

**TODENNÄKÖISYYSPOHJAISET TURVALLISUUSANALYYSIT (PSA) YDIN-
VOIMALAITOKSEN LUPAKÄSITTELYSSÄ JA KÄYTÖN VALVONNASSA****SISÄLLYSLUETTELO**

sivu

MÄÄRITELMIÄ	3
1 JOHDANTO	4
2 PSA:N TARKOITUS JA AJOITUS	6
2.1 Pienois-PSA	6
2.2 PSA	7
2.3 PSA:n pitäminen ajan tasalla	8
2.4 PSA:n tulosten hyödyntäminen käytön aikana	9
2.5 Erityistapaukset	9
3 PSA:N LAAJUUS, SISÄLTÖ JA MENETELMÄT	11
3.1 PSA:n laajuus	11
3.2 PSA:n sisältö	12
3.3 Menetelmät	14
4 TODENNÄKÖISYYSPOHJAISET TURVALLISUUSTAVOITTEET	15
4.1 PSA:n tulosten vertaileva käyttö	15
4.2 Turvallisuustoimintojen luotettavuuden numeeriset suunnittelutavoitteet	16
5 KIRJALLISUUTTA	17

Helsinki 1987
Valtion painatuskeskusISBN 951-47-1058-4
ISSN 0783-2338

MÄÄRITELMIÄ

PSA (Probabilistic safety assessment) on yleiskäsite, jolla tarkoitetaan minkä tahansa laajuista todennäköisyyspohjaista turvallisuusanalyysiä.

PRA (Probabilistic risk assessment) tarkoittaa laajaa todennäköisyyspohjaista riskianalyysiä, joka sisältää arvion radioaktiivisten päästöjen vaikutuksista ympäristölle, omaisuudelle ja ihmisille. Riskillä tarkoitetaan seurausten ja todennäköisyyden tuloa.

PSA:n tasoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä laajan riskianalyysin osatehtäviä. Taso 1 merkitsee riskianalyysin ensimmäistä osaa, jolla analysoidaan reaktorisydämen vaurioitumistodennäköisyyttä. Taso 2 merkitsee sydämen sulamista, onnettomuuden etenemistä ja radioaktiivisten aineiden pääsemistä suojarakennuksesta ympäristöön analysoivaa osaa. Taso 3 merkitsee osuutta, jolla selvitetään radioaktiivisten päästöjen aiheuttamaa ympäristöriskiä.

Pienois-PSA tarkoittaa alustavaa, laajuudeltaan rajoitettua todennäköisyyspohjaista turvallisuusanalyysiä. Pienois-PSA sisältää tärkeimpien turvallisuustoimintojen yksinkertaistetut luotettavuusanalyysit ja eräät tärkeimmistä alkutahtumista johdetut onnettomuusketjut.

Suppea PSA:n taso 2 sisältää tärkeimpien onnettomuusketjujen analysoinnin alkaen sydämen sulamistapahtumasta ja päättyen suojarakennuksesta ympäristöön pääsevien radioaktiivisten aineiden määrän ja siihen liittyvän ehdollisen todennäköisyyden määrittämiseen.

PSA:n päivittäminen tarkoittaa analyysin saattamista vastaamaan sen hetkistä laitospolitiikkaa ja/tai tietokantaa.

Turvallisuustoiminto tarkoittaa onnettomuuden estämiseen tai seurausten lieventämiseen liittyvää toimintokokonaisuutta. Tällaisia toimintoja ovat mm. reaktorin tekeminen alikriittiseksi, riittävän jäähdytemäärän ylläpito reaktorissa, reaktorin jäähdytyspiirin paineen alentaminen ja jälkilämmön poistaminen reaktorisydäimestä ja suojarakennustoimintojen ylläpito.

Alkutapahtuma on yksittäinen tapahtuma, jonka vaikutuksesta laitos tai sen osa joutuu pois normaalista käyttötilasta. Alkutapahtuma voi olla laitoksen sisäinen tai ulkoinen tapahtuma esim. laitevika, luonnonilmiö tai ihmisen toiminnasta johtuva vaaratilanne.

Turvallisuusjärjestelmä tarkoittaa tässä ohjeessa turvallisuustoiminnon käynnistämiseen tai välittömään ylläpitämiseen suunniteltua järjestelmää.

Tukijärjestelmä tarkoittaa järjestelmää, jonka tarkoituksena on yleensä turvallisuus- tai prosessijärjestelmän päätoiminnan tukeminen esim. sähkönsyötön, jäähdytyksen, voitelun tai säätötoimenpiteiden avulla.

Prosessijärjestelmä tarkoittaa laitoksen normaalikäytön ylläpitämiseksi suunniteltua nestettä tai kaasua sisältävää järjestelmää. Useilla prosessijärjestelmillä on myös turvallisuusmerkitystä ja niitä voidaan eräissä tapauksissa käyttää turvallisuusjärjestelmän apuna onnettomuustilanteissa.

Korvaava järjestelmä tarkoittaa tässä yhteydessä sellaista prosessijärjestelmää, joka on suunniteltu avustamaan tai tarvittaessa korvaamaan turvallisuusjärjestelmää onnettomuustilanteessa.

1 JOHDANTO

Tässä ohjeessa esitetään, miten todennäköisyyspohjaisia turvallisuusanalyysyjä käytetään kevytvesireaktorilla varuste-

tun ydinvoimalaitoksen suunnittelun, rakentamisen ja käytön aikana varmistamaan, että laitoksen turvallisuustoiminnot tapahtuvat riittävän luotettavasti.

Todennäköisyyspohjaisia analyyskejä ja deterministisiä turvallisuusanalyyskejä käytetään rinnakkain niin, että menetelmät täydentävät toisiaan laitoksen turvallisuuden arvioinnissa. Deterministisillä analyysseillä osoitetaan, että järjestelmät ja laitteet täyttävät niille asetetut tehtävät. Analyysseissä käytettävät oletukset laitteiden kuormituksista, järjestelmien toiminta-arvoista ja järjestelmien suorituskykyä heikentävistä vioista määritellään laitteiden ja järjestelmien suunnitteluperusteissa. Koska deterministisissä analyysseissä ei arvioida riskejä kvantitatiivisesti, niiden tuloksena ei saada arviota laitoksen kokonaisriskistä tai laitossuunnittelun tasapainoisuudesta. Deterministisiä turvallisuusperiaatteita ja analyyskejä käsitellään ohjeissa YVL 1.0 ja 2.2 /1, 2/.

Säteilyturvakeskus (STUK) käyttää todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin yhteydessä määritettävien onnettomuusketjujen todennäköisyyttä myös sen arvioimiseen, että ohjeen YVL 2.2 mukaiset analyysit riittävän hyvin kattavat laitoksen erityyppiset häiriö- ja onnettomuustilanteet.

Todennäköisyyspohjaisilla analyysseillä tutkitaan kvantitatiivisesti ydinvoimalaitoksen käyttöön liittyviä riskejä. Näillä menetelmillä arvioidaan onnettomuuksien estämiseen tai lieventämiseen suunniteltuja toimintokokonaisuuksia, joihin saattaa liittyä useita turvallisuus-, tuki- ja korvaavia järjestelmiä. Tämä on tarpeen, koska kaikissa tilanteissa ei ole selvää, että järjestelmät, jotka on suunniteltu varmistamaan laitoksen turvallisuutta oletettujen onnettomuuksien alkutapahtumien yhteydessä, kykenisivät hoitamaan myös muunlaiset vaarattomammilta vaikuttavat häiriö- ja onnettomuustilanteet.

Todennäköisyyspohjaisilla tutkimusmenetelmillä on voitu osoittaa, että suurimpia riskitekijöitä eivät yleensä ole vaarallisimmilta vaikuttavat onnettomuuden alkutapahtumat /3, 4, 5, 6, 7/. Riskin kannalta merkittävimpiä voivat olla tavallisista käyttöhäiriöistä alkavat tapahtumaketjut. Tämä johtuu siitä, että vakavimpien alkutapahtumien esiintymistajuus on usein hyvin pieni häiriötyyppiin alkutapahtumiin verrattuna ja niiden torjunta on suoraviivaisempaa. Monet vähäisemmät häiriöt saattavat johtaa suureen määrään onnettomuuden etenemismahdollisuuksia johtuen ohjaajien mahdollisista virhetoiminnoista käyttöhäiriön yhteydessä.

Todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi liitetään lupakäsittelyyn /8/ esisuunnittelusta alkaen siten, että turvallisuusanalyysin taso ja syvyys suunnitellaan kulloiseenkin suunnittelu-, rakentamis- tai käyttövaiheeseen sopivaksi.

2 PSA:N TARKOITUS JA AJOITUS

2.1 Pienois-PSA

Voimayhtiön on toimitettava STUK:lle rakentamista koskevan lupahakemuksen käsittelyä varten alustava todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi, jota seuraavassa kutsutaan pienois-PSA:ksi. Pienois-PSA:n hyväksyttävyyys on yksi edellytys myönteisen lausunnon antamiselle rakentamislupaa koskevasta hakemuksesta. STUK arvioi tarvitsevansa pienois-PSA:n käsittelyä varten aikaa n. puoli vuotta. STUK laatii ennen rakentamislupaa koskevan lausunnon antamista pienois-PSA:n tarkastamiseen perustuvan arvion laitoksesta.

Pienois-PSA sisältää PSA:n tasoon 1 liittyvät analyysit. Pienois-PSA perustuu ydinvoimalaitoksen esisuunnitteluvaiheen laitossuunnitelmaan ja siinä tarkastellaan tärkeimpiä alkutapahtumia.

Pienois-PSA:n tarkoituksena on tukea esisuunnittelua siten, että tasapainoton suunnittelu voidaan välttää. Pienois-PSA:n tarkoitus ei ole laitoksen riskitason määrittäminen, vaan turvallisuus-, tuki- ja korvaavien järjestelmien välisten kytkentöjen ja vuorovaikutusten sekä yhteisten vianaiheuttajien ja muiden heikkojen kohtien tiedostaminen. Kyseisen tavoitteen toteuttamisessa kvalitatiivisilla PSA-menetelmillä on keskeinen osuus.

Pienois-PSA:n yhteydessä tehdyillä arvioilla on tarkoitus myös varmistaa, että tässä ohjeessa (kohta 4.2) asetetut turvallisuustoimintojen luotettavuustavoitteet saavutetaan. Onnettomuusketjuihin ja turvallisuustoimintoihin liittyvät turvallisuuden kannalta tärkeät kohdat selvitetään ja suunnittelulla varmistetaan, että tärkeimpien turvallisuustoimintojen korkea luotettavuus voidaan käytönkin aikana ylläpitää.

Koska pienois-PSA tehdään suunnittelutyön aikana, ovat monet järjestelmäsuunnitelmat vielä kesken. Sen tähden järjestelmien luotettavuuden analysoinnissa keskitytään kunkin järjestelmän ja järjestelmien välisten vuorovaikutusten kannalta tärkeimpiin laitteisiin ja toimintoihin. Pienois-PSA:n yhteydessä asetetaan myös suunnittelemattomien järjestelmien luotettavuudelle riittävät tavoitteet. Ne määrittävät osaltaan tärkeimpien turvallisuustoimintojen vähimmäisluotettavuuden ja onnettomuusketjujen todennäköisyyden tason.

2.2 PSA

Voimayhtiön on toimitettava tason 1 ja suppean tason 2 sisältävä PSA STUK:lle hyväksyttävyyden arvioimiseksi viimeistään ydinvoimalaitoksen käyttölupaa koskevan hakemuksen yhteydessä ja tason 2 PSA ennen käyttölupalausunnon antamista. Niiden hyväksyttävyys on yksi edellytys myönteisen käyttölupalausunnon antamiselle. STUK arvioi tarvitsevansa tason 2 PSA:n käsittelyä varten aikaa vähintään puoli vuotta.

STUK laati ennen käyttö lupaa koskevan lausunnon antamista PSA:n tarkastukseen perustuvan arvio laitoksen turvallisuudesta, joka on osa kokonaisturvallisuusarviota. Siinä arvioidaan PSA:n osalta laitoksen rakenteellisten seikkojen, käytön ja kunnossapidon sekä hallinnollisten toimenpiteiden merkitystä laitoksen turvallisuuteen.

Tason 1 ja suppean tason 2 sisältävä PSA perustuu rakentamisluvan saaneeseen ajan tasalla pidettyyn laitossuunnitelmaan.

Välittömästi tason 1 ja suppean tason 2 sisältävän PSA:n valmistumisen jälkeen aloitetaan tason 2 PSA:n täydentäminen.

Tason 1 ja 2 PSA:n sisältöä ja vaatimuksia käsitellään yksityiskohtaisemmin ohjeen kohdassa 3.

Kaaviossa 1 on esitetty yhteenveto PSA:n ajoittamisesta ydinvoimalaitoksen suunnittelun, rakentamisen ja käyttöönoton kuluessa.

2.3 PSA:n pitäminen ajan tasalla

PSA ei ole ainoastaan kertaluonteinen, suunnittelu- ja rakentamisaikaan sidottu todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi vaan myös työväline, jolla voidaan valvoa ja ohjata ydinvoimalaitoksen turvallisuutta sen koko käyttöiän ajan. Sitä käyttävät toisaalta voimayhtiö ja toisaalta valvontaviranomainen ratkaistaessa turvallisuusongelmia /9/.

Voimayhtiön on päivitettävä PSA suunnittelun ja rakentamisen aikana aina, jos laitossuunnitelmaa merkittävästi muutetaan. Voimayhtiöltä edellytetään lisäksi käyttökokemusten ja turvallisuuteen vaikuttaviin järjestelmiin liittyvän tietokannan jatkuvaa keräämistä, seurantaa ja

analysointia sekä PSA:n päivittämistä vastaamaan käyttökokemuksia.

Voimayhtiön tulee ylläpitää hyväksyttävää turvallisuustasoa jatkuvasti käytön aikana ja osoittaa se PSA-menetelmiä käyttäen STUK:n edellyttämällä tavalla.

2.4 PSA:n tulosten hyödyntäminen käytön aikana

Reaktorionnettomuuksien välttämiseksi ja niiden seurausten lieventämiseksi tulee PSA:n tuloksia käyttää hyväksi käyttöhenkilökunnan koulutuksessa, simulaattorikoulutuksessa ja hätätilanneohjeiden laadinnassa.

2.5 Erityistapaukset

Jos sarjatuotantolaitokselle on jo olemassa todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi, voidaan sitä käyttää hyväksi siltä osin kuin se vastaa rakennettavaa laitosta ja tämän YVL-ohjeen vaatimuksia. Jos tällöin on tehty esimerkiksi täydellinen tason 1 PSA, ei pienois-PSA:n suorittaminen ole enää tarpeellista, mutta tason 2 PSA tulee tehdä tämän YVL-ohjeen mukaisesti.

Periaatepäätös ydinvoimalaitoksen rakentamisesta

Pienois-PSA:n aloitus

Rakentamislupahakemus

Pienois-PSA toimittaminen STUK:lle

Pienois-PSA:n hyväksyttävyyden arviointi STUK:ssa

STUK:n arvio

Rakentamislupa

Tason 1 ja suppean tason 2 sisältävä

PSA alkaa

Käyttölupa-
hakemus

Tason 1 ja suppean tason 2 sisältävän

PSA:n toimittaminen STUK:lle

Tason 2 PSA:n täydentäminen alkaa

Tason 1 ja suppean tason 2 sisältävän PSA:n
hyväksyttävyyden arviointi STUK:ssa

Täydennetyn tason 2 PSA:n toimittaminen STUK:lle

Tason 2 PSA:n hyväksyttävyyden arviointi STUK:ssa
STUK:n arvio

Käyttölupa

PSA:n päivittäminen

PSA:n käyttö henkilökunnan koulutuksessa

Kaavio 1 PSA-tutkimusten ajoittaminen

3 PSA:N LAAJUUS, SISÄLTÖ JA MENETELMÄT

3.1 PSA:n laajuus

Tason 1 PSA sisältää reaktorisydämen vaurioitumiseen johtavien onnettomuusketjujen määrittämisen ja niiden todennäköisyyden laskemisen. Tason 1 PSA-tutkimus sisältää myös suojarakennuksen ohitusketjut.

Tason 2 PSA sisältää lisäksi reaktorionnettomuuden fysikaalisen etenemisen ja ajoittumisen arvioinnin, suojarakennuksen ja järjestelmien välisen vuorovaikutuksen selvittämisen ja radioaktiivisten päästöjen määrän analysoinnin ja todennäköisyyden arvioinnin.

Alkutapahtumista otetaan huomioon laitoksen sisäisistä vioista ja häiriöistä alkavat tapahtumat, ulkoisen sähköverkon menetys, tulipalot ja tulvat.

Suunnitteluvaiheen aikana tehtävässä pienoys-PSA:ssa analysoidaan muutamat tärkeimmistä alkutapahtumista laitos-tyypistä riippuen. Tyypillisiä esimerkkejä ovat

- transientit, joihin liittyy päälämpönielun tai syöttöveden menetys,
- ulkoisen sähköverkon menetys,
- reaktorijäähdytteen pieni vuoto ja
- käyttöhäiriöt, joiden yhteydessä reaktorin pikasulku ei onnistu (ns. ATWS-tapahtumat).

Selvityksessä käsitellään myös alkutapahtuman ja turvallisuustoimintojen väliset riippuvuudet. Alkutapahtumia määritettäessä otetaan huomioon alkutapahtuman mahdollinen vaikutus turvallisuusjärjestelmien tai niiden tukijärjestelmien toimivuuteen, esimerkkeinä reaktorijäähdytteen vuoto primääripiiriin liittyvän järjestelmän kautta tai viat tukijärjestelmissä, jotka johtavat myös turvallisuusjärjestelmien epäkuntoisuuteen. Tällaisten riippuvuuksien

selvittäminen on tarpeen onnettomuuden todellisen luonteen ja alkutilanteen ymmärtämiseksi. Myös oikeiden vastatoimenpiteiden valitseminen alkutapahtuman seurausten estämiseksi tai lieventämiseksi edellyttää tällaisten riippuvuuksien tunnistamista. Riippuvuuksien tunnistaminen on tärkeää ryhmiteltäessä alkutapahtumia ryhmiin, joille vastatoimenpiteiden arvioidaan olevan samanlaisia.

Viitteissä 10, 11 ja 12 esitetään menettelytapoja alkutapahtumien analysoimiseksi.

3.2 PSA:n sisältö

PSA:n sisältö tulee jäsenellä siten, että asiat ovat johdonmukaisesti jäljitettävissä olettamuksista lopputuloksiin asti.

Tason 1 PSA sisältää seuraavat asiakokonaisuudet:

- yleiskuvaus laitoksesta alustavan turvallisuusselosteen perusteella
- alkutapahtumien määrittäminen
- turvallisuus- ja tukijärjestelmille valittujen onnistumiskriteerien määrittämisessä käytetyt fysikaaliset, lähinnä termohydrauliset, menetelmät
- turvallisuus- ja tukijärjestelmien yksityiskohtainen kuvaus ja selvitys niiden välisistä riippuvuuksista
- alkutapahtumien ryhmittely sellaisiin tapahtumaluokkiin, joiden seurauksena syntyvien onnettomuustapausten vastatoimenpiteet suoritetaan samalla tavalla
- tapahtumapuiden laatiminen alkutapahtumaluokille
- alkutapahtumien esiintymistiheyden arviointi
- onnettomuusketjujen määrittely tapahtumapuun haaroihin liittyviä termohydraulisia analyysejä hyväksi käyttäen
- järjestelmien, laitteiden ja käyttö- ja kunnossa-

pitohenkilöstön toimenpiteiden välisten riippuvuuksien ja yhteisvikojen selvittäminen ja liittäminen onnettomuusketjuihin joko tapahtumapuun tai vikapuun osana

- onnettomuustilanteessa vikaantuneiden järjestelmien tai laitteiden toipumis- ja korjausmahdollisuuksien analysointi harkinnan mukaan
- vikapuuanalyysi järjestelmä-/toimintokuvauksineen
- luotettavuustietojen analysointi joko Bayes-tyypisen tai klassisen analyysin avulla, pohjana joko yleinen tietokanta tai vastaavien laitosten käyttökokemukset
- kvantitatiivinen todennäköisyysanalyysi siten, että tärkeimmät lopputulokseen vaikuttavat tekijät tulevat esiin
- epävarmuusanalyysi, joka sisältää tietokannasta johtuvan epävarmuuden kvantitatiivisen analyysin reaktorisydämen vaurioitumistodennäköisyydelle ja tärkeimpien onnettomuusketjujen todennäköisyydelle, laskentamallin epävarmuuden kvalitatiivisen analyysin ja PSA:n täydellisyyden arvioinnin
- tärkeimpien järjestelmien herkkyysanalyysi
- tulokset ja niiden arviointi
- johtopäätökset.

Tason 2 PSA:ssa esitetään lisäksi seuraavat asiat:

- suojarakennuksessa onnettomuuden edetessä tapahtuvien ilmiöiden ja turvallisuusjärjestelmien välisen vuorovaikutuksen arviointi, esim. suojarakennuksen murtumisen vaikutus hätäjähdytyspumppujen kavitoimiseen, veden jakautuminen suojarakennuksessa, vetypalojen vaikutus jne.
- eri onnettomuusketjuihin liittyvien reaktorisydämen vaurioitumistapahtumien ja niiden ajoituksen arviointi
- reaktoripaineastian rikkoutumismekanismien ja niiden ajoittumisen analysointi

- sulan reaktorisydämen käyttäytymisen arviointi ja sydämen ja ympäristön välisten reaktioiden analysointi sekä vaurioituneesta sydäimestä suojarakennukseen vapautuvien radionuklidien määrän arviointi erilaisille onnettomuusketjuille
- suojarakennuksen vuotomekanismien ja niiden ajoittumisen analysointi esim. äkillisen paineen nousun, missiilin, läpisulamisen, hitaasti tapahtuvan paineen nousun, korkean lämpötilan tai suojarakennuksen eristysvirheen takia
- radionuklidien vapautumismäärien, vapautumistapojen ja reittien arviointi erilaisissa suojarakennuksen rikkoutumisvaihtoehdoissa ja vastaavan todennäköisyyden arviointi
- onnettomuuden etenemiseen liittyvien epävarmuuksien arviointi mukaanluettuna käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön toimintamahdollisuudet
- reaktorisydämen vaurioitumiseen johtavien onnettomuusketjujen ja ns. suojarakennusketjujen yhdistäminen ja radioaktiivisten ympäristöpäästöjen todennäköisyyden ja sen epävarmuuden arviointi
- tulosten esittäminen ja arviointi
- johtopäätökset.

3.3 Menetelmät

Epävarmuuksien arviointi on PSA:n keskeinen osa. PSA-menetelmiin väistämättä liittyvä epävarmuus on osittain peräisin käyttökokemuksiin liittyvästä tilastollisesta epävarmuudesta, osittain menetelmiin liittyvien oletusten epävarmuudesta. Tärkeimmät epävarmuutta aiheuttavat tekijät liittyvät inhimillisten virheiden, riippuvuuksien ja yhteisvikojen tietokantaan ja mallintamiseen sekä vakavien onnettomuuksien yhteydessä tapahtuvien ilmiöiden ymmärtämiseen.

Ehdottomia vaatimuksia tiettyjen menetelmien käyttämiselle ei esitetä, vaan painotetaan enemmän pyrkimystä olennaisimpien asioiden selvittämiseen.

PSA:han liittyvät analysointimenetelmät ovat tason 1 osalta suurimmaksi osaksi vakiintuneita /10, 11, 12/. Käytettäväksi aiotut menetelmäkuvaukset tulee toimittaa STUK:lle ennen analyysin aloittamista.

Tasoon 2 liittyviä analysointimenetelmiä ja analysoitavia onnettomuusketjuja koskevat suunnitelmat tulee toimittaa STUK:lle ennen analyysin aloittamista.

4 TODENNÄKÖISYYSPOHJAISET TURVALLISUUSTAVOITTEET

4.1 PSA:n tulosten vertaileva käyttö

Ydinvoimalaitosten yleinen suunnittelutavoite on, että reaktorisydämen vaurioitumisen todennäköisyys ja radioaktiivisten aineiden päästöt onnettomuustilanteessa suojarakennuksesta ympäristöön ovat erittäin pieniä /1/.

Onnettomuusketjuihin liittyvälle reaktorisydämen vaurioitumistodennäköisyydelle ei aseteta kiinteää hyväksymisrajaa. Sensijaan eri onnettomuusketjuihin liittyviä todennäköisyyksiä verrataan toisiinsa. Vertailun perusteella harkitaan, tarvitaanko toimenpiteitä sydämen vaurioitumistodennäköisyyden ja radioaktiivisten ympäristöpäästöjen todennäköisyyden pienentämiseksi.

Edelleen on vertailtava toisiinsa tärkeimpiin onnettomuusketjuihin liittyviä radioaktiivisten päästöjen määriä ja todennäköisyyksiä. Yhtenä hyväksymisperusteena on erittäin vähäinen todennäköisyys sellaisille onnettomuusketjuille, joista aiheutuva päästö ylittää ohjeessa YVL 7.1 /13/ esitetyt onnettomuustilanteita koskevat rajat. Tällaisille onnettomuusketjuille on tunnusomaista, että suojarakennus ei toimi suunnitellulla tavalla.

4.2 Turvallisuustoimintojen luotettavuuden numeeriset suunnittelutavoitteet

Turvallisuusjärjestelmiin liittyvänä yleisenä vaatimuksena on, että niiden suunnittelussa ja rakentamisessa käytetään edistynyttä, kuitenkin koeteltua ja mahdollisimman luotettavaa tekniikkaa /1/.

Tärkeimpien turvallisuustoimintojen korkean luotettavuuden varmistamiseksi edellytetään lisäksi, että toimintojen epäluotettavuus alittaa seuraavat suunnittelutavoitteet vähintään 90 % varmuudella:

<u>Turvallisuustoiminto</u>	<u>Epäonnistumistodennäköisyys/</u> <u>vaade</u>
Reaktorin pikasulku	10^{-5}
Suojarakennuksen eristäminen (sisältää putkijohdot, jotka ovat osa reaktorin primääripiiriä tai yhteydessä suoraan suojarakennuksen avoimeen sisätilaan ja lävistävät suojarakennuksen)	5×10^{-3}
Syöttöveden ylläpito kun ulkoinen verkko on menetetty tai pääsyttö-vesijärjestelmä ei toimi	10^{-4}
Hätäjäähdytyksen ja kierrätysvaiheen toiminta reaktorijäähdytteen pienen vuodon tapauksessa	10^{-4}
Reaktorin nopea paineenalennus yhdessä suojarakennuksen lauhdutusaltaan pitkän aikavälin jäähdytyksen kanssa (BWR)	10^{-4}

Turvallisuustoimintojen epäonnistumistodennäköisyyden laskemiseen käytetään saman tyyppisten laitosten käyttökokemuksia ja tietokantaa. Jos tällaista tietokantaa ei ole saatavissa, käytetään yleistä tietokantaa. Tietokan-

nan varmuusrajojen määrittämiseksi voidaan käyttää vaihtoehtoisesti joko Bayes'n menetelmää tai klassisia menetelmiä /12/. Luotettavuuteen vaikuttavat riippuvuudet järjestelmien ja komponenttien välillä sisällytetään analyysiin.

5 KIRJALLISUUTTA

1. YVL 1.0 Ydinvoimalaitosten suunnittelussa noudatettavat turvallisuusperiaatteet
2. YVL 2.2 Ydinvoimalaitosten teknisten ratkaisujen perustelemiseksi tehtävät häiriö- ja onnettomuusanalyysit
3. YVL 2.7 Vikakriteerit kevytvesireaktorilla varustetun ydinvoimalaitoksen suunnittelua varten.
4. NUREG-1050, "Probabilistic Risk Assessment (PRA), Reference Document", Final Report, September 1984
5. NUREG-0933, "Prioritization of Safety Issues", December 1983
6. R. Bernero; "Source Terms", ACRS PRA meeting, US NRC, March 1984
7. NUREG-1070, NRC Policy on Future Reactor Designs: Decisions on Severe Accident Issues in Nuclear Power Plant Regulation, USNRC, July 1985
8. YVL 1.1 Säteilyturvallisuuslaitos ydinvoimalaitosten valvontaviranomaisena
9. IAEA-TECDOC-308, "Survey of Probabilistic Methods in Safety and Risk Assessment for Nuclear Power Plant Licensing", Vienna 1984

10. NUREG/CR-2815, "Probabilistic Safety Analysis Procedures Guide", January 1984
11. NUREG/CR-2728, "Interim Reliability Evaluation Program Procedures Guide", January 1983
12. NUREG/CR-2300, "PRA Procedures Guide"; Vol 1-2, Final Report, January 1983
13. YVL 7.1 Ydinlaitosten ympäristön säteilyaltistuksen rajoittaminen