

23.5.2014

LIITE 1
4/J42211/2014
JulkinenALUSTAVA TURVALLISUUSARVIO FENNOVOIMA OY:N
YDINVOIMALAITOSHANKKEESTA

LIITE 1: AES-2006-LAITOSVAIHTOEHDON SOVELTUVUUDEN ARVIOINTI

JOHDANTO	2
LAITOKSEN ARVIOINTIPERUSTEET	3
PAINEVESIREAKTORILLA VARUSTETTU LAITOSVAIHTOEHTO AES-2006/V491	6
TURVALLISUUDEN ARVIOINTI JA TODENTAMINEN (VNA 717/2013 3§).....	7
SÄTEILYALTISTUKSEN JA RADIOAKTIIVISTEN AINEIDEN PÄÄSTÖJEN RAJOITTAMINEN (VNA 717/2013 8–10 §).....	8
ONNETTOMUUKSIEN ENNALTAEHKÄISEMINEN JA SEURAUSTEN LIEVENTÄMINEN (VNA 717/2013 12 §).....	9
RADIOAKTIIVISTEN AINEIDEN LEVIÄMISEN TEKNISET ESTEET (VNA 717/2013 13 §).....	9
TURVALLISUUSTOIMINNOT JA NIIDEN VARMISTAMINEN (VNA 717/2013 12, 14 §)	14
SUOJAUTUMINEN ULKOISILTA TAPAHTUMILTA (VNA 717/2013 17 §)	20
SUOJAUTUMINEN SISÄISILTÄ TAPAHTUMILTA (VNA 717/2013 18 §)	21
YDINVOIMALAITOSTEN VALVONTA JA OHJAUS (VNA 717/2013 19 §)	21
YHTEENVETO	24

JOHDANTO

Fennovoima on solminut laitostoimitussopimuksen Rusatom Overseas CJSC:n kanssa koskien AES-2006-ydinvoimalaitosvaihtoehtoa. Fennovoima ei ole käsitellyt AES-2006-laitosvaihtoehtoa 14.1.2009 päivätystä periaatepäätöshakemuksessaan.

Fennovoima pyysi 23.9.2013 Säteilyturvakeskusta (STUK) ydinenergialain 55 §:n nojalla tarkastamaan laitoshanketta koskevia selvityksiä. Fennovoiman toimittamat selvitykset kuvaavat Fennovoiman hankkeessa vuoden 2009 jälkeen tapahtuneita muutoksia niiden asioiden osalta, joita STUKin alustava turvallisuusarvio (9/J42211/2009) käsitteli. Samalla Fennovoima pyysi, että STUK tarkastaa selvitykset sellaisessa laajuudessa, jota STUK noudattaa laatiessaan periaatepäätösprosessiin kuuluvaa alustavaa turvallisuusarviota. Fennovoima täydensi myöhemmin aineistoaan ja lähetti 10.10.2013 selvityksiä koskien AES-2006-laitosvaihtoehtoa. Fennovoima toimitti laitosvaihtoehdon teknisten selvitysten yhteydessä oman arvionsa siitä, miten laitosvaihtoehto täyttää ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta annetussa valtioneuvoston asetuksessa esitetyt vaatimukset. Fennovoiman arvio laitosvaihtoehto AES-2006 turvallisuudesta, 8.10.2013 perustui asetusmuutosprosessin aikana, Fennovoimalle toimitettuun luonnosversioon, 26.8.2013. Uusittu valtioneuvoston asetus ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (717/2013) tuli voimaa 25.10.2013.

STUK aloitti uuden laitosvaihtoehdon alustavan turvallisuusarvioinnin laadinnan ja esitti lähetettyihin selvityksiin selvityspyynnön 27.11.2013. Fennovoima vastasi selvityspyyntöön 7.2.2014 toimittamallaan lisäselvityksillä.

Fennovoima jätti 4.3.2014 valtioneuvostolle ydinvoimalaitosta koskevan hakemuksen, jolla se pyytää valtioneuvostolta päätöstä, joka täydentää vuonna 2010 tehtyä periaatepäätöstä siten, että voimassa oleva periaatepäätös täydennyksen jälkeen vahvistaa Fennovoiman hankkeen olevan edelleen ydinenergialain 11 §:n tarkoittamalla tavalla yhteiskunnan kokonaisedun mukainen. Tämän johdosta työ- ja elinkeinoministeriö on pyytänyt lausuntopyynnöllään (TEM/11/08.04.01/2014) 6.3.2014 STUKia antamaan hakemuksessa esitetyistä hankkeista ydinenergialain 12 §:n mukaisen alustavan turvallisuusarvion. Ministeriö on lausuntopyynnössään pyytänyt erityisesti huomioimaan ne asiat, jotka ovat hankkeessa muuttuneet. Lisäksi ministeriö muistutti, että STUKin on liitettävä turvallisuusarvioon ydinenergialain mukainen ydinturvallisuusneuvottelukunnan lausunto. Ministeriö asetti alustavalle turvallisuusarviolle ja neuvottelukunnan lausunnolle tavoiteaikarajan 25.5.2014.

STUK esittää seuraavassa arvionsa siitä, miten periaatepäätöshakemuksessa esitetyn laitosvaihtoehdon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Alustavan turvallisuusarvioinnin kohteena on painevesireaktorilla varustettu ydinvoimalaitos AES-2006. Laitosvaihtoehdossa on käytetty sekä aktiivisia että passiivisia turvallisuusjärjestelmiä. Aktiivisella järjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jonka toiminta perustuu jatkuvasti ulkoista käyttövoimaa tarvitseviin laitteisiin. Passiivisella järjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jonka toiminta ei riipu, käynnistävää toimintoa (esim. venttiilin asennonmuutos) lukuun ottamatta, ulkoisesta käyttövoimasta.

masta 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. Taulukossa 1 on esitetty laitosvaihtoehdon päätiedot.

Taulukko 1. AES-2006-laitosvaihtoehdon päätiedot.

Laitos	Toimittaja	Tyyppi	Terminen teho [MW _{th}]	Sähköteho [MW _e]
AES-2006/V491	Rusatom Overseas CJSC	Painevesireaktori	3220	n. 1200

LAITOKSEN ARVIOINTIPERUSTEET

Ydinvoimalaitoksen turvallisuutta koskevat määräykset on esitetty yleisellä tasolla valtioneuvoston asetuksessa 717/2013 sekä yksityiskohtaisemmin Säteilyturvakeskuksen julkaisemassa YVL-ohjeistossa. Säteilyturvakeskuksen alustavan turvallisuusarvion lähtökohtana on, että valtioneuvoston asetuksen keskeisten turvallisuusmääräysten täyttäminen merkitsee ydinenergiain 6 §:n täyttymistä. Seuraavassa esitetään ne vaatimukset, joita vasten laitosvaihtoehtoa on arvioitu.

Turvallisuuden arviointi ja todentaminen (VNA 717/2013 3 §)

Asetuksen 3 §:ssä esitetään vaatimukset sille, miten ydinvoimalaitosten turvallisuutta ja niiden turvallisuusjärjestelmien teknisiä ratkaisuja on perusteltava käyttämällä kokeellisia ja analyttisiä menetelmiä. Analyttisiä menetelmiä ovat häiriö- ja onnettomuusanalyysit, sisäisten ja ulkoisten vaikutusten analyysit, lujuusanalyysit, vikasietoisuusanalyysit, vika- ja vaikutusanalyysit sekä todennäköisyysperusteiset riskianalyysit (PRA).

Alustavassa turvallisuusarviossa todennetaan asetuksen 3 §:ssä esitettyjen vaatimusten osalta se, että laitostoimittajalla on käytössään deterministiset ja todennäköisyysperusteiset analyysimenetelmät, jotka on asianmukaisesti kelpoistettu ja että 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 717/2013 8–10 §)

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

Onnettomuuksien ehkäiseminen ja seurausten lieventäminen (VNA 717/2013 12 §)

Asetuksen 12 §:ssä esitetään vaatimuksia syvyysuuntaisen toiminnallisen turvallisuusperiaatteen noudattamiseksi ydinvoimalaitoksen suunnittelussa, rakentamisessa ja käyttötoiminnassa. Syvyysuuntaisen puolustuksen tasojen on oltava toisistaan niin riippumattomia kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista saavuttaa. Syvyyspuolustuksen tasoilla on käytettävä huolella tutkittua, testattua ja kokemuspärisesti hyväksi todettua korkealaatuista tekniikkaa. Tarvittavat, tilanteen hallintaan saamiseksi tai säteilyhaittojen ehkäisemiseksi tehtävät toimenpiteet on suunniteltava ennalta. Syvyysuuntaisen turvallisuusperiaatteen toteutumista AES-2006-laitosvaihtoehdossa käsitellään tässä alustavassa turvallisuusarviossa samalla, kun arvioidaan asetuksen 13-14 §:ssa ja 17-18 §:ssa esitettyjen vaatimusten täyttymistä

Radioaktiivisten aineiden leviämisen tekniset esteet (VNA 717/2013 13 §)

Asetuksen 13 §:n 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 leviämisesteisiin kohdistuvien mekaanisten ja termisten kuormitusten tulee pysyä suunnittelurajojen puitteissa.

Turvallisuustoiminnot ja niiden varmistaminen (VNA 717/2013 14 §)

Onnettomuuksien estämiseksi ja niiden seurausten lieventämiseksi ydinvoimalaitoksessa on oltava järjestelmät reaktorin pysäyttämiseen ja alikriittisenä pitämiseen, reaktorissa syntyvän jälkilämmön poistamiseen sekä radioaktiivisten aineiden pidättämiseen laitoksen sisällä. Kyseisten järjestelmien suunnittelussa on sovellettava moninkertaisuus-, erottelu- ja erilaisuusperiaatteita, joilla varmistetaan turvallisuustoiminnon toteutuminen myös vikaantumistilanteissa. 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 toteuttamista useilla rinnakkaisilla osajärjestelmillä siten, että järjestelmä pystyy suorittamaan tehtävänsä, vaikka yksittäisiä osajärjestelmiä olisi käyttökunnottomina, esimerkiksi huoltotöiden tai vikojen takia. Myös turvallisuusjärjestelmien laitteille olennaiset tukitoiminnot on moninkertaistettava vastaavalla tavalla. Lisäksi ydinvoimalaitoksella on oltava häiriö- ja onnettomuustilanteiden varalta ulkoinen ja sisäinen sähkötehon syöttöjärjestelmä. Turvallisuustoiminnoissa tarvittava sähköteho on voitava syöttää kumpaa tahansa järjestelmää käyttämällä. Ulkoisella sähkötehon syöttöjärjestelmällä tarkoitetaan yhteyttä normaaleihin sähköverkkoihin ja sisäisellä sitä korvaavia sähkölähteitä.

Edellä mainitun moninkertaisuusperiaatteen mukaisesti tärkeimmät hallittuun tilaan, jossa reaktori on sammutettu, ja sen jälkilämmön poisto on turvattu, siirtymiseksi ja siinä pysymiseksi tarvittavat turvallisuustoiminnot on pystyttävä toteuttamaan, vaikka mikä tahansa toimintoon liittyvän järjestelmän yksittäinen laite olisi käyttökunnon ja vaikka mikä tahansa toinen saman turvallisuustoiminnon toteuttamiseen osallistuvan järjestelmän tai sen toiminnan kannalta välttämättömän tukitai apujärjestelmän laite olisi samanaikaisesti poissa käytöstä sen tarvitseman korjauksen tai huollon vuoksi. Lisäksi yhteisvikojen vaikutusten on oltava vähäisiä.

Erotteluperiaate tarkoittaa fyysisen ja toiminnallisen erottelun toteuttamista ydinvoimalaitoksen suunnittelussa. Fyysisellä erottelulla järjestelmät tai komponentit erotetaan toisistaan riittävällä esteellä, etäisyydellä tai sijoittelulla tai niiden yhdistelmillä. Toiminnallisella erottelulla tarkoitetaan järjestelmien erottamista toisistaan siten, että yhden järjestelmän toiminta tai vika ei vaikuta haitallisesti toiseen järjestelmään; toiminnallinen erottelu sisältää myös sähköisen erottelun ja järjestelmien välisen informaation käsittelyn erottelun. Erotteluperiaatteen noudattamisella varaudutaan laitokseen kohdistuvia sisäisiä ja ulkoisia uhkia vastaan.

Erilaisuusperiaatteella tarkoitetaan turvallisuustoimintojen varmistamista eri toimintaperiaatetta käyttävillä tai muuten keskenään erilaisilla järjestelmillä tai laitteilla, joista kukin erikseen pystyy toteuttamaan toiminnon. Tätä periaatetta soveltamalla voidaan parantaa turvallisuustoiminnon luotettavuutta ja välttää turvallisuustoimintoon liittyvien yhteisvikojen aiheuttamia seurauksia.

Ydinvoimalaitoksella tulee olla laitteet ja menettelyt, joilla reaktorissa ja varastoal-
taissa olevan käytetyn polttoaineen jälkilämmön poisto voidaan varmistaa kolmen vuorokauden ajan laitoksen ulkopuolisesta sähkö- ja veden syötöstä riippumattomasti tilanteessa, jonka aiheuttaa harvinainen ulkoinen tapahtuma tai laitoksen sisäisessä sähkönjakelujärjestelmässä esiintyvä häiriö.

Vakavien reaktorionnettomuuksien hallitsemiseksi ja seuraamiseksi on suunniteltava järjestelmät, jotka ovat riippumattomia laitoksen normaalia käyttöä, odotettavissa olevia käyttöhäiriöitä ja oletettuja onnettomuuksia varten suunnitelluista järjestelmistä. Järjestelmien, joita tarvitaan suojarakennuksen tiiviyn varmistamiseksi vakavan reaktorionnettomuuden yhteydessä, on kyettävä suorittamaan turvallisuustoimintonsa myös yksittäisvikaantumisen sattuessa.

Suojautuminen ulkoisilta tapahtumilta (VNA 717/2013 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. Asetuksen vaatimuksen mukaan järjestelmät, rakenteet ja laitteet on suunniteltava, sijoitettava ja suojattava siten, että mahdollisiksi arvioitujen ulkoisten tapahtumien vaikutukset laitoksen turvallisuus-

teen ovat vähäisiä. Tässä kohdassa arvioidaan, miten edellä esitetyt ilmiöt on otettu huomioon laitoksen suunnittelussa.

Suojautuminen sisäisiltä tapahtumilta (VNA 717/2013 18 §)

Vastaavasti kuin asetuksen 17 §:ssä on esitetty suojautuminen ulkoisia tapahtumia vastaan, asetuksen 18 §:ssä esitetään vaatimukset, miten turvallisuustoimintoihin liittyvät järjestelmät, rakenteet ja laitteet on suunniteltava, sijoitettava ja suojattava, jotta sisäisten tapahtumien todennäköisyydet ovat pieniä ja vaikutukset laitoksen turvallisuuteen vähäisiä. Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden toimintakyky on osoitettava niiden suunnitteluperusteena olevissa huonetilojen sisäisissä ympäristöolosuhteissa. Sisäisiä tapahtumia voivat olla tulipalot, tulvat, räjähdykset, sähkömagneettinen säteily, putkikatkot, säiliöiden rikkoutumiset, raskaiden esineiden putoamiset, räjähdysten ja laitteiden rikkoutumisten seurauksena syntyvät heitteet. Tässä kohdassa arvioidaan, miten edellä esitetyt ilmiöt on otettu huomioon laitoksen suunnittelussa.

Ydinvoimalaitosten valvonta ja ohjaus (VNA 717/2013 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.

PAINEVESIREAKTORILLA VARUSTETTU LAITOSVAIHTOEHTO AES-2006/V491

Yleistä

AES-2006 on venäläisen Rusatom Overseas CJSC:n markkinoima noin 1200 MWe tehoinen painevesireaktorilaitos. AES-2006-laitoksesta on kaksi eri kehitysversiota: AES-2006/V392M sekä AES-2006/V491. Tässä alustavassa turvallisuusarviossa käsitellään laitoksen Fennovoiman hakemuksessaan esittämää kehitysversiota AES-2006/V491.

AES-2006 pohjautuu VVER-91/99-laitokseen, joka on kehitetty käytössä olevista VVER-1000-laitoksista. VVER-tyyppisiä laitoksia on rakennettu Venäjälle ja moniin muihin maihin jo yli 30 vuoden ajan. Loviisan 1 ja 2 -laitosyksiköt perustuvat VVER-440-laitostyyppiin. Fennovoiman laitosvaihtoehdon referenssilaitos on Venäjälle parhaillaan rakenteilla oleva Leningrad NPP-2. Leningrad NPP-2 muodostuu kahdesta laitosyksiköstä, jotka ovat yhdessä Novovoronesh-2 -laitosyksikön (AES-2006/V392M) kanssa ensimmäiset AES-2006 tyyppiset laitokset Venäjällä. Venäjälle on rakenteilla Leningradin NPP-2 -laitosyksiköiden lisäksi yksi yksikkö Kaliningradiin (AES-2006/V491). Leningradin NPP-2:n rakennustyöt alkoivat vuonna 2008. Laitoksen suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta.

AES-2006-laitoksen turvallisuustoimintoja on parannettu VVER-91/99-laitokseen verrattuna. Turvallisuustoiminnot on toteutettu pääosin aktiivisilla järjestelmillä, joita täydentävät painevesilaitoksille tyyppilliset passiiviset, hätäjähdytystilanteissa

käytettävät painevesisäiliöt. AES-2006-laitoksessa uusia passiivisia jälkilämmön poistoon häiriö- ja onnettomuustilanteissa käytettäviä järjestelmiä ovat primääripiiriä jäähdyttävä, höyrystimiin liitetty luonnonkierrolla toimiva jälkilämmönpoistojärjestelmä ja luonnonkierrolla toimiva suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmä. AES-2006:ssa on myös vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmät. Laitoksen valmiusaste perussuunnittelun osalta on korkea. Suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

AES-2006-laitoksen primääripiirissä on neljä pääkiertopiiriä, joissa kussakin on vaakasuora höyrystin ja pääkiertopumppu. Laitoksen höyrystimet vastaavat tekniikaltaan jo Loviisan VVER-440-laitoksissa käytössä olevia höyrystimiä ja käyttökokeemukset tästä höyrystintyyppistä ovat pääosin positiivisia. Sekundääripiiri on oleellisesti osin samanlainen kuin nykyisissä VVER-tyyppisissä painevesireaktoreissa.

TURVALLISUUDEN ARVIOINTI JA TODENTAMINEN (VNA 717/2013 3§)

Deterministiset analyysimenetelmät ja alustavat tulokset

AES-2006-laitoksen turvallisuuden arviointia ja todentamista varten laitostoimittajalla on käytössään analyysimenetelmät, joita on ylläpidetty ja kelpoistettu käyttötarkoitukseensa. Menetelmiä on käytetty toiminnassa olevien VVER-laitosyksiköiden suunnittelun ja rakentamisen aikana. AES-2006-laitokselle tehty analyysit antavat sen käsityksen, että laitospvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset häiriö- ja onnettomuusanalyysimenetelmille asetetut vaatimukset täyttävät analyysit. Suomalaisten vaatimusten täyttyminen arvioidaan rakentamislupavaiheessa.

Todennäköisyysperusteiset analyysit

Todennäköisyysperusteinen riskianalyysi tehdään laitoksen yksityiskohtaisen suunnittelun yhteydessä. Luvanhakijan on toimitettava suunnitteluvaiheen todennäköisyysperusteinen riskianalyysi (PRA) STUKille rakentamislupaa hakiessaan ja lopullista suunnittelua kuvaava PRA käyttölupaa hakiessaan.

Laitostoimittajalla on käytössään kansainvälisesti tunnetut ja yleisesti käytetyt todennäköisyysperusteisen riskianalyysin menetelmät tason 1 analyysihin (reaktorisydämen vaurioituminen) ja tason 2 analyysihin (radioaktiivisten aineiden päästö ympäristöön). Menetelmillä on tehty tason 1 PRA-analyysi AES-2006-laitokselle. Referenssilaitoksen analyysi kattaa tärkeimmät alkutapahtumat kaikissa laitoksen käyttötiloissa. Analyysimenetelmien ja referenssilaitokselle tehtyjen PRA:n tuloksia koskevien tietojen perusteella voidaan arvioida, että laitospvaihtoehdolle voidaan tehdä suomalaiset vaatimukset täyttävät todennäköisyysperusteiset analyysit. STUK arvioi PRA:n riittävyyden ja sitä koskevien suomalaisten vaatimusten täyttyminen rakentamislupahakemusten käsittelyn yhteydessä.

Uuden tyyppisten järjestelmien kelpoistus

AES-2006-laitokseen on suunniteltu uusia passiivisia järjestelmiä. Näitä uusia häiriö- ja onnettomuustilanteissa käytettäviä järjestelmiä ovat primääripiiriä jäähdyttävä, höyrystimiin liitetty luonnonkierrolla toimiva jälkilämmönpoistojärjestelmä ja luon-

nonkierrolla toimiva suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmä. Uusien passiivisten järjestelmien hyväksyttävyyden edellytys on niiden toiminnan kokeellinen osoittaminen. Järjestelmien toiminnan ja suunnittelun varmistamiseksi on käytetty laskentamenetelmiä ja tehty kokeita erilaisilla koelaitteistoilla. Näiden kokeiden tuloksia on käytetty laskentamallien kelpoistukseen. Järjestelmien oikeasta toiminnasta sekä tehtyjen kokeiden ja kelpoistusten riittävydestä voidaan varmistua vasta, kun koetulokset ovat käytettävissä. Suomalaisten vaatimusten täyttyminen arvioidaan rakentamislupavaiheessa.

SÄTEILYALTISTUKSEN JA RADIOAKTIIVISTEN AINEIDEN PÄÄSTÖJEN RAJOITTAMINEN (VNA 717/2013 8–10 §)

Laitostoimittajalta on saatu AES-2006-laitokselle laadittujen väestön säteilyannos-analyysien tuloksia.

Laitostoimittajan arvion mukaan AES-2006:n normaaleista radioaktiivisten aineiden päästöistä aiheutuvat säteilyannokset Hanhikiven laitospaikan ympäristön väestölle olisivat enintään yhtä suuret kuin Suomessa käytössä olevista ydinvoimalaitoksista on aiheutunut niiden ympäristön väestölle. Tällöin VNA 717/2013 8 §:ssä esitetty, väestön säteilyaltistusta koskeva raja-arvo alittuisi selvästi.

Odotettavissa olevien käyttöhäiriöiden ja oletettujen onnettomuuksien osalta tulokset alittavat VNA 717/2013 9–10 §:ssä esitetyt, väestön säteilyaltistusta koskevat raja-arvot.

AES-2006:n referenssilaitokselle on tehty myös oletetun onnettomuuden laajennustilanteiden säteilyannosanalyysijä. Tulokset alittavat VNA 717/2013 9 §:ssä esitetyn raja-arvon, mutta analysoidut tilanteet eivät täysin vastaa suomalaisia vaatimuksia. Suuren liikennelentokoneen törmäystä ei ole analysoitu. Suomalaisten vaatimusten täyttyminen arvioidaan rakentamislupavaiheessa

AES-2006:n referenssilaitokselle tehtyjen suunnitteluperusteisen vakavan onnettomuuden analyysien tulosten mukaan VNA 717/2013 10 §:ssä esitetty päästöraja Cs-137:lle alitetaan, ja tarvetta laajoille väestön suojautumistoimenpiteille ei ole. Vakavan onnettomuuden aikaisessa vaiheessa tapahtuvasta, väestön suojautumistoimenpiteitä edellyttävän päästön mahdollisuudesta ei ole saatu analyysituloksia. Tämän mahdollisuuden on oltava erittäin pieni.

Normaalia käyttöä sekä häiriö- ja onnettomuustilanteita koskevat väestön säteilyannosanalyysit on toimitettava kokonaisuudessaan STUKille rakentamislupahakemuksen yhteydessä. STUK tarkastaa ne tällöin käyttäen tarvittaessa hyväksi STUKin tekemiä tai teettämiä vertailuanalyysijä.

Periaatepäätösvaiheessa esitettyjen analyysitulosten ja laitospäätöksen suunnittelu- ja rakentamisperusteella AES-2006:lle voidaan tehdä suomalaiset vaatimukset täyttävät väestön säteilyannosanalyysit. Suomalaisten vaatimusten täyttyminen arvioidaan rakentamislupavaiheessa.

ONNETTOMUUKSIEN ENNALTAEHKÄISEMINEN JA SEURAUSTEN LIEVENTÄMINEN (VNA 717/2013 12 §)

Syvyysuuntaisen turvallisuusperiaatteen toteutumista AES-2006-laitosvaihtoehdossa käsitellään asetuksen pykälien 13-14 § ja 17-18 § vaatimusten mukaisuuden arvioinnin yhteydessä.

RADIOAKTIIVISTEN AINEIDEN LEVIÄMISEN TEKNISET ESTEET (VNA 717/2013 13 §)

Reaktori ja polttoaine

AES-2006-laitoksessa reaktori on rakenteeltaan oleellisesti samanlainen kuin nykyisissä käytössä olevissa VVER-1000-laitoksissa. Korkeamman tehon vuoksi polttoaineenippujen aktiivisuuden pituutta on lisätty polttoaineen maksimikuormituksen pitämiseksi ennallaan. Polttoaine- ja sydänsuunnittelun osalta noudatetaan samanlaisia käytäntöjä kuin suurikokoisissa käytössä olevissa painevesireaktoreissa. Polttoainetta suunnitellaan ladattavan sydämeen 12 kuukauden välein siten, että neljäsosaan sydäimestä vaihdetaan tuoreet polttoaineniput.

Säätösauvojen lukumäärää on myös lisätty turvallisuuden parantamiseksi. Säätösauvoja on AES-2006-sydämessä 121 kappaletta. Sauvoissa käytetään neutroneja absorboivana aineena boorikarbidia ja dysprosium-titaanidioksidia. Reaktiivisuuden hallinta tehdään käyttöjakson aikana primäärijäähdytteessä olevalla boorilla, säätösauvoilla ja polttoaineessa olevalla palavalla myrkyllä (Gd2O3). Palavan myrkyllä käyttö vähentää korkean boorikonsentraation tarvetta käyttöjakson alussa.

Polttoaineena käytetään tyyppillisiä VVER-reaktoreissa käytettyjä kuusikulmaisia polttoainenippuja. Polttoainenippuja sydämessä on 163 kappaletta, joissa kussakin on 312 polttoainesauvaa. Vierasesinevaurioiden välttämiseksi polttoaineniput on varustettu vierasesinesiviilillä.

Fennovoima on tehnyt laitostoimitussopimuksen yhteydessä ydinpolttoaineen hankinnasta erillisen sopimuksen, joka sisältää alkulatauksen ja ensimmäisten käyttöjaksojen vaihtolataukset. Tällä hetkellä ainoa polttoainevalmistaja AES-2006:n reaktoripolttoaineelle on venäläinen TVEL.

Fennovoima on ilmoittanut neuvottelevansa mahdollisuudesta käyttää uraanilähteenä myös jälleenkäsiteltyä urania, jota saadaan käytetystä polttoaineesta. Uraanin lähde ei vaikuta polttoaineen käyttäytymiseen reaktorissa.

Jälleenkäsitellyssä uraanissa fissiokelpoisen U-235 isotoopin pitoisuus on samaa suuruusluokkaa (0,5-1,0 %) kuin luonnonuraanissa (0,7 %). Reaktoripolttoainekäyttöön U-235 pitoisuus on molemmissa tapauksissa väkevoitävä noin 4 %:n tasolle. Jälleenkäsitellyssä uraanissa on pieniä määriä U-236 isotooppia, joka vaikuttaa negatiivisesti reaktiivisuuteen. Tämän johdosta jälleenkäsitellystä uraanista valmistetun polttoaineen U-235 pitoisuus on oltava hieman suurempi kuin luonnon uraanista valmistetun polttoaineen.

Jälleenkäsittelyssä uraanissa on myös pieniä määriä U-232 isotooppia, jonka hajoamisketjussa syntyy korkeaenergistä gammasäteilyä. U-232:n johdosta polttoaineen valmistuksessa ja säilytyksessä laitoksella on kiinnitettävä huomiota säteilysuojeluun. Jälleenkäsittelystä uraanista valmistettu tuore polttoaine on laitoksella säilytettävä vesialtaassa, kun taas luonnonuraanista valmistettua tuoretta polttoainetta on mahdollista säilyttää kuivavarastossa. Laitokselle on rakennettava asianmukainen säilytysjärjestelmä.

Reaktorin ja polttoaineen suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Ydinpolttoaineen suunnittelun hyväksyttävyyden on ennen polttoaineen valmistuksen aloittamista osoitettava STUKille hyväksyttäväksi toimitettavalla polttoainetyypikohtaisella soveltuvuus selvityksellä.

Ydintekniset päälaitteet

AES2006:n ydinteknisien päälaitteiden materiaali- ja rakenneteknisissä ratkaisuissa on hyödynnetty VVER-1000-reaktoreiden noin 30 vuoden ajalta saatuja käyttökokemustietoja. Reaktoripainesäiliö valmistetaan kyseisille reaktoreille tyypillisestä nykyaikaisesta painelaiteteräksestä, josta tehdyt takeet hitsataan painesäiliöksi tunnetuin ja pätevoidyyn menetelmin. Säiliön sisäpuoli suojataan ruostumattomalla hitsauspinnoitteella. Reaktoripainesäiliön sisäosat on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja muista käyttötarkoitukseensa sopivista materiaaleista.

Päälaitteiden materiaalivalinnoissa ja käytön aikaisessa valvonnassa on huomioitu tyypilliset ikääntymisilmiöt. Reaktoripainesäiliön sydänalueen säteilyaurastuminen on otettu huomioon, ja sitä valvotaan käytönaikaisen säteilyaurastumisen seurantaohjelman avulla. Reaktoripainesäiliössä käytettävän teräksen 15X2HMΦA class 1, 15X2HMΦA ja 15X2HMΦA-A analyysivaatimukseen (P ja Cu sekä Ni) tulee kiinnittää huomiota, jotta painesäiliön sydänalueen säteilyaurastuminen pysyy sallituissa rajoissa 60 vuoden käyttöajan aikana. Säteilyaurastumista tulee arvioida lupamenettelyn myöhemmissä vaiheissa sekä laitoksen käytön aikana. Tämän lisäksi STUK toteaa, että paineastiateräksen säteilyaurastumista koskevat tarkemmat selvitykset on syytä aloittaa jo laitoksen suunnitteluvaiheessa.

Muut päälaitteet, kuten höyrystimet ja paineistin, valmistetaan samaan tapaan kuin reaktoripainesäiliö. Höyrystimien lämmönsiirtoputket ovat ruostumatonta terästä, mikä on todettu näissä laitoksissa hyvän vesikemia- ja vuotovalvonnan kanssa luotettavaksi ratkaisuksi. Aiemmin todetut VVER-1000 -laitosten höyrystimien kollektorien hitsausliitosten vauriot on huomioitu AES-2006:een tarkoitetussa uudemmassa höyrystintyyppissä materiaalivalinnan avulla.

Pääkiertoputkisto valmistetaan niukkaseosteisesta painelaiteteräksestä, joka pinnoitetaan sisäpuolelta ruostumattomalla teräksellä. Tällöin primääripiiriin kuuluvien pääyhteiden ja pääkiertoputkiston välisissä liitoksissa ei tarvita vaativaa eripariliitostekniikkaa. Pääkiertopiiriin putkiin liitetään lukuisia apu- ja hätäjärjestelmiin kuuluvia pienempiä putkistoja hitsausliitoksilla, joiden eheyden varmistaminen voi aiheuttaa haasteita lujuus- ja sitkeysanalyysien käsittelyn sekä määräaikaistarkastusten ja niihin liittyvien säteilysuojelutavoitteiden toteutuksen yhteydessä. Tähän tulee kiinnittää huomiota rakentamislupavaiheessa.

Pääkiertoputkiston suunnittelussa sovelletaan vuoto ennen murtumaa -periaatetta (Leak Before Break, LBB). Näin on tarkoitus eliminoida suunnitteluperusteisen halkaisijaltaan suurimman putken oletettu katkeaminen. Tähän on kuitenkin varauduttu hätäjähdytysjärjestelmien ja suojarakennuksen suunnittelussa. Esitetty menettely ei vastaa kaikilta osin suomalaisia vaatimuksia, sillä suurimman primääriputken täydellinen katkeaminen on analysoitava oletettujen onnettomuuksien laajenuksena. Analyysivaatimus koskee reaktorin sisäosia ja sen tukirakenteita, polttoainetta, höyrystimen lämmönsiirtoputkia sekä painevesireaktorin pääkiertopumpun huimamassaa. Tämän lisäksi pääkiertopiirin putkikatkojen dynaamisten vaikutusten ja murtuman ennalta estämisen (break preclusion, BP) huomioon ottaminen vaatii vielä lisäselvityksiä etenkin, jos primääripiiriin ei ole tarkoitus asentaa murtumatukia.

AES2006:n ydinteknisten päälaitteiden suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Reaktoripainesäiliön materiaalin sekä erityisesti sen nikkelseostuksen ja epäpuhtauksien vaikutus säteilyhaurastumiseen ja säteilyhaurastumisnopeuteen vaatii lisäselvityksiä, jotka tulee kuvata rakentamislupahakemuksessa. Mikäli reaktoripainesäiliön valmistus aloitetaan ennen rakentamisluvan myöntämistä, asia tulee esittää rakennesuunnitelmassa, joka on toimitettava YEL:n 55 §:n mukaisesti STUK:lle. Tässä vaiheessa tulee ottaa kantaa myös siihen, kuinka laitosta käytetään siten, että haurastuminen pysyy mahdollisimman vähäisenä Pääkiertopiirin oletettujen, äkillisten putkikatkojen vaikutukset reaktorin sisäosien kestävyteen sekä pääkiertopiirin yhteiden toteutus-, tarkastus- ja säteily-suojeluperiaatteet tulee selvittää rakentamislupavaiheessa.

Primääripiirin ja sekundääripiirin paineenhallinta

Normaalikäytön aikana primääripainetta hallitaan paineistimen lämpövastuksilla ja ruiskutuksella. Paineistinta voidaan ruiskuttaa pääkiertopumppujen (normaalikäyttö), tilavuudensäätöjärjestelmän tai hätäboorausjärjestelmän pumppujen avulla.

AES-2006-laitoksen primääripiirin ylipainesuojauksen toteutetaan paineistimen kolmen varo/ulospuhallusventtiilin avulla. Paineen rajoittamiseen tarvittavat venttiilit avautuvat reaktorin suojausautomaation ohjaaman pneumaattisen ohjausventtiilin avulla tai suoraan reaktorin paineesta jousikuormaa vasten. Jousikuormitteisia ohjausventtiilejä on 2 kpl varoventtiiliä kohden. Primääripiirin ylipainesuojauksen erillaisuusperiaate on esitetty täytettävän paineistimen ruiskutuksella tilavuudensäätöjärjestelmän tai hätäboorausjärjestelmän pumppujen avulla laitoksen käyttötilasta riippuen.

Sekundääripiirin ylipainesuojauksen toteutetaan höyrystimien varo- sekä ulospuhallusventtiilejä käyttäen. Tuorehöyryjärjestelmä sisältää sekundääripiirin ylipainesuojauksen järjestelmän.

Paineenhallintaan osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Paineistimen ruiskutuksen soveltavuus primääripiirin ylipainesuojauksen erillaisuusperiaatteen toteuttamiseen sekä varoventtiilien ja ulospuhalluslinjojen tarkka toteutus arvioidaan rakentamislupavaiheessa.

Suojarakennus

AES-2006-laitoksen primäärisuojarakennus on esijännitetystä teräsbetonista rakennettu, tiivistävällä teräsverhouksella (liner) varustettu ns. iso, kuiva suojarakennus, joka on suunniteltu säilyttämään hyväksymiskriteerien mukaisen tiiveytensä häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Sen ulkopuolelle on suunniteltu betoninen sekundäärisuojarakennus, joka suojaa primäärisuojarakennusta ulkoisilta uhilta.

Ulomman suojarakennuksen yläosassa on tilat sisemmän suojarakennuksen ja primääripiirin höyrystimien passiivisten jälkilämmönpoistojärjestelmien vesisäiliöille, joiden putkisto lävistää sisemmän esijännitetyn suojakuoren kupolialueella. Näiden läpivientien ja suojakuoren jännejärjestelmän suunnittelu on vaativa tehtävä. Tarkemmat suunnitteluperiaatteet ja analyysit tarkastetaan rakentamislupavaiheessa.

Vakavat onnettomuudet

AES-2006-laitoksen vakavien onnettomuuksien hallintastrategian ensisijainen tavoite on estää sydämen sulamiseen johtavat onnettomuudet. Jos onnettomuus etenee sydämen sulamiseen ja reaktoripainesäiliön rikkoutumiseen, strategian tavoitteena on sydänsulan pidättäminen ja jäähdyttäminen sydänsieppariin sekä suojarakennuksen eheyden varmistaminen ja päästöjen rajoittaminen. Strategian tavoitteiden kannalta oleellisia toimintoja ovat suojarakennuksen paineen hallinta ja jälkilämmön poisto, riittävä lämmönsiirto sydänsiepparista, korkeapaineisen sulapurkauksen estäminen painesäiliön rikkoutuessa sekä höyry- ja vetyräjähdysten eliminointi.

Vakavassa onnettomuudessa primääripiirin paine on saatava riittävän alhaiseksi ennen paineastian rikkoutumista, jotta vältetään suojarakennuksen eheyttä vaarantava korkeassa paineessa tapahtuva sulapurkaus. AES-2006-laitoksessa primääripiirin paineenalennus vakavissa onnettomuuksissa on esitetty tehtävän paineastimen varo/ulošpuhallusventtiilien ja hätäkaasunpoistojärjestelmän avulla. Ratkaisu ei ole suomalaisten turvallisuusvaatimusten mukainen, koska vakavien onnettomuuksien hallitsemiseksi suunniteltujen järjestelmien on oltava riippumattomia laitoksen käyttötilanteita ja oletettuja onnettomuuksia varten suunnitelluista järjestelmistä. Laitos on suomalaisten vaatimusten mukaisesti varustettava riippumattomilla paineen alennukseen tarkoitetuilla venttiileillä.

AES-2006-laitos on varustettu reaktoripainesäiliön alla olevalla sydänsiepparilla, joka pidättää ja jäähdyttää sulamassan (sydänsula sekä sulaneet reaktorin sisäosat ja paineastian pohjasta sulaneen materiaalin) pitäen sen alikriittisenä. Sydänsieppari on toimintaperiaatteeltaan passiivinen eli se toimii ilman ulkoista käyttövoimaa. Sydänsiepparia jäähdytetään ulkopuolelta tulvittamalla reaktorikuoppa suojarakennuksen sisäpuolisen jäähdytesäiliön boorivedellä. Tämän lisäksi sydänsieppariin ruiskutetaan yläpuolelta reaktorin sisäosien tarkastuskuilun vettä. Siepparissa muodostuva höyry ohjautuu suojarakennuksen kupoliosaan, missä se lauhtuu suojarakennuksen passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän avulla. Lauhtunut vesi virtaa takaisin reaktorikuoppaan jäähdyttämään sydänsiepparia. AES-2006:n sydänsieppari on kehitetty aikaisemmasta VVER-91-laitoksen ratkaisusta, jonka toiminta on varmennettu laajalla koeohjelmalla. Koeohjelman kattavuus varmistetaan rakentamislupavaiheessa.

Pitkäaikainen jälkilämmönpoisto suojarakennuksesta tapahtuu suojarakennuksen passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän avulla. Järjestelmään kuuluvat suojarakennuksen seinillä olevat lämmönvaihtimet, joiden kautta järjestelmä siirtää lämpöä suojarakennuksen katolla olevien vesialtaiden kautta ilmakehään. Järjestelmässä vesi virtaa painovoiman avulla altaista suojarakennuksen ylätilaan asennettaviin lauhduttimiin. Lauhdutinputkien sisäpuolella vesi höyrystyy ja nousee paluuputkea pitkin takaisin altaaseen, missä osa höyrystä tiivistyy uudelleen vedeksi, osan poistuessa ilmakehään. Suojarakennuksen katolla olevat vesialtaat ovat yhteiset höyrystimien passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän kanssa. Altaiden vesimäärä riittää poistamaan jälkilämmön 24 tunnin ajan, minkä jälkeen niitä on täytettävä suojarakennuksen ulkopuolella olevasta varastosäiliöstä. Suojarakennuksen passiivisessa jälkilämmönpoistojärjestelmässä on neljä rinnakkaista osajärjestelmää, joiden suunniteltu kapasiteetti täyttää suomalaiset vaatimukset. Suomalaiset vaatimukset edellyttävät, että järjestelmien, joita tarvitaan suojarakennuksen tiiveyden varmistamiseksi vakavan reaktorionnettomuuden yhteydessä, on kyettävä suorittamaan turvallisuustoimintonsa myös yksittäisvikaantumisen sattuessa.

Vakavan onnettomuuden aikana syntyy huomattava määrä vetyä, joka paineistaa suojarakennusta ja joka suurina pitoisuuksina voi palaa tai räjähtää. Suojarakennuksen vedynhallinta- ja vedynpoistojärjestelmät on suunniteltu estämään vaarallisen vetypitoisuuden muodostuminen suojarakennukseen. AES-2006-laitoksen suojarakennuksen vedynpoistojärjestelmä perustuu passiivisiin autokatalyyttisiin rekombinaattoreihin, jotka eivät tarvitse käyttövoimaa ja jotka poistavat vetyä niin pienistä pitoisuuksista, ettei syttyvää kaasuseosta ehdi syntyä. Järjestelmät on mitoitettu siten, että vetypitoisuus pysyy turvallisella tasolla koko onnettomuustilanteen ajan.

Menettelyä suojarakennuksen paineen alentamiseksi vakavien onnettomuuksien jälkeisen pitkän aikavälin turvallisen tilan saavuttamiseksi ei ole käsitelty soveltuvuus selvityksessä. Suomalaisten vaatimusten mukaisesti suojarakennuksen paine on vakavan onnettomuuden jälkeen kyettävä laskemaan niin alas, että vuoto suojarakennuksesta on vähäinen, vaikka suojarakennus ei olisikaan täysin tiivis. Useilla käytössä olevilla ydinvoimalaitoksilla toiminto on mahdollista tehdä suojarakennuksen suodatetulla ulospuhallusjärjestelmällä. YVL-ohjeet eivät välttämättä vaadi toiminnon toteuttamista suojarakennuksen suodatetulla ulospuhalluksella, jos se toteutetaan jollakin muulla suomalaiset vaatimukset täyttävällä järjestelyllä. Toiminnon toteuttaminen AES-2006-laitoksella on määriteltävä rakentamislupahakemuksen yhteydessä.

AES-2006-laitoksen vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmät ja hallintastrategia eivät täytä kaikilta osin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Suomalaiset vaatimukset edellyttävät vakavien onnettomuuksien hallintaan suunniteltujen järjestelmien riippumattomuutta laitoksen normaalien käyttötilanteiden, odotettavissa olevien käyttöhäiriöiden sekä oletettujen onnettomuuksien hallintajärjestelmistä.

Vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmät ja hallintastrategia on STUKin näemyksen mukaan mahdollista toteuttaa suomalaisten vaatimusten mukaisesti. Vakavien onnettomuuksien toimintojen toteuttaminen suomalaisten vaatimusten mukaisesti riippumattomin järjestelmin on varmistettava rakentamislupavaiheessa.

TURVALLISUUSTOIMINNOT JA NIIDEN VARMISTAMINEN (VNA 717/2013 12, 14 §)

AES-2006-laitoksessa turvallisuustoimintojen toteuttamiseen on käytetty sekä aktiivisia että passiivisia järjestelmiä. Reaktorin pikasulun toteuttavissa säätösauvoissa ja hätäjähdytysjärjestelmän painevesisäiliöissä käytetään periaatteeltaan passiivisia järjestelmiä, kuten kaikissa muissakin painevesireaktoreissa. Uusia häiriö- ja onnettomuustilanteissa käytettäviä passiivisia järjestelmiä ovat reaktoripiiriä höyrystimien kautta jähdyttävä luonnonkierrolla toimiva jälkilämmönpoistojärjestelmä ja passiivinen luonnonkierrolla toimiva suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmä.

Reaktorin reaktiivisuuden hallinta

AES-2006-laitoksessa reaktiivisuuden hallinta on toteutettu säätösauvoilla ja primäärijähdytteessä olevalla boorilla sekä polttoaineessa olevalla palavalla myrkyllä. Reaktorin normaalissa käytössä reaktiivisuutta säädetään jähdytteen boorihappopitoisuutta säätämällä.

Häiriötilanteissa reaktori sammutetaan pudottamalla säätösauvat reaktorisydämeen. Reaktorin pikasulkujärjestelmä on luonteeltaan passiivinen. Säätösauvat putoavat reaktorisydämeen painovoiman avulla reaktorin suojausautomaation katkaistua virran sauoja kannattavilta sähkömagneeteilta. AES-2006-reaktorisydämessä on 121 säätösauvaa. Säätösauvoissa käytetään neutroneja absorboivana aineena boorikarbidia ja dysprosium-titaanidioksidia.

Säätösauvat kykenevät pysäyttämään reaktorin ja pitämään sen alikriittisenä, vaikka tehokkain sauva oletettaisiin toimimattomaksi. Järjestelmä täyttää näin valtioneuvoston asetuksen edellyttämän moninkertaisuusperiaatteen. Säätösauvojen suuren lukumäärän johdosta reaktorin uudelleen kriittisyyslämpötila on mahdollisen jäähdytymisönettomuuden aikana poikkeuksellisen alhainen, noin 100 C. Piirre on edullinen tahattomaan jäähtymiseen johtavien häiriö- ja onnettomuustilanteiden hallinnan kannalta.

Erilaisuusperiaatteen toteuttaa reaktorin sammuttamisen osalta hätäboorausjärjestelmä. Hätäboorausjärjestelmässä on neljä rinnakkaista osajärjestelmää, joista kaksi riittää pysäyttämään reaktorin ja pitämään sen alikriittisenä, vaikka säätösauvat oletettaisiin toimimattomiksi.

Polttoaineeseen sekoitettu palava myrky (Gd₂O₃) absorboi neutroneja ja vähentää tarvetta pitää yllä korkeaa primäärijähdytteen booripitoisuutta käyttöjakson alussa. Polttoaineen Gd₂O₃ konsentraatio valitaan siten, että se kuluu loppuun polttoaineen ensimmäisen käyttövuoden aikana.

Reaktiivisuuden hallintaan liittyvien turvallisuustoimintojen suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Kuitenkin esimerkiksi primääripiirin booripitoisuuden äkillisen laimenemisen varalle esitettyjen suunnitelmien tueksi tarvitaan rakentamislupavaiheessa täydentäviä analyysejä ja/tai koikeita.

Reaktorin jäähdytys

Reaktorin jäähdytys seisokkitilanteissa

Kuumaseisokissa reaktorin jälkilämpö poistetaan painevesireaktoreille tavanomaiseen tapaan höyrystimien kautta suoraan turbiinin lauhduttimeen käyttäen turbiinin ohituslinjoja. Mikäli tämä ei häiriötilanteen takia ole mahdollista, voidaan jälkilämpö poistaa pumppaamalla höyrystimiin vettä nelinkertaisesti varmennetulla hätäsyöttövesijärjestelmällä ja puhaltamalla höyry ilmakehään sekundääripiirin ulospuhallusventtiileillä.

Primääripiirin paineen ja lämpötilan alentamisen jälkeen jälkilämpö poistetaan suoraan primääripiiristä jälkilämmönpoistojärjestelmällä, joka käyttää samoja pumppuja kuin matalapaineinen hätäjäähdytysjärjestelmä. Jälkilämpö siirretään lopulliseen lämpönieluun välijäähdytysjärjestelmän ja varmennetun merivesijärjestelmän avulla. Järjestelmät koostuvat neljästä osajärjestelmästä, joista kukin pystyy toteuttamaan järjestelmälle vaaditun tehtävän. Näitä samoja järjestelmiä käytetään ensisijaisina jälkilämmönpoistojärjestelminä myös häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

Seisokkitilanteissa, joissa reaktorin kansi on auki, ja häiriötilanteen vuoksi jälkilämmönpoistojärjestelmä ei ole käytettävissä, voidaan reaktorin jälkilämpö poistaa suojarakennuksen passiivisella luonnonkiertoon perustuvalla jälkilämmönpoistojärjestelmällä. Jälkilämpö poistetaan tällöin reaktorista höyryttämällä vettä suojarakennukseen ja siirtämällä lämpö edelleen suojarakennuksen passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän lauhduttimilla ilmakehään suojarakennuksen ulkopuolella sijaitsevien vesialtaiden kautta, jotka ovat yhteiset höyrystimien passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän kanssa. Suojarakennuksen passiivinen jälkilämmönpoistojärjestelmä ei tarvitse minkään aktiivisen laitteen toimintaa käynnistyäkseen. Järjestelmällä voidaan siirtää reaktorin jälkilämpö 24 tuntia onnettomuuden jälkeen ilman operaattoritoimenpiteitä. Lisätoimenpiteillä aikaa voidaan pidentää vähintään 72 tuntiin pumppaamalla vettä lisävesijärjestelmän vesivarastoista passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän vesialtaksiin. Suomalaisten vaatimusten täytyminen, erityisesti lisävesivarannon riittävyys pitkäaikaisessa häiriötilanteessa ja järjestelmien riippumattomuus arvioidaan rakentamislupavaiheessa.

Jäähdytysvesi reaktoriin saadaan primääripiirin lisävesijärjestelmällä lisävesisäiliöstä tai matalapaineisella hätäjäähdytysjärjestelmällä suojarakennuksen sisäpuolisesta jäähdytesäiliöstä.

Reaktorin jäähdytys onnettomuuksissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä

Mikäli häiriö tai onnettomuus estää normaalin jälkilämmön poiston turbiinin lauhduttimeen, voidaan jälkilämpö siirtää primääripiiristä ilmakehään käyttämällä sekundääripiirin hätäsyöttövesijärjestelmää ja höyrystimen ulospuhallusventtiilejä. Hätäsyöttövesijärjestelmällä pumpataan vettä hätäsyöttövesisäiliöstä höyrystimiin, ja siellä syntyvä höyry johdetaan ulospuhallusventtiilien kautta ulos. Hätäsyöttövesijärjestelmän kunkin neljän osajärjestelmän pumppauskapasiteetti on riittävä järjestelmän turvallisuustoiminnon toteuttamiseen. Järjestelmällä saadaan reaktori hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja voidaan pitää siinä vähintään 24 tuntia. Lisä-

toimenpiteillä aikaa voidaan pidentää vähintään 72 tuntiin pumpaamalla vettä vaihtoehtoisesta vesivarastosta hätäsyöttövesisäiliöön. Suomalaisten vaatimusten täyttyminen, erityisesti lisävesivarannon riittävyys pitkäaikaisessa häiriötilanteessa ja järjestelmien riippumattomuus sekä toimintavarmuus kolmen vuorokauden ajan arvioidaan rakentamislupavaiheessa.

Jälkilämpö voidaan vaihtoehtoisesti siirtää ilmakehään höyrystimien passiivisella jälkilämmönpoistojärjestelmällä, jonka kolme osajärjestelmää neljästä toteuttaa turvallisuustoiminnon. Höyrystimien passiivisella jälkilämmönpoistojärjestelmällä reaktorin jälkilämpö poistetaan höyrystimien kautta suojarakennuksen ulkopuolella sijaitsevilla vesialtaissa olevilla lämmönvaihtimilla ilmakehään 24 tunnin ajan ilman operaattorin toimenpiteitä. Järjestelmällä saadaan reaktori hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan. Suomalaisten vaatimusten täyttyminen, erityisesti lisävesivarannon riittävyys pitkäaikaisessa häiriötilanteessa ja järjestelmien riippumattomuus sekä toimintavarmuus kolmen vuorokauden ajan arvioidaan rakentamislupavaiheessa.

Häiriö- ja onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin primääripiiri on ehjä, jäähtymisestä johtuvan tilavuuden pienenemisen korvaava lisävesi saadaan reaktoriin ensisijaisesti normaalilla primääripiirin lisävesijärjestelmällä. Vaihtoehtoisesti lisävesi saadaan korkeapaineisesta hätäjähdytysjärjestelmästä, joka ottaa lisävetensä suojarakennuksen sisäpuolisesta jähdytysvesisäiliöstä.

Passiiviset jälkilämmönpoistojärjestelmät kykenevät huolehtimaan reaktorin jäähtyksestä myös laitoksen ulkopuolisesta sähkön ja veden syötöstä riippumattomasti, mitä on edellytetty VNA 717/2013 14 § 7:ssä momentissa. Suojarakennuksen jälkilämmönpoistojärjestelmä voi toimia lämpönieluna myös polttoainealtaan jähdytyksen menetyksen yhteydessä. STUKin näkemyksen mukaan vaatimus on mahdollista täyttää teknisin ratkaisuin, ja asia voidaan käsitellä rakentamislupavaiheessa. Tässä yhteydessä on myös käsiteltävä tarvittavien järjestelmien kyky toimia tilanteessa, jonka aiheuttaa harvinainen ulkoinen tapahtuma tai laitoksen sisäisessä sähkönjakelujärjestelmässä esiintyvä häiriö.

Tilanteisiin, joissa turvallisuusrakennuksessa sijaitsevat normaalit jälkilämmönpoistojärjestelmät ja jähdytys primääripiirin kautta eivät ole käytettävissä, laitostoimitaja esittää uuden järjestelmän käyttöä. Järjestelmä kierrättää turpiinirakennuksen välijähdytysjärjestelmällä jähdytettyä vettä syöttövesipumpuilla syöttövesisäiliöiden kautta höyrystimiin. Tarvittava lisävesi saadaan lisävesisäiliöstä. Arviointi edellyttää yksityiskohtaisempia tietoja. Asia käsitellään rakentamislupavaiheessa.

Reaktorin jähdytys jähdytteenmenetysonnettomuuksissa

Onnettomuustilanteissa, joissa reaktorin jähdytettyä menetetään vuodon seurauksena, reaktori voidaan jähdyttää tätä tilannetta varten suunnitelluilla hätäjähdytysjärjestelmillä.

AES-2006-laitoksessa primääripiirin hätäjähdytys on toteutettu aktiivisella korkeapaineisella ja matalapaineisella hätäjähdytysjärjestelmällä, joissa kummassakin järjestelmässä on neljä rinnakkaista osajärjestelmää, sekä neljällä painevesisäiliöllä. Hätäjähdytysjärjestelmien pumpput ottavat jähdytteen suojarakennuksen sisäpuoli-

sesta jäähdytesäiliöstä imusiivilöiden kautta. Suojarakennukseen vuotanut reaktorin jäähdytysvesi valuu takaisin säiliöön. Imusiivilöiden rakennetta ja suunnitteluperusteita ei ole esitetty aineistossa. Imusiivilöille on tehtävä kokeita, jotka täyttävät suomalaiset vaatimukset. STUKin näkemyksen mukaan hätäjähdytysjärjestelmät on kuitenkin mahdollista toteuttaa siten, että suomalaiset vaatimukset täyttyvät todennettavin teknisin ratkaisuin. Asia käsitellään rakentamislupavaiheessa.

Erilaisuusperiaate edellä esitetyn hätäjähdytyksen osalta pienissä jäähdytevuodoissa on toteutettu siten, että primääripiirin painetta lasketaan, esimerkiksi höyrystimien puhallusventtiilien avulla, kunnes päästään alueelle, jossa matalapaineinen hätäjähdytysjärjestelmä ja hätäjähdytyksen painevesisäiliöt voivat toimia.

Reaktorin jälkilämpö poistetaan jälkilämmönpoistojärjestelmällä, joka käyttää samoja pumppuja kuin matalapaineinen hätäjähdytysjärjestelmä. Jälkilämpö siirretään välijähdytysjärjestelmän ja varmennetun merivesijärjestelmän kautta lopulliseen lämpönieluun.

Reaktorisydämen jäähdytykseen ja jälkilämmön poistoon liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Rakentamislupavaiheessa on varmistuttava siitä, että suomalaiset vaatimukset täyttyvät myös toiminnon kannalta välttämättömien apu- ja tukijärjestelmien osalta.

Jälkilämmön poisto suojarakennuksesta

AES-2006-laitoksessa jälkilämmön poisto suojarakennuksesta häiriö- ja onnettomuustilanteissa toteutetaan aktiivisella suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmällä, jolla jälkilämpö poistetaan väli- ja varmennetun merivesipiirin kautta lopulliseen lämpönieluun.

Erilaisuusperiaatteen jälkilämmönpoiston osalta toteuttaa suojarakennuksen passiivinen jälkilämmönpoistojärjestelmä, jolla reaktorin jälkilämpö poistetaan suojarakennuksesta sen ulkopuolella sijaitsevien vesialtaiden avulla ilmakehään. Järjestelmän käynnistyminen ei vaadi ulkoista voimaa. Järjestelmän vesialtaat ovat yhteiset höyrystimien passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän kanssa. Suojarakennuksen passiivisella jälkilämmönpoistojärjestelmällä jälkilämpö voidaan siirtää 24 tuntia onnettomuuden jälkeen ilman operaattoritoimenpiteitä.

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

Suojarakennuksen eristys

AES-2006-laitoksen suojarakennuksen eristys on kussakin suojarakennuksen läpäisevässä putkilinjassa tarkoitus toteuttaa kahdella eri periaatteella toimivalla eristysventtiilillä. Suunnittelun edetessä tarvitaan lisätietoja mm. eristysventtiilien sähkönsyöteistä ja ohjauksista.

Suojarakennuksen eristystoiminnon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia vaatimuksia.

Lopullisen lämpönielun menetys

Jos lopullinen, ensisijainen lämpönielu eli mahdollisuus siirtää reaktorin jälkilämpöä turpiinin lauhduttimen tai varmennetun merivesipiirin kautta mereen menetetään reaktoripiirin ollessa suljettuna, jälkilämpö voidaan poistaa reaktorin jäähdytyspiiristä pumpaamalla vettä höyrystimien sekundääripuolelle hätäsyöttövesijärjestelmällä ja puhaltamalla höyryä ilmakehään. Tällä järjestelyllä saadaan reaktori hallitun tilaan ja voidaan pitää siinä vähintään 24 tuntia. Suomalaisten vaatimusten täyttyminen, erityisesti lisävesivarannon riittävyys pitkäaikaisessa häiriötilanteessa ja järjestelmien riippumattomuus sekä toimintavarmuus kolmen vuorokauden ajan arvioidaan rakentamislupavaiheessa.

Vaihtoehtoisesti voidaan reaktorin jälkilämpö siirtää ilmakehään höyrystimien passiivisella jälkilämmönpoistojärjestelmällä, joka toimii 24 tuntia onnettomuuden jälkeen ilman operaattoritoimenpiteitä. Lisätoimenpiteillä aikaa voidaan pidentää vähintään 72 tuntiin pumpaamalla vettä vaihtoehtoisista vesivarastoista vesialtaisiin. Jäähdytysvesi saadaan reaktoriin primääripiirin lisävesijärjestelmällä lisävesisäiliöstä tai matalapaineisella hätäjäähdytysjärjestelmällä suojarakennuksen sisäpuolisesta jäähdytysvesisäiliöstä.

Reaktorin jälkilämmön poistoa on käsitelty laajemmin kohdassa "Reaktorin jäähdytys" mukaan lukien ne tilanteet, joissa reaktorin kansi on auki.

Lopullisen lämpönielun menetyksen hallintaan osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet AES-2006-laitoksella vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Suomalaisten vaatimusten täyttyminen, erityisesti lisäveden sekä apujärjestelmien vaatiman jäähdytyksen osalta poistettaessa jälkilämpöä vaihtoehtoiseen lämpönieluun arvioidaan rakentamislupavaiheessa.

Polttoainealtaiden jäähdytys

Polttoainealtaiden jäähdytys tapahtuu kyseisten altaiden jäähdytysjärjestelmällä. Järjestelmässä on kaksi osajärjestelmää.

Erilaisuusperiaatteen täyttävänä polttoainealtaiden jäähdytysjärjestelmänä voidaan käyttää suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmää. Vaihtoehtoisesti jälkilämpö voidaan siirtää suojarakennuksen passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän avulla höyrystämällä vettä polttoainealtaissa. Lisäveden lähdettä ei mainita aineistossa.

Polttoainealtaisiin voidaan syöttää vettä lisävesijärjestelmän säiliöistä höyrystimien passiivisen jälkilämmönpoistojärjestelmän pumpulla oletettujen onnettomuuksien laajennustilanteissa.

Polttoainealtaiden jäähdytykseen osallistuvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Rakentamislupavaiheessa on varmistuttava siitä, että suomalaiset vaatimukset täyttyvät myös toiminnon kannalta välttämättömien apu- ja tukijärjestelmien osalta.

Seisokkiturvallisuus

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

Primääripiirin ulospuhallusventtiileillä estetään primääripiirin kylmäpaineistuminen.

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

Seisokkiturvallisuuteen liittyvien järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Sähköjärjestelmät

AES-2006-laitoksen ulkoisen sähkötehon syöttö on toteutettu omakäyttömuuntajien ja päämuuntajan kautta 400 kV:n verkosta tai varaomakäyttömuuntajien kautta 110 kV:n verkosta.

Ulkoisten syöttölähteiden ollessa vikaantuneita laitoksen turvallisuusjärjestelmien sisäisen sähkötehon syöttöjärjestelminä toimivat:

- turvallisuusluokan 2 varavoimadieselgeneraattorit (4 x 100 %),
- turvallisuusluokan 2 akustot vähintään 2 h purkausajalla varavoimasähkölähteiden käynnistymisen aikana kaikissa neljässä osajärjestelmässä,
- turvallisuusluokan 3 erilaisuusperiaatteen toteuttavat 72h akustot (2 x 100 %) sekä näiden akustojen varmistuksena turvallisuusluokan 3 dieselgeneraattori,
- lisäksi laitosalueelle tulee EYT-luokan dieselvoimalaitos

Suunnitteluaineistossa ei ole esitetty selkeästi sähköjärjestelmien syvyysuuntaisen puolustuksen tasojen erotteluperiaatteita, eikä sitä, kuinka erilaisuusperiaatteen toteuttava vaihtosähkön syöttölähde ja siten oletettujen onnettomuuksien laajennustilanteet tullaan käsittelemään sähkötekniikan näkökulmasta. Nämä voidaan käsitellä rakentamislupavaiheessa.

Sähköjärjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat pääosin suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Rakentamislupavaiheessa tarkemmin tutkittavia asioita ovat erilaisuusperiaatteen toteuttavat vaihtosähkön syöttölähteet, sähköjärjestelmien erotteluperiaatteet sekä vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmän erillinen sähkötehon syöttöjärjestelmä.

Rakennustekniikka ja palontorjunta

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

Maanjäristyksien ja muiden ulkoisten uhkien värähtelykestävyyteen liittyvät suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia. Laitospaikkakohtainen maanjäristyskestävyyden vaatimuksen täytyminen todennetaan rakentamislupavaiheessa. Maanjäristysten osalta perussuunnittelussa on käytetty referenssilaitosten PGA-arvoja laitteille (0,2 g) ja rakennuksille (0,12 g). Laitos voidaan vähäisin muutoksin suunnitella laitospaikalle asetettavien vaatimusten mukaiseksi. Perussuunnittelun lähtökohtana on ollut runkorakenteiden kestävyys ja värähtelyominaisuuksien esisuunnittelu kaikkia ulkoisten uhkien aiheuttamia värähtelyjä vastaan. Tämä antaa hyvät perusteet yksityiskohtaiseen suunnitteluun myös laitteiden värähtelykestävyyden osalta. Periaatepäätöksen osalta perussuunnittelussa esitetyt vaatimukset ovat riittävät.

AES-2006-laitoksen palontorjuntakonseptin suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia, lukuun ottamatta turvallisuusrakennusten turvallisuuslohkojen välistä erottelua, jolta osin suunnitteluvaatimukset eivät täytä yksiselitteisesti suomalaisia vaatimuksia. Tältä osin sekä maanjäristysten mahdollisesti aiheuttamien seurauspalojen hallinnan osalta laitoksen sammutusjärjestelmien maanjäristyskestävyyden tarve ja suunnitteluperusteet varmistetaan rakentamislupavaiheessa.

SUOJAUTUMINEN ULKOISILTA TAPAHTUMILTA (VNA 717/2013 17 §)

AES-2006-laitoksen suojaumisstrategia suuren matkustajakoneen törmäyksen varalle on ulomman suojarakennuksen rakentaminen suuren liikennelentokoneen törmäyksen kestäväksi. Lisäksi strategiassa käytetään varjostus- ja etäisyserottelua päänäköryventtiili-, turvallisuus-, valvomo- sekä varavoimadieselgeneraattorirakennusten osalta.

Turvallisuustoimintojen riittävän säilymisen osoittaminen lentokonetörmäystapah- tumassa ilman laajempaa rakenteellista suojausta on vaikeaa. Laitostoimittaja on esittänyt mahdollisuuksia turvallisuuden kannalta merkittävimpien rakennusten rakenteellisen suojauksen vahvistamiseen.

STUKin arvion mukaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttymistä lentokonetörmäyksen osalta ei ole toistaiseksi osoitettu. Esitetty toteutusratkaisu vaatii tarkempia suunnitelmia ja analyysejä sekä laitosmuutoksia, jotka käsitellään rakentamislupahakemuksessa.

Muita laitosta uhkaavia ulkoisia tapahtumia käsitellään alustavan turvallisuusarvion kohdassa "Sijaintipaikka". STUKin käsityksen mukaan laitos voidaan suunnitella täyttämään ulkoisiin uhkiin varautumista koskevat suomalaiset vaatimukset.

SUOJAUTUMINEN SISÄISILTÄ TAPAHTUMILTA (VNA 717/2013 18 §)

AES-2006:n turvallisuusjärjestelmät on jaettu neljään rinnakkaiseen, toisiaan korvaavaan osajärjestelmään. Osajärjestelmät on eroteltu fyysisesti toisistaan eri turvallisuuslohkoihin. Turvallisuuslohkot on yleisesti eroteltu omiin palo-osastoihin. Suojarakennuksessa fyysistä erottelua on toteutettu turvallisuuslohkojen etäisyserotellulla ja mahdollisuudella käyttää paikallisia palosuojauksia. Turvallisuudelle tärkeiden rakennusten välinen palo-osastointi täyttää suomalaiset vaatimukset.

Suomalaisten vaatimusten mukaan järjestelmien suunnittelussa on sovellettava erotteluperiaatetta, jolla varmistetaan turvallisuustoimintojen toteutuminen myös viikaantumistilanteissa sekä ulkoisten ja sisäisten uhkien aikana. Turvallisuustoimintoja toteuttavan järjestelmän moninkertaisuusperiaatetta toteuttavat osat on sijoitettava eri turvallisuuslohkoihin. Ovia, luokkuja ja läpivientejä turvallisuuslohkojen välillä on vältettävä.

AES-2006-laitoksen turvallisuusrakennuksessa turvallisuusjärjestelmiä sisältävät palo-osastot on sijoitettu rinnakkain, ja niitä yhdistävät huoltokäytävät sekä ilmastointijärjestelmien kanavistot. Nämä ovilla ja palopelleillä erotellut yhteydet rinnakkaisien osajärjestelmien välillä kyseenalaistavat fyysisen erottelun riittävän toteutumisen. Tältä osin turvallisuuden varmistaminen käsitellään rakentamislupavaiheessa.

Turvallisuusrakennuksen alakerroksissa sijaitsevat ydinteknisen välijäähdytyspiirin merivesilämmönvaihtimet sekä niiden putkistot. Näiden laitteiden rikkoutumisen aiheuttaman suuren tulvan hallinta turvallisuusrakennuksen tilasuunnittelussa on haasteellinen. Samoin turvallisuusrakennuksessa jokaisen osajärjestelmän matala- ja korkeapaineiset hätäjäähdytyspumput laitteineen ja putkistoineen on sijoitettu samaan huonetilaan ilman fyysistä erottelua. Tältä osin turvallisuuden varmistaminen käsitellään rakentamislupavaiheessa.

Suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttymistä sisäisiltä tapahtumilta suojautumiselta, kuten tulvilta ja tulipaloilta, ei ole toistaiseksi osoitettu. Esitetty toteutusratkaisu vaatii tarkempia suunnitelmia ja analyyseja sekä laitosmuutoksia. Rakentamislupahakemuksessa STUK arvioi palontorjunnan suunnitteluohjeet ja tarkemmat suunnitteluperusteet yhdessä muiden viranomaisten kanssa

YDINVOIMALAITOSTEN VALVONTA JA OHJAUS (VNA 717/2013 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 arvioida. Turvallisuusperiaatteiden toteutuminen laitoksen teknisissä ratkaisuissa on varmistettava suunnittelun edetessä.

Automaattiset turvallisuustoiminnot

AES-2006-laitoksen automaatiassa on useita eri puolustuslinjoja syvyysuunnassa. Ensimmäisen linjan muodostavat normaali käyttöautomaatio ja säätöjärjestelmät.

Toisessa linjassa on ensisijaisesti toimiva, kaikki turvallisuustoiminnot tarvittaessa käynnistävä suojausjärjestelmä, joka on jaettu kahteen toisiansa korvaavaan diverssiin osaan A ja B. Kolmannessa linjassa on erilaisella tekniikalla toteutettu toinen, tärkeimmät turvallisuustoiminnot käynnistävä suojausjärjestelmä HW (Hard Wired)-Div. Järjestelmä sisältää samat toiminnot kuin suojausjärjestelmän diversiteetti A. Viimeisen linjan muodostaa vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmä.

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

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

Moninkertaisuusperiaate automaatiossa

AES-2006-laitoksen ensisijaisesti toimivassa suojausjärjestelmässä on neljä rinnakkaista osajärjestelmää. Suojaustoiminto käynnistyy, mikäli kaksi neljästä rinnakkaisesta suojauskanavasta antaa suojaussignaalin. Järjestelmä täyttää valtioneuvoston asetuksen vaatimukset moninkertaisuusperiaatteen osalta.

Tärkeimmät käyttöautomaatiojärjestelmät toteutetaan yksittäisvikasietoisesti.

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

Järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Erotteluperiaate automaatiossa

Reaktorin suojausjärjestelmän rinnakkaiset osajärjestelmät on erotettu toisistaan fyysisesti ja toiminnallisesti. Vakavien onnettomuuksien hallinnan automaatiojärjestelmä toteutetaan kahdesta osajärjestelmästä koostuvalla, erillisillä komponenteilla toteutetulla järjestelmällä, joka saa sähkönsyöttönsä muista sähköjärjestelmistä riippumattomasta kahdennetusta lähteestä. Vakavien onnettomuuksien hallinnan automaation toiminnot tullaan suunnittelemaan vaatimustenmukaisiksi rakentamislupahakemukseen tähtäävän suunnittelun aikana. Muiden eri turvallisuusluokkien automaatiojärjestelmien ja laitteiden erottelua toisistaan osajärjestelmien välillä ja sisällä ei ole kuvattu hakemusaineistossa.

Järjestelmien suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat yleisellä tasolla suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Erilaisuusperiaate automaatiossa

Suomalaiset turvallisuusvaatimukset edellyttävät, että reaktorin suojausjärjestelmässä tulee mitata vähintään kahta eri prosessisuuretta, jotka ovat molemmat fy-

sikaalisesti häiriötilanteesta tai onnettomuudesta riippuvia ja joiden laukaisurajat voidaan valita siten, että ne saavutetaan riittävän aikaisin. Hakemusaineistossa ei ole kerrottu, miten erilaisuusperiaatetta sovelletaan reaktorisuojausjärjestelmän mittauksissa ja suojausten aktivoinnissa. Asia voidaan käsitellä rakentamislupavaiheessa.

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

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

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

Valvomo

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

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

Alustavassa turvallisuusarviossa ei käsitellä valvomoa ja varavalvomoa koskevia yksityiskohtaisia turvajärjestelyjä. Hankkeen edetessä luvanhakijan on tarpeen huomioida turvajärjestelyjä koskevat yksityiskohtaiset vaatimukset, jotka käsitellään rakentamislupavaiheessa.

Valvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

Varavalvomo

AES-2006-laitoksessa on varavalvomo, josta turvallisuuden kannalta tärkeitä järjestelmiä voidaan ohjata päävalvomosta riippumattomasti. Varavalvomosta laitos voidaan ohjata hallittuun (kuumasammutettuun) tilaan ja edelleen turvalliseen (kylmäsammutettuun) tilaan.

STUKin käsityksen mukaan varavalvomon sijaintia on tarkasteltava lentokonetörmäyksen kannalta. Muilta osin varavalvomon suunnittelutavoitteet ja -periaatteet vastaavat suomalaisia turvallisuusvaatimuksia.

YHTEENVETO

Esitettyjen selvitysten perusteella voidaan arvioida, että AES-2006-laitosvaihtoehto on mahdollista saada suunnittelumuutoksin sekä lisäanalyysin ja kelpoistuksen avulla täyttämään suomalaiset ydin- ja säteilyturvallisuusvaatimukset.

Suomalaisten vaatimusten mukaan ydinvoimalaitoksen suunnittelussa tulee huomioida suuren liikennelentokoneen törmäys yhtenä ulkoisena uhkana. Laitoksen suunnittelussa on otettava huomioon sekä lentokonetörmäyksen suorat että epäsuorat vaikutukset. AES-2006-laitoksen suojautumisstrategia suuren matkustajakoneen törmäyksen varalle on reaktorin ulomman suojarakennuksen rakentaminen suuren liikennelentokoneen törmäyksen kestäväksi. Lisäksi strategiassa käytetään varjostus- ja etäisyyserottelua turvallisuustoimintojen suojaamiseksi. Turvallisuustoimintojen riittävän säilymisen osoittaminen lentokonetörmäystapahtumassa ilman laajempaa rakenteellista suojausta on vaikeaa. Laitostoimittaja on esittänyt mahdollisuuksia turvallisuuden kannalta merkittävimpien rakennusten rakenteellisen suojauksen vahvistamiseen. STUKin arvion mukaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttymistä lentokonetörmäyksen osalta ei ole toistaiseksi osoitettu. Nyt esitetty toteutusratkaisu vaatii turvallisuusvaatimusten täyttymisen osoittamiseksi tarkempia suunnitelmia ja analyyssejä sekä laitosmuutoksia.

AES-2006-laitosvaihtoehdossa turvallisuusrakennuksen turvallisuusjärjestelmiä sisältävät rakennusosat (turvallisuuslohkot) on sijoitettu rinnakkain, ja niitä yhdistävät huoltokäytävät sekä ilmastointijärjestelmien kanavistot. Nämä ovilla ja palopelleillä erotellut yhteydet rinnakkaisten osajärjestelmien välillä kyseenalaistavat turvallisuusjärjestelmien rinnakkaisten osajärjestelmien palo- ja muun fyysisen erotellun riittävän toteutumisen. Suomalaisten vaatimusten mukaan järjestelmien suunnittelussa on sovellettava erotteluperiaatetta, jolla varmistetaan turvallisuustoimintojen toteutuminen myös vikaantumistilanteissa sekä ulkoisten ja sisäisten uhkien aikana. Turvallisuustoimintoja toteuttavan järjestelmän moninkertaisuusperiaatetta toteuttavat osat on sijoitettava eri turvallisuuslohkoihin. Ovia, luokkuja ja läpivientejä turvallisuuslohkojen välillä on vältettävä. STUKin arvion mukaan suomalaisten turvallisuusvaatimusten täyttymistä sisäisiltä tai ulkoisilta tapahtumilta suojautumiselta, kuten tulvilta ja tulipaloilta, ei ole toistaiseksi osoitettu. Esitetty toteutusratkaisu vaatii turvallisuusvaatimusten täyttymisen osoittamiseksi tarkempia suunnitelmia ja analyyssejä sekä laitosmuutoksia.

AES-2006:ssa on vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmät. Primääripiirin paineenalennus vakavissa onnettomuuksissa ei kuitenkaan täytä suomalaisia turvallisuusvaatimuksia, sillä paineenalennus on suunniteltu tehtävän laitoksen käyttötilanteita ja oletettuja onnettomuuksia varten suunniteltuja primääripiirin varoventtiilejä ja hätäkaasunpoistojärjestelmää hyväksi käyttäen. Suomalaiset vaatimukset edellyttävät vakavien onnettomuuksien järjestelmien riippumattomuutta laitoksen käyttötilanteista ja oletettuja onnettomuuksia varten suunnitelluista järjestelmistä. Laitosuunnittelua on näiltä osin muutettava.

Eräät tekniset yksityiskohdat edellyttävät lisäanalyyssejä ja kokeellista kelpoistusta sekä lisäsuunnittelua. STUKin käsityksen mukaan mikään niistä ei ole sellainen, että sen voitaisiin olettaa muodostuvan esteeksi ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta an-

netun valtioneuvoston asetuksen (717/2013) vaatimusten täyttämiseksi. Tällaisia teknisiä yksityiskohtia ovat:

- passiivisten jälkilämmönpoistojärjestelmien toiminnan kokeellinen osoittaminen,
- turvallisuustoimintoja varmistavien järjestelmien moninkertaisuus-, erilaisuus- ja erotteluperiaatteiden suomalaisten vaatimusten täyttymisen yksityiskohtainen osoittaminen,
- reaktoripainesäiliön materiaalin vaikutus säteilyhaurastumisnopeuteen vaatii lisäselvityksiä,
- pääkiertopiirin oletettujen, äkillisten putkikatkojen vaikutukset reaktorin sisäosien kestävyys- ja pääkiertopiirin yhteiden toteutus-, tarkastus- ja säteilysuojeluperiaatteet,
- ulomman suojarakennuksen yläosan läpivientien ja suojakuoren jännejärjestelmän suunnittelu,
- hätäjähdytysjärjestelmän imusiivilät ja niiden toiminnan kokeellinen varmentaminen,
- jälkilämmön poistoon 72 tunnin ajaksi liittyvien erilaisuusperiaatteen toteutavien järjestelmien jäähdytysveden saantiin liittyvät tekniset ratkaisut,
- vakavien onnettomuuksien hallintastrategian toteuttavien järjestelmien riippumattomuus,
- Menettely ja järjestelmät suojarakennuksen paineen alentamiseksi vakavien onnettomuuksien jälkeisen pitkän aikavälin turvallisen tilan saavuttamiseksi,
- Automaatiojärjestelmien turvallisuusperiaatteiden ja tavoitteiden toteutuminen laitoksen teknisissä ratkaisuissa,
- sähköjärjestelmien erotteluperiaatteet,
- HW-Div-järjestelmän laajuus,
- erilaisuusperiaatteen soveltaminen reaktorisuojausjärjestelmän mittauksissa ja suojausten aktivoinnissa,
- sekä apu- ja tukijärjestelmien jäähdyttäminen ja vesivarantojen riittävyyden osoittaminen.