

7.2.2001

UUDEN YDINVOIMALAITOSHANKKEEN ALUSTAVA TURVALLISUUSARVIO

1 JOHDANTO	2
2 UUELLE LAITOKSELLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET	4
2.1 TURVALLISUUSSUUNNITTELU	6
2.2 JÄRJESTELMÄSUUNNITTELU	7
2.3 PASSIIVISET TURVALLISUUSJÄRJESTELMÄT	8
2.4 VAKAVIIN REAKTORIONNETTOMUUKSIIN VARAUTUMINEN	9
2.5 TODENNÄKÖISYYSPOHJAISEN TURVALLISUUSANALYYSIN KÄYTTÖ	9
2.6 OHJELMOITAVAN AUTOMAATIOTEKNIIKAN KÄYTTÖ.....	10
2.7 MEKAANISTEN LAITTEIDEN HANKINTA TURVALLISUUSLUOKITELTUUN KÄYTTÖÖN	11
2.8 LAITOKSEN SJOITUSPAIKKA	12
2.9 TURVA- JA VALMIUSJÄRJESTELYT SEKÄ YDINVASTUU.....	12
2.10 ERÄITÄ LÄNSI-EUROOPPALAISESTA KÄYTÄNNÖSTÄ POIKKEAVIA VAATIMUKSIA.....	13
3 VAATIMUSTEN TÄYTTYMINEN ERI LAITOSVAIHTOEHDDOISSA.....	14
VVER 91/99.....	15
SWR 1000	15
EP1000 JA AP1000.....	16
EPR.....	16
EABWR.....	16
BWR 90+	16
4 VAATIMUSTEN TÄYTTYMINEN YHTEISTEN KYSYMYSTEN OSALTA.....	18
4.1 PASSIIVISET TURVALLISUUSJÄRJESTELMÄT	18
4.2 OHJELMOITAVAN AUTOMAATIOTEKNIIKAN KÄYTTÖ.....	18
4.3 MEKAANISTEN LAITTEIDEN HANKINTA.....	19
4.4 SJOITUSPAIKKA	20
4.5 HAKIJAN ASiantuntemus.....	21
4.6 YDINPOLTTOAINE- JA YDINJÄTEHUOLTO	22
5 JOHTOPÄÄTÖS.....	24
LIITE: LAITOSVAIHTOEHTOJEN YLEISKUVAUKSET.....	26
INNOVATIIVISET LAITOKSET	26
<i>SWR 1000</i>	26
<i>EP1000 ja AP1000</i>	29
EVOLUUTIOLAITOKSET.....	33
<i>VVER 91/99</i>	33
<i>EPR</i>	35
<i>EABWR</i>	37
<i>BWR 90+</i>	39

1 JOHDANTO

Teollisuuden Voima Oy (TVO) on jättänyt valtioneuvostolle hakemuksen ydinenergia-lain (YEL) 11§ mukaisesta periaatepäätöksestä uuden ydinvoimalaitoksen rakentamiseksi. Hakemuksen kohteena on lämpöteholtaan enintään 4300 MW kevytvesireaktorilla varustettu ydinvoimalaitosyksikkö, jonka nettosähköteho olisi suuruusluokkaa 1000-1600 MW. Sen lisäksi hakemuksen kohteena ovat ydinvoimalaitosyksikön toimintaan liittyvät, samalla laitospaikalla sijaitsevat ydinlaitokset tuoreen ydinpolttoaineen varastointiin, käytetyn ydinpolttoaineen välivarastointiin ja vähä- ja keskiaktiivisten voimalaitosjätteiden käsittelyyn, varastointiin ja loppusijoittamiseen.

Hakemuksen mukaan uusi ydinvoimalaitosyksikkö sijoitettaisiin joko Loviisan tai Olkiluodon voimalaitospaikalle. TVO on tehnyt soveltuvuus selvityksiä yhdessä laitostoitimittajien kanssa useasta kevytvesireaktorista, sekä painevesireaktoreista että kiehutusvesireaktoreista. Hakemuksen mukaan muikin kuin soveltuvuus selvityksen kohteena ollut laitosvaihtoehto saattaa tulla kyseeseen.

Soveltuvuus selvitystä valmistellessaan TVO on käynyt selvitykseen osallistuneiden laitostoitimittajien ja Säteilyturvakeskuksen (STUK) kanssa keskustelua markkinoilla olevien laitostyyppien mahdollisuuksista täyttää Suomessa sovellettavat turvallisuus määräykset. Keskustelut on käyty alustavina YEL 55§ mukaisesti suurimmaksi osaksi jo ennen valtioneuvoston periaatepäätöshakemuksen jättämistä. Laitostoitimittajat ovat esitelleet laitoskonseptiaan yleisesti ja turvallisuus suunnitteluaan erikoisesti, vertailukoh tana Suomessa noudatettava ydinturvallisuus säännöstö (VNP 395/1991 ja YVL-ohjeisto). STUK puolestaan on täsmentänyt eräitä YVL-ohjeistossa yleisessä muodossa esitettyjä vaatimuksia.

Tämä alustava turvallisuus arvio on YEL 12§ mukainen arvio uuden ydinvoimalaitos yksikön mahdollisuuksista täyttää Suomessa voimassa olevat ydinturvallisuutta koskevat vaatimukset, ja on laadittu Kauppa- ja teollisuusministeriön pyynnöstä (lausuntopyyntö 4/330/2000, 27.11.2000). Alustavan turvallisuus arvion luvussa 2 esitellään uudelle laitokselle sovellettavia turvallisuus vaatimuksia erityisesti niiltä osin kuin vaatimustaso on oleellisesti muuttunut nykylaitosten rakentamisen jälkeen. Luvussa 3 käsitellään soveltuvuus selvitysten kohteina olleita laitostyyppejä ja niiden mahdollisuuksia täyttää suomalaiset turvallisuus vaatimukset. Laitostyyppien keskeisimmät turvallisuus piirteet on kuvattu laitostyypeittäin alustavan turvallisuus arvion liitteessä. Luvussa 4 tarkastellaan turvallisuus kysymyksiä, jotka ovat laitostyyppistä riippumattomia.

Alustavaa turvallisuus arviota laatiessaan STUK on perehtynyt seuraaviin, Ydinenergia-asetuksen mukaisiin TVO:n hakemuksen liitteisiin:

- selvitys hakijan käytettävissä olevasta asiantuntemuksesta (liite 3)
- pääpiirteinen kuvaus suunnitellun ydinlaitoksen teknisistä toimintaperiaatteista (liite 7)
- selvitys noudatettavista turvallisuusperiaatteista (liite 8)

- pääpiirteinen selvitys hakijan suunnitelmista ja käytävissä olevista menetelmistä ydinjätehuollon järjestämiseksi (liite 14).

STUK:n kannanotto laitostyyppien tekniseen hyväksyttävyyteen esitetään tässä alustavassa turvallisuusarviossa yleisellä periaatteellisella tasolla. Yksittäisten suunnitteluratkaisujen hyväksyttävyyttä arvioidaan vasta laitoshankkeen rakentamislupakäsittelyn yhteydessä, jos se tulee ajankohtaiseksi.

2 UUDELLE LAITOKSELLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET

Uudelle ydinvoimalaitokselle asetettavat turvallisuusvaatimukset on esitetty Valtioneuvoston päätöksessä (VNP) 395/1991 ja STUK:n julkaisemassa YVL-ohjeistossa. YVL-ohjeet on tarkoitettu nimenomaan uusille ydinvoimalaitoksille; niitä sovelletaan myös käyville laitoksille, ohjeita uusittaessa kulloinkin tehtävän erillisen täytäntöönpanopäätöksen kautta. Turvallisuussuunnittelua koskevien vaatimusten lisäksi YVL-ohjeistossa esitetään menettelytapoja mm. laitoksen laitehankinnoissa noudatettavaksi. YVL-ohjeiston peruseriaatteiden mukaisesti ohjeistossa esitetyle menettelylle voidaan hyväksyä luvanhaltijan esittämä vaihtoehtoinen toimintatapa, jos luvanhaltija osoittaa, että siten saavutetaan ohjeistossa tarkoitettu turvallisuustaso.

Vaatimukset perustuvat nykyisistä laitoksista saatuihin kokemuksiin, turvallisuustutkimuksen tuloksiin sekä yleiseen tavoitteeseen estää ydinenergian käytöstä mahdollisesti syntyvät haitalliset vaikutukset ihmisiin, omaisuuteen tai ympäristöön. YVL-ohjeistoa ja sen tulkintoja on kehitetty VNP 395/1991 27§:ssä ilmaistun periaatteen mukaisesti, pyrkimyksenä ydinturvallisuuden jatkuva parantaminen.

Uutta ydinvoimalaitosta koskevat vaatimukset eroavat nykyisten laitosten suunnittelussa noudatetuista vaatimuksista. Niissä otetaan aiempaa johdonmukaisemmin huomioon mahdollisuudet poistaa turvallisuutta vaarantavia tekijöitä, jotka on tiedostettu 30 vuoden aikana hankitun uuden tiedon pohjalta. Olennaisin lisätieto koskee mahdollisuuksia estää radioaktiivisten aineiden päästö ympäristöön, vaikka itse reaktori vaurioituisi vakavastikin. Tältä osin uutta laitosta koskevat turvallisuusvaatimukset ovat selvästi ankarampia kuin nykyisiä laitoksia rakennettaessa sovelletut vaatimukset. Nykyisiin suomalaisiin ydinvoimalaitoksiin on käyttöiän aikana tehty turvallisuutta parantavia muutoksia, joilla on tavoiteltu uudelta laitokselta edellytettävää turvallisuustasoa.

STUK on määritellyt uuden ydinvoimalaitoksen turvallisuusvaatimukset sillä tavoitteella, että niiden mukaan rakennettuun laitokseen ei sen käyttöiän aikana tarvitsisi tehdä suuria muutoksia. Ydinturvallisuussäännösten kansainvälinen kehittyminen viittaa siihen, että STUK:n asettama vaatimustaso kestää pitkälläkin aikavälillä vertailun muiden maiden kanssa. Vaatimusten jatkuva johdonmukainen tiukentaminen ei ole yleinen kansainvälinen käytäntö. Sen vuoksi monissa maissa noudatetut turvallisuusmääräykset ja myös kansainvälisenä yhteistyönä laaditut suositukset kansallisten määräysten pohjaksi perustuvat edelleen 1970-luvulla vakiintuneisiin teknisiin ratkaisuihin.

Turvallisuusvaatimuksia asetettaessa on pyritty ottamaan huomioon myös uuden laitoksen suunniteltu käyttöikä, pääsääntöisesti 60 vuotta. Pitkä käyttöikä edellyttää varautumista sekä teknisiin uudistuksiin että keskeisen yhteiskunnallisen infrastruktuurin muutoksiin. Muutoksiin pitää varautua, vaikka varautumista koskevia yksilöityjä vaatimuksia ei voidakaan esittää. Kansainvälisen tason muutoksia ovat mm. laitos-, laite- ja polttoainetoimittajien keskinäiset uudelleen järjestelyt. Kotimaassa tullevat muuttumaan mm. alan koulutus- ja tutkimusjärjestelyt, sekä muut yhteiskunnalliset tekijät, joilla voi olla vaikutusta alan osaamisen säilymiseen pitkällä (kymmenien vuosien) tähtäimellä.

Myös yhteiskunnan vakaus sekä vallitsevien arvojen muuttuminen voi muuttaa markkinoilta saatavilla olevia teknisiä ja muita palveluja, joilla on merkitystä ydinenergian käytön kannalta.

Kevytvesireaktoreita on maailmassa tällä hetkellä rakenteilla kolmisenkymmentä kappaletta. Viime vuosina uusien ydinvoimalaitosten rakentaminen on keskittynyt Aasian maihin (Japani, Korea, Kiina). Itä-Euroopassa on myös rakennettu valmiiksi useita välillä pysähdyksissä olleita ydinvoimalaitoshankkeita. Yhdysvalloissa tai Länsi-Euroopassa ei viime vuosina ole rakennettu uusia ydinvoimalaitoksia, lukuun ottamatta Ranskaa. Ranskassa viimeisin uusi laitos otettiin käyttöön 1999, uusia hankkeita ei tällä hetkellä ole siellä vireillä.

Uudentyyppisiä ydinreaktorikonsepteja on viime vuosina alettu tutkia kansainvälisinä yhteishankkeina lisääntyvin panostuksin. Mahdollisen uuden ydinvoimalaitoksen käyttöönsä aikana saattaa tapahtua teknologinen murros, jossa ydinenergialla tapahtuvan sähköntuotannon painopiste siirtyy kevytvesireaktoreista oleellisesti poikkeavaan teknologiaan. Kevytvesireaktoriteknologian riittävän kotimaisen osaamisen ylläpitämisen tarkeys korostuu tällaisessa tilanteessa entisestään.

Tässä luvussa esitellään yleisellä tasolla ydinvoimalaitosten turvallisuussuunnittelua, vakaviin onnettomuuksiin varautumista ja todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin käyttöä koskevia vaatimuksia niiltä osin, kuin vaatimustaso on selvästi muuttunut nykyisten laitosten rakentamisen jälkeen. Suomalainen turvallisuussuunnittelun vaatimustaso on joiltakin osin selvästi tiukempi kuin ns. kansainvälinen taso. Kansainvälistä tasoa ei ole tarkoin määritelty, mutta minimivaatimustaso on esitetty verrattain yleisessä muodossa mm. Kansainvälisen Atomienergiajärjestön (IAEA) ohjeistossa ja suosituksissa. Toisaalta eräät Suomessa voimassa olevat vaatimukset ovat Länsi-Euroopan yleistä käytäntöä lievempiä; nämä esitellään myös.

2.1 Turvallisuussuunnittelu

Ydinvoimalaitoksen suunnitteleminen turvalliseksi on lähtökohdaltaan tekninen suunnittelutehtävä. Kaikki tekninen suunnittelu perustuu yhtäältä siihen, että syyn ja seurauksen välinen (deterministinen) kausaalisuhte ymmärretään käytännön tarkoituksiin riittävän tarkasti, ja toisaalta siihen, että kaikki käytettävissä oleva tieto on rajallista ja epätäydellistä. Tiedon rajallisuus ilmenee mm. siinä, että tekniset laitteet voivat vikaantua tai vaurioitua odottamattomilla tavoilla, ja laitoksen käyttäjät voivat tehdä yllättäviä virheitä. Tämä otetaan ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelussa huomioon syvyyspuolustusperiaatetta noudattamalla.

Syvyyspuolustusperiaatteen mukaisesti ihmiselle, ympäristölle ja omaisuudelle haitallisten radioaktiivisten aineiden vapautuminen estetään moninkertaisin ja toisistaan riippumattomin leviämiseestein. Leviämiseesteet suunnitellaan mahdollisimman riippumattomiksi toisistaan, jotta yhden esteen pettäminen ei vaarantaisi muita esteitä. Tämä antaa turvaa esteiden suunnitteluun ja toteutukseen liittyvän tiedollisen epävarmuuden ja muiden epätäydellisyyksien varalle.

Leviämiseesteet mitoitetaan siten, että niiden eheys säilyy mahdollisimman hyvällä varmuudella, vaikka niihin kohdistuisi kunkin esteen kannalta pahin mielekkäästi kuviteltavissa oleva uhka. Tarvittaessa uhkaa rajoitetaan laitoksen käyttäytymiseen vaikuttavin suunnitteluratkaisuin ja turvallisuusjärjestelmin.

Leviämiseesteiden eheydelle koituvia uhkia rajoitetaan ensi sijassa suunnittelemalla ydinreaktori ja laitoksen muut pääprosessit ja –järjestelmät itsesäätyviksi, häiriötilanteisiin hitaasti reagoiviksi, ja mitoittamalla fysikaalisiin ilmiöihin liittyvät turvallisuusmarginaalit suuriksi. Turvallisuusmarginaalien kokoa rajoittavia tekijöitä ovat teknistaloudelliset näkökohdat ja erilaisten turvallisuustavoitteiden mahdolliset keskinäiset ristiriidat – esimerkiksi reaktorisydämen hätäjähdytys ei saa vaarantaa reaktoripaineastian eheyttä.

Turvallisuusmarginaalien lisäksi leviämiseesteiden eheyttä varmennetaan erilaisin suojaus- ja turvallisuusjärjestelmin, joiden avulla rajoitetaan häiriötilanteiden mahdollisuuksia kehittyä vakavampaan suuntaan ja lievennetään tapahtumien seurauksia. Nämä järjestelmät suunnitellaan siten, että ne suoriutuvat tehtävästään erilaisista oletetuista vioista ja vikayhdistelmistä huolimatta. Näin laitoksen turvallisuudesta huolehditaan myös sellaisten vikojen ja vikayhdistelmien varalta, joita ei ole käytännössä esiintynyt millään ydinvoimalaitoksella. Häiriötilanteiden ja onnettomuuksien hallinnan keskeinen tavoite on säilyttää ensimmäisen leviämisesteen, reaktoripolttoaineen suoja kuoren, eheys riittävän hyvin.

Syvyyspuolustusperiaatteen mukaisesti varaudutaan myös häiriötilanteiden ja onnettomuuksien hallinnan epäonnistumiseen, jonka seurauksena reaktoripolttoaineen suoja kuoren eheys menetetään laajassa mitassa. Tällaista tapahtumaa, vakavaa reaktorionnettomuutta, varten ydinvoimalaitos varustetaan suojarakennuksella, joka mitoitetaan kes-

tämään siihen onnettomuuden seurauksena kohdistuvat kuormat ja pidättämään sisäl-
lään haitalliset radioaktiiviset aineet.

2.2 Järjestelmäsuunnittelu

Turvallisuusjärjestelmien suunnittelussa otetaan huomioon laitteiden vikaantumismahdollisuus. Vikaantumisen varalta Suomessa vaaditaan, että tärkeimpien turvallisuusjärjestelmien on kyettävä suorittamaan tehtävänsä, vaikka mikä tahansa järjestelmän yksittäinen laite olisi toimintakyvytön ja samaan aikaan mikä tahansa toinen järjestelmän laite olisi poissa käytöstä huollon tai korjauksen takia. Tämä ns. N+2 -vikakriteeri vaikuttaa eräiden turvallisuustoimintoja suorittavien järjestelmien rakenteeseen: järjestelmäkokonaisuus koostuu useista lähes identtisistä erillisistä osajärjestelmistä, eli redundansseista. Lisäksi edellytetään, että samanlaisten laitteiden samasta syystä aiheutuvien ns. yhteisvikojen varalta turvallisuustoiminnot varmennetaan eri periaatteilla toimivien järjestelmien ja/tai laitteiden (diversiteetti). Ulkoisten uhkien (kuten tulipalo) varalta toisiin varmentavat järjestelmät ja niiden redundanttiset osat erotetaan fyysisesti toisistaan. Eri järjestelmien välinen tasapainoinen toiminta tulee varmentaa todennäköisyyspohjaisin menetelmin jäljempänä tarkemmin kuvatulla tavalla.

Turvallisuustoimintojen toteuttamiseen osallistuvat järjestelmät luokitellaan turvallisuusmerkityksensä perusteella ohjeen YVL 2.1 mukaisesti turvallisuusluokkiin 1, 2, 3, 4, merkitykseltään alenevassa järjestyksessä. Jos järjestelmällä ei ole ydinturvallisuusmerkitystä, luokitellaan se luokkaan EYT.

Turvallisuustoimintoja mitoitettaessa on mahdollisina alkutapahtumina tai muina mitoitettavina tekijöinä otettava huomioon suurempi joukko tapahtumia kuin nykyisin käytössä olevia laitoksia alun perin suunniteltaessa. Tätä koskevat vaatimukset on esitetty ohjeessa YVL 2.2. Seuraavassa esitetään joitakin esimerkkejä:

- oletettuina onnettomuuksina käsiteltävien alkutapahtumien joukkoon tulee sisältyä käyttöhäiriöitä, joissa säätösauvoilla tapahtuva reaktorin pysäytys oletetaan kokonaan epäonnistuvan (ns. ATWS)
- painevesireaktoreissa mahdollinen vuoto primääripiiristä sekundääripiiriin ei saa johtaa jäähdytteen purkautumiseen ilmakehään
- alkutapahtumien analyyseissä on tunnistettava myös välilliset uhat ja niitä vastaan varauduttava järjestelmien ja laitteiden suunnittelussa. Kuhunkin alkutapahtumaan liittyy aina ilmeinen suora uhka jonkin leviämiseen eheydelle, esimerkiksi primääripiirin putkikatkoa johtuva jäähdytteenmenetys häiritsee aina suoraan polttoaineen suojakuoren jäähdytystä ja uhkaa siten eheyttä. Suoran uhkan lisäksi alkutapahtumiin voi liittyä välillisiä uhkia: esimerkiksi jäähdytteenmenetyksen yhteydessä putkikatkon vahingoittamat materiaalit voivat tukkia polttoainetta jäähdyttävän hätäjäähdytysjärjestelmän suodatinrakenteita ja siten häiritä hätäjäähdytystä. Toisena esimerkkinä painevesireaktoreissa jäähdytteenmenetykseen voi liittyä luontainen prosessi, jossa reaktorin tehonhallinnan vuoksi jäähdytysveden liuotettu boori rikastuu reaktorisydämeen kun taas muualle primääripiiriin muodostuu puhtaan veden taskuja. Puhtaan veden joutuminen reaktorisydämeen myöhemmässä vaiheessa

voisi aiheuttaa reaktorin uudelleenkriittisyyden, mikä ei olisi turvallista onnettomuuden aikana.

Turvallisuustoimintojen suunnittelun sekä reaktorin ja järjestelmämitoituksen hyväksytävyyden osoitetaan deterministisillä turvallisuusanalyysillä. Analyysimenetelmänä voidaan käyttää sekä ns. konservatiivisia (lopputuloksen kannalta epäedullisia oletuksia sisältäviä) että ns. parhaan arvion (best-estimate) tietokoneohjelmia. Menetelmästä riippumatta turvallisuusanalyysissä on aina otettava huomioon analyysiin liittyvät epävarmuudet mm. tekemällä riittävä määrä herkkyydestarkasteluja. Epävarmuuksien kattamiseksi on analyysituloksen ja hyväksymiskriteerin väliin jätävä riittävä turvallisuusmarginaali. Kunkin alkutapahtuman analyysissä käytettävät hyväksymiskriteerit on määritelty ohjeessa YVL 6.2 reaktoripolttoaineen osalta, ohjeessa YVL 2.4 ylipainesuojauksen osalta ja ohjeessa YVL 2.2 muilta osin. Lisäksi leviämisseiden keskinäinen riippumattomuus osaltaan kattaa sekä tiedon rajallisuudesta että analyysimenetelmien epätäydellisyydestä johtuvia epävarmuuksia.

Joissakin maissa sovelletaan hätäjähdytysjärjestelmien mitoitukseen ns. vuoto ennen murtumaa -periaatetta (LBB). Periaatteen ideana on varmistaa lähinnä primääripiirin putkistojen eheys huolellisen ja tarkoin valvotun valmistuksen, käytönaikaisten tarkastusten ja jatkuvan vuodonvalvonnan avulla. Tavoitteena on todeta mahdolliset primääripiirin vuodot jo alkuvaiheessaan, ja siten poistaa suuren murtuman mahdollisuus. Periaatteen nojalla on joissakin maissa katsottu hyväksyttäväksi yksinkertaistaa laitoksen rakennetta mm. poistamalla pääkiertoputkistojen murtumatuet, mikä parantaa putkistojen tarkastettavuutta käytön aikana. Vuoto ennen murtumaa -periaatteen soveltamista suomalaisilla ydinvoimalaitoksilla käsitellään lähiaikana julkaistavassa ohjeessa YVL 3.5. STUK soveltaa periaatetta seuraavasti: mikäli sen edellytykset toteutetaan, saa jättää putkistojen murtumatuet rakentamatta, mutta ei puuttua hätäjähdytysjärjestelmän mitoitukseen.

2.3 Passiiviset turvallisuusjärjestelmät

Passiivisilla turvallisuusjärjestelmillä tarkoitetaan turvallisuustoimintoja toteuttavia järjestelmiä, jotka eivät toimiakseen tarvitse ulkoista käyttövoimaa. Passiivisten turvallisuusjärjestelmien osalta sovelletaan YVL-ohjeistossa määriteltyjä, alkujaan lähinnä aktiivisia järjestelmiä varten kehitettyjä vaatimuksia, jotka koskevat järjestelmien turvallisuustavoitteita ja niiden toiminnan luotettavuuden osoittamista. Passiivisilta järjestelmiltä edellytetään kokeellisesti hyvin perusteltua näyttöä tarkoituksenmukaisesta ja luotettavasti toiminnasta, erityisesti niiltä osin kuin vastaavanlaisista teknisistä ratkaisuista ei ole kattavaa aikaisempaa kokemuseräistä tietoa.

Mikäli passiivisen järjestelmän turvallisuustoimintoa varmentaa (erilaisuusperiaatetta soveltaen) aktiivinen järjestelmä, joka on tarkoitettu ensi sijassa normaalikäytön järjestelmäksi, tulee kyseinen aktiivinen järjestelmä turvallisuusluokitella.

2.4 Vakaviin reaktorionnettomuuksiin varautuminen

Uuden ydinvoimalaitoksen suunnittelussa varaudutaan myös reaktorisydämen laajaan vaurioitumiseen, eli ns. vakavaan reaktorionnettomuuteen. Vaatimus koskee ensi sijassa suojarakennuksen suunnittelua, koska vakava onnettomuus sinänsä merkitsee sisempien leviämisesteiden (polttoaineen suojakuori, primääripiiri) eheyden menetystä.

Menestyksellinen vakavan reaktorionnettomuuden hallinta edellyttää strategiaa, joka ottaa johdonmukaisesti huomioon laitoksen ominaispiirteet ja suojarakennusta uhkaavat ilmiöt. Strategian tulee tarjota perustellut menetelmät estää tai hallita onnettomuuden kehittymiseen liittyvät ergeettiset ilmiöt (mm. vetypalo, korkeapaineinen sydänsulapurkaus, ergeettinen sydänsula-jäähdyte-vuorovaikutus). Lisäksi sen tulee taata sydänsulan jäähdytettävyyden ja suojarakennuksen jälkilämmönpoisto siten, että suojarakennus säilyy tiiviinä onnettomuuden aikana ja pitkään sen jälkeen.

Vakavan reaktorionnettomuuden varalta suunniteltavien järjestelmien tulee suorittaa tehtävänsä, vaikka mikä tahansa järjestelmän yksittäinen laite olisi toimintakyvytön (ns. N+1 vikakriteeri). Vakavan reaktorionnettomuuden hallitsemiseksi suunniteltavien järjestelmien tulee olla riippumattomia muista turvallisuusjärjestelmistä.

Vakava reaktorionnettomuus tulee hallita kaikissa ydinvoimalaitoksen käyttötiloissa, siis tehoajon lisäksi myös seisokkitilanteissa.

2.5 Todennäköisyypohjaisen turvallisuusanalyysin käyttö

Ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelun työkaluna tulee käyttää myös todennäköisyypohjaista turvallisuusanalyysiä ohjeen YVL 2.8 mukaisesti. Sen päätarkoitus on tunnistaa suunniteltujen järjestelmien luotettavuutta heikentävät seikat ja siten varmistaa järjestelmäsuunnittelun luotettavuustekninen tasapaino. Todennäköisyypohjaisen turvallisuusanalyysin menetelmiä käytetään myös alkutapahtumien luokitteluun niiden arvioitujen taajuuksien perusteella.

Aktiiviset turvallisuusjärjestelmät ovat yleensä verrattain monimutkaisia, ja usein järjestelmätoiminnon onnistuminen riippuu monista apu- tai tukijärjestelmistä. Tällaisen kokonaisuuden eri osien luotettavuuden tulee olla oikeassa suhteessa kunkin osan merkitykseen koko kyseisen turvallisuustoiminnon onnistumisen varmistamisessa. Passiiviset turvallisuusjärjestelmät eivät pääsääntöisesti tarvitse apu- tai tukijärjestelmiä suorittaakseen toimintonsa.

Todennäköisyypohjaisen turvallisuusanalyysin pohjana ovat laitoksen käyttäytymistä koskevat fysikaaliset analyysit ja tarkastelut, joiden avulla tarkastellaan järjestelmien

kykyä huolehtia turvallisuustoiminnoista erilaisissa häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Fysikaalisten analyysien perusteella rakennetaan turvatoimintojen toteutumista ja järjestelmien luotettavuutta koskevat loogiset mallit. Näillä loogisilla malleilla voidaan laskea (ei-toivotun) lopputapahtuman, esimerkiksi sydänvaurion, taajuus. Laskennassa tarvitaan mm. eri alkutapahtumien arvioituja taajuuksia sekä komponenttien ja operaattoritoimintojen luotettavuustietoja. Luotettavuustiedot taas hankitaan pääosin käyvien laitosten käyttökokemuksista. Laskelmasta saadaan myös käsitys lopputapahtumaan johtavien tapahtumaketjujen ja vikayhdistelmien todennäköisyyksistä. Erityisesti karotetaan myös pahimmat vikayhdistelmät, jotka eivät vielä estä turvallisuustoiminnon toteutumista. Tuloksista voidaan edelleen laskea joukko erilaisia riskimittoja. Ohje YVL 2.8 antaa riskimittoihin liittyviä tavoitearvoja.

Todennäköisyyspohjaisten tarkastelujen perustaksi tarvittavien fysikaalisten analyysien tarkkuusvaatimukset vaihtelevat verrattain karkeasta hyvinkin yksityiskohtaiseen. Fysikaalisten analyysien lisäksi on tunnistettava mahdollisimman tarkoin kaikki alkutapahtumat ja tapahtumaketjut, jotta analyysi olisi kattava. Lopputuloksiin sisältyvät epävarmuudet ovat kvantitatiivisesti arvioitavissa ainoastaan analyyseissä käytettyjen luotettavuustietojen (tunnettujen) epävarmuuksien osalta. Muita epävarmuuden lähteitä ovat mallien rakenne, eräät vaikeasti arvioitavat tekijät, kuten yhteisvikojen taajuudet tai operaattoritoimintojen luotettavuus, ja tarkastelun alussa tehdyt valinnat analyysin laajuuden suhteen, esimerkiksi missä määrin käsitellään laitoksen sisäisten alkutapahtumien lisäksi ns. ulkoisia tapahtumia (tulvat, tulipalot, sääilmiöt, seismiset ilmiöt). Näistä syistä keskenään samanlaisten laitosten laskennallisissa riskeissä esiintyy silloin tällöin suuria eroja. Suomalaisten vaatimusten mukaan analyysien tulee kattaa kaikki edellä mainitut ilmiöt.

2.6 Ohjelmoitavan automaatiotekniikan käyttö

Ydinvoimalaitokset varustetaan säätö- ja suojausjärjestelmillä. Turvallisuuskriittiseen tarkoitukseen käytettävä automaatiotekniikka on murrosvaiheessa, jossa aikaisempi analoginen (langoitettu) tekniikka on korvautumassa kokonaan erityyppisellä, digitaalisella ohjelmoitavalla tekniikalla. Ohjelmoitavaan tekniikkaan liittyvä turvallisuuden varmistamisen vaatimustaso on harmonisoitumassa Euroopassa. Tämä on heijastunut myös siinä, että markkinoilla on jo useampia toimittajia, joilla on valmius toimittaa turvallisuuskriittisiä ohjelmoitavalla tekniikalla toteutettuja järjestelmiä. Nykyisessä kilpailutilanteessa tilaajan asiantuntemus ja kyky asettaa toimituksille asianmukaiset vaatimukset ovat keskeisiä hyvän lopputuloksen edellytyksiä.

Ohjelmoitavasta automaatiosta on jo laaja ja pitkäaikainen kokemus prosessiteollisuudesta ja muista sovellutuksista. Myönteisistä kokemuksista huolimatta ohjelmoitavien järjestelmien käyttö turvallisuudelle tärkeissä sovellutuksissa on haasteellista, koska niiden sisältämien ohjelmistojen virheettömyyttä ei voida edes teoriassa kattavasti osoittaa testauksilla tai muilla kvantitatiivisilla menetelmillä. Ohjelmistojen luotettavuuteen voidaan kuitenkin vaikuttaa ohjelmien tuotantoprosessin kautta mm. huolelli-

sella suunnittelulla, toteuttamisella ja dokumentoinnilla. Niinpä ohjelmistoja arvioidaan kahdesta näkökulmasta: ohjelmien tuotantoprosessi ja siihen osallistuvan henkilöstön pätevyys sekä itse ohjelmisto, jota arvioidaan testien, analyysien ja käyttökokemusten avulla.

Ydinturvallisuussovelluksissa yleisperiaatteena on, että ydinvoimalaitoksen automaatiojärjestelmät on kokonaisuutena suunniteltava siten, että niiden luotettavuusvaatimusten täyttyminen on osoitettavissa. Ydinvoimalaitoksen prosessitekkinen ja automaatio-suunnittelu kytkeytyvät tiiviisti toisiinsa.

Ydinvoimalaitokselta edellytettävän korkean turvallisuustason saavuttamiseksi edullisinta on, jos laitoksen kaikki fysikaaliset prosessit ovat luonteeltaan rauhallisia ja itesesäytyviä. Hyvin suunnitellussa laitoksessa laitoksen normaalin käytön apuna toimiva käyttöautomaatio erotetaan kokonaan rajoitus- ja suojaustoiminnoista, mikä yksinkertaistaa sekä käyttöautomaation että rajoitus- ja suojausjärjestelmien suunnittelua. Kun käyttöautomaatiolla ei ole turvallisuustehtäviä, se voidaan suunnitella ja kelpoistaa kevyemmällä menettelyllä toimimaan mahdollisimman monipuolisena käytön tukena. Suojausjärjestelmä taas voidaan suunnitella mahdollisimman yksinkertaiseksi, jolloin siltä edellytettävä korkea luotettavuus on varmemmin osoitettavissa. Tästä syystä suojausjärjestelmän rakenteen edellytetään sisältävän myös riittävästi erilaisuutta (diversiteettiä). Suojausjärjestelmään kohdistuvien toimintavaateiden vähentämiseksi laitoksen häiriötilanteissa käyttöautomaation ja varsinaisen suojausjärjestelmän väliin tulee suunnitella erillinen rajoitustoiminto, joka on käyttöautomaatiota luotettavampi.

STUK:n alustavan käsityksen mukaan kokonaan automaatiotekniikasta riippumattomat (luontaisesti toimivat, passiiviset), suojausjärjestelmälle rinnakkaiset suojaustoimintojen laukaisujärjestelmät voidaan periaatteessa ottaa huomioon suojausautomaatiojärjestelmältä edellytettävää luotettavuustasoa määritettäessä. Käytännössä passiivisten laukaisulaitteiden käyttämisestä saatava hyöty riippuu niiden omasta luotettavuudesta, ja sitä STUK tutkii ja arvioi erikseen tarkemmin, mikäli sellaisten laitteiden käyttö Suomessa tulee ajankohtaiseksi.

STUK soveltaa turvallisuudelle tärkeän ohjelmoitavan automaation arvioinnissaan eurooppalaista vaatimustasoa.

2.7 Mekaanisten laitteiden hankinta turvallisuusluokiteltuun käyttöön

Ydinvoimalaitosten järjestelmät ja laitteet luokitellaan niiden turvallisuusmerkityksen perusteella ohjeen YVL 2.1 mukaisesti turvallisuusluokkiin 1, 2, 3, 4 ja EYT, kuten edellä jo on todettu. Turvallisuusluokkaan 1 kuuluvat mm. keskeiset primääripiirin rakenteet, turvallisuusluokkiin 2 ja 3 mm. prosessi-, sähkö- ja automaatiotekniset turvallisuusjärjestelmät ja niiden komponentit. Turvallisuusluokituksen pohjalta määräytyy mm. laitteiden ja komponenttien valvonnan laajuus, siten kuin YVL-ohjeistossa on tarkemmin yksilöity.

YVL-ohjeistossa tarkoin kuvatun käytännön mukaan STUK valvoo mekaanisten komponenttien valmistusta verrattain yksityiskohtaisesti. Valvontaan kuuluu mm. valmistajien laadunhallintajärjestelmien arviointi, komponenttien rakennesuunnitelmien tarkastus ennen valmistusta ja valmiiden komponenttien tarkastaminen. Tarkastuksen yhteydessä käydään läpi eri valmistusvaiheissa syntyneet laadunvalvonnan tulosaineistot. Valvonnan yksityiskohtaisuus syvenee komponentin turvallisuusmerkityksen lisääntyessä vaativimmissa turvaluokissa, ja pääkomponenttien valmistusta käydään valvomassa useissa vaiheissa. Kaikki nämä toimenpiteet keskittyvät varmistamaan komponentin mekaanista laatua; komponenttitason prosessitekniisiä vaatimuksia ei ole YVL-ohjeistossa yksilöity, koska ne voidaan tarkoituksenmukaisesti määrittää vain kussakin sovelluksessa erikseen.

YVL-ohjeiston peruseriaatteiden mukaisesti ohjeistossa esitetylle menettelylle voidaan hyväksyä luvanhaltijan esittämä vaihtoehtoinen toimintatapa, jos luvanhaltija osoittaa, että siten saavutetaan ohjeistossa tarkoitettu turvallisuustaso.

2.8 Laitoksen sijoituspaikka

Ydinvoimalaitoksen sijaintipaikan valinnassa tavoitteena on laitoksen suojaaminen siihen kohdistuvilta ulkoisilta uhkatekijöiltä sekä laitoksen ympäristölleen aiheuttamien haittojen ja uhkien pitäminen mahdollisimman pienenä. Ydinvoimalaitoksen radioaktiivisten päästöjen rajoittamista koskevat määräykset annetaan valtioneuvoston päätöksessä ydinvoimalaitosten turvallisuutta koskevista yleisistä määräyksistä (VNP 395/1991, 3 luku). Ohjeessa YVL 1.10 määritellään ydinvoimalaitoksen laitosaluetta ja sen lähiympäristöä koskevat vaatimukset. Huomioon otettavia seikkoja ovat vaikutukset maankäyttöön, sosiaaliset ja taloudelliset vaikutukset, liikennejärjestelyt, sähkön siirtäminen kantaverkkoon ja huoltovarmuusnäkökohdat.

2.9 Turva- ja valmiusjärjestelyt sekä ydinvastuu

Laitoksen sijoituspaikka vaikuttaa myös mahdollisuuksiin toteuttaa laitoksen fyysisen koskemattomuuteen liittyvät turvajärjestelyt tarkoituksenmukaisella tavalla. Vaikka ensisijainen vastuu laitoksen turvajärjestelyistä onkin luvanhaltijalla, lainsäädäntö asettaa tältä osin myös yhteiskunnalle velvoitteita.

Valmiustoiminnan kannalta on edullisinta, että laitos sijaitsee harvaan asutulla alueella ja etäällä merkittävistä asutuskeskuksista. Tällöin onnettomuuteen varautumista koskevat toimenpiteet kohdistuvat pieneen väestöryhmään. Ohjeen YVL 1.10 vaatimuksista ovat olennaisia vaatimukset, jotka koskevat itse laitosaluetta, noin viiden kilometrin etäisyydelle ulottuvaa suojavyöhykettä ja sisäministeriön määräyksen mukaista noin 20

km etäisyydelle ulottuvaa varautumisaluetta. Onnettomuustilanteiden varalle on laitoksen ympäristössä, laitosalueen ulkopuolella, oltava säteilymittausjärjestelmä.

Ydinvastuusta säädetään ydinvastuulaissa. Ydinvastuulaissa on otettu huomioon Suomea koskevat kansainväliset sopimukset, jotka pääasiassa asettavat minimirajat korvausvastuille ydinvahingoissa. Kansallisesti voidaan säätää korkeammista vastuista, kuten myös eräissä maissa on tehty. STUK haluaa tässä yhteydessä todeta, että nykyiset Suomessa voimassa olevat korvausvastuut eivät riitä kattamaan kaikkien ajateltavissa olevien vakavien reaktorionnettomuuksien kustannuksia. Neuvottelut mainittujen kansainvälisten sopimusten kehittämiseksi ovat käynnissä. Näköpiirissä on, että lähivuosina korvausvastuiden minimimääriin saadaan huomattava korotus. Asian tekee ongelmalliseksi se, että korvausvastuille ei voida perustellusti määritellä mitään markkamääräistä ylärajaa.

STUKin tiedossa ei ole esteitä sille, että hakija pystyisi täyttämään nykyisen ydinvastuulain asettamat velvoitteet ydinvastuun osalta.

2.10 Eräitä länsi-eurooppalaisesta käytännöstä poikkeavia vaatimuksia

Suomessa voimassa olevat turvallisuusvaatimukset ovat maanjäristysten ja lentokone-
törmäysten osalta lievempiä kuin Länsi-Euroopassa on tavanomaista. Polttoaineen palaman osalta taas Suomessa poistopalama on rajoitettu pienemmäksi kuin länsimaissa yleensä.

Lentokonetörmäyksenä oletetaan Suomessa yksimoottorinen pienlentokone, kun esimerkiksi Saksassa oletetaan suihkuhävittäjä ja määrätyillä, lentokentän lähetyvillä sijaitsevilla laitoksilla muissa maissa suuri matkustajakone. Tämä vaikuttaa merkittävästi ulomman suojarakennuksen rakenteeseen. Vaatimusten ero johtuu lentoliikenteen tiheys- ja luonne-eroista Euroopan eri puolilla sekä uuden laitoksen suunnitellusta sijainnista lentokenttiin ja -reitteihin nähden.

Maanjäristysten osalta rakentamislupakäsittelyn yhteydessä varmistetaan, että laitoksen rakenteet ja turvallisuusjärjestelmät kestävät Suomessa mahdolliseksi arvioidut maanjäristykset. Laitostoimittajat ovat yleensä tehneet perussuunnittelunsa Suomea seismisesti aktiivisempia markkina-alueita varten, joten tältä osin hyväksyttävyyso ongelmia ei odoteta syntyvän.

Ydinpolttoaineen poistopalama on Suomessa rajoitettu sellaiseen arvoon, että polttoaineen käyttäytyminen sallitulla palama-alueella on hyvin ennakoitavissa normaalikäytön lisäksi myös mahdollisissa häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Ennakointi perustuu kokeelliseen tietoon ja laskelmiin; kokeellista tietoa korkeapalamaisen polttoaineen onnettomuuskäyttäytymisestä on toistaiseksi vähän, ja tämän tietopohjan laajentaminen on välttämätön edellytys polttoaineen palaman merkittäväälle kasvattamiselle. .

3 VAATIMUSTEN TÄYTTYMINEN ERI LAITOSVAIHTOEHDDOISSA

Periaatepäätöshakemuksen liitteessä 8 TVO esittää tiivistetyn näkemyksensä siitä, miten VNP 395/1991 vaatimukset täytetään uudessa ydinvoimalaitoshankkeessa. Lisäksi TVO on toimittanut STUK:lle yksityiskohtaisemmat kuvaukset kustakin laitosvaihtoehdosta. Tässä luvussa kuvataan periaatetasolla ydinturvallisuussuunnittelun kannalta keskeiset laitosvaihtokohtaiset havainnot. Useita tai kaikkia laitostyyppisiä yhteisesti koskevat havainnot esitetään luvussa 4.

Turvallisuussuunnittelun kannalta soveltuvuusselvityksen kohteena olleet laitostyypit voidaan jakaa kahteen ryhmään: passiivisia turvallisuusjärjestelmiä sisältävät "innovatiiviset" laitokset ja aktiivisiin järjestelmiin nojaavat evoluutiolaitokset. Passiivisia turvallisuusjärjestelmiä sisältävät SWR 1000 ja EP1000 sekä AP1000 (AP600); aktiivisiin järjestelmiin nojaavat VVER 91/99, EPR, EABWR ja BWR 90+. Liitteessä esitetään laitoksista ja niiden turvallisuusominaisuuksista lyhyet yleiskuvaukset, joiden turvallisuustekniset johtopäätökset esitetään jäljempänä; alla on taulukoitu laitosvaihtoehtojen päätiedot.

Laitos	Toimittaja	Tyyppi, teho ¹⁾	Luonne
VVER 91/99	Atomstroyexport	PWR, 1000 MWe	Evoluutio
SWR 1000	Siemens ²⁾	BWR, 1000 MWe	Innovatiivinen
EP1000 / AP1000	Westinghouse ³⁾	PWR:iä, 1000 MWe / 1000 MWe	Innovatiivisia
EPR	Nuclear Power International ²⁾	PWR, 1500 MWe	Evoluutio
EABWR	General Electric	BWR, 1400 MWe	Evoluutio
BWR 90+	Westinghouse Atom ³⁾	BWR, 1500 MWe	Evoluutio

Huomautuksia taulukkoon:

1) PWR = painevesireaktori, BWR = kiehutusvesireaktori. Tehot ovat sähkötehon likiarvoja, lopulliseen sähkötehoon vaikuttaa mm. laitospaikan meriveden lämpötila.

2) Hakemuksen jättämisen jälkeen Siemens ja Framatome ovat yhdistäneet ydinvoimaliiketoimintonsa uuteen yhteisyritykseen, Framatome ANP, jossa Framatomella on enemmistöomistus. Edellinen yhteisyritys Nuclear Power International on sulautettu tähän uuteen yritykseen.

3) Westinghousen ydinvoimaliiketoiminta on nykyään British Nuclear Fuels Ltd:n (BNFL) omaisuutta. BNFL on ostanut myös ABB-konsernin ydinvoimaliiketoiminnat (ABB Atom ja ABB Combustion Engineering), ja BWR 90+:n suunnitellut ABB Atom on siirtynyt osaksi Westinghousea.

Hakemuksessaan TVO toteaa, että lopullinen valinta voi kohdistua muuhunkin kevytvesireaktortyyppiin kuin hakemuksessa esiteltyt laitostyypit. STUK seuraa jatkuvasti ydinvoimatekniikan kehitystä ja siis myös markkinoilla olevia laitosvaihtoehtoja, mutta ei tässä yhteydessä arvioi niitä. Niiden periaatteellisia edellytyksiä täyttää suomalaiset vaatimukset on tarkasteltava erikseen, mikäli tällainen valinta tulee ajankohtaiseksi.

Kaikkien esiteltyjen kevytvesireaktorien sydänsuunnittelu on tehty siten, että reaktorin tehoon vaikuttavat luontaiset takaisinkytkennät hillitsevät tehon muutoksia. Polttoaine- ja sydänsuunnittelu vaikuttaa takaisinkytkentöjen lisäksi myös reaktorin stabiiliuteen ja

mahdollisen reaktiivisuusonnettomuuden suuruuteen. Polttoaineen elinkaari reaktorissa on muutamia vuosia, joten polttoaine- ja sydänsuunnittelu jatkuu koko laitoksen käyttöä, ja sen aikana näistä turvallisuusnäkökohdista on huolehdittava.

Kaikissa tarkastelluissa kiehutusvesireaktoreissa on paineenalennussuojarakennus, joka avataan polttoaineenvaihtoseisokkien ajaksi. Riittävän suojarakennustoiminnon toteuttaminen seisokkien yhteydessä vaatii niiden osalta vielä lisäsuunnittelua. Kaikissa keskustelujen kohteena olleissa painevesireaktoreissa on ns. iso kuiva suojarakennus, jossa suojarakennustoiminto on verrattain helposti varmistettavissa myös latausseisokkien aikana.

Kaikkien laitostyyppien suunnittelussa on käytetty apuna todennäköisyyspohjaisia menetelmiä. Menetelmien käyttölaajuudessa ja sovelluseriaatteissa on joitakin eroja toimittajien välillä, mutta kaikissa tapauksissa todennäköisyyspohjaiset tarkastelut ovat tukeneet turvallisuussuunnittelua. Laitostoimittajien alustavissa riskiarvioissa on säännönmukaisesti päädytty nykyisiä laitoksia oleellisesti pienempään vakavan reaktorionnettomuuden todennäköisyyteen.

Liitteessä tarkemmin esitetyissä laitostyyppien läpikäynneissä tärkeimmät johtopäätökset ovat seuraavat.

VVER 91/99

Periaatteellisia turvallisuusteknisiä esteitä tämän laitostyyppin hyväksymiseksi ei ole ilmennyt. Käytännössä useat suunnitteluyksityiskohdat (mm. eräät primääripiirin jälkilämmönpoistoon liittyvät tekniset kysymykset, hätäjähdytysjärjestelmien jälleenkierätyksjärjestelyt ja vakavien onnettomuuksien hallinta) vaativat tarkempaa tarkastelua ja lisäsuunnittelua. Valmistuksen valvonta nykyaikaisten laadunvarmistuseriaatteiden mukaisesti vaatii tilaajalta erityistä panostusta. Laitostoimittaja on ilmaissut valmiutensa hankkia kokonaisia järjestelmiä tai komponentteja tilaajan itsensä valitsemilta alihankkijoilta.

SWR 1000

Periaatteellisia turvallisuusteknisiä esteitä tämän reaktorikonseptin hyväksymiselle Suomessa ei ole ilmennyt. Useat suunnitteluyksityiskohdat vaativat kuitenkin tarkempaa tarkastelua tai lisäsuunnittelua, erityisesti passiivisten järjestelmien toimintakyvyn ja mahdollisesti hätäjähdytyksen jälleenkierätyksen osalta. Myös riittävän suojarakennustoiminnon takaaminen seisokkien aikana vaatii lisätyötä, kuten kaikissa kiehutusvesireaktoreissa. Vakavan onnettomuuden hallintaan kuuluva reaktoripaineastian ulkopuolinen jäähdytys vaatii varmentavaa tutkimusta.

EP1000 ja AP1000

Periaatteellisia turvallisuusteknisiä esteitä tämän laitostyyppin hyväksymiselle Suomessa ei ole ilmennyt. EP1000-laitoksen sydänsuunnittelu vaikuttaa passiiviselta laitokselta odotettavien turvallisuusominaisuuksien kannalta onnistuneemmalta kuin AP1000-laitoksen. Useat suunnitteluyksityiskohdat vaativat kuitenkin tarkempaa tarkastelua tai lisäsuunnittelua, erityisesti mitä tulee passiivisten järjestelmien toimintakykyyn ja vikasietoisuuteen sekä mahdollisesti sisemmän suojarakennuksen suojaukseen lentävien esineiden varalta. Vakavan onnettomuuden hallinta sydänsulaa paineastiassa jäähdyttämällä voi olla vaikea osoittaa luotettavasti AP1000 konseptissa, jos siinä pitäydytään alkuperäisen suunnitelman mukaisessa pienitehoisemman AP600 konseptin paineastian halkaisijassa. Tältä osin varmentava tutkimus on myös EP1000:n osalta tarpeen.

EPR

Ylipääsemättömiä periaatteellisia turvallisuusteknisiä esteitä tämän laitostyyppin hyväksymiselle Suomessa ei ole ilmennyt. Useat suunnitteluyksityiskohdat vaativat kuitenkin lisätyötä, erityisesti reaktorisydämen suunnittelun, reaktorin hätäboorauksen, suojarakennuksen vuoraamisen, reaktorin hätäjähdytysjärjestelmien suorituskyvyn ja hätäjähdytyksen jälleekierrätysjärjestelyjen, sekä vakavan onnettomuuden hallinnan osalta. Vakavan onnettomuuden hallintaan liittyvä sydänsulan jäähdyttäminen on tässä laitostyyppissä suunniteltu monimutkaiseksi ja siksi sen onnistumista on vaikea osoittaa luotettavasti.

EABWR

Ylipääsemättömiä periaatteellisia turvallisuusteknisiä esteitä tämän laitostyyppin hyväksymiselle Suomessa ei ole ilmennyt. Useat suunnitteluyksityiskohdat vaativat kuitenkin lisätyötä (mm. eräät järjestelmäsuunnittelun piirteet, kuten reaktorin boorausjärjestelmän kapasiteetti ja vikasietoisuus, sekä hätäjähdytyksen jälleekierrätys). Vakavan reaktorionnettomuuden hallinta kokonaisuutena hyväksyttävällä tavalla ja riittävän suojarakennustoiminnon takaaminen seisokkien aikana vaativat merkittävästi lisätyötä.

BWR 90+

Periaatteellisia turvallisuusteknisiä esteitä tämän laitostyyppin hyväksymiselle Suomessa ei ole ilmennyt. Eräät suunnitteluyksityiskohdat, kuten reaktorin hätäjähdytyksen jälleekierrätys, vaativat kuitenkin lisäsuunnittelua. Riittävän suojarakennustoiminnon takaaminen seisokkien aikana vaatii lisätyötä. Vakavan reaktorionnettomuuden aikana reaktorista mahdollisesti purkautuvan sydänsulan pitkäaikaiseen jäähdyttämiseen tar-

koitettu sydänsiepparikonsepti vaikuttaa sinänsä lupaavalta, mutta sen toiminnan osoittaminen vaatii vielä varmentavaa tutkimuspanosta.

4 VAATIMUSTEN TÄYTTYMINEN YHTEISTEN KYSYMYSTEN OSALTA

4.1 Passiiviset turvallisuusjärjestelmät

Innovatiivisille laitystyyeille on yhteistä, että niissä turvallisuustoiminnot toteutetaan ensi sijassa normaalikäyttöä varten tarkoitetuilla aktiivisilla järjestelmillä. Näitä ei kaikissa tapauksissa ole luokiteltu turvallisuusjärjestelmiksi. Tällaisissa tapauksissa näiden järjestelmien suunnittelussa on kuitenkin osin huomioitu turvallisuustehtävän mukaisia vaatimuksia. Periaatteellisia teknisiä esteitä soveltaa ohjeen YVL 2.1 mukaista turvallisuusluokitusta ei ole ilmennyt, mutta soveltuvuus selvitysvaiheessa tätä ei ole voitu tehdä ohjeen uusinta-aikataulun vuoksi.

Passiiviset turvallisuusjärjestelmät on suunniteltu huolehtimaan turvallisuustoiminnoista, jos normaalisti käytettävä aktiivinen järjestelmä ei toimi. Vaikka turvallisuustavoitteet ovat samat, passiivisten järjestelmien suorituskyky on yleensä luonnostaan vähäisempi kuin aktiivisten. Suoritusvaatimukset on yleensä voitu pitää luotettavasti tavoitettavina käyttämällä suurempia pääprosessien fysikaalisia turvallisuusmarginaaleja laitoksen suunnittelussa ja mitoituksessa. Kokemusten mukaan pääprosessien mitoituksessa suuret turvallisuusmarginaalit ovat muutenkin turvallisuuden kannalta edullisia. Järjestelmien suorituskyvyn osalta olisi suuri ylirnoitus haitallista niissä tilanteissa, joissa turvallisuustavoitteita on yhtäaikaan useita ja ne rajoittavat mitoituksia eri suunnilta.

Innovatiivisten teknisten ratkaisujen todellisen hyvyyden osoittaminen vaatii vielä tutkimustyötä, jota perinteisten aktiivisten järjestelmien osalta on tehty jo pitkään. Toisaalta kokemusperäistä tietoa ydinvoimalaitosten aktiivisten järjestelmien toiminnasta todellisessa onnettomuustilanteessa on niin vähän, että kovin oleellista eroa eri tyyppisten järjestelmien toimintavarmuuksien välille ei tätä kautta synny; kummankin tyyppisten järjestelmien toiminnan onnistuminen on perusteltu todellista laitosta pienimittakaavaisemmalla kokeellisella tutkimuksella ja mittaustulosten siirtämisellä laitosmittakaavaan laskennallisia menetelmiä käyttämällä.

4.2 Ohjelmoitavan automaatiotekniikan käyttö

STUK:n käsityksen mukaan markkinoilla on saatavilla ohjelmoitavaa automaatiotekniikkaa, joka täyttää sovellettavan eurooppalaisen vaatimustason turvallisuuden kannalta tärkeälle automaatioteknologialle. Eri laitystoimittajien tarjoamia automaatiokonsepteja ei kuitenkaan ole tässä yhteydessä arvioitu sellaisessa laajuudessa, että STUK voisi ottaa kantaa yksittäisten vaihtoehtojen hyväksyttävyyteen. Sama pätee myös eri laitysvaihtoehtojen varavalmoihin.

4.3 Mekaanisten laitteiden hankinta

TVO on ehdottanut muutoksia nykyiseen käytäntöön turvallisuusluokkien 2 ja 3 järjestelmiin (turvallisuusjärjestelmät ja niiden apujärjestelmät) kuuluvien mekaanisten laitteiden käsittelyn osalta. TVO näkee uudenlaisen lähestymistavan tarpeelliseksi sekä mahdollista uutta laitoshanketta että nykyisten laitosten laitehankintoja varten. Perustana ehdotukselle on käsitys, että valmistava teollisuus on kehittänyt korkeatasoiset laatu-järjestelmät, joiden ansiosta sarjavalmisteteisten tuotteiden laatu olisi kauttaaltaan hyvää. TVO:n mukaan ydinteollisuuden erityisvaatimusten huomioonottaminen voisi johtaa tuotantoprosessissa laatua heikentäviin muutoksiin.

TVO pitää nykyistä, YVL-ohjeistossa verrattain yksityiskohtaisesti kuvattua, mekaanisten komponenttien valmistuksen valvontamenettelyä raskaana ja esittää toimintatapaa, jossa komponenttivalmistajien "moderni teollisuuden laadunvalvonta" yhdessä laitekohtaisen soveltuvuus selvityksen ("Component Suitability Report") kanssa korvaisi em. nykykäytännön.

TVO:n esityksen mukaan toimittaessa tulisi mahdolliseksi käyttää turvallisuusjärjestelmissä oleellisesti samoja mekaanisia komponentteja kuin muissakin vaativissa teollisuussovelluksissa, koska nykykäytännön mukaisia, "teollisuusstandardeista" osin poikkeavia komponenttikohtaisia dokumentteja ja tarkastuksia ei kaikilta osin enää tarvittaisi. Tällöin komponenteista olisi ainakin periaatteessa runsaasti käyttökokeumustietoa muista sovelluksista, mitä voidaan pitää myönteisenä, jos tämä käyttökokeumustieto on ydinvoimalaitoskäytön kannalta relevanttia. Laitekohtainen soveltuvuus selvitys puolestaan antaisi mahdollisuuden dokumentoida jo suunnitteluvaiheessa myös prosessipuolen vaatimukset tarkemmin kuin aiemmin on ollut käytäntö; tätä voidaan pitää turvallisuuden kannalta edullisena aloitteena.

Esityksen huonoja puolia on, että laitekohtainen rakennetekninen tieto voi osin jäädä vain valmistajan haltuun, missä sen säilyminen vuosikymmenten ajan ei ole taattua, ja että käyttökokeumusten todellisen merkityksen ja/tai riittävyden arvioiminen voi olla vaikeaa. Kokemusten mukaan ydinvoimalaitoksen turvallisuusjärjestelmien vaatimuksia täysin vastaavia käyttökokeumuksia ei konventionaalilla teollisuudella ole, vaikka kokemuksia muuten olisi paljonkin.

Mikäli käyttökokeuksiin aiotaan vedota mekaanisten laitteiden hyväksymiskäsittelyssä, on voitava osoittaa että käyttökokeukset ovat joka suhteessa kattavia ja relevantteja. Riittävän käyttökokeuksen puuttuessa on hyväksyttävyyden osoittamiseksi suunniteltava ja suoritettava laitteen tyyppikoestus.

YVL-ohjeisto sallii uusien menettelytapojen kehittämisen ja käyttämisen, kunhan luvan haltija osoittaa saavuttavansa vaihtoehtoisella menettelyllä vähintään ohjeistossa tarkoitetun turvallisuustason.

4.4 Sijoituspaikka

Periaatepäätöshakemuksen mukaan uusi ydinvoimalaitosyksikkö olisi tarkoitus sijoittaa olemassa olevalle ydinvoimalaitospaikalle Loviisan Hästholmenille tai Eurajoen Olkiluotoon. TVO ja Fortum Power and Heat Oy (FPH) ovat sopineet, että FPH:n omistama uudelle reaktorille suunniteltu sijaintipaikka Hästholmenilla olisi tarvittaessa TVO:n käytettävissä vastaavasti kuten TVO:n omistama Olkiluodon suunniteltu sijaintipaikka. Molemmille laitospaikoille on jo aikaisemmin laadittu ja käsitelty ympäristövaikutusten arviointiselostus (YVA-selostus).

Loviisan Hästholmenille on suunniteltu sijaintipaikka nykyisten laitossyksiköiden eteläpuolella. Eurajoen Olkiluodossa on tässä vaiheessa vielä esitetty kaksi sijaintivaihtoehtoa, jotka on esitetty Olkiluodon ydinvoimalaitoksen laajentamista kolmannella laitossyksiköllä koskevassa YVA-selostuksessa. Nämä ovat voimalaitosalueella alle 0,5 km etäisyydellä nykyisistä laitossyksiköistä niiden länsi- ja pohjoispuolella.

STUK on esittänyt edellä mainituista YVA-selostuksista kauppa- ja teollisuusministeriölle lausunnot, joiden mukaan molemmat YVA-selostukset ovat laajat ja niissä käsitellään ympäristövaikutusten kannalta keskeisiä kysymyksiä. Lausunnossa kiinnitettiin erityistä huomiota YVA-selostuksien säteily- ja ydinturvallisuuskysymyksiin, joita ei vielä ympäristövaikutusten arvioinnissa tarkasteltu kovin yksityiskohtaisesti. Kauppa- ja teollisuusministeriö on jo esittänyt molempien laitospaikkojen YVA-selostuksia koskevat lopulliset lausuntonsa.

STUK:n aikaisemmin esittämissä arvioissa YVA-selostuksista ei tullut esille sellaisia ympäristön säteilyturvallisuutta koskevia seikkoja, jotka estäisivät uuden ydinvoimalaitoksen rakentamisen Loviisan Hästholmenille tai Eurajoen Olkiluotoon. STUK kiinnitti kuitenkin huomiota laitoksen käyttämän jäähdytysveden vaikutuksiin ympäröivillä merialueilla. Lämpökuorman vaikutukset ja erilaiset veden otto- ja purkuvaihtoehdot pitää selvittää tarkasti, jos hanke etenee.

Periaatepäätöstä koskevassa hakemuksessa ei ole esitetty sellaisia uusia tietoja, jotka täydentäisivät YVA-selostuksissa esitettyjä ympäristön säteilyturvallisuutta koskevia kuvauksia. Suomessa sovellettavat sijaintipaikkaa koskevat vaatimukset ovat tiukempia kuin useimmissa muissa ydinvoimaa käyttävissä maissa toteutetuissa ydinvoimalaitoksen sijaintiratkaisussa. Ruotsissa Forsmarkin, Oskarshamnin ja Ringhalsin ydinvoimalaitosten sijaintipaikoilla on noudatettu samantapaista lähtökohtaa kuin Suomessa. Näillä laitospaikoilla on kolme tai neljä ydinvoimalaitosyksikköä. Uuden ydinvoimalaitoksen käytöstä aiheutuvien radioaktiivisten aineiden päästöjen arvioidaan jäävän niin pieniksi, että päästöille sovellettavat laitospaikkakohtaiset rajat täytetään hyvällä varmuudella.

STUK on saanut Suomen nykyisten ydinvoimalaitosten käytön valvonnasta kokemusta runsaan kahden vuosikymmenen ajalta ja merkittävästi tietoa sijaintipaikkojen ympäristön turvallisuudesta sekä Loviisan Hästholmenilla että Eurajoen Olkiluodossa. Molemmat laitospaikat ovat STUK:n käytettävissä olevien tietojen mukaan soveltuvia myös

uuden ydinvoimalaitoksen sijaintipaikaksi, myös kallioperänsä puolesta. YVA-selostuksen yhteydessä esitetyt havainnot otetaan huomioon mahdollisen rakentamislupakäsittelyn yhteydessä.

Molemmilla laitospaikoilla on jo ympäristöön rakennettu säteilynmittausjärjestelmä osana onnettomuusvalmiutta. Ympäröivän asutuksen tiheyden suhteen uuden laitoksen rakentamiselle ei ole esteitä.

4.5 Hakijan asiantuntemus

Periaatepäätöstä on hakenut Teollisuuden Voima Oy (TVO), jolla on kokemusta Olkiluodon nykyisten laitosten rakentamisen ajalta ja sen jälkeen yli kahdenkymmenen vuoden ajalta ydinvoimalaitosten käyttämisestä. Laitosten käyttökokemukset ovat pääsääntöisesti erittäin hyviä, mikä osoittaa TVO:n organisaation ja hierarkkisen johtamistyylin toimivan tässä tehtävässä. Ydinvoimalaitoksen muutosten suunnitteleminen tai uuden ydinvoimalaitoksen rakentaminen on kuitenkin hyvin erilainen tehtävä kuin laitoksen menestyksellinen käyttäminen. Menestyksellinen muutossuunnittelu, myös uuden laitoksen osalta, edellyttää korkeatasoista teknistä asiantuntemusta kaikilta keskeisiltä tekniikan aloilta ja johtamisenentelyjä, joissa asiantuntijuutta käytetään oikein. Toiminnan kehittäminen on joka tapauksessa tarpeen myös ydinenergia-alalla edessä olevan sukupolvenvaihdoksen sujuvuuden varmistamiseksi.

TVO:n modernisointihankkeessa ei kaikissa tapauksissa käytetty järjestelmien tai laitteiden muutosten suunnittelussa riittävästi hyväksi TVO:n omaa tai sen käytettävissä olevaa asiantuntemusta. STUK on kiinnittänyt asiaan huomiota myös laitoksen viimekertaisen käyttöluvakäsittelyn yhteydessä.

TVO on aikanaan ostanut Olkiluodon laitokset avaimet käteen -periaatteella laitostoitajalta, joka oli ongelmatilanteissa valmis tarjoamaan asiakkailleen apua jopa yli sen mitä asiakkaat osasivat pyytää. Laitosmuutoksiin ja modernisointiprojektiin liittyvät kokemukset osoittavat, että tällaista kokonaisvaltaista palvelua ei markkinoilta enää saada. Tästä seuraa, että mikäli uusi laitos rakennetaan, TVO joutuu perehtymään sen rakenteeseen ja suunnitteluperusteisiin kaikilta osin jo rakennusaikana huomattavasti syvällisemmin kuin edellisiä yksiköitään rakentaessaan. TVO:n oma perehtyneisyys on laitoksen menestyksellisen käytön ja ylläpitämisen edellytys, ja vaatii TVO:n organisaation ja toimintatapojen kehittämistä vastaavasti.

Hakemuksen mukaan TVO on suunnitellut varsinaisen rakennusprojektin toteuttamista noin 60-henkisellä erillisellä organisaatiolla, johon noin puolet henkilöstöstä palkattaisiin TVO:n ulkopuolelta. Pätevää ja kokenutta henkilöstöä on vielä tällä hetkellä saatavissa, joten organisaation kasvattaminen ei muodostuisi ongelmalliseksi. Uuden ydinvoimalaitoshankkeen käynnistyminen saattaisi myös helpottaa sukupolvenvaihdosta, joka tapahtuu lähivuosina nykyisten laitosten käyttöön, turvallisuustutkimukseen ja valvontaan osallistuvan henkilöstön keskuudessa.

Periaatepäätöshakemuksessaan TVO viittaa ulkopuolisten asiantuntijaorganisaatioiden ja konsulttien käyttöön oman organisaationsa ja toimintansa tukena. Tukeutuminen ulkopuolisiin konsultteihin on tarkoituksenmukainen vaihtoehto niiltä osin kuin suuren työmäärän, harvinaisen erikoisosaamisen tai muun vastaavan syyn vuoksi riittävää asiantuntemusta tai henkilöstöä ei haluta pitää omassa talossa. Toimiakseen tämäkin menettely edellyttää TVO:lta syvällistä ja kattavaa asiantuntemusta kaikilta voimallaitoksen turvallisuuteen vaikuttavilta tekniikan aloilta, jotta tarvittavia ulkopuolisia asiantuntijoita voidaan käyttää oikeisiin tehtäviin oikeaan aikaan. Ulkopuolisten erikoispalveluiden tarvitsija joutuu myös huolehtimaan tarvitsemiensa palveluiden ylläpitämisestä riittävässä laajuudessa koko laitoksen eliniän ajan.

4.6 Ydinpolttoaine- ja ydinjätehuolto

Jokainen ehdolla olevista laitostoimittajista valmistaa myös ydinpolttoainetta. Ydinpolttoainemarkkinoilla on normaalia kilpailuttua toimittajia keskenään; laitostyyppin valinta ei siis sinänsä rajoita ydinpolttoaineen saantimahdollisuuksia. (SWR 1000 laitostyyppisä on suunniteltu käytettävän poikkisuunnassa nykyistä suurempikokoista polttoainennippua, jollaisen valmistamiseen kaikilla toimittajilla ei ehkä ole välittömiä valmiuksia.)

Ydinpolttoaineen elinkaari reaktorissa on verrattain lyhyt, Suomessa tällä hetkellä 3-4 vuotta, ja siksi polttoaineen osalta teknistä kehitystä tapahtuu nopeammin kuin ydinvoimalaitostekniikan osalta muuten. Ydinpolttoaineiden kehittyminen ja uusien suunnitteluratkaisujen käyttöönottoaminen asettaa laitoksen koko käyttöiän jatkuvan haasteen polttoaineen käyttäytymisen ymmärtämiselle. Tämä vaatii myös häiriöiden ja onnettomuuksien analysoinnissa käytettävien työkalujen ylläpitämistä ja kehittämistä, koska polttoaineen ominaisuudet ja reaktorin lataussuunnittelu vaikuttavat erittäin oleellisesti paitsi reaktorisydämen turvallisuusrajoihin myös reaktorin luontaiseen käyttäytymiseen häiriö- ja onnettomuustilanteissa, ja siten keskeisesti laitoksen turvallisuuteen.

Tuoreen polttoaineen käsittelyyn sekä vähä- ja keskiaktiivisen jätteen käsittelyyn käytettävät menettelyt edustavat vakiintunutta tekniikkaa. Uusi laitos hyödyntäisi nykyisillä laitospaikoilla jo olemassa olevaa infrastruktuuria. Teknisiä esteitä huolehtia turvallisesti uuden laitoksen tuoreen polttoaineen sekä vähä- ja keskiaktiivisen jätteen käsittelystä ei ole tullut esille. Uuden laitoksen käytöstä poistamisen jälkeen sen purkamisesta syntyvän jätteen suhteen voidaan menetellä kuten nykyisten laitosten purkujätteen osalta on suunniteltu, eli loppusijoittaa aktivoituneet purkujätteet muun vähä- ja keskiaktiivisen jätteen mukana. Uuden laitoksen suunnittelussa otetaan purkamisen tarkoituksenmukaiseen suorittamiseen liittyvät näkökohdat huomioon.

Uuden laitoksen tuottaman käytetyn polttoaineen osalta on tarkoitus menetellä samoin kuin nykyistenkin laitosten osalta tehdään, eli sijoittaa käytetty polttoaine pysyvästi kal-

lioperään siten, että radioaktiivisten aineiden leviäminen loppusijoituspaikasta takaisin elokehään on luotettavasti estetty riittävän pitkäksi ajaksi.

Käytännössä käytetty polttoaine välivarastoidaan ensin maanpäällisiin varastoihin odottamaan loppusijoitusta. Nykyisten voimalaitosten käytetyn ydinpolttoaineen varastot riittävät 2010-luvun alkupuolelle, jolloin niitä on varauduttu laajentamaan laitosten käytön jatkamista varten. Mahdollisen uuden ydinvoimalaitosyksikön käytetyn polttoaineen varastointitarve voidaan ottaa huomioon tulevien laajennusten yhteydessä.

Varsinainen loppusijoitus tapahtuu siten, että käytetyt polttoaineniput pakataan tiiviisti suljettaviin metallikapseleihin, jotka sijoitetaan kallioperään 400-700 metrin syvyyteen geologisesti eheille kallioalueille. Tätä varten kallioperään kaivetaan tunneliverkosto, jonne kapselit sijoitetaan. Kapselit eristetään kallioperästä ja tunnelit täytetään tiiviillä savimassalla, joka suojaa jätekapseleita ja toimii radioaktiivisten aineiden lisäeristeenä. Loppusijoituksen toteuttamiseen tällä tavoin tarvittava teknologia on jo pitkälle kehitetty. Nykyisten laitosten käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentaminen alkaisi tämänhetkisen aikataulun mukaan vuonna 2010.

Loppusijoituksen toteuttaa Fortumin ja TVO:n yhteisyritys Posiva Oy, joka on hakenut valtioneuvoston periaatepäätöstä nykyisten laitosten käytetyn polttoaineen loppusijoittamiselle yllä kuvatun kaltaisella menettelyllä ja loppusijoituslaitoksen rakentamiselle Eurajoen kuntaan. Suunniteltua loppusijoituslaitosta voidaan periaatteessa laajentaa siten, että uuden ydinvoimalaitoksen tuottama käytetty polttoaine saadaan sijoitetuksi, mutta näin tehtäessä on varmistettava että laajennus toteutetaan geologisesti eheän kallioalueen sisällä. STUK:n on tarkastellut laajennettua maanalaista loppusijoituslaitosta Posiva Oy:n suunnitelmasta antamassaan alustavassa turvallisuusarviossa, eikä ole todennut laajentamista estäviä seikkoja.

Johtopäätöksensä STUK toteaa, ettei ole tullut esiin sellaisia teknisiä seikkoja, jotka estäisivät uuden ydinvoimalaitosyksikön käytöstä syntyvän käytetyn polttoaineen turvallisen käsittelyn tai loppusijoittamisen siten kuin nykyisten laitosten käytetylle polttoaineelle on suunniteltu tehtävän.

5 JOHTOPÄÄTÖS

Teollisuuden Voima Oy (TVO) on hakenut valtioneuvoston periaatepäätöstä siitä, että uuden ydinvoimalan rakentaminen on yhteiskunnan kokonaisedun mukaista. Hakemuksessaan TVO esittää, että uusi ydinvoimalaitos olisi tyypiltään kevytvesireaktori, ja esittelee seitsemän saatavilla olevaa kevytvesireaktorityyppiä. Vaihtoehtoina esitetään sekä painevesireaktoreita, jota tyyppiä on Loviisassa, että kiehutusvesireaktoreita, jota tyyppiä on Olkiluodossa. Tässä alustavassa turvallisuusarviossa Säteilyturvakeskus arvioi TVO:n hakemuksen mukaisen hankkeen periaatteellisia edellytyksiä täyttää suomalaiset turvallisuusmääräykset.

Ydinvoimalaitoksen teknisiä ratkaisuja sekä sen rakentamisessa ja käytössä noudatettavia menettelyjä koskevat turvallisuusmääräykset on esitetty yleisellä tasolla Valtioneuvoston päätöksessä (VNP) 395/1991 sekä yksityiskohtaisemmin Säteilyturvakeskuksen julkaisemassa YVL-ohjeistossa. Säteilyturvakeskuksen alustavan turvallisuusarvion lähtökohtana on, että näiden turvallisuusmääräysten täyttäminen merkitsee Ydinenergialain 6§:n ("Ydinenergian käytön on oltava turvallista, eikä siitä saa aiheutua vaaraa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle.") täyttymistä ydinvoimalaitoksen teknisten ratkaisujen osalta.

Uuden ydinvoimalaitoksen teknisiä ratkaisuja koskevat turvallisuusmääräykset ovat monelta osin tiukempia kuin nykyisiä ydinvoimalaitoksia rakennettaessa sovelletut määräykset. Nykyisiin suomalaisiin ydinvoimalaitoksiin on tehty turvallisuutta parantavia muutoksia sitä mukaa kun tieteen ja tekniikan kehittyminen sekä käyttökokemukset ovat antaneet aihetta. Tämä turvallisuuden jatkuvan parantamisen periaate sisältyy myös ydinturvallisuussäännöstöön (VNP 395/1991), ja sitä tullaan noudattamaan mahdollisen uudenkin laitoksen osalta. Ydinturvallisuussäännösten kansainvälinen kehittyminen viittaa siihen, että Suomessa sovellettava vaatimustaso on pitkälläkin aikavälillä riittävän tiukka.

TVO esittää rakentavansa uuden ydinvoimalaitosyksikön jommalle kummalle nykyisistä ydinvoimalaitospaikoista. STUK:n arvion mukaan turvallisuuden kannalta tälle ei ole esteitä. Uuden laitoksen käytöstä aiheutuvat radioaktiivisuuspäästöt yhdessä laitospaikan entisten laitosten kanssa jäävät selvästi pienemmiksi kuin päästöille asetetut, koko laitospaikkaa koskevat rajat. Ympäristövaikutusten arviointiselvityksistä annetuissa lausunnoissa esitetyt näkökohdat on kuitenkin otettava huomioon voimalaitoksen jäähdytysveden riittävän saannin varmistamiseksi.

Säteilyturvakeskuksen käsityksen mukaan TVO:n on syytä jo rakentamisvaiheessa kehittää organisaatiotaan, toimintatapojaan sekä omaa teknistä ja turvallisuuteen vaikuttavien järjestelmien suunnitteluasiantuntemustaan varmistaakseen laitoksen käytön turvallisuuden tilanteessa, jossa markkinoilta ei saa kokonaisvaltaista turvallisuussuunnittelupalvelua.

Uuden ydinvoimalaitosyksikön käytöstä syntyvien vähä- ja keskiaktiivisten jätteiden käsittelylle turvallisesti ei ole ilmennyt esteitä nykyisillä laitospaikoilla. Tässä suhteessa uusi laitosyksikkö voi suurelta osin tukeutua laitospaikoilla olemassa olevaan infrastruktuuriin. Sama koskee uuden ydinvoimalaitoksen ydinpolttoainehuoltoa ja käytetyn polttoaineen käsittelyä siten kuin nykyisten laitosten osalta menetellään. Jätteiden loppusijoitukseen käytettävien tilojen laajentaminen arvioidaan mahdolliseksi tehdä siten, että se ei vaaranna loppusijoituksen turvallisuutta.

Säteilyturvakeskuksen alustavassa turvallisuusarvioissa ei ole tullut esiin seikkoja, jotka osoittaisivat, ettei ole edellytyksiä saada periaatepäätöshakemuksessa esiteltyjä laitosvaihtoehtoja täyttämään suomalaiset turvallisuusmääräykset. Yksikään esitelty vaihtoehto ei kuitenkaan sellaisenaan täytä kaikkia edellytyksiä. Tarvittavien muutosten luonne ja/tai laajuus vaihtelee laitosyypeittäin huomattavasti. Joissakin laitosyypeissä riittävät verrattain vähäiset järjestelmätekniset muutokset, joissakin tarvitaan laajempia rakenteellisia muutoksia. Periaatepäätöshakemuksessa TVO toteaa, että lopullinen valinta voi kohdistua muuhunkin kevytvesireaktoriin kuin hakemuksessa on esitelty; Säteilyturvakeskus on seurannut ydinvoimatekniikan kehittymistä ja tutustunut myös eräisiin muihin kevytvesireaktoryyppisiin, mutta niiden mahdollisuuksia täyttää suomalaiset turvallisuusmääräykset on arvioitava erikseen, mikäli sellainen valinta tulee ajankohitaiseksi.

LIITE: LAITOSVAIHTOEHTOJEN YLEISKUVAUKSET

Innovatiiviset laitokset

SWR 1000

Kyseessä on saksalainen Siemensin suunnittelema 1000 MWe kiehutusvesireaktori. (Siemensin ydinvoimaliiketoiminta on vuoden 2001 alusta siirtynyt yhteisyritykseen Framatome ANP, jossa ranskalaisen Framatome on pääomistaja.) SWR 1000 on saksalaisen kiehutusvesireaktoritekniikan pohjalta perinpohjin uudelleen suunniteltu laitos, jonka turvallisuussuunnittelu perustuu luontaisiin ominaisuuksiin ja passiivisiin turvallisuusjärjestelmiin. Suojarakennus on kiehutusvesireaktoreille tyypillinen paineenalennussuojarakennus, mutta se on lähtökohtaisesti mitoitettu kestäämään myös vakavan reaktorionnettomuuden aiheuttamia kuormia. Suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta.

Reaktori on sisäisillä pääkiertopumpuilla varustettu kiehutusvesireaktori, joka toimintaparametreiltaan vastaa nykyisiä kiehutusvesireaktoreita. Sydänsuunnittelu on kuitenkin tehty kokonaan uudelleen. Sydän on korkeudeltaan nykyisiä vastaavankokoisia reaktoreita noin metrin (30%) matalampi ja sijaitsee paineastian sisällä vastaavasti alempana kuin nykyisissä kiehutusreaktoreissa. Tehotiheydeltään se on nykyisiä suuria kiehutusvesireaktoreita pienempi. Nämä piirteet parantavat luontaista turvallisuutta nykylaitoksiin nähden sekä reaktorin stabiiliuden että lämpöteknisten marginaalien osalta. Lisäksi sydän sijaitsee häiriöiden ja onnettomuuksien kannalta edullisessa asemassa (matalalla). Reaktoripaineastian ison tilavuuden ansiosta myös paineensäädön häiriöt ovat nykyisiin kiehutuslaitoksiin verrattuna selvästi rauhallisemmin kehittyviä, joskin edelleen nopeita.

Polttoaineniput on suunniteltu poikkileikkaukseltaan nykyistä suurikokoisemmiksi. Mittaustietoja polttoaineen käyttäytymisestä suunnitellun kokoisessa nipussa ei vielä ole, mutta muutoksen vaikutusta on voitu arvioida laskelmin. Suuria nippuja käytettäessä säätösauvojen lukumäärää, ja sitä kautta paineastian pohjan läpivientien määrää, voidaan pienentää. Toisaalta yksittäisten säätösauvojen reaktiivisuusarvot voivat kasvaa samalla. Jos niin käy, säätösauvan virheliikkeistä, mukaan lukien ulossinkoutumisesta, aiheutuvien häiriöiden ennaltaehkäisyn ja rajoittamisen merkitys suurenee entisestään. Suomalaisella poistopalamarajalla nippukoon kasvattaminen tällä tavoin käy turvallisuuden kannalta päinsä. Keski-Euroopassa hyväksytyllä korkealla poistopalamalla suurten nippujen sisäinen tehojakauma muodostuisi Siemensin laskujen mukaan niin epätasaiseksi, että turvallisuusmarginaalit pienenisivät oleellisesti. Käyttäjän aikana sydämen reaktiivisuutta hallitaan säätösauvoilla (sähkömoottoriohjauksella) ja polttoaineseen kiinteästi sekoitetuilla palavilla absorbaattoreilla.

Turbiinilaitos tulisi ilmeisesti olemaan samanlainen kuin nykyisissä kiehutusreaktoreissa, kuitenkin sillä erotuksella että reaktoriturvallisuuden kannalta oleelliset turbiinilaitoksen häiriöistä käynnistyvät suojaustoiminnot voidaan toteuttaa suoraviivaisemmin kuin nykyään suomalaisissa kiehutusreaktoreissa on laita.

Turvallisuustoiminnot on toteutettu sekä aktiivisin että passiivisin järjestelmin, mutta aktiiviset järjestelmät on tarkoitettu ensi sijassa normaalikäyttöä varten. Ne on kuitenkin turvallisuusluokiteltu. Normaalikäytön, käyttöhäiriöiden, ja onnettomuuksien hallintaa voidaan toteuttaa sekä aktiivisilla, normaalikäyttöön tarkoitetuilla järjestelmillä, että pelkästään erillisillä passiivisilla järjestelmillä seuraavasti:

- reaktiivisuus: tehotaso säädetään aktiivisesti säätösauvoilla ja pääkiertopumpuilla, kuten nykyisissäkin kiehutusreaktoreissa; passiivisina pikasulkujärjestelminä ovat höyrynpaineella toimiviin paineakkuihin perustuvat hydraulinen pikasulku säätösauvoilla ja suoraan reaktorisydämeen syöttävä boorausjärjestelmä; pikasulku voidaan tehdä myös ajamalla säätösauvat aktiivisesti sähkömoottorihjauksella sydämeen
- jäähdytys ja jälkilämmön poisto:
 - aktiivijärjestelmänä pumppuihin ja lämmönvaihtimiin perustuva 2x100% jälkilämmönpoistojärjestelmä, joka voi jäähdyttää sekä reaktorin että suojarakennusta.
 - passiivisena järjestelmänä reaktorin jäähdyttävät luonnonkierrolla toimivat ns. eristyslauhduttimet (4x 50% - luonnonkiertolauhduttimien lämmönsiirtokyky on voimakkaasti reaktoripaineen funktio, ja vähenee paineen alentuessa)
 - reaktorin paineenalennusta varten on kuusi verrattain suurikokoista varo/puhallusventtiiliä, kahta eri toimintaperiaatteella toimivaa tyyppiä
 - mahdollisten primääripiirin putkikatkojen hallitsemiseksi reaktorin vedensaanti on varmistettu painovoimaisesti toimivalla tulvituksella (nelinkertainen järjestelmä) suojarakennuksen vesialtaista. Osa reaktorin putkiyhteistä on lisäksi varustettu vuodonrajoittimilla. Pitkän ajan jälkilämmönpoisto putkikatkon jälkeen tapahtuisi luonnonkierrolla tulvitetun reaktorin ja suojarakennuksen välillä
- suojarakennus on perustyyppiltään kiehutuslaitoksissa nykyäänkin tavanomainen lauhdutusaltailla varustettu, esijännitetystä teräsbetonista rakennettu paineenalennussuojarakennus, joka inertoidaan tehoajon ajaksi tyypellä. Sen jälkilämmönpoisto tapahtuu joko aktiivisesti samalla aktiivisella jälkilämmönpoistojärjestelmällä kuin itse reaktorinkin, tai passiivisesti, luonnonkiertolauhduttimilla (4x50%) jotka siirtävät lämpöä primäärisuojarakennuksen yläpuolella sijaitsevan reaktorihallin vesialtasiin.

Turvallisuusjärjestelmät näyttävät täyttävän YVL-ohjeiston vikaantumis- ja erilaisuuskriteerit ainakin pääpiirteissään; lopullinen varmuus tästä saataisiin järjestelmäsuunnittelun yksityiskohtaisessa läpikäynnissä.

SWR 1000:n kaikki keskeiset reaktorin vedenpinnasta käynnistyvät turvatoiminnot käynnistyvät joko suoraan häiriöön liittyvien prosessimuutosten vaikutuksesta tai säätö- ja suojausautomaation lisäksi suoraan passiivisten laukaisulaitteiden avulla. Passiiviset laukaisulaitteet eivät tarvitse toimiakseen ulkoista energiaa, eivät edes ohjausvoimaa,

vaan ne reagoivat suoraan reaktorin vedenpinnan laskuun, joka on aina oire tarpeesta käynnistää turvallisuustoiminto (kuten reaktorin pikasulku tai hätäjähdytys).

Tehoajolta alkavan vakavan reaktorionnettomuuden hallinta on otettu tässä reaktorikonseptissa alusta asti kiinteäksi osaksi reaktorin ja suojarakennuksen suunnittelua.

Vakavan reaktorionnettomuuden hallintastrategia perustuu sydänsulan pidättämiseen reaktoripaineastiassa sitä ulkopuolelta jäähdyttämällä. Mikäli tämän onnistuminen voidaan osoittaa, suojarakennukseen ei tulisi kohdistumaan energeettisiä uhkia sydänsula-vesi-vuorovaikutusten, kuten höyryräjähdysten, tai sydänsula-betoni-vuorovaikutuksen vuoksi. Ulkopuolisen jäähdytyksen onnistuminen on STUK:n alustavan arvion mukaan tässä laitostyyppissä osoitettavissa, mutta riittävien marginaalien todentaminen tältä osin vaatii vielä lisää työtä.

Suojarakennuksessa on käytön aikana typpi-ilmakehä, joten rakennuksen sisällä vetykaasut eivät ole mahdollisia vakavassa onnettomuudessa. Paineenkestoltaan suojarakenne on mitoitettu kestämään YVL-ohjeistossa edellytetty sydämen zirkoniumin 100% haettumisesta aiheutuva vedynkehitys. Mitoitus perustuu vapautuvan vedyn keräämiseen lauhdutusaltaan kaasutilaan, josta ei ole takaisinvirtausreittejä suojarakennukseen. Suojarakennuksen jälkilämmönpoisto vakavassa onnettomuudessa tapahtuisi passiivisesti samoilla luonnonkiertolauhduksilla kuin muissakin onnettomuuksissa.

Seisokin aikana vakava onnettomuus on pyritty estämään kokonaan varmistamalla, että latausaltaan vesimäärä riittää aina tulvittamaan reaktorisydämen. Periaate on hyvä, mutta esiteltyssä konseptissa reaktorin alapuolisesta tilasta suoraan ulos johtavan kulukaukon olemassaolo heikentää merkittävästi sen teknistä toteutusvarmuutta.

Periaatteellisia turvallisuusteknisiä esteitä tämän reaktorikonseptin hyväksymiselle Suomessa ei ole ilmennyt. Useat suunnitteluyksityiskohdat vaativat kuitenkin tarkempaa tarkastelua tai lisäsuunnittelua, erityisesti passiivisten järjestelmien toimintakykyä ja mahdollisesti hätäjähdytyksen jälleekierrätyksen osalta. Myös riittävän suojarakennustoiminnon takaaminen seisokkien aikana vaatii lisätyötä, kuten kaikissa kiehuutusvesireaktoreissa. Vakavan onnettomuuden hallintaan kuuluva reaktoripaineastian ulkopuolinen jäähdytys vaatii varmentavaa tutkimusta.

EP1000 ja AP1000

Kyseessä on Westinghouse Electricin (nytemmin BNFL:n omistuksessa) suunnittelema innovatiivinen painevesireaktoripari, jonka turvallisuussuunnittelu perustuu passiivisiin järjestelmiin. AP1000 on kahdella pääkiertopiirillä varustettu 1000 MWe versio Westinghouse:n aikaisemmin suunnittelema 600 MWe passiivisesta painevesireaktorista AP600, jonka yksityiskohtainen suunnittelu on käytännössä valmis. Yhdysvaltain ydinturvallisuusviranomainen USNRC on antanut AP600-laitokselle tyyppihyväksynnän oman tarkastuksensa perusteella. AP1000 poikkeaa AP600:sta oleellisesti vain siinä, että eräät keskeiset komponentit (sydän, höyrystimet, pääkiertopumput, suojarakennus) on suunniteltu suuremmiksi kuin AP600:ssa. AP1000:n reaktoripaineastia on suunniteltu halkaisijaltaan samaksi kuin AP600:ssa, mutta pituudeltaan suuremmaksi, vastaten sydämen pituuden muutosta. EP1000 on AP600:n komponenttiteknologiaan perustuva, mutta halkaisijaltaan suuremmalla reaktoripaineastialla ja kolmella pääkiertopiirillä varustettu 1000 MWe passiivinen painevesireaktoryyppi, jonka suunnitteluun on osallistunut myös eurooppalaisia voimayhtiöitä.

Tässä laitosperheessä turvallisuussuunnittelun lähtökohtana on toteuttaa kaikki turvatoiminnot kaikissa käyttötilanteissa, häiriöt ja onnettomuudet mukaan lukien, joko normaalikäyttöä varten suunnitelluilla aktiivisilla järjestelmillä tai pelkästään passiivisilla, luonnonvoimaisesti toimivilla järjestelmillä. Suojarakennus on tyypiltään iso kuiva suojarakennus, ja vastaa nykyisiä painevesireaktoreita. Suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta.

Näissä laitostyypeissä polttoaineen, reaktorisydämen ja reaktorin suunnittelu seuraa pääpiirteissään nykyisiä painevesireaktoreita. Turvallisuutta on kuitenkin eräiltä osin pystytty parantamaan merkittävästi. Esimerkiksi kaikkien näiden reaktoreiden sydän voidaan suunnitella booripitoisuudeltaan noin puolet pienemmäksi kuin suurin nykyään käytössä oleva booripitoisuus. Näissä laitoksissa tähän päästään käyttämällä "tavallisten" ns. mustien säätösauvojen rinnalla ns. harmaita säätösauvoja, joiden avulla voidaan tehdä pitempiä aikaista reaktiivisuuden hallintaa, sekä kiinteitä palavia absorbaattoreita polttoaineessa. Näin ollen mahdolliset reaktiivisuuden hallinnan häiriöt boorin laimeenemisen vuoksi estyvät kokonaan tai lievenevät oleellisesti nykylaitoksista. AP600 ja EP1000 reaktorien tehotehiheydet ovat nykyisiä painevesireaktoreita pienempiä ja sydämet keskikorkuisia, mikä on lämpöteknisten turvallisuusmarginaalien kannalta edullista. AP1000 vastaa lämpöteknisiltä turvallisuusmarginaaleiltaan nykyisiä isoja painevesireaktoreita. Sen sydän on korkea, ja sydäntä ympäröivää säteittäistä heijastinta on osin ohennettu polttoainenuippujen lukumäärän kasvattamiseksi. Tämä voi vaikuttaa epäedullisesti AP1000:n reaktoripaineastian haurastumiseen sen pitkän käyttöiän aikana. Poistopalaman laitostoimittaja on suunnitellut yhdysvaltalaisen käytännön mukaiseksi, mikä ylittää selvästi Suomessa turvallisena pidetyn rajan. Sydämen lataussuunnittelu voidaan kuitenkin helposti tehdä myös suomalaiset vaatimukset täyttäväksi.

Primääripiiri on nykyisistä painevesilaitoksista tuttua, koeteltua tekniikkaa sillä erotuksella, että pääkiertopumput on liitetty kiinteäksi osaksi höyrystimien kylmää puolta.

Kussakin pääkiertopiirissä on kuumahaara, höyrystin, kaksi pääkiertopumppua ja kaksi kylmähaaraa. Pääkiertopiireistä on poistettu nykylaitoksille tyypilliset kylmähaaran vesilukot, mikä on turvallisuuden kannalta edullista useammallakin tavalla. Pääkiertopumput ovat rakenteeltaan hermeettisiä, joten niissä ei ole tiivisteitä, jotka voisivat vuotaa. Hermeettisestä rakenteesta huolimatta pumppuihin on rakennettu vauhtipyörät antamaan pyörimisinertiaa. Paineistin on mitoitettu suhteellisen tilavaksi, mikä lieventää primääripiirin paineensäätöön liittyviä häiriöitä merkittävästi.

Sekundääripuoli on näissä laitostyypeissä oleellisesti samanlainen kuin nykyisissä painevesireaktoreissa. Höyrystimet (kaksi AP600- ja AP1000-laitoksissa, kolme EP1000-versiossa) ovat pystysuoria U-putkihöyrystimiä, ja vastaavat tekniikaltaan nykylaitoksissa käytössä olevia uusimpia höyrystimiä, joissa pystyhöyrystimille tyypilliset lämmönsiirto-putkien eheydessä esiintyneet ongelmat on pyritty eliminoimaan materiaalivalinnoilla ja rakenneratkaisuilla.

Turvallisuustoiminnot on toteutettu sekä aktiivisin että passiivisin järjestelmin, mutta aktiiviset järjestelmät on pääsääntöisesti tarkoitettu vain normaalikäyttöä varten eivätkä siksi ole turvallisuusluokiteltuja. Turvallisuustoiminnot toteutetaan seuraavasti:

- reaktiivisuuden hallinta: tehotason säätöön on käytettävissä aktiivijärjestelmänä säätösauvat ja primäärijäähdytteeseen liuotettu boorihappo. Turvallisuutta parantaa booripitoisuuden alentaminen nykyisten painevesilaitosten tasolta, ja tämä on tehty käyttämällä reaktiivisuuden hallintaan useamman tyyppisiä säätösauvoja (ns. harmaita ja mustia sauvoja) sekä palavia absorbaattoreita. Pikasulku tapahtuu passiivisesti, pudottamalla säätösauvat sydämeen, kuten painevesilaitoksissa nykyäänkin
- jäähdytys ja jälkilämmön poisto:
 - käyttöjärjestelmäksi luokiteltu aktiivinen, pumppuihin ja lämmönvaihtimiin perustuva reaktorin jälkilämmönpoistojärjestelmä, 2x100%, jota voidaan käyttää myös aktiivisena hätäjäähdytysjärjestelmänä putkikatkoissa
 - passiivisena järjestelmänä reaktoria jäähdyttävät luonnonkierrolla toimivat ns. eristyslauhduttimet (AP-sarjassa yksi 100% lauhdutin, EP1000:ssa kaksi), sekä sekundääripuolella käyttöjärjestelmäksi luokiteltu aktiivinen 2x100% apusyötövesijärjestelmä
 - reaktorin paineenalennusta varten on neljään vaiheeseen porrastettu varo/puhallusventtiilijärjestelmä, jonka kapasiteetti on joka portaassa 2x100%. Viimeisin puhallusvaihe kytkeytyy kuumahaaroihin ja muut paineistimeen
 - mahdollisten primääripiirin putkikatkojen hallitsemiseksi reaktorin vedensaanti on varmistettu 2x100% passiivisella hätäjäähdytysjärjestelmällä, joka tulvittaa reaktoria boorivedellä sekä painovoimaisesti että varastoidun kaasun paineella purkautuvista vesisäiliöistä. Putkikatko laukaisee aina primääripiirin paineenalennuksen. EP-laitoksessa tyypipaineella toimivia tulvitussäiliöitä on kaksi, AP-sarjan laitoksissa yksi; vastaavasti korkeapainejärjestelmänä painovoimaisesti toimiva tulvitussäiliö on AP-sarjassa isompi kuin EP-laitoksessa
 - Pitkän ajan jälkilämmönpoisto putkikatkon jälkeen tapahtuisi luonnonkierrolla tulvitetun reaktorin ja suojarakennuksen välillä (kuumahaaraan kytketyt primääripiirin puhallusventtiilit tarvitaan varman luonnonkierron aikaansaamiseksi)

- primäärisuojarakennus on perustyyppiltään painevesilaitoksissa nykyäänkin tavallinen teräskuorinen iso, kuiva suojarakennus. Sen jälkilämmönpoisto tapahtuu passiivisesti: luonnonkierrolla teräskuoreen, johtumalla sen läpi ja siitä luonnonkierrolla ympäristöön. Lämmönsiirron tehostamiseksi teräskuori voidaan kastella painovoimaisesti sekundäärisuojarakennuksen yläosaan suunnitellusta vesisäiliöstä. Teräskuorista primäärisuojarakennusta ympäröi betoninen sekundäärisuojarakennus. Primääri- ja sekundäärisuojarakennusten välinen tila on ympäristöön avoin teräskuoren luonnonkiertojäähdytykseen osallistuvalla osalla, mikä piirre poikkeaa kaksoissuojarakennusperiaatteesta. Jäähdytykseen osallistuva teräskuoren osa on kuitenkin yhtenäinen, eli siinä ei ole läpivientejä tai muita mahdollisia vuotoreittejä. Sitä voidaan näin ollen pitää riittävänä leviämisesteenä, mikäli onnettomuuden aikainen sisäisten lentävien esineiden syntyminen ja/tai teräskuoreen osuminen voidaan estää luotettavasti. Kaikki suojarakennuksen läpiviennit on sijoitettu sekundäärisuojarakennuksen alaosaan, joka on tavalliseen tapaan ympäristöstä erotettu.

Turvallisuusjärjestelmät näyttävät pääsääntöisesti täyttävän YVL-ohjeiston vikakriteerit, mikäli niihin tehdään eräitä parannuksia (mm. joitakin alkuperäisen suunnittelun mukaan yksittäisiä venttiileitä kahdennetaan). Lopullinen varmuus tästä saataisiin järjestelmäsuunnittelun yksityiskohtaisessa läpikäynnissä.

Westinghousen laitoksissa kaikki passiiviset turvallisuustoiminnot käynnistyvät aina säätö- tai suojausjärjestelmän ohjaamina. Käynnistys tapahtuu aina kertaluonteisella venttiilioperaatiolla. Ulkoista ohjausvoimaa tarvitaan siis sekä automaatiojärjestelmien toiminnan ylläpitämiseksi että turvallisuustoimintojen käynnistämiseksi. Vasta turvatoiminnon varsinaisen toteutumisen käyttövoima on painovoima tai varastoidun kaasun paine.

Vakavan reaktorionnettomuuden hallintastrategia perustuu sydänsulan pidättämiseen reaktoripaineastiassa sitä ulkopuolelta jäähdyttämällä. Mikäli tämän onnistuminen voidaan osoittaa, suojarakennukseen ei tulisi kohdistumaan energettisiä uhkia sydänsula-vesi-vuorovaikutusten, kuten höyryräjähdysten, tai sydänsula-betoni-vuorovaikutuksen vuoksi. Ulkopuolisen jäähdytyksen onnistuminen on STUK:n alustavan arvion mukaan ainakin AP600 ja EP1000 laitoksissa osoitettavissa, mutta riittävien marginaalien todentaminen tältä osin vaatii vielä varmentavaa tutkimusta. AP1000 konseptissa sitä voi olla vaikeaa osoittaa luotettavasti, jos pitäydytään alkuperäisen suunnitelman mukaisessa AP600:n paineastian halkaisijassa.

Vedyn hallinta tapahtuisi passiivisesti katalyyttisillä rekombinaattoreilla, kuten nykyissäkin painevesireaktorilaitoksissa on suunniteltu. Vedynhallinnan mitoituksessa on tärkeää estää vety palot sellaisissa paikoissa, joissa palo tai sen synnyttämä lentävä esine voisi uhata terässuojakuoren eheyttä. Suojarakennuksen jälkilämmönpoisto vakavassa onnettomuudessa tapahtuisi passiivisesti luonnonkierrolla ja johtumalla terässuojakuoren läpi.

Periaatteellisia turvallisuusteknisiä esteitä tämän laitostyyppin hyväksymiselle Suomessa ei ole ilmennyt. EP1000-laitoksen sydänsuunnittelu vaikuttaa passiiviselta laitokselta odotettavien turvallisuusominaisuuksien kannalta onnistuneemmalta kuin AP1000-

laitoksen. Useat suunnitteluyksityiskohdat vaativat kuitenkin tarkempaa tarkastelua tai lisäsuunnittelua, erityisesti mitä tulee passiivisten järjestelmien toimintakykyyn ja vikasietoisuuteen sekä mahdollisesti sisemmän suojarakennuksen suojaukseen lentäviä esineitä varalta. Vakavan onnettomuuden hallinta sydänsulaa paineastiassa jäähdyttämällä voi olla vaikeaa osoittaa luotettavasti AP1000 konseptissa, jos siinä pitäydytään alkuperäisen suunnitelman mukaisessa pienitehoisemman AP600 konseptin paineastian halkaisijassa. Tältä osin varmentava tutkimus on myös EP1000:n osalta tarpeen.

Evoluutiolaitokset

VVER 91/99

Kyseessä on venäläisen Atomstroyexportin (ASE) tarjoama 1000 MWe teholle suunniteltu painevesireaktori. VVER 91/99 pohjautuu VVER 1000 -laitosten perusteknologiaan ja on perussuunnittelultaan ns. aktiivinen evoluutiolaitos, eli aktiivisin turvallisuusjärjestelmin varustettu, perusteknologiasta lähtien pienin askelin paranneltu laitostyyppi. Suojarakennus on tavanomainen ns. iso kuiva kaksoissuojarakennus. Laitos voidaan suunnitella 60 vuoden käyttöikä varten.

Reaktorilaitos on oleellisesti samanlainen kuin nykyisissä VVER 1000 -laitoksissa. Polttoaine- ja sydänsuunnittelun osalta noudatetaan samanlaisia käytäntöjä kuin suuri-kokoisissa käytössä olevissa painevesireaktoreissa nykyään, sillä erotuksella, että jäähdytteen suurinta booripitoisuutta on pienennetty käyttämällä polttoaineessa kiinteitä absorbaattoreita. Säättösauvojen lukumäärää on kuitenkin lisätty turvallisuuden parantamiseksi. Sydänsuunnittelussa tavoiteltu poistopalama on suomalaisten turvallisuuskriteerien mukainen.

Pääkiertopiirejä on neljä; kussakin vaakasuora höyrystin, pääkiertopumppu ja vesilukko. Reaktoripaineastian haurasmurtumavaaran osalta lisätarkastelu saattaa olla tarpeen 60 vuoden käyttöiän osoittamiseksi. VVER 1000 -laitoksien alkutaipaleella höyrystymissä ilmenneet valmistusviat on saatu kuriin valmistusteknologiaa vaihtamalla. Pääkiertopumppuun on kehitetty akselitiiviste, jonka luvataan kestävän jäähdyttämättömänäkin ainakin vuorokauden. Sekundääripuoli on oleellisesti nykyisten laitosten kaltainen, höyrystimien varoventtiilit kerrotaan kelpoistetun höyryn lisäksi kaksifaasi- ja vesipuhallukseen.

Keskeiset turvajärjestelmät on toteutettu nykylaitoksista tutulla tavalla:

- reaktiivisuuden hallinta tehdään aktiivisesti säättösauvoilla ja primäärijäähdytteen liuotetulla boorihapolla sekä kiinteillä palavilla absorbaattoreilla. Pienemmän booripitoisuuden ansiosta mahdolliset reaktiivisuushäiriöt ovat lievempiä kuin nykyisillä painevesilaitoksilla; reaktori voidaan sammuttaa säättösauvojen passiivisen pudotuksen lisäksi 4x50% aktiivisella hätäboorausjärjestelmällä
- primääripiirin hätäjäähdytys ja sekundääripiirin jälkilämmönpoistojärjestelmät ovat aktiivisia 4x100% järjestelmiä, primääripiirissä on lisäksi aktiivinen 4x50% jälkilämmönpoistojärjestelmä. Järjestelmien tarvitseman sähkön saanti on varmistettu johdonmukaisen moninkertaisesti. YVL-ohjeiston vikakriteerien täyttäminen ei vaikuta ongelmalliselta;
- primäärisuojarakennus on esijännitetystä teräsbetonista rakennettu, tiivistävällä verhoilulla (liner) varustettu ns. iso kuiva suojarakennus. Sen ulkopuolelle on suunnit-

teltu betoninen sekundäärisuojarakennus. Suojarakennuksen jäähdyttämiseen on käytettävissä 4x50% aktiivinen järjestelmä.

Varautuminen vakaviin onnettomuuksiin tulisi perustumaan sydänsieppariin reaktori-kuopan pohjalla. Vedynhallinnasta ei toistaiseksi ole keskusteltu, mutta laitoksen rakenne ei aseta esteitä sen toteuttamiselle samaan tapaan kuin vastaavissa nykyisissä painevesilaitoksissa on suunniteltu tehtävän.

Mekaanisten komponenttien valmistuksen valvonnasta, erityisesti venäläisen toimituksen osalta, voidaan aikaisempien selvitysten perusteella esittää epäilyksiä valvonnan toimivuudesta nykyaikaisten laadunvarmistusperiaatteiden mukaisesti. Tämä vaatii tilaajalta erityistä panostusta.

Periaatteellisia turvallisuusteknisiä esteitä tämän laitostyyppin hyväksymiseksi ei ole ilmennyt. Käytännössä useat suunnitteluyksityiskohdat (mm. automaatiojärjestelmä, eräät primääripiirin jälkilämmönpoistoon liittyvät tekniset kysymykset, hätäjäähdytysjärjestelmien jälleekierrätysjärjestelyt ja vakavien onnettomuuksien hallinta), vaativat tarkempaa tarkastelua ja lisäsuunnittelua. Valmistuksen valvonta nykyaikaisten laadunvarmistusperiaatteiden mukaisesti vaatii tilaajalta erityistä panostusta. Laitostoimittaja on ilmaissut valmiutensa hankkia kokonaisia järjestelmiä tai komponentteja tilaajan itsensä valitsemilta alihankkijoilta.

EPR

Kyseessä on saksalais-ranskalaisen Nuclear Power International:in (NPI) tarjoama 1500 MWe teholla suunniteltu painevesireaktori. (NPI on ollut Siemensin ja Framatomen yhteisyritys, joka on sulautettu Framatome ANP:hen osana näiden toimittajien keskinäisiä uudelleenjärjestelyjä.) EPR pohjautuu saksalaiseen 1300 MWe Konvoi-sarjan ja ranskalaiseen 1450 MWe N4-sarjan laitosten perusteknologiaan ja on perussuunnittelultaan ns. aktiivinen evoluutiolaitos, eli aktiivisin turvallisuusjärjestelmin varustettu, perusteknologiasta lähtien pienin askelin virtaviivaistettu laityyppi. Laitostoimittajat ovat suunnittelun kuluessa pitäneet tiiviisti yhteyttä kotimaidensa ydinturvallisuusviranomaisiin. Suojarakennus on tavanomainen ns. iso kuiva kaksoissuojarakennus. Suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta.

Reaktorilaitos on oleellisesti samanlainen kuin nykyisissä painevesireaktorilaitoksissa. Polttoaine- ja sydänsuunnittelun osalta noudatetaan samanlaisia käytäntöjä kuin suurikokoisissa käytössä olevissa painevesireaktoreissa nykyään. Reaktiivisuuden hallinta käyttöjakson aikana tehdään primäärijäähdysteeseen liuotetulla boorihapolla, jonka pitoisuus on nykylaitosten tasoa. Keskieurooppalaisista tarpeista lähtevä poistopalama ylittää suomalaiset turvallisuuskriteerit merkittävästi. Sydämen lataussuunnittelu voidaan kuitenkin tehdä myös suomalaiset vaatimukset täyttäväksi.

Pääkiertopiirejä on neljä, kussakin pystysuora höyrystin, pääkiertopumppu ja vesilukko. Pystyhöyrystimille tyypilliset lämmönsiirto-putkien eheydessä esiintyneet ongelmat on pyritty eliminoimaan materiaalivalinnoilla. Pääkiertopumppuvaihtoehtoja on kaksi, saksalainen ja ranskalainen, ja kummankin akselitiiviste on suunniteltu häiriötilanteissa itsetiivistyväksi.

Keskeiset turvajärjestelmät on toteutettu nykylaitoksista tutulla tavalla:

- reaktiivisuuden hallinta (tehonsäätö) tehdään säätösauvoilla ja primäärijäähdysteeseen liuotetulla boorihapolla, joten mahdolliset reaktiivisuushäiriöt ovat oleellisesti samanlaisia kuin nykyisillä painevesilaitoksilla; booripitoisuus on pidetty nykylaitosten tasolla. Säätösauvojen passiivisen pudotuksen lisäksi reaktori voidaan sammuttaa 2x50% aktiivisella boorausjärjestelmällä
- hätäjäähdytys- ja jälkilämmönpoistojärjestelmät on suunniteltu 4x50% aktiivisiksi sekä primääri- että sekundääripiirin osalta. Sähkönsaanti on varmistettu vastaavasti. Hätäjäähdytysten mitoitusperusteena on suurimman pääkiertopiiriin liittyvän putken (mutta ei siis pääkiertoputken) katkeaminen; pääkiertoputken katkoa ajatellen hätäjäähdytyskapasiteetti on luokkaa 4x34%. Hätäjäähdytysjärjestelmän mitoituksessa on nojaututtu vuoto ennen murtumaa -periaatteeseen (LBB).
- primäärisuojarakennus on esijännitetystä teräsbetonista valmistettava ns. iso kuiva suojarakennus, sen ulkopuolelle on suunniteltu teräsbetoninen sekundäärisuojarakennus. Valmistaja on pyrkinyt poistamaan primäärisuojarakennuksestaan teräsvuorauksen (liner), mutta vuoraamattomien teräsbetonisuojarakennusten tiiveys on ranskalaisen kokemuksen mukaan huono.

YVL-ohjeiston vikakriteerien täyttäminen ei vaikuta ongelmalliselta boorausjärjestelmää ja pääkiertoputkikatkojen osalta tarvittavaa hätäjähdytystä lukuunottamatta.

Varautuminen vakaviin onnettomuuksiin tulisi perustumaan sydänsulan jäähdyttämiseen erityisellä leviämisalueella suojarakennuksen alaosassa, reaktorikuopan vieressä. Menettely on verrattain mutkikas ja vaikka sydänsulan levittämällä jäähdyttämiseen liittyvät yksittäiset vaiheet ymmärretäänkin kohtuullisesti, on toistaiseksi epäselvää voidaanko sulan liikkeiden ajoitusta hallita tämän menettelyn edellyttämällä tarkkuudella. Primääripiirin paineen alentaminen vakavan onnettomuuden hallitsemiseksi on tarpeen, mutta siihen on peruskonseptissa käytettävissä vain yksi puhallusventtiili. Suomeen tarjotussa versiossa paineenalennusventtiilejä olisi kaksi. Leviämisalueen jäähdytys tapahtuisi 2x50% aktiivisella järjestelmällä, joten vakavan onnettomuuden varalle suunniteltavilta järjestelmiltä edellytettävä yksittäisvikakriteeri ei tältä osin täyty. Vedynhallinta tapahtuisi passiivisesti katalyyttisillä rekombinaattoreilla samaan tapaan kuin vastaavissa nykyisissä painevesilaitoksissa on suunniteltu tehtävän, suojarakennuksen jäähdytys aktiivisesti erillisellä jäähdytysjärjestelmällä.

Ylipääsemättömiä periaatteellisia turvallisuusteknisiä esteitä tämän laitostyyppin hyväksymiselle Suomessa ei ole ilmennyt. Useat suunnitteluyksityiskohdat vaativat kuitenkin lisätyötä, erityisesti reaktorisydämen suunnittelun, reaktorin hätäboorauksen, suojarakennuksen vuoraamisen, reaktorin hätäjähdytysjärjestelmien suorituskyvyn ja hätäjähdytyksen jälleenkierätyjärjestelyjen, sekä vakavan onnettomuuden hallinnan osalta. Vakavan onnettomuuden hallintaan liittyvä sydänsulan jäähdyttäminen on tässä laitostyyppissä suunniteltu monimutkaiseksi ja siksi sen onnistumista on vaikea osoittaa luotettavasti.

EABWR

Kyseessä on amerikkalaisen General Electric:in (GE) tarjoama 1400 MWe teholle suunniteltu kiehutusvesireaktori. EABWR on Euroopan markkinoille tarkoitettu versio ABWR-laitostyyppistä, joka taas perustuu GE:n aikaisempien kiehutuslaitosten teknologiaan ja on perussuunnittelultaan ns. aktiivinen evoluutiolaitos, eli aktiivisin turvallisuusjärjestelmin varustettu, perusteknologiasta lähtien pienin askelin virtaviivaistettu laitostyyppi. Yhdysvaltain ydinturvallisuusviranomaisen USNRC on antanut ABWR-laitokselle tyyppihyväksynnän oman tarkastuksensa perusteella. Tämä laitostyyppi edustaa kehitystä GE:n aikaisempiin tuotteisiin verrattuna, mutta muistuttaa keskeisiltä perusratkaisuiltaan suuresti 70-luvulla suunniteltuja TVO:n Olkiluodon laitoksia (joihin on käytön aikana tehty useita turvallisuutta parantavia muutoksia mm. vakavien onnettomuuksien hallitsemiseksi). Suojarakennus on kiehutuslaitoksille tavanomainen lauhdutusaltaallinen paineenalennussuojarakennus, vakaviin reaktorionnettomuuksiin vaurautumista on suunniteltu vasta suojarakennusratkaisujen tultua päätetyiksi.

Reaktori on sisäisillä pääkiertopumpuilla varustettu kiehutusvesireaktori, joka toiminnallisilta parametreiltaan ja turvallisuusomaisuuksiltaan vastaa nykyisiä suuria kiehutusvesireaktoreita. Sama koskee polttoaine- ja sydänsuunnittelun turvallisuuspiirteitä, parannusta nykyisiin suuritehoisiin kiehutusreaktoreihin ei ole haettu. Reaktiivisuuden hallinta käyttöjakson aikana tapahtuu polttoaineen kiinteillä palavilla absorbaattoreilla ja säätösauvoilla. Yhdysvaltalaisista tarpeista lähtevä poistopalama ylittää suomalaiset turvallisuusrajat merkittävästi.

Turbiinilaitos tulisi ilmeisesti olemaan samanlainen kuin nykyisissä kiehutusreaktoreissa, kuitenkin sillä erotuksella että reaktoriturvallisuuden kannalta oleelliset turbiinilaitoksen häiriöistä käynnistyvät suojaustoiminnot voidaan toteuttaa suoraviivaisemmin kuin nykyään suomalaisissa kiehutusreaktoreissa.

Keskeiset turvajärjestelmät on toteutettu nykylaitoksista tutulla tavalla:

- reaktiivisuus: tehotaso säädetään aktiivijärjestelmillä säätösauvat (sähkömoottoriohjaus) ja pääkiertopumput, kuten nykyisissäkin kiehutusreaktoreissa; pikasulku tehdään hydraulisesti säätösauvoilla ja varmennetaan aktiivisella sähkömoottoriajolla, rinnakkaisena sammutusjärjestelmänä käytettävissä on myös N+1 yksittäisvikakes- toinen aktiivinen boorausjärjestelmä
- jäähdytys ja jälkilämmön poisto:
 - aktiivijärjestelmänä pumppuihin ja lämmönvaihtimiin perustuva 3x100% reaktorin jälkilämmönpoistojärjestelmä
 - passiivisena järjestelmänä reaktoria jäähdyttävät luonnonkierrolla toimivat ns. eristyslauhduksimet (3x noin 50%)
 - reaktorin paineenalennusta varten on 18 varo/puhallusventtiiliä, joista muutama voi toimia eri periaatteella kuin muut
 - mahdollisten primääripiirin putkikatkojen hallitsemiseksi reaktori on varustettu aktiivisilla 3x100% hätäjäähdytysjärjestelmillä jotta kuinkin nykyisten kiehutus-

- vesireaktorilaitosten tapaan; yksi osajärjestelmä olisi höyrykäyttöinen ja siten erilainen kuin muut (sähkökäyttöiset) osajärjestelmät
- suojarakennus on perustyyppiltään kiehutuslaitoksissa nykyäänkin tavanomainen lauhdutusaltaalla varustettu paineenalennussuojarakennus. Sen jälkilämmönpoisto tapahtuu aktiivisesti käyttäen samaa 3x100% jälkilämmönpoistojärjestelmää kuin reaktori

Hätäjärjestelmät näyttävät täyttävän YVL-ohjeiston vika- ja erilaisuuskriteerit eräitä poikkeamia (boorausjärjestelmä) lukuun ottamatta; lopullinen varmuus tästä saataisiin järjestelmäsuunnittelun yksityiskohtaisessa läpikäynnissä.

Varautuminen vakaviin onnettomuuksiin tulisi perustumaan sydänsulan jäähtymiseen reaktorikuopassa. Jäähtymisen edesauttamiseksi reaktorikuopan ja sen viereisen lauhdutusaltaan välisessä seinässä on passiivisesti aukeavia tulvitusventtiileitä. Reaktorikuoppa on suureen sulamäärään nähden ahdas. Kansainvälisissä, laajoissa tutkimuksissa on kokeellisesti ja teoreettisesti yritetty osoittaa betonilattialle levinneen sydänsulan jäähdytettävyyttä, mutta toistaiseksi turhaan.

Suojarakennuksessa on käytön aikana typpi-ilmakehä, joten vetypalot eivät ole siellä mahdollisia tehoajolta alkavissa onnettomuuksissa. Primäärisuojarakennus on kuitenkin mitoitettu niin ahtaaksi, että 100% vedynkehityksen hallintaa varten on suunniteltu erillinen teräksinen ”varastorakennus”, johon liika kaasunpaine voidaan purkaa. Vakavan onnettomuuden aikainen suojarakennuksen jäähdytys tapahtuisi aktiivisilla ulkoisilla järjestelmillä.

Seisokin aikana tapahtuvia onnettomuuksia varten ei tässä laitostyyppissä ole erikseen varauduttu.

Ylipääsemättömiä periaatteellisia turvallisuusteknisiä esteitä tämän laitostyyppin hyväksymiselle Suomessa ei ole ilmennyt. Useat suunnitteluyksityiskohdat vaativat kuitenkin lisätyötä (mm. eräät järjestelmäsuunnittelun piirteet, kuten reaktorin boorausjärjestelmän kapasiteetti ja vikasietoisuus, sekä hätäjäähdytyksen jälleenkierätykset). Vakavan reaktorionnettomuuden hallinta kokonaisuutena hyväksyttävällä tavalla ja riittävän suojarakennustoiminnon takaaminen seisokkien aikana vaativat merkittävästi lisätyötä.

BWR 90+

Kyseessä on Westinghouse Atom:in (entinen Asea Atom, sittemmin ABB Atom, nyt BNFL:n omistuksessa) tarjoama 1500 MWe teholle suunniteltu kiehutusvesireaktori. BWR 90+ perustuu Asea Atomin aikaisempien kiehutuslaitosten teknologiaan ja on perussuunnittelultaan ns. aktiivinen evoluutiolaitos, eli aktiivisin turvallisuusjärjestelmän varustettu, perusteknologiasta lähtien parannettu laitostyyppi. Suojarakennus on kiehutuslaitoksille tavanomainen lauhdutusaltaallinen paineenalennussuojarakennus, jonka mitoituksessa on kuitenkin otettu alusta asti huomioon vakavien onnettomuuksien hallinnan asettamat vaatimukset.

Reaktori on sisäisillä pääkiertopumpuilla varustettu kiehutusvesireaktori, joka toiminnallisilta parametreiltaan ja ominaisuuksiltaan vastaa nykyisiä suuria kiehutusvesireaktoreita. Sama koskee polttoaine- ja sydänsuunnittelun turvallisuuspiirteitä, parannusta nykyisiin suuritehoisiin kiehutusreaktoreihin ei ole haettu. Reaktiivisuus hallitaan käytöksen aikana kiinteillä palavilla absorbaattoreilla ja säätösauvoilla.

Turbiinilaitos tulisi ilmeisesti olemaan samanlainen kuin nykyisissä kiehutusreaktoreissa, kuitenkin sillä erotuksella että reaktoriturvallisuuden kannalta oleelliset turbiinilaitoksen häiriöistä käynnistyvät suojaustoiminnot voidaan toteuttaa suoraviivaisemmin kuin nykyään suomalaisissa kiehutusreaktoreissa on laita.

Keskeiset turvajärjestelmät on toteutettu nykylaitoksista periaatteessa tutulla tavalla, mutta painottaen enemmän erilaisuutta (diversiteettiä) kuin moninkertaisuutta (redundanssia):

- reaktiivisuuden hallinta: tehotaso säädetään aktiivisesti säätösauvoilla (sähkömoottorikäytöllä) ja pääkiertopumpuilla, kuten nykyisissäkin kiehutusreaktoreissa; pikasulku tehdään hydraulisesti säätösauvoilla, varmennetaan aktiivisesti sähkömoottoriajolla, ja rinnakkaisena sammutusjärjestelmänä käytettävissä on kaasunpaineella toimiva boorinsyöttöjärjestelmä
- jäähdytys ja jälkilämmön poisto:
 - passiivisena järjestelmänä reaktoria jäähdyttävät luonnonkierrolla toimivat ns. eristyslauhduksimet (2x50%)
 - reaktorin paineenalennusta varten on yhteensä alustavasti 24 varo/puhallusventtiiliä, kolmea eri tyyppiä
 - mahdollisten primääripiirin putkikatkojen hallitsemiseksi reaktori on varustettu aktiivisilla hätäjähdytysjärjestelmillä jotakuinkin nykyisten kiehutusvesilaitosten tapaan. Pumppujen lukumääristä on kuitenkin tingitty niiden kapasiteetteja nostamalla, toiminta-alueita uudelleen suunnitteleamalla ja voimanlähteitä diversifioimalla. Korkeapaineisia hätäjähdytyspumppuja on kaksi, kummankin kapasiteetti 100% täydessä paineessa ja 50% tilanteissa, joissa reaktorin paine laskee nopeasti, ja voimanlähteenä kaasuturbiinin pyörittämä generaattori. Matalapaineisia pumppuja on myös kaksi 100%:n pumppua, voimanlähteenä dieselgeneraattori. Lisäksi hätäjähdytykseen voidaan käyttää erillistä kaasuturbiini-

käyttöistä "apusyöttövesijärjestelmää", joka vastaa kapasiteetiltaan yhtä korkeapainepumppua, mutta joka on kauttaaltaan turvallisuusluokiteltu normaalikäytön järjestelmäksi

- suojarakennus on perustyyppiltään kiehutuslaitoksissa nykyäänkin tavanomainen lauhdutusaltaalla varustettu paineenalennussuojarakennus; sen jälkilämmönpoisto tapahtuu aktiivisesti omalla 4x50%:n jälkilämmönpoistojärjestelmällään, diversifioiduin voimanlähtein (dieselgeneraattorit ja kaasuturbiinigeneraattorit)

Hätäjärjestelmät näyttävät täyttävän YVL-ohjeiston vika- ja erilaisuuskriteerit; lopullinen varmuus tästä saataisiin järjestelmäsuunnittelun yksityiskohtaisessa läpikäynnissä. Erilaisuusperiaatteen korostaminen rinnakkaisuuden lisäksi, varsinkin aktiivijärjestelmien voimanlähteiden osalta, edustaa edistyksellistä turvallisuusajattelua.

Varautuminen vakaviin onnettomuuksiin tulisi perustumaan sydänsulan jäähdyttämiseen reaktorikuopan pohjalle asennetussa sydänsiepparissa, jota lauhdutusaltaan vesi jäähdyttää ulkopuolelta. Sieppari voidaan tulvittaa myös päältä päin. Periaate on lupaava ja sydänsiepparin toiminnan luotettavuus on STUK:n alustavan arvion mukaan osoitettavissa ainakin ulkopuolelta jäähdyttämisen osalta.

Suojarakennuksessa on käytön aikana typpi-ilmakehä, joten vetypalot eivät ole siellä mahdollisia tehoajolta alkavissa onnettomuuksissa. Primäärisuojarakennus ja sen tilajako on mitoitettu niin väljiksi, että menestyksellistä vedynhallintaa voidaan pitää hyvin todennäköisenä 100% vedynkehitykselläkin. Vakavan onnettomuuden aikainen suojarakennuksen jäähdytys tapahtuisi erillisillä ulkopuolisilla aktiivisilla järjestelmillä.

Suojarakennuksen suunnittelussa on pyritty varautumaan myös latausseisokkien aikana mahdolliseksi arvioituihin onnettomuustilanteisiin. Reaktorin alapuoliset tilat on mitoitettu siten, että latausaltaan vesi riittää tulvittamaan reaktorisydämen, ja vuotoreitit suojarakennuksesta ulos on kokonaan eliminoitu reaktorisydämen yläreunan alapuolelta. Tilanteen pitkäaikaisempi hallinta tulvituksen jälkeen vaatii vielä lisää suunnittelua.

Periaatteellisia turvallisuusteknisiä esteitä tämän laitostyyppin hyväksymiselle Suomessa ei ole ilmennyt. Eräät suunnitteluyksityiskohdat, kuten reaktorin hätäjäähdytyksen jälleekierrätys, vaativat kuitenkin lisäsuunnittelua. Riittävän suojarakennustoiminnon takaaminen seisokkien aikana vaatii lisätyötä. Vakavan reaktorionnettomuuden aikana reaktorista mahdollisesti purkautuvan sydänsulan pitkäaikaiseen jäähdyttämiseen tarkoitettu sydänsiepparikonsepti vaikuttaa sinänsä lupaavalta, mutta sen toiminnan osoittaminen vaatii vielä varmentavaa tutkimuspanosta.