

19.10.2009

 ALUSTAVA TURVALLISUUSARVIO FENNOVOIMAN -
 YDINVOIMALAITOSHANKKEESTA

LIITE 1: LAITOSVAIHTOEHTOJEN SOVELTUVUUDEN ARVIOINTI

JOHDANTO.....	4
LAITOSVAIHTOEHTOJEN ARVIOINTIPERUSTEET	4
KIEHUTUSVESIREAKTORILLA VARUSTETUT LAITOSVAIHTOEHDOT	7
ABWR - Advanced Boiling Water Reactor, Toshiba-Westinghouse	7
Yleistä.....	7
Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §).....	7
Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset.....	7
Todennäköisyysperusteiset analyysit	8
Uuden tyyppisten järjestelmien kelpoistus.....	8
Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 7–10 §)	8
Reaktori ja polttoaine	9
Ydintekniset päälaitteet	9
Suojarakennus	11
Vakavat onnettomuudet.....	11
Turvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §)	12
Reaktorin reaktiivisuuden hallinta	12
Reaktorin jäähdytys.....	13
Reaktorin jäähdytys seisokkitilanteissa.....	13
Reaktorin jäähdytys onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä.....	14
Reaktorin jäähdytys jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa	15
Suojarakennuksen eristys	16
Lopullisen lämpönielun menetys	16
Polttoainealtaiden jäähdytys.....	17
Seisokkiturvallisuus	17
Sähköjärjestelmät	17
Rakennustekniikka ja palontorjunta	18
Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §)	19
Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §)	19
Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	20
Automaattiset turvallisuustoiminnot	20
Moninkertaisuusperiaate automaatiassa	21
Erotteluperiaate automaatiassa.....	21
Erilaisuusperiaate automaatiassa.....	21
Valvomo	22
Varavalvomo	23
Reaktoripainesäiliön pinnanmittaus	23
Yhteenveto	23

KERENA - An Advanced Boiling Water Reactor with passive Safety Features, Areva . 24	
Yleistä.....	24
Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §).....	24
Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset.....	24
Todennäköisyysperusteiset analyysit	24
Uuden tyyppisten järjestelmien kelpoistus.....	25
Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen (VNA 733/2008 8–10 §)	25
Reaktori ja polttoaine	25
Ydintekniset päälaitteet	26
Reaktorin paineenhallinta.....	27
Suojarakennus	28
Vakavat onnettomuudet.....	28
Tuvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §).....	30
Reaktorin reaktiivisuuden hallinta	30
Reaktorin jäähdytys.....	31
Reaktorin jäähdytys seisokkitilanteissa.....	31
Suojarakennuksen eristys	32
Lopullisen lämpönielun menetys	33
Polttoainealtaiden jäähdytys.....	34
Seisokkiturvallisuus	34
Sähköjärjestelmät	34
Rakennustekniikka ja palontorjunta	35
Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §)	36
Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §)	36
Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	37
Automaattiset turvallisuustoiminnot	37
Moninkertaisuusperiaate automaatiassa.....	38
Erotteluperiaate automaatiassa.....	38
Erilaisuusperiaate automaatiassa.....	39
Valvomo	39
Varavalvomo	40
Varavalvomom suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia	40
Reaktorin pinnanmittaus	40
Yhteenveto	40
PAINEVESIREAKTORILLA VARUSTETUT LAITOSVAIHTOEHDOT	41
EPR - European Pressurised Water Reactor - AREVA	41
Yleistä.....	41
Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 733/2008 3 §).....	41
Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset.....	42
Säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen(VNA 733/2008 7–10 §).....	42
Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 733/2008 13 §).....	42
Reaktori ja polttoaine	42
Ydintekniset päälaitteet	43

Primääripiirin paineenhallinta	44
Suojarakennus	44
Vakavat onnettomuudet.....	44
Turvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 733/2008 14 §)	45
Reaktiivisuuden hallinta	45
Reaktorin jäähdytys.....	46
Jälkilämmön poisto suojarakennuksesta	48
Suojarakennuksen eristys	48
Lopullisen lämpönielun menetys	49
Polttoainealtaiden jäähdytys.....	49
Seisokkiturvallisuus	49
Sähköjärjestelmät	50
Rakennustekniikka ja palontorjunta	50
Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §)	50
Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §)	51
Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 733/2008 19 §).....	51
Automaattiset turvallisuustoiminnot	51
Moninkertaisuusperiaate automaatiassa.....	51
Erotteluperiaate automaatiassa.....	52
Erilaisuusperiaate automaatiassa.....	52
Valvomo	52
Varavalvomo	53
Yhteenvedo	53

JOHDANTO

Fennovoima 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 KERENA (ent. SWR1000), sekä yksi painevesireaktorilla varustettu ydinvoimalaitos 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, joka 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. KERENA:n turvallisuustoiminnot perustuvat suurelta osin passiivisiin järjestelmiin. ABWR:ssä on olennaisesti lisätty passiivisten järjestelmien roolia verrattuna nykyisiin laitoksiin. EPR laitosvaihtoehdon 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
KERENA	Areva	Kiehutusvesireaktori	3370 MWt	n. 1250 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 laitosvaihtoehdoja 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 käyttämällä kokeellisia ja laskennallisia menetelmiä.

Alustavassa turvallisuusarviossa todennetaan asetuksen 3 §:ssä esitettyjen vaatimusten osalta se, että laitostoimittajalla on käytössään deterministiset ja todennäköisyysperustaiset laskentamenetelmät, jotka on asianmukaisesti kelpoistettu ja etä malleja on käytetty aikaisempien laitoshankkeiden yhteydessä. Lisäksi arvioidaan, miten laitostoimittaja on kokeellisesti osoittanut uusien, aikaisemmin käyttämättömien 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 laitosvaihtoehdoissa on toteutettu moninkertaisuusperiaate, erotteluperiaate ja erilaisuusperiaate. Näiden periaatteiden noudattaminen jo varhaisessa laitoksen suunnitteluvaiheessa on tärkeää, koska niiden huomioon ottaminen myöhemmin tehtävin muutoksin olisi erittäin vaikeata ja vaativaa.

Moninkertaisuusperiaatteella tarkoitetaan turvallisuustoimintoihin tarvittavien järjestelmien eli turvallisuusjärjestelmien moninkertaistamista useiksi toisiaan korvaaviksi osajärjestelmiksi. Tärkeimpien turvallisuusjärjestelmien on pystyttävä toteuttamaan tehtävänsä, vaikka mikä tahansa järjestelmän yksittäinen laite vikaantuisi ja vaikka 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 laitospaihtoehtojen soveltuvuutta arvioitaessa. STUK esitti DEC-vaatimukset erillispäätöksessään 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 turvallisuustoimintoi-

hin 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 soveltuvuusselvityksessä 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 Electric Sweden (aikaisemmin ABB ATOM) deterministiset analyysimenetelmät. Westinghouse:n 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-analyyseissä. 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 Toshibaan analyysimenetelmiä, joita on aikaisemmin käytetty vastaavan tyyppisten laitosten lisensoinnissa Japanissa. Analyysitulosten perusteella annokset jäävät Suomessa luokan 2 onnettomuuksille asetettujen annosrajojen alapuolelle.

Analyysituloksien ja laitospainepainesäiliön suunnittelupiirteiden 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 käyttötapahumaa.

Polttoaineen poistopalama on suunniteltu suuremmaksi kuin Suomessa hyväksytyt polttoainepumpun 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 lisäanalyysieja ja mahdollisesti myös koekteita.

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 hit-

sauspinnoitteella. Päälaitteiden korroosiosuojauksessa käytetään myös hyvän kestävyuden omaavia nikkeliseoksia.

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 haluaisijaltaan suurimman primääripiiriin kuuluvan putken katkoon. Päävalvomon yläpuolella sijaitseva päähöyrytunneli varustetaan riittävillä suojauksilla.

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 paineen rajoittamiseen häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Eristyslauhduuttimet on liitetty höyry- ja syöttövesiputkiin siten, että järjestelmän käynnistyttyä reaktorista höyryputkiin kulkeva höyry johdetaan lämmönvaihtimeen ja siellä vedeksi lauhtunut höyry johdetaan syöttövesiputkien kautta takaisin reaktoriin. Eristyslauhduuttimen ja syöttövesiputken välissä on kaksi rinnakkaista, eri periaatteella toimivaa venttiiliä, joista yhden avautuminen riittää eristyslauhduuttimen käynnistymiseen. Eristyslauhduuttin toimii häiriötilanteissa siten, että vain lyhytaikainen varo/ulospuhallusventtiilien puhallus (vain kerran) tarvitaan mitoittavassa painetransientissa. Tällä rajoitetaan jäähdyt-

teen 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 jäähdyttämisellä 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 typellä, minkä johdosta vakavan onnettomuuden aikana syntyvä vety ei tehoajolta alkavissa onnettomuuksissa voi saada aikaan vetypaloa. Seisokkitilanteita on käsitelty kohdassa seisokkiturvallisuus. Vetyä syntyy huomattava määrä, jos kaikki polttoaineen suojakuorissa ja kiehutusvesireaktorien polttoainekanavissa käytettävä zirkonium hapettuu vakavan onnettomuuden aikana. Reaktiossa syntyvä vety paineistaa suojarakennusta. ABWR-laitoksen primäärisuojarakennuksen mitoituksessa on otettu huomioon vedynkehitys tilanteessa, jossa kaikki reaktorin sisältämä zirkonium hapettuu.

Vakavassa onnettomuudessa jälkilämpö poistetaan ABWR-suojarakennuksesta passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän (PCCS) avulla. Järjestelmä toimii ilman ulkoista käyttövoimaa. PCCS-järjestelmä koostuu neljästä luonnonkiertolauhduksista, jotka siirtävät lämpöä primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevan reaktorihallin vesialtasiin suoraan suojarakennuksen ilmatilaan johdettujen putkilinjojen kautta. Reaktorihallissa on kaksi allasta, joissa kummassakin on kaksi PCCS-luonnonkiertolauhduksinta. 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 lauhuu 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 suunnittelun laitteen kanssa. Täyden mittakaavan kokeet varmistavat siepparin toimivuuden olosuhteissa, jotka ovat mahdollisimman lähellä laitteen suunniteltua käyttöä.

Laitokselle tullaan asentamaan suojarakennuksen suodatettu ulospuhallusjärjestelmä lauhumattomien 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 hätäjäähdytysjärjestelmillä.

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 typpitankista, 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 (SLCS, 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 sähkömoottorihjauksella 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 %). NRHX-lämmönvaihtimet siirtävät jälkilämmön reaktoriveden normaaliin jäähdytysjärjestelmään (RNCW 2 x 100%), jota jäähdyttää puolestaan normaali suojarakennuksen lämmitys ja ilmastointijärjestelmä (HNCW). HNCW-järjestelmästä jälkilämpö siirtyy ilmastointipiipun kautta ilmakehään. Lisävesi reaktoriin saadaan reaktoriveden normaalista jäähdytysjärjestelmästä.

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 primääripiiriin puhallusventtiileiden kautta suojarakennuksen lauhdutusaltaaseen, josta jälkilämpö ensisijaisesti poistetaan jälkilämmönpoistojärjestelmällä (RHR, 3 x 100 %). RHR käyttää samoja pumppuja kuin matalapainehäätäjäjäähdytysjärjestelmä. 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 eristyslauhduktimesta (IC, 4 x 33 %). Eristyslauhduktimet 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. Eristyslauhduktimen ja syöttövesiputken välissä on kaksi rinnakkaista, eri periaatteella toimivaa venttiiliä, joista yhden avautuminen riittää eristyslauhduktimen käynnistymiseen. Eristyslauhduktimet on sijoitettu kahteen reaktorihallissa olevaan altaaseen, joissa kummassakin on kaksi eristyslauhduktinta. Kummatkin altaat on erotettu toisistaan kynnyksellä altaan tyhjenemisen estämiseksi. Reaktorihallin altaista jälkilämpö poistetaan ilmakehään. Eristyslauhduktimien 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 primääripiiriin puhallusventtiileillä suojarakennuksen lauhdutusaltaaseen, josta jälkilämpö siirretään edelleen PCCS järjestelmän kautta ilmakehään.

Vaihtoehtoisesti lisäveden saanti reaktoriin on toteutettu siten, että korkeapainehätäjäähdytysjärjestelmä (HPCF) tarvittaessa korvataan matalapainehätäjäähdytysjärjestelmällä (LPFL) alentamalla reaktorin paine automaattisella paineenalennusjärjestelmällä alueelle, jossa matalapainehätäjäähdytyspumput voivat toimia. Jäähdytysvetensä HPCF-järjestelmä saa erillisestä lisävesisäiliöstä ja LPFL-järjestelmä suojarakennuksen sisäpuolella olevasta lauhdutusaltaasta altaaseen sijoitettujen imusiivilöiden kautta. Häätäjäähdytysjärjestelmien 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 (LPFL, 3 x 100 %) sekä automaattista paineenalennusjärjestelmää, joka käyttää varo/ulospuhallusventtiilejä.

Jäähdytysvetensä HPCF-järjestelmä saa erillisestä lisävesisäiliöstä ja LPFL-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. Lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa voi olla tarvetta tehdä joitakin analyyseja tai kokeita imusiivilöiden toiminnan varmentamiseksi.

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

Erilaisuusperiaatteen jälkilämmön poiston osalta toteuttaa suojarakennuksen passiivinen jälkilämmönpoistojärjestelmä, joka on käyttövalmis eikä siis tarvitse minäkään aktiivisen laitteen toimintaa käynnistyäkseen. Suojarakennuksen jälkilämmönpoisto tapahtuu luonnonkiertolauhduttimilla (PCCS, 4 x 33%), jotka siirtävät lämpöä primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevan reaktorihallin vesialtasiin suoraan suojarakennuksen ilmatilaan johdettujen putkilinjojen kautta. Suojarakennuksen passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän (PCCS) luonnonkiertolauhduttimet on sijoitettu kahteen reaktorihallissa olevaan altaaseen, joissa kummassakin on kaksi PCCS-lauhdutinta. Altaat on erotettu toisistaan kynnyksillä tyhjene-

misen 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 jäähtyäkseen 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 erilaisuusperiaatteen toteutumista eristysventtiilien osalta ei voida osoittaa.

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

Lopullisen lämpönielun menetys

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

Seisokkitilanteessa erilaisuusperiaatteen toteuttaa RHR-järjestelmän häiriötilanteissa reaktoriveden puhdistusjärjestelmä (CUW, 2 x 100 %), jonka avulla jälkilämpö voidaan siirtää kahdella lämpönsiirtimellä (NRHX, 2 x 100 %). NRHX-lämpönsiirtimet siirtävät jälkilämmön reaktoriveden normaaliin jäähtyysjärjestelmään (RNCW 2 x 100%), jota jäähtyy puolestaan normaali suojarakennuksen lämmitys ja ilmastointijärjestelmä (HNCW). HNCW-järjestelmästä jälkilämpö siirtyy ilmastointipiipun kautta ilmakehään. Lisävesi reaktoriin saadaan reaktoriveden normaalin jäähtyysjärjestelmän avulla.

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

Polttoainealtaiden jäähdytys

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

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

Seisokkiturvallisuus

Reaktorin alikriittisenä pysyminen varmistetaan kaikissa seisokkitilanteissa pitämällä säätösauvat reaktorissa.

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

Mikäli latausseisokin aikana sattuu merkittävä jäähdytevuoto, reaktorin jäähdytys varmistetaan jälkilämmön poisto (RHR, 3x100 %)- ja 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 tarkoitettujen osajärjestelmän 4 varavoimadieselgeneraattori (100 %)
- erilaisuusperiaatteen toteuttavat kaasuturbiinikäyttöiset vaihtoehtoiset varavoimageneraattorit (2 x 100 %)
- akustot varavoimasähkölähteiden käynnistymisen aikana (mitoituspurkaus-aika 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 omakäyttösähköverkossa ja mitoitettava sähkökuluttajat ja järjestelmät kestämään 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. Yksityiskohteisessa 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 jäähdytteenmenetystilän-

teessa purkautuva jäähdyte jää suojarakennukseen ja siten saadaan takaisin jäähdytyskiertoon.

ABWR-laitoksessa suunnittelulähtökohtana on johtaa päähöyry- ja syöttövesiputkiliinjat suojarakennuksesta yhtenäisiä tiloja pitkin turbiinirakennukseen valvomorakennuksen läpi. Soveltuvuus selvitysten yhteydessä on tutkittu näiden korkeaenergisten putkiliinjojen 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 §)

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

Automaattiset turvallisuustoiminnot

ABWR-laitoksen automaatioissa 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 erilaisuusperiaatteen 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 selvítettävä, 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 valvontamahdollisuutta ei ole kuvattu aineistoissa. Tämä asia voidaan käsitellä rakentamislupaa haettaessa.

Reaktoripainesäiliön pinnanmittaus

Reaktoripainesäiliön pinnankorkeutta mitataan normaalilla paine-eromittauksella, joka ohjaa reaktorin suojausautomaatiota. Mittauksia on neljä. Järjestelmä toimii, kun kaksi kanavaa antaa avautumiskäskyn. Järjestelmä täyttää moninkertaisuusperiaatteen.

Erilaisuusperiaatteen toteuttavat kaksi uimuria, jotka on sijoitettu reaktoriveden puhdistusjärjestelmään.

Yhteenveto

Laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Eräät tekniset yksityiskohtat edellyttävät lisäanalyysiä 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.

KERENA - An Advanced Boiling Water Reactor with passive Safety Features, Areva

Yleistä

KERENA on saksalainen Arevan suunnittelema noin 1200 MWe kiehutusvesireaktori. Areva:lla (aikaisemmin Siemens) on pitkäaikainen kokemus kiehutusvesilaitosten suunnittelussa aina 1960-luvulta asti. Kaikki Saksassa rakennetut kiehutusvesireaktorit ovat Arevan suunnittelema. Suomeen tarjottavan laitoksen referenssilaitoksena perusprosessien osalta on Gundremmingen C, joka valmistui vuonna 1985. Gundremmingen C:ssä turvallisuustoiminnot perustuvat turvallisuusjärjestelmiin, jotka tarvitsevat ulkoista käyttövoimaa.

KERENA on saksalaisen kiehutusvesireaktoritekniikan pohjalta suunniteltu laitos, jossa on pidetty tavoitteena rakenteen yksinkertaistamista ja huoltoa vaativien laitteiden lukumäärän vähentämistä. Suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta. KERENA on suunnitteilla oleva laitosvaihtoehto. Suunnittelun valmiusaste on pienempi kuin muissa laitosvaihtoehtoissa. Yhtään laitoshanketta ei ole toistaiseksi alettu rakentaa.

KERENA:n turvallisuus perustuu aktiivisten järjestelmien tilalle suunniteltuihin uudentyyppisiin luontaisiin ominaisuuksiin ja passiivisiin turvallisuusjärjestelmiin.

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

Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset

Turvallisuuden arviointia ja todentamista varten Arevalla on käytössään vuosikymmenien aikana kehitetyt analyysimenetelmät. Menetelmät on ylläpidetty ja kelpoistettu käyttötarkoitukseensa. KERENAlle tehdyt häiriö- ja onnettomuusanalyysit antavat sen käsityksen, että laitosvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset vaatimukset täyttävät häiriö- ja onnettomuusanalyysit.

Todennäköisyysperusteiset analyysit

Arevalla on käytössä tason 1 ja 2 PRA-menetelmät, joita on käytetty toiminnassa tai rakenteilla olevien laitosten PRA-analyyseissa. KERENAlle on toistaiseksi tehty tason 1 PRA-analyysi. Analyysimenetelmiä ja KERENAlle 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

KERENA laitospaihtoehdo sisältää useita uusia passiivisia turvallisuusjärjestelmiä, joita ei ole aikaisemmin käytetty ydinvoimalaitoksissa. Tällaisia uusia järjestelmiä ovat reaktorin hydraulinen pikasulkujärjestelmä (JDE) ja sitä varmentava boorisammutusjärjestelmä (JDJ), suoraan reaktoripiiriä jäähdyttävä eristyslauhdutin (JNB), passiiviset suojarakennuksen jäähdytyslauhduttimet (JNC), passiivinen reaktorisydämen tulvitusjärjestelmä (JNG) sekä passiivinen painelähetin (JRA).

Järjestelmien toiminta on kelpoistettu laitoksen suunnitteluvaiheessa koelaitteistojen avulla. Ns. integraaliset kokeet ja laitteiden täyden mittakaavan kokeet ovat parhaillaan menossa. Koska kokeet ovat vielä osittain kesken, tarvitaan joistakin yksityiskohdista vielä lisätietoja tai mahdollisesti lisäkokeita lupamenettelyn myöhemmässä vaiheessa.

Passiivisten järjestelmien käytönaikaisia koestusmenettelyjä ei ole kuvattu hakemusaineistossa. Asia voidaan hoitaa rakentamislupaa haettaessa.

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

Laitostoimittaja on osana KERENAn suunnitteluprosessia laskenut onnettomuustilanteissa ympäristön väestölle aiheutuvan säteilyaltistuksen. Näiden laskujen perusteella väestön säteilyannokset jäävät alle suomalaisissa vaatimuksissa onnettomuuksille asetettujen annosrajojen.

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

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

Reaktori on sisäisillä pääkiertopumpuilla varustettu kiehutusvesireaktori, joka toimintaparametreiltaan vastaa nykyisiä kiehutusvesireaktoreita. Reaktori ja siihen liittyvä jäähdytyspiiri on suunniteltu siten, että periaatteessa laitos toimii myös ilman pääkiertopumppuja luonnonkierrolla. Pääkiertopumput on lisätty paineastiaan reaktorin tehosäädön parantamiseksi käynnistyksen ja tehokäytön aikana. Reaktorin yläpuolelle on myös suunniteltu rakenne (chimney), joka tehostaa luonnonkiertoa primääripiirissä. Erityisesti reaktorin stabiilisuutta on näillä toimenpiteillä saatu parannettua. Reaktorin stabiilisuus on lisäksi varmistettu samoin menetelmin kuin nykyisissä kiehutusvesireaktoreissa eli sydämen ja polttoaineen suunnittelulla sekä suojaustoiminnoilla.

Reaktorin tehoa säädetään normaaliolosuhteissa pääkiertopumppujen ja säätösauvojen avulla. Polttoaineenippuja on sydämessä 664 kappaletta ja säätösauvoja 157

kappaletta. Polttoaineena reaktorissa on tarkoitus käyttää tyypiltään samanlaisia mutta poikkileikkaukseltaan lievästi suurempia ja noin metrin lyhyempiä polttoainepipuja kuin nykyisissä kiehutusvesireaktoreissa. Reaktiivisuuden hallinta käyttöjakson aikana tapahtuu polttoaineessa olevilla kiinteillä palavilla myrkyillä ja säätösauvoilla.

Reaktorisydän on nykyisiä vastaavan tehoisia reaktoreita selvästi matalampi ja sijaitsee reaktoripainesäiliön sisällä alempana kuin nykyisissä kiehutusvesireaktoreissa. Reaktorisydämen tehotiheys on myös hieman pienempi. Nämä piirteet parantavat luontaista turvallisuutta nykylaitoksiin nähden. Reaktoripainesäiliön ison tilavuuden ansiosta myös paineensäädön häiriöt ovat nykyisiin kiehutusvesireaktoreihin verrattuna selvästi rauhallisemmin kehittyviä. Eristyslauhduksen (JNB) avulla niistä selvittää siten, että varo- ja puhallusventtiileiden tarvetta avautua pahimman mahdollisen painetransientin aikana voidaan rajoittaa vain muutamaan avautumiskertaan aivan häiriön alussa. Tällä rajoitetaan jäähdytteen puhaltamista primääripiiristä lauhdutusaltaaseen eli veden määrää reaktorissa on helppo ylläpitää häiriöiden ja onnettomuuksien aikana.

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

Reaktorin ja polttoaineen suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Ydintekniset päälaitteet

KERENAn ydintekniset päälaitteet toteutetaan laitostoimittajan pitkäaikaiseen kokemukseen perustuvien teknisten ratkaisuin. Niukkaseosteista terästä oleva reaktoripainesäiliö hitsataan kokoon pyörähdysymmetrisistä rengastakeista ja pinnoitetaan sisäpuolelta ruostumattomalla hitsauspinnoitteella. Valmistuksessa käytetään testattuja materiaaleja ja päteviä hitsausmenetelmiä, joilla on mahdollista saavuttaa vaadittu 60 vuoden käyttöikä. Reaktorin sydänalueen säteilyhaurastuminen huomioidaan materiaalinvalinnoissa, minkä lisäksi säteilyhaurastumista seurataan käytönaikaisella seurantaohjelmalla.

Materiaalivalintojen ja valmistuksen vaatimustenmukaisuuteen kiinnitetään huomiota myös muiden päälaitteiden kuten pääkiertopumppujen, säätösauvakoneistojen ja reaktorin sisäosien sekä primääriputkistojen toteutuksessa. Primääripiirin luotettavuutta varmistetaan lisäksi primäärijäähdytteen vesikemian jatkuvalla seurannalla.

Päähöyry- ja syöttövesiputkistot valmistetaan samantyyppisestä (ferriittisestä) teräksestä kuin reaktoripainesäiliö, jolloin primääriyhteissä ei tarvita teknisesti vaa-

tivaa eripariliitostekniikkaa. Tärkeimpien putkistojen suunnittelussa ja toteutuksessa huomioidaan putkikatkot käyttämällä niiden ennaltaestämisperiaatetta (Break Preclusion, BP), johon kuuluvana osana tehdään vuoto ennen murtumaa - tarkastelut (Leak before Break, LBB). Tämän lisäksi huomioidaan korkeaenergistien putkistojen äkillisen putkikatkon aiheuttamat dynaamiset vaikutukset muihin laitteisiin ja rakenteisiin. Turvallisuusjärjestelmien suunnittelussa varaudutaan hal- kaisijaltaan suurimman primääripiiriin kuuluvan putken katkoon.

KERENAn ydinteknisten päälaitteiden suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaa- vat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Reaktorin paineenhallinta

Reaktorin paineenhallintaa varten on kahdeksan varo- ja puhallusventtiiliä (SRV). Paineen rajoittamiseen ja paineen alentamiseen on kumpiakin neljä venttiiliä. Kummankin venttiiliryhmän toiminta perustuu eri toimintaperiaatteeseen. Kaikkia venttiilejä voidaan tarvittaessa käyttää reaktorin paineen hallintaan häiriö- ja on- nettomuustilanteissa.

Paineen rajoittamiseen tarvittavat venttiilit (4 kpl) avautuvat reaktorin suo- jusautomaation ohjaaman ohjausventtiilin tai suoraan jousikuorman avulla

Paineen alentamiseen liittyvät venttiilit (4 kpl) avautuvat suoraan reaktoripaineas- tian vedenpinnasta käynnistyvän passiivisen painelähettimen tai avautumissigna- alin suhteen erilaisuusperiaatteen toteuttavan reaktorin suojausautomaation avulla. Molemmat järjestelmät ohjaavat samaa ohjausventtiiliä. Passiiviset painelähettimet eivät tarvitse toimiakseen ulkoista energiaa tai automaatiojärjestelmää, vaan ne reagoivat suoraan reaktorin vedenpinnan laskuun, joka on aina oire tarpeesta käyn- nistää turvallisuustoiminto. Paineen alentamiseen tarvittavissa venttiileissä on venttiilien auki pysymisen varmistava mekanismi.

Varo- ja puhallusventtiilien lukumäärä on valittu niin suureksi, että turvallisuus- toiminnon toteutuminen voidaan varmistaa vaikka oletetaan suomalaisten vaati- musten mukainen usean venttiilin vikaantuminen.

Eristyslauhduttimia (JNB, 4 x 50 %) voidaan käyttää paineenhallintaan häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Eristyslauhduttimet on liitetty suoraan omilla yhteillään reaktoripainesäiliöön siten, että järjestelmän käynnistyttyä reaktorista tuleva höyry kulkeutuu lämmönvaihtimeen, jossa höyry lauhtuu vedeksi ja johdetaan takaisin reaktoriin. Vedenpinnan lasku reaktoripainesäiliössä riittää käynnistämään eristys- lauhduttimet ilman, että yhdenkään aktiivisen laitteen tarvitsee toimia. Reaktori- painesäiliön ison tilavuuden ansiosta myös paineensäädön häiriöt ovat nykyisiin kiehutusvesireaktoreihin verrattuna selvästi rauhallisemmin kehittyviä. Eristys- lauhduttimen (JNB) avulla niistä selvittää siten, että varo- ja puhallusventtiileiden tarvetta avautua pahimman mahdollisen painetransientin aikana voidaan rajoittaa

vain muutamaan avautumiskertaan aivan häiriön alussa. Tällöin paineen rajoittamiseksi tarvitaan lyhyen aikaa ainakin yhden varo/puhallusventtiilin avautuminen.

Paineen hallintaan liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Suojarakennus

KERENA-laitoksen suojarakennus on perustyyppiltään kiehutuslaitoksissa tavanomainen lauhdutusaltailla varustettu teräsbetonista rakennettu paineenalennus-suojarakennus, jossa tehoajon aikana on typpi-ilmakehä. Suojarakennuksessa on kaksi lauhdutusallasta; reaktorisydämen tulvitusallas ja varsinainen lauhdutusallas. Reaktorisydämen tulvitusaltaita käytetään painovoimaisen passiivisen tulvitusjärjestelmän vesivarastona ja häiriö- ja onnettomuustilanteissa varo- ja puhallusventtiilien kautta tulvitusaltaisiin johdetun höyryn lauhduttamiseen. Eristyslauhduksiimet (JNB) sijaitsevat myös näissä altaissa ja siirtävät jälkilämmön edelleen suojarakennuksen passiivisilla jäähdytyslauhduksiimilla (JNC) suojarakennuksen ulkopuolella reaktorihallissa sijaitsevien varastoaltaiden kautta ympäristöön.

Suunnitteluperustana käytetyissä onnettomuuksissa (putkikatkoissa) reaktoripiiristä suojarakennukseen purkautuva höyry virtaa paine-eron ajamana lauhdutusaltaaseen. Reaktorissa syntyvä jälkilämpö poistetaan lauhdutusaltaasta passiivisella suojarakennuksen jäähdytyslauhduksiimilla (JNC) tai vaihtoehtoisesti jälkilämmön poistojärjestelmän (RHR, 2 x 100 %) ja siihen liittyvän lämmönsiirtoketjun avulla lopulliseen lämpönieluun. Suojarakennus on suunniteltu säilyttämään hyväksymiskriteerien mukaisen tiiveytensä häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

Vakavat onnettomuudet

KERENAn vakavien reaktorionnettomuuksien hallinnan keskeiset turvallisuustoiminnot ovat primääripiirin paineen alentaminen, sydänsulan pidättäminen ja jäähdyttäminen reaktoripainesäiliön sisällä sekä suojarakennuksen jälkilämmön poisto.

Primääripiirin paineenalennus tehdään pakko-ohjaamalla reaktorin paineenhallintaan käytettäviä varo- ja puhallusventtiilejä (SRV). Paineenalennustoiminnon päämääränä on vähentää reaktoripainesäiliön jännitystä ja näin varmentaa sydänsulan pidättämistä painesäiliön sisällä. KERENALLA on kahdeksan SRV-venttiiliä, joita kaikkia voidaan käyttää paineen alentamiseen. Pääventtiilit on toteutettu kahdella eri toimintaperiaatteella. Kaikilla pääventtiileillä on kolme eri toimintaperiaatteella toimivaa rinnakkaista ohjausventtiiliä (pilot-venttiiliä), josta kahta voidaan käyttää reaktorin paineen alennukseen. Neljä venttiiliä on varustettu lukituslaitteella, joka varmistaa venttiilin pysymisen auki kun primääripiirin paine on laskenut lähelle suojarakennuksen painetta. Yhdenkin venttiilin aukeaminen riittää laskemaan primääripiirin paineen lähelle suojarakennuksen painetta. Paineenalennus on saatu hyvin luotettavaksi, sillä venttiilikapasiteetti on suuri ja järjestelmä on toteutettu kahdella eri toimintaperiaatteella toimivilla venttiileillä.

Laitoksella ei ole erillisiä venttiilejä vakavien onnettomuuksien paineenalennukseen, sillä samoja venttiileitä käytetään primääripiirin ylipainesuojaukseen ja paineen alentamiseen oletetuissa onnettomuuksissa. Tämä poikkeaa suomalaisista turvallisuusvaatimuksista, joissa vaaditaan, että vakavien onnettomuuksien hallitsemiseksi suunniteltujen järjestelmien on oltava riippumattomia laitoksen käyttötilanteita ja oletettuja onnettomuuksia varten suunnitelluista järjestelmistä. KERENAssa esitetty ratkaisu voidaan kuitenkin hyväksyä, sillä esitettyyn ratkaisuun perustuva paineenalennustoiminto on hyvin luotettava eikä primääripiirin paineen alentaminen ei ole välttämätön sydänsulan pidättämisen kannalta. Painesäiliö pysyy ehjänä sydämen sulamisesta huolimatta, vaikka primääripiirin painetta ei alennettaisikaan. Paineen alennuksella saavutetaan kuitenkin huomattava turvallisuusmarginaalin lisäys.

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

KERENAlla vakavassa onnettomuudessa syntyvä sydänsula pidätetään ja jäähdytetään reaktoripainesäiliön sisällä jäähdyttämällä säiliötä ulkopuolelta. Reaktoripainesäiliötä ympäröivä reaktorikuoppa tulvitetaan yläkuivatilan vesisäiliöistä. Vesisäiliöstä reaktorikuoppaan johtavassa tulvituslinjassa on kaksi rinnakkaista haaraa, joissa molemmissa on kaksi peräkkäistä tulvitusventtiiliä. Tulvitusventtiilit avautuvat automaattisesti reaktorisuojausjärjestelmän ohjaamana tai tarvittaessa manuaalisesti. Tulvituslinjan kapasiteetti riittää nostamaan jäähdytteen pinnan reaktorikuilussa sydämen yläpuolelle 20 minuutissa venttiilien avauksesta. KERENA reaktoripainesäiliön koko verrattuna reaktorin tehoon on niin suuri, että lämmönsiirron turvallisuusmarginaali on suuri. Laitostoimittaja on kokeellisesti varmentanut painesäiliön ulkopuolisen jäähdytyksen toimivuuden.

Jälkilämmön poisto vakavassa onnettomuudessa tapahtuu suojarakennuksen jäähdytyslauhdutinjärjestelmän avulla. Järjestelmä toimii ilman ulkoista käyttövoimaa. Järjestelmä koostuu neljästä, sydämen tulvitusaltaan kuivatilan kattoon sijoitettavasta luonnonkiertolauhduttimesta. Lauhduttimet siirtävät lämpöä primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevaan varastoaltaaseen. Allas voidaan täyttää sen puhdistusjärjestelmän kautta. Lauhduttimien toiminta on varmennettu suuren mittakaavan kokein. Eristyslauhduttimien ja suojarakennuslauhduttimien yhteistoiminta tullaan vielä varmentamaan kokeellisesti suuren mittakaavan koelaitteistolla.

KERENAlla ei ole suojarakennuksen suodatettua ulospuhallusjärjestelmää lauhduttamattomien kaasujen pitkän aikavälin hallintaan. Laitostoimittajan mukaan vakavassa onnettomuudessa ei vetyä lukuun ottamatta synny merkittäviä määriä suoja-

rakennusta paineistavia lauhtumattomia kaasuja. Vedyn poistoon on käytettävissä erillinen rekombinointiin perustuva vedynvähennysjärjestelmä. Järjestelmän riittävyys lauhtumattomien kaasujen pitkän aikavälin hallintaan tulee mahdollisessa rakentamislupavaiheessa osoittaa.

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

KERENAssa häiriöiden ja onnettomuuksien hallintaan tarvittavat turvallisuustoiminnot voidaan toteuttaa sekä aktiivisilla 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. KERENAssa passiiviset turvallisuustoiminnot on suunniteltu siten, että niiden käynnistäminen tai toiminta ei tarvitse ulkoista käyttövoimaa. Passiivisilla järjestelmillä laitos saadaan onnettomuustilanteissa hallittuun tilaan ja voidaan pitää siinä niin kauan kuin on tarpeen. Tämä antaa mahdollisuuden merkittävästi yksinkertaistaa mm. automaatio- ja sähköjärjestelmien rakennetta.

Reaktorin reaktiivisuuden hallinta

KERENAssa reaktorin tehotasoa säädetään säätösauvoilla ja pääkiertopumpuilla, kuten nykyisissäkin kiehtusreaktoreissa.

Reaktorin sammuttaminen häiriö- ja onnettomuustilanteissa tapahtuu toimintaperiaatteeltaan passiivisen pikasulkujärjestelmän (JDE, 2 x100 %) avulla. Pikasulun saavat aikaan säätösauvat, jotka hydraulinen järjestelmä työntää reaktoriin. Hydraulinen pikasulkujärjestelmän toiminta perustuu höyrypaineella toimiviin painesäiliöihin. Järjestelmässä on kaksi osajärjestelmää, joissa kummassakin on kaksi höyrytoimista painesäiliötä ja niiden toimintaa ohjaavaa rinnakkaista venttiiliä, joista toisen avautuminen varmistaa turvallisuustoiminnon toteutumisen. Yhden osajärjestelmän toiminta riittää sammuttamaan reaktorin.

Pikasulkujärjestelmää varmistaa tyypellä paineistettuun boorivesisäiliöön perustuva suoraan reaktorisydämeen booriliuosta syöttävä boorijärjestelmä (JDJ, 2x100 %). Järjestelmä muodostuu kahdesta osajärjestelmästä, joissa kummassakin on booriliuosta sisältävä painesäiliö ja niiden avaamiseen tarvittavat rinnakkaiset venttiilit, joista toisen avautuminen varmistaa turvallisuustoiminnon toteutumisen. Typpipaine ajaa tämän jälkeen booripitoisen veden reaktoriin.

Reaktorin suojausautomaatio käynnistää pikasulkujärjestelmän prosessiparametrien ylittäessä suojausrajan. Käynnistys tapahtuu normaalilla aktiivisella reaktorin suojausautomaatiolla tai sitä varmentavalla suoraan reaktoripaineastian vedenpinnasta käynnistyvällä passiivisen painelähtetimellä (JRA). Passiiviset painelähtetimet käynnistävät hydraulisen pikasulun ilman minkään automaatiojärjestelmän avustusta. Passiiviset painelähtetimet eivät tarvitse toimiakseen ulkoista energiaa, eivät edes ohjausvoimaa, vaan ne reagoivat suoraan reaktorin vedenpinnan las-

kuun, joka on aina oire tarpeesta käynnistää turvallisuustoiminto. Boorijärjestelmä käynnistyy vain reaktorin suojausjärjestelmän ohjaamana.

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.

Reaktorin jäähdytys

Reaktorin jäähdytys seisokitilanteissa

Normaaleissa seisokitilanteissa reaktorissa syntyvä jälkilämpö siirretään suoraan reaktoripainesäiliöstä jälkilämmönpoistojärjestelmällä (JNA, 2 x 100 %). Lisävettä reaktoriin saadaan matalapaineisella hätäjäähdytysjärjestelmällä (JND, 2 x 100%). JND käyttää samoja pumppuja kuin JNA. JNA-järjestelmästä jälkilämpö siirretään välijäähdytysjärjestelmän (CCWS, 2 x 100 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (SWS, 2 x 100 %) kautta lopulliseen lämpönieluun. JNA-järjestelmää käytetään jäähdytykseen sekä reaktoripainesäiliön ollessa suljettuna että avoinna.

Erilaisuusperiaate seisokitilanteissa (reaktorin kansi auki) toteutetaan jälkilämmön poiston osalta siten, että jälkilämmönpoistojärjestelmässä (JNA) ja polttoainealtaiden jäähdytysjärjestelmässä (FAK) on kolmas erilaisuusperiaatteen toteuttava osajärjestelmä. Järjestelmän yksityiskohdista päätetään suunnittelun myöhemmässä vaiheessa ja sen arviointi voidaan hoitaa rakentamislupahakemuksen käsittelyn yhteydessä.

Reaktorin jäähdytys onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä

Onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä, reaktoria jäähdytetään ensisijaisesti passiivisilla luonnonkierrolla toimivalla eristyslauhduttimilla (JNB, 4 x 50 %). Eristyslauhduttimet on liitetty suoraan omilla yhteillään reaktoripainesäiliöön siten, että järjestelmän käynnistyttyä reaktorissa syntyvä höyry kulkeutuu lauhduttimeen, jossa se lauhtuu vedeksi. Lauhduttimesta vesi johdetaan takaisin reaktoriin. Vedenpinnan lasku reaktoripainesäiliössä riittää käynnistämään eristyslauhduttimet ilman, että yhdenkään aktiivisen laitteen tarvitsee toimia. Eristyslauhduttimet ovat suojarakennuksessa sijaitsevissa reaktorin tulvitusaltaissa, joita on neljä kappaletta. Näistä altaista jälkilämpö siirretään edelleen suojarakennuksen passiivisilla jäähdytyslauhduktimilla (JNC, 4 x 50 %) suojarakennuksen ulkopuolella reaktorihallissa sijaitsevien varastoaltaiden kautta ympäristöön. Eristyslauhduktimella reaktori voidaan pitää hallitussa (kuumasammutetussa) tilassa.

Vaihtoehtoisesti jälkilämpö voidaan siirtää reaktorista johtamalla höyry primääripiirin paineensäätöventtiileillä allaspuhallusputkien kautta suojarakennuksen tulvi-

tusaltaaseen, josta höyry lauhtuu vedeksi ja jälkilämpö poistetaan jälkilämmönpoistojärjestelmällä (JNA, 2 x 100 %) välijäähdytysjärjestelmän (CCWS, 2 x 100 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (SWS, 2 x 100 %) kautta lopulliseen lämpönieluun. Lisävettä reaktoriin saadaan matalapaineisella hätäjäähdytysjärjestelmällä (JND). Näillä järjestelmillä laitos saadaan turvalliseen (kylmäsammutettuun) tilaan.

Lisäveden saanti reaktoriin voidaan varmistaa myös painovoimaisesti toimivalla reaktorin tulvitusjärjestelmällä (JNG, 4 x 100 %) tilanteessa, jossa eristyslauhdutin ei toimi. JNG tarvitsee käynnistyäkseen jousikuormitetun takaiskuventtiilin avautumisen. Järjestelmässä on neljä tulvitusallasta, yhdysputket reaktoriin ja kussakin yhdysputkessa jousikuormitteinen takaiskuventtiili. Reaktorin paine lasketaan puhallusventtiilien avulla alueelle, jossa JNG-järjestelmä voi toimia.

Reaktorin jäähdytys jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa.

Jäähdytteenmenetysonnettomuuksissa reaktorin jäähdytykseen käytetään painovoimaisesti toimivaa reaktorin tulvitusjärjestelmää (JNG, 4 x 100 %), joka käynnistyäkseen tarvitsee jousikuormitetun takaiskuventtiilin avautumisen. JNG-järjestelmässä on vettä niin paljon, että se riittää täyttämään suojarakennuksen yli reaktorisydämen yläpinnan tason. Suojarakennuksen täytyttyä vettä ei enää vuoda ulos reaktoripaineastiasta. Jos vuoto on niin pieni, ettei paine reaktorissa laske sen vaikutuksesta, paine alennetaan automaattisen paineenalennusjärjestelmän avulla ja reaktorissa syntyvä höyry johdetaan suojarakennuksen tulvitusaltaaseen. Tulvitusaltaasta jälkilämpö poistetaan passiivisella suojarakennuksen jäähdytyslauhduttimilla (JNC, 4 x 50 %) suojarakennuksen ulkopuolella reaktorihallissa sijaitsevien varastoaltaiden kautta ympäristöön. 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.

Vaihtoehtoisesti jälkilämmön poistoon voidaan käyttää jälkilämmönpoistojärjestelmää (JNA, 2 x 100 %), jos reaktorin tulvitusjärjestelmä ei toimi. JNA-järjestelmästä jälkilämpö siirretään välijäähdytysjärjestelmän (CCWS, 2 x 100 %) ja varmennetun merivesijärjestelmän (SWS, 2 x 100 %) kautta lopulliseen lämpönieluun. Lisävettä reaktoriin saadaan matalapaineisella hätäjäähdytysjärjestelmällä (JNG, 2x100%), joka käyttää samoja pumppuja kuin JNA-järjestelmä.

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

Suojarakennuksen eristys

Suojarakennuksen eristys on häiriö- ja onnettomuustilanteissa toteutettu kahdella erilaisella eri periaatteeseen perustuvalla eristysventtiilillä.

Suojarakennuksen eristys on päähöyrylinjassa toteutettu omatoimisilla eristysventtiileillä, jotka saavat sulkeutumissignaalin joko reaktorin suojausautomaatiosta tai suoraan reaktoripaineastian vedenpinnasta käynnistyvästä passiivisesta painelähtimestä.

Syöttövesilinjassa suojarakennuksen eristys on toteutettu omatoimisella venttiilillä ja takaiskuventtiilillä. Takaiskuventtiilit sulkeutuvat väliaineen välityksellä ilman ulkoista voimaa. Omatoiminen venttiili saa sulkeutumissignaalin, joko reaktorin suojausautomaatiosta tai suoraan reaktoripaineastian vedenpinnasta käynnistyvällä passiivisella painelähtimellä.

Muissa järjestelmissä, joiden putkilinjat läpäisevät suojarakennuksen, suojarakennuksen eristys on toteutettu joko moottoritoimisilla tai omatoimisilla eristysventtiileillä. Moottoritoimiset venttiilit saavat sulkeutumiskäskynsä vain reaktorin suojausjärjestelmästä. Sulkeutumiskäsky saadaan kahdesta toisistaan korvaavasta prosessiparametrasta. Diversifioinnin laajuus näiden eristysventtiilien ja niiden käynnistyksen osalta päätetään suunnittelun myöhemmässä vaiheessa. Sen arviointi voidaan hoitaa rakentamislupahakemuksen käsittelyn yhteydessä.

Suojarakennuksen eristystoiminnon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

Lopullisen lämpönielun menetys

Jos normaali lämmönpoistomahdollisuus lopullisena lämpönieluna toimivaan meriveteen menetetään, jälkilämpö voidaan siirtää reaktorista eristyslauhduttimien (JNB, 4 x 50%) avulla reaktorin tulvitusaltaisiin ja sieltä edelleen passiivisella suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmällä (JNC, 4x50%) primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevan reaktorihallin vesialtaisiin ja edelleen ilmastointipiipun kautta ympäristöön. Eristyslauhduttimilla reaktori saadaan hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja voidaan pitää siinä. Altaissa oleva vesi riittää jälkilämmön poistoon ilman uudelleentäyttöä 72 tuntia.

Erilaisuusperiaate seisokkitilanteissa (reaktorin kansi auki) toteutetaan jälkilämmön poiston osalta siten, että jälkilämmönpoistojärjestelmässä (JNA) ja polttoainelaitteiden jäähdytysjärjestelmässä (FAK) on kolmas erilaisuusperiaatteen toteutettava osajärjestelmä. Järjestelmän yksityiskohdista päätetään suunnittelun myöhemmässä vaiheessa ja sen arviointi voidaan hoitaa rakentamislupahakemuksen käsittelyn yhteydessä.

Lopullisen lämpönielun menetyksen hallintaan osallistuvien järjestelmien suunnitteluperiaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Polttoainealtaiden jäähdytys

Polttoainealtaiden jäähdytys tapahtuu polttoainealtaiden jäähdytysjärjestelmällä (FAK, 2 x 100 %). Jälkilämpö siirretään edelleen välijäähdytyspiiriin (CCWS, 2 x 100 %) ja merivesipiiriin (SWS, 2 x 100 %) kautta lopulliseen lämpönieluun. Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen edellyttämän moninkertaisuusperiaatteen.

Erilaisuusperiaate polttoainealtaiden jäähdytyksen osalta toteutetaan siten, että jälkilämmönpoistojärjestelmään (JNA) samoin kuin polttoainealtaiden jäähdytysjärjestelmään (FAK) on lisätty kolmas erilaisuusperiaatteen toteuttava osajärjestelmä, joilla jälkilämpö voidaan poistaa. Lisävesi saadaan lauhteen varastosäiliöstä ydinteknisten laitteiden huuhtelujärjestelmällä (KWB) ja polttoainealtaiden puhdistusjärjestelmällä (FAL). Myös palojärjestelmistä saadaan lisävettä polttoainealtaisiin. Järjestelmän yksityiskohdista päätetään suunnittelun myöhemmässä vaiheessa ja sen arviointi voidaan hoitaa rakentamislupahakemuksen käsittelyn yhteydessä.

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

Seisokkiturvallisuus

Reaktorin alikriittisenä pysyminen varmistetaan kaikissa seisokkitilanteissa pitämällä säätösauvat reaktorissa.

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

Seisokkiturvallisuuteen liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Sähköjärjestelmät

KERENAssa passiiviset turvallisuustoiminnot on suunniteltu siten, että niiden käynnistäminen tai toiminta ei tarvitse ulkoista käyttövoimaa. Passiivisilla järjestelmillä laitos saadaan onnettomuustilanteissa hallittuun tilaan ja voidaan pitää siinä niin kauan kuin on tarpeen. Tämä vähentää sähköjärjestelmien turvallisuusmerkitystä ja antaa mahdollisuuden merkittävästi yksinkertaistaa niiden rakennetta.

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

Ulkoisten syöttölähteiden ollessa vikaantuneita laitoksen turvallisuusjärjestelmien sähkötehon syöttöjärjestelminä toimivat vaihtoehtoisesti

- varavoimadieselgeneraattorit (2 x 100 %)
- akustot (4 x 100 %), mitoituspurkausaika 2 h
- vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmän akustot (2 x 100 %), mitoituspurkausaika 24 h.

Varavoimadieselgeneraattorijärjestelmien lukumäärä on riittävä, koska niitä käytetään erilaisuusperiaatteen mukaisten, passiivisten turvallisuusjärjestelmien toimintaa varmentavien, aktiivisten turvallisuusjärjestelmien sähkönsyöttöön.

Vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmille on omat erilliset akustoihin perustuvat sähkötehon syöttöjärjestelmänsä, joiden purkausaika on 24 h. Akustojen uudelleen lataamiseksi ei ole esitetty menettelyjä.

Hätäsähköjärjestelmien rinnakkaiset osajärjestelmät on erotettu toisistaan toiminnallisesti ja fyysisesti. Aineistossa ei ole mainintaa kuinka kahteen osajärjestelmään sijoitetut neljä rinnakkaista akkuvarmennettua tasasähköjärjestelmää on erotettu toisistaan osajärjestelmän sisällä. Turvallisuusluokkien 2 ja 3 kaapelit erotellaan muista IEEE 384 periaatteiden mukaisesti.

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 kestämään nämä olosuhteet.

Sähköjärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Rakentamislupaa haettaessa tarkemmin tutkittavia 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 siten, että nykyiset suunnitteluperusteet antavat riittävän pohjan myös Suomen talviolosuhteiden hallintaan rakennusten ja talotekniikan yksityiskohtaisessa suunnittelussa.

Maanjäristysten osalta suunnitteluperusteissa on käytetty PGA-arvoa 0,23 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 komponenttien ja laitteiden värähtelykestävyyksiä.

KERENA-laitoksen palontorjuntakonseptin suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Maanjäristysten mahdollisesti aiheuttamien seurauspalojen hallinnan osalta laitoksen sammutusjärjestelmien maanjäristyskestävyyden tarve ja suunnitteluperusteet tulee varmistaa mahdollisessa rakentamislupavaiheessa.

Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 733/2008 17 §)

KERENAN lentokonetörmäyssuojausstrategiassa reaktorirakennuksen ulkoseinä toimii törmäyssuojana ja suojaa suojarakennusta sekä reaktorirakennuksen sisällä olevia turvallisuusjärjestelmiä. Rakennusta, jossa päävalvomo sijaitsee, ei ole suojattu lentokonetörmäystä vastaan. Kyseisen rakennuksen tuhoutumisen ei ilmoiteta vaikuttavan automaattisten tai luontaisten turvallisuustoimintojen toimivuuteen ja perustellaan, että laitoksen ohjaamista voidaan jatkaa etäisyys- ja varjostussuojatusta vara-valvomosta käsin. Suomalaisten vaatimusten mukaan valvomon rakenteet ja turvallisuusjärjestelmät tulee suunnitella siten, että siellä voidaan työskennellä turvallisesti myös onnettomuuksien aikana. Myös valvomo tulee suunnitella siten, että sieltä voidaan tehdä laitoksen hallitsemiseksi tarvittavat toimenpiteet käyttötilanteissa ja onnettomuuksien aikana.

Dieselrakennukset ja merivesipumppaamot on sijoitettu yhden yksikön tapauksessa voimalaitosalueen vastakkaisiin nurkkiin varjostusperiaatetta käyttäen. Kahden yksikön ratkaisussa pumppaamot ovat voimalaitosalueen samalla laidalla mutta kummankin yksikön toinen pumppaamo on kokonaan maan alla.

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

Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 733/2008 18 §)

KERENA-laitoksen tila- ja sijoitussuunnittelussa periaatteena on huomioida sisäiset uhkatekijät kuten tulvat ja tulipalot keskeisten turvallisuusjärjestelmien fyysisellä erottelulla.

Suojarakennuksessa eri osajärjestelmät on sijoitettu omiin tila-alueisiin. Suojarakennuksen ulkopuolella jälkilämmönpoistojärjestelmät on sijoitettu kahteen erilliseen tila-alueeseen, jotka sijaitsevat suojarakennuksen alapuolella ja ovat yhtey-

dessä säätösauvatilaan. Näiden tila-alueiden välillä on ovia. Päähöyry- ja syöttövesilinjat on selkeästi eroteltu toisistaan reaktori- ja suojarakennuksissa.

Reaktorirakennuksessa turvallisuusjärjestelmien ohjaus- sekä sähköjärjestelmät on sijoitettu suojarakennuksen kattorakenteen yläpuolelle. Osajärjestelmät on fyysisesti eroteltu omiin tila-alueisiin reaktorialtaan eri puolille ja ne ovat yhteydessä apurakennukseen (UKB). Kaapeliyhteydet suojarakennuksen yläpuolisiin tila-alueisiin on järjestetty omia erityisiä kaapelikanavia pitkin, jotka on sijoitettu reaktorirakennuksen ulkoseinän läheisyyteen. Jälkilämmönpoistojärjestelmien yhteydet diesel/pumppaamorakennuksiin johdetaan erillisiä kanavia ja tunneleita pitkin.

Esitetyiltä osin laitoksen suunnitteluperiaatteet sisäisiltä tapahtumilta suojautumiseksi vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. STUKin arvion mukaan tila- ja sijoitussuunnittelu laitoksen osalta on alustavaa. Erotteluperiaatteiden toteutumista laitoksen tila- ja sijoitussuunnittelussa voidaan arvioida rakentamislupahakemuksen käsittelyn yhteydessä.

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

KERENAssa passiiviset turvallisuustoiminnot on suunniteltu siten, että niiden käynnistäminen tai toiminta ei tarvitse ulkoista käyttövoimaa. Passiivisilla järjestelmillä saadaan laitos onnettomuustilanteissa hallittuun tilaan ja voidaan pitää siinä niin kauan kuin on tarpeen. Tämä vähentää aktiivisten automaatiojärjestelmien turvallisuusmerkitystä ja antaa mahdollisuuden merkittävästi yksinkertaistaa niiden rakennetta.

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

Automaattiset turvallisuustoiminnot

Laitoksen automaatiossa on useita eri puolustuslinjoja syvyysuunnassa. Ensimmäisen linjan muodostavat normaali käyttöautomaatio, säätöjärjestelmät ja rajoi-tusjärjestelmät. Toisessa linjassa on ensisijaisesti toimiva, turvallisuustoiminnot tarvittaessa käynnistävä suojausjärjestelmä ja sen rinnalla passiivisesti, ilman ulkoista käyttövoimaa, tärkeimmät turvallisuustoiminnot käynnistävät passiiviset painelähettimet. Viimeisen linjan muodostaa vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmä.

Passiiviset painelähetimet ohjaavat seuraavia suojaustoimintoja:

- reaktorin pikasulku
- höyry- ja syöttövesilinjojen eristys
- reaktorin paineenalennus.

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

KERENAn suojausjärjestelmässä on neljä rinnakkaista osajärjestelmää. Suojaustoiminto käynnistyy, mikäli kaksi neljästä rinnakkaisesta suojauskanavasta antaa suojaussignaalin. Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen vaatimukset moninkertaisuusperiaatteen osalta.

Passiivisessa painelähetin järjestelmissä on kaksi rinnakkaista osajärjestelmää. Kumman tahansa osajärjestelmän aktivoituminen laukaisee turvallisuustoiminnon. Osajärjestelmät toimivat sisäisesti 2/2-laukaisuperiaatteella.

Moninkertaisuusperiaatteen toteutumista tärkeimpien käyttöautomaatiojärjestelmien osalta ei ole esitetty hakemusaineistossa.

Vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmät ovat yksittäisvikasietoisia.

Järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia moninkertaisuusperiaatteen osalta. Rakentamislupaa haettaessa on selvitettävä, miten turvallisuuden kannalta tärkeiden käyttöautomaatiojärjestelmien moninkertaisuusvaatimukset täytetään.

Erotteluperiaate automaatiossa

KERENAn automaatiojärjestelmien huonetilat on jaettu kahteen fyysisesti erotettuun redundanssiin. Suojausjärjestelmä kuitenkin käsittää neljä rinnakkaista osajärjestelmää, jolloin kaksi osajärjestelmää joudutaan sijoittamaan yhden redundanssin huonetiloihin. Järjestely ei täytä suomalaisia erotteluvaatimuksia.

Eri turvallisuusluokkien automaatiojärjestelmien ja laitteiden erottelua toisistaan osajärjestelmien välillä ja sisällä ei ole kuvattu hakemusaineistossa. Ainoastaan on

mainittu, että turvallisuusluokkien 2 ja 3 kaapelit erotellaan muista kaapeleista standardin IEEE 384 periaatteiden mukaisesti. Myöskään vakavien onnettomuuksien hallinta-automaation ja seurantajärjestelmien erottelua muusta automaatiosta ei ole käsitelty.

Laitoksen 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 perustella rakentamislupakäsittelyn yhteydessä. Lisäksi on selvitetävä automaatiojärjestelmien rinnakkaisten osajärjestelmien erotusperiaatteet toisistaan. Mikäli automaation luotettavuutta ja kahden osajärjestelmän samanaikaisen menetyksen seurauksia ei voida perustella passiivisten järjestelmien tuomalla lisävarmennuksella, erottaminen tulee suunnitella uudelleen.

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. Suojausjärjestelmä ja passiiviset painelähtimet muodostavat erilaisuusperiaatteen täyttävän kokonaisuuden.

Laitoksen aktiivinen automaatio perustuu kahteen tietokonepohjaiseen järjestelmäalustaan. Reaktori-, laitossuojaus- ja rajoitusjärjestelmät pohjautuvat toiseen ja muut automaatiojärjestelmät toiseen laitealustaan.

Laitoskonseptissa on ohjelmistopohjaisen suojausjärjestelmän yhteisvikojen varalle erilaisuusperiaatteen toteuttavat, passiivisten painelähtimien ohjaamat suojausjärjestelmät sekä passiiviset turvallisuusjärjestelmät.

Järjestelmän suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia erilaisuusperiaatteen osalta.

Valvomo

Valvomossa on näyttöpäätöpohjaisia operaattoreiden työasemia ja turvajärjestelmien tauluosuus. Työasemiin tulee ohjaajille tarvittava informaatio ohjaustoimenpiteiden suorittamiseksi. Laitoksen yleistilanne voidaan lisäksi esittää suurkuvanäytöillä.

Valvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Varavalvomo

KERENAssa 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.

Reaktorin pinnanmittaus

Turvallisuustoiminnot käynnistetään suoraan reaktoripainesäiliön vedenpinnasta käynnistyvillä passiivisilla painelähettimillä. Passiivisia painelähettäjiä on neljä. Lähettimet on jaettu kahteen ryhmään (kaksi lähetintä kummassakin) ja ne toimivat siten, että kumman tahansa ryhmän laukeaminen aktivoi suojaustoiminnon.

Reaktoripainesäiliön pinnankorkeutta mitataan myös paine-eromittauksella, joka ohjaa reaktorin suojausautomaatiota. Mittauksia on neljä. Suojaustoiminto käynnistyy, mikäli kaksi neljästä rinnakkaisesta suojauskanavasta antaa suojaussignaalin. Järjestelmä toimii, kun kaksi kanavaa antaa avautumiskäskyn.

Reaktorin pinnanmittaukseen liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Yhteenveto

Laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Laitoksen suunnittelussa suuren matkustajalentokoneen törmäyksen varalta on valittu strategia, jossa reaktorirakennuksen ulkoseinä toimii törmäyssuojana ja suojaa suojarakennusta sekä reaktorirakennuksen sisällä olevia turvallisuusjärjestelmiä. Rakennusta, jossa päävalvomo sijaitsee, ei ole suojattu lentokonetörmäystä vastaan, vaan hyväksytään rakennuksen vaurioituminen. STUKin arvion mukaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttymistä päävalvomon suojaamiseksi suurelta matkustajalentokonetörmäykseltä ei ole toistaiseksi voitu osoittaa.

Eräät tekniset yksityiskohdat edellyttävät lisäanalyysseja 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

- passiivisten järjestelmien toiminnan kokeellinen osoittaminen

- passiivisten järjestelmien käytönaikaiset koestusmenettelyt
- suojarakennuksen eristysventtiilien diversifioinnin laajuus
- erilaisuusperiaatteen toteuttavan polttoainealtaiden jäähdytysjärjestelmän yksityiskohdat
- laitoksen sähkö- ja automaatiojärjestelmien erotteluperiaatteen liittyvät suunnittelutavoitteet ja -periaatteet
- Forsmark-häiriöstä saadut yleiset opetukset
- käyttöautomaatiojärjestelmien moninkertaisuusperiaatteen toteutuminen

PAINEVESIREAKTORILLA VARUSTETUT LAITOSVAIHTOEHDOT

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

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

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

Laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

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

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 mm. Olkiluoto 3 -laitosyksikköä suunniteltaessa. Menetelmät on ylläpidetty ja kelpoistettu käyttötarkoitukseensa. EPR: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 mm. Olkiluoto 3 -laitosyksikön PRA-analyysissa. Analyysit kattavat kaikki laitoksen käyttötilat mukaan lukien ulkoihin ja sisäisiin uhkiin liittyvät tapahtumat. Analyysimenetelmiä ja EPR: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 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 polttoainenippua 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 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 vaatimuksia.

Ydintekniset päälaitteet

EPR-laitoksen materiaali- ja rakenneratkaisut vastaavat olennaisin osin mm. Olkiluoto 3:ssa käytettäviä. Niukkaseosteista terästä oleva reaktoripainesäiliö hitsataan kokoon pyörähdysymmetrisistä takeista käytännössä koetellulla tekniikalla ja pinnoitetaan sisäpuolelta hitsaamalla ruostumattomalla teräksellä. Tärkeimpien päälaitteissa käytettävien materiaalien analyysi- ja ominaisuusvaatimuksissa on huomioitu riittävän sitkeyden säilyttäminen läpi käyttöiän. Reaktorin sisäosiin kuuluva raskas heijastin vähentää reaktorin vaipan saamaa neutroniannosta ja säteilyhaurastumisen voimakkuutta. Säteilyhaurastumista seurataan sydänalueen takeista ja 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 liitoksissa vaativan eripariliitoksen käyttöön, se on kuitenkin teknisesti toteutettavissa nykyisin käytettävien teknisin ratkaisuin. Eripariliitosten käytön aikaista seurantaa on kuvattava seikkaperäisesti rakentamislupaa haettaessa.

Primääripiirin eheys varmistetaan korkeilla suunnittelun ja valmistuksen laatuvaatimuksilla sekä suomalaisten turvallisuusvaatimusten mukaista ”vuoto ennen murtumaa” -periaatetta (LBB) soveltamalla. Sen lisäksi turvallisuusjärjestelmien suunnittelussa otetaan huomioon halkaisijaltaan suurimman primääripiirin putken katko. Pääkiertoputkisto voidaan vaadittaessa varustaa putkikatkojen varalta riittävien suojauskin, jotka rajoittavat katkenneen putken sivuttaista ja pitkittäistä siirtymää ja näin vuodon suuruutta.

Ydinteknistien 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 suojarakennus, joka on suunniteltu säilyttämään hyväksymiskriteerien mukaisen tiiveytensä häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Sen ulkopuolelle on suunniteltu betoninen sekundäärisuojarakennus, joka suojaa primäärisuojarakennusta ulkoisilta uhilta.

Vakavat onnettomuudet

EPR-laitoksen vakavien onnettomuuksien hallinta perustuu primääripiirin paineenalennukseen, jälkilämmön poistoon suojarakennuksesta ruiskutusjärjestelmällä, sydänsulan levittämiseen ohueksi kerrokseksi ja sen 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 yhden linjan avaaminen riittää alentamaan primääripiirin paineen suunnitellulle tasolle. Venttiilien avaukseen tarvittava käyttövoima saadaan akkuvarmennetusta vakavien onnettomuuksien sähköjärjestelmästä.

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

Sydänsula jäähdytetään EPR-laitoksessa suojarakennuksen pohjatasolle sijoitetussa sulan leviämistilassa. Leviämistilan lattia ja seinät on vuorattu paksuilla rautaelementeillä, joiden ala- tai 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 metallikannen sulamisen jälkeen lyhyen tunnelin kautta leviämistilaan. Leviämistilaan purkautuva sula avaa hätäjähdytysaltaaseen 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 hätäjähdytysaltaan 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 ilmatäytteinen, 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 syntyvää kaasuseosta ehdi syntyä.

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

Vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

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 primäärijäähdytteessä olevalla boorilla sekä polttoaineessa käytetyllä palavalla myrkyllä.

Häiriötilanteissa reaktori sammutetaan kuten kaikissa muissakin painevesilaitoksissa pudottamalla säätösauvat reaktorisydämeen. Reaktorin pikasulkujärjestelmä on luonteeltaan passiivinen. Säätösauvat putoavat reaktorisydämeen painovoiman avulla reaktorin suojausautomaation katkaistua virran sauoja kannattelevilta säh-

kömagneeteilta. 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 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 varauduttava virheelliseen primääripiirin jäähdytteen 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 jäähdytyspiiriin 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 pumppamalla 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 höyryttämällä vettä suojarakennukseen ensimmäisen 24 tunnin ajan ja sen jälkeen siirtämällä jälkilämpö suojarakennuksen suodatetulla ulospuhallusjärjestelmällä ilmakehään. Korvaava jäähdytysvesi reaktoriin saadaan JND-järjestelmällä IRWST-säiliöstä.

Reaktorin jäähdytys onnettomuuksissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä

Mikäli häiriö tai onnettomuus estää normaalin jälkilämmön poiston 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 hätäjäähdytysjärjestelmällä.

EPR-laitoksessa primääripiirin hätäjäähdytys on toteutettu aktiivisella keskipainehätäjäähdytysjärjestelmällä (JND, 4 x 100 %) ja matalapainehätäjäähdytysjärjestelmällä (JNG, 4 x 100 %) sekä neljällä painevesisäiliöllä. Primääripiirin paineen alentamiseksi keskipainehätäjäähdytyspumppujen toiminta-alueelle käytetään sekundääripiirin puhallusventtiilejä. Tämä järjestelmä on osa hätäjäähdystoimintoa. Keski- ja matalapainehätäjäähdytysjärjestelmillä on yhteiset syöttöyhteet primääripiirin kylmähaaroihin. Jäähdytysveden syöttö voidaan tarvittaessa 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 sekundääripiiriin puhallusventtiileillä ja primääripiirin paine lasketaan primääripiirin varoventtiileillä 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 matalapainehätäjähdytysjärjestelmä. Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijähdytysjärjestelmän (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 primääripiiriin tai sekundääripiiriin vuodon yhteydessä IRWST-säiliöstä ja sieltä edelleen välijähdytysjärjestelmän (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 kahta eri periaatteella toimivaa varoventtiiliä.

Suojarakennuksen eristystoiminnon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

Lopullisen lämpönielun menetys

Jos lopullinen lämpönielu eli mahdollisuus siirtää jälkilämpöä turpiinin lauhduttimen tai varmennetun merivesipiirin kautta mereen menetetään reaktoripiirin ollessa suljettuna, jälkilämpö voidaan poistaa reaktorin jäähdytyspiiristä pumppaamalla 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 saatavissa useista vaihtoehtoisista lähteistä: palovesijärjestelmästä (SGB), polttoainealtaiden puhdistusjärjestelmästä FAL tai täyssuolanpoistetun veden jakelujärjestelmästä (GHC).

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

Seisokkiturvallisuus

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

Primääripiirin varoventtiileillä ja jälkilämmönpoistojärjestelmässä olevilla varoventtiileillä estetään primääripiirin kylmäpaineistuminen.

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

Seisokkiturvallisuuteen liittyvien järjestelmien esitetty toteutusratkaisu täyttää periaatetasolla 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 vaatimuksia.

Rakennustekniikka ja palontorjunta

Rakennusten ja talotekniikan sekä palontorjunnan 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 suoja-, polttoaine- ja turvallisuusrakennukset 2 ja 3 lentokonetörmäyskestoiseksi. Turvallisuusrakennukset 1 ja 4 on sijoitettu suojarakennuksen kummallekin puolelle ja näin niiden suojauksessa on käytetty etäisyys- ja varjostuserottelua. Varmennetun merivesijärjestelmän kahden pumppaamorakennuksen suojauksessa on käytetty etäisyserottelua. Samoin varavoimadieselgeneraattorirakennukset sijaitsevat eri puolilla suojarakennus- ja turvallisuusrakennusmassaa ja siten niiden suojauksessa on käytetty etäisyys- ja varjostuserottelua. Päähöyry- ja syöttövesijärjestelmien erotusventtiilit on sijoitettu eri puolille suojarakennusta ja niiden suojauksessa on siten käytetty etäisyys- ja varjostuserottelua. Turbiinirakennusta ei suunnitella lentokonetörmäyskestoiseksi, koska sinne ei ole sijoitettu turvallisuustoimintojen kannalta merkittäviä järjestelmiä.

Esitetyn toteutusratkaisun suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

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

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

Järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

Moninkertaisuusperiaate automaatiassa

Ensisijaisesti toimivassa suojausjärjestelmässä on neljä rinnakkaista osajärjestelmää. Suojaustoiminto käynnistyy, mikäli kaksi neljästä rinnakkaisesta suojaus-

kanavasta 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.

Erottelperiaate 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 erottelperiaatteiden 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 järjestelmäalustaan. Suojaus-, säätö- ja rajoitustoiminnot toteutetaan toisella ja muut automaatiotoiminnot toisella järjestelmäalustalla.

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 langetettuun tekniikkaan perustuvat käsiohjauspainikkeet, joista laitosta ohjataan digitaalisten automaatiojärjestelmien yhteisvikatilanteessa tai vakavissa onnettomuuksissa.

Valvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

Varavalvomo

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

Varavalvomo sijaitsee eri palo-osastossa 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. Mahdollisuus tehonkorotukseen on arvioitava lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa.