



## YDINVOIMALAITOSTEN TEKNISTEN RATKAISUJEN PERUSTELEMISEKSI TEHTÄVÄT HÄIRIÖ- JA ONNETTOMUUSANALYYSIT

### SISÄLLYSLUETTELO

sivu

1	JOHDANTO	3
2	ANALYSOITAVAT TAPAUKSET	6
2.1	Laitoksen käyttäytymistä koskevat analyysit	6
2.2	Päästöjä ja säteilyannoksia koskevat analyysit	9
3	LASKENTAMENETELMÄT	11
4	ANALYYSEISSA KÄYTETTÄVÄT OLETUKSET	12
4.1	Laskentaparametrit	12
4.2	Laitteiden ja ohjaajien toiminta	12
4.2.1	Suojausjärjestelmät	12
4.2.2	Turvajärjestelmät	13
4.2.3	Normaalit käyttöjärjestelmät	13
4.2.4	Ohjaajien toiminta	13
4.2.5	Eri tapausvaihtoehtojen käsittely	14
4.2.6	Vakavien onnettomuuksien seurausten rajoittaminen	15
4.3	Säteilyannoslaskuissa käytettävät oletukset	16
4.3.1	Tapahtumat, joissa säteilyannos aiheutuu primaarijäädytteessä olevista radioaktiivisista aineista	16

Helsinki 1987  
Valtion painatuskeskus

ISBN 951-47-1102-5  
ISSN 0783-2338

4.3.2	Suuresta primaaripiirin murtumasta johtuva jäähdytteen menetys	18
4.3.3	Käytetyn polttoaineen käsittelyonnettomuudet	20
4.3.4	Vakavat reaktorionnettomuudet	22
4.3.5	Radioaktiivisten aineiden leviäminen ympäristöön ja säteilyannoslaskut	23

## 5 TULOKSILLE ASETETTAVAT HYVÄKSYMISVAATIMUKSET 23

5.1	Onnettomuuden varalle suunniteltujen järjestelmien toiminta	24
5.2	Laitoksen ajo turvalliseen tilaan	24
5.3	Jäähdytysjärjestelmän ylipainesuojaus	24
5.4	Polttoaineauriot	24
5.5	Suojarakennuksen kestävyys	26
5.6	Vakavien reaktorionnettomuuksien seurausten rajoittaminen	26
5.7	Päästöt ja säteilyannokset	27

## 6 KIRJALLISUUSVIITTEET 29



## 1 JOHDANTO

Tämä ohje koskee häiriö- ja onnettomuusanalyysseja, jotka edellytetään lupahakemuksen tueksi, kun haetaan lupaa uuden ydinvoimalaitoksen rakentamiseen ja käyttöön.

Ydinvoimalaitosten turvallisuuden varmistamiseen tähtääviä periaatteita esitetään ohjeessa YVL 1.0, Ydinvoimalaitosten suunnittelussa noudatettavat turvallisuusperiaatteet /1/. Keskeisenä periaatteena on varautuminen myös odotettavissa oleviin häiriö- ja oletettuihin onnettomuustilanteisiin. Se edellyttää reaktorin ja sen jäähdytysjärjestelmän suunnittelua siten, että laitoksen pitämiseksi turvallisessa tilassa kyseisissä olosuhteissa on riittävän hyvät lähtökohdat. Se edellyttää myös laitoksen varustamista turvajärjestelmillä, jotka ovat toimintaperiaatteiltaan passiivisia tai jotka käynnistyvät tarvittaessa. Turvallisuustoimintojen kuten reaktorin sammuttamisen, jäähdyttämisen ja jälkilämmön poiston sekä radioaktiivisten aineiden ympäristöön leviämisen estämisen on tapahduttava luotettavasti. Ohjeessa YVL 1.0 edellytetään lisäksi varautumista vakavien reaktorionnettomuuksien mahdollisuuteen.

Tässä ohjeessa tarkoitettujen analyysien avulla tutkitaan laitoksen käyttäytymistä, mahdollisia päästöjä ja niistä aiheutuvia säteilyannoksia ennaltamäärätyissä, suunnittelu- perusteina käytetyissä tilanteissa. Analyysilla perustellaan suunniteltujen teknisten ratkaisujen tarkoituksenmukaisuutta ennalta määriteltyjen turvallisuustehtävien täyttämässä. Tämä merkitsee mm. seuraavien asioiden tutkimista:

- reaktori ja sen jäähdytysjärjestelmä eivät sisällä ominaispiirteitä, jotka pahentamalla analysoitavien häiriöiden tai onnettomuuksien vaikutusta vaikeuttaisivat merkittävästi turvallisen tilan säilyttämistä,
- kunkin tutkittavan tilanteen varalle suunnitellut

turvajärjestelmät täyttävät niille asetetut tehtävät,

- turvajärjestelmien automaattinen käynnistyminen tapahtuu oikeissa tilanteissa ja sopivalla hetkellä,
- suunnittelussa huomioon otettavat tapahtumat eivät aiheuta kuormituksia tai olosuhteita, jotka todennäköisesti johtaisivat lisävaurioihin ja sitä kautta tilanteen pahentumiseen ja
- laitoksen ympäristön säteilyannoksia rajoitetaan riittäväillä järjestelmillä.

Analyysit perustuvat deterministisiin olettamuksiin esiintyvistä vioista ja laitteiden ja järjestelmien toiminnasta. Analyysille on muutoinkin tunnusomaista ns. konservatiivinen käsittelytapa. Tämä merkitsee mm. seuraavia lopputulosta epäedulliseen suuntaan muuttavia valintoja ja oletuksia:

- turvajärjestelmiin oletetaan ilmeisen epätodennäköisiä vikoja,
- epätarkasti tunnetut tai tietyllä välillä normaalisti vaihtelevat laskentaparametrit valitaan mahdollisen vaihteluvälin pahemmasta päästä ja
- laskentamallin puutteet korvataan lopputulosta pahentavilla, analysointia yksinkertaistavilla olettamuksilla.

Konservatiivisen käsittelytavan johdosta tässä ohjeessa tarkoitettut analyysit eivät kuvaa häiriön tai onnettomuuden todennäköisintä kulkua. Tästä syystä on harkittava huolellisesti, missä laajuudessa analyysija voidaan käyttää muihin tarkoituksiin kuin laitoksen tiettyjen teknisten ratkaisujen hyväksyttävyyden arviointiin.

Koko ydinvoimalaitoksen turvallisuuden kvantitatiivinen arviointi, häiriö- ja hätätilanneohjeiden laadinta, laitospaikan hyväksyttävyyden arviointi sekä ympäristön pelastus-



palvelun suunnittelu edellyttävät analyysseja, joissa käsittelytapa ja kattavuus ovat erilaiset kuin tämän ohjeen tarkoittamissa analyysseissa. Sellaisia analyyssejä sisällytetään osaksi ns. PSA-analyysia, jota käsitellään ohjeessa YVL 2.8, Todennäköisyyspohjaiset turvallisuusanalyysit ydinvoimalaitoksen lupakäsittelyssä ja käytön valvonnassa /2/. Tulipalojen vaikutukset analysoidaan ohjeen YVL 4.3, Ydinlaitosten palontorjunta /3/, mukaisesti.

Säteilyturvakeskus tarkastaa ydinvoimalaitosten rakentamis- ja käyttöluvhakemusten käsittelyn yhteydessä, että laitoksen teknisiä ratkaisuja on perusteltu riittävästi häiriö- ja onnettomuusanalyysien avulla. Tulokset esitetään alustavassa ja lopullisessa turvallisuusselosteessa. Tarkemmat tiedot analyysseissa käytetyistä lähtöoletuksista ja laskentamenetelmistä voidaan esittää joko turvallisuusselosteessa tai aihekohtaisissa raporteissa.

Rakentamislupaa varten on olennaista osoittaa laitostyyppin yleinen hyväksyttävyyys sekä tarkastella erityisesti niitä laitospiirteitä, joiden muuttaminen suunnittelun edetessä ei ole enää mahdollista. Sen sijaan esim. turvajärjestelmiä koskien voidaan tehdä yksinkertaistavia oletuksia niissä rajoissa, jotka ovat teknisesti toteuttamiskelpoisia vaihtoehtoja. Käyttöluhua varten analyysit täydennetään ja niissä kuvataan laitoksen rakenne mahdollisimman tarkoin lopullisia suunnitelmia vastaavana.

Ohjeessa YVL 1.1 /4/ käsitellään yksityiskohtaisemmin alustavan ja lopullisen turvallisuusselosteen hyväksymismenettelyä sekä säteilyturvakeskuksen osallistumista lupahakemusten käsittelyyn.

## 2 ANALYSOITAVAT TAPAUKSET

Analyysien tulee kohdistua tapahtumiin, jotka kattavat luonteeltaan ja vakavuudeltaan mahdollisimman hyvin erityyppiset häiriö- ja onnettomuustilanteet. Tapausten edustavuuden kannalta on olennaista, että kunkin turvajärjestelmän mitoitusta ajatellen rajoittavimmat tapaukset analysoidaan.

Analysoitavat tapaukset on seuraavassa jaettu kahteen ryhmään sen mukaan, mitä kullakin analyysillä halutaan osoitettavan. Kohdassa 2.1 annetaan ohjeita laitoksen käyttäytymistä koskevista analyyseistä. Niissä tutkitaan tapausten kulkua ajan funktiona, ja niiden tuloksia koskevat hyväksymisvaatimukset on esitetty kohdissa 5.1-5.6. Toisen ryhmän muodostavat kohdan 2.2 tarkoittamat päästöjä ja ympäristön säteilyannoksia koskevat analyysit, joiden tuloksille on esitetty hyväksymisvaatimukset kohdassa 5.7. Niissä on tarkoituksenmukaista käyttää yleisempiä lähtöoletuksia, jotka kattavat samalla kertaa useita erilaisia tapauksia. Säteilyannoksia koskevat analyysit eivät välttämättä liity suoraan mihinkään tapaukseen, jota käsitellään laitoksen käyttäytymistä koskevissa analyyseissa.

### 2.1 Laitoksen käyttäytymistä koskevat analyysit

#### Odotettavissa olevat käyttöhäiriöt ja oletetut onnettomuudet

Odotettavissa olevien käyttöhäiriöiden ja oletettujen onnettomuuksien kulku tulee analysoida ajan funktiona lähtien tilanteen käynnistävästä alkutapahtumasta ja päättyen turvalliseen ja vakaaseen käyttötilaan. Alkuhetkellä oletetaan laitoksen olevan tuotantokäytössä nimellistehollaan (epätarkkuus tehon säädössä otettava huomioon), ellei jokin muu käyttötila ole seurausten kannalta pahempi. Mikäli pahinta alkutilaa ei voida luotettavasti päätellä, tulee



analysoida saman alkutapahtuman seuraukset useammassa käyttötiloissa (esim. erilaisilla tehoilla tai polttoaineen palamalla). Alkutapahtumiksi valitaan tapahtumia, jotka

- aiheuttavat merkittävän muutoksen johonkin pääprosessin olennaiseen parametriin reaktorin ollessa käynnissä,
- estävät laitoksen normaalin alasajon,
- vaarantavat reaktorin alikriittisyyden tai jälkilämmön poiston reaktorin ollessa normaalilla tavalla sammutettuna.

Esimerkkejä alkutapahtumista ovat viat, joiden seurauksena on

- vuoto primaaripiiristä,
- vuoto sekundaaripiiristä (PWR),
- vuoto primaaripiiristä sekundaaripiiriin (PWR),
- häiriö reaktorin tehon säädössä,
- häiriö primaaripiirin virtauksessa, paineen säädössä tai vesitilavuuden säädössä,
- häiriö höyryn paineessa tai virtauksessa ja
- häiriö syöttöveden virtauksessa tai lämpötilassa.

Kuhunkin alkutapahtumaan liittyvä häiriö tai onnettomuus analysoidaan käyttäen kohdissa 4.1 ja 4.2 esitettyjä parametreja ja olettamuksia.

Analysoitavat tapaukset jaetaan kahteen luokkaan seuraavasti:

- 1) Odotettavissa olevat käyttöhäiriöt: todennäköisyys on vähintään  $10^{-2}$ /vuosi.
- 2) Oletetut onnettomuudet: todennäköisyys on pienempi kuin  $10^{-2}$ /vuosi.

Kunkin tapauksen perusvaihtoehto luokitellaan alkutapahtuman

todennäköisyyden perusteella. Mikäli jonkin alkutapahtuman osalta on tarpeellista analysoida useampia vaihtoehtoja (perusvaihtoehto ja eri alkutiloista lähtevät tai lisävikoja sisältävät vaihtoehdot), noudatetaan kohdan 4.2.5 antamia ohjeita. Lisävikoja sisältävät vaihtoehdot voivat tapauksesta riippuen olla oletettuja onnettomuuksia, vaikka ne voitaisiin luokitella alkutapahtuman perusteella odotettavissa oleviksi käyttöhäiriöiksi.

Oletettuina onnettomuuksina tulee käsitellä myös odotettavissa olevat käyttöhäiriöt, joiden yhteydessä reaktorin pikasulku ei onnistu (ns. ATWS-tapaukset).

#### Vakavat reaktorionnettomuudet

Odotettavissa olevien käyttöhäiriöiden ja oletettujen onnettomuuksien lisäksi tulee käsitellä vakavia reaktorionnettomuuksia, jotka johtavat reaktorin tuhoutumiseen esimerkiksi jonkin turvallisuustoiminnon menetyksen seurauksena.

Vakavia reaktorionnettomuuksia koskevien analyysien tarkoituksena on tässä yhteydessä tutkia suojarakennuksen kestävyys-, tiiveyys- ja suojarakennusjärjestelmien toimintakykyyn vaikuttavia seikkoja. Ne tehdään tapauksista, jotka voivat olla suojarakennuksen toimintaa ajatellen pahimpia. Näitä voivat olla esimerkiksi:

- täydellinen vaihtosähkötehon menetys,
- täydellinen syöttöveden menetys,
- primaarijäähdytteen vuoto ilman hätäjäähdytystä ja
- primaarijäähdytteen vuoto ja jäähdytteen jälleenkierätyksen estyminen.

Tämän ohjeen tarkoittamissa analyyseissa ei käsitellä tapauksia, joissa suojarakennuksen eristysventtiili tai sulku olisi jo ennen analysoitavaa tapahtumaa jäänyt auki.



## 2.2 Päästöjä ja säteilyannoksia koskevat analyysit

### Odotettavissa olevat käyttöhäiriöt

Mikäli odotettavissa olevasta käyttöhäiriöstä voi aiheutua poikkeuksellinen radioaktiivisten aineiden päästö (esimerkiksi reaktorijäähdytteen päästö ympäristöön), tulee päästön aiheuttamat säteilyannokset laskea.

### Oletetut onnettomuudet

Oletetuista onnettomuuksista on erilliset säteilyannoslaskut tehtävä sellaisille tapauksille, joiden aiheuttamien annosten ylärajaa ei voida päätellä muiden analyysien tuloksista. Säteilyannosten kannalta mitoitettavia voivat olla esimerkiksi seuraavat tapaukset:

- Suuresta primaaripiirin murtumasta johtuva jäähdytteen menetys. Tätä käytetään tyyppiesimerkkinä niistä onnettomuuksista, joissa radioaktiiviset aineet vapautuvat aluksi suojarakennuksen sisälle ja vasta vähitellen vuotavat ulos. Annoslasku kattaa suuren osan kohdan 2.1 mukaan analysoitavista häiriöistä ja onnettomuuksista.
- Reaktorin jäähdytteen vuoto instrumenttilinjan murtuman seurauksena suojarakennuksen ulkopuolelle.
- Vuoto höyrystimen primaaripuolelta sekundaaripuolelle. Tässä tulee käsitellä ainakin yhden höyrystinputken täydellinen katko sekä myös sitä suurempi vuoto, mikäli sellainen arvioidaan mahdolliseksi höyrystimen rakenteen perusteella (PWR).
- Suojarakennuksen ulkopuolinen eristämätön vuoto höyrylinjassa, johon liittyvässä höyrystimessä

on jo pitkään ennen onnettomuuden alkamista ollut turvallisuusteknisten käyttöehtojen puitteissa suurin mahdollinen vuoto primaaripiiristä sekundaaripiiriin (PWR).

- Suojarakennuksen ulkopuolinen vuoto höyrylinjassa tai reaktorijäähdytteen puhdistuslinjassa (BWR).
- Vaurio radioaktiivisia kaasuja sisältävässä järjestelmässä suojarakennuksen ulkopuolella.
- Vaurio radioaktiivisia nesteitä sisältävässä järjestelmässä suojarakennuksen ulkopuolella.
- Reaktorista poistetun polttoainepun vaurioituminen.
- Käytetyn polttoaineen siirto- tai kuljetuspakkauksen putoaminen nostossa, jossa pakkaus ei ole tiiviisti suljettu.
- Raskaan esineen putoaminen varastoidun polttoaineen tai avonaisen reaktorin päälle.

#### Vakavat reaktorionnettomuudet

Vakavan reaktorionnettomuuden aiheuttamat päästöt tulee laskea tapaukselle, josta suojarakennuksen paine- ja lämpötilaolosuhteiden sekä suojarakennuksen ilmatilassa olevien radioaktiivisten aineiden pitoisuuden perusteella päätellään aiheutuvan suurimmat päästöt.

Jos jokin vakava onnettomuus aiheuttaa suojarakennukseen sellaiset kuormitusolosuhteet, että hallittu kaasupäästö on välttämätön suojarakennuksen rikkoutumisen estämiseksi, lasketaan päästöt erityisesti tästä tapauksesta.

Jos vakavan onnettomuuden yhteydessä syntyy kuormituksia, jotka saattavat aiheuttaa paikallisen vuodon suojarakennuk-



sen läpivientiin, henkilö- tai materiaalisulkuun tai suojarakennuksen lävistävään putkilinjaan, päästölaskussa otetaan huomioon myös päästöt kyseistä vuotoreittiä pitkin. Sellainen vuotoreitti voisi syntyä esim. PWR-laitoksen höyrystimen putken pettäessä korkeassa paineessa ja lämpötilassa.

Mikäli merkittäviä päästöjä lasketaan esiintyvän niin lyhyellä varoitusajalla, että mahdollisuudet lähialueen asukkaiden evakuointiin ennen päästön alkua ovat kyseenalaiset, lasketaan päästöjen lisäksi myös lyhyen aikavälin säteilyannokset kriittisen ryhmän henkilölle.

### 3 LASKENTAMENETELMÄT

Analyyseissä käytettävien laskentamenetelmien luotettavuus tulee perustella. Kaikista käytetyistä laskentamenetelmistä tulee olla saatavilla kuvaus, josta selviävät laskentamenetelmien yleiset periaatteet, fysikaaliset mallit ja numeeriset ratkaisumenetelmät.

Laskentamenetelmissä mahdollisesti käytettävät kokeelliset korrelaatiot tulee perustella esittämällä mittausaineisto, josta korrelaatiot on johdettu. Jos korrelaatio on yleisesti tunnettu ja mittausaineisto on julkisesti saatavilla, voidaan tyytyä kirjallisuusviittauksiin.

Laskentamenetelmien tulee olla riittävän hyvin kelpoistettuja kyseisten tapahtumien käsittelyyn. Kelpoistamisen tulee koskea sekä numeerisia menetelmiä että fysikaalisia malleja.

Numeeriset menetelmät kelpoistetaan riittävin vertailulaskelein.

Fysikaaliset mallit kelpoistetaan osoittamalla mallien kyky kuvata sopivia erillisilmiöiden kokeita, kokonaisten järjestelmien kokeita tai ydinvoimalaitoksella koettuja häiriöitä. Myös vertailua muihin aiemmin kelpoistettuihin malleihin voidaan käyttää hyväksi.

## 4 ANALYYSSEISSA KÄYTETTÄVÄT OLETUKSET

### 4.1 Laskentaparametrit

Hyväksymisvaatimusten kannalta olennaisiin analyysin lopputuloksiin vaikuttavat parametrit, kuten

- prosessisuureiden arvot (teho, paine, lämpötila, jne.) onnettomuuden alkuhetkellä,
- suojausjärjestelmissä käytettävien laukaisurajojen tarkkuus,
- laitteiden kapasiteetit ja niiden toimintaa kuvaavat aikatekijät sekä
- epätarkasti tunnetut tekijät (valmistustoleranssit, lämmönsiirtokertoimet, sekoittumisiilmiöt, lauhtumisiilmiöt, jne.),

tulee valita todennäköisen vaihtelun alueensa reunalta (esim. 95 % kohta kumulatiivisessa jakautumassa) siten, että lopputulosta voidaan pitää konservatiivisena.

Polttoaineessa kehittyvä jälkiteho tulee määrittää käyttäen standardia ANSI/ANS-5.1-1979, Decay Heat Power in Light Water Reactors. Standardia sovellettaessa voidaan ottaa huomioon polttoaineen todellinen käyttöaika reaktorissa. Jälkitehon suuruuteen vaikuttavat epävarmat tekijät tulee kuitenkin valita konservatiivisesti pitäen tavoitteena sitä, että 95 % todennäköisyydellä ja 95 % luotettavuustasoa käyttäen jälkiteho ei ylitä sille määritettyä arvoa.

### 4.2 Laitteiden ja ohjaajien toiminta

#### 4.2.1 Suojausjärjestelmät

Suojausjärjestelmät toimivat suunnitellulla tavalla, ellei onnettomuus vaikuta suoraan niiden toimintakykyyn. Poikkeuksena on reaktorin pikasulun epäonnistuminen ATWS-analyysseissa.



#### 4.2.2 Turvajärjestelmät

Turvajärjestelmät toimivat suunnitellulla vähimmäistehollaan ellei onnettomuus vaikuta suoraan niiden toimintakykyyn. Vähimmäisteho saadaan kun

- oletetaan ohjeen YVL 2.7 /5/ mukaisesti järjestelmän toimintaa eniten haittaava yhdistelmä viallisia ja huollossa olevia laitteita ja
- valitaan kullekin toimivalle laitteelle käyttöarvot, jotka vastaavat sopiva varmuusmarginaali huomioon ottaen laitteille asetettavaa hyväksymisrajaa määräaikaisissa testeissä.

Jos turvajärjestelmän toiminta jollain suuremmalla teholla voi vaikuttaa haitallisesti (esim. liian nopea jäähtytys tai ennaikainen veden loppuminen), tulee myös tätä mahdollisuutta tarkastella erillisenä vaihtoehtona (vrt. hyväksymisvaatimus kohdassa 5.1).

Jäljempänä kohdassa 4.2.5 tarkoitettuihin vikoihin ei sisällytetä sellaisia vikoja, jotka vaikuttavat suoraan johonkin turvallisuustoimintoon, koska ne otetaan huomioon jo järjestelmien vähimmäistehoa määriteltäessä.

#### 4.2.3 Normaalit käyttöjärjestelmät

Normaalit käyttöjärjestelmät toimivat kunkin analysoitavan tapahtuman perusvaihtoehdossa todennäköisimmäksi arvioidulla tavallaan. Kohdassa 4.2.5 on käsitelty tarvetta analysoida tietystä tapahtumasta useampia vaihtoehtoja siten, että normaalien käyttöjärjestelmien toimintaa koskevia olettamuksia muutetaan.

#### 4.2.4 Ohjaajien toiminta

Ohjaajat toimivat kunkin analysoitavan tapahtuman perusvaihtoehdossa todennäköisimmäksi arvioidulla tavalla.

Ohjaajan toimintaa arvioitaessa tulee erityisesti harkita, onko jokin virheellinen toimenpide todennäköinen. Toimenpiteitä häiriön tai onnettomuuden lieventämiseksi voidaan pitää todennäköisinä vain seuraavilla edellytyksillä:

- tapahtuma on selvästi tunnistettavissa
- valvomossa on selkeät ohjeet toimenpiteistä ja niistä olosuhteista, joiden voimassa ollessa toimenpide tehdään ja
- toimenpiteitä edeltävän harkinta-ajan arvioidaan olevan riittävä.

Analyysissa oletetut tilannetta lieventävät ohjaajien toimenpiteet tulee aina perustella em. seikat huomioon ottaen.

Myös ohjaajien toimenpiteiden suhteen voi tulla kysymykseen useampien vaihtoehtojen analysointi kohdan 4.2.5 mukaisia periaatteita noudattaen.

#### 4.2.5 Eri tapausvaihtoehtojen käsittely

Kaikista tapauksista analysoidaan ensisijaisesti perusvaihtoehto kohtien 4.2.1 - 4.2.4 mukaisia oletuksia käyttäen. Mikäli jonkin normaaleihin käyttöjärjestelmiin kuuluvan yksittäisen laitteen vika tai ohjaajan oletetusta poikkeava toiminta vaikuttaisi olennaisesti tapausten kulkuun ja saattaisi pahentaa seurauksia, tulee harkinnan mukaan tehdä useampia samaan alkutapahtumaan kohdistuvia analyyskejä. Joissakin tapauksissa saattaa perusvaihtoehdon analyysiksi tällöin riittää yksinkertaistettu tarkastelu, jolla perusvaihtoehto osoitetaan tutkittavaa vaihtoehtoa lievemmäksi. ATWS-analyysit tehdään perusvaihtoehdoille.

Useampien vaihtoehtojen analysointi voi tulla kysymykseen erityisesti tapahtumissa, joiden perusvaihtoehto on odotettavissa oleva käyttöhäiriö, mutta virhetoiminnan sisältävälle vaihtoehdolle halutaan käyttää lievempiä oletetun onnettomuuden hyväksymisrajoja.



Oletetun onnettomuuden hyväksymisrajoja voidaan soveltaa vaihtoehdoille, joissa odotettavissa olevan käyttöhäiriön ja sitä pahentavan virhetoiminnon taajuus on perusteltavissa pienemmäksi kuin  $10^{-2}$ /vuosi. Tällöin tulee erikseen osoittaa, että lievämpi perusvaihtoehto täyttää odotettavissa olevien käyttöhäiriöiden hyväksymisvaatimukset.

Tyypillisiä esimerkkejä vaihtoehtoisia tarkasteluja edellyttävistä virhetoiminnoista ovat

- ulkoisen sähkön menetys,
- onnettomuuden kuluessa avautuvan varoventtiilin aukijuuttuminen,
- vuodon erottamiseen tarvittavan venttiilin auki jääminen,
- onnettomuuden yhteydessä käynnistyvän automaattisen säädön virheellinen toiminta,
- virheellinen ohjaustoimenpide, joka arvioidaan mahdolliseksi operaattorin tekemän väärän tilanearvion perusteella ja
- tarvittavan ohjaustoimenpiteen viivästyminen.

#### 4.2.6 Vakavien onnettomuuksien seurausten rajoittaminen

Järjestelmät, joiden toiminta ei edellytä aktiivisten laitteiden toimintaa, voidaan ottaa huomioon onnettomuusolosuhteita lieventävinä tai päästöä rajoittavina tekijöinä. Esimerkki sellaisesta järjestelmästä on lämmönsiirtopiiri, jossa väliaine kiertää luonnonkierrolla. Lisäksi sellaiset aktiiviset laitteet, joiden toiminta on riippumaton vakavan reaktorionnettomuuden syistä ja seurauksista, voidaan olettaa toimiviksi.

Vakavaan reaktorionnettomuuteen johtaneet laiteviat voidaan erikseen perusteltaessa olettaa myöhemmin korjattavan, ellei korkea säteilytaso tai muu syy ole esteenä korjaukselle. Korjaukseen kuluva aika tulee tällöin arvioida.

Onnettomuutta lieventävät toimenpiteet, joita varten on

ennalta laadittu riittävät ohjeet ja jotka käynnistetään onnettomuuden tapahduttua, voidaan ottaa huomioon. Ne voivat perustua esimerkiksi laitoksen kiinteistä järjestelmistä riippumattoman kaluston hyväksi käyttöön. Toimenpiteet tulee perustella kohdan 4.2.4 mukaisesti.

Suojarakennuksen paineen rajoittamiseksi välttämätön hallittu kaasun ulospuhallus voidaan olettaa, jos sitä varten on suunniteltu sopivat laitteet ja laadittu kirjalliset käyttöohjeet.

#### 4.3 Säteilyannoslaskuissa käytettävät oletukset

##### 4.3.1 Tapahtumat, joissa säteilyannos aiheutuu primaarijähdytteessä olevista radioaktiivisista aineista

Primaarijähdytteessä oletetaan olevan onnettomuuden alkuhetkellä radioaktiivisia aineita vähintään ne määrät, jotka on tarkoitus asettaa rajaksi laitoksen turvallisuusteknisissä käyttöehdoissa. Isotooppien jakautuma valitaan sellaiseksi, että se vastaa käytännössä kyseisen tyyppisessä laitoksessa todettua jakautumaa polttoaineen vuotaessa. Siitä ajanhetkestä lähtien, jolloin reaktorin teho alkaa olennaisesti muuttua (laskea tai kasvaa), tulee olettaa jodipitoisuuden ja cesiumpitoisuuden kasvu, joka vastaa kyseisen tyyppisellä laitoksella havaittua suurinta ko. pitoisuuksien kasvua tehonmuutosten yhteydessä.

Primaarijähdytteen vuotonopeus tulee arvioida mallilla, joka tiedetään konservatiiviseksi. Vuodon mahdolliseen erottamiseen kuluva aika tulee arvioida konservatiivisesti ohjaajien tapahtumasta saamien hälytysten ja mittaustulosten perusteella.

Mikäli jokin vuodon erotukseen tai radioaktiivisten aineiden kulkeutumiseen vaikuttava toimenpide on automaattinen sekä asianmukaisen suojausjärjestelmän avulla toteutettu ja varmennettu, voidaan järjestelmän olettaa toimivan suunnitellulla tavalla.



Jos vuoto tapahtuu laitoksen sisätiloihin, voidaan olettaa, että ympäristöpäästön aiheuttavat vain ne radioaktiiviset aineet, jotka ovat vuodon höyrystyvässä osassa. Lisäksi voidaan olettaa, että radioaktiivisten aineiden pitoisuus (höyryn painoyksikköä kohti) höyrystyvässä osuudessa on pienempi kuin jäähdytteessä ennen vuotoon tuloa. Pitoisuuden pienentymistä ilmaiseva kerroin on perusteltava käytännön havaintoihin tai koetuloksiin viitaten. Vastaava olettamus radioaktiivisten aineiden alentuneesta pitoisuudesta höyryssä (verrattuna siihen veteen, josta höyrystyminen tapahtuu) voidaan tehdä, jos vuoto on puhdas höyryvuoto suoraan ympäristöön (esim. höyrylinjan vuoto tilanteessa, jossa höyrystimet eivät ole täyttyneet vedellä). Edellä sanotusta poiketen oletetaan kuitenkin, että kaikki vuotavassa jäähdytteessä olevat jalokaasut pääsevät aina kokonaisuudessaan ympäristöön.

Jos vuoto tapahtuu suoraan ympäristöön ja jäähdyte on vuotokohtaan tullessaan vetenä, otetaan ympäristöannoksia laskettaessa huomioon kaikki vuotoon sisältyvät radioaktiiviset aineet.

Laitoksen sisätiloihin vuotaneen höyryn ja siihen sekoittuneiden radioaktiivisten aineiden oletetaan kulkevan ympäristöön tavalla, joka vastaa ilmastointijärjestelmien normaalia toimintaa.

Höyryyn sekoittuneesta jodista tulee osa olettaa kaasumaiseksi. Jodin jakautuminen kaasumaisen ja aerosolimuodon välille tulee perustella.

Jos ilmastointijärjestelmissä oletetaan käytettävän suodattimia, tulee suodattimien erotuskertoimet valita konservatiivisesti.

#### 4.3.2 Suuresta primaaripiirin murtumasta johtuva jäädytteen menetys

Primaarijäädytteen purkautumisaika suojarakennukseen valitaan lämpö- ja virtausteknisten analyysien perusteella. Ajan tulee olla sopivasti lyhyempi kuin lyhin laskettu aika, ottaen huomioon laskentamenetelmän tarkkuus. Oletukset koskien

- primaarijäädytteessä olevia radioaktiivisia aineita,
  - radioaktiivisten aineiden jakautumista höyrystyvään ja lauhtuvaan osuuteen vuodosta ja
  - höyryyn sekoittuneen jodin olomuotoa
- tehdään kuten kohdassa 4.3.1 on esitetty.

Polttoainesauvojen vaurioitumisajankohta ja vaurioituvien sauvojen lukumäärä on valittava konservatiivisesti ottaen huomioon laitoksen käyttäytymistä koskevien analyysien tulokset. Lukumäärä valitaan vähintään yhtä suureksi kuin suurin oletettuja onnettomuuksia analysoitaessa saatu tulos, riippumatta siitä liittyykö tulos jäädytteen menetykseen vai johonkin muuhun onnettomuuteen.

Reaktorin oletetaan ennen onnettomuutta toimineen täydellä teholla edellisestä polttoaineen vaihdosta lähtien ja latauksen oletetaan edustavan tasapainolatausta käyttöjakson lopulla.

Vaurioituneissa sauvoissa olevista radioaktiivisista aineista vapautuvaksi oletettavat osuudet valitaan siten, että niitä voidaan perustella kokeellisten tutkimusten ja kyseisen polttoainetyypin käyttökokemusten perusteella.

Vaurioituneista polttoainesauvoista vapautuneista aineista oletetaan tietyn osan pääsevän suoraan suojarakennuksen ilmatilaan. Loput vapautuneet radioaktiiviset aineet oletetaan aluksi liuenneeksi tai sekoittuneeksi jäädytysveteen.



Jakautuma ilmatilan ja jäähdytysveden välillä tulee perustella.

Vaurioituneista sauvoista oletetaan myöhemmin vapautuvan lisää radioaktiivisia aineita, kun jäähdytysvesi tunkeutuu sauvojen sisälle ja liuottaa polttoainetta. Nämä ensi vaiheessa veteen jäävien radioaktiivisten aineiden osuudet tulee perustella kokeellisten tutkimusten avulla tai niitä koskevat oletukset tulee tehdä konservatiivisesti.

Olettamukset radioaktiivisten aineiden kulkeutumisesta suojarakennuksen sisällä voidaan perustaa kokeellisiin tutkimuksiin, jos niistä saadut tulokset ovat ko. tilanteeseen soveltuvia ja luotettavasti varmennettuja. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää konservatiivista mallia, joka antaa todellista hitaamman radioaktiivisten aineiden poistumisen ilmatilasta.

Jos suojarakennuksesta poistetaan laitoksen normaalin käytön aikana ilmaa, arvioidaan radioaktiivisten aineiden sekoittuminen poistettavaan ilmaan konservatiivisesti. Ilmastoinnin eristys oletetaan tapahtuvaksi laitoksen suojausjärjestelmän suunnittelua vastaavalla tavalla siten, että suojausrajoina käytettyjen parametrien muutokset onnettomuuden aikana arvioidaan konservatiivisesti. Ennen eristystä ilmastoinnin oletetaan toimivan normaalilla tavalla.

Suojarakennuksen eristyksen jälkeen radioaktiivisten aineiden oletetaan sekoittuvan tasaisesti koko suojarakennuksen ilmatilavuuteen. Suojarakennuksen vuotonopeus valitaan ottamalla huomioon suojarakennukselle asetettava tiiveysvaatimus ja oletettuja onnettomuuksia analysoitaessa lasketut suojarakennuksen ylipaineet. Valinnassa käytetään sopivia varmuusmarginaaleja.

Suojarakennuksesta vuotaneista halogeeneista oletetaan osan olevan epäorgaanisissa yhdisteissä ja osan orgaanisissa yhdisteissä. Jakautuma erityyppisten yhdisteiden kesken

tulee perustella.

Suojarakennusta ympäröivän tilan ilmastoinnin oletetaan toimivan onnettomuustilanteita varten suunnitellulla tavalla ja suojarakennuksen vuodosta aiheutuvat päästöt lasketaan tätä toimintaa vastaten. Jos ilmastointijärjestelmää käytetään normaalisti suodattimet ohitettuina, tulee suodattimien mahdolliseen käyttöönottoon kuluva aika perustella.

Jos ilmastointijärjestelmissä oletetaan käytettävän suodattimia, tulee suodattimien erotuskertoimet valita konservatiivisesti.

#### 4.3.3 Käytetyn polttoaineen käsittelyonnettomuudet

Käytetyn polttoainenipun putoamista koskevassa analyysissä oletetaan, että polttoainenippu

- on ollut täydellä teholla käytetyssä reaktorissa täyden käyttöjakson,
- on ollut sijoitettuna reaktorin kuormitetuimpaan kohtaan ja saavuttanut täyden poistopalaman,
- on jäähtynyt 3 vrk ajan reaktorin sammutuksen jälkeen ja
- vaurioituu siten, että kaikki polttoainesauvat menettävät tiiveytensä.

Käytetyn polttoaineen siirto- tai kuljetuspakkauksen putoamista koskevassa analyysissä oletetaan, että

- onnettomuus voi tapahtua missä tahansa tilassa ja tilanteessa, jossa pakkausta nostetaan kansi avoimena tai vajavaisesti kiinnitettynä,
- säiliö on täytetty polttoaineella, joka on saavuttanut täyden poistopalaman,
- siirtoa edeltävä polttoaineen jäähtymisaika on hallinnollisten rajoitusten mukainen minimiaika ja
- vaurioituvien polttoainenippujen lukumäärä on sopivalla varmuusmarginaalilla suurempi kuin onnet-



tomuuden aiheuttamien kuormien perusteella arvioitu lukumäärä.

Raskaan esineen putoamista koskevissa analyyseissa oletetaan, että

- onnettomuus voi tapahtua missä tahansa tilassa, jossa polttoaineen yläpuolella on mahdollista käsitellä raskaita esineitä,
- putoava esine on mahdollisimman suuret vauriot aikaansaava ko. tilassa kyseeseen tuleva esine,
- polttoaineen palama on suurin ja jäähtymisaika pienin, joka voi tulla kyseeseen tarkasteltavassa onnettomuustilanteessa ja
- vaurioituvien polttoainepippujen lukumäärä on riittävällä varmuusmarginaalilla suurempi kuin onnettomuuden aiheuttamien kuormien perusteella arvioitu lukumäärä.

Vaurioituvissa sauvoissa olevista radioaktiivisista aineista oletetaan vapautuvan osuudet, jotka edustavat mahdollista ylärajaa ko. tilanteessa. Osuuksia koskevat oletukset tulee perustella polttoainetyypille tehtyjen tutkimusten perusteella.

Kaikkien vapautuvien jalokaasujen oletetaan pääsevän ao. rakennuksen ilmatilaan. Jodin kohdalla voidaan käyttää erikseen perusteltavaa veden dekontaminointitekijää, jos polttoainevaurio tapahtuu veden alla. Tämä tarkoittaa, että osa jodi-isotoopeista jää veteen ja vain osa pääsee ilmatilaan veden yläpuolella.

Ilmatilaan vapautuneesta jodista oletetaan osan olevan epäorgaanisissa ja osan orgaanisissa yhdisteissä. Jakautuminen erityyppisiin yhdisteisiin tulee perustella.

Ilmatilaan päässeiden radioaktiivisten aineiden oletetaan aluksi kulkevan ilmastointijärjestelmän kautta ympäristöön tavalla, joka vastaa ilmastoinnin normaalia toimintaa.

Jos ilmastointia voidaan ko. tilanteessa käyttää usealla eri tavalla, valitaan se tapa, joka johtaa suurimpiin päästöihin. Ilmastointikanavien mahdollinen eristäminen voidaan olettaa 30 minuutin kuluttua. Mikäli eristys on automaattinen ja asianmukaisen suojausjärjestelmän avulla toteutettu, voidaan olettaa myös järjestelmän rakennetta ja toimintaa vastaava aikaisempi eristysajankohta. Eristyksen jälkeen voidaan päästöjen olettaa loppuvan.

Jos ilmastointijärjestelmissä oletetaan käytettävän suodatimia, tulee suodattimien erotuskertoimet valita konservatiivisesti.

#### 4.3.4 Vakavat reaktorionnettomuudet

Reaktorin oletetaan ennen onnettomuutta toimineen täydellä teholla edellisestä polttoaineen vaihdosta lähtien ja latauksen oletetaan edustavan tasapainolatausta käyttöjakson lopulla.

Oletukset reaktorin tuhoutumisen seurauksena suojarakennuksen ilmatilaan joutuvien radioaktiivisten aineiden määrästä tulee perustaa kokeellisiin tutkimuksiin, jotka ovat kutakin onnettomuustapausta varten kyllin edustavia. Määriä valittaessa tulee käyttää sopivia varmuusmarginaaleja.

Jos suojarakennuksessa vallitseva paine ja lämpötila kasvavat onnettomuuden aikana yli niiden arvojen, joissa suojarakennuksen tiiveysvaatimukset on asetettu ja joissa vuoto nopeus mitataan kokeellisesti, tulee päästölaskuissa käytettävä vuoto nopeus perustella erikseen. Ensimmäisenä arviona voidaan käyttää yleistä kaasudynamiikan perusteella tunnettua paine-eron ja vuoto nopeuden välistä riippuvuutta olettaen, ettei suojarakennuksessa tapahdu vuotoa lisääviä muodonmuutoksia. Sen lisäksi tulee arvioida, missä määrin erilaisten läpivientien ja sulkujen tiivisteiden kohdalla tapahtuvat muodonmuutokset aiheuttavat ylimääräistä vuotoa.



Jos päästölaskuissa joudutaan analysoimaan seurauksia hallitusta kaasupäästöstä tai suojarakennuksen paikallisesta vuodosta, tulee päästöreitillä olevien laitteiden ja mahdollisten suodattimien puhdistusvaikutusta koskevia oletuksia perustella sopivilla kokeellisilla tutkimuksilla.

Tutkittaessa vakavan reaktorionnettomuuden aiheuttamien akuuttien terveyshaittojen vaaraa lähialueen asukkaille otetaan huomioon laitosalueen ja sen ympäristön todelliset olosuhteet. Niiden mukaisesti valitaan säteilyannoslaskuissa oletettavat kriittisen ryhmän henkilöiden olinpaikat onnettomuuden alkuvaiheessa sekä evakuointiajat eri etäisyyksiltä.

#### 4.3.5 Radioaktiivisten aineiden leviäminen ympäristöön ja säteilyannoslaskut

Päästöjen oletetaan tapahtuvan päästökohdan efektiiviseltä korkeudelta.

Radioaktiivisten aineiden ilmaan leviämistä koskevat oletukset esitetään ohjeessa YVL 7.3 "Radioaktiivisten aineiden päästöjen leviämisen arviointi ydinvoimalaitosten käyttö- ja onnettomuustilanteissa" /6/.

Säteilyannoslaskuja koskevat oletukset esitetään ohjeessa YVL 7.2 "Ydinvoimalaitosten ympäristön väestön säteilyannosten arvioiminen" /7/.

### 5 TULOKSILLE ASETETTAVAT HYVÄKSYMISVAATIMUKSET

Tässä luvussa esitettävistä vaatimuksista kohdat 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 ja 5.5 koskevat odotettavissa olevia käyttöhäiriöitä ja oletettuja onnettomuuksia. Kohta 5.6 koskee vakavia reaktorionnettomuuksia ja kohta 5.7 koskee kaikkia kolmea tapausluokkaa.

### 5.1 Onnettomuuden varalle suunniteltujen järjestelmien toiminta

Tulee osoittaa, että onnettomuuden varalle suunnitellut järjestelmät eivät aiheuta voimalaitoksen laitteille kuormituksia tai olosuhteita, jotka ylittävät laitteiden käyttö- ja onnettomuusolosuhteita koskevat suunnittelurajat.

### 5.2 Laitoksen ajo turvalliseen tilaan

Kunkin häiriön ja onnettomuuden kohdalla tulee esittää, tarvittaessa laskelmin perusteltuna, miten reaktorin pysyminen sammutettuna varmistetaan ja miten laitos ajetaan turvalliseen ja vakaaseen tilaan. Lisäksi tulee esittää, miten laitos saadaan pitkällä aikavälillä kylmäsammutettuun tilaan, jossa polttoaineen poistaminen reaktoripaineastiasta on mahdollinen.

Tämä vaatimus koskee erityisesti vuototilanteita, joiden vallitessa ei voida käyttää normaaleja jäähdytysmenetelmiä.

### 5.3 Jäähdytysjärjestelmän ylipainesuojaus

Ylipainesuojausta koskevat vaatimukset painevesireaktorilaitokselle esitetään ohjeessa YVL 2.4 /8/. Mainitun ohjeen mukaisia ylipainesuojausanalyyssejä voidaan soveltuvien tapausten osalta käyttää myös häiriö- ja onnettomuusanalyysseinä.

Ohjeen YVL 2.4 lukuja 2.2 ja 2.3 sovelletaan myös kiehu- tusvesireaktorilaitoksille lukuunottamatta niitä kohtia, jotka koskevat sekundaaripiirin ylipainesuojausta, höyrystimien kestävyyttä ja seurauksia varoventtiilin auki juuttumisesta.

### 5.4 Polttoainevauriot

Polttoainesauvan oletetaan vaurioituvan, jos se joutuu



lämmönsiirtokriisiin tai jos siinä tapahtuu paikallisesti äkillinen energianlisäys, jonka seurauksena entalpian keskiarvo sauvan poikki-pinnalla on suurempi kuin  $586 \text{ J/gUO}_2$  ( $140 \text{ cal/g}$ ). Myös muut vaurioitumismekanismit on otettava huomioon arvioitaessa vaurioituvien polttoainesauvojen määrää.

#### Odotettavissa olevat käyttöhäiriöt

Lämmönsiirtokriisin tai muusta syystä aiheutuvan polttoainevaurion todennäköisyys tulee osoittaa pieneksi.

Jos analyyseissa käytetään korrelaatiota, joka kuvaa paikallisen lämmönsiirtokriisin esiintymistodennäköisyyttä (DNB-suhde tai CHF-suhde), tulee osoittaa, että missään yksittäisessä käyttöhäiriössä ei kuumimmassakaan polttoainesauvassa 95 % todennäköisyydellä ja 95 % luotettavuustasoa käyttäen esiinny lämmönsiirtokriisiä.

Jos analyysi perustuu kriittisen tehosuhteen korrelaatioon, on pienin kriittinen tehosuhde (MCPR) laitoksen käytön aikana valittava siten, että 99,9 % reaktorisydämessä olevista polttoainesauvoista välttyy lämmönsiirtokriisiltä häiriön aikana.

#### Oletetut onnettomuudet

Yleisenä suunnitteluvaatimuksena on pitää polttoainevaurioiden määrä niin pienenä kuin kunkin onnettomuustyyppin kohdalla on käytännöllisin toimenpitein mahdollista. Mikäli polttoainevaurioita lasketaan jossakin onnettomuudessa esiintyvän, tulee erikseen tarkastella, miten vaurioiden määrää voitaisiin rajoittaa laitoksen rakenteeseen tai polttoaineen suunnitteluun ja käyttöön tehtävillä muutoksilla.

Kaikissa oletetuissa onnettomuuksissa on vaatimuksena, että mihinkään polttoainesauvaan ei tule äkillistä energianlisäystä, jonka seurauksena entalpian keskiarvo sauvan poikkipinnalla olisi suurempi kuin  $963 \text{ J/gUO}_2$  ( $230 \text{ cal/g}$ ).

Jäähdytteenmenetysonnettomuuksien osalta tulee lisäksi osoittaa, että ohjeen YVL 6.2 /9/ luvussa 3 esitetyt vaatimukset koskien polttoaineen suojakuoren haurastumista ja rakenteellisia muodonmuutoksia täytetään.

### 5.5 Suojarakennuksen kestävyys

Mikään häiriö tai oletettu onnettomuus ei saa aiheuttaa suojarakennuksen sisälle painetta tai lämpötilaa, joka ylittäisi suojarakennuksen mitoitusperusteena käytetyn vastaavan suureen arvon.

Minkään häiriön tai oletetun onnettomuuden aiheuttamat suihkuvoimat tai lentävät esineet eivät saa vaarantaa suojarakennuksen eheyttä.

### 5.6 Vakavien reaktorionnettomuuksien seurausten rajoittaminen

Sellaisen kaasuseoksen, joka voisi palaa tai räjähtää suojarakennuksen eheyden vaarantavalla tavalla, syntytodennäköisyyden tulee olla erittäin pieni.

Onnettomuuden aiheuttamat suihkuvoimat tai lentävät esineet eivät saa vaarantaa suojarakennuksen eheyttä.

Suojarakennuksen sisälle vakavan reaktorionnettomuuden seurauksena syntyvä paine ja lämpötila eivät saa ylittää raja-arvoja, jotka suojarakennuksen voidaan perustellusti arvioida kestävänsä ilman huomattavaa tiiveyden menetystä.

Vaurioituneen reaktorin jäänteiden pitkäaikaisen jäähdytyksen suojarakennuksen pohjalla tulee olla riittävän tehokasta, jotta rajoitetaan radioaktiivisten isotooppien vapau-



tumista suojarakennuksen ilmatilaan ja estetään jäänteiden tunkeutumista suojarakennuksen pohjan läpi sekä jäänteiden lähettämän säteilylämmön aiheuttama suojarakennuksen pettäminen.

### 5.7 Päästöt ja säteilyannokset

Ydinvoimalaitoksen yleisenä suunnitteluvaatimuksena on säteilyannosten pitäminen niin pienenä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista (ns. ALARA-periaate). Seuraavassa esitettävien ohjeeseen YVL 7.1, Ydinlaitosten ympäristön säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen /10/, sisältyvien rajojen alitus ei tämän vuoksi ole yksinään riittävä perustelu sille, että jokin työntekijöiden tai väestön säteilyannosta tai ympäristön saastumista olennaisesti vähentävä ratkaisu jätettäisiin toteuttamatta. Rajojen alittamisen lisäksi tulee ensisijaisesti harkita ratkaisusta saatavaa hyötyä ja sen aiheuttamia kustannuksia.

#### Odotettavissa olevat käyttöhäiriöt

Yksilön annosraja on 0,1 mSv. Analyysin on osoitettava, ettei tätä rajaa ylitetä minkään yksittäisen odotettavissa olevan käyttöhäiriön seurauksena. Rajaa sovelletaan väestön kriittisen ryhmän yksilölle aiheutuvaan efektiiviseen annosekvivalenttisitoumaan. Kriittisen ryhmän yksilöä koskevat oletukset esitetään ohjeessa YVL 7.2.

Kollektiivinen annosraja on 5 manSv/GW<sub>e</sub> (asennettua sähkötehoa kohti). Analyysin on osoitettava, ettei tätä rajaa ylitetä minkään yksittäisen odotettavissa olevan käyttöhäiriön seurauksena. Rajaa sovelletaan väestön kollektiiviseen efektiiviseen 500 vuoden globaaliseen annosekvivalenttisitoumaan.

### Oletetut onnettomuudet

Oletetun onnettomuuden yksilöannosraja on 5 mSv. Tätä rajaa sovelletaan kriittisen ryhmän yksilölle aiheutuvaan efektiiviseen annosekvivalenttiin laskettuna yhden vuoden aikana saatavasta ulkoisesta säteilystä ja samana aikana kehoon joutuvista radioaktiivisista aineista.

Oletetusta onnettomuudesta aiheutuvat kollektiiviset annokset on myös analysoitava.

### Vakavat reaktorionnettomuudet

Tämän ohjeen mukaisesti analysoitavasta vakavasta reaktorionnettomuudesta aiheutuva radioaktiivisten aineiden päästö ei saa olla niin suuri, että siitä olisi seurauksena akuutteja säteilyvaurioita lähialueen asukkaiden keskuudessa tai että se rajoittaisi pitkäaikaisesti laajojen maa- ja vesialueiden käyttöä.

Pitkäaikaisvaikutuksia koskevan vaatimuksen täyttämiseksi tulee osoittaa, että

- cesiumpäästö ei ylitä 0,1 % reaktoriin varastoituneen cesiumin määrästä ja että
- muiden nuklidien yhteenlaskettu päästö ei ole niin suuri, että niistä muodostuva laskeuma aiheuttaisi pitkällä aikavälillä (ajanjakso, joka alkaa 3 kk onnettomuuden jälkeen) suuremman yhteenlasketun ulkoisen ja sisäisen säteilyannoksen kuin em. cesiumpäästö.



## 6 KIRJALLISUUSVIITTEET

- 1 Ohje YVL 1.0, Ydinvoimalaitosten suunnittelussa noudatettavat turvallisuusperiaatteet
- 2 Ohje YVL 2.8, Todennäköisyyspohjaiset turvallisuusanalyysit ydinvoimalaitoksen lupakäsittelyssä ja käytönvalvonnassa
- 3 Ohje 4.3, Ydinlaitosten palontorjunta
- 4 Ohje YVL 1.1, Säteilyturvallisuuslaitos ydinvoimalaitosten valvontaviranomaisena
- 5 Ohje YVL 2.7, Vikakriteerit kevytvesireaktorilla varustetun ydinvoimalaitoksen suunnittelua varten
- 6 Ohje YVL 7.3, Radioaktiivisten aineiden päästöjen leviämisen arviointi ydinvoimalaitosten käyttö- ja onnettomuustilanteissa
- 7 Ohje YVL 7.2, Ydinvoimalaitosten ympäristön väestön säteilyannosten arvioiminen
- 8 Ohje YVL 2.4, Painevesireaktorilaitoksen primaari-piirin ja -höyrystimien ylipainesuojaus ja paineen-säätö häiriötilanteissa
- 9 Ohje YVL 6.2, Polttoaineen suunnittelurajat ja yleiset suunnitteluvaatimukset
- 10 Ohje YVL 7.1, Ydinlaitosten ympäristön säteilyaltistuksen rajoittaminen