- erilaisuusperiaatteen soveltaminen reaktorisuojausjärjestelmän mitauksissa ja suojausten aktivoinnissa

- vakavien onnettomuuksien varalle suunnitelluissa jälkilämmönpoistojärjestelmissä yksittäisvikakriteerin täyttyminen.

## 4.2 EU-APWR - Advanced Pressurised Water Reactor - Mitsubishi Heavy Industries

### 4.2.1 Yleistä

EU-APWR on japanilaisen Mitsubishin (MHI) suunnittelema noin 1700 MWe tehoinen painevesireaktori. MHI on rakentanut Japaniin 1970 luvulta alkaen yhteensä 23 käytössä olevaa painevesireaktoria, ja tällä hetkellä on rakenteilla yksi laitos. EU-APWR-laitosvaihtoehdon referenssilaitoksia ovat Tsuruga 3 ja 4, jotka ovat ensimmäiset MHI:n Japaniin suunnittelemat APWR-tyyppiset laitokset. Laitosten rakentamista ollaan vasta valmistelemassa, ja niiden on suunniteltu valmistuvan vuosien 2016–2017 aikana.

MHI on Olkiluoto 4 -projektissaan kehittänyt ensisijaisesti kotimaansa ja USA:n markkinoille suunniteltua laitosta lisäämällä siihen eräitä turvallisuuspiirteitä, joita suomalaiset turvallisuusvaatimukset edellyttävät. Laitoksen suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta. EU-APWR-laitoksen valmiusaste perussuunnittelun osalta on korkea. Suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Turvallisuustoiminnot on toteutettu pääosin aktiivisilla järjestelmillä, joita täydentävät painevesilaitoksille tyypilliset passiiviset, hätäjähdytystilanteissa tarvittavat poikkeuksellisen suurikokoiset painevesisäiliöt.

EU-APWR-laitoksen primääripiirissä on neljä pääkiertopiiriä, joissa kussakin on pystysuora höyrystin ja pääkiertopumppu.

Sekundääripiiri on tässä laitostyyppissä oleellisilta osin samanlainen kuin nykyisissä painevesireaktoreissa. Höyrystimä on neljä ja ne ovat pystysuoria U-putkihöyrystimä. Ne vastaavat tekniikaltaan nykylaitoksissa käytössä olevia uusimpia höyrystimä, joissa pystyhöyrystimille tyypilliset lämmönsiirtoputkien eheydessä esiintyneet ongelmat on pyritty eliminoimaan materiaalivalinnoilla ja rakenneratkaisuilla.

### 4.2.2 Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §)

#### *Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset*

EU-APWR-laitoksen turvallisuuden arviointia ja todentamista varten MHI:llä on käytössään analyysimenetelmät, joita on ylläpidetty ja kelpoistettu käyttötarkoitukseensa. Menetelmiä on käytetty toiminnassa olevien laitosten suunnittelun ja lupakäsitelyn tukena. EU-APWR-laitokselle tehty analyysit antavat sen käsityksen, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset häiriö- ja onnettomuusanalyysimenetelmille asetetut vaatimukset täyttävät analyysit.

*Todennäköisyysperusteiset analyysit*

MHI:llä on käytössä tason 1 ja 2 todennäköisyysperusteisen riskianalyysin (PRA) menetelmät, joita on käytetty käytössä olevien laitosten PRA-analyyseissa. Analyysit kattavat kaikki laitoksen käyttötilat mukaan lukien ulkoisiin ja sisäisiin uhkiin liittyvät tapahtumat. Analyysimenetelmiä ja EU-APWR:lle tehtyjen PRA-laskujen tuloksia koskevien tietojen perusteella voidaan arvioida, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset PRA-vaatimukset täyttävät analyysit. Tarvittaessa menetelmiä voidaan kehittää suomalaisten yksityiskohtaisten vaatimusten mukaisiksi.

*Uuden tyyppisten järjestelmien kelpoistus*

EU-APWR-laitosvaihtoehdossa on uudet hätäjähdytysjärjestelmän painesäiliöt, joita ei tässä mielessä ole ennen käytetty ydinvoimalaitoksissa. Painesäiliöiden toiminta on kelpoistettu asianmukaisesti koelaitteiston avulla ja kokeiden tulosten perusteella laitoksen lisensoimiseen käytetyt analyysimenetelmät on päivitetty. MHI:llä on käytössä myös EU-APWR-laitokseen perustuva koelaitteisto, jota on käytetty ja tullaan edelleen käyttämään analyysimenetelmien kehittämiseen ja uusien laitospiirteiden toiminnan varmistamiseen. Joissakin uusissa laitospiirteissä saattaa olla vielä tarvetta lisäkokeisiin.

**4.2.3 Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 8–10 §)**

MHI on osana APWR-standardilaitoksen suunnittelua laskenut onnettomuustilanteissa ympäristön väestölle aiheutuvan säteilyaltistuksen. Näiden laskujen perusteella voidaan arvioida, että väestön säteilyannokset jäävät onnettomuustilanteissa Suomessa asetettujen annosrajojen alapuolelle.

APWR-laitokselle tehty säteilyaltistukseen ja radioaktiivisiin päästöihin liittyvät analyysit antavat sen käsityksen, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset vaatimukset täyttävät analyysit.

**4.2.4 Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §)***Reaktori ja polttoaine*

EU-APWR-laitoksessa polttoaineen, reaktorisydämen ja reaktorin suunnittelu seuraa pääpiirteissään nykyisin painevesireaktoreissa sovellettua käytäntöä. Reaktorissa on 264 polttoainenippua ja 69 säätösauvaa. STUK:n arvion mukaan sammutusmarginaali on liian pieni, mutta säätösauvojen lukumäärää voidaan tarvittaessa lisätä reaktorin sammutusmarginaalin edelleen parantamiseksi. Asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa. Polttoaineniput ovat tyypillisiä nykyisin isoissa painevesireaktoreissa käytettyjä 17x17-nippuja. Reaktiivisuuden hallinta tehdään käyttöjakson aikana primääri-

jähdytteessä olevalla boorilla, säätösauvoilla ja polttoaineessa olevalla palavalla myrkyllä. Reaktorin lataussuunnittelu vastaa nykyisin painevesireaktoreissa vallitsevaa käytäntöä.

Reaktorisydän on ympäröity tehojakautuman tasoittamiseksi ja polttoainetalouden parantamiseksi ns. raskaalla heijastimella. Raskas heijastin on reaktorisydämen ympärillä oleva teräksestä valmistettu sylinterimäinen rakenne, jolla heijastetaan ulos vuotavia neutroneita takaisin reaktorisydämeen tehojakautuman tasoittamiseksi ja suojataan reaktoripainesäiliötä neutronisäteilytyksen aiheuttamalta haurastumiselta.

Polttoaineen poistopalama on suunniteltu suuremmaksi kuin Suomessa hyväksytty polttoainepun maksimipoistopalama 45 MWd/kgU. Reaktorin käyttö voidaan kuitenkin suunnitella myös suomalaisen palamarajan mukaiseksi. Jos tätä suurempia palamia pyritään hyväksyttämään, pitää hakijan osoittaa kokeellisesti, että polttoaine täyttää suomalaiset onnettomuustilanteita koskevat suunnittelukriteerit.

Reaktorin ja polttoaineen suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Ydintekniset päälaitteet*

EU-APWR-laitoksen reaktoripainesäiliön rakennemateriaalina on niukkaseosteinen painelaiteteräs, jolle asetetaan tiukat sitkeysvaatimukset ikääntymisen hallitsemiseksi ja nopean murtuman estämiseksi. Säiliön valmistuksessa käytetään pyörähdysymmetrisiä takeita, jotka hitsataan yhteen painesäiliövalmistukselle tyypillisen koetellun tekniikan mukaisesti. Reaktoripainesäiliö pinnoitetaan sisäpuolelta ruostumattomalla teräksellä. Myös säiliön sisäosissa käytetään ruostumattomia teräksiä. Sisäosiin kuuluva raskas heijastin vähentää painesäiliön vaipan saamaa neutroniannosta ja säteilyhaurastumisen voimakkuutta. Säteilyhaurastumista seurataan sydänalueen takeista ja hitsistä normaali-menettelyn mukaisella seurantaohjelmalla. Muut ikääntymisilmiöt kuten terminen vanheneminen, korroosio ja väsyminen huomioidaan materiaalivaatimuksissa sekä ottamalla väsymis- ym. analyyseissa huomioon laitoksen käyttöikä.

Höyrystimet ja paineistin valmistetaan käytössä koeteltujen menettelytapojen mukaisesti. Höyrystimen primäärikammio pinnoitetaan hitsaamalla ruostumattomalla teräksellä ja osin nikkeli pohjaisella seoksella. Lämmönsiirto putket ovat seosta Inconel 690 TT (Thermally Treated), mikä on nykytiedon mukaan aiempia materiaalivalintoja kestävämmäksi todettu ratkaisu.

Pääkiertoputkisto valmistetaan ruostumattomista terästakeista. Ruostumattoman teräksen käytön etuna ovat hyvät sitkeysominaisuudet. Toisaalta tämä materiaalivalinta johtaa päälaitteisiin liittyvissä liitoksissa vaativan eripariliitoksen käyttöön, mikä on teknisesti toteutettavissa nykyisin käytössä olevin ratkaisuin. Eripariliitosten käytön aikaiseen seurantaan voidaan kuitenkin joutua kiinnittämään tarkempaa huomiota rakentamislupahakemuksen yhteydessä.

Primääripiirin putkistojen suunnittelussa varaudutaan halkaisijaltaan suurimman putken katkoon. Putkikatkojen dynaamiset vaikutukset eliminoidaan suunnitteluperusteista suomalaisten turvallisuusvaatimusten edellyttämää ”vuoto ennen murtumaa” -periaatetta (LBB) soveltamalla. Putkikatkojen varalta voidaan vaadittaessa rakentaa riittävät suojaukset

Ydinteknisten päälaitteiden suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Primääripiirin ja sekundääripiirin paineenhallinta*

EU-APWR-laitoksessa primääripiirin paineenhallintaa varten on neljä pilot-ohjattua varoventtiiliä. Erilaisuusperiaate toteutetaan paineistimen ulospuhallusventtiileillä tai paineistimen apuruiskutusjärjestelmällä. Apuruiskutusjärjestelmän kautta normaalilla lisävesijärjestelmällä (CVCS, 2x100%) voidaan pumpata vettä paineistimen höyrytilaan ja lauhduttaa höyryä.

Laitoksen alasajoissa, käynnistyksessä ja seisokkitilanteissa, joissa primääripiirin lämpötila on pieni, primääripiirin ylipainesuojaus toteutetaan ulospuhallusventtiileillä.

Sekundääripiirin paineen hallinta tapahtuu höyrystimen ulospuhallusventtiileillä sekä höyrystimen varoventtiileillä. Lisäksi paineen hallintaan voidaan käyttää päänhöyrylinjan paineenalennusventtiilejä, jotka ovat moottoritoimisia.

Paineen hallintaan osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia

### *Suojarakennus*

EU-APWR-laitoksen primäärisuojarakennus on esijännitetystä teräsbetonista rakennettu, tiivistävällä teräsverhoilulla (liner) varustettu ns. iso kuiva suojarakennus, joka on suunniteltu säilyttämään hyväksymiskriteerien mukaisen tiiveytensä häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Sen ulkopuolelle on suunniteltu betoninen sekundäärisuojarakennus, joka suojaa primäärisuojarakennusta ulkoisilta uhilta. Sekundäärisuojarakennus ympäröi vain osittain primäärisuojarakennusta. Sekundäärisuojarakennus kattaa alueen, jossa suojarakennuksen läpiviennit sijaitsevat. Primäärisuojarakennuksen kupoli ei ole sekundäärisuojarakennuksen ympäröimä.

### *Vakavat onnettomuudet*

EU-APWR-laitoksen vakavien onnettomuuksien hallinnan tärkeimmät elementit ovat primääripiirin paineenalennus, jälkilämmön poisto suojarakennuksessa olevien jäähdytyslaitteiden kautta, sydänsulan jäähdyttäminen reaktorikuilussa sekä vedyn poisto recombinaattorella.



Primääripiirin paine voidaan alentaa ennen reaktoripainesäiliön rikkoutumista käyttämällä kahta rinnakkaista, riippumatonta paineenalennusventtiiliä. Toimenpiteen päämääränä on estää painesäiliön puhkeamisen aikana syntyvä korkeapaineinen sulapurkaus. Venttiilit avataan manuaalisesti valvomosta. Niiden avaukseen tarvittava käyttövoima saadaan akkuvarmennetusta, muista sähköjärjestelmistä riippumattomasta vakavien onnettomuuksien sähköjärjestelmästä.

Suojarakennuksen ruiskutus on tarkoitettu käytettäväksi suunnittelun perustana olevissa onnettomuustilanteissa. Vakavassa onnettomuudessa jälkilämpö poistetaan suojarakennuksen apujäähdytysjärjestelmän (ACC, 2x 100 %) kautta hyödyntämällä sen passiivisia osia. Vakavassa onnettomuudessa suojarakennukseen purkautunut höyry kulkeutuu luonnonkierrolla jäähdytysjärjestelmässä olevien jäähdytyslaitteiden läpi ja lauhtuu. Jäähdytyslaitteen sekundääripuolella pumpuilla kierrätettävä vesi siirtää lämmön suojarakennuksen ulkopuolella olevaan lämmönvaihtimeen, josta lämpö siirretään lopulta toisella kiertopiirillä jäähdytystorniin. Molempien kiertopiirien pumput saavat käyttövoimansa erillisestä vakavien onnettomuuksien sähköjärjestelmästä. Jäähdytysjärjestelmä koostuu kahdesta rinnakkaisesta linjasta ja näin ollen täyttää suomalaisen vaatimuksen, joka edellyttää vakavien onnettomuuksien varalle suunniteltujen järjestelmien yksittäisvikasietoisuutta. Hakemusaineistossa ei ole esitetty, onko järjestelmän toimivuus luonnonkierrolla varmistettu kokeellisesti.

Alkuperäisessä EU-APWR-konseptissa sydänsula purkautuu reaktoripainesäilöstä vedellä täytettyyn reaktorikuiluun. Suojarakennuksen lattia suojataan lämpöä kestäväällä materiaalilla. Sulan oletetaan veden läpi kulkiessaan hajoavan huokoiseksi partikkelikasaksi, joka on mahdollista jäähdyttää, kun kasan päälle syötetään jatkuvasti jäähdytettä. EU-APWR-laitoksella jäähdytteen syöttöön on käytössä kaksi toisistaan riippumatonta linjaa, jotka ottavat jäähdytteen suojarakennuksen ulkopuolella olevasta säiliöstä. Jälkilämpöä tuottavan partikkelikasan ja sydänsula-altaan jäähdyttämistä niiden päällä olevan vesialtaan avulla on tutkittu useissa kansainvälisissä koeohjelmissä. Niissä ei ole kyetty yksiselitteisesti osoittamaan, että sydänmateriaali on jäähdytettävissä ilman lattiabetonin osittaista syöpymistä. Valtioneuvoston asetuksen 13 § ei tällaisessa tilanteessa salli suojarakennuksen painetta kantavan rakenteen syöpymistä. Sydänsulan jäähdytettävyyden varmentamiseksi laitostoimittaja tutkii myös mahdollisuutta asentaa laitokseen sydänsieppari.

Vakavan onnettomuuden aikana syntyy huomattava määrä vetyä, joka paineistaa suojarakennusta ja voisi korkealla pitoisuudella palaa tai räjähtää. Painevesireaktorien suojarakennus on käytön aikana ilmatäytteinen, joten siellä on palamiseen tarvittavaa happea. Painevesireaktorien suuri, esijännitetystä betonista tehty suojarakennus on kuitenkin varsin kestävä vetypalojen tai räjähdysten suhteen. Vedyn poistoa varten laitos tullaan varustamaan passiivisilla autokatalyyttisillä rekombinaattoreilla. Rekombinaattorit eivät tarvitse käyttövoimaa ja ne poistavat vetyä niin pienistä pitoisuuksista, ettei syntyvää kaasuseosta ehdi syntyä. Laitostoimittaja tulee määrittämään rekombinaattorien tarkan lukumäärän ja sijoittelun suunnittelun myöhemmissä vaiheissa.

Suomeen tarjottava EU-APWR-laitos tullaan varustamaan suojarakennuksen suodattamalla ulospuhallusjärjestelmällä. Sen avulla voidaan onnettomuuden jälkivaiheessa poistaa lauhtumattomat kaasut suojarakennuksesta ja alentaa suojarakennuksen paine ulkoilman kanssa samalle tasolle.

EU-APWR-laitoksen suojarakennus ja vakavien onnettomuuksien hallintaan suunnitellut järjestelmät vaativat lisäselvityksiä ja laitosmuutoksia täyttääkseen suomalaiset vakavien onnettomuuksien vaatimukset. Suojarakennuksen jälkilämmönpoiston toimivuus vakavien onnettomuuksien olosuhteissa on osoitettava kokeellisesti. Sydänmateriaalin jäädyttäminen suojarakennuksen lattialla ei ole suomalaisten vaatimusten mukainen ja laitostoimittaja tutkii parhaillaan muita vaihtoehtoja. Laitostoimittajan tulee esittää suomalaiset vaatimukset täyttävä ratkaisu sydänmateriaalin jäädytettävyyden varmentamiseksi mahdollista rakentamislupaa varten.

#### 4.2.5 Tuvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §)

EU-APWR-laitoksen turvallisuustoiminnot on toteutettu pääosin aktiivisilla järjestelmillä. Eräissä yksityiskohdissa kuten reaktorin pikasulun toteuttavissa säätösauvoissa ja hätäjäähdytysjärjestelmän suurikokoisissa painevesisäiliöissä käytetään periaatteeltaan passiivisia järjestelmiä.

##### *Reaktiivisuuden hallinta*

EU-APWR-laitoksessa reaktiivisuuden hallinta on toteutettu säätösauvoilla ja primäärijäädytteessä olevalla boorilla sekä polttoaineessa olevalla palavalla myrkyllä.

Häiriötilanteissa reaktori sammutetaan kuten kaikissa muissakin painevesilaitoksissa pudottamalla säätösauvat reaktorisydämeen. Reaktorin pikasulkujärjestelmä on luonteeltaan passiivinen. Säätösauvat putoavat reaktorisydämeen painovoiman avulla reaktorin suojausautomaation katkaistua virran sauvoja kannattavilta sähkömagneeteilta. Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen edellyttämän moninkertaisuusperiaatteen.

Erilaisuusperiaatteen toteuttavaa järjestelmää reaktorin sammutustoiminnolle ei ole toistaiseksi olemassa, mutta tämän vaatimuksen täyttämiseksi laitostoimittaja harkitsee eri vaihtoehtoja, joista yksi on hätäboorausjärjestelmän (TBD, 2 x 100 %) lisääminen.

Polttoaineeseen sekoitetun palavan myrkyänsiosta voidaan primäärijäädytteen booripitoisuus pitää kohtuullisen pienenä myös sen jälkeen, kun reaktoriin on ladattu uutta polttoainetta. Pienemmästä primäärijäädytteen booripitoisuudesta ja tehokkaammasta pikasulusta huolimatta reaktorin suunnittelussa on varauduttu virheelliseen primääripiirin jäädytteen booripitoisuuden laimenemiseen. Tämä ns. puhtaan veden tulpan hallinta on otettu huomioon sekä seisokki- ja käynnistystilanteiden että häiriö- ja onnettomuustilanteisiin varautumisen suunnittelussa. Esitettyjen suunnitelmien tueksi tarvitaan kuitenkin täydentäviä analyyskejä ja/tai kokeita.

Jäähtymistilanteissa tapahtuvan reaktorin uudelleenkriittisyyden estämiseksi laitostoi-  
mittaja on lisännyt normaaliin lisävesijärjestelmään pumppujen painepuolelle boorisäi-  
liön (BIT) erilliseen linjaan. Sen sisältämä booriliuos voidaan tarvittaessa pumpata pii-  
riin lisäveden mukana. Säätosauvojen tehokkuutta on lisätty perinteisiin sauvoihin ver-  
rattuna muuttamalla niiden rakennetta siten, että sauvojen yläpäässä on rikastettua boor-  
rikarbidia ja alapäässä hopea-indium-kadmiumia. Yhdessä hätäjäähdytysjärjestelmän  
(SIS) syöttämän booripitoisen veden kanssa muutokset varmistavat reaktorin pysymi-  
sen alikriittisenä kaikissa häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Esitetyn ratkaisun suunnit-  
teluperiaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia. Ratkaisun perusteluksi tarvitaan kui-  
tenkin vielä täydentäviä analyyskejä ja/tai kokeita.

Reaktiivisuuden hallintaan liittyvien turvallisuustoimintojen suunnittelutavoitteet ja -  
periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Kuitenkin esimerkik-  
si erilaisuusperiaatteen toteuttavan järjestelmän valinta reaktorin sammutustoiminnolle  
vaatii lisäsuunnittelua sekä strategia boorin äkillisen laimenemisen varalle ja reaktorin  
pitäminen alikriittisenä eräissä onnettomuustilanteissa vaativat tuekseen täydentäviä  
analyyskejä osoittaakseen täyttävänsä suomalaiset vaatimukset.

### *Reaktorin jäähdytys*

#### *Reaktorin jäähdytys seisokkitilanteissa*

Kuumaseisokissa reaktorin jälkilämpö poistetaan painevesireaktoreille tavanomaiseen  
tapaan höyrystimien kautta suoraan turbiinin lauhduttimeen käyttäen turbiinin ohitus-  
linjoja. Mikäli tämä ei ole mahdollista, voidaan jälkilämpö poistaa pumppaamalla höy-  
rystimiin vettä hätäsyöttövesijärjestelmällä ja puhaltamalla höyry ilmakehään sekun-  
dääripiirin ulospuhallusventtiileillä. Tätä käsitellään jäljempänä häiriöiden yhteydessä.

Primääripiirin paineen ja lämpötilan alentamisen jälkeen jälkilämpö poistetaan suoraan  
primääripiiristä jälkilämmönpoisto- ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä  
CS/RHR (4 x 50 %). Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijäähdytysjär-  
jestelmän (CCWS, 4 x 50 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS, 4 x 50 %) avulla.  
Näitä järjestelmiä käytetään ensisijaisina jälkilämmönpoistojärjestelminä myös  
häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

Jos jälkilämmönpoisto- ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä CS/RHR ei ole  
käytettävissä tilanteessa, jossa reaktoripainesäiliön kansi on auki (häiriö jälkilämmön  
poistossa esim ”mid-loop operation tilanteessa”), voidaan jälkilämpö poistaa höyrystä-  
mällä vettä suojarakennukseen ja siirtämällä jälkilämpö suojarakennuksen apujäähdy-  
tysjärjestelmän (ACC, 2 x 100 %) avulla ilmakehään jäähdytystornin avulla. ACC jär-  
jestelmä toimii siten, että suojarakennukseen purkautunut höyry kulkeutuu luonnonkier-  
rolla jäähdytysjärjestelmässä olevien jäähdytyslaitteiden läpi ja lauhtuu. Jäähdytyslait-  
teen sekundääripuolella pumpuilla kierrätettävä vesi siirtää lämmön suojarakennuksen  
ulkopuolella olevaan lämmönvaihtimeen, josta lämpö siirretään lopulta toisella kierto-  
piirillä jäähdytystorniin. Korvaava jäähdytysvesi reaktoriin saadaan IRWST-säiliöstä.

*Reaktorin jäädytys häiriö- ja onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä*

Mikäli häiriö tai onnettomuus estää normaalin jälkilämmön poiston turpiinin lauhduttamiseen, jälkilämpö primääripiiristä voidaan siirtää ilmakehään käyttämällä sekundääripiirin hätäsyöttövesijärjestelmää (EFWS, 2 x 100 %) ja höyrystimen ulospuhallusventtiileitä (MSDV) tai varoventtiileitä (MSVR). Hätäsyöttövesijärjestelmällä pumpataan vettä hätäsyöttövesisäiliöstä höyrystimiin ja siellä syntyvä höyry johdetaan ulospuhallusventtiilien kautta ulos. Hätäsyöttövesijärjestelmässä on kaksi linjaa ja kummassakin linjassa kaksi pumppua. Järjestelmällä saadaan reaktori hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja voidaan pitää siinä vähintään 72 tuntia

Jos jälkilämmön poisto sekundääripiiriin kautta ei ole mahdollista ja primääripiirin paine ja lämpötila ovat korkeat, jälkilämpö voidaan poistaa myös suoraan primääripiiristä pumppaamalla piiriin kylmää booripitoista vettä hätäjäähdetyksjärjestelmän (SIS, 4 x 50%) korkeapainepumppuilla (SIP) IRWST-säiliöstä ja poistamalla piiristä kuumaa vettä varoventtiilien läpi takaisin IRWST-säiliöön (ns. ”feed and bleed”-jäädytys). IRWST-säiliöstä jälkilämpö poistetaan edelleen jälkilämmönpoistojärjestelmällä CS/RHR (4 x 50 %). Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijäähdetyksjärjestelmän (CCWS, 4 x 50 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS, 4 x 50 %) avulla.

Häiriö- ja onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä, jäähtymisestä johtuva tilavuuden pienenemisen korvaava lisävesi reaktoriin saadaan ensisijaisesti normaalilla lisävesijärjestelmällä (CVCS, 2 x 100 %)

Vaihtoehtoisesti lisävesi saadaan hätäjäähdetyksjärjestelmästä (SIS 4 x 100%), joka ottaa lisävetensä suojarakennuksen sisäpuolella sijaitsevasta IRWST-säiliöstä.

*Reaktorin jäädytys jäädytteenmenetysonnettomuuksissa*

Onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin jäädytettä menetetään vuodon seurauksena, reaktori voidaan jäädyttää tätä tilannetta varten suunnitelluilla hätäjäähdetyksjärjestelmillä.

EU-APWR-laitoksen hätäjäähdetyksjärjestelmässä (SIS, 4 x 50%) on neljä erillistä linjaa. Kussakin on neljä korkeapainehätäjäähdetykspumppua (SIP) ja passiivinen isokokoinen painevesisäiliö (SIT). Painevesisäiliöihin on suunniteltu virtauksen säätölaitteet (vortex), jotka annostelevat virtauksen reaktorisydämeen optimaalisella tavalla onnettomuuden aikana. Kukin SIS-järjestelmän osajärjestelmä syöttää jäädytysveden omien yhteiden kautta suoraan reaktoripainesäiliöön. Hätäjäähdetyksjärjestelmän pumput ottavat jäädytteen suojarakennuksen sisäpuolella sijaitsevasta vesisäiliöstä (IRWST) imusiivilöiden kautta. Suojarakennukseen vuotanut reaktorin jäädytysvesi valuu takaisin IRWST-säiliöön.

IRWST-säiliössä sijaitsevat hätäjäähdetyksjärjestelmän pumppujen imusiivilät on suunniteltu siten, että ne eivät tukkeudu onnettomuuden seurauksena syntyvästä tai muuten

suojarakennuksessa olevasta irtaimesta materiaalista. Lisäksi siivilät on varustettu huuhtelujärjestelmällä tukkeutumisen varalle. Imusiivilöiden osittainen tukkeutuminen on myös otettu asianmukaisesti huomioon määriteltäessä hätäjähdytyspumpuille tarvittavaa imukorkeutta. Imusiivilöiden toimintaa ei ole toistaiseksi osoitettu kokeellisesti, mutta se tehdään lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa.

Erilaisuusperiaate edellä esitetyn hätäjähdytyksen osalta pienissä jäähdytevuodoissa on toteutettu siten, että primääripiiri jäähdytetään nopeasti sekundääripiirin automaattisten paineenalennusventtiilien avulla ja samanaikaisesti primääripiirin paine lasketaan kunnes päästään alueelle, jossa hätäjähdytyksen painevesisäiliöt sekä jälkilämmönpoisto- ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmä (CS/RHR 4 x 50 %) voi toimia. Järjestelmä ottaa jäähdytysvetensä IRWST-säiliöstä samoin kuin korkeapaineinen SIS-järjestelmä. CS/RHR-järjestelmällä on hätäjähdytysjärjestelmästä (SIS) riippumattomat syöttöyhteet primääripiiriin. Järjestelmää käytetään myös reaktorisydämen pitkän aikavälin jäähdyttämiseen suunnittelunperustana olevissa onnettomuuksissa.

IRWST-säiliöstä jälkilämpö poistetaan jälkilämmönpoisto- ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä CS/RHR (4 x 50 %). Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijähdytysjärjestelmän (CCWS, 4 x 50 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS, 4 x 50 %) avulla.

Reaktorisydämen jäähdytykseen liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Hätäjähdytysjärjestelmän imusiivilöiden toimintaa ei ole toistaiseksi osoitettu kokeellisesti. Esitetty toteutusratkaisu vaatii lisäkokeita.

#### *Jälkilämmön poisto suojarakennuksesta*

EU-APWR-laitoksessa jälkilämmön poisto suojarakennuksesta primääripiirin tai sekundääripiirin vuodon yhteydessä voidaan tarvittaessa toteuttaa jälkilämmönpoisto- ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmä (CS/RHR 4 x 50 %). Sen avulla jälkilämpö voidaan siirtää IRWST-säiliöön ja sieltä edelleen välijähdytysjärjestelmän (CCWS) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS) kautta lopulliseen lämpönieluun.

Erilaisuusperiaate suojarakennuksen jälkilämmön poiston osalta pienissä jäähdytevuodoissa toteutetaan suojarakennuksen apujähdytysjärjestelmällä (ACC, 2 x 100 %) ilmakehään jäähdytystornin avulla.

Jälkilämmön poistoon suojarakennuksesta osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Jälkilämmön poisto suojarakennuksesta*

Häiriö- ja onnettomuustilanteissa jälkilämpö siirretään suojarakennuksesta jälkilämmönpoisto- ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä (CS/RHR, 4 x 50 %) IRWST-säiliöön ja sieltä edelleen väli- ja merivesipiirin kautta lopulliseen lämpönieluun.

Erilaisuusperiaate toteutetaan suojarakennuksen apujäähdytysjärjestelmällä (ACC, 2 x 100 %) ilmakehään jäähdytystornin avulla

Jälkilämmön poistoon suojarakennuksesta osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Suojarakennuksen eristys*

EU-APWR-laitoksen suojarakennuksen eristys on suojarakennuksen läpäisevissä putkilinjoissa toteutettu kahdella eristysventtiilillä. Samantyyppisten eristysventtiilien yhteisvikatarkastelua ei ole toistaiseksi tehty. MHI tulee ottamaan huomioon eristysventtiilien yhteisvikamahdollisuuden ja toteuttamaan järjestelmät siten, että erilaisuusperiaate eristysventtiilien osalta toteutuu.

Erilaisuusperiaatteen toteutuminen suojarakennuksen eristyksen osalta voidaan toteuttaa venttiilivalinnoin hankkeen myöhemmässä vaiheessa.

### *Lopullisen lämpönielun menetys*

Jos lopullinen lämpönielu eli mahdollisuus siirtää jälkilämpöä turpiinin lauhduttimen tai varmennetun merivesipiirin kautta mereen menetetään reaktoripiirin ollessa suljettuna, jälkilämpö voidaan poistaa reaktorin jäähdytyspiiristä pumppaamalla höyrystimien sekundääripuolelle vettä hätäsyöttövesijärjestelmällä ja puhaltamalla höyryä ilmakehään. Tällä järjestelyllä saadaan reaktori pidettyä hallitussa tilassa vähintään 72 tuntia.

Reaktoripainesäiliön kannen ollessa auki jälkilämmönpoisto- ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmä (CS/RHR, 4 x 50 %) sekä niiltä lämpöä edelleen mereen siirtävä jäähdytysketju voidaan korvata höyrystämällä vettä suojarakennukseen. Jälkilämpö siirretään edelleen suojarakennuksen apujäähdytysjärjestelmällä (ACC, 2 x 100 %) ilmakehään jäähdytystornin avulla. Korvaava vesi reaktoripainesäiliöön saadaan IRWST-säiliöstä.

Lopullisen lämpönielun menetyksen hallintaan osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Polttoainealtaiden jäähdytys*

Polttoainealtaiden jäähdytys tapahtuu kyseisten altaiden jäähdytysjärjestelmällä (SFPCS, 2 x 100 %). Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen edellyttämän moninkertaisuusperiaatteen.

Valtioneuvoston asetuksen edellyttämä erilaisuusperiaate voidaan toteuttaa siten, että jälkilämpö siirretään ilmakehään höyryttämällä vettä polttoainealtaissa. Lisävesi polttoainealtaihin saadaan täyssuolanpoistetun veden varastosäiliöstä, vaihtolatausveden varastojärjestelmästä tai hätäsyöttövesijärjestelmän varastosäiliöstä hätäsyöttövesipumppujen avulla. Jälkilämpö siirretään ympäristöön höyryttämällä vettä polttoainealtaissa.

Polttoainealtaiden jäähtymiseen osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Seisokkiturvallisuus*

Reaktorin alikriittisenä pysyminen varmistetaan kaikissa seisokkitilanteissa pitämällä säätösauvat reaktorissa ja lisäämällä riittävän väkevää booriliuosta jäähtyysveteen. Reaktorin alikriittisyyden valvonnan periaatteita seisokeissa ei aineistossa ole esitetty. Asia voidaan selvittää rakentamislupaa haattaessa.

EU-APWR-laitoksen jälkilämmönpoistojärjestelmässä on varoventtiilit, joilla estetään primääripiirin kylmäpaineistuminen

Jälkilämpö poistetaan primääripiiristä ja suojarakennuksesta reaktoripainesäiliön kannen ollessa seisokkitilanteessa kiinni tai auki kuten edellä kohdassa ”Reaktorin jäähtyminen” on kerrottu.

Seisokkiturvallisuuteen liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Sähköjärjestelmät*

EU-APWR-laitoksen ulkoisen sähkötehon syöttö on toteutettu omakäyttömuuntajien ja päämuuntajan kautta 400 kV verkosta tai neljän varaomakäyttömuuntajan kautta 110 kV verkosta.

Ulkoisten syöttölähteiden ollessa vikaantuneita laitoksen turvallisuusjärjestelmien sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelminä toimivat vaihtoehtoisesti

- kaasuturbiinikäyttöiset varavoimageneraattorit (4 x 100 %).
- erilaisuusperiaatteen toteuttavat kaasuturbiinikäyttöiset vaihtoehtoiset varavoimageneraattorit (2 x 100 %).
- akustot varavoimasähkölähteiden käynnistymisen aikana (mitoituspurkausaika 2 h).

Sähköjärjestelmien erotteluperiaatteita ei ole selvästi kuvattu hakemusaineistossa.

Vuonna 2006 Forsmarkin ydinvoimalaitoksella tapahtuneen sähköhäiriön yhteydessä havaituista suunnitteluvirheistä saadut yleiset opetukset tulee ottaa huomioon. Sähköjärjestelmien ja -laitteiden suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota mm. jännitetrans-

sienttien leviämisen estämiseen sekä erilaisuusperiaatteen soveltamiseen sähköjake- lussa ja automaatiojärjestelmien sähkönsyötössä. On analysoitava, mitkä ovat pahim- mat mahdolliset jännitetransientti ja -häiriötilanteet laitoksen omakäyttösähköverkossa ja mitoitettava sähkönkuluttajat ja järjestelmät kestäväksi nämä olosuhteet. Asiaa tul- laan tarkastelemaan yksityiskohtaisesti rakentamislupavaiheessa.

Sähköjärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia ulkoisen ja sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelmien, moninker- taisuus- ja erilaisuusperiaatteen osalta. Rakentamislupaa haettaessa tarkemmin tutkitta- via asioita ovat sähköjärjestelmien erotteluperiaatteet ja Forsmark häiriöstä saadut ylei- set opetukset .

### *Rakennustekniikka ja palontorjunta*

EU-APWR-laitosten rakennusten ja talotekniikan suunnitteluperusteet noudattavat refe- renssinä käytettyjä japanilaisia laitoksia, joiden ympäristöolosuhteet on arvioitu yleensä Suomen olosuhteita vaativammiksi. Laitostoimittajan käytössä on myös pohjoisen alu- een painevesilaitosten suunnitteluosaaminen siten, että nykyiset suunnitteluperusteet antavat riittävän pohjan myös Suomen talviolosuhteiden hallintaan rakennusten ja talo- tekniikan yksityiskohtaisessa suunnittelussa.

Suomalaiset värähtelykestävyysvaatimukset maanjäristyksiä ja ulkoisia uhkia vastaan täyttyvät. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa runkorakenteita tarkastellaan siten, että varmistetaan ensinnäkin itse rakennusten värähtelykestävyys sekä toiseksi sopivat run- korakenteiden ja laitekiinnitysten värähtelyominaisuudet, kun arvioidaan laitoksen lait- teiden värähtelykestävyyttä.

Laitoksen palontorjuntakonseptin suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suoma- laisia vaatimuksia. Rakenteellisen palontorjunnan suunnitteluperusteet ovat riittävät. Laitoksen sammuusjärjestelmien suunnittelu maanjäristyskestäviksi varmistaa maanjä- ristysten mahdollisesti aiheuttamien seurauspalojen hallinnan.

#### 4.2.6 Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §)

EU-APWR-laitoksen suojautumisstrategia suuren matkustajakoneen törmäyksen varalle on suoja- ja reaktorirakennusten rakentaminen törmäyskestoiseksi. Niiden ilmanottoau- kot suunnitellaan estämään lentokonepolttoaineen pääsy sisään rakennuksiin. Turbiini- ja apurakennusta ei suunnitella kestäväksi lentokonetörmäystä, koska niihin ei sijoiteta turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä. Varmennettujen jäähdytysjärjestelmien pumppaamorakennuksia on EU-APWR-laitoksessa kaksi kappaletta ja ne on suojattu etäisyuserottelulla. Samoin kaksi erillistä kaasuturbiinirakennusta, joihin kumpaankin on sijoitettu kaksi kaasuturbiinia, on suojattu etäisyuserottelulla, niin ettei lentokone törmätessään voi vaurioittaa kumpaakin rakennusta. Kaasuturbiinien tarvitsemat poltto- ainerakennukset on samoin suojattu etäisyuserottelulla.



Esitetyn ratkaisun suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### 4.2.7 Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §)

EU-APWR-laitoksen suojautumisessa sisäisiltä tapahtumilta noudatetaan periaatetta, jonka mukaan sisäinen alkutapahtuma, kuten tulva, tulipalo tai korkeaenerginen putkikatko, rajoitetaan yhteen neljästä, toisistaan riippumattomasta osajärjestelmästä ja oletetaan lisäksi yhden osajärjestelmän menetys. Turvallisuusjärjestelmät ja tuorehöyry-, syöttövesi- ja varoventtiilitilat ovat jaettu tällä periaatteella. Laitostoimittaja on ilmoittanut täyttävänsä suomalaiset fyysisen erottelun ja palontorjunnan vaatimukset.

Esitetyn ratkaisun suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### 4.2.8 Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §)

On huomioitava, että automaatiojärjestelmien turvallisuusperiaatteet on esitetty periaatepäätöksen hakemusasiakirjoissa varsin yleisellä tasolla. Ennen suunnittelun ja suunnitteluaineistojen täsmentymistä varsinaisen teknisen suunnittelun tasolle, kyse on monien turvallisuusperiaatteiden osalta enemmänkin tavoitteista, joiden toteutumista periaatepäätösasiakirjojen perusteella ei voida vielä arvioida. Turvallisuusperiaatteiden aito toteutuminen laitoksen teknisissä ratkaisuissa on varmistettava suunnittelun edetessä myös hankkeen myöhemmissä vaiheissa. Näistä vaiheista rakentamislupakäsittely on ensimmäinen konkreettisia automaatioteknisiä ratkaisuja käsittelevä laitoshankkeen viranomaiskäsittelyn vaihe.

#### *Automaattiset turvallisuustoiminnot*

EU-APWR-laitoksen automaatiossa on useita eri puolustuslinjoja syvyysuunnassa. Ensimmäisen linjan muodostavat normaali käyttöautomaatio, säätöjärjestelmät ja rajoitusjärjestelmät. Toisessa linjassa on ensisijaisesti toimiva, kaikki turvallisuustoiminnot tarvittaessa käynnistävä suojausjärjestelmä. Kolmannessa linjassa on erilaisella tekniikalla toteutettu toinen, tärkeimmät turvallisuustoiminnot käynnistävä suojausjärjestelmä DAS (Diverse Actuation System). Viimeisen linjan muodostaa vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmä.

Eri puolustuslinjojen automaatiojärjestelmät on suunniteltu pitämään laitoksen parametrit automaattisesti turvallisella alueella käyttöhäiriöiden aikana ja rajoittamaan onnettomuustilanteiden seurauksia.

Järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

*Moninkertaisuusperiaate automaatiassa*

EU-APWR-laitoksen ensisijaisesti toimivassa suojausjärjestelmässä on neljä rinnakkaista osajärjestelmää. Suojaustoiminto käynnistyy, mikäli kaksi neljästä rinnakkaisesta suojauskanavasta havahtuu.

Erilaisuusperiaatteen toteuttava suojausjärjestelmä DAS sekä vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmä ovat kaksikanavaisia. Järjestelmät täyttävät valtioneuvoston asetuksen vaatimukset moninkertaisuusperiaatteen osalta.

Esitetyn toteutusratkaisun suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

*Erotteluperiaate automaatiassa*

Eri turvallisuusluokkiin kuuluvien automaatiojärjestelmien erottelussa käytettäviä periaatteita ei ole selkeästi kuvattu hakemusaineistossa. Vakavien onnettomuuksien hallinta-automaatio ja seurantajärjestelmät tullaan erottelemaan muusta automaatiosta.

Eri redundanssien automaatiojärjestelmät on erotettu toisistaan fyysisesti ja toiminnallisesti.

Automaatiojärjestelmien erotteluperiaatteeseen liittyvät suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia. Turvallisuusluokiteltujen järjestelmien välisiä erotteluperiaatteita voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

*Erilaisuusperiaate automaatiassa*

EU-APWR-laitoksen reaktorisuojausjärjestelmässä erilaisuusperiaatetta on sovellettu siten, että eri onnettomuus- ja vikatilanteita indikoivat signaalit tulevat vaihtoehtoisesti kahdesta eri prosessisuureesta. Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen erilaisuusperiaatteen vaatimukset.

Laitoksen automaatio perustuu yhteen tietokonepohjaiseen järjestelmäalustaan, jota käyttävät sekä käyttöautomaatio, säätö- ja rajoitusjärjestelmät että suojausjärjestelmät. Lisäksi laitospäätöksissä on tietokonepohjaisen automaation yhteisvikojen varalle erilaisuusperiaatteeseen perustuva suojausjärjestelmä DAS, joka perustuu erilliseen tietokonepohjaiseen ja/tai langoitettuun tekniikkaan. DAS-järjestelmän laajuus tullaan sovitamaan suomalaisten vaatimusten mukaisiksi.

Esitetyn toteutusratkaisun suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Erilaisuusperiaatteen toteutumista arvioidaan rakentamislupaa haettaessa.

*Valvomo*

Valvomossa on pääohjauspulpetti, tauluosuus sekä vuoropäällikön ja vuoroteknikon pulpetit sekä erilaisuusperiaatteeseen perustuvan suojausjärjestelmän DAS ohjauspulpetti.

Pääohjauspulpetista laitosta ohjataan normaalitilassa, käyttöhäiriöissä ja onnettomuustilanteissa. Pääohjauspulpettiin tulee lisäksi tarvittava informaatio ohjaustoimenpiteiden suorittamiseksi edellä mainituissa tilanteissa.

Tauluosuus koostuu suurkuvavideonäytöistä. Tauluosuudessa esitetään kootusti laitoksen ja tärkeimpien komponenttien tila ja tärkeimmät hälytystiedot.

Vuoropäällikön ja vuoroteknikon pulpeteista voidaan valvoa laitoksen parametreja ja tilaa, mutta normaalisti niistä ei voida suorittaa ohjaustoimenpiteitä. Pääohjauspulpetin vikatilanteissa vuoropäällikön ja vuoroteknikon pulpetteja voidaan kuitenkin käyttää varaohjauspaikkoina.

DAS-järjestelmän ohjauspulpettia käytetään pääautomaatiojärjestelmien vikatilanteissa.

Valvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

*Varavalvomo*

EU-APWR-laitoksessa on varavalvomo, josta turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä voidaan ohjata päävalvomosta riippumattomasti. Varavalvomosta voidaan ohjata laitos hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja edelleen turvalliseen (kylmäsammutettuun) tilaan.

Varavalvomo sijaitsee eri palo-osastossa kuin päävalvomo.

Varavalvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

**4.2.9 Yhteenveto**

EU-APWR-laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Vakavan onnettomuuden hallintaan suunniteltu sydänsulan vakauttaminen suojarakennuksessa ei periaatetasolla täytä suomalaisia vaatimuksia. Laitostoimittaja tutkii suomalaiset vaatimukset täyttävän sydänsiepparin lisäämistä laitokseen.

Eräät muut tekniset yksityiskohdat edellyttävät lisäanalyyseja ja kokeellista kelpoistusta sekä lisäsuunnittelua. STUKin käsityksen mukaan mikään niistä ei ole sellainen, että sen voitaisiin olettaa muodostuvan esteeksi ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta annetun valtioneuvoston asetuksen (733/2008) vaatimusten täyttämiseksi. Tällaisia teknisiä yksityiskohtia ovat

- erilaisuusperiaatteen toteuttava reaktorin sammutusjärjestelmä

- primääripiirin booripitoisuuden äkillisen laimenemisen hallinta
- hätäjähdytysjärjestelmän imusiivilöiden toiminnan kokeellinen varmentaminen
- suojarakennuksen eristystoiminnon erillisyyperiaatteen toteuttaminen
- sähkö- ja automaatiojärjestelmien erotteluperiaate
- erilaisuusperiaatteen toteutuminen automaatiojärjestelmien osalta
- automaatiojärjestelmien sähkönsyötön erilaisuusperiaate
- Forsmark häiriöstä saatujen yleisten opetusten huomioon ottaminen sähköjärjestelmissä

### 4.3 EPR - European Pressurised Water Reactor - AREVA

#### 4.3.1 Yleistä

EPR on saksalais-ranskalaisen AREVAN suunnittelema noin 1700 MWe painevesilaitos. Laitosvaihtoehdon referenssilaitoksena on Olkiluoto 3. Alun perin EPR pohjautuu saksalaiseen 1300 MWe Konvoi-sarjan ja ranskalaiseen 1450 MWe N4-sarjan laitoksiin. EPR-laitoksen turvallisuusarvio perustuu Olkiluoto 3 -laitoksen yhteydessä toimitettuun aineistoon.

EPR-laitoksen turvallisuustoiminnot on toteutettu pääosin aktiivisilla järjestelmillä, joita täydentävät painevesilaitoksille tyypilliset passiiviset, hätäjähdytystilanteissa tarvittavat painevesisäiliöt. Laitoksen suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta.

Laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Olkiluoto 3:een verrattuna nyt tarjotun EPR-laitosyksikön tehoa on korotettu noin 7 prosenttia. Tehonkorotus vaikuttaa laitoksen turvallisuustoimintojen suunnitteluun sekä sen käyttäytymiseen häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Tehonkorotuksen vaikutukset on otettava huomioon lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa.

EPR-laitoksen primääripiirissä on neljä pääkiertopiiriä, joissa kussakin on pystysuora höyrystin ja pääkiertopumppu.

Sekundääripiiri on tässä laitostyypissä oleellisesti samanlainen kuin nykyisissä painevesireaktoreissa. Höyrystimiä on neljä ja ne ovat pystysuoria U-putkihöyrystimiä. Höyrystimet vastaavat tekniikaltaan nykylaitoksissa käytössä olevia uusimpia höyrystimiä.

#### 4.3.2 Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §)

*Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset*

Turvallisuuden arviointia ja todentamista varten AREVAlla on käytössään analyysimenetelmät, joita on käytetty Olkiluoto 3 -laitosyksikköä suunniteltaessa. Menetelmät on ylläpidetty ja kelpoistettu käyttötarkoitukseensa. Olkiluoto 3:lle tehdyt analyysit antavat sen käsityksen, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset häiriö- ja onnettomuusanalyysimenetelmille asetetut vaatimukset täyttävät analyysit.

*Todennäköisyysperusteiset analyysit*

AREVAlla on käytössä tason 1 ja 2 todennäköisyysperusteisen riskianalyysin (PRA) menetelmät, joita käytetään Olkiluoto 3 -laitosyksikön PRA-analyyseissa. Analyysit kattavat kaikki laitoksen käyttötilat mukaan lukien ulkoisiin ja sisäisiin uhkiin liittyvät tapahtumat. Analyysimenetelmiä ja Olkiluoto 3:lle tehtyjen PRA-laskujen tuloksia koskevien tietojen perusteella voidaan arvioida, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset PRA-vaatimukset täyttävät analyysit

**4.3.3 Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen(VNA 733/2008 7–10 §)**

AREVA on osana Olkiluoto 3 -laitosyksikön suunnittelua laskenut onnettomuustilanteissa ympäristön väestölle aiheutetut säteilyannokset. Näiden laskujen perusteella väestön säteilyannokset jäävät alle suomalaisissa vaatimuksissa onnettomuuksille asetettujen annosrajojen.

**4.3.4 Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §)***Reaktori ja polttoaine*

EPR-laitoksen reaktori on rakenteeltaan oleellisin osin samanlainen kuin nykyisin käytössä olevissa painevesireaktorilaitoksissa. Reaktorissa on 241 polttoainepipua ja 89 säätösauvaa. Polttoaine- ja sydänsuunnittelussa noudatetaan samanlaisia käytäntöjä kuin suurikokoisissa käytössä olevissa painevesireaktoreissa. Polttoainepiiput ovat tyyppisiä nykyisin isoissa painevesireaktoreissa käytettyjä 17x17-nippuja. Reaktiivisuuden hallinta käyttöjakson aikana tehdään primäärijäähdytteessä olevalla boorilla ja polttoaineessa olevalla palavalla myrkyllä.

Reaktorisydän on ympäröity tehojakautuman tasoittamiseksi ja polttoainetalouden parantamiseksi ns. raskaalla heijastimella, jota käytetään ensimmäistä kertaa rakenteilla olevassa Olkiluoto 3 -laitosyksikössä. Raskas heijastin on reaktorisydämen ympärillä oleva teräksestä valmistettu sylinterimäinen rakenne, jolla heijastetaan ulos vuotavia neutroneita takaisin reaktorisydämeen tehojakautuman tasoittamiseksi ja suojataan reaktoripainesäiliötä neutronisäteilytyksen aiheuttamalta haurastumiselta..

Polttoaineen poistopalama on suunniteltu suuremmaksi kuin Suomessa hyväksytty polttoainepiipun maksimipoistopalama 45 MWd/kgU. Reaktorin käyttö voidaan kuitenkin

suunnitella myös suomalaisen palamarajan mukaiseksi. Jos tätä suurempia palamia pyritään hyväksyttämään, pitää hakijan osoittaa kokeellisesti, että polttoaine täyttää suomalaiset onnettomuustilanteita koskevat suunnittelukriteerit.

Reaktorin ja polttoaineen suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

### *Ydintekniset päälaitteet*

EPR-laitoksen materiaali- ja rakennerratkaisut vastaavat olennaisin osin Olkiluoto 3:ssa käytettäviä. Niukkaseosteista terästä oleva reaktoripainesäiliö hitsataan kokoon pyörähdyssymmetrisistä takeista käytännössä koetellulla tekniikalla ja pinnoitetaan sisäpuolelta hitsaamalla ruostumattomalla teräksellä. Tärkeimpien päälaitteissa käytettävien materiaalien analyysi- ja ominaisuusvaatimuksissa on huomioitu riittävän sitkeyden säilyttäminen läpi käyttöiän. Reaktorin sisäosiin kuuluva raskas heijastin vähentää reaktorin vaipan saamaa neutroniannosta ja säteilyhaurastumisen voimakkuutta. Säteilyhaurastumista seurataan sydänalueen takeista ja hitsista normaalimenettelyn mukaisella seurantaohjelmalla.

Myös höyrystimien ja paineistimen valmistuksessa noudatetaan soveltuvin osin samoja ratkaisuja kuin reaktoripainesäiliössä. Höyrystimen primäärikammio on pinnoitettu ruostumattomalla teräksellä ja osin nikkelpohjaisella seoksella. Lämmönsiirtoputket ovat nikkelpohjaista seosta Inconel 690 TT, mikä on nykytiedon mukaan materiaaliteknisesti aiempia vaihtoehtoja selvästi kestävämpi ratkaisu.

Pääkiertoputkisto koostuu toisiinsa hitsaamalla yhteen liitetyistä ruostumattomista terästakeista, jotka omaavat hyvät sitkeysominaisuudet. Toisaalta tämä materiaalivalinta johtaa päälaitteisiin liittyvissä liitoksissa vaativan eripariliitoksen käyttöön, mikä on teknisesti toteutettavissa nykyisin käytettävien teknisin ratkaisuin. Eripariliitosten käytön aikaiseen seurantaan on kuitenkin kiinnitettävä huomiota rakentamislupaa haettaessa.

Primääripiirin eheys varmistetaan korkeilla suunnittelun ja valmistuksen laatuvaatimuksilla sekä suomalaisten turvallisuusvaatimusten mukaista ”vuoto ennen murtumaa”-periaatetta (LBB) soveltamalla. Sen lisäksi turvallisuusjärjestelmien suunnittelussa otetaan huomioon halkaisijaltaan suurimman primääripiirin putken katko pääkiertoputkisto voidaan vaadittaessa varustaa putkikatkojen varalta riittävin suojauskein.

Ydinteknisien päälaitteiden suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

### *Primääripiirin paineenhallinta*

EPR-laitoksen primääripiirin paineenhallintaa varten on kolme varoventtiiliä. Erilaisuusperiaatteen primääripiirin paineen hallinnassa toteuttaa paineistimen ruiskutusjärjestelmä käyttäen pääkiertopumppujen paine-eroa.

Paineen hallintaan osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

### *Suojarakennus*

EPR-laitoksen primäärisuojarakennus on esijännitetystä teräsbetonista rakennettu, tiivistävällä teräsverhouksella (liner) varustettu ns. iso kuiva suojarakennus, joka on suunniteltu säilyttämään hyväksymiskriteerien mukaisen tiiveytensä häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Sen ulkopuolelle on suunniteltu betoninen sekundäärisuojarakennus, joka suojaa primäärisuojarakennusta ulkoisilta uhilta.

### *Vakavat onnettomuudet*

EPR-laitoksen vakavien onnettomuuksien hallinta perustuu primääripiirin paineenalennukseen, jälkilämmön poistoon suojarakennuksesta ruiskutusjärjestelmällä, sydänsulan levittämiseen ohueksi kerrokseksi ja sen jäädyttämiseen erillisessä leviämisosastossa sekä vedyn poistoon rekombinaattoreilla.

Primääripiirin paineen alentamisen tarkoituksena on estää reaktoripainesäiliön puhkeamisen aikana syntyvä korkeapaineinen sulapurkaus. EPR-laitoksessa primääripiirin paine voidaan alentaa kahdella rinnakkaisella, laitoksen muista järjestelmistä riippumattomilla paineenalennusventtiileillä, jotka puhaltavat suojarakennukseen sijoitettavaan ulospuhallussäiliöön. Kummassakin linjassa on kaksi peräkkäistä venttiiliä. Onnettomuudessa avataan toinen linjoista, mikä riittää alentamaan primääripiirin paineen suunnitellulle tasolle. Venttiilien avaukseen tarvittava käyttövoima saadaan akkuvarmennetusta vakavien onnettomuuksien sähköjärjestelmästä.

Jälkilämpö poistetaan vakaviin onnettomuuksiin tarkoitettulla suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä JMQ. Järjestelmä on tarkoitettu vain vakavien onnettomuuksien hallintaan, suunnittelun perustana olevissa onnettomuuksissa sitä ei tarvita. JMQ-järjestelmä koostuu kahdesta rinnakkaisesta linjasta, joista yksi riittää poistamaan onnettomuudessa suojarakennukseen vapautuvan jälkilämmön lopulliseen lämpönieluun. Suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmä ja sen tukena toimivat järjestelmät saavat käyttövoimansa vakavien onnettomuuksien sähköjärjestelmästä.

Sydänsula jäädytetään EPR-laitoksessa suojarakennuksen pohjatasolle sijoitetussa sulan leviämistilassa. Leviämistilan lattia ja seinät on vuorattu paksuilla rautaelementeillä, joiden ala- tai takaosa on varustettu jäädytyskanavin. Lattiaelementit on päällystetty betonikerroksella, jonka tarkoituksena on suojata elementtejä sulan purkausvaiheen aikana. Reaktoriainesäiliön rikkoutumisen jälkeen sydänsula purkautuu ensin reaktorikuiluun ja sieltä kuilun pohjalla olevan metalliportin ja lyhyen tunnelin kautta leviämistilaan. Leviämistilaan purkautuva sula avaa hätäjäähdytysaltaaseen johtavat tulvitusventtiilit, joiden kautta jäädyte virtaa leviämistilan lattiaelementtien alapuolelle ja seinäelementtien takana oleviin jäädytyskanaviin sekä lopulta sulan päälle. Leviämisaluel-la syntyvä höyry kulkeutuu suojarakennuksen kupoliosaan, missä se lauhdutetaan suo-

jarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä. Sulan kulkeutuminen leviämisalueelle ja sen jäädytys hätäjähdytysaltaan vedellä eivät vaadi ulkoista käyttövoimaa.

Vakavan onnettomuuden aikana syntyy huomattava määrä vetyä, joka paineistaa suojarakennusta. Riittävän suurena pitoisuutena vety voisi palaa tai räjähtää. Painevesireaktoriin suojarakennus on käytön aikana ilmatäyteinen, joten siellä on palamiseen tarvittavaa happea. Painevesireaktoriin suuri, esijännitetystä betonista tehty suojarakennus on kuitenkin varsin kestävä vetypalojen tai räjähdysten suhteen. EPR-laitos on vedyn poistoa varten varustettu noin 50 passiivisella autokatalyyttisellä rekombinaattorilla. Rekombinaattorit eivät tarvitse käyttövoimaa ja ne poistavat vetyä niin alhaisilla pitoisuuksilla, ettei syntyvää kaasuseosta ehdi syntyä.

Suomeen rakennettavassa EPR:ssa (Olkiluoto 3) on suomalaisten vaatimusten edellyttämä suojarakennuksen suodatettu ulospuhallusjärjestelmä. Sen avulla voidaan onnettomuuden jälkivaiheessa poistaa lauhtumattomat kaasut suojarakennuksesta ja alentaa suojarakennuksen paine ulkoilman kanssa samalle tasolle.

Vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### 4.3.5 Tuvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §)

EPR-laitoksen turvallisuustoiminnot on toteutettu pääosin aktiivisilla järjestelmillä. Eräissä yksityiskohdissa käytetään periaatteeltaan passiivisia järjestelmiä kuten reaktorin pikasulun toteuttavassa järjestelmässä ja painevesilaitoksissa hätäjähdytysjärjestelmään liittyvässä painevesisäiliössä.

##### *Reaktiivisuuden hallinta*

EPR-laitoksessa reaktiivisuuden hallinta on toteutettu aktiivisesti säätösauvoilla ja primäärijähdytteessä olevalla boorilla sekä polttoaineessa käytetyllä palavalla myrkyllä.

Häiriötilanteissa reaktori sammutetaan kuten kaikissa muissakin painevesilaitoksissa pudottamalla säätösauvat reaktorisydämeen. Reaktorin pikasulkujärjestelmä on luonteeltaan passiivinen. Säätösauvat putoavat reaktorisydämeen painovoiman avulla reaktorin suojausautomaation katkaistua virran sauoja kannattelevilta sähkömagneeteilta. Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen edellyttämän moninkertaisuusperiaatteen.

Erilaisuusperiaatteen toteuttaa hätäboorausjärjestelmä (EBS), joka aktiivisilta osiltaan on 3 x 100 % (järjestelmässä on kaksi reaktoriin johtavaa putkilinjaa).

Polttoaineeseen sekoitetun palavan myrkyllisen ansioista voidaan primäärijähdytteen booripitoisuutta pitää kohtuullisen pienenä myös sen jälkeen, kun reaktoriin on ladattu uutta polttoainetta. Pienemmästä primäärijähdytteen booripitoisuudesta ja tehokkaammas-pikasulusta huolimatta reaktorin suunnittelussa on varauduttava virheelliseen primääripiiriin jähdytteen booripitoisuuden laimenemiseen. Tämä ns. puhtaan veden tulpan



hallinta on otettu huomioon suunnittelussa seisokkitilanteissa, käynnistystilanteissa, sekä häiriö ja onnettomuustilanteissa. Esitetty toteutusratkaisu täyttää suomalaiset vaatimukset.

Jäähtymistilanteissa reaktorin uudelleen kriittisyys estetään säätösauvojen ja keskipainehätäjäähdytysjärjestelmän (JND) reaktorin jäähdytyspiiriin pumpaamaan booriliuoksen avulla.

Reaktiivisuuden hallintaa liittyvien turvallisuustoimintojen suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

### *Reaktorin jäähdytys*

#### *Reaktorin jäähdytys seisokkitilanteissa*

Kuumaseisokissa reaktorin jälkilämpö poistetaan painevesireaktoreille tavanomaiseen tapaan höyrystimien kautta suoraan turbiinin lauhduttimeen käyttäen turbiinin ohituslinjoja. Mikäli tämä ei ole mahdollista, voidaan jälkilämpö poistaa pumpaamalla höyrystimisiin vettä hätäsyöttövesijärjestelmällä ja puhaltamalla höyry ilmakehään sekundääripiiriin ulospuhallusventtiileillä. Tätä käsitellään jäljempänä häiriöiden yhteydessä.

Primääripiirin paineen ja lämpötilan alentamisen jälkeen jälkilämpö poistetaan reaktorista jälkilämmönpoistojärjestelmällä RHR (4 x 100 %), joka käyttää samoja pumppuja kuin matalapainehätäjäähdytysjärjestelmä. Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijäähdytysjärjestelmän (CCWS, 4 x 100 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS, 4 x 100 %) kautta. Näitä samoja järjestelmiä käytetään ensisijaisina jälkilämmönpoistojärjestelminä myös häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

Jos normaali jälkilämmönpoistojärjestelmä (RHR) ei ole käytettävissä tilanteessa, jossa reaktoripainesäiliön kansi on auki, voidaan jälkilämpö poistaa höyryttämällä vettä suojarakennukseen ensimmäisen 24 tunnin ajan ja sen jälkeen siirtämällä jälkilämpö suojarakennuksen suodatetulla ulospuhallusjärjestelmällä ilmakehään. Korvaava jäähdytysvesi reaktoriin saadaan JND-järjestelmällä IRWST-säiliöstä.

#### *Reaktorin jäähdytys onnettomuuksissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä*

Mikäli häiriö tai onnettomuus estää normaalin jälkilämmön poiston turbiinin lauhduttimeen, jälkilämpö primääripiiristä voidaan siirtää ilmakehään käyttämällä sekundääripiirin hätäsyöttövesijärjestelmää (EFWS, 4 x 100 %) ja höyrystimen ulospuhallusventtiilejä (MSDV). Hätäsyöttövesijärjestelmällä pumpataan vettä hätäsyöttövesisäiliöstä höyrystimisiin ja siellä syntyvä höyry johdetaan ulospuhallusventtiilien kautta ilmakehään. Hätäsyöttövesijärjestelmässä on neljä linjaa. Järjestelmällä saadaan reaktori hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja voidaan pitää siinä vähintään 72 tuntia.

Jos jälkilämmön poisto sekundääripiiriin kautta ei ole mahdollista ja primääripiirin paine ja lämpötila ovat korkeat, jälkilämpö voidaan poistaa myös suoraan primääripiiristä

pumppaamalla piiriin kylmää booripitoista vettä keskipainehätäjäähdytysjärjestelmän ((JND) pumpuilla IRWST-säiliöstä ja poistamalla piiristä kuumaa vettä varoventtiilien läpi takaisin IRWST-säiliöön (ns. ”feed and bleed”- jäähdytys). IRWST -säiliöstä jälkilämpö poistetaan edelleen jälkilämmönpoistojärjestelmällä RHR (4 x 100 %). Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijäähdytysjärjestelmän (CCWS, 4 x 100 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS, 4 x 100 %) avulla.

Häiriö- ja onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä, jäähtymisestä johtuva tilavuuden pienenemisen korvaava lisävesi reaktoriin saadaan ensisijaisesti normaalilla lisävesijärjestelmällä (KBA, pääosin 2 x 100 %)

Vaihtoehtoisesti lisävesi saadaan keskipainehätäjäähdytysjärjestelmästä (JND 4 x 100%), joka ottaa lisävetensä suojarakennuksen sisäpuolella sijaitsevasta IRWST-säiliöstä.

#### *Reaktorin jäähdytys jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa*

Onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin jäähdytettä menetetään vuodon seurauksena, reaktorin jäähdytys voidaan hoitaa tätä tilannetta varten suunnitelluilla hätäjäähdytysjärjestelmällä.

EPR-laitoksessa primääripiirin hätäjäähdytys on toteutettu aktiivisella keskipainehätäjäähdytysjärjestelmällä (JND, 4 x 100 %) ja matalapainehätäjäähdytysjärjestelmällä (JNG, 4 x 100 %) sekä neljällä painevesisäiliöllä. Primääripiirin paineen alentamiseksi keskipainehätäjäähdytyspumppujen toiminta-alueelle käytetään sekundääripiirin puhallusventtiilejä. Tämä järjestelmä on osa hätäjäähdytystoimintoa. Keski- ja matalapainehätäjäähdytysjärjestelmillä on yhteiset syöttöyhteet primääripiirin kylmähaaroihin. Jäähdytysveden saanti reaktoriin järjestelmien mahdollisten yhteisvikojen yhteydessä on varmistettu siten, että syöttö voidaan kääntää kuumahaaraan johtaviin putkilinjoihin ja sitä kautta jäähdyttämään reaktorisydäntä. Hätäjäähdytysjärjestelmän pumput ottavat jäähdytteen suojarakennuksen sisäpuolella sijaitsevasta vesisäiliöstä (IRWST) imusiivilöiden kautta. Suojarakennukseen vuotanut reaktorin jäähdytysvesi valuu takaisin IRWST-säiliöön. IRWST-säiliössä sijaitsevat imusiivilät on suunniteltu siten, että ne eivät tukkeudu onnettomuuden seurauksena syntyvästä tai muuten suojarakennuksessa olevasta irtaimesta materiaalista. Lisäksi siivilät on varustettu huuhtelujärjestelmällä tukkeutumisen varalle. Imusiivilöiden osittainen tukkeutuminen on myös otettu asianmukaisesti huomioon määriteltäessä hätäjäähdytyspumppujen tarvittavaa imukorkeutta. Imusiivilät on myös kokeellisesti osoitettu toimiviksi.

Erilaisuusperiaate edellä esitetyn hätäjäähdytyksen osalta pienissä jäähdytevuodoissa on toteutettu siten, että primääripiiri jäähdytetään nopeasti sekundääripiirin puhallusventtiileillä tai primääripiirin varoventtiileillä ja primääripiirin paine lasketaan kunnes päästään alueelle, jossa JNG-järjestelmä ja hätäjäähdytyksen painevesisäiliöt voi toimia. JNG-järjestelmä voidaan korvata JND-järjestelmällä. Järjestelmät ottavat jäähdytysvetensä IRWST-säiliöstä.

Jälkilämpö IRWST-säiliöstä poistetaan jälkilämmönpoistojärjestelmällä RHR (4 x 100 %), joka käyttää samoja pumppuja kuin matalapainehätäjäähdytysjärjestelmä. Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijäähdytysjärjestelmän (CCWS, 4 x 100 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS, 4 x 100 %) kautta.

Reaktorisydämen jäähdytykseen ja jälkilämmön poistoon liittyvien järjestelmien esitetty toteutusratkaisu täyttää periaatetasolla suomalaiset vaatimukset.

#### *Jälkilämmön poisto suojarakennuksesta*

EPR-laitoksessa jälkilämpö voidaan tarvittaessa poistaa suojarakennuksesta primääripiirin tai sekundääripiirin vuodon yhteydessä IRWST-säiliöstä ja sieltä edelleen välijäähdytysjärjestelmän (CCWS) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS) kautta lopulliseen lämpönieluun.

Reaktoripainesäiliön kannen ollessa auki reaktorin normaali jälkilämmönpoistojärjestelmä voidaan korvata höyryttämällä vettä suojarakennukseen ensimmäisen 24 tunnin ajan ja sen jälkeen siirtämällä jälkilämpö suojarakennuksen suodatetulla ulospuhallusjärjestelmällä ilmakehään. Jäähdytysvesi reaktoriin saadaan JN-järjestelmällä IRWST-säiliöstä.

Jälkilämmön poistoon suojarakennuksesta osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### *Suojarakennuksen eristys*

Suojarakennuksen läpäisevien putkilinjojen eristyksessä häiriö- ja onnettomuustilanteissa on käytetty kahta eri periaatteella toimivaa varoventtiiliä.

Suojarakennuksen eristystoiminnon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### *Lopullisen lämpönielun menetys*

Jos lopullinen lämpönielu eli mahdollisuus siirtää jälkilämpöä turpiinin lauhduttimen tai varmennetun merivesipiirin kautta mereen menetetään reaktoripiirin ollessa suljettuna, jälkilämpö voidaan poistaa reaktorin jäähdytyspiiristä pumppaamalla höyrytimien sekundääripuolelle vettä hätäsyöttövesijärjestelmällä ja puhaltamalla höyryä ilmakehään. Tällä järjestelyllä saadaan reaktori pidettyä hallitussa tilassa vähintään 72 tuntia.

Reaktoripainesäiliön kannen ollessa auki normaali jälkilämmönsiirtoketju voidaan korvata höyryttämällä vettä suojarakennukseen ensimmäisen 24 tunnin ajan ja sen jälkeen siirtämällä jälkilämpö suojarakennuksen suodatetulla ulospuhallusjärjestelmällä ilmakehään. Jäähdytysvesi reaktoriin saadaan JNG-järjestelmällä.

Lopullisen lämpönielun menetyksen hallintaan osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### *Polttoainealtaiden jäähdytys*

Polttoainealtaiden jäähdytys tapahtuu kyseisten altaiden jäähdytysjärjestelmällä. Järjestelmässä on kaksi linjaa ja kummassakin linjassa on kaksi pumppua (FAK). Polttoaineallas on jaettu kahtia kahdeksi altaaksi.

Polttoainealtaiden jäähdytys voitaisiin muiden mahdollisuuksien menettämisen jälkeen toteuttaa siten, että jälkilämpö poistettaisiin höyrystämällä vettä altaissa. Polttoainerakennuksen paineen noustessa murtolevy rikkoutuisi ja höyry poistettaisiin ilmastointipiipun kautta ilmakehään. Lisävesi polttoainealtaisiin olisi saatavissa useista vaihtoehtoisista lähteistä: palovesijärjestelmästä (SGB), polttoainealtaiden puhdistusjärjestelmästä FAL tai täyssuolanpoistetun veden jakelujärjestelmästä (GHC).

Polttoainealtaiden jäähdytykseen osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### *Seisokkiturvallisuus*

Reaktorin alikriittisenä pysyminen varmistetaan kaikissa seisokkitilanteissa pitämällä säätösauvat reaktorissa ja lisäämällä riittävän väkevää booriliuosta jäähdytysveteen. Reaktorin alikriittisyyttä seisokeissa valvotaan reaktorin ulkopuolisilla neutronivuodektektoreilla ja hallinnollisilla menettelyillä.

Primääripiirin varoventtiileillä ja jälkilämmönpoistojärjestelmässä olevilla varoventtiileillä estetään primääripiirin kylmäpaineistuminen.

Jälkilämmön poisto primääripiiristä ja suojarakennuksesta hoidetaan reaktoripainesäiliön kannen ollessa seisokkitilanteessa kiinni tai auki kuten edellä kohdassa ”Reaktorin jäähdytys” on kerrottu.

Seisokkiturvallisuuteen liittyvien järjestelmien esitetty toteutusratkaisu täyttää periaate-  
tasolla suomalaiset vaatimukset.

#### *Sähköjärjestelmät*

Laitoksen ulkoisen sähkötehon syöttö on toteutettu omakäyttömuuntajien kautta 400 kV verkosta tai kahden varaomakäyttömuuntajan kautta 110 kV verkosta.

Ulkoisten syöttölähteiden ollessa vikaantuneita laitoksen turvallisuusjärjestelmien sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelminä toimivat vaihtoehtoisesti

- varavoimadieselgeneraattorit (4 x 100 %)
- erilaisuusperiaatteen toteuttavat vaihtoehtoiset varavoimadieselgeneraattorit (2 x 100 %)

- akustot varavoimasähkölähteiden käynnistymisen aikana (mitoituspurkausaika 2 h).

–  
Vakavien reaktorionnettomuuksien hallintajärjestelmillä on omat erilliset akustot (mitoituspurkausaika 12 h) sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelminä.

Sähköjärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

### *Rakennustekniikka ja palontorjunta*

Rakennusten ja talotekniikan sekä palontorjunnan perussuunnittelu vastaa Olkiluoto 3 -laitosyksikköä. Rakennustekniikan, talotekniikan ja palontorjuntakonseptin suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### 4.3.6 Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §)

EPR-laitoksen suojautumisstrategiana suuren matkustajakoneen törmäyksen varalle on suunnitella ja rakentaa suoja-, polttoaine- ja turvallisuusrakennukset 2 ja 3 lentokonetörmäyskestoiseksi. Turvallisuusrakennukset 1 ja 4 on sijoitettu suojarakennuksen kummallekin puolelle ja näin niiden suojauksessa on käytetty etäisyys- ja varjostuserottelua. Varmennetun merivesijärjestelmän kahden pumppamorakennuksen suojauksessa on käytetty etäisyuserottelua. Samoin varavoimadieselgeneraattorirakennukset sijaitsevat eri puolilla suojarakennus- ja turvallisuusrakennusmassaa ja siten niiden suojauksessa on käytetty etäisyys- ja varjostuserottelua. Päähöyry- ja syöttövesijärjestelmien erotusventtiilit on sijoitettu eri puolille suojarakennusta ja niiden suojauksessa on siten käytetty etäisyys- ja varjostuserottelua. Turbiinirakennusta ei suunnitella lentokonetörmäyskestoiseksi, koska sinne ei ole sijoitettu turvallisuustoimintojen kannalta merkittäviä järjestelmiä.

Esitetyn toteutusratkaisun suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### 4.3.7 Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §)

Laitoksen tila- ja sijoitussuunnittelussa on huomioitu sisäiset uhkatekijät kuten tulvat ja tulipalot sijoittamalla keskeisten turvallisuusjärjestelmien neljä rinnakkaista osaa toisistaan erotettuihin tiloihin. Suurin osa neljästä osajärjestelmästä muodostuvista turvallisuusjärjestelmistä on sijoitettu turvallisuusrakennuksiin, joita on neljä kappaletta. Johdavana periaatteena EPR-laitoksen suunnittelussa on, ettei yhdessä osajärjestelmässä tapahtuva alkutapahtuma vaaranna toisten osajärjestelmien toimintaa. Osajärjestelmien välisten rakenteiden paloluokitus on kaksi tuntia. EPR-laitoksen yksityiskohtaisen laitosuunnittelun perusteella on Olkiluoto 3 -projektin yhteydessä tehty palo- ja tulva-analyysyjä, joita STUK on käsitellyt osana rakentamisen aikaista tarkastustyötä.

Esitetyn toteutusratkaisun suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### 4.3.8 Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §)

##### *Automaattiset turvallisuustoiminnot*

EPR-laitoksen automaatiossa on useita eri puolustuslinjoja syvyysuunnassa. Ensimmäisen linjan muodostavat normaali käyttöautomaatio, säätöjärjestelmät ja rajoitusjärjestelmät. Toisessa linjassa on ensisijaisesti toimiva, kaikki turvallisuustoiminnot tarvittaessa käynnistävä suojausjärjestelmä. Kolmannessa linjassa on tärkeimmät turvallisuustoiminnot käynnistävä varajärjestelmä SAS ja erilaisella tekniikalla toteutettu toinen varajärjestelmä HBS (Hardwired Backup System). Viimeisen linjan muodostaa vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmä.

Eri puolustuslinjojen automaatiojärjestelmät on suunniteltu pitämään laitoksen parametrit automaattisesti turvallisella alueella käyttöhäiriöiden aikana ja rajoittamaan onnettomuustilanteiden seurauksia.

Järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

##### *Moninkertaisuusperiaate automaatiossa*

Ensisijaisesti toimivassa suojausjärjestelmässä on neljä rinnakkaista osajärjestelmää. Suojaustoiminto käynnistyy, mikäli kaksi neljästä rinnakkaisesta suojauskanavasta haavahtuu. Varajärjestelmä HBS, käyttöautomaatioon kuuluvat tehonsäätö ja rajoitusjärjestelmät (RCSL) sekä turvallisuuden kannalta tärkeä automaatio (SAS) muodostuvat myös neljästä rinnakkaisesta osajärjestelmästä.

Järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

##### *Erotteluperiaate automaatiossa*

Turvallisuusluokan 2 automaatiojärjestelmät on eroteltu fyysisesti ja toiminnallisesti muiden turvallisuusluokkien laitteista. Turvallisuusluokan 3 järjestelmät on eroteltu muista järjestelmistä toiminnallisesti.

Vakavien onnettomuuksien hallinta-automaatio ja seurantajärjestelmä on erotettu muusta automaatiosta.

Eri redundanssien automaatiojärjestelmät on erotettu toisistaan fyysisesti ja toiminnallisesti.

Automaatiojärjestelmiin liittyvät erotteluperiaatteiden suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### *Erilaisuusperiaate automaatiossa*

EPR-laitoksen reaktorisuojausjärjestelmässä erilaisuusperiaatetta on sovellettu siten, että eri onnettomuus- ja vikatilanteita indikoivat signaalit tulevat vaihtehtoisesti kahdesta eri prosessisuureesta.

Laitoksen automaatio perustuu kahteen tietokonepohjaiseen järjestelmälustaan. Suojaus-, säätö- ja rajoitustoiminnot toteutetaan toisella ja muut automaatiotoiminnot toisella järjestelmälustalla.

Laitoskonseptissa on tietokonepohjaisen automaation yhteisvikojen varalle erilaisuusperiaatteen perustuva varajärjestelmä HBS.

Järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### *Valvomo*

EPR-laitoksen valvomossa on ohjauspulpetteja sekä tauluosoitus. Turbiini- ja reaktoriohjaajan ohjauspulpeteista laitosta ohjataan normaalitilassa, käyttöhäiriöissä ja onnettomuustilanteissa. Ohjauspulpetteihin tulee lisäksi ohjaajille tarvittava informaatio ohjaustoimenpiteiden suorittamiseksi.

Tauluosoitus koostuu kiinteistä indikaattoreista, ohjauskytkimistä sekä suurkuvavideo näytöistä. Tauluosoituksen tarkoituksena on esittää kootusti laitoksen ja tärkeimpien komponenttien tila ja tärkeimmät hälytystiedot. Tauluosoituksesta on lisäksi langoitettuun tekniikkaan perustuvat käsiohjauspainikkeet, joista laitosta ohjataan digitaalisten automaatiojärjestelmien yhteisvikatilanteessa tai vakavissa onnettomuuksissa.

Valvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### *Varavalvomo*

EPR-laitoksessa on varavalvomo, josta turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä voidaan ohjata päävalvomosta riippumattomasti. Varavalvomosta voidaan ohjata laitos hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja edelleen turvalliseen (kylmasammutettuun) tilaan.

Varavalvomo sijaitsee eri palo-osastossa kuin päävalvomo.

Varavalvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### 4.3.9 Yhteenveto

Laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Olkiluoto 3:een verrattuna nyt tarjotun EPR-laitosyksikön tehoa on korotettu noin 7 prosenttia. Tehonkorotus vaikuttaa laitoksen turvallisuustoimintojen suunnitteluun sekä laitoksen käyttäytymiseen häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Tehonkorotuksen vaikutukset on otettava huomioon mahdollista rakentamislupaa haattaessa.