

30.9.2009

 ALUSTAVA TURVALLISUUSARVIO LOVIISA 3 -YDINVOIMALAITOS-  
HANKKEESTA

## LIITE 1: LAITOSVAIHTOEHTOJEN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTI

JOHDANTO.....	5
LAITOSVAIHTOEHTOJEN ARVIOINTIPERUSTEET .....	5
KIEHUTUSVESIREAKTORILLA VARUSTETUT LAITOSVAIHTOEHDOT .....	8
<b>ABWR - Advanced Boiling Water Reactor, Toshiba-Westinghouse</b> .....	8
Yleistä.....	8
Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §).....	9
Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset.....	9
Todennäköisyysperusteiset analyysit .....	9
Uuden tyyppisten järjestelmien kelpoistus.....	9
Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 7–10 §) .....	9
Reaktori ja polttoaine .....	10
Ydintekniset päälaitteet .....	11
Suojarakennus .....	12
Vakavat onnettomuudet.....	12
Turvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §) .....	13
Reaktorin reaktiivisuuden hallinta .....	14
Reaktorin jäähdytys.....	14
Reaktorin jäähdytys seisokkitilanteissa.....	14
Reaktorin jäähdytys onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä.....	15
Reaktorin jäähdytys jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa .....	16
Suojarakennuksen eristys .....	17
Lopullisen lämpönielun menetys .....	17
Polttoainealtaiden jäähdytys.....	17
Seisokkiturvallisuus .....	18
Sähköjärjestelmät .....	18
Rakennustekniikka ja palontorjunta .....	19
Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §) .....	20
Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §) .....	20
Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	21
Automaattiset turvallisuustoiminnot .....	21
Moninkertaisuusperiaate automaatiassa .....	22
Erotteluperiaate automaatiassa.....	22
Erilaisuusperiaate automaatiassa.....	22
Valvomo .....	23
Varavalvomo .....	23
Reaktoripainesäiliön pinnanmittaus .....	24
Yhteenveto .....	24

<b>ESBWR - Economical and Simplified Boiling Water Reactor, GE-Hitachi</b> .....	24
Yleistä.....	24
Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §).....	25
Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset.....	25
Todennäköisyysperusteiset analyysit.....	25
Uuden tyyppisten järjestelmien kelpoistus.....	26
Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 7–10 §).....	26
Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §).....	26
Reaktori ja polttoaine.....	26
Ydintekniset päälaitteet.....	27
Reaktorin paineenhallinta.....	28
Suojarakennus.....	29
Vakavat onnettomuudet.....	29
Turvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §).....	30
Reaktorin reaktiivisuuden hallinta.....	30
Reaktorin jäähdytys.....	31
Reaktorin jäähdytys seisokkitilanteissa.....	31
Suojarakennuksen eristys.....	34
Lopullisen lämpönielun menetys.....	34
Polttoainealtaiden jäähdytys.....	34
Seisokkiturvallisuus.....	35
Sähköjärjestelmät.....	35
Rakennustekniikka ja palontorjunta.....	36
Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §).....	36
Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §).....	37
Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	37
Automaattiset turvallisuustoiminnot.....	38
Moninkertaisuusperiaate automaatiassa.....	38
Erotteluperiaate automaatiassa.....	39
Erilaisuusperiaate automaatiassa.....	39
Valvomo.....	40
Varavalvomo.....	40
Reaktorin pinnanmittaus.....	40
Yhteenveto.....	41
<b>PAINEVESIREAKTORILLA VARUSTETUT LAITOSVAIHTOEHDOT</b> .....	43
<b>AES-2006 - Pressurised Water Reactor - Atomstroyexport</b> .....	43
Yleistä.....	43
Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 18 §).....	43
Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset.....	43
Todennäköisyysperusteiset analyysit.....	44
Uuden tyyppisten järjestelmien kelpoistus.....	44
Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 8–10 §).....	44
Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §).....	44
Reaktori ja polttoaine.....	45

Primääripiirin ja sekundääripiirin paineenhallinta .....	46
Suojarakennus .....	47
Vakavat onnettomuudet.....	47
Turvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §) .....	48
Reaktorin reaktiivisuuden hallinta .....	49
Reaktorin jäähdytys.....	49
Jälkilämmön poisto suojarakennuksesta .....	52
Suojarakennuksen eristys .....	53
Lopullisen lämpönielun menetys .....	53
Polttoainealtaiden jäähdytys.....	53
Seisokkiturvallisuus .....	54
Sähköjärjestelmät .....	54
Rakennustekniikka ja palontorjunta .....	55
Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §) .....	56
Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §) .....	56
Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	57
Automaattiset turvallisuustoiminnot .....	57
Moninkertaisuusperiaate automaatiassa.....	57
Erotteluperiaate automaatiassa.....	58
Erilaisuusperiaate automaatiassa.....	58
Valvomo .....	59
Varavalvomo .....	59
Yhteenveto .....	59
<b>APR1400 - Advanced Power Reactor 1400 - KHNP .....</b>	<b>61</b>
Yleistä.....	61
Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §).....	62
Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset.....	62
Todennäköisyysperusteiset analyysit .....	62
Uuden tyyppisten järjestelmien kelpoistus.....	62
Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 7–10 §) .....	63
Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §).....	63
Reaktori ja polttoaine .....	63
Ydintekniset päälaitteet.....	63
Primääripiirin ja sekundääripiirin paineenhallinta .....	64
Suojarakennus .....	65
Vakavat onnettomuudet.....	65
Turvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §).....	66
Reaktorin reaktiivisuuden hallinta .....	66
Reaktorin jäähdytys.....	67
Jälkilämmön poisto suojarakennuksesta .....	69
Suojarakennuksen eristys .....	70
Lopullisen lämpönielun menetys .....	70
Polttoainealtaiden jäähdytys.....	70
Seisokkiturvallisuus .....	71
Sähköjärjestelmät .....	71

Rakennustekniikka ja palontorjunta .....	72
Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §) .....	72
Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §) .....	73
Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	73
Automaattiset turvallisuustoiminnot .....	73
Moninkertaisuusperiaate automaatiassa.....	74
Erotteluperiaate automaatiassa.....	74
Erilaisuusperiaate automaatiassa.....	74
Valvomo .....	75
Varavalvomo .....	75
Yhteenveto .....	75
<b>EPR - European Pressurised Water Reactor - AREVA .....</b>	<b>76</b>
Yleistä.....	76
Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §).....	77
Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset.....	77
Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen(VNA 733/2008 7–10 §).....	77
Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §).....	77
Reaktori ja polttoaine .....	77
Ydintekniset päälaitteet .....	78
Primääripiirin paineenhallinta .....	79
Suojarakennus .....	79
Vakavat onnettomuudet.....	79
Tuvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §).....	80
Reaktiivisuuden hallinta .....	81
Reaktorin jäähdytys.....	81
Jälkilämmön poisto suojarakennuksesta .....	83
Suojarakennuksen eristys .....	84
Lopullisen lämpönielun menetys .....	84
Polttoainealtaiden jäähdytys.....	84
Seisokkiturvallisuus .....	85
Sähköjärjestelmät .....	85
Rakennustekniikka ja palontorjunta .....	85
Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §) .....	86
Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §) .....	86
Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	86
Automaattiset turvallisuustoiminnot .....	86
Moninkertaisuusperiaate automaatiassa.....	87
Erotteluperiaate automaatiassa.....	87
Erilaisuusperiaate automaatiassa.....	87
Valvomo .....	88
Varavalvomo .....	88
Yhteenveto .....	88

## JOHDANTO

FORTUM 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, AES-2006, APR1400 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 käyttövoiman on perustuttava luonteeltaan passiivisiin laitteisiin. Käyttövoimana voi olla esim. sähkö- tai paineakku. ESBWR:n turvallisuustoiminnot perustuvat suurelta osin passiivisiin järjestelmiin. ABWR:ssä ja AES-2006:ssa on olennaisesti lisätty passiivisten järjestelmien roolia verrattuna nykyisiin laitoksiin. APR1400 ja EPR laitosvaihtoehdojen turvallisuustoiminnot eivät olennaisesti eroa nykylaitoksista. Kaikissa laitosvaihtoehdoissa vakavat onnettomuudet on otettu huomioon suunnittelussa. Taulukossa 1 on esitetty laitosvaihtoehdojen 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
AES 2006	Atomstroyexport	Painevesireaktori	3200 MWt	n. 1200 MWe
APR1400	Korean Hydro & Nuclear Power	Painevesireaktori	4000 MWt	n. 1400 MWe
EPR	Areva	Painevesireaktori	4590 MWt	n. 1700 MWe

Kiehutusvesi- ja painevesilaitokset on esitetty eri kappaleissa aakkosjärjestyksessä.

## LAITOSVAIHTOEHTOJEN ARVIOINTIPERUSTEET

Arvioinnin perustana on ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta annetun valtioneuvoston asetuksen (VNA 733/2008) keskeiset vaatimukset. Seuraavassa esitetään ne vaatimukset, joita vasten laitosvaihtoehtoja on arvioitu.

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

Asetuksen 3 §:ssä esitetään vaatimukset sille, miten ydinvoimalaitosten turvallisuutta ja niiden turvallisuusjärjestelmien teknisiä ratkaisuja on perusteltava käytämällä 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 käytämättömien laitospiirteiden 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 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 leviämislle 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 laitosvaihtoehtoissa on toteutettu moninkertaisuusperiaate, erotteluperiaate ja erilaisuusperiaate. Näiden periaatteiden noudattaminen jo varhaisessa laitoksen suunnitteluvaiheessa on tärkeää, koska niiden huomioon ottaminen myöhemmin tehtävin muutoksina olisi erittäin vaikeata ja vaativaa.

Moninkertaisuusperiaatteella tarkoitetaan turvallisuustoimintoihin tarvittavien järjestelmien eli turvallisuusjärjestelmien moninkertaistamista useiksi toisiaan korvaaviksi rinnakkaisiksi osajärjestelmiksi. Tärkeimpien turvallisuusjärjestelmien on pystyttävä toteuttamaan tehtävänsä, vaikka mikä tahansa järjestelmän yksittäinen laite vikaantuisi ja vaikka mikä 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. Odotettavissa olevalla käyttöhäiriöllä ja luokan 1 oletetulla onnettomuudella tarkoitetaan alkutapahtumia, joiden odotetaan tapahtuvan useammin kuin kerran tuhannessa vuodessa. Tapahtumia, joissa tarkastellaan laitoksen käyttäytymistä käyttöhäiriöissä tai luokan 1 oletetuissa onnettomuuksissa, kun niihin liittyy jonkin turvallisuusjärjestelmän yhteisvika, kutsutaan oletettujen onnettomuuksien laajennukseksi (DEC). Myös harvinaista onnettomuutta, ulkoista tapahtumaa tai monimutkaista vikayhdistelmää on tarkasteltava DEC-tapahtumana. Tarkasteltavien tilanteiden hallitsemiseksi tarvittavien järjestelmien (diverssit järjestelmät) suunnitteluperiaatteet sekä ensisijaisten turvallisuusjärjestelmien ja niiden diverssien järjestelmien riippumattomuuteen liittyvät suunnitteluperiaatteet on esitettävä laitosvaihtoehtojen soveltuvuutta arvioitaessa. STUK esitti DEC-vaatimukset erillisessä päätöksessään Y55/3 (8.4.2009) ja sen liitteessä.

#### 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 liikennelentokoneen 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, varavalvomoa ja paikallisia ohjauspaikkoja koskevat vaatimukset. Tässä kohdassa arvioidaan 19 §:ssä esitettyjen vaatimusten ja 14 §:ssä esitettyjen moninkertaisuusperiaatteen, erotteluperiaatteen ja erilaisuusperiaatteen toteutuminen tärkeissä automaatiojärjestelmissä.

### KIEHUTUSVESIREAKTORILLA VARUSTETUT LAITOSVAIHTOEHDOT

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

##### Yleistä

ABWR on japanilaisen Toshiba-Westinghousen suunnittelema sähköteholtaan noin 1600 MWe kiehutusvesireaktorilaitos. 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 Suomeen tarkoitettussa soveltuvuus selvityksessä 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.



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 laitoksen 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. Todennäköisyysperusteiset riskianalyysit tehdään laitoksen yksityiskohtaisen suunnittelun yhteydessä, jolloin arvioidaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten toteutuminen.

*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 lauhtumattomien kaasujen vaikutusta laajalla parametrialueella. Kokeiden perusteella on kehitetty korrelaatio lauhtumattomien kaasujen vaikutuksesta lauhduttimen lämmönsiirtokykyyn. Kokeet ja teoreettiset analyysit ovat osoittaneet, että sekä eristyslauhdutin että suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmä toimivat luotettavasti onnettomuuksien aikana.

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). Analyyseissä on käytetty Toshiba-analyysimenetelmiä, joita on aikaisemmin käytetty vastaavan tyyppisten laitosten lisensioinnissa Japanissa. Analyysitulosten perusteella annokset jäävät Suomessa luokan 2 onnettomuuksille asetettujen annosrajojen alapuolelle.

Analyysituloksien ja laitospäätösuunnittelupiirteiden perusteella voidaan arvioida, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset vaatimukset täyttävät analyysit lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa ja että annokset jäävät myös muissa häiriö- ja onnettomuustilanteissa alle suomalaisissa vaatimuksissa asetettujen annosrajojen.

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

### *Reaktori ja polttoaine*

ABWR-laitos on reaktoripainesäiliön sisäpuolisilla pääkiertopumpuilla varustettu kiehumusvesilaitos, joka toiminnallisilta parametreiltaan ja turvallisuusominaisuuksiltaan vastaa nykyisiä suuria kiehumusvesireaktoreita. Pääkiertopumpuja on yhteensä 10 kappaletta. Polttoainepumppujen lukumäärä on 872 ja säätösauvojen 205. Polttoaineena on tarkoitettu nykyisissä kiehumusvesireaktoreissa 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 kiehumusvesireaktoreissa eli osittaisella pikasululla, sydämen ja polttoaineen suunnittelulla sekä suojaustoiminnoilla. Lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa stabiilisuuden hallintaa arvioidaan yksityiskohtaisemmin. Japanissa käytössä olevilla ABWR-laitoksilla ei ole sattunut yhtään reaktorin stabiilisuusongelmiin liittyvää käyttötapahdumaa.

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 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 tunnettuja ratkaisuja. Reaktoripainesäiliön materiaalina on niukkaseosteinen painelaiteteräs, josta valmistetut takeet hitsataan pätevöidyn menetelmin painesäiliöksi. Painesäiliö suojataan sisäpuolelta ruostumattomalla hitsauspinnoitteella. Päälaitteiden korroosiosuojauksessa käytetään myös hyvän kestävyuden omaavia nikkelseoksia

Reaktorissa käytettävien materiaalien ja hitsien ominaisuuksille asetetaan vaatimukset suunniteltu käyttöikä huomioon. Reaktorin sydänalueen säteilyhaurastuminen on huomioitu materiaalivalinnoissa, ja sitä seurataan normaalikäytännön mukaisella seurantaohjelmalla. Reaktoriin liittyvissä komponenteissa kuten pääkiertopumpuissa, säätösauvakoneistoissa, putkistoyhteissä ja reaktorin sisäosissa käytetään koeteltuja materiaaliratkaisuja, joilla vähennetään jännityskorroosion, termisen väsymisen, vanhenemisen ym. käytön aikaisten ikääntymisilmiöiden haittavaikutuksia. Päälaitteiden materiaalivalinnoissa kiinnitetään huomiota myös pääkiertopiirin aktiivisuutta lisäävien seosaineiden enimmäismäärään. Päähöyry- ja syöttövesiputkien eroosiorroosion aiheuttamaan kulumiseen kiinnitetään huomiota virtaus- ja ympäristötekijöiden säädön avulla.

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

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

### Reaktorin paineenhallinta

ABWR-laitoksen reaktorin paineenhallintaa varten on 18 varo/puhallusventtiiliä. Paineen rajoittamiseen käytetään kaikkia 18 venttiiliä ja tarvittavat venttiilit avautuvat reaktorin suojausautomaation ohjaaman pneumaattisen ohjausventtiilin avulla tai suoraan reaktorin paineesta jousikuormaa 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 pneumaattisesti ohjatuilla varo/puhallusventtiileillä 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 joh-

detaan lämmönvaihtimeen ja siellä vedeksi lauhtunut höyry johdetaan syöttövesiputkien kautta takaisin reaktoriin. Eristyslauhduttimen ja syöttövesiputken välissä on kaksi rinnakkaista, eri periaatteella toimivaa venttiiliä, joista yhden avautuminen riittää eristyslauhduttimen käynnistymiseen. Eristyslauhdutin toimii häiriötilanteissa siten, että vain lyhytaikainen varo/ulospuhallusventtiilien puhallus (vain kerran) tarvitaan mitoittavassa painetransientissa. Tällä rajoitetaan jäähdytteen puhaltamista primääripiiristä lauhdutusaltaaseen eli veden määrää reaktorissa on helppo ylläpitää häiriöiden ja onnettomuuksien aikana.

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. Jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa reaktoriin suojarakennukseen purkautuva höyry virtaa paine-eron ajamana lauhdutusaltaaseen. Reaktorissa syntyvä jälkilämpö poistetaan lauhdutusaltaasta jälkilämmönpoistojärjestelmien avulla. Suojarakennus on suunniteltu säilyttämään hyväksymiskriteerien mukaisen tiiveytensä häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

### *Vakavat onnettomuudet*

ABWR-laitoksen vakavia reaktorionnettomuuksia hallitaan primääripiirin paineen alentamisella 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. Paineenalennusjärjestelmä estää reaktoripainesäiliön rikkoutumishetkellä muuten mahdollisesti tapahtuvan korkeapaineisen sulapurkauksen, joka voisi vaurioittaa suojarakennusta.

Suojarakennuksen kaasutila on 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 kiehutusvesireaktorien polttoainekanaavissa käytettävä zirkonium hapettuu vakavan onnettomuuden aikana. Seisokkitilanteita on käsitelty kohdassa seisokkiturvallisuus. 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 vesialtaksiin 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.

Reaktoripainesäiliön alapuolelle asennetaan niin sanottu sydänsieppari, jossa reaktoripainesäiliöstä purkautuva sydänsula jäähdytetään ja kiinteytetään. 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 toimivuus todennetaan kokeellisesti. Suunnittelun yhteydessä laitostoimittaja on arvioinut sydänsulan virtaus- ja lämpötilajakautumat siepparissa sekä luonnonkierto-olosuhteet sydänsiepparin jäähdytyskanavissa siepparin rakenteiden lämpökuormien määrittämiseksi. Laskennallisten arvioiden pohjalta laitostoimittaja on laatinut koeohjelman lämmönsiirtokokeille. Kokeet on aloitettu pienen mittakaavan koelaitteilla, joilla on tutkittu paikallista lämmönsiirtoa sydänsulasta jäähdytyskanaviin, sekä aukko-osuutta sydänsulan yläpuolisessa vesialtaassa. Laitostoimittaja on vuoden 2009 alkupuolella valmistanut täyden mittakaavan koelaitteiston. Koelaitteisto mallintaa sydänsiepparin yhden virtauskanavan siten että sydänsiepparin ja syöttövesialtaan korkeussuhteet ovat yhdenmukaiset suunnitellun laitteen kanssa. Täyden mittakaavan kokeet varmistavat siepparin toimivuuden olosuhteissa, jotka ovat mahdollisimman lähellä laitteen suunniteltua käyttöä.

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.

#### 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 hätäjähdytysjärjestelmillä.

#### *Reaktorin reaktiivisuuden hallinta*

Reaktorin tehotaso säädetään normaalitilanteissa säätösauvoilla ja pääkiertopumpuilla kuten nykyisissäkin kiehutusvesireaktoreissa.

Reaktorin sammuttaminen häiriö- ja onnettomuustilanteissa tapahtuu hydraulisen pikasulkujärjestelmän avulla. Järjestelmä on passiivinen ja sen toiminta perustuu tyypellä paineistettuihin vesisäiliöihin, joiden sisältämä paine työntää pikasulkuventtiilin avauduttua 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 reaktiivisuuden hallinnan osalta.

Reaktorin suojausautomaatio käynnistää passiivisen pikasulkujärjestelmän prosessiparametrien ylittäessä suojausrajan. Reaktorin pikasulun varmistaa automaation osalta erilaisuusperiaatteen toteuttava ARI-järjestelmä (Alternate Rod Insertion). 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 seisokitilanteissa*

Normaaleissa seisokitilanteissa 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 lämmönvaihtimella (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 %).

Jälkilämpö siirretään reaktorista johtamalla höyry primääripiirin puhallusventtiileiden 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 reaktorin jäähdytyksen 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, jossa höyry lauhtuu vedeksi. Vesi 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 puhallusventtiileillä suojarakennuksen lauhdutusaltaaseen, josta jälkilämpö siirretään edelleen PCCS järjestelmän kautta ilmakehään.

Vaihtoehtoisesti lisäveden saanti reaktoriin on toteutettu siten, että korkeapainehätäjäähdytysjärjestelmä (HPCF) tarvittaessa korvataan 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 erilaisuusperiaatteen toteutumisen edelleen parantamiseksi Toshiba selvittää hydraulisen pikasulkujärjestelmän huuhtelujärjestelmästä saatavan veden syöttöä reaktoripainesäiliöön

### *Reaktorin jäähdytys jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa*

Jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa reaktorin jäähdytykseen käytetään korkeapainehätäjäähdytysjärjestelmää (HPCF, 3 x 100 %) ja matalapainehätäjäähdytysjärjestelmää (LPCF, 3 x 100 %) sekä automaattista paineenalennusjärjestelmää, joka käyttää varo/ulospuhallusventtiilejä.

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

Jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa matalapainehätäjäähdytysjärjestelmän ja reaktorin jäähdytyksen 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. Lupamenetelyn 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 luonnonkiertolauhduksilla (PCCS, 4 x 33%), jotka siirtävät lämpöä primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevan reaktorihallin vesialtaisiin suoraan suojarakennuksen ilmatilaan johdettujen putkilinjojen kautta. Suojarakennuksen passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän (PCCS) luonnonkiertolauhduksimet on sijoitettu kahteen reaktorihallissa olevaan altaaseen, jossa



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 matalapainehätäjäähdytysjärjestelmän imusiivilöiden luotettavan toiminnan kokeellinen osoittaminen, edellyttävät lisäkokeita ja häätäjäähdytysjärjestelmiin liittyvän erilaisuusperiaatteen toteuttavan järjestelmän lopullinen ratkaisu vaatii lisäsuunnittelua.

### *Suojarakennuksen eristys*

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

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

### *Lopullisen lämpönielun menetykset*

Jos normaali lämmönpoistomahdollisuus lopullisena lämpönieluna toimivaan meriveteen menetetään, jälkilämpö voidaan siirtää reaktorista eristyslauhduttimilla (IC) primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevan reaktorihallin vesialtaisuun 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 erillaisuusperiaatteen.

Seisokkitilanteissa lopullisen lämpönielun menetyksen osalta tarvittavia jälkilämmönpoistojärjestelmiä ei ole kuvattu aineistossa. Asia voidaan hoitaa rakentamislupaa haettaessa.

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

### *Polttoainealtaiden jäähdytys*

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

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

### *Seisokkiturvallisuus*

Reaktorin alikriittisenä pysyminen varmistetaan kaikissa seisokkitilanteissa pitämällä säätösauvat reaktorissa.

Seisokin aikana huoltotyöt, etenkin pääkiertopumppujen huolto, on suunniteltu moninkertaisin varmennuksin 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 korkeapainehätäjäähdytyspumpuilla (HPCF, 3x100 %). Pumput käynnistyvät veden pinnan laskiessa reaktorissa 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 sähkönsyöttöön tarkoitettujen osajärjestelmien 1–3 varavoimadieselgeneraattorit (3 x 100 %) sekä passiivisten turvallisuusjärjestelmien ja automaation sähkönsyöttöön tarkoitetun osajärjestelmän 4 varavoimadieselgeneraattori (100 %)
- erilaisuusperiaatteen toteuttavat kaasuturbiinikäyttöiset vaihtoehtoiset varavoimageneraattorit (2 x 100 %).
- akustot varavoimasähkölähteiden käynnistymisen aikana (mitoituspurkausaika 2 h).

Vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmillä ei ole sähköjärjestelmien kuvauksen mukaan omia sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelmiä.

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 sähköjakelussa ja automaatiojärjestelmien sähkönsyötössä. On analysoitava, mitkä ovat pahimmat mahdolliset jännitetransientti ja -häiriötilanteet laitoksen omakäyttö sähköverkossa ja mitoitettava sähkökuluttajat ja järjestelmät kestämiin nämä olosuhteet. Asiaa tullaan tarkastelemaan yksityiskohtaisesti rakentamislupavaiheessa.

Sähköjärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Rakentamislupaa haettaessa tarkemmin arvioitavia asioita ovat vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmän erillinen sähkötehon syöttöjärjestelmä ja Forsmark häiriöstä saadut yleiset opetukset.

### *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.

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

ABWR-laitoksen suojautumisstrategia suuren matkustajakoneen törmäykseen varalle on säilyttää reaktorisydämen jäähdytettävyyden, suojarakennuksen eheys, käytetyn polttoaineen jäähdytettävyyden ja polttoainealtaiden 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.

#### 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 korkea-

energisten 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 suojautumiselle 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.

#### 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 ratkaisuisa on varmistettava suunnittelun edetessä myös hankkeen myöhemmissä vaiheissa. Näistä vaiheista rakentamislupakäsittely on ensimmäinen, konkreettisia automaatioteknisiä ratkaisuja käsittelevä laitoshankkeen viranomaiskäsittelyn vaihe.

#### *Automaattiset turvallisuustoiminnot*

ABWR-laitoksen automaatiossa on useita eri syvyysuuntaiseen turvallisuusperiaatteeseen liittyviä puolustuslinjoja. Ensimmäisen linjan muodostavat normaali käyttöautomaatio, säätöjärjestelmät ja rajoitusjärjestelmät. Toisessa linjassa ovat reaktorisuojausjärjestelmä (RPS) ja laitossuojausjärjestelmä (ESFAS). Kolmannessa linjassa on erilaisuusperiaatteeseen 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.

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. Tämä asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

*Erotteluperiaate automaatiossa*

Automaatiojärjestelmien osajärjestelmät on erotettu toisistaan fyysisesti ja toiminnallisesti.

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

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

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 prosessisuureesta. 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 suurkuvavideo näytöstä. 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 valvontamah-

dollisuutta 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.

#### Yhteenveto

Laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Eräät tekniset yksityiskohdat edellyttävät lisäanalyysia ja kokeellista kelpoistusta sekä lisäsuunnittelua, 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 erilaisuusperiaatteen toteuttaminen kaikkien putkilinjojen osalta
- vakavan onnettomuuden hallintaan tarvittavan sydänsiepparin toimivuuden kokeellinen osoittaminen
- erilaisuusperiaatteen toteuttava jälkilämmönpoistojärjestelmä seisokkitilanteissa
- Forsmark-häiriöstä saatujen yleisten opetusten huomioon ottaminen sähköjärjestelmissä
- vakavan onnettomuuden hallinta-automaation ja seurantajärjestelmien riippumattomuus muusta automaatiosta
- vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmän erillinen sähkötehon syöttöjärjestelmä
- laitoksen ajo turvalliseen tilaan, jos tietokonepohjainen automaatiojärjestelmä menetetään.

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

##### 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 kiehutusvesire-



aktorit ja useat laitokset ympäri maailmaa, esimerkiksi vanhimmat japanilaiset sekä kaikki espanjalaiset ja sveitsiläiset kiehutusvesireaktorit ovat GE:n suunnittelemissa. 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 suunnittelemissa ja rakentamissa 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 Suomeen tarkoitettussa soveltuvuus selvityksessä kehittänyt lähtökohtana ollutta laitospohjaa 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.

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-analyysissa. 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. Todennäköisyysperusteiset riskianalyysit tehdään laitoksen yksityiskohtaisen suunnittelun yhteydessä, jolloin arvioidaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten toteutuminen.

*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 GDCS 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.

*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 tehtyjen säteilyaltistukseen ja radioaktiivisiin päästöihin liittyvien analyysien ja laitосkonseptin suunnittelupiirteiden perusteella voidaan arvioida, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset vaatimukset täyttävät analyysit lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa.

*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. Polttoaineena 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 lämpöteknisten marginaalien osalta. Lisäksi sydän sijaitsee häiriöiden ja onnettomuuksien kannalta edullisessa asemassa. Reaktori-

painesäiliön ison tilavuuden ansiosta myös paineensäädön häiriöt ovat nykyisiin kiehutusvesireaktoreihin verrattuna selvästi rauhallisemmin kehittyviä. Eristyslauhduksen (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 % tehota-solle asti, mutta aika ajoin niissä on ilmennyt stabiilisuusongelmia. ESBWR:ssa reaktorin stabiilisuus on pyritty varmistamaan suunnittelemalla reaktorin yläpuo-lle 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 selvitys-ten 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 terästakeista, jotka hitsataan säiliökokonaisuudeksi painelaittevalmistukselle tyypillisin koetel-luin menetelmin. Päälaitteissa käytettäville painelaiteteräksille on asetettu suunnitellun käyttöiän edellyttämät tiukat sitkeysvaatimukset.

Reaktorin sydänalueella käytetään rengastakeita, jotka kootaan lieriöksi pyörähdyssymmetrisin hitsein. Kookkaan reaktoripainesäiliön (sisähalkaisija 7,1 m, korkeus 27,6 m) yläosassa käytetään myös pituussuuntaisia hitsausliitoksia. Reaktorin sisäpuoli pinnoitetaan hitsaamalla ruostumattomalla teräksellä. Sydämen yläpuo-

lelle sijoitettava luonnonkiertoa tehostava rakenne (chimney) sekä muut reaktorin sisäosat ovat ruostumatonta terästä.

Pääkomponenttien ja niissä käytettävien hitsausliitosten kestävyys käytön aiheuttamia ikääntymisongelmia kuten säteilyhaurastumista, termistä vanhenemista, väsymistä sekä eri jännityskorroosioilmiöitä vastaan on huomioitu suunnittelussa ja materiaalivalinnoissa. Reaktorin sydänalueen säteilyhaurastumista seurataan normaalivaatimusten mukaisella seurantaohjelmalla sekä tähän liittyvillä murtumisanalyysillä. Päälaitteiden materiaalivalinnoissa huomioidaan myös primääripiirin aktiivisuutta lisäävien seosaineiden enimmäispitoisuudet. Päähöyry- ja syöttövesiputkien eroosiokorroosion aiheuttamaan kulumiseen kiinnitetään huomiota virtaus- ja ympäristötekijöiden säädön avulla.

Primääripiirin ja siihen liittyvien turvallisuusjärjestelmien suunnittelussa varaudutaan primääripiirin ja siihen liittyvien putkien katkoon. Turvallisuusjärjestelmien suunnittelussa varaudutaan halkaisijaltaan suurimman primääripiiriin kuuluvan putken 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.

Eristyslauhduttimia (IC, 4 x 33 %) voidaan käyttää paineenhallintaan häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Eristyslauhduttimet on liitetty höyry- ja syöttövesiputkiin siten, että järjestelmän käynnistyttyä reaktorista höyryputkiin kulkeva höyry johdetaan lämmönvaihtimeen, jossa höyry lauhtuu vedeksi. Vesi johdetaan syöttövesiputkien kautta takaisin reaktoriin. Eristyslauhduttimen ja syöttövesiputken välissä on kaksi rinnakkaista, eri periaatteella toimivaa venttiiliä, joista yhden avautuminen riittää eristyslauhduttimen käynnistymiseen. Eristyslauhdutin 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 onnet-

tomuuksien aikana. Järjestelmät täyttävät valtioneuvoston asetuksen edellyttämät moninkertaisuusperiaatteen ja erilaisuusperiaatteen.

### *Suojarakennus*

ESBWR-laitoksen suojarakennus on perustyyppiltään kiehutuslaitoksissa tavanomainen lauhdutusaltailla varustettu teräsbetonista rakennettu paineenalennus-suojarakennus, jossa tehoajon aikana on typpi-ilmakehä. Suunnitteluperustana käytetyissä onnettomuuksissa (putkikatkoissa) reaktoripiiristä suojarakennukseen purkautuva höyry virtaa paine-eron ajamana lauhdutusaltaaseen josta jälkilämpö poistetaan sieltä jälkilämmönpoistojärjestelmillä lopulliseen lämpönieluun. 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 jäädyttämiseen reaktoripainesäiliön alapuolella olevassa sydänsiepparissa sekä suojarakennuksen paineen hallintaan passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän avulla.

Primääripiirin paineenalennukseen on kahdeksan paineenalennusventtiiliä (DPV). DPV-venttiili on tyyppiltään 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 typellä, 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 polttoainekanavissa käytettävä zirkonium hapettuu vakavan onnettomuuden aikana. Seisokkitilanteita on käsitelty kohdassa seisokkiturvallisuus. Reaktiossa syntyvä vety paineistaa suojarakennusta. ESBWR:n alkuperäisessä konseptissa suojarakennus on mitoitettu yhdysvaltalaisien 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 vesialtasiin 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. Käytävissä 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 rakentamisluvalle.

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.

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

Turvallisuustoiminnot on ESBWR-laitoksessa toteutettu sekä aktiivisin että passiivisin järjestelmin. Aktiiviset järjestelmät on tarkoitettu ensi sijassa normaali-käyttöä varten. Ne on kuitenkin turvallisuusluokiteltu. Häiriöiden ja onnettomuuksien hallintaan tarvittavat turvallisuustoiminnot voidaan toteuttaa sekä aktiivisilla, normaalikäyttöön tarkoitetuilla 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 tyypitankista, 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 tyypipaine ajaa booriliuoksen reaktoriin. Boorin sekoittuminen jäähdytysveteen sammuttaa reaktorin. Squib-venttiilejä on kummassakin osajärjestelmässä kaksi rinnakkain ja vain toisen avautuminen riittää täyttämään turvallisuustoiminnon. Samoin boorisäiliön pinnankorkeudensäätö on yksittäisvikasietoinen. Kummassakin osajärjestelmässä on kaksi peräkkäistä takaiskuventtiiliä, joista kumman tahansa vikaantumisen voi estää booriveden pääsyn reaktoriin yhdestä boorisäiliöstä. Boorijärjestelmä ei tällä hetkellä täysin täytä yksittäisvikakriteeriä. Laitostoitajia 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 sähkömoottorihjauksella 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 laitostoitajia on esittänyt useita vaihtoehtoja ongelman ratkaisemiseksi. Tämä asia voidaan ratkaista rakentamislupaa haettaessa.

### *Reaktorin jäähdytys*

### *Reaktorin jäähdytys seisokkitilanteissa*

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 seisokkitilanteissa 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 eristyslauhduksiin, jossa höyry lauhduu vedeksi. Vesi 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. Eristyslauhduksimella 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%). Lisävedettä 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%). Säätosauvakoneistojen puhdistusjärjestelmää (HPCRD, 2 x 100 %) voidaan käyttää reaktorin jäähdyttämiseen.

Jos eristyslauhduksin ei toimi, reaktorin vedensaanti on varmistettu myös painovoimaisesti toimivalla järjestelmällä (GDCS, 4 x 50 %). Järjestelmässä on neljä osajärjestelmää, jotka on sijoitettu kolmeen altaaseen. 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) avul-



la. 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 ilma-kehään.

#### *Reaktorin jäädytys jäädytteenmenetysonnettomuuksissa.*

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

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

Reaktorisydämen jäädytykseen 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 meriveteen menetetään, jälkilämpö voidaan siirtää reaktorista eristyslauhduttimilla primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevan reaktorihallin vesialtaisuun ja edelleen ilmastointipiipun kautta ilmakehään. Eristyslauhduttimet (IC, 4 x 33%) ovat toimintaperiaatteeltaan passiivisia luonnonkiertolauhduttimia, joilla 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 apuallaiden jäähdytysjärjestelmällä (FAPCS, 2 x 100 %). Kumpikin osajärjestelmä muodostuu putkilinjasta pumpusta ja lämmönvaihtimesta. 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 kummassakin on kaksi pumppua (2x2x50 %).

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

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

### *Seisokiturvallisuus*

Reaktorin alikriittisenä pysyminen varmistetaan kaikissa seisokitilanteissa pitämällä säätösauvat reaktorissa.

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

Seisokiturvallisuuteen 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 jakokeskuksille 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. 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 sähköjakelussa ja automaatiojärjestelmien sähkönsyötössä. On analysoitava, mitkä ovat pahimmat mahdolliset jännitetransientti ja -häiriötilanteet laitoksen omakäyttösähköverkossa ja mitoitettava sähkönkuluttajat ja järjestelmät kestäämään 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 tarkastellaan 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 palonsammutusjärjestelmät suunnitellaan maanjäristyskestäviksi, mikä varmistaa maanjäristysten mahdollisesti aiheuttamien seurauspalojen hallinnan.

### 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.

Polttoaine 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 reaktori-

torista estyisivät. Strategian mukaisesti laitoksen neljän redundanssin fyysisellä erottelulla turvataan turvallisuustoiminnot 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 Loviisa 3 -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.

#### 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 päähöyry- ja syöttövesiputkilinjojen johtaminen reaktorirakennuksesta yhtenäisiä tiloja pitkin turbiinirakennukseen. Suomalaisten vaatimusten mukaan katkenneesta putkesta, suihkuista ja lentävistä esineistä tulevat iskut eivät saa aiheuttaa laitteisiin ja rakenteisiin sellaisia vaurioita tai muita jäähdytevuotoja, jotka voivat vaarantaa putkikatkon tapahtuessa tarvittavien turvallisuustoimintojen, kuten jälkilämmön poiston ja suojarakennuksen eristämisen, onnistumisen. STUKin arvion mukaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttymistä putkikatkojen yhteydessä päähöyry- ja syöttövesilinjoissa ei ole toistaiseksi voitu osoittaa. Esitetty toteutusratkaisu vaatii tarkempia suunnitelmia ja analyyseja sekä laitosmuutoksia.

Laitoksen tiivis tilasuunnittelu asettaa vaatimuksia suojautumiselle 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.

#### 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 ratkaisuisa on varmistettava suunnittelun edetessä myös hankkeen myöhemmissä vaiheissa. Näistä vaiheista rakentamislupakäsittely on ensimmäinen, konkreettisia automaatioteknisiä ratkaisuja käsittelevä laitoshankkeen 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 erilaisuusperiaatteen perustuva suojausjärjestelmä DPS (Diverse Protection System). Viimeisen linjan muodostaa vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmä.

Toisen puolustuslinjan järjestelmistä reaktorisuojausjärjestelmä RPS ohjaa pelkääntään 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 hätäjähdytystä, 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 automaatiossa*

Reaktori- ja laitossuojausjärjestelmässä on neljä rinnakkaista osajärjestelmää. Suojaustoiminto käynnistyy, mikäli kaksi neljästä rinnakkaisesta suojauskanavasta antaa suojaussignaalin.

Erilaisuusperiaatteen 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 osajärjestelmällä.

Automaatiojärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia moninkertaisuusperiaatteen osalta.

#### *Erotteluperiaate automaatiossa*

Automaatiojärjestelmien rinnakkaiset osajärjestelmät on erotettu toisistaan fyysisesti ja toiminnallisesti.

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.

Erotteluperiaatteet vastaavat pääosin suomalaisia vaatimuksia lukuun ottamatta turvallisuusluokan 3 laitteiden ja vakavien onnettomuuksien järjestelmien erottelua, joita ei voitu hakemusaineistosta todentaa. Nämä asiat voidaan käsitellä rakentamislupaa haattaessa.

#### *Erilaisuusperiaate automaatiossa*

Suomalaiset turvallisuusvaatimukset edellyttävät, että reaktorin suojausjärjestelmässä tulee mitata vähintään kahta eri prosessisuureta, jotka ovat molemmat fyysisesti häiriötilanteesta tai onnettomuudesta riippuvia ja joiden laukaisurajat voidaan valita siten, että ne saavutetaan riittävän aikaisin. Reaktorisuojausjärjestelmässä erilaisuusperiaatetta ei ole hakemusasiakirjojen perusteella sovellettu kattavasti siten, että onnettomuus- ja vikatilanteita indikoivat signaalit tulisivat vaihtehtoisesti kahdesta eri prosessisuureesta.

ESBWR-laitoksen automaatio perustuu neljään eri järjestelmälustaan, jotka ovat tietokonepohjaisia. Eri järjestelmälustoilla ovat reaktorisuojausjärjestelmä, laitosuojausjärjestelmä, vakavien onnettomuuksien hallinnan ohjausjärjestelmä sekä muu automaatio.

Laitoskonseptissa on reaktorisuojausjärjestelmän (RPS) ja laitossuojausjärjestelmän (SSLC/ESF) vikojen varalle erilaisuusperiaatteeeseen perustuva suojausjärjestelmä DPS. DPS-järjestelmä on toteutettu samalla järjestelmälustalla kuin käyttöautomaatio. Aineistossa ei ole esitetty menetelmää, jolla laitos saadaan turvalli-

seen (kylmäsammutettuun) tilaan ohjelmoitavan automaation yhteisvikatilanteessa.

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

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

#### *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 paineromittauksella, joka ohjaa reaktorin suojausautomaatiota. Samanlaisia rinnakkaisia mittauksia on neljä. Järjestelmä toimii kun kaksi kanavaa antaa suojauskäskyn. Järjestelmä täyttää moninkertaisuusperiaatteen.



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

#### Yhteenvedo

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. Suomalaisten vaatimusten mukaan laitos on saatava turvalliseen tilaan myös tilanteessa, jossa turbiinirakennus menetetään esimerkiksi tulipalon tai lentokonetörmäyksen seurauksena. Suomalaisten 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. Suomalaisten 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 tarkoitettun 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
- reaktorinsuojausjärjestelmän mittausten erilaisuusperiaatteen toteutuminen.

## PAINEVESIREAKTORILLA VARUSTETUT LAITOSVAIHTOEHDOT

**AES-2006 - Pressurised Water Reactor - Atomstroyexport.**

## Yleistä

AES-2006 on venäläisen Atomstroyexportin (ASE) markkinoima noin 1200 MWe tehoinen painevesireaktorilaitos. AES-2006 pohjautuu VVER 91/99-laitokseen, joka on kehitetty käytössä olevista VVER-1000 laitoksista. VVER-tyyppisiä laitoksia on rakennettu Venäjälle ja moniin muihin maihin jo 30 vuoden ajan. Loviisan 1 ja 2 laitosyksiköt perustuvat VVER 440-laitostyyppiin. Laitosvaihtoehdon referenssilaitoksia ovat Kiinaan rakennettu Tianwan 1 ja 2, sekä Venäjälle parhailaan rakenteilla oleva Leningrad NPP-2. Leningrad NPP-2 muodostuu kahdesta laitosyksiköstä, jotka ovat yhdessä Novovoronesh\_2 laitosyksikön kanssa ensimmäiset AES-2006 tyyppiset laitokset Venäjällä. Suunnitteilla on myös useita AES-2006 laitoksia eri maihin.

AES-2006 laitoksen turvallisuustoimintoja on parannettu VVER 91/99 laitokseen verrattuna. Turvallisuustoiminnot on toteutettu pääosin aktiivisilla järjestelmillä, joita täydentävät painevesilaitoksille tyypilliset passiiviset, hätäjähdytystilanteissa käytettävät painevesisäiliöt sekä laitoksen jälkilämmön poistoon suunnitellut passiiviset järjestelmät, joita ei ole aikaisemmin käytetty ydinvoimalaitoksissa. Uusia passiivisia jälkilämmön poistoon häiriö- ja onnettomuustilanteissa käytettäviä järjestelmiä ovat primääripiiriä jäähdyttävä, höyrystimiin liitetty luonnonkierrolla toimiva jälkilämmönpoistojärjestelmä ja luonnonkierrolla toimiva suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmä. AES-2006:ssa on myös vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmät. Laitoksen suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta. Laitoksen valmiusaste perussuunnittelun osalta on korkea. Suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

AES-2006 laitoksen primääripiirissä on neljä pääkiertopiiriä, joissa kussakin on vaakasuora höyrystin ja pääkiertopumppu.

Sekundääripiiri on oleellisilta osin samanlainen kuin nykyisissä VVER-tyyppisissä painevesireaktoreissa. Laitoksessa on neljä vaakasuoraa höyrystintä, jotka vastaavat tekniikaltaan jo Loviisan VVER 440 laitoksissa käytössä olevia höyrystimiä. Käyttökokemukset tästä höyrystintyyppistä ovat pääosin positiivisia.

Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 18 §)

*Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset*

AES-2006-laitoksen turvallisuuden arviointia ja todentamista varten ASE:llä on käytössään analyysimenetelmät, joita on ylläpidetty ja kelpoistettu käyttötarkoitukseensa. Menetelmiä on käytetty toiminnassa olevien laitosyksiköiden suunnitte-

lun ja rakentamisen aikana. Mm. Loviisa 1 ja 2 laitousyksiköiden suunnittelussa on käytetty nyt esitettyjen analyysimenetelmien varhaisia versioita. AES-2006-laitokselle tehdyt analyysit antavat sen käsityksen, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset häiriö- ja onnettomuusanalyysimenetelmille asetetut vaatimukset täyttävät analyysit.

#### *Todennäköisyysperusteiset analyysit*

ASE:llä on käytössä tason 1 ja 2 todennäköisyysperusteiset riskianalyysimenetelmät (PRA). Menetelmillä on tehty tason 1 PRA analyysi AES-2006 laitokselle. Analyysi kattaa tärkeimmät alkutapahtumat kaikissa laitoksen käyttötiloissa. Analyysimenetelmiä ja AES-2006: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. Todennäköisyysperusteiset riskianalyysit tehdään laitoksen yksityiskohtaisen suunnittelun yhteydessä, jolloin arvioidaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten toteutuminen.

#### *Uuden tyyppisten järjestelmien kelpoistus*

AES-2006-laitokseen on suunniteltu passiivisia järjestelmiä, joita ei ole aikaisemmin käytetty ydinvoimalaitoksissa. Häiriö- ja onnettomuustilanteissa käytettäviä passiivisia järjestelmiä ovat suoraan reaktoripiiriä jäähdyttävä höyrystimiin liitetty luonnonkierrolla toimiva jälkilämmönpoistojärjestelmä (PHRS SG) ja luonnonkierrolla toimiva suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmä (PHRS C), Järjestelmiä ollaan kelpoistamassa kokeellisesti. Koelaitteistot ovat olemassa ja kokeista on jo osa tehty. Näiden kokeiden tuloksia on käytetty ja tullaan edelleen käyttämään laskentamallien kelpoistukseen. Järjestelmien oikeasta toiminnasta voidaan varmistua vasta koetulosten valmistuttua. Asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

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

ASE on osana AES-2006 laitoksen suunnittelua laskenut onnettomuustilanteissa ympäristön väestölle aiheutuvan säteilyaltistuksen. Näiden laskujen perusteella väestön säteilyannokset jäävät alle suomalaisissa vaatimuksissa onnettomuuksille asetettujen annosrajojen.

Analyysituloksien ja laituskonseptin suunnittelupiirteiden perusteella voidaan arvioida, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset vaatimukset täyttävät analyysit lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa.

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

### *Reaktori ja polttoaine*

AES-2006-laitoksessa reaktori on rakenteeltaan oleellisesti samanlainen kuin nykyisissä käytössä olevissa VVER 1000-laitoksissa. Korkeamman tehon vuoksi polttoaineniippujen aktiiviosuuden pituutta on lisätty polttoaineen maksimikuormituksen pitämiseksi ennallaan. Polttoaine- ja sydänsuunnittelun osalta noudatetaan samanlaisia käytäntöjä kuin suurikokoisissa käytössä olevissa painevesireaktoreissa. Säätosauvojen lukumäärää on myös lisätty turvallisuuden parantamiseksi. Sauvoissa käytetään neutroneja absorboivana aineena boorikarbidia ja dysprosiumtitaanidioksidia. Polttoaineniippuja sydämessä on 163 kpl ja säätosauvoja 121 kpl.

Polttoaineena käytetään tyypillisiä VVER-reaktoreissa käytettyjä heksagonaalisia polttoaineniippuja. Reaktiivisuuden hallinta tehdään käyttöjakson aikana primäärijäähdytteessä olevalla boorilla, säätosauvoilla ja polttoaineessa olevalla palavalla myrkyllä.

Polttoaineen poistopalama on suunniteltu suuremmaksi kuin Suomessa hyväksytty polttoaineniipun 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*

AES 2006:n ydinteknisien päälaitteiden materiaali- ja rakenneteknisissä ratkaisuissa on hyödynnetty VVER-reaktoreiden n. 30 vuoden ajalta saatuja käyttökokemustietoja. Reaktoripainesäiliö valmistetaan kyseisille reaktoreille tyypillisestä nykyaikaisesta painelaiteteräksestä, josta tehdyt takeet hitsataan painesäiliöksi tunnetuin ja pätevoidyin menetelmin. Säiliön sisäpuoli suojataan ruostumattomalla hitsauspinnoitteella. Reaktoripainesäiliön sisäosat on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja muista käyttötarkoitukseensa sopivista materiaaleista.

Päälaitteiden materiaalivalinnoissa ja käytön aikaisessa valvonnassa on huomioitu tyypilliset ikääntymisilmiöt. Reaktoripainesäiliön sydänalueen säteilyhaurastuminen on otettu huomioon, ja sitä valvotaan käytönaikaisen säteilyhaurastumisen seurantaohjelman avulla. Reaktoripainesäiliössä käytettävän teräksen 10 ГH2MøA analyysivaatimukseen (P ja Cu sekä Ni) tulee kiinnittää huomiota, jotta painesäiliön sydänalueen säteilyhaurastuminen pysyy 60 vuoden käyttöiän aikana sallituissa rajoissa. Tämä tulee varmistaa lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa.

Muut päälaitteet, kuten höyrystimet ja paineistin, valmistetaan samaan tapaan kuin reaktoripainesäiliö. Höyrystimien lämmönsiirtoputket ovat ruostumatonta terästä, mikä on todettu näissä laitoksissa hyvän vesikemiavalvonnan kanssa luotettavaksi

ratkaisuksi. Aiemmin todetut VVER-1000 -laitosten höyrystimien kollektorien hitsausliitosten vauriot on huomioitu AES 2006:een tarkoitetussa uudemmassa höyrystintyyppissä materiaalinvalinnan avulla.

Pääkiertoputkisto valmistetaan niukkaseosteisesta painelaiteteräksestä, joka pinnoitetaan sisäpuolelta ruostumattomalla teräksellä. Tällöin primääripiiriin kuuluvien pääyhteiden ja pääkiertoputkiston välisissä liitoksissa ei tarvita vaativaa eripariliitostekniikkaa. Pääkiertoputkiston suunnittelussa sovelletaan ns. katkeamisen ennaltaestämisperiaatetta (Break Preclusion, BP), jonka osana tehdään vuoto ennen murtumaa -tarkastelut (Leak Before Break, LBB). Näin on tarkoitus eliminoida suunnitteluperusteista halkaisijaltaan suurimman putken oletettu katkeaminen. Tähän on kuitenkin varauduttu hätäjähdytysjärjestelmien suunnittelussa. Pääkiertopiiriin putkikatkojen dynaamisten vaikutusten huomioiminen vaatii vielä lisäselvityksiä etenkin, jos primääripiiriin ei ole tarkoitus asentaa murtumatukia.

Pääkiertopiiriin putkiin liitetään lukuisia apu- ja hätäjärjestelmiin kuuluvia pienempiä putkistoja hitsausliitoksilla, joiden eheyden varmistaminen voi aiheuttaa haasteita lujuus- ja sitkeysanalyysien käsittelyn sekä määräaikaistarkastusten ja niihin liittyvien säteilysuojelutavoitteiden toteutuksen yhteydessä. Tähän tulee kiinnittää huomiota lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa.

AES 2006:n ydinteknisten päälaitteiden suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Reaktoripainesäiliön materiaalin analyysivaatimusten vaikutus säteilyhaurastumisnopeuteen vaatii lisäselvityksiä, jotka voidaan arvioida lupakäsittelyn myöhemmissä vaiheissa. Myös pääkiertopiiriin oletettujen, äkillisten putkikatkojen vaikutukset reaktorin sisäosien kestävyyyteen sekä pääkiertopiiriin yhteiden toteutus-, tarkastus- ja säteilysuojeluperiaatteet tulee selvittää lupakäsittelyn myöhemmissä vaiheissa.

### *Primääripiirin ja sekundääripiirin paineenhallinta*

AES-2006-laitoksen primääripiirin paineenhallintaa varten on 3 varo/puhallusventtiiliä (3x50 %.) Paineen rajoittamiseen tarvittavat venttiilit avautuvat reaktorin suojausautomaation ohjaaman pneumaattisen ohjausventtiilin avulla tai suoraan reaktorin paineesta jousikuormaa vasten. Jousikuormitteisia ohjausventtiilejä on 2 kpl varoventtiiliä kohden.

Erilaisuusperiaatteen primääripiirin paineen hallinnassa toteuttaa paineistimen ruiskutusjärjestelmä, jolla voidaan pumpata vettä paineistimen höyrytilaan pääkiertopumppujen, primääripiirin tilavuudensäätöjärjestelmän (KBA) tai hätäboorausjärjestelmän (JDH) pumppujen avulla laitoksen käyttötilasta riippuen. Sekundääripiirin paine hallitaan höyrystimen ulospuhallusventtiileillä (BRU-A) sekä höyrystimen varoventtiileillä.

Paineen hallintaan osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia

### *Suojarakennus*

AES-2006-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*

AES-2006-laitoksen vakavien onnettomuuksien hallintastrategiassa suojarakennuksen eheys varmistetaan estämällä paineastian rikkoutuminen korkeassa paineessa, poistamalla jälkilämpö suojarakennuksesta passiivisella jälkilämmönpoistojärjestelmällä, sydänsulan pidättämisellä ja jäähdyttämällä paineastian alle sijoitettavaan sydänsieppariin sekä vedyn poistavilla rekombinaattoreilla.

Paineastian rikkoutuminen korkeassa paineessa estetään alentamalla primääripiirin paine paineenalennusventtiileillä. Toimenpiteen tarkoituksena on estää reaktoripainesäiliön puhkeamisen aikana syntyvä korkeapaineinen sulapurkaus, joka voisi vaarantaa suojarakennuksen eheyttä. AES-2006-laitoksella ei ole erillisiä venttiilejä vakavien onnettomuuksien paineenalennukseen. Sen sijaan paineenalennus on suunniteltu tehtävän primääripiirin pilot-ohjattuja varoventtiilejä hyväksi käyttäen. Ratkaisu ei ole sellaisenaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten mukainen, koska vakavien onnettomuuksien hallitsemiseksi suunniteltujen järjestelmien on oltava riippumattomia laitoksen käyttötilanteita ja oletettuja onnettomuuksia varten suunnitelluista järjestelmistä.

AES-2006-laitoksella sydänsula pidätetään ja jäähdytetään reaktoripainesäiliön alapuolelle asennettavassa sydänsiepparissa. Sydänsieppari toimii ilman ulkoista käyttövoimaa. Sieppariin virtaa jäähdytettyä suojarakennuksen sisäpuolelle sijoitettua jäähdytesäiliöstä. Sydänsiepparissa kehittyvä höyry lauhtuu suojarakennuksen passiivisessa jälkilämmönpoistojärjestelmässä, mistä jäähdyte virtaa jäähdytesäiliön kautta takaisin sieppariin. AES-2006 sydänsieppari on kehitetty aikaisemmasta VVER-91-laitoksen ratkaisusta, jonka toiminta on varmennettu laajalla koeohjelmalla. Ratkaisujen erojen vaikutuksesta on tehty erillisiä kokeita.

Suojarakennuksen passiivinen jälkilämmönpoistojärjestelmä (PHRS C) siirtää lämpöä suojarakennuksesta suojarakennuksen katolla olevien vesialtaiden kautta ilmakehään. Suojarakennuksen katolla olevat vesialtaat ovat yhteiset höyrystimen passiivisen jälkilämmön poistojärjestelmän (PHRS SG) kanssa. PHRS C järjestelmässä vesi virtaa painovoiman avulla altaista suojarakennuksen ylätilaan asennettaviin lauhduttimiin. Lauhduttimessa vesi höyrystyy ja nousee paluuputkea pitkin takaisin altaaseen, missä osa höyrystä tiivistyy uudelleen vedeksi, osan poistussa ilmakehään. Altaiden vesi-inventaari riittää poistamaan jälkilämmön 24 tunnin ajaksi, minkä jälkeen ne on täytettävä suojarakennuksen ulkopuolella olevasta

varastosäiliöstä. Suojarakennuksen passiivisessa jälkilämmönpoistojärjestelmässä on neljä rinnakkaista osajärjestelmää, missä yhden osajärjestelmän kapasiteetti on 33% vaadittavasta. Järjestelmän kapasiteetti, 4x33%, täyttää suomalaiset vaatimukset. Niissä vaaditaan että järjestelmien, joita tarvitaan suojarakennuksen tiiveyden varmistamiseksi vakavan reaktorionnettomuuden yhteydessä, on kyettävä suorittamaan turvallisuustoimintonsa myös yksittäisvikaantumisen sattuessa.

Vakavan onnettomuuden aikana syntyy huomattava määrä vetyä, joka paineistaa suojarakennusta ja suurina pitoisuuksina voisi palaa tai räjähtää. Painevesireaktorien suojarakennus on käytön aikana ilmatäyteinen, joten siellä on palamiseen tarvittavaa happea. Painevesireaktorien suuri, esijännitetystä betonista tehty suojarakennus on kuitenkin varsin kestävä vetypalojen tai räjähdysten suhteen. AES-2006-laitos tullaan vedyn poistoa varten varustamaan passiivisilla autokatalyyttisillä rekombinaattoreilla. Rekombinaattorit eivät tarvitse käyttövoimaa ja ne poistavat vetyä niin pienistä pitoisuuksista, ettei syttyvää kaasuseosta ehdi syntyä.

Suomalaiset vaatimukset edellyttävät, että ydinvoimalaitosten suojarakennus on varustettava suodatetulla ulospuhallusjärjestelmällä vakavien onnettomuuksien seurausten lieventämiseksi. AES-2006-laitokseen ei ole suunniteltu asennettavan suojarakennuksen suodatettua ulospuhallusjärjestelmää, joilla vakavan onnettomuuden myöhäisessä vaiheessa suojarakennuksesta voitaisiin poistaa lauhtumattomia kaasuja. Laitostoimittajan mukaan vakavassa onnettomuudessa ei vetyä lukuun ottamatta synny merkittäviä määriä suojarakennusta paineistavia lauhtumattomia kaasuja. Vety voidaan poistaa rekombinaattorien avulla. Suodatetun ulospuhallusjärjestelmän tarve on arvioitava rakentamislupaa haettaessa.

AES-2006-laitoksen vakavien onnettomuuksien hallintaan suunnitellut järjestelmät eivät nykyisellään täytä suomalaisia turvallisuusvaatimuksia primääripiirin paineenalennuksen osalta, sillä paineenalennus on suunniteltu tehtävän primääripiirin tavanomaisia varoventtiilejä hyväksi käyttäen. Suomalaisen vaatimukset edellyttävät vakavien onnettomuuksien järjestelmien riippumattomuutta laitoksen käyttötilanteita ja oletettuja onnettomuuksia varten suunnitelluista järjestelmistä. Lisäksi suodatetun ulospuhallusjärjestelmän tarvetta on arvioitava lupakäsittelyn myöhemmissä vaiheissa.

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

AES-2006-laitoksessa turvallisuustoimintojen toteuttamiseen on käytetty sekä aktiivisia että passiivisia järjestelmiä. Reaktorin pikasulun toteuttavissa säätösauvoissa ja hätäjähdytysjärjestelmän painevesisäiliöissä käytetään periaatteeltaan passiivisia järjestelmiä kuten kaikissa muissakin painevesireaktoreissa. Lisäksi laitokseen on suunniteltu passiivisia järjestelmiä, joita ei ole aikaisemmin käytetty ydinvoimalaitoksissa. Häiriö- ja onnettomuustilanteissa käytettäviä passiivisia järjestelmiä ovat suoraan reaktoripiiriä jähdyttävä höyrystimiin liitetty luonnonkierrolla toimiva jälkilämmönpoistojärjestelmä ja passiivinen luonnonkierrolla toimiva suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmä.



### *Reaktorin reaktiivisuuden hallinta*

AES-2006 -laitoksessa reaktiivisuuden hallinta on toteutettu säätösauvoilla ja primäärijäähdytteessä olevalla boorilla sekä polttoaineessa olevalla palavalla myrkylä.

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 toteuttaa reaktorin sammuttamisen osalta hätäboorausjärjestelmä (JDH, 4 x 50 %).

Polttoaineeseen sekoitetun palavan myrkyn ansiosta voidaan primäärijäähdytteen booripitoisuutta pitää kohtuullisen pienenä myös sen jälkeen, kun reaktoriin on ladattu uutta polttoainetta. Pienemmästä primäärijäähdytteen booripitoisuudesta ja tehokkaammasta pikasulusta huolimatta reaktorin suunnittelussa on varauduttu virheelliseen primääripiirin jäähdytteen booripitoisuuden laimenemiseen. Booritoman puhtaan veden tulpan hallinta on otettu huomioon sekä seisokki- ja käynnistystilanteiden että häiriö- ja onnettomuustilanteisiin varautumisen suunnittelussa. Esitettyjen suunnitelmien tueksi tarvitaan täydentäviä analyysyjä ja/tai kokeita.

Jäähtymistilanteissa uhkaavan reaktorin uudelleenkriittisyyden estämiseksi säätösauvojen tehokkuutta on lisätty kasvattamalla säätösauvojen lukumäärää reaktorissa. Reaktorin uudelleenkriittisyytlämpötila jäähtymisonnettomuuden aikana ilman lisäbooria on näiden toimenpiteiden jälkeen poikkeuksellisen alhainen noin 100 °C.

Reaktiivisuuden hallintaan liittyvien turvallisuustoimintojen suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Kuitenkin esimerkiksi primääripiirin booripitoisuuden äkillisen laimenemisen varalle esitettyjen suunnitelmien tueksi tarvitaan täydentäviä analyysyjä ja/tai kokeita lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa.

### *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 höyrystimiin vettä hätäsyöttövesijärjestelmällä (EFWS, 4 x 100 %)

ja puhaltamalla höyry ilmakehään sekundääripiirin ulospuhallusventtiileillä (BRU-A). Tätä käsitellään jäljempänä häiriöiden yhteydessä

Primääripiirin paineen ja lämpötilan alentamisen jälkeen jälkilämpö poistetaan suoraan primääripiiristä jälkilämmönpoistojärjestelmällä JNA (4 x 100 %), joka käyttää samoja pumppuja kuin matalapainehätäjäähdytysjärjestelmä (JNG). Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijäähdytysjärjestelmän (KAA, 4 x 100 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (PEB, 4 x 100 %) avulla. Näitä samoja järjestelmiä käytetään ensisijaisina jälkilämmönpoistojärjestelminä myös häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

Jos jälkilämmönpoistojärjestelmä JNA (4 x 100 %) ei ole käytettävissä tilanteessa, jossa reaktoripainesäiliön kansi on auki (häiriö jälkilämmön poistossa esim. ”mid-loop operation” tilanteessa), se voidaan korvata passiivisella jälkilämmönpoistojärjestelmällä (PHRS C, 4 x 33 %). Tällöin jälkilämpö reaktorista poistetaan höyrystämällä vettä suojarakennukseen. Suojarakennuksesta jälkilämpö siirretään PHRS C järjestelmän lauhduttimilla suojarakennuksen ulkopuolella sijaitsevien vesialtaiden kautta ilmakehään. Järjestelmä on aina käyttövalmis eikä tarvitse minäkään aktiivisen laitteen toimintaa käynnistyäkseen. Suojarakennuksen ulkopuolella olevat vesialtaat ovat yhteiset PHRS SG-järjestelmän kanssa. PHRS C:llä jälkilämpö voidaan siirtää 24 tuntia onnettomuuden jälkeen ilman operaattoritoimenpiteitä. Lisätoimenpiteillä aikaa voidaan pidentää 72 tuntiin pumppaamalla vettä vaihtoehtoisesta vesivarastosta vesialtaisiin. Tätä ratkaisua ei ole kuvattu tarkemmin aineistossa ja ei ole varmuutta siitä, että järjestely täysin täyttää suomalaiset vaatimukset, jotka edellyttävät kiinteitä putkilinjoja ja täyttöpumppua vaihtoehtoisesta vesivarastosta vesialtaaseen. Asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

Jäähdytysvesi reaktoriin saadaan primääripiirin lisävesijärjestelmällä (KBA) lisävesisäiliöstä tai JNG-järjestelmällä suojarakennuksen sisäpuolella olevasta IRWST-säiliöstä.

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

Mikäli häiriö tai onnettomuus estää normaalin jälkilämmön poiston turpiinin lauhduttimeen, jälkilämpö primääripiiristä voidaan siirtää ilmakehään käyttämällä sekundääripiirin hätäsyöttövesijärjestelmää (EFWS, 4 x 100 %) ja höyrystimen ulospuhallusventtiilejä (BRU-A). Hätäsyöttövesijärjestelmällä pumpataan vettä hätäsyöttövesisäiliöstä höyrystimiin ja siellä syntyvä höyry johdetaan ulospuhallusventtiilien kautta ulos. Hätäsyöttövesijärjestelmässä on neljä linjaa (4 x 100 %). Järjestelmällä saadaan reaktori hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja voidaan pitää siinä vähintään 24 tuntia. Lisätoimenpiteillä aikaa voidaan pidentää 72 tuntiin pumppaamalla vettä vaihtoehtoisesta vesivarastosta hätäsyöttövesisäiliöön. Tätä ratkaisua ei ole kuvattu tarkemmin aineistossa ja ei ole varmuutta siitä, että järjestely täysin täyttää suomalaiset vaatimukset, jotka edellyttävät kiinteitä putkilinjoja ja täyttöpumppua vaihtoehtoisesta vesivarastosta hätäsyöttövesisäiliöön. Asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa

Jälkilämpö voidaan siirtää ilmakehään vaihtoehtoisesti myös höyrystimen passiivisen jälkilämmön poistojärjestelmän (PHRS SG, 4 x 33 %) avulla. PHRS SG:llä reaktorin jälkilämpö poistetaan höyrystimien kautta suojarakennuksen ulkopuolella sijaitsevilla vesialtaissa olevien lämmönvaihtimien avulla ilmakehään. PHRS SG käynnistyy suojaussignaalista, joka avaa höyrystimen ja suojarakennuksen ulkopuolella olevan lämmönvaihtimen välissä olevan venttiilin. Tämän jälkeen lämpö siirtyy vesialtaiden kautta ilmakehään täysin ilman ulkoista voimaa. Järjestelmällä voidaan siirtää jälkilämpö 24 tuntia onnettomuuden jälkeen ilman operaattoritoimenpiteitä. PHRS SG:llä laitos saadaan hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan. Lisätoimenpiteillä aikaa voidaan pidentää 72 tuntiin pumppaamalla vettä vaihtoehtoisesta vesivarastosta vesialtaisiin. Tätä ratkaisua ei ole kuvattu tarkemmin aineistossa ja ei ole varmuutta siitä, että järjestely täysin täyttää suomalaiset vaatimukset, jotka edellyttävät kiinteitä putkilinjoja ja täyttöpumppua vaihtoehtoisesta vesivarastosta vesisäiliöön. Asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

Häiriö- ja onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä, jäähtymisestä johtuva tilavuuden pienenemisen korvaava lisävesi reaktoriin saadaan ensisijaisesti normaalilla lisävesijärjestelmällä (KBA). Vaihtoehtoisesti lisävesi saadaan korkeapainehätäjäähdytysjärjestelmästä (JND 4 x 100%), joka ottaa lisävetensä suojarakennuksen sisäpuolella sijaitsevasta IRWST-säiliöstä.

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 korkeapainehätäjäähdytysjärjestelmän (JND) pumpuilla IRWST-säiliöstä ja poistamalla piiristä kuumaa vettä varoventtiilien läpi, suojarakennuksen kautta takaisin IRWST-säiliöön (ns. ”feed and bleed”-jäähdytys). Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijäähdytysjärjestelmän (KAA, 4 x 100 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (PEB, 4 x 100 %) kautta.

#### *Reaktorin jäähdytys jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa*

Onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin jäähdytettä menetetään vuodon seurauksena, reaktori voidaan jäähdyttää tätä tilannetta varten suunnitelluilla hätäjäähdytysjärjestelmillä.

AES 2006-laitoksessa primääripiiriin hätäjäähdytys on toteutettu aktiivisella korkeapainehätäjäähdytysjärjestelmällä (JND, 4 x 100 %) ja matalapainehätäjäähdytysjärjestelmällä (JNG, 4 x 100 %) sekä neljällä painevesisäiliöllä. Hätäjäähdytysjärjestelmän pumput ottavat jäähdytteen suojarakennuksen sisäpuolella sijaitsevasta vesisäiliöstä (IRWST) imusiivilöiden kautta. Suojarakennukseen vuotanut reaktorin jäähdytysvesi valuu takaisin IRWST-säiliöön. IRWST-säiliössä sijaitsevien imusiivilöiden rakennetta ei ole esitetty aineistossa. Imusiivilöiden ja niiden koe-

ohjelman suunnittelu on parhaillaan käynnissä. Imusiivilät tullaan varustamaan myös huuhtelujärjestelmällä. Asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

Erilaisuusperiaate edellä esitetyn hätäjähdytyksen osalta pienissä jäähdytevuodoissa on toteutettu siten, että primääripiiri jäähdytetään nopeasti sekundääripiirin puhallusventtiileillä tai primääripiirin varoventtiileillä. Primääripiirin paine lasketaan kunnes päästään alueelle, jossa JNG-järjestelmä ja hätäjähdytyksen painevesisäiliöt voivat toimia. JND ja JNG-järjestelmät ottavat jäähdytysvetensä IRWST-säiliöstä.

Korkea- ja matalapainehätäjähdytysjärjestelmän pumpput sekä painevesisäiliöt syöttävät booripitoista vettä suoraan reaktoripainesäiliöön, sekä sen rengastilaan että reaktorisydämen yläpuolelle. Lisäksi korkeapainehätäjähdytyspumpuilla saadaan booripitoista vettä kahteen kylmähaaraan ja matalapainehätäjähdytyspumpuilla kahteen kylmä- ja kuumahaaraan. Tämä antaa mahdollisuuden varmistaa jäähdytysveden saanti reaktoriin primääripiirin pienissä jäähdytevuodoissa, johon liittyy reaktorin jäähdytykseen liittyvien laitteiden yhteisvika.

Reaktorin jälkilämpö poistetaan jälkilämmönpoistojärjestelmällä JNA (4 x 100 %), joka käyttää samoja pumppuja kuin matalapainehätäjähdytysjärjestelmä. Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijähdytysjärjestelmän (KAA, 4 x 100 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (PEB, 4 x 100 %) kautta.

Reaktorisydämen jäähdytykseen ja jälkilämmön poistoon liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Jälkilämmön poisto suojarakennuksesta*

AES-2006-laitoksessa jälkilämmön poisto suojarakennuksesta häiriö- ja onnettomuustilanteissa toteutetaan suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä (JMN, 4 x 50 %) jonka avulla jälkilämpö voidaan poistaa väli- ja varmennetun merivesipiirin kautta lopulliseen lämpönieluun.

Erilaisuusperiaatteen jälkilämmönpoiston osalta toteuttaa suojarakennuksen passiivinen jälkilämmönpoistojärjestelmä (PHRS C, 4 x 33 %). PHRS C-järjestelmällä reaktorin jälkilämpö poistetaan suojarakennuksesta suojarakennuksen ulkopuolella sijaitsevien vesialtaiden avulla ilmakehään. Järjestelmän käynnistyminen ei vaadi ulkoista voimaa. Järjestelmän vesialtaat ovat yhteiset PHRS SG-järjestelmän kanssa. PHRS C:llä jälkilämpö voidaan siirtää 24 tuntia onnettomuuden jälkeen ilman operaattoritoimenpiteitä. Lisätoimenpiteillä aikaa voidaan pidentää 72 tuntiin, kuten edellä on esitetty.

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

### *Suojarakennuksen eristys*

AES-2006-laitoksen suojarakennuksen eristys on kussakin suojarakennuksen läpäisevässä putkilinjassa tarkoitus toteuttaa kahdella eri periaatteella toimivalla eristysventtiilillä.

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 höyrystimien sekundääripuolelle vettä hätäsyöttövesijärjestelmällä ja puhaltamalla höyryä ilmakehään. Tällä järjestelyllä saadaan reaktori hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja voidaan pitää siinä vähintään 24 tuntia. Lisätoimenpiteillä aikaa voidaan pidentää 72 tuntiin, kuten edellä on esitetty.

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää höyrystimien passiivista jälkilämmön poistojärjestelmää (PHRS SG, 4 x 33 %). PHRS SG:llä voidaan siirtää jälkilämpö 24 tuntia onnettomuuden jälkeen ilman operaattoritoimenpiteitä. Lisätoimenpiteillä aikaa voidaan pidentää 72 tuntiin pumppaamalla vettä vaihtoehtoisesta vesivarastosta vesialtaisiin. PHRS SG:llä laitos saadaan hallittuun tilaan. Jäähdytysvesi reaktoriin saadaan primääripiirin lisävesijärjestelmällä (KBA) lisävesisäiliöstä tai JNG-järjestelmällä suojarakennuksen sisäpuolella olevasta IRWST-säiliöstä.

Reaktoripainesäiliön kannen ollessa auki reaktorin normaali jälkilämmönpoistojärjestelmä voidaan korvata höyrystämällä vettä suojarakennukseen ja siirtämällä jälkilämpö suojarakennuksen passiivisella jälkilämmönpoistojärjestelmällä (PHRS C, 4 x 33 %). PHRS C:llä voidaan siirtää jälkilämpö 24 tuntia onnettomuuden jälkeen ilman operaattoritoimenpiteitä. Lisätoimenpiteillä aikaa voidaan pidentää 72 tuntiin, kuten edellä on esitetty. Jäähdytysvesi reaktoriin saadaan primääripiirin lisävesijärjestelmällä (KBA) lisävesisäiliöstä tai JNG-järjestelmällä suojarakennuksen sisäpuolella olevasta IRWST-säiliöstä.

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

### *Polttoainealtaiden jäähdytys*

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

Erilaisuusperiaatteen täyttävänä polttoainealtaiden jäähdytysjärjestelmänä voidaan käyttää suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmän pumppuja ja hätäjäähdytysjärjestelmän lämmönvaihtimia.

Vaihtoehtoisesti jälkilämpö voidaan siirtää PHRS C-järjestelmän avulla höyrystämällä vettä polttoainealtaissa. Lisävesi polttoainealtaisiin saadaan tässä tapauksessa polttoainealtaiden puhdistusjärjestelmän (FAL) avulla. Lisäveden lähdettä ei mainita aineistossa.

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 neutronivuodetektoreilla ja hallinnollisilla menettelyillä.

Primääripiirin ulospuhallusventtiileillä 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 suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

### *Sähköjärjestelmät*

AES-2006-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

- varavoimadieselgeneraattorit (4 x 100 %)
- erilaisuusperiaatteen toteuttaa kaasuturbiinigeneraattori (1 x 100 %)
- akustot varavoimasähkölähteiden käynnistymisen aikana.

Konseptissa esitetty erilaisuusperiaatteen toteuttava vaihtosähkön syöttölähde ei täytä suomalaisia turvallisuusvaatimuksia moninkertaisuusperiaatteen osalta.

Vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmille on esitetty omat erilliset sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelmänsä. Kuvauksessa on viitattu omiin erillisiin akustoihin, joiden purkausaika on 72 h. Akustojen uudelleen lataamiseksi ei ole esitetty menettelyjä.

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 sähköjakelussa ja automaatiojärjestelmien sähkönsyötössä. On analysoitava, mitkä ovat pahimmat mahdolliset jännitetransientti ja -häiriötilanteet laitoksen omakäyttösähköverkossa ja mitoitettava sähkönkuluttajat ja järjestelmät kestäämään nämä olosuhteet. Asiaa tullaan tarkastelemaan yksityiskohtaisesti rakentamislupavaiheessa.

Sähköjärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Rakentamislupaa haettaessa tarkemmin tutkittavia asioita ovat erilaisuusperiaatteen toteuttavat vaihtosähkön syöttölähteet, sähköjärjestelmien erotteluperiaatteet, vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmän erillinen sähkötehon syöttöjärjestelmä ja Forsmark-häiriöstä saadut yleiset opetukset.

#### Rakennustekniikka ja palontorjunta

AES-2006-laitoksen rakennusten ja talotekniikan perussuunnittelun vaatimukset ulkoisten uhkien kannalta ovat riittävät. Perussuunnittelu antaa riittävän pohjan suunnitteluvaatimusten hallintaan rakennusten ja talotekniikan yksityiskohtaiseen suunnitteluun.

Maanjäristyksien ja muiden ulkoisten uhkien värähtelykestävyyteen liittyvät suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Maanjäristysten osalta perussuunnittelussa on käytetty referenssilaitosten Tianwanin PGA-arvoa 0,2 g, sekä Leningrad NPP-2:n PGA- arvoa 0,12 g, jotka ovat suomalaisia 0,1 g PGA- arvoon perustuvia vaatimuksia tiukemmat. Perussuunnittelun lähtökohtana on ollut runkorakenteiden kestävyiden ja värähtelyominaisuuksien esisuunnittelu kaikkia ulkoisten uhkien aiheuttamia värähtelyjä vastaan. Tämä antaa hyvät perusteet yksityiskohtaiseen suunnitteluun myös laitteiden värähtelykestävyyden osalta. Periaatepäätöksen osalta perussuunnittelussa esitetyt vaatimukset ovat riittävät. Laitteiden värähtelykestävyyden suunnitteluperusteet tulee varmistaa rakentamislupavaiheessa.

AES-2006-laitoksen palontorjuntakonseptin suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia lukuun ottamatta turvallisuusrakennusten eri tila-alueiden välistä erottelua, jolta osin suunnitteluvaatimukset eivät

täytä yksiselitteisesti suomalaisia vaatimuksia. Tältä osin sekä maanjäristysten mahdollisesti aiheuttamien seurauspalojen hallinnan osalta laitoksen sammutusjärjestelmien maanjäristyskestävyyden tarve ja suunnitteluperusteet tulee varmistaa mahdollisessa rakentamislupavaiheessa.

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

AES-2006-laitoksen suojautumisstrategia suuren matkustajakoneen törmäyksestä on ulomman suojarakennuksen rakentaminen suuren liikennelentokoneen törmäyksen kestäväksi. Lisäksi strategiassa käytetään varjostus- ja etäisyserottelua päähöyryventtiili-, turvallisuus-, valvomo- sekä varavoimadieselgeneraattorirakennusten osalta. Tuoreen polttoaineen varaston suojaukseen käytetään vahvistettuja teräsbetonirakenteita ja radioaktiivisten jätteiden säiliöt sijoitetaan maanalaisiin tiloihin.

Suuren matkustajalentokoneen törmäyksen rakenteellinen suojaus keskittyy ulompaan suojarakennukseen ja tuoreen polttoaineen varastoon. Turvallisuus- ja päähöyryventtiilirakennuksia ei ole suunniteltu törmäyskestoiseksi. Turvallisuustoimintojen osoittaminen lentokonetörmäystapahtumassa on näin ollen vaikeaa. Laitostoitimittaja on esittänyt mahdollisuuksia turvallisuuden kannalta merkittävimpien rakennusten rakenteellisen suojauksen laajentamiseen.

STUKin arvion mukaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttymistä ei ole toistaiseksi voitu osoittaa. Esitetty toteutusratkaisu vaatii tarkempia suunnitelmia ja analyyseja sekä laitosmuutoksia.

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

AES2006 turvallisuusjärjestelmät on jaettu neljään rinnakkaiseen, toisiaan korvaavaan osajärjestelmään. Osajärjestelmät on eroteltu fyysisesti toisistaan. Turvallisuusjärjestelmien ne osat, jotka sijaitsevat turvallisuusrakennuksessa, on sijoitettu rinnakkaisiin tila-alueisiin. Suojarakennuksessa fyysistä erottelua on toteutettu jakamalla välitila eli annulus neljään palo-osastoon.

Turvallisuusrakennuksessa turvallisuusjärjestelmiä sisältävät rakennusosat on sijoitettu rinnakkain ja niitä yhdistävät huoltokäytävät sekä ilmastointijärjestelmien kanavistot. Nämä ovilla ja palopelleillä erotellut yhteydet rinnakkaisten osajärjestelmien välillä kyseenalaistavat fyysisen erottelun riittävän toteutumisen.

Turvallisuusrakennuksen alakerroksissa sijaitsee ydinteknisen välijäähdytyspiirin merivesilämmönvaihtimet sekä niiden putkistot. Näiden laitteiden rikkoutumisen aiheuttama suuren tulvan hallinta valitussa turvallisuusrakennuksen tilasuunnittelussa on haasteellinen. Samoin turvallisuusrakennuksessa jokaisen osajärjestelmän matala- ja korkeapaineiset hätäjäähdytyspumput laitteineen ja putkistoineen on sijoitettu samaan huonetilaan ilman fyysistä erottelua.



STUKin arvion mukaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttymistä suojaus-  
tumiselta sisäisiltä tapahtumilta, kuten tulvat ja tulipalot, ei ole toistaiseksi voitu  
osoittaa. Esitetty toteutusratkaisu vaatii tarkempia suunnitelmia ja analyyseja sekä  
laitosmuutoksia.

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

Automaatiojärjestelmien turvallisuusperiaatteet on esitetty periaatepäätöksen ha-  
kemusasiakirjoissa varsin yleisellä tasolla. Ennen suunnittelun ja suunnitteluai-  
neistojen täsmentymistä varsinaisen teknisen suunnittelun tasolle, kyse on monien  
turvallisuusperiaatteiden osalta enemmänkin tavoitteista, joiden toteutumista peri-  
aatepäätösasiakirjojen perusteella ei voida vielä arvioida. Turvallisuusperiaattei-  
den aito toteutuminen laitoksen teknisissä ratkaisuissa on varmistettava suunnitte-  
lun edetessä myös hankkeen myöhemmissä vaiheissa. Näistä vaiheista rakentamis-  
lupakäsittely on ensimmäinen, konkreettisia automaatioteknisiä ratkaisuja käsitte-  
levä laitoshankkeen viranomaiskäsittelyn vaihe.

#### *Automaattiset turvallisuustoiminnot*

AES-2006-laitoksen automaatioissa on useita eri puolustuslinjoja syvyysuunnas-  
sa. Ensimmäisen linjan muodostavat normaali käyttöautomaatio ja säätöjärjestel-  
mät. Toisessa linjassa on ensisijaisesti toimiva, kaikki turvallisuustoiminnot tarvit-  
taessa käynnistävä suojausjärjestelmä, joka on jaettu kahteen toisiansa korvaavaan  
diverssiin osaan A ja B. Kolmannessa linjassa on erilaisella tekniikalla toteutettu  
toinen, tärkeimmät turvallisuustoiminnot käynnistävä suojausjärjestelmä  
HW(Hard Wired)-Div. Järjestelmä sisältää samat toiminnot, kuin suojausjärjes-  
telmän diverssiteetti A. Viimeisen linjan muodostaa vakavien onnettomuuksien  
hallintajärjestelmä.

Eri puolustuslinjojen automaatiojärjestelmät on suunniteltu pitämään laitoksen pa-  
rametrit automaattisesti turvallisella alueella käyttöhäiriöiden aikana ja rajoitta-  
maan onnettomuustilanteiden seurauksia.

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

#### *Moninkertaisuusperiaate automaatioissa*

AES-2006-laitoksen ensisijaisesti toimivassa suojausjärjestelmässä on neljä rin-  
nukkaista osajärjestelmää. Suojaustoiminto käynnistyy, mikäli kaksi neljästä rin-

nakkaisesta suojauskanavasta antaa suojaussignaalin. Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen vaatimukset moninkertaisuusperiaatteen osalta.

Tärkeimmät käyttöautomaatiojärjestelmät toteutetaan yksittäisvikasietoisesti.

Erilaisuusperiaatteen automaation osalta toteuttavassa suojausjärjestelmässä HW-Div on neljä rinnakkaista osajärjestelmää.

Järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Erotteluperiaate automaatiossa*

Reaktorinsuojausjärjestelmän rinnakkaiset osajärjestelmät on erotettu toisistaan fyysisesti ja toiminnallisesti. Muiden eri turvallisuusluokkien automaatiojärjestelmien ja laitteiden erottelua toisistaan osajärjestelmien välillä ja sisällä ei ole kuvattu hakemusaineistossa. Myöskään vakavien onnettomuuksien hallinta-automaation ja seurantajärjestelmien erottelua muusta automaatiosta ei ole käsitelty.

Saatu aineisto ei anna riittävää tietoa siitä, täyttävätkö automaatiojärjestelmien erotteluperiaatteeseen liittyvät suunnittelutavoitteet suomalaiset turvallisuusvaatimukset. Eri turvallisuusluokkien automaatiojärjestelmien erottelu toisistaan sekä vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmän erottaminen muusta automaatiosta tulee kuvata ja tarvittaessa korjata. Lisäksi on selvitettävä automaation rinnakkaisien osajärjestelmien erotusperiaatteet toisistaan.

#### *Erilaisuusperiaate automaatiossa*

Suomalaiset turvallisuusvaatimukset edellyttävät, että reaktorin suojausjärjestelmässä tulee mitata vähintään kahta eri prosessisuuretta, jotka ovat molemmat fyysisesti häiriötilanteesta tai onnettomuudesta riippuvia ja joiden laukaisurajat voidaan valita siten, että ne saavutetaan riittävän aikaisin. Hakemusaineistossa ei ole kerrottu, miten erilaisuusperiaatetta sovelletaan reaktorinsuojausjärjestelmän mittauksissa ja suojausten aktivoinnissa. Asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

AES-2006-laitoksen automaatio perustuu kahteen tietokonepohjaiseen järjestelmälustaan. Reaktori-, laitossuojaus- ja rajoitusjärjestelmät pohjautuvat toiseen ja muut automaatiojärjestelmät toiseen laitealustaan.

Laitoskonseptissa on tietokonepohjaisen suojausjärjestelmän varalle erilaisuusperiaatteeseen perustuva suojausjärjestelmä HW-Div. Toimitetussa aineistossa ei ole kuvattu, mihin laitostilaan järjestelmä kykenee laitoksen ohjaamaan ohjelmoitavan

automaation yhteisvikatilanteessa. Asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

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

#### *Valvomo*

Valvomossa on ohjauspulpetteja ja tauluosuus. Turbiini-, reaktori- ja apujärjestelmien ohjaajan ohjauspulpeteista laitosta ohjataan normaalitilassa, käyttöhäiriöissä ja onnettomuustilanteissa. Ohjauspulpetteihin tulee lisäksi ohjaajille tarvittava informaatio ohjaustoimenpiteiden suorittamiseksi.

Osa tauluosuudesta on toteutettu kiinteillä indikaattoreilla ja ohjauskytkimillä. Näitä ovat mm. suojausjärjestelmän paneeli sekä turvallisuuden kannalta tärkeiden komponenttien ohjauspaneelit.

Valvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Varavalvomo*

AES-2006-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 rakennuksessa kuin päävalvomo.

Varavalvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

#### *Yhteenveto*

AES-2006-laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

AES-2006 laitosvaihtoehdossa suuren matkustajalentokoneen törmäyksen rakenteellinen suojaus keskittyy ulompaan suojarakennukseen ja tuoreen polttoaineen varastoon. Turvallisuus- ja päähöyryventtiilirakennusta ei ole suunniteltu törmäyskestoiseksi. Turvallisuustoimintojen osoittaminen lentokonetörmäystapahtumassa on näin ollen vaikeaa. Laitostoimittaja on esittänyt mahdollisuuksia turvallisuuden kannalta merkittävimpien rakennusten rakenteellisen suojauksen laajentamiseen. STUKin arvion mukaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttymistä ei ole toistaiseksi voitu osoittaa. Esitetty toteutusratkaisu vaatii tarkempia suunnitelmia ja analyyssejä sekä laitosmuutoksia.

AES-2006 laitosvaihtoehdossa turvallisuusrakennuksen turvallisuusjärjestelmiä sisältävät rakennusosat on sijoitettu rinnakkain ja niitä yhdistävät huoltokäytävät sekä ilmastointijärjestelmien kanavistot. Nämä ovilla ja palopelleillä erotellut yhteydet rinnakkaisten osajärjestelmien välillä kyseenalaistavat fyysisen erottelun riittävän toteutumisen. STUKin arvion mukaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttymistä suojautumiselta sisäisiltä tapahtumilta, kuten tulvat ja tulipalot, ei ole toistaiseksi voitu osoittaa. Esitetty toteutusratkaisu vaatii tarkempia suunnitelmia ja analyyseja sekä laitosmuutoksia.

Automaatiojärjestelmien erotteluperiaatteeseen liittyvien suunnittelutavoitteiden ja -periaatteiden ei voitu todeta vastaavan suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Eri turvallisuusluokkien automaatiojärjestelmien erottelu toisistaan sekä vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmän erottaminen muusta automaatiosta tulee kuvata ja tarvittaessa korjata. Lisäksi on selvitettävä automaation rinnakkaisten osajärjestelmien erotusperiaatteet toisistaan.

Primääripiirin paineenalennus vakavissa onnettomuuksissa ei nykyisellään täytä suomalaisia turvallisuusvaatimuksia, sillä paineenalennus on suunniteltu tehtävän primääripiirin tavanomaisia varoventtiilejä ja hätäkaasunpoistojärjestelmää hyväksi käyttäen. Suomalaisen vaatimukset edellyttävät vakavien onnettomuuksien järjestelmien riippumattomuutta laitoksen käyttötilanteita ja oletettuja onnettomuuksia varten suunnitelluista järjestelmistä.

Eräät 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

- passiivisten jälkilämmönpoistojärjestelmien (PRHR SG, PRHR C) toiminnan kokeellinen osoittaminen
- reaktoripainesäiliön materiaalien analyysivaatimukset sekä pääkiertopiirin liittyvien putkiyhteiden toteutus-, tarkastus- ja säteilysuojeluperiaatteet
- pääkiertopiirin oletettujen, äkillisten putkikatkojen vaikutukset reaktorin sisäosien kestävyys
- tarve varustaa suojarakennus suodatetulla ulospuhallusjärjestelmällä
- hätäjähdytysjärjestelmän imusiivilät ja niiden toiminnan kokeellinen varmentaminen
- jälkilämmön poistoon 72 tunnin ajaksi liittyvien erilaisuusperiaatteen toteuttavien järjestelmien (EFWS, PRHR SG, PRHR C, FAL) jäähdytysveden saantiin liittyvät tekniset ratkaisut
- erilaisuusperiaatteen toteuttavat vaihtosähkön syöttölähteet

- vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmän sähkötehon syöttöjärjestelmä
- Forsmark-häiriöstä saadut yleiset opetukset
- sekä sähkö- että automaatiojärjestelmien erotteluperiaatteet
- HW-Div-järjestelmän laajuus
- erilaisuusperiaatteen soveltaminen reaktorisuojausjärjestelmän mittauksissa ja suojausten aktivoinnissa.

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

### 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 parhaillaan rakenteilla, ja niiden on suunniteltu valmistuvan vuosien 2013–2014 aikana. Lisäksi Koreassa valmistellaan kahden seuraavan APR1400-laitoksen rakentamista.

KHNP on edelleen 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 pääkier-topumpit. Kylmähaarat on kytketty kahteen kooltaan hyvin suureen höyrytimeen, kaksi kylmähaaraa aina yhteen höyrytimeen. Reaktorista johtaa yksi kuumahaa-

raa kumpaakin höyrystimeen. Ratkaisusta on käyttökokemuksia Combustion Engineeringin ja KHNP:n rakentamilta voimalaitoksilta.

Sekundääripiiri on periaatteeltaan samanlainen kuin nykyisissä painevesilaitoksissa. Höyrystimiä on kaksi ja ne ovat poikkeuksellisen kookkaita pystysuoria U-putkihöyrystimiä. Höyrystimet vastaavat tekniikaltaan nykylaitoksissa käytössä olevia uusimpia höyrystimiä, joissa pystyhöyrystimille tyypilliset lämmönsiirto-putkien eheydessä esiintyneet ongelmat on pyritty eliminoimaan materiaalivalinnoilla ja rakenneratkaisuilla.

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 laitosten 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. Todennäköisyysperusteiset analyysit tehdään laitoksen yksityiskohtaisen suunnittelun yhteydessä, jolloin arvioidaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten toteutuminen.

*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 laitos-

piirteiden toiminnan varmistamiseen. Joissakin uusissa laitospiirteissä saattaa olla vielä tarvetta lisäkokeiden suorittamiseen.

#### 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.

Analyysituloksien perusteella voidaan arvioida, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset vaatimukset täyttävät analyysit lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa.

#### 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 pyörähdysymmetriset takeet yhteen painelaittevalmistukselle

tyypillisin koetelluin menetelmin. Reaktoripainesäiliö pinnoitetaan sisäpuolelta ruostumattomalla teräksellä ja osin nikkelpohjaisilla seoksilla. Pinnoitemateriaalien valinnassa huomioidaan hyvä jännityskorroosionkestävyys.

Reaktorin sydänalueella tapahtuvan säteilyhaurastumisen rajoittaminen on huomioitu materiaalin koostumuksessa ja analyysivaatimuksissa. Haurastumista valvotaan normaalikäytännön mukaisella seurantaohjelmalla. Reaktoripainesäiliö on suunniteltu niin, että reaktorin sydämen keskialueelle ei tule hitsausliitosta.

Reaktoripainesäiliössä ja muissa päälaitteissa käytettävien rakennemateriaalien valinnassa on huomioitu käytön aikaiset vanhenemisilmiöt. Päälaitteiden materiaali-valinnassa asetetaan vaatimukset myös primääripiirin aktiivisuuteen vaikuttavien seosaineiden kuten koboltin enimmäispitoisuuksien osalta.

Myös höyrystimien ja paineistimen valmistuksessa noudatetaan käytännössä koeteltuja vaatimuksia ja toteutusperiaatteita. Höyrystimien lämmönsiirtoputket ovat nikkelpohjaista seosta Inconel 690 TT (Thermally Treated), joka on nykytiedon mukaan aiempiin materiaalivalintoihin verrattuna selvästi kestävämpi ratkaisu.

Pääkiertoputkisto valmistetaan niukkaseosteisesta teräksestä, joka pinnoitetaan hitsaamalla 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 (Leak Before Break, 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 lisäanalyysseja.

### *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 myös tarvittaessa alentaa hallitusti primääripiirin painetta, jos mahdollisuus pumppata vettä primääripiiriin korkeassa paineessa on menetetty.



Valtioneuvoston asetuksen edellyttämän erilaisuusperiaatteen toteuttaa paineistimen apuruiskutusjärjestelmä, jonka kautta normaalilla lisävesijärjestelmällä (CVCS, 2x100%)(sähkösyöttö on dieselvarmennetettu) voidaan pumpata vettä paineistimen höyrytilaan ja lauhduttaa höyryä.

Sekundääripiirin paineen hallinta tapahtuu höyrystimen ulospuhallusventtiileillä (SG ADV) sekä höyrystimen 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 suojaa primäärisuojarakennusta ulkoisilta uhilta.

### *Vakavat onnettomuudet*

APR1400-laitoksen vakavia onnettomuuksia hallitaan primääripiirin paineenalennuksella, jälkilämmön poistavalla suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä, sydänsulan pidättämisellä ja jäähdyttämällä paineastian alle sijoitettavaan sydänsiepariin sekä vedyn poistavilla rekombinaattorella.

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 kaksi rinnakkaista suojarakennuksen eristysventtiiliä, sekä yhteinen lämmönvaihdin. Lämmönvaihtimesta jälkilämpö johdetaan lopulliseen lämpönieluun tälle järjestelmälle varatulla välipiirillä, missä on kaksi rinnakkain toimivaa pumppua. SACSS-järjestelmä ja sen apuna toimiva välipiiri saavat 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 kokoisella laitoksella sydämen jälkilämpöteho on niin suuri, että reaktoripainesäiliön ulkopuolisen jäähdytyksen turvallisuusmarginaali jää pieneksi. Laitostoimittaja on vuonna 2009 käynnistänyt ohjelman, jonka päämääränä on kehittää Suomeen tarjottavaan laitokseen paineastian alapuolelle asennettava sydänsieppari. Siepparista on olemassa alustava suunnitelma. Suunnitelmassa sieppari tulvittuu painovoimaisesti suojarakennuksen sisäpuolelle sijoitetusta varastoaltaasta. Sulapurkaus paineastiasta sieppariin avaa tulvituksen käynnistävän venttiilin.

Vakavan onnettomuuden aikana syntyy huomattava määrä vetyä, joka paineistaa suojarakennusta ja suurina pitoisuuksina voisi palaa tai räjähtää. Painevesireaktorien suojarakennus on käytön aikana ilmatäyteinen, 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 suodattulla 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 täyttääkseen suomalaiset vakavien onnettomuuksien turvallisuusvaatimukset. Sydänsieppari on vasta suunnitteluasteella. Sydänsiepparin toimivuus tulee osoittaa kokeellisesti viimeistään rakentamislupavaiheessa.

#### Turvallisuustoiminnot 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 hätäjäähdytysjärjestelmään liittyvissä poikkeuksellisen suurikokoisissa painesäiliöissä.

#### *Reaktorin reaktiivisuuden hallinta*

APR1400-laitoksessa reaktiivisuutta hallitaan säätösauvoilla ja primäärijäähdytyksessä 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 myrkyn ansiosta voidaan primäärijähdytteen booripitoisuutta pitää kohtuullisen pienenä myös sen jälkeen, kun reaktoriin on ladattu uutta polttoainetta. Pienemmästä primäärijähdytteen booripitoisuudesta ja tehokkaammasta pikasulusta huolimatta reaktorin suunnittelussa on varauduttu virheelliseen primääripiirin jäähdytteen booripitoisuuden laimenemiseen. Tämä ns. puhtaan veden tulpan hallinta on otettu huomioon sekä seisokki- ja käynnistystilanteiden että häiriö- ja onnettomuustilanteisiin varautumisen suunnittelussa. Esi-tettyjen 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 tukseen täydentäviä analyysejä ja/tai kokeita.

### *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 pumppaamalla höyrystimiin vettä hätäsyöttövesijärjestelmällä ja puhaltamalla höyry ilmakehään sekundääripiirin 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 lämpönieluun välijähdytysjärjestelmän (CCWS, 4 x 50 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS, 4 x 50 %) avulla. Näitä järjestelmiä käytetään ensisijaisina jälkilämmönpoistojärjestelminä 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 ilmajäähdyttimien (RCFC, 2 x 100 %) avulla ilmakehään. Korvaava jäähdytysvesi reaktoriin saadaan IRWST-säiliöstä.

*Reaktorin jäähdytys 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 pumppua. 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 hätäjäähdytysjärjestelmän (SIS) korkeapainepumpuilla (SIP) IRWST-säiliöstä ja poistamalla piiristä kuumaa vettä varoventtiilien läpi takaisin IRWST-säiliöön (ns. ”feed and bleed”-jäähdytys). IRWST -säiliöstä jälkilämpö poistetaan edelleen sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmällä ja suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä (SCS/CSP, 4 x 50 %). Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijäähdytysjärjestelmän (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 hätäjäähdytysjärjestelmästä (SIS 4 x 100%), joka ottaa lisävetensä suojarakennuksen sisäpuolella sijaitsevasta IRWST-säiliöstä.

*Reaktorin jäähdytys jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa*

Onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin jäähdytettä menetetään vuodon seurauksena, reaktori voidaan jäähdyttää tätä tilannetta varten suunnitelluilla hätäjäähdytysjärjestelmillä.

APR1400-laitoksen hätäjäähdytysjärjestelmässä (SIS, 4 x 50 %) on neljä rinnakkaista erillistä osajärjestelmää. Kussakin on korkeapainehätäjäähdytyspumppu (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 jäähdytysveden oman yhteensä kautta suoraan reaktoripainesäiliöön. 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 hätäjäähdytyspumppuille tarvittavaa imukorkeutta. Imusiivilöiden toimintaa ei ole toistaiseksi osoitettu kokeellisesti, mutta se voidaan tehdä lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa.

Erilaisuusperiaate edellä esitetyn hätäjäähdytyksen osalta pienissä jäähdytysvuodoissa on toteutettu siten, että primääripiiri jäähdytetään nopeasti sekundääripiiriin paineen alennusventtiilien avulla ja samanaikaisesti primääripiiriin paine laskeaan kunnes päästään alueelle, jossa hätäjäähdytyksen 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 välijäähdytysjärjestelmän (CCWS, 4 x 50 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS, 4 x 50 %) avulla.

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

#### *Jälkilämmön poisto suojarakennuksesta*

APR1400-laitoksessa jälkilämmön poisto suojarakennuksesta primääripiiriin tai sekundääripiiriin 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 välijäähdytysjärjestelmän (CCWS) ja varmennetun merivesijärjestelmän (ESWS) kautta lopulliseen lämpönieluun.

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

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

### *Suojarakennuksen eristys*

APR1400-laitoksen suojarakennuksen eristys on suojarakennuksen läpäisevissä putkilinjoissa toteutettu kahdella eristysventtiilillä. Erilaisuusperiaatteen toteuttaminen 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.

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 neutronivuodetektoreilla ja hallinnollisilla menettelyillä.

Laitoksen alasajoissa, käynnistyksessä ja seisokkitilanteissa, kun sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmä (SCS) on käytössä, primääripiirin 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 omakäyttösähköverkossa ja mitoitettava sähkökuluttajat ja järjestelmät kestävämmän nämä olosuhteet. Asiaa tullaan 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.

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

APR1400-laitoksen suojautumisstrategia suuren matkustajakoneen törmäyksestä on laitoksen ulomman 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 etäisyys-erottelulla.



Esitetyn toteutusratkaisun suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia

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

APR1400-laitoksen tila- ja sijoitussuunnittelussa huomioidaan sisäiset uhkatekijät kuten tulvat ja tulipalot sijoittamalla keskeisten turvallisuusjärjestelmien neljä rinnakkaista, 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 pumpput, 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 syöttövesiputkilinjien johtaminen suojarakennuksesta kahta erillistä reittiä pitkin turbiinirakennukseen. Kumpikin erillinen päähöyry- ja syöttövesireitti kulkee omia teräsbetonirakenteisia kanavia pitkin.

#### 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 antaa suojaussignaalin. 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.

Automaatiojärjestelmien rinnakkaiset osajärjestelmät 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*

Suomalaiset turvallisuusvaatimukset edellyttävät, että reaktorin suojausjärjestelmässä tulee mitata vähintään kahta eri prosessisuuretta, jotka ovat molemmat fyysikaalisesti häiriötilanteesta tai onnettomuudesta riippuvia ja joiden laukaisurajat voidaan valita siten, että ne saavutetaan riittävän aikaisin. Hakemusaineistossa ei ole kerrottu, miten erilaisuusperiaatetta sovelletaan reaktorisuojausjärjestelmän mittauksissa ja suojausten aktivoinnissa. Asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

APR1400-laitoksen automaatio perustuu kahteen tietokonepohjaiseen järjestelmäalustaan. 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 järjestelmäalustojen yhteisvikaan suunnittelemalla langoitettut käsiohjaukset tärkeimmille turvajärjestelmille. Näiden käsiohjausten avulla laitos saadaan turvalliseen tilaan (kylmäsammutettuun).

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 ohjajille 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.

#### *Yhteenveto*

APR1400-laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Suomeen tarjottavaan laitokseen esitetty sydänsieppari on suunnitteluasteella. Sydänsiepparin toimivuus tulee osoittaa kokeellisesti viimeistään rakentamislupavaiheessa.

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
- hätäjähdytysjärjestelmän imusiivilöiden toiminnan kokeellinen varmentaminen
- suojarakennuksen eristystoiminnon erilaisuusperiaatteen toteuttaminen
- sähköjärjestelmien erotteluperiaatteet ja Forsmark häiriöstä saatujen yleisten opetusten huomioon ottaminen sähköjärjestelmissä
- DPS-järjestelmän moninkertaisuusperiaate ja toimintojen laajuus
- erilaisuusperiaatteen soveltaminen reaktorisuojausjärjestelmän mittauksissa ja suojausten aktivoinnissa

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

### **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 turvallisuusjärjestelmien suunnitte-

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

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

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.

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 polttoainepip-

puu ja 89 säätösauvaa. Polttoaine- ja sydänsuunnittelussa noudatetaan samanlaisia käytäntöjä kuin suurikokoisissa käytössä olevissa painevesireaktoreissa. Polttoaineniput ovat tyypillisiä 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 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 vaatimuksia.

### *Ydintekniset päälaitteet*

EPR-laitoksen päälaitteiden materiaali- ja rakenneratkaisut vastaavat olennaisesti Olkiluoto 3:ssa noudatettavia periaatteita Niukkaseosteista terästä oleva reaktoripainesäiliö hitsataan kokoon pyörähdyssymmetrisistä takeista pätevöidyllä 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 hitsistä 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 terästageista, jotka omaavat hyvät sitkeysominaisuudet. Toisaalta tämä materiaali-valinta johtaa päälaitteisiin liittyvissä hitseissä vaativan eripariliitoksen käyttöön, mikä on nykykokemuksen mukaan täysin toteutettavissa.. Eripariliitosten käytön

aikaiseen seurantaan on kuitenkin kiinnitettävä huomiota rakentamislupaa haettaessa.

Primääripiirin eheys varmistetaan putkikatkojen ennaltaestämismenettelyn (Break Preclusion, BP) mukaisilla tiukennetuilla laatuvaatimuksilla, johon kuuluu suomalaisten turvallisuusvaatimusten mukaista ”vuoto ennen murtumaa” -periaatetta (Leak Before Break, LBB) soveltaminen. Sen lisäksi turvallisuusjärjestelmien suunnittelussa otetaan huomioon halkaisijaltaan suurimman primääripiirin putken katko pääkiertoputkisto voidaan vaadittaessa varustaa putkikatkojen varalta riittävin suojuksin.

Ydinteknisten päälaitteiden suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

### *Primääripiirin paineenhallinta*

EPR-laitoksen primääripiirin paineenhallintaa varten on kolme varoventtiiliä. Eri-laisuusperiaatteen 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 suojarakenne, 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 jäähdyttämiseen 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 tarkoitetulla 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 jäähdytetään EPR-laitoksessa suojarakennuksen pohjatasolle sijoitetussa sulan leviämistilassa. Leviämistilan lattia ja seinät on vuorattu paksuilla rautaelementeillä, joiden ala- ja takaosa on varustettu jäähdytyskanavin. Lattiaelementit on päällystetty betonikerroksella, jonka tarkoituksena on suojata elementtejä sulan purkausvaiheen aikana. Reaktoripainesäiliön 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 jäähdyte virtaa leviämistilan lattiaelementtien alapuolella ja seinäelementtien takana oleviin jäähdytyskanaviin sekä lopulta sulan päälle. Leviämisalueella syntyvä höyry kulkeutuu suojarakennuksen kupoliosaan, missä se lauhdutetaan suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä. Sulan kulkeutuminen leviämisalueelle ja sen jäähdytys hätäjäähdytysaltaan vedellä eivät vaadi ulkoista käyttövoimaa.

Vakavan onnettomuuden aikana syntyy huomattava määrä vetyä, joka paineistaa suojarakennusta. Riittävän suurena pitoisuutena vety voisi palaa tai räjähtää. Painevesireaktorien suojarakennus on käytön aikana ilmatäyteinen, joten siellä on palamiseen tarvittavaa happea. Painevesireaktorien 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 syttyvää kaasuseosta ehdi syntyä.

Suomeen rakennettavassa EPR:ssa 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.

Turvallisuustoiminnot 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 sauvoja 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 ansiosta voidaan primäärijähdytteen booripitoisuutta pitää kohtuullisen pienenä myös sen jälkeen, kun reaktoriin on ladattu uutta polttoainetta. Pienemmästä primäärijähdytteen booripitoisuudesta ja tehokkaammasta pikasulusta huolimatta reaktorin suunnittelussa on varauduttava virheelliseen primääripiirin 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 uudelleenkriittisyys estetään säätösauvojen ja keskipainehätäjäähdytysjärjestelmän (JND) reaktorin jähdytyspiiriin pumppaaman 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 pumppaamalla höyrystimiin vettä hätäsyöttövesijärjestelmällä ja puhaltamalla

höyry ilmakehään sekundääripiirin 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 höyrystämällä 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 turpiinin lauhduttimeen, jälkilämpö primääripiiristä voidaan siirtää ilmakehään käyttämällä sekundääripiirin hätäsyöttövesijärjestelmää (EFWS, 4 x 100 %) ja höyrystimen ulospuhallusventtiilejä (MSDV). Hätäsyöttövesijärjestelmällä pumpataan vettä hätäsyöttövesisäiliöstä höyrystimiin 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 sekundääripiirin 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 hätäjähdytysjärjestelmillä.

EPR-laitoksessa primääripiirin hätäjähdytys 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 hätäjähdytystoimintoa. Keski- ja matalapainehätäjäähdytysjärjestelmillä on yhteiset syöttöyhteet primääripiirin kylmähaarioihin. 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 hätäjähdytyspumppujen tarvittavaa imukorkeutta. Imusiivilät on myös kokeellisesti osoitettu toimiviksi.

Erilaisuusperiaate edellä esitetyn hätäjähdytyksen osalta pienissä jäähdytysvuodoissa on toteutettu siten, että primääripiiri jäähdytetään nopeasti sekundääripiirin puhallusventtiileillä tai primääripiirin varoventtiileillä ja primääripiirin paine lasketaan kunnes päästään alueelle, jossa JNG-järjestelmä ja hätäjähdytyksen 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 höyrystämällä 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 pääsääntöisesti kahta eri periaatteella toimivaa eristysventtiiliä lukuun ottamatta korkeapainehätäjäähdytysjärjestelmän pumppujen imulinjoja, joissa on yksi suojarakennuksen ulkopuolinen eristysventtiili.

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 höyrystimien 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 höyrystämällä 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 saata-

vissa useista vaihtoehtoisista lähteistä: palovesijärjestelmästä (SGB), polttoaineal-  
taiden puhdistusjärjestelmästä FAL tai täyssuolanpoistetun veden jakelujärjestel-  
mästä (GHC).

Polttoaineal-  
taiden jäähdytykseen osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet  
ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

### *Seisokkiturvallisuus*

Reaktorin alikriittisenä pysyminen varmistetaan kaikissa seisokkitilanteissa pitä-  
mällä säätösauvat reaktorissa ja lisäämällä riittävän väkevää booriliuosta jäähdy-  
tysveteen. Reaktorin alikriittisyyttä seisokeissa valvotaan reaktorin ulkopuolisilla  
neutronivuodetektoreilla ja hallinnollisilla menettelyillä.

Primääripiirin varoventtiileillä ja jälkilämmönpoistojärjestelmässä olevilla varo-  
venttiileillä estetään primääripiirin kylmäpaineistuminen.

Jälkilämmön poisto primääripiiristä ja suojarakennuksesta hoidetaan reaktori-  
painesäiliön kannen ollessa seisokkitilanteessa kiinni tai auki kuten edellä kohdas-  
sa ”Reaktorin jäähdytys” on kerrottu.

Seisokkiturvallisuuteen liittyvien järjestelmien esitetty toteutusratkaisu täyttää pe-  
riaatetasolla 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 (mitoituspurkaus-  
aika 2 h).

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

Sähköjärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaa-  
timuksia.

### *Rakennustekniikka ja palontorjunta*

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

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

EPR-laitoksen suojautumisstrategiana suuren matkustajakoneen törmäyksen varalle on suunnitella ja rakentaa reaktori-, polttoaine- ja turvallisuusrakennukset 2 ja 3 lentokonetörmäyskestoiseksi. Turvallisuusrakennukset 1 ja 4 on sijoitettu reaktorirakennuksen kummallekin puolelle ja näin niiden suojauksessa on käytetty etäisyys- ja varjostuserottelua. Varmennetun merivesijärjestelmän kahden pumppaamorakennuksen suojauksessa on käytetty etäisyuserottelua. Samoin varavoimadiieselgeneraattorirakennukset sijaitsevat eri puolilla reaktorirakennus- ja turvallisuusrakennusmassaa ja siten niiden suojauksessa on käytetty etäisyys- ja varjostuserottelua. Päähöyry- ja syöttövesijärjestelmien eristysventtiilit on sijoitettu eri puolille reaktorirakennusta 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.

#### 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. Johtavana periaatteena EPR-laitoksen suunnittelussa on, ettei yhdessä osajärjestelmässä tapahtuva alkutapahtuma vaaranna toisten osajärjestelmien toimintaa. Osajärjestelmien välisten rakenteiden paloluokitus on kaksi tuntia. EPR-laitoksen yksityiskohtaisen laitossuunnittelun perusteella on Olkiluoto 3 -projektin yhteydessä tehty palo- ja tulva-analyysejä, joita STUK on käsitellyt osana rakentamisen aikaista tarkastustyötä.

Esitetyn toteutusratkaisun suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

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

##### *Automaattiset turvallisuustoiminnot*

EPR-laitoksen automaatiassa on useita eri puolustuslinjoja syvyysuunnassa. Ensimmäisen linjan muodostavat normaali käyttöautomaatio, säätöjärjestelmät ja ra-

joitusjärjestelmät. 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 havahtuu. 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 vaihtoehtoisesti 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 erilaisuusperiaatteeseen perustuva varajärjestelmä HBS.

Järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### *Valvomo*

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

Tauluosuus koostuu kiinteistä indikaattoreista, ohjauskytkimistä sekä suurkuvavideonäytöistä. Tauluosuuden tarkoituksena on esittää kootusti laitoksen ja tärkeimpien komponenttien tila ja tärkeimmät hälytystiedot. Tauluosuudesta on lisäksi langoitettuun tekniikkaan perustuvat käsi-ohjauspainikkeet, 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 (kylmäsammutettuun) tilaan.

Varavalvomo sijaitsee eri palo-osastossa ja eri kerroksessa, kuin päävalvomo.

Varavalvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

#### *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 haettaessa.