

YDINVOIMALAITOKSEN PAINE- LAITTEIDEN LUJUUSANALYYSIT

| | | |
|-----|------------------------------------|----|
| 1 | JOHDANTO | 5 |
| 2 | SOVELTAMISALA | 6 |
| 3 | LUJUUSANALYYSIRAPORTTI | 7 |
| 3.1 | Sisältö ja tarkoitus | 7 |
| 3.2 | Toimitusajankohta | 7 |
| 3.3 | Esitystapa | 8 |
| 4 | KUORMITUKSET | 8 |
| 4.1 | Toimitettavat selvitykset | 8 |
| 4.2 | Suunnittelukuormitukset | 9 |
| 4.3 | Käyttökuormitukset | 9 |
| 4.4 | Kuormitusten analyysit | 9 |
| 4.5 | Kuormitusten seuranta | 10 |
| 5 | JÄNNITYSANALYYSI | 11 |
| 5.1 | Analysoitavat laitteet | 11 |
| 5.2 | Noudatettavat standardit | 12 |
| 5.3 | Rakenteen mallinnus | 12 |
| 5.4 | Hyväksymisrajat | 13 |
| 5.5 | Väsymistarkastelu | 13 |
| 6 | HAURASMURTUMA-ANALYYSI | 14 |
| 6.1 | Analysoitavat laitteet | 14 |
| 6.2 | Analyysimenetelmät | 14 |
| 6.3 | Sitkeysarvot | 14 |
| 6.4 | Säteilyhaurastuminen | 14 |
| 6.5 | Eri lämpötiloissa sallittu paine | 15 |
| 6.6 | Käyttöhäiriöt ja onnettomuudet | 15 |
| 6.7 | Todennäköisyysperusteinen analyysi | 15 |
| 6.8 | Muut nopean murtuman tarkastelut | 15 |

jatkuu

Uusien ydinlaitosten osalta tämä ohje on voimassa 1.12.2013 alkaen toistaiseksi. Rakenteilla olevilla ja käyvillä ydinlaitoksilla tämä ohje saatetaan voimaan erillisellä STUKin päätöksellä. Ohje kumoaa ohjeen YVL 3.5.

Ensimmäinen painos
Helsinki 2013

ISBN 978-952-478-943-1-X (nid.) Kopijyvä Oy 2013
ISBN 978-952-478-944-8 (pdf)
ISBN 978-952-478-945-5 (html)

| | | |
|----------|---|-----------|
| 7 | VUOTO ENNEN MURTUMAA -ANALYYSI | 15 |
| 7.1 | Turvallisuusperiaatteet | 15 |
| 7.2 | Soveltamisala | 16 |
| 7.3 | Suojausvaatimukset | 16 |
| 7.4 | Toimitettavat selvitykset | 16 |
| 7.5 | Murtuman ennalta estämisen toteutus | 16 |
| 7.6 | Täydellisen murtuman mekanismit | 17 |
| 7.7 | Analyysimenetelmät | 17 |
| 8 | LUJUUSANALYYSIEN LAADUNHALLINTA | 18 |
| 8.1 | Lujuusanalyysin tekevä organisaatio | 18 |
| 8.2 | Lujuusanalyysin toimittajien arvioinnit ja valvonta | 19 |
| 8.3 | Lujuusanalyysin hankinta | 19 |
| 8.4 | Lujuusanalyysin tarkastaminen | 19 |
| 8.5 | Kuormitusanalyysien ja -seurannan laadunhallinta | 19 |
| 8.6 | Lujuusanalyysien laadunhallinta laitoshankkeissa | 19 |
| 8.7 | Lujuusanalyysirekisteri | 20 |
| 9 | VIRANOMAISVALVONTA | 20 |
| 9.1 | Säteilyturvakeskuksen tekemä valvonta | 20 |
| 9.2 | Auktorisoidun tarkastuslaitoksen tekemä valvonta | 21 |
| | MÄÄRITELMÄT | 21 |
| | VIITTEET | 24 |

Valtuutusperusteet

Ydinenergialain (990/1987) 7 r §:n mukaan Säteilyturvakeskuksen tehtävänä on asettaa ydinenergialain mukaisen turvallisuustason toteuttamista koskevat yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset.

Soveltamissäännöt

YVL-ohjeen julkaiseminen ei sinänsä muuta Säteilyturvakeskuksen ennen ohjeen julkaisemista tekemiä päätöksiä. Vasta kuultuaan asianosaisia Säteilyturvakeskus antaa erillisen päätöksen siitä, miten uutta tai uusittua YVL-ohjetta sovelletaan käytössä tai rakenteilla oleviin ydinlaitoksiin ja luvanhaltijoiden toimintoihin. Uusiin ydinlaitoksiin ohjeita sovelletaan sellaisenaan.

Kun Säteilyturvakeskus harkitsee YVL-ohjeissa esitettyjen, uusien turvallisuusvaatimusten soveltamista käytössä tai rakenteilla oleviin ydinlaitoksiin, se ottaa huomioon ydinenergialain (990/1987) 7 a §:ssä säädetyt periaatteet: *Ydinenergian käytön turvallisuus on pidettävä niin korkealla tasolla kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. Turvallisuuden edelleen kehittämiseksi on toteutettava toimenpiteet, joita käyttökokemukset ja turvallisuustutkimukset sekä tieteen ja tekniikan kehittyminen huomioon ottaen voidaan pitää perusteltuina.*

Ydinenergialain 7 r §:n kolmannen momentin mukaan *Säteilyturvakeskuksen turvallisuusvaatimukset velvoittavat luvanhaltijaa, kuitenkin niin, että luvanhaltijalla on oikeus esittää muunkinlainen kuin vaatimuksissa edellytetty menettelytapa tai ratkaisu. Jos luvanhaltija vakuuttavasti osoittaa, että esitetty menettelytapa tai ratkaisu toteuttaa tämän lain mukaisen turvallisuustason, Säteilyturvakeskus voi sen hyväksyä.*

1 Johdanto

101. Ydinvoimalaitoksen turvallisuudelle on ensiarvoisen tärkeätä, että sen painetta kantavat rakenteet ja laitteet, erityisesti primääripiirin osat, kestävät suunnittelun perusteena olevissa käyttötiloissa syntyvät kuormitukset ja muut käyttöympäristön vaikutukset riittäväillä marginaaleilla. Näihin vaikutuksiin varaudutaan järjestelmä- ja laitesuunnittelun teknisissä ratkaisuissa.

102. Lujuuden riittävyys osoitetaan suunnitteluasiakirjoissa esitettävillä mitoituslaskelmilla ja lujuusanalyseilla tai vastaavilla kokeellisilla selvityksillä. Varmentavaa tietoa niiden kattavuudesta ja luotettavuudesta hankitaan käyttöönoton koeohjelmilla. Käytön aikana tehtävällä seurannalla varmistetaan, että kuormitukset pysyvät lujuusanalyysien edellyttämässä rajoissa eikä haitallista rakenteiden heikkenemistä tapahdu.

103. Lujuusanalyysiin ja lujuuden varmistamiseen soveltuvia oikeudellisia perusteita esitetään valtioneuvoston asetuksessa ydinvoimalaitosten turvallisuudesta (717/2013).

VNA:n (717/2013) 3 §:n 2 momentin mukaisesti ydinvoimalaitoksen turvallisuutta ja sen turvallisuusjärjestelmien teknisiä ratkaisuja on arvioitava ja perusteltava analyttisesti ja tarvittaessa kokeellisesti. Analyttisiä menetelmiä ovat häiriö- ja onnettomuusanalyysit, sisäisten ja ulkoisten vaikutusten analyysit, lujuusanalyysit, vikasietoisuusanalyysit, vika- ja vaikutusanalyysit sekä todennäköisyysperusteiset riskianalyysit. Analyysijä on ylläpidettävä ja tarvittaessa täsmennettävä ottaen huomioon oman laitoksen ja muiden ydinvoimalaitosten käyttökokemukset, turvallisuustutkimuksen tulokset, laitosmuutokset ja laskentamenetelmissä tapahtuva kehitys.

VNA:n (717/2013) 3 §:n 3 momentin mukaisesti turvallisuusvaatimusten täyttymisen osoittamiseen käytettävien analyttisten menetelmien on oltava luotettavia ja kelpoistettuja käyttötarkoitukseensa. Analyysien avulla on osoitettava, että turvallisuusvaatimukset täyttyvät suurella varmuudella. Tulosten epävarmuus on arvioitava

ja otettava huomioon turvallisuusmarginaaleja määriteltäessä.

VNA:n (717/2013) 5 §:n mukaisesti ydinvoimalaitoksen suunnittelussa, rakentamisessa, käytössä, kunnonvalvonnassa ja kunnossapidossa on varauduttava turvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden ikääntymiseen sen varmistamiseksi, että ne täyttävät laitoksen käyttöajan suunnittelun perustana olevat vaatimukset tarvittavin turvallisuusmarginaalein. Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden käyttökuntoisuutta heikentävän ikääntymisen ennalta estämiseen sekä niiden korjaus-, muutos- ja vaihtotarpeen varhaiseen tunnistamiseen on oltava järjestelmälliset menettelyt. Teknologisen ajanmukaisuuden varmistamiseksi on turvallisuusvaatimuksia ja uuden tekniikan soveltuvuutta säännöllisesti arvioitava sekä seurattava varaosien ja tukitoimintojen saatavuutta.

VNA:n (717/2013) 13 §:n 4 momentin mukaisesti primääripiirin eheyden varmistamiseksi

1. ydinvoimalaitoksen primääripiiri on suunniteltava ja valmistettava korkeita laatuvaatimuksia noudattaen siten, että rakenteissa esiintyvien haitallisten vikojen ja niiden eheyttä uhkaavien mekanismien todennäköisyys on erittäin pieni ja mahdollisesti esiintyvät viat pystytään havaitsemaan luotettavasti;
2. ydinvoimalaitoksen primääripiirin on kestävä normaaleissa käyttötilanteissa, odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä, oletetuissa onnettomuuksissa ja oletettujen onnettomuuksien laajennuksissa syntyvät rasitukset riittäväillä marginaaleilla;
3. ydinvoimalaitoksen primääripiiri ja siihen välittömästi liittyvät järjestelmät sekä painevesireaktorin sekundääripiirin turvallisuudelle tärkeät osat on suojattava luotettavasti odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä ja kaikissa onnettomuustilanteissa ylipaineistumisen aiheuttaman vaurioitumisen estämiseksi;
4. ydinvoimalaitoksen primääripiirin ja painevesireaktorin sekundääripiirin vesikemiallisista olosuhteista ei saa aiheutua näiden eheyttä uhkaavia mekanismeja ja
5. laitos on varustettava luotettavilla vuodonvalvontajärjestelmillä.

VNA:n (717/2013) 13 §:n 5 momentin 1 kohdan mukaisesti suojarakennuksen eheyden varmistamiseksi suojarakennus on suunniteltava siten, että se säilyttää tiiviytensä odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä sekä suurella varmuudella onnettomuustilanteissa.

VNA:n (717/2013) 17 §:n mukaisesti ydinvoimalaitoksen suunnittelussa on otettava huomioon ulkoiset tapahtumat, jotka voivat uhata turvallisuustoimintoja. Järjestelmät, rakenteet ja laitteet on suunniteltava, sijoitettava ja suojattava siten, että mahdollisiksi arvioitujen ulkoisten tapahtumien vaikutukset laitoksen turvallisuuteen ovat vähäisiä. Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden toimintakyky on osoitettava niiden suunnittelu- perusteena olevissa laitoksen ulkoisissa ympäristöolosuhteissa. Ulkoisina tapahtumina on otettava huomioon harvinaiset sääolosuhteet, seismiset ilmiöt, laitoksen toimintaympäristössä tapahtuvien onnettomuuksien vaikutukset ja muut ympäristöstä tai ihmisen toiminnasta johtuvat tekijät. Suunnittelussa on otettava huomioon myös lainvastaiset toimet laitoksen vahingoittamiseksi sekä suuren liikennelentokoneen törmäys.

VNA:n (717/2013) 18 §:n mukaisesti ydinvoimalaitoksen suunnittelussa on otettava huomioon sisäiset tapahtumat, jotka voivat uhata turvallisuustoimintoja. Järjestelmät, rakenteet ja laitteet on suunniteltava, sijoitettava ja suojattava siten, että sisäisten tapahtumien todennäköisyydet ovat pieniä ja vaikutukset laitoksen turvallisuuteen vähäisiä. Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden toimintakyky on osoitettava niiden suunnittelu- perusteena olevissa huonetilojen sisäisissä ympäristöolosuhteissa. Sisäisinä tapahtumina on otettava huomioon tulipalot, tulvat, räjähdykset, sähkömagneettinen säteily, putkikatkot, säiliöiden rikkoutumiset, raskaiden esineiden putoamiset, räjähdysten ja laitteiden rikkoutumisten seurauksena syntyvät heitteet ja muut mahdolliset sisäiset tapahtumat.

VNA:n (717/2013) 21 §:n mukaisesti ydinvoimalaitosyksikön rakentamisluvan haltijan on rakentamisen aikana huolehdittava siitä, että laitos rakennetaan ja toteutetaan turvallisuusvaatimusten mukaisesti käyttäen hyväksytyjä suunnitelmia ja menettelyjä. Luvanhaltija vas-

taa siitä, että laitostoimittaja ja turvallisuuden kannalta tärkeitä palveluja ja tuotteita tuottavat alihankkijat toimivat turvallisuusvaatimusten mukaisesti.

VNA:n (717/2013) 22 §:n 1 momentin mukaisesti ydinvoimalaitosyksikön käyttöönoton yhteydessä luvanhaltijan on varmistettava, että järjestelmät, rakenteet ja laitteet sekä laitos kokonaisuudessaan toimivat suunnitellulla tavalla.

2 Soveltamisala

201. Tässä ohjeessa esitetään vaatimuksia ydinvoimalaitoksen primääripiirin ja muiden turvallisuuden kannalta tärkeiden ydinteknisten painelaitteiden kuormituksista ja lujuusanalyseista. Vaatimukset koskevat soveltuvilta osiltaan luvanhakijaa tai -haltijaa, laite- tai laitostoimittajia sekä muita suunnittelu-, testaus- ja asiantuntijaorganisaatioita.

202. Kuormitukset käsittävät tässä ohjeessa ydinvoimalaitoksen normaalikäytössä sekä suunnittelun perusteena tai laajenuksena olevissa käyttötilanteissa ja tapahtumissa syntyvät mekaaniset ja termiset rasitukset, joita painelaitteet on suunniteltava kestäämään riittävällä, lujuusanalyseissa osoitettavilla turvamarginaaleilla. Lujuusanalyysiin kuuluvat jännitys-analyysi, haurasmurtuma-analyysi sekä vuoto ennen murtumaa -periaatteen (leak before break, LBB) toteutumisen osoittamiseksi tehtävät analyysit. Analyysien kohteena ovat myös kuormitukset silloin, kun niiden arvot on johdettava laskennallisesti järjestelmien toiminnasta, rakennusten käyttäytymisestä tai painelaitetta paikallisesti kuormittavista ilmiöistä. LBB esitetään menettelynä, jolla putkikatkojen aiheuttamat iskumaiset kuormitukset voidaan sulkea pois suunnitteluperusteista.

203. Edellä mainittuja analyyseja käsitellään tässä ohjeessa myös osallistuvien organisaatioiden toiminnan kannalta. Laadunhallinnalliset vaatimukset asetetaan näiden analyysien tekemisestä, raportoinnista, hankinnasta ja tarkastamisesta. Rakentamis- ja laitosmuutoshankkeisiin vaaditaan järjestelmällinen projektinhallinta ja suunnitteluperusteiden kannalta merkityksel-

listen lujuusselvitysten hyväksyttäminen hankkeen lupamenettelyn yhteydessä.

204. Rakentamis- ja laitosmuutoshankkeisiin tämä ohje esittää lujuusanalyysien kattavuuden ja luotettavuuden tarkistusmenettelyksi koekäytön aikaiset kokeet ja mittaukset. Käytön aikana tehtävä seuranta kattaa toistuvien kuormitusten pysymisen väsymisanalyysien olettamusten rajoissa ja käyttöympäristön vaikutukset materiaalien mekaanisiin ominaisuuksiin, erityisesti reaktoripainesäiliön säteilyhaurastumisen.

205. Seuraavat muissa YVL-ohjeissa käsitellyt asiat liittyvät tämän ohjeen soveltamisalaan:

- mitoitus ja yksinkertaistetut jännitysanalyysit käsitellään mekaanisia laitteita koskevis- sa ohjeissa YVL E.3, YVL E.8 ja YVL E.9
- suojarakennuksen lujuusanalyysit käsitel- lään ohjeissa YVL B.6 ja YVL E.6
- LBB-periaatteen vaikutukset turvallisuusjär- jestelmien suunnitteluun käsitellään ohjeessa YVL B.5
- rakenteiden ja laitteiden seisminen suunnit- telu sekä putkikatkoilta suojautuminen tila- suunnittelulla käsitellään ohjeessa YVL B.7
- ainetta rikkomattomien määräaikaistarkas- tusten päteväntä ja havaitun vikanäyttämän laskennallinen hyväksyttäminen käsitellään ohjeessa YVL E.5
- kuormitusten ja materiaaliominaisuuksien seurannan hyödyntäminen ikääntymisen hal- linnassa käsitellään ohjeessa A.8
- ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelu ja -analyysit käsitellään ohjeissa YVL B.1 ja YVL B.3
- ohjeessa YVL A.3 esitetään yleiset vaatimuk- set johtamisjärjestelmistä ja laatusuunnitel- mista.

206. Tämän ohjeen mukainen turvallisuustaso vaaditaan tarvittaessa toteutettavaksi myös muihin ydinreaktorilla varustettuihin ydinlai- toksiin ja muihin ydinlaitoksiin siten, kuin lai- tokseen liittyvien onnettomuustilanteiden arvi- oitu todennäköisyys ja seuraukset edellyttävät. Muita ydinlaitoksia käsitellään ohjeissa YVL D.3 ja YVL D.5.

3 Lujuusanalyysiraportti

3.1 Sisältö ja tarkoitus

301. Vaatimuksessa 501 tarkoitetuista painelait- teista ja niiden osista on toimitettava STUKin hyväksyttäväksi lujuusanalyysiraportti tai sitä vastaava erillisistä asiakirjoista koostuva selvi- tys. Lujuusanalyysiraportissa on esitettävä jän- nitysanalyysi väsymistarkasteluineen ja onnet- tomuustilanteiden analyysineen sekä luvussa 6.1 mainituissa tapauksissa myös haurasmurtu- ma-analyysi.

302. Luvun 7.2 vaatimuksen 703 mukaisesti on lujuusanalyysiraportissa lisäksi esitettävä LBB- analyysi niiden putkistojen osalta, joille LBB- periaatteen toteutuminen on osoitettava tai voi- daan osoittaa.

303. Lujuusanalyysiraportin tarkoituksena on osoittaa, että painelaitteen rakenne täyttää suunnitteluperusteiden mukaisissa kuormitusti- lanteissa sovellettavan lujuusanalyysistandardin vaatimukset sekä mahdolliset muut lujuuteen liittyvälle suunnittelulle asetetut vaatimukset.

3.2 Toimitusajankohta

304. Lujuusanalyysiraportti on toimitettava STUKille painelaitteen rakennesuunnitelman osana. Tapauskohtaisesti STUK voi perustel- lusta syystä hyväksyä lujuusanalyysiraportille tai siihen kuuluvalla asiakirjalla myöhemmän toimitusajankohdan.

305. Painelaitteen muutostyöstä toimitettavassa rakennesuunnitelmassa on esitettävä tarpeel- lisilta osilta uusitut lujuusanalyysit, jos paine- laitteen suunnittelupaine tai lämpötila, rakenne, ainevahvuudet, materiaaliarvot, käyttötapa, tu- entatapa tai muut tekijät muuttuvat niin, että saavutettavat turvamarginaalit voivat heiken- tyä.

306. Jos painelaitteen valmistuksessa tai muutos- työssä tai sen jälkeisessä koekäytössä havaitaan turvamarginaaleja heikentävä poikkeama niistä lujuusanalyysien lähtötiedoista, joita käyttäen kyseisen valmistuksen tai muutostyön rakenne- suunnitelma on hyväksytetty, STUKille on toi- mitettava tarpeellisilta osilta uusitut laskelmat.

307. Käytön aikana lujuusanalyysien uusiminen on tarpeen, jos painelaitteessa havaitaan suunnitteluperusteista poikkeavaa kuormitusten kasvua, seinämän ohenemista tai sitkeysarvojen heikkenemistä. Uusimisen voi tehdä tarpeelliseksi myös hakemus käyttöään jatkamiseksi, määräaikainen turvallisuusarviointi tai turvallisuuteen vaikuttava tapahtuma, jota suunnittelussa ei ole osattu ottaa huomioon.

308. Primääripiirin laitteille on lujuusanalyysien tekeminen aloitettava hyvissä ajoin niin, että tuloksista voidaan antaa alustavia tietoja jo rakenneaineiden hyväksymiskäsittelyssä. Uuden ydinvoimalaitoksen rakentamislupaa haettaessa on annettava selvitys siitä, että asetetut kriteerit pystytään näissä analyyseissa täyttämään. Erityisesti on tarkasteltava lujuuden kannalta määräävät rakenneosat ja kuormitustilanteet sekä muista vastaavatyypisistä ydinvoimalaitoksista poikkeavat rakenneratkaisut.

3.3 Esitystapa

309. Lujuusanalyysiraportti on laadittava niin selkeästi, että siinä annettujen tietojen avulla voidaan varmistua tehtyjen lujuusanalyysien oikeellisuudesta ja niiden tulosten hyväksyttävyydestä. Lujuusanalyysiraportista pitää yksikäsitteisesti ilmetä annetut ajan tasalla olevat lähtötiedot ja niiden lähteet, sovelletut standardit, käytetyt analyysimenetelmät ja laskentamallit sekä tulokset ja johtopäätökset perusteluineen.

310. Lujuusanalyysien tulokset on esitettävä niin kattavasti, että analysoitujen rakenteiden rasi-tetuimmat kohdat voidaan helposti päätellä ja tarkistaa niiden avulla. Analyysin oleellisista vaiheista on esitettävä niiden oikeellisuuden tarkistamiseen tarvittavat välitulokset. Tuloksia ja välituloksia voidaan täydentää erikseen toimitettavalla tietoteknisellä aineistolla.

311. Tämän ohjeen mukaisia painelaitteiden jännitysanalyyseja toimitettaessa on erityisesti esitettävä:

- a. toimittajien ja hankkijoiden hyväksymismerkinnät
- b. yhteenveto luvanhakijan tai -haltijan tarkastuksesta

- c. tunnistetiedot, turvallisuusluokka ja muut luokittelutiedot
- d. toimintakykyyn liittyvät vaatimukset
- e. kuvaus mallinnustavasta ja analyysin kuluksista
- f. käytetyt tietokoneohjelmat ja muut ohjelmoidut menettelyt
- g. rakennepiirustukset, isometrit ja järjestelmäkaaviot tai viittaukset niihin
- h. suunnittelu- ja käyttökuormitukset sekä painekokeet
- i. tuennat ja massatiedot
- j. tiedot mitoituslaskelmista ja käytetyt ainevahvuudet
- k. rakenneaineiden lujuusarvot ja muut fysikaaliset ominaisuudet huoneen lämpötilassa ja suunnittelulämpötilassa sekä väsymiskäyrän määrittely
- l. reunaehdot, symmetriaehdot ja muut oletukset
- m. käytetyt laskentakaavat ja yksiköt sekä muut kuin standardin mukaiset merkinnät
- n. tärkeimpien poikkileikkausten lämpötila- ja jännitys jakaumat sekä siirtymäkuvaajat
- o. jännitysten luokittelu niiksi jännitystyypeiksi, joille on asetettu hyväksymisrajoja
- p. tarkastamiseen tarvittavat, riittävän selityksin varustetut tietokoneajojen tulosteet.

4 Kuormitukset

4.1 Toimitettavat selvitykset

401. Lujuusanalyysiraportissa on selvitettävä painelaitteen suunnittelukuormitukset, käyttökuormitukset, painekokeet ja muut lujuusteknisistä syistä vaaditut kokeet sekä merkittävät kuljetusten aiheuttamat kuormitukset.

402. Yksityiskohtaiset tiedot kuormituksista ja niiden mallintamisesta on toimitettava STUKille järjestelmien tai rakennusteknisten rakenteiden suunnitteluun liittyvinä erillisinä analyysiraportteina.

403. Uuden ydinvoimalaitoksen suunnitteluperusteiden kannalta merkittävät, erityisesti primääripiirille tehty kuormitusanalyysit on toimitettava STUKille rakentamislupaa haettaessa.

404. Kuormitusten seurantaan liittyvien suunnitelmien ja tulosten raportointivelvoitteet määräytyvät koekäytöistä ja ikääntymisen hallinnasta annettujen STUKin vaatimusten mukaisesti.

4.2 Suunnittelukuormitukset

405. Suunnittelukuormitukset käsittävät sovellettavan standardin mukaisesti määritettävän suunnittelupaineen, suunnittelulämpötilan ja ne muut mekaaniset suunnittelukuormitukset, jotka yhdessä suunnittelupaineen kanssa aiheuttavat normaaleissa käyttöolosuhteissa suurimmat primääriset jännitykset.

4.3 Käyttökuormitukset

406. Käyttökuormitukset liittyvät ydinvoimalaitoksen suunnittelun perusteena oleviin normaaleihin käyttötilanteisiin, odotettavissa oleviin käyttöhäiriöihin ja oletettuihin onnettomuuksiin sekä sisäisiin ja ulkoihin tapahtumiin. Ne on määritettävä kullekin analysoitavalle painelaitteelle niihin tilanteisiin ja tapahtumiin, joissa siltä edellytetään eheyttä tai toimintakykyä.

Ryhmittely

407. Käyttökuormitukset on jaettava ryhmiin ensisijaisesti sen perusteella, miten kukin kuormitustilanne saa vaikuttaa painelaitteen eheyteen tai toimintakykyyn. Tämän ohjeen mukaisissa lujusanalyysissä ryhmittely on seuraava:

A. kuormitustilanteet, joiden alaisena painelaite on suunnitellussa normaalikäytössä

B. sellaiset poikkeamat normaalikäytön aiheuttamista kuormituksista, jotka painelaite on suunniteltu kestäämään lasketun käyttöikänsä ajan ilman korjaamista

C. poikkeukselliset kuormitustilanteet, joita ei ole otettu huomioon painelaitteen käyttöikälaskelemissa ja jotka voivat johtaa niin suuriin paikallisiin muodonmuutoksiin, että painelaite on tarkastettava ja mahdollisesti korjattava ennen käytön jatkamista

D. poikkeukselliset kuormitustilanteet, jotka paineenkantokyvyn edelleen säilyessä aiheuttavat painelaitteeseen muodon laajaa vääristymistä ja voivat edellyttää painelaitteen käytöstä poiston.

408. Käyttökuormitusten ryhmittelyssä on otettava huomioon, etteivät oletetut onnettomuudet saa heikentää niiden vuoksi tarvittavien turvallisuusjärjestelmien painelaitteiden toimintakykyä. Hyväksyttävä lähtökohta on, että

- ryhmään B sijoitetaan sellaiset käyttökuormitukset, jotka eivät saa heikentää laitteen tai sen osan liikkeitä edellyttävää aktiivista toimintakykyä
- ryhmään C sijoitetaan sellaiset käyttökuormitukset, joiden alaisena laitteen muodon on säilyttävä niin, että laitteen kautta kulkevan virtauksen määrä täyttää vaatimukset (passiivinen toimintakyky).

409. Erittäin harvinaisia onnettomuuskuormia, kuten suuren liikennelentokoneen törmäyksen aiheuttamaa värähtelyä ja räjähdyspaineaaltoa tai suunnittelumaanjärjestyksen ylittäviä seisimisiä olosuhteita, voidaan käsitellä oletetun onnettomuuden laajenuksena parhaan arvion menetelmiä käyttäen. Näin analysoitu vaikutus painelaitteen eheyteen tai kyseisessä onnettomuudessa vaadittavaan toimintakykyyn ei saa vastaavasti olla ryhmien D tai C käyttökuormituksille sallittuja vaikutuksia suurempi.

4.4 Kuormitusten analyysit

410. Käyttökuormituksia koskevissa selvityksissä on esitettävä painelaitteeseen kohdistuvat mekaaniset ja termiset kuormitukset aikariippuvuuksineen ja koko käyttöiän ajalle laskettuine lukumäärineen. Nämä on tarvittavassa laajuudessa johdettava ydinvoimalaitoksen rakenteiden ja järjestelmien toimintaa ja käyttäytymistä koskevista spesifikaatioista ja analyyseistä. Soveltuvia käyttökokemuksia ja kokeellisia tutkimuksia voidaan esittää perusteluna.

411. Käyttökuormituksia koskevissa selvityksissä on otettava huomioon painelaitteen ja sen rakenteosien lujuudelle merkitykselliset paikalliset tekijät ja ilmiöt. Täten esimerkiksi ulkoisesta ylipaineesta tai muusta syystä johtuvat puristavat kuormitukset on selvitettävä stabiiliusanalyysin tekemiseksi kyseisille painelaitteille tai niiden osille.

412. Jos käyttökuormitus johtuu useita kuormitussilmiöitä aiheuttavasta laitostapahtumasta,

on eri osakuormitukset yhdistettävä sellaisella tavalla, joka ottaa luotettavasti huomioon niiden mahdolliset yhteisvaikutukset.

Termiset kuormitukset

413. Tämän ohjeen mukaisesti analysoitavien painelaitteiden rakenteisiin välittyvät termiset kuormitukset on mallinnettava yksityiskohtaisesti. Putkistoista on selvitettävä joustavuus- ja väsymistarkasteluja varten suurimmat lämpötilan muutokset sekä mahdolliset lämpötilakerrostumat ja lämpötilojen rajapintojen heilahtelut. Ajasta riippuvaa lämmönsiirtoa ja epätasaista jakautumista on tarkasteltava suurten ainepak-suuksien, kuten laippaliitosten, kohdalla tapahtuville nopeille lämpötilan muutoksille.

414. Termisten kuormitusten analyysissä on esitettävä sovellettu kuormitusspesifikaatio, virtaus- ja lämpötilajakaumien analysointimenetelmät ja lämmönsiirtokertoimien määrittystapa.

Iskumaiset kuormitukset

415. Vaatimuksen 705 perusteella oletettavista putkikatkoista sekä varo- ja eristysventtiilien toiminnasta ja laitteiden toimintahäiriöistä johtuvat nopeat painetransientit on analysoitava dynaamisilla menetelmillä. Niillä on selvitettävä painetransientille sekä siitä mekaanisesti välittyville värinöille altistuvaan laitekokonaisuuteen sekä sen tuentoihin ja turvallisuudelle tärkeisiin sisäosiin kohdistuvat kuormitukset. Lisäksi on selvitettävä tärkeiden toiminnallisten laitteiden kokemat kiihtyvyydet.

416. Jos putkisto tai siihen liittyvät laitteet on varustettu katkenneen putken heilahduksia rajoittavilla murtumatuilla, voidaan niillä saavutettu vuotovirtauksen ja syntyvän painetransientin heikkeneminen ottaa huomioon, kun vaatimuksessa 415 tarkoitettuja laitekokonaisuuksien ja sisäosien kuormituksia määritetään oletettaville putkikatkoille.

417. Oletettavista putkikatkoista on analysoitava lähellä sijaitseviin tärkeisiin laitteisiin kohdistuvat suihkukuormat sekä murtumatukien iskunvaimennuskyvyn riittävyys ja niihin kohdistuvat putken iskukuormat. Jos putken seinämän paikallinen muodonmuutoskyky lasketaan tässä

hyväksi, siitä on annettava analyysissä selvitys. Muihin laitteisiin ja rakenteisiin kohdistuvat putken iskukuormat on tarkasteltava varauduttaessa ohjeen YVL B.7 mukaisesti laitteiden rikkoutumiseen.

418. Mahdollisuutta lauhtumispaineiskujen ja vesitulppien muodostumiseen on tarkasteltava sellaisissa kohteissa, joissa höyry ja kylmä vesi pääsevät sekoittumaan. Lisäksi on selvitettävä mahdollisuus primääripiiriin tai sekundääripiiriin veden pääsystä höyryjärjestelmien pääputkiin.

419. Iskumaisten kuormitusten analyysissä on esitettävä putkikatkoista ja venttiilien toiminnasta tai toimintahäiriöstä tehtyt oletukset, käytetyt virtausdynamiikan ja rakenteiden dynamiikan analyysimenetelmät sekä painetransientista, suihkuista ja putken iskuista johtuvien voimien mallinnustapa.

Seismiset kuormitukset

420. Suunnittelumaanjärjestyksen dynaamiset vaikutukset on analysoitava ohjeen YVL B.2 mukaiseen maanjärjestysluokkaan S1 kuuluville painelaitteille ja niiden tuennoille sovellettavan standardin mukaisella seismisellä analyysillä. Seismisen luokan S2A painelaitteisiin voidaan soveltaa parhaan arvion menetelmiä. Kuormitustietona on rakennusten dynaamista käyttäytymistä analysoimalla selvitetty kerros-vaste. Sen erot eri tuentapisteiden välillä on selvitettävä, jos niistä aiheutuu merkittäviä lisärasituksia.

421. Seismisestä analyysistä on selvitettävä sovellettu kerrosvastespektri, analysoitu laitekokonaisuus, dynaamiset mallinnusmenetelmät, vaimennuskertoimet sekä lasketut ominaisvärähtelyt ja toiminnallisten laitteiden kokemat kiihtyvyydet.

4.5 Kuormitusten seuranta

Koekäyttö

422. Ydinvoimalaitoksen koekäytössä on suoritettava kokeita ja mittauksia sen varmistamiseksi, että painelaitteiden todelliset kuormitukset eivät ylitä lujuusanalyysien lähtötietoina käytettyjä arvoja eikä haitallisia kuormituksia ole jäänyt

ottamatta huomioon. Kokeiden ja mittausten tarkoituksena voi olla myös jännitystilojen määrittäminen (kokeellinen jännitysanalyysi) rakenteeltaan tai kuormitustavaltaan poikkeukselliselle painelaitteelle.

423. Koe- ja mittausohjelman kohteina on oltava käytön aikana odotettavissa olevia rasittavimpia kuormitustilanteita sekä kuormitusilmiöitä, joiden laskennallinen analysointi on epävarmaa. Tällaisia ovat muun muassa varo- ja eristysventtiilien aiheuttamat painetransientit, lämpötilatransientit ylösajo- ja hätäjähdytystilanteissa, lämpötilakerrostumat, putkistojen ja reaktoripainesäiliön sisäosien värähtelyt [4] sekä lämpöliikevarojen riittävyys.

424. Ne kokeelliset selvitykset, jotka ovat tarpeen varmentamaan ydinvoimalaitoksen turvallisuudelle tärkeiden painelaitteiden lujuutta onnettomuustilanteissa, on hankittava onnettomuuden aikaisia olosuhteita edustavilla erillisillä koejärjestelyillä. Nämä selvitykset on toimitettava STUKille kysymyksessä olevan laitoshankkeen suunnitteluasiakirjoissa.

425. Koekäytön koe- ja mittausohjelman sekä vaatimuksessa 424 tarkoitettujen selvitysten laajuudesta voidaan karsia vaativimpia koejärjestelyjä, mikäli niitä on aiemmin toteutettu vastaavalla ydinvoimalaitoksella ja niiden tulokset raportit toimitetaan STUKille.

426. Koekäytön havaintoja on voitava verrata käytön aikana tehtävän kuormitusten seurannan tuloksiin. Laittekokonaisuuksien käyttäytymisestä ja merkityksellisistä paikallisista rasituksista on hankittava täydentäviä mittaustietoja, jotka tukevat näiden kuormitusten määrittämistä käytön aikana seurattavista mittaustiedoista.

Käyttö

427. Käytön aikana on pidettävä kirjaa tärkeimpiin painelaitteisiin väsyttäviä kuormituksia aiheuttavista käyttötilanteista ja tapahtumista. Niiden kulusta on kerättävä riittävästi mittaustietoja niin, että oleelliset tekijät voidaan jälkikäteen tarkistaa. Seuranta on järjestettävä siten, että myös käytön aikana ilmenevät odottamattomat kuormitustyyppit havaitaan.

428. Lämpöliikevarojen säilymistä on seurattava erityisesti murtumatuilla varustetuista putkistoista.

429. Primääripiiri sekä painevesireaktorilaitoksen höyry- ja syöttövesijärjestelmien pääputket on varustettava kiinteillä valvontajärjestelmillä, joilla kuormituksista voidaan saada tietoja käytön aikana. Seurattavia suureita ovat muun muassa prosessisuureet, pintalämpötilat, venymät ja värähtelyt.

430. Ydinvoimalaitoksen seismiset havaintolaitteet on järjestettävä siten, että niiden mittaamien tietojen avulla voidaan selvittää primääripiirin laitteisiin maanjäristyksissä ja lentokoneen törmäyksissä kohdistuneita rasituksia.

5 Jännitysanalyysi

5.1 Analysoitavat laitteet

501. Tämän ohjeen vaatimukset täyttävä jännitysanalyysi on tehtävä ydinvoimalaitoksen korkeimpien turvallisuus- ja laatuvaatimusten mukaan rakennettavista painelaitteista tai niiden osista. Erityisiä kohteita ovat

- turvallisuusluokkaan 1 kuuluvat primääripiirin osat mukaan lukien pääkiertopumput
- painevesireaktorilaitoksella höyrystimen sekundääripuoli sekä suojarakennuksen sisään jäävät höyry- ja syöttövesijärjestelmien pääputkien osat ulompiin eristysventtiileihin asti
- primääripiirin kannatinrakenteet
- reaktorisydäntä tukevat ja sen jäähdytettävyyden kannalta tärkeät reaktoripainesäiliön sisä rakenteet
- suojarakennuksen tiiviyyden kannalta tärkeät, väsyttävästi kuormitetut putkistoläpiviennit.

502. Muille ydinlaitoksen ydinteknisille painelaitteille ja pumpuille määräytyy tämän ohjeen mukaisen jännitysanalyysin tarpeellisuus ensisijaisesti suunnitteluun sovelletun standardin perusteella. Tarkempia ohjeita annetaan kyseisiä laitetyppejä koskevissa ohjeissa YVL E.3, YVL E.8 ja YVL E.9. Yksinkertaisempaa menettelyä (laskentakaavat, tyyppitestausta) käytettäessäkin on kuormitusten määrittelyn ja laadunhallinnan perustuttava soveltuvin osin tämän ohjeen luvun 4 ja 8 vaatimuksiin.

503. STUK tai auktorisoitu tarkastuslaitos voi tarkastuksessaan vaatia tämän ohjeen mukaisen jännitysanalyysin tehtäväksi muulloinkin varmentamaan riittävän turvallisuustason saavuttamista. Perusteena voi olla esimerkiksi painelaitteen tai pumpun riskimerkitys, toiminnalliset vaatimukset tai rajoittuneet mahdollisuudet määräaikaistarkastuksiin.

5.2 Noudatettavat standardit

504. Tämän ohjeen mukaisessa painelaitteiden sekä pumppujen jännitysanalyysissä on pääsääntöisesti noudatettava standardia ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section III, Division 1 (ASME III) [2]. Sen artikloissa NB 3200 ja NB 3650 sekä osissa NF ja NG annetut pakolliset määräykset pätevät tällöin niiltä osin, kuin STUK ei ole esittänyt täsmennettyjä vaatimuksia.

505. Vaihtoehtoisesti voidaan STUKissa hyväksyttää noudatettavaksi muu ulkomaisen valvontaviranomaisen hyväksymä, periaatteiltaan vastaava turvallisuusluokan 1 painelaitteiden suunnittelu- ja lujuusanalyysistandardi. Hyväksymisen yhtenä edellytyksenä on, että kyseistä standardia on aiemmin noudatettu vastaavan tyyppisiä ydinvoimalaitoksia rakennettaessa.

506. STUK voi päätöksillään antaa täsmentäviä ohjeita jännitysanalyysissä käytettäväksi hyväksyttävien standardien ja niiden eri painosten soveltamistavasta. Huomioon voidaan ottaa muun muassa se, miten sovellettavan standardisarjan vaatimustaso kokonaisuudessaan täytyy analysoitavalle painelaitteelle tai pumpulle.

5.3 Rakenteen mallinnus

Laajuus ja yksityiskohtaisuus

507. Painelaitteen rakenne on jännitysanalyysissä mallinnettava kattavasti. Mallin pitää sisältää kuormitusten oleelliset vaikutusalueet sekä ne painelaitteen osat, joilla on merkitystä hyväksymisrajojen lähtökohtana olevien vauriomekanismien kehittymiseen.

508. Yksittäisiin painelaitteen osiin rajoittuvia laskentamalleja voidaan käyttää, jos lähellä ei sijaitse jännitysjakautumia vaikuttavia epäjatku-

vuuskohtia ja reunaehtojen oikeellisuus tai konservatiivisuus perustellaan. Symmetriaehtoja hyödynnettäessä on samanaikaisesti otettava huomioon painelaitteen geometria, kuormitukset ja muut reunaehdot sekä materiaaliominaisuudet.

509. Painelaitteen rakenneosien yksityiskohtainen mallinnus on tarpeen silloin, kun painelaitteeseen kohdistuu voimakkaita lämpötilagradientteja ja paikallisia mekaanisia kuormituksia tai kun painelaitteessa on lämpölaajenemiskertoimien ja seinämän paksuuden muutosten kaltaisia oleellisia rakenteellisia epäjatkuvuuskoh-
tia.

510. Malleissa on otettava huomioon kuoriteoriasta oleellisesti poikkeava lujuusopillinen käyttäytyminen sekä lämpöjännitysten epälineaarinen jakauma suurten seinämänpaksuuksien alueella. Sisäpuolinen austeniittinen pinnoite on sisällytettävä ferriittisten painelaitteiden käyttökuormituksille tehtävien termisten kuormitusten analyysien ja jännitysanalyysien malleihin, mikäli pinnoitteen paksuus on vähintään 10 % seinämän kokonaispaksuudesta.

511. Malleissa on otettava huomioon rakenneosien välisistä esijännityksistä, kitkoista ja välyksistä johtuvat, jännitystilojen kannalta merkittävät epälineaarisuudet. Tuentojen laskentamalleissa on kuvattava niiden rakennetyypin lujuusopillinen toimintaperiaate, painelaitteen erisuuntaisten liikkeiden rajoittuminen ja kiinnitykset rakennusteknisiin rakenteisiin.

Putkistojen laskentamallit

512. Putkistojen laskentamalleilla tarkasteltavan alueen on ulotuttava kussakin päässään jäykempään ja massiivisempaan muuhun painelaitteeseen tai rakenteeseen, ja mahdolliset siitä välittyvät pakkoliikkeet pitää ottaa huomioon. Putkistokannakkeet sekä putkiston liikkeitä seuraavat painelaitteet on mallinnettava siten, että niiden vaikutus putkiston joustavuuteen, vaimennukseen ja massajakaumaan vastaa todellisuutta. Jos putkisto on varustettu murtumatuilla, niille on laskennallisesti määriteltävä kaikkiin käyttötilanteisiin ja onnettomuuksiin soveltuvat liikevarat.

513. Putkistojen jännitysanalyysissä voidaan niiden muotokappaleet kuvata sovellettavan standardin mukaisilla konservatiivisilla yksinkertaistuksilla. Todellisen rakenteen lujuuden riittävyys suunnittelukuormituksille pitää tällöin olla perusteltu valmistustekniikaltaan, muotoilultaan ja ainevahvuuksiltaan edustavan koe-kappaleen tai laskentamallin avulla selvitettyllä todellisella kantokyvyllä.

514. Putkiston läpivienteihin ja muihin kiinnityskohtiin kuuluvat painetta kantavat osat on mallinnettava jännitysanalyysissä niin, että putkistosta ja sen liikkeiden rajoittumisesta sekä kiinnityskohdan lämpötilaeroista tulevat rasitukset voidaan selvittää luotettavasti. Läpiviennin muiden teräsosien lujuuden riittävyys on osoitettava niiden suunnitteluun sovelletun standardin mukaisesti.

Materiaaliominaisuudet

515. Jännitysanalyysissä on käytettävä sovellettavan standardin mukaisia, tarkasteltaviin lämpötiloihin tarkoitettuja materiaalien lujuusarvoja ja fysikaalisia ominaisuuksia [1]. Muille erikseen hyväksytyille materiaaleille nämä arvot on määritettävä suunnittelussa käytettävän standardin mukaisesti.

5.4 Hyväksymisrajat

516. Jännitysanalyysissä on osoitettava niiden hyväksymisrajojen täyttyminen, jotka sovellettava standardi asettaa kyseiselle painelaitteelle tai sen osalle noudatettavaksi sen luokittelun, käyttökuormitusten ryhmittelyn, painekokeiden lukumäärän ja käytettyjen analyysimenetelmien mukaan. Tätä varten on jännitysanalyysissä lasketut jännitystilat luokiteltava niihin eheyden ja toimintakyvyn säilymisen kannalta merkityksellisiin jännitystyypppeihin, joiden suhteen kukin hyväksymisraja on asetettu. Menettely on toistettava kaikille tarkastelluille painelaitteen kohdille ja kuormituksille.

517. Jos painelaitteelle on asetettu muita, esimerkiksi muodonmuutoksiin liittyviä lujuusopillisia hyväksymisrajoja, ne on esitettävä painelaitteen rakennesuunnitelmassa ja niiden täyttyminen on osoitettava jännitysanalyysissä.

518. Putkiston ja siihen liittyvien painelaitteiden jännitysanalyysissä on tarkistettava, etteivät putkiston ja liittyvän painelaitteen väliset yhdekuormat ylitä kummankaan laitteen eheyden ja toimintakyvyn varmistamiseksi asetettuja hyväksymisrajoja.

5.5 Väsymistarkastelu

519. Toistuvien tai suuruudeltaan vaihtelevien kuormitusten alaisille painelaitteen osille on tehtävä jännitysanalyysin yhteydessä väsymistarkastelu, jos väsymisen mahdollisuutta ei suljeta pois sovellettavan standardin mukaisilla konservatiivisilla likimääräisarvioilla.

520. Väsymistarkastelun lähtökohtana on käytettävä kullekin materiaalille tarkasteltaviin olosuhteisiin soveltuvaa väsymiskäyrää (design fatigue curve), joka esittää harmoniselle vaihtokuormitukselle elastisessa analyysissä sallittavan jännitysamplitudin kuormanvaihtoluvun funktiona.

521. Mikäli toistuvaa myötämistä tapahtuu paikallista rakenteellista epäjatkuvuuskohtaa laajemmalla alueella, väsymistarkasteluun on käytettävä sovellettavan standardin mukaisia elastis-plastisia menetelmiä.

Jännityskeskittymät

522. Paikallisten rakenteellisten epäjatkuvuuksien aiheuttamat huippujännitykset on väsymistarkastelussa määritettävä joko geometrian yksityiskohtaisella mallinnuksella tai likimääräisesti käyttäen kokeellisia väsymislajuuden alenemiskertoimia tai kimmoteoreettisia jännityskeskittymäkertoimia. Hitsaussaumojen jännityskeskittymät on arvioitava todellisen geometrian perusteella.

523. Painelaitteen mallinnuksessa on vaatimuksen 510 perusteella huomioon otetulle pinnoitteelle tehtävä väsymistarkastelu osoittamaan, ettei pinnoitteeseen synny sen suuremmasta lämpölaajenemisesta johtuvaa haitallista väsymistä.

Ympäristöolosuhteiden vaikutus

524. Väsymistarkastelussa on otettava huomioon todellisista prosessiolosuhteista johtu-

va, väsymisikää alentava ympäristövaikutus. Primääripiirissä ympäristövaikutukseen liittyviä tekijöitä ovat muun muassa jäädytteen happipitoisuus, käyttölämpötila, materiaalin epäpuhtaudet ja kuormituksen materiaaliin aiheuttama venymänopeus. Ympäristövaikutteinen väsymistarkastelu on ensisijaisesti tehtävä viitteessä [5] esitetyillä menettelyillä. Mahdolliset muut menettelyt on hyväksyttävä STUKissa.

Väsymiskertymä

525. Painelaitteisiin käytön aikana kohdistuvat erityyppiset väsyttävät kuormitukset on yhdistettävä sovellettavan standardin mukaisella menettelyllä. Eri osakuormitusten yhdessä aiheuttama, painelaitteen koko käyttöajan ajalle määritelty väsymiskertymä on määritettävä painelaitteen väsytyimmille kohdille.

6 Haurasmurtuma-analyysi

6.1 Analysoitavat laitteet

601. Ydinvoimalaitoksen ferriittisestä teräksestä valmistettujen turvallisuusluokan 1 painelaitteiden rasitetuimmille osille on tehtävä haurasmurtuma-analyysi. Tärkeimpiä kohteita ovat reaktoripainesäiliön sydänalue, suurimmat putkiyhteet ja kannen laippaliitos. Mahdollisia muita haurasmurtumatarkastelua vaativia kohteita ovat painevesireaktorilaitoksen höyrystimen sekundääripuoli, teräksinen suojarakennus sekä pääkiertopumppujen akselit ja vauhtipyörät.

6.2 Analyysimenetelmät

602. Turvallisuusluokan 1 painesäiliöiden haurasmurtuma-analyysi on tehtävä murtumismekaanikan menetelmillä. Mahdollisiin murtuma-kohtiin oletetuista säröistä on selvitettävä turvamarginaalit niiden äkillisen kasvun suhteen niin, että jännitysintensiteettitekijän K_I arvoja verrataan materiaalin murtumissitkeyteen K_{Ic} . Myötävän alueen koon kasvaessa on käytettävä elastis-plastisia menetelmiä. Käytettyjen murtumismekaanisten suureiden laskentatapa on esitettävä.

603. Muiden kohteiden tarkastelu voi olla yksinkertaisempi ja perustua esimerkiksi alimman käytössä esiintyvän lämpötilan ja sitkeä-hauras-

muutoslämpötilan (transitiolämpötilan) väliseen erotukseen.

6.3 Sitkeysarvot

604. Haurasmurtuma-analyysissa on selvitettävä käytettävät K_{Ic} :n arvot ja niiden riippuvuus materiaalin lämpötilasta. Standardissa [3] esitetään yleisimmille reaktoripainesäiliön teräslaaduille hyväksyttäviä arvoja ns. referenssikäyrinä. Muille teräksille käytettävät arvot on perusteltava erikseen. Transitiolämpötila on määritettävä sovellettavan materiaalistandardin mukaisesti.

605. Murtumissitkeys voidaan myös määrittää tekemällä viitteen [7] mukainen master-käyräsovite painelaitteen materiaalista mitattuihin sitkeysarvoihin. Näin on erityisesti tarkistettava reaktoripainesäiliön sydänalueen materiaaleille sovelletut arvot. Laaduntarkastuksen tuloksena saatuja sitkeysarvoja voidaan käyttää tapauskohtaisesti ottaen huomioon teräksen epähomogeenisuuden ja suuntaisuuden vaikutus sekä koetulosten lukumäärä ja hajonta.

606. Haurasmurtuma-analyyseissa on lisäksi otettava huomioon mahdollisesta käytön aikaisesta vanhenemisesta johtuva sitkeysarvojen aleneminen. Dynaamisissa kuormitustilanteissa myös materiaalin suuri venymänopeus heikentää murtumissitkeyttä.

607. STUKille on järjestettävä mahdollisuus valvoa sitkeysarvojen määrittämiseen liittyviä kokeellisia tutkimuksia.

6.4 Säteilyhaurastuminen

608. Reaktoripainesäiliön haurasmurtuma-analyysissa on esitettävä laskennallinen ennuste neutronisäteilyn aiheuttamalle transitiolämpötilan säteilysiirtymälle. Käytön aikana ennusteen konservatiivisuudesta on varmistuttava erityisen säteilyhaurastumisen seurantaohjelman avulla.

609. Säteilysiirtymän ennusteen on perustuttava teräksen seosaineiden, kemiallisten epäpuhtauksien ja nopeiden neutronien annoksen väliseen kokemukseräiseen korrelaatioon. Käytön aikana lähtökohtana voidaan käyttää myös säteilyhau-

rastumisen seurantaohjelman tuloksiin tehtyä sovitetta. Materiaalin epähomogeenisuus ja koe-tuloksiin liittyvä hajonta pitää tällöin ottaa huomioon. Käytetyt arvot on perusteltava.

6.5 Eri lämpötiloissa sallittu paine

610. Haurasmurtuma-analyysissa on laskettava korkein paine, joka voidaan sallia painelaitteelle normaaleissa käyttötilanteissa eri lämpötiloissa. Lasketut arvot on otettava huomioon turvallisuusteknisten käyttöehtojen mukaista sallittua paine- ja lämpötila-aluetta määritettäessä. Lisäksi on laskettava alimmat sallitut lämpötilat painelaitteen painekokeille.

611. Analyysissa voidaan käyttää viitteen [2] liitteessä G esitettyjä oletettuja säröjä ja laskentamenetelmiä. Muut laskentatavat on hyväksyttävä STUKissa.

6.6 Käyttöhäiriöt ja onnettomuudet

612. Haurasmurtuma-analyysissa on tarkasteltava sellaiset häiriö- ja onnettomuustilanteet, joissa painelaitteen seinämä jäähtyy voimakkaasti tai painelaite voi paineistua kylmänä. Reaktoripainesäiliötä koskevassa tarkastelussa huomioon otettavia tekijöitä ovat muun muassa

- hätäjäähdytykseen johtavat alkutapahtumat
- laitoksen järjestelmien toiminta
- laitoksen ohjaajien toiminta
- hätäjäähdytteen aiheuttama paikallisesti kylmempi alue
- virtausnopeudet ja lämmönsiirto
- paineen ja lämpötilaerojen aiheuttamat jännitykset
- pinnoitteen ja perusaineen erilainen lämpölaajeneminen ja lämmönjohtuminen
- jäännösjännitykset
- säröjen koko, muoto, suunta ja sijainti
- sitkeysarvot ja säteilysiirtymä.

613. Analysoitavia kuormitustilanteita valittaessa on käytävä läpi kysymykseen tulevat tapahtumaketjut. Reaktoripainesäiliön määräaikaistarkastusohjelmalla on voitava havaita luotettavasti analyysin oletuksia vastaavat todelliset säröt. Eri tekijät ja käytetyt lähtötiedot on perusteltava.

614. Hyväksymiskriteerinä on käytettävä sovellettavan standardin mukaista varmuuskerrointa oletetun särön kasvamisen suhteen. Lisäperusteluna voidaan tapauskohtaisesti ottaa huomioon analyysi särönkasvun pysähtymisen antamasta turvamarginaalista.

6.7 Todennäköisyysperusteinen analyysi

615. Jos haurasmurtuman riskiä ei voida luvun 6.6 mukaisen häiriö- ja onnettomuustilanteiden analyysin perusteella päätellä merkityksettömän pieneksi, reaktoripainesäiliön rakennesuunnitelmassa on lisäksi esitettävä vastaavat tekijät huomioon otettava analyysi haurasmurtuman todennäköisyydestä. Hyväksymiskriteerinä on vaatimus, että haurasmurtuman todennäköisyys on erittäin pieni ja vain vähäinen osa todennäköisyysperusteisella riskianalyysillä (PRA) arvioidusta reaktorisydämen vaurioitumisen kokonaistodennäköisyydestä.

6.8 Muut nopean murtuman tarkastelut

616. Turvallisuusluokan 1 painelaitteen lujuusanalyysien yhteydessä on tarkasteltava transitioaluetta korkeammassa lämpötilassa, ns. ylätasanteen alueella, tapahtuvan nopean murtumisen mahdollisuutta. Tämä voi tulla kysymykseen painelaitteen sellaisissa paksuseinämäisissä kohdissa, joihin kohdistuu korkeassa paineessa nopea jäähdytys. Ylätasanteen sitkeysarvojen riittävyys on tarvittaessa analysoitava. Käytettävät menetelmät ja kriteerit on hyväksyttävä STUKissa.

7 Vuoto ennen murtumaa -analyysi

7.1 Turvallisuusperiaatteet

701. Murtuman ennalta estämisellä (break preclusion, BP) tarkoitetaan periaatetta käyttää kehittyneitä teknisiä ja organisatorisia menettelyjä putkistojen rakentamiseen, käyttöön ja kunnossapitoon siten, että LBB-periaate toteutuu ja tämä voidaan ottaa huomioon, kun ydinvoimalaitoksen suunnittelussa varaudutaan putkiston täydellisen, äkillisen murtumisen seurausvaikutuksiin.

702. Vuoto ennen murtumaa (LBB) tarkoittaa periaatetta, että putkistolla ei ole tunnistettuja täydellisen, äkillisen murtuman (katkeamisen) mahdollisuuden aiheuttavia vauriomekanismeja. Jos materiaalissa oleva vika jää havaitsematta putkistolle tehtävissä tarkastuksissa, siitä saa pahimmassakin tapauksessa kehittyä vain pieni paikallinen vuoto, jonka havaitsemisen perusteella laitos ehditään ajaa sellaiseen tilaan, ettei vaaraa täydellisestä murtumasta ole.

7.2 Soveltamisala

703. Tässä luvussa esitetään vaatimukset LBB-periaatteen toteutumisen osoittamisesta sekä BP-periaatteen teknisestä ja organisatorisesta toteutuksesta. Ne putkistot, joille LBB-periaatteen toteutuminen on osoitettava tai voidaan osoittaa, määritellään ohjeessa YVL B.5.

704. LBB-periaatteen toteutuminen voidaan tapauskohtaisesti ottaa huomioon teknisenä lisäperusteena putkistojen eheyteen liittyvien poikkeamien hyväksymiskäsittelyssä.

7.3 Suojausvaatimukset

705. Jos LBB-periaatteen toteutumista ei osoiteta, on korkeaenergisien putkiston suunnittelussa otettava huomioon sen oletetusta täydellisestä murtumasta kohdistuvat, vaatimuksissa 415, 416 ja 417 tarkoitetut iskumaiset kuormitukset niille altistuviin turvallisuudelle tärkeisiin laitteisiin ja rakenteisiin. Putkisto on tällöin varustettava murtumatuilla viitteen [10] mukaisesti, ellei kyseisten laitteiden ja rakenteiden suojaamiseksi esitetä muuta, esimerkiksi ohjeen YVL B.7 mukaiseen tilasuunnitteluun perustuvaa hyväksyttävää ratkaisua.

706. Murtumatukien tyyppin, sijainnin ja vaikutussuuntien valinnassa on tarkasteltava kattavasti eri murtumaoletuksista aiheutuvat uhat. Tarvittaessa on suojauksia rakennettava myös täydellisesti murtuneesta putkesta tulevan suihkun varalta.

707. Jos putkistolle on osoitettu LBB-periaatteen toteutuminen, suunnittelun ei tarvitse perustua oletetusta täydellisestä murtumasta johtuviin iskumaisiin kuormituksiin. Tarvittaessa on suojaus toteutettava seinämän läpäisevästä särös-

tä tulevaksi arvioitun suurimman mahdollisen suihkukuorman varalta.

708. Muut ydinvoimalaitoksen turvallisuusjärjestelmien suunnittelussa huomioon otettavat oletettujen putkikatkojen vaikutukset käsitellään ohjeissa YVL B.1, YVL B.5 ja YVL B.7.

7.4 Toimitettavat selvitykset

709. Selvitys BP-periaatteen toteutuksesta ja täydellisen murtuman mekanismien pois sulkemisesta on toimitettava STUKille kysymyksessä olevan laitoshankkeen suunnitteluasiakirjoissa. LBB-analyysit toimitetaan asianomaisten putkistojen lujuusanalyysiraporttien osana.

7.5 Murtuman ennalta estämisen toteutus

Tekninen toteutus

710. BP-periaatteen teknisen toteutuksen tavoitteena on oltava putkiston eheyden ja luotettavuuden kannalta paras mahdollinen, korkeimmat standardivaatimukset täyttävä rakenteellinen kokonaisratkaisu muun muassa seuraavilla toimenpiteillä [9]:

- a. eripariliitosten lujuutta varmentavat tutkimus- ja seurantaohjelmat, jos näitä liitoksia ei rajoiteta pienihalkaisijaisille putkiosuukille
- b. hitsausliitosten lukumäärien minimoiminen ja vieminen etäälle jännityskeskittymäkohdista suuria takeita ja integroituja yhteitä käyttämällä
- c. ainevahvuuksien toleranssien tiukennus erityisesti hitsausliitoksille
- d. kaarevien putkiosuukien taivutussäteiden kasvattaminen sekä putkikäyrien varustaminen suorilla jatkeilla liitoshitsien tarkastettavuuden parantamiseksi ja jännitysten alentamiseksi
- e. sitkeysominaisuuksien, korroosioilmiöiden kestävyys ja ultraäänitarkastettavuuden optimointi materiaalivalinnoilla ja valmistustekniikoilla
- f. termisten kuormitustilanteiden minimointi sekä väsymiselle alttiiden putkiyhteiden välttäminen ja varustaminen lämpökilvillä
- g. valmistuksen aikaiset optimoidut volymetriset tarkastukset.

711. Suojausvaatimusten perustamiseksi LBB-periaatteeseen on tekniseen toteutukseen lisäksi kuuluttava:

- a. riittävän herkkä, erilaisuusperiaatetta toteuttava ja tosiaikaiset hälytykset tuottava tunnistamattomien vuotojen valvonta [6]
- b. staattisen ja dynaamisen käyttäytymisen sekä oletettujen termisen väsymisen kohteen seuranta käytön aikaisilla mittauksilla
- c. sitkeysominaisuuksien riittävyyden tarkistus murtumisvastustestauksella.

Organisatorinen toteutus

712. Luvanhakijan tai -haltijan on huolehdittava siitä, että BP-periaatteeseen perustuvan ydinvoimalaitoksen suunnitteluun, rakentamiseen ja käyttöön osallistuvalla henkilöstöllä on riittävä ohjeistus ja koulutus turvallisuuden kannalta tärkeiden painelaitteiden murtumien ennalta estämistä ja varhaista havaitsemista edistävään toimintaan.

7.6 Täydellisen murtuman mekanismit

713. BP-periaatteesta annettavassa selvityksessä on yksityiskohtaisesti perusteltava, että sen teknisen ja organisatorisen toteutuksen ansiosta putkistolle ei voida tunnistaa täydellisen murtuman aiheuttavia suoria tai epäsuoria mekanismeja. Perustelussa voidaan tukeutua viitteeseen [11] käymällä läpi seuraavat mahdollisuudet:

- a. valmistusvirheet ja ikääntymismekanismit, joiden seurauksena putken seinämään muodostuisi niin laajalle alueelle kantokykyä heikentävä vika, että sen edelleen kasvaessa putkiston kyky kantaa luvun 4.3 mukaiset käyttökuormitukset voitaisiin nopeasti menettää
- b. valmistusvirheet ja ikääntymismekanismit, joiden seurauksena putkiston materiaalin mekaaniset ominaisuudet heikkenevät niin, että luvun 4.3 mukaiset käyttökuormitukset tai käyttölämpötilan huomattava aleneminen aiheuttaisivat nopean murtuman vaaran
- c. sisäisestä tai ulkoisesta tapahtumasta, toimintahäiriöstä tai inhimillisestä virheestä johtuva iskumainen kuormitus, joka ylittää ajateltavissa olevalla tavalla vioittuneen putkiston seinämän kantokyvyn.

714. Putkiston murtumistodennäköisyydestä tehty arvio voidaan esittää teknisenä lisäperusteluna.

7.7 Analyysimenetelmät

Seinämän läpäisevän särön kriittisyys ja vuotona havaitseminen

715. LBB-analyysissa on osoitettava murtumis- ja virtausmekaanisilla analyyseilla vuodon havaitsemisen ja kriittisen vikakoon suhteen viitteessä [11] vaaditut turvamarginaalit.

716. LBB-analyysin tekemiseksi on oletettava, että putkistoon on syntynyt seinämän läpäiseviä säröjä. Niiden on sijaittava sellaisissa kohdissa, joissa lähtötietona annettavien jännitysten ja materiaaliominaisuuksien yhdistelmä on epäedullisin.

717. Kriittisen vikakoon määrittämisen on perustuttava valmistukseen käytettyjä materiaaleja ja hitsausmenetelmiä edustaviin murtumisvastusarvoihin, jotka on määritetty soveltuvan standardin [8] mukaisella testauksella normaalikäyttöä vastaavassa lämpötilassa. Murtumisvastusarvojen on oltava päteviä sille stabiilin särönkasvun määrälle, jonka perusteella kriittinen vikakoko ja turvamarginaali sen suhteen määritetään. Ekstrapolointia käytettäessä on siihen sovellettu menetelmä ja tiedot sen kelpoisuudesta esitettävä.

718. Jos murtumisvastusarvoja määritetään tai ekstrapolointimenetelmää kelpuutetaan kokeellisesti kysymyksessä olevalle laitoshankkeelle, STUKille on järjestettävä mahdollisuus näiden kokeiden valvontaan. Kokeista on jäätävä luvanhaltijan taltioitavaksi materiaalinäytteitä.

719. Kriittinen vikakoko on määritettävä tehdyn jännitysanalyysin mukaan suurimman paikallisen rasituksen aiheuttaville käyttöolosuhteille niin, että otetaan huomioon spesifioidut nopeat painetransientit ja suunnittelumaanjärjestys. Sitkeysarvoja alentavan lämpötilan laskun mahdollisuutta on tarkasteltava ferriittiselle materiaalille. Lisäksi on otettava huomioon mahdollisen käyttöajan aikana tapahtuvan vanhenemisen

vaikutus. Primääripiirissä suunnittelun lähtökohtana voidaan käyttää hitsausliitokselle huoneen lämpötilassa osoitettua iskusitkeysarvoa 100 J.

720. Kriittisen vikakoon ja vuotoaukon koon määrittämiseen on käytettävä soveltuvia, esimerkiksi viitteessä [12] esitettyjä elastis-plastisia menetelmiä. Menetelmän perusteena olevan murtumismekaanisen parametrin laskentatapa on esitettävä, samoin sovellettu jännitys-venymäkäyrä ja siihen tehty matemaattinen sovite. Kun hitsiaine on merkittävästi lujempaa kuin perusaine, on sen lujuusarvoja käytettävä vuotoaukon koon laskentaan. Kriittisen vikakoon on tällöin perustuttava perusaineen lujuusarvoihin.

721. LBB-analyysiin on sovellettava sellaisen vuotojen valvonnan toteutukseen kuuluvan järjestelmän herkkyyсарvoja, joka tuottaa tunnistamattomasta vuodosta hälytyksen viimeistään yhden tunnin kuluessa. Järjestelmän on oltava testien avulla kelpoistettu saavuttamaan analyysissä käytettävät arvot. Jos käytettävät arvot alittavat arvon 3,8 l/min [6], on kelpoistus tehtävä todellisia laitosolosuhteita edustavilla kokeilla, joiden valvomiseen STUKille järjestetään mahdollisuus.

722. Vuotomäärän laskentaan käytettävän menetelmän on oltava kelpoistettu soveltuvilla koetuloksilla. Kitkallisen vuotovirtauksen termodynaaminen mallinnustapa sekä siinä käytetyt pinnankarheuden arvot on esitettävä.

Sisäpinnasta alkanut särön kasvu

723. LBB-analyysissä on osoitettava väsymissärön kasvuun perustuvilla murtumismekaanisilla tarkasteluilla, etteivät putkistolle spesifioidut väsyttävät kuormitukset aiheuta sen sisäpintaan oletetulle särölle merkittävää kasvua koko käyttöiän aikana.

724. Väsymissärön kasvutarkastelussa analysoidavat säröt on oletettava putkiston väsyttymisiin kohtiin. Valinnassa voidaan ottaa huomioon tarkastettavuuteen vaikuttavat tekijät.

725. Tarkasteltavien väsymissäröjen alkukoot on määriteltävä vähintään putkiston rikkomatto-

mille määräraikaistarkastuksille asetetun havaitsemistavoitteen suuruisiksi. Soveltuvia kokemuksia valmistuksen aikana tehdyissä tarkastuksissa havaitsematta jääneistä virheistä voidaan ottaa huomioon.

8 Lujuusanalyysien laadunhallinta

8.1 Lujuusanalyysin tekevä organisaatio

801. Lujuusanalyysija tekevällä organisaatiolla on oltava tähän tarkoitukseen dokumentoitu ja toimeenpantu laadunhallintajärjestelmä [13], josta ilmenee muun muassa seuraavat asiat:

- a. lujuusanalyysija suorittava, tarkastava ja hyväksyvä henkilöstö ja sen pätevyudet
- b. käytettävät tietokoneohjelmat ja niiden versiot
- c. menettelyt ja vastuut ohjelmistojen hankinnassa, ajan tasalla pidettäessä, kehitettäessä ja kelpoistettaessa
- d. lähtötietoihin, analyysin suoritukseen, dokumentointiin ja tarkastamiseen liittyvät prosessit
- e. laatuvaatimukset eri tärkeys- ja vaativuusluokan analyysille.

802. Turvallisuusluokkien 1 ja 2 painelaitteiden lujuusanalyysit on tehtävä riittävän koetelluilla menetelmillä. Valittujen menetelmien perusteet ja rajoitukset on tunnettava, ja kelpoistus tehtävänä olevaan analyysiin on tarkistettava. Tietokoneelle ohjelmoitua menetelmää, kuten elementtimenetelmää, käytettäessä laskennan suorittajalla on oltava siitä ja sen tehtävänä olevaan analyysiin tarvittavista ominaisuuksista hyvä kokemus. Analyysin oikeellisuuden varmistamiseksi on tehtävä tarkistuslaskelmia ja käytävä läpi ohjelman suorittamat tarkistukset.

803. Laitetoimittajan, luvanhakijan tai luvanhaltijan tekemissä lujuusanalyysissä on laadunhallinnan sekä turvallisuuden hallinnan perustuttava sertifioituun tai muutoin riippumattomasti arvioituun johtamisjärjestelmään ja niiden asettamat vaatimukset on otettava huomioon resurssien hallinnassa.

8.2 Lujuusanalyysin toimittajien arvioinnit ja valvonta

804. Luvanhakijan tai -haltijan on huolehdittava siitä, että painelaitteiden lujuusanalyysin tekemiseen tarvittava ulkopuolinen toimittaja on arvioitu ennen analyysin hankintaa.

805. Luvanhakijan tai -haltijan on arvioitava 1. ja 2. turvallisuusluokan painelaitteiden lujuusanalyysien hankintoihin käyttämänsä toimittajat auditoimalla näiden laadunhallintajärjestelmät.

806. Luvanhakijan tai -haltijan on tekemillään arvioinneilla ja valvonnalla varmistuttava siitä, että 1. ja 2. turvallisuusluokan painelaitteiden toimittajalla, joka teettää lujuusanalyysin alihankintana, on alihankkijan arviointiin laadunhallintajärjestelmän auditoinnin edellyttävä menettely ja että sitä noudatetaan.

807. Turvallisuusluokan 3 painelaitteiden lujuusanalyysien toimittajan arviointi voi perustua sertifioituun tai muutoin riippumattomasti arvioituun laadunhallintajärjestelmään.

808. Luvanhakijan tai -haltijan on ylläpidettävä luetteloja tekemissään arvioinneissa hyväksyttäväksi katsotuista lujuusanalyysien toimittajista ja lujuuslaskentaohjelmista. Hyväksyttäväksi katsomisen edellytysten säilymistä on seurattava.

8.3 Lujuusanalyysin hankinta

809. Luvanhakijan tai -haltijan laadunhallintajärjestelmässä on oltava noudatettavat laatuvaatimukset määrittelevä, ohjeistettu menettely lujuusanalyysien hankkimisesta hyväksyttäväksi katsotulta toimittajalta.

810. Luvanhakijan tai -haltijan on annettava tekemiensä lujuusanalyysien hankintojen yhteydessä toimittajalle tarvittavat lähtötiedot analysoitavista painelaitteista sekä niiden suunnitteluperusteista ja turvallisuusmääräyksistä.

811. Luvanhakijan tai -haltijan on varmistuttava siitä, että laitetoimittajalla on lujuusanalyysien alihankintoihinsa vastaava menettely ja että toimittaja saa alihankinnan yhteydessä tarvittavat lähtötiedot.

812. Lujuusanalyysin hankkineen organisaation on todennettava, että toimitus vastaa hankinnan turvallisuus- ja laatuvaatimuksia sekä lähtötietoja ja että tulokset täyttävät niille asetetut kriteerit. Tulosten oikeellisuutta on arvioitava teknisesti ja mahdolliset poikkeamat tai odottamattomat tulokset on selvitettävä.

8.4 Lujuusanalyysin tarkastaminen

813. Luvanhakijan tai -haltijan on tarkastettava viranomaiskäsittelyyn toimitettavat lujuusanalyysit riippumattomasti. Toimitukseen on liitettävä tarkastuksesta ja hyväksynnän perusteista laadittu yhteenveto. Oikeellisuudesta ja hyväksyttävyydestä varmistumiseksi on tarvittaessa hankittava riippumattomasti tehty vertailuanalyysi.

814. Luvanhakijan tai -haltijan tekemien lujuusanalyysin tarkastusten on perustuttava sertifioituun tai muutoin riippumattomasti arvioituun johtamisjärjestelmään. Tarkastuksissa läpikäytävät asiat on ohjeistettava ja niiden asettamat vaatimukset on otettava huomioon resurssien hallinnassa.

8.5 Kuormitusanalyysien ja -seurannan laadunhallinta

815. Luvuissa 8.1–8.4 esitetyt vaatimukset pätevät soveltuvin osin kuormitusanalyysiin.

816. Kuormitusten ja vanhenemisen vaikutusten seurannassa on noudatettava ydinvoimalaitoksen ikääntymisen hallinnalle määriteltyjä laadunhallinnan menettelyjä. Tulosten käsitteilyllä on oltava hyvä asiantuntemus ja kokemus kyseiselle ydinvoimalaitokselle hyväksytyistä väsymistarkasteluista sekä sen toiminnasta eri käyttö- ja häiriötilanteissa.

8.6 Lujuusanalyysien laadunhallinta laitoshankkeissa

817. Laitostoimituksen tai laajan muutostyön alkaessa on turvallisuusluokkien 1–3 painelaitteiden lujuusanalyysien tärkeimpien toimittajien toimintaedellytykset arvioitava järjestelmällisesti. Luvanhakijan tai -haltijan on varmistuttava toimittajien, erityisesti laitostoimittajan lujuusanalyseja tekevien organisaatioiden, perehtyneisyydestä hankkeeseen ja siinä noudatettavaan

turvallisuus- ja laatu politiikkaan, laatusuunnitelmaan sekä turvallisuusmääräyksiin.

818. Laitostoimituksen tai laajan muutostyön edettyä laitteiden suunnitteluun luvanhakijan tai -haltijan on valvottava turvallisuusluokkien 1–3 painelaitteiden lujuusanalyysien toimitusten etenemistä, laadunhallintajärjestelmien ja turvallisuusmääräysten noudattamista sekä alustavien tulosten hyväksyttävyyttä ja tämän ohjeen vaatimustason täyttymistä säännöllisellä yhteydenpidolla ja seurantakokouksilla. Merkittävistä poikkeamista on ilmoitettava STUKille.

819. Laitostoimitukseen tai laajaan muutostyöhön kuuluvien lujuusanalyysien valvonnassa luvanhakijan tai -haltijan on erityisesti kiinnitettävä huomiota keskeisten analyysiprosessien ohjeistukseen, vaativien menetelmien kelpoitukseen sekä siihen, että

- a. suunnittelussa pyritään painelaitteiden rasituksia, kuten termistä väsymistä tai reaktoripainesäiliön säteilyhaurastumista, alentaviin teknisiin ratkaisuihin ja toteutetaan BP-periaatetta koskevat vaatimukset
- b. osallistuvat organisaatiot noudattavat yhdenmukaisia suunnittelu- ja raportointikäytäntöjä sekä standardeja
- c. tarvittavat tiedonsiirrot eri organisaatioiden sekä tietokoneohjelmien ja -järjestelmien välillä toimivat luotettavasti
- d. suunnittelutietojen oikeellisuuden ja ajantasaisuuden varmistamiseen sekä kiinnittämiseen on riittävä hallinnollinen menettely
- e. laitteiden ja vastuualueiden rajapintoihin, esimerkiksi laitteiden yhdekuormien spesifointiin ja tarkistukseen, on toimiva menettely
- f. valmistus- ja asennuspoikkeamien sekä massa-, tuenta- yms. tietojen muutosten hallintaan on toimivat menettelyt.

820. Luvanhakijan tai -haltijan on varmistuttava siitä, että laitostoimituksessa tai laajassa muutostyössä käytetään järjestelmällistä menettelyä kaikkien vaadittujen lujuusanalyysien toimitusaikataulun hallintaan. Lujuusanalyysien toimituksista ja viranomais hyväksynnöistä on oltava laitekohtaisesti eritelty suunnitelma rakenta-

mislupaa haettaessa, ja käyttö lupaa haettaessa sen toteutumisesta on toimitettava yhteen veto STUKille.

8.7 Lujuusanalyysirekisteri

821. Luvan haltijan on pidettävä ydinvoimalaitoksen käytön aikana rekisteriä viranomaiskäsitelyssä hyväksytyistä lujuus- ja kuormitusanalyyseista. Rekisterin avulla on voitava selvittää luotettavasti määräaikaistarkastusohjelmissa, kuormitusten ja säteilyhaurastumisen seurantaohjelmissa sekä mahdollisissa muutostöissä tarvittavat painelaitteiden lujuuteen liittyvät tiedot.

9 Viranomaisvalvonta

9.1 Säteilyturvakeskuksen tekemä valvonta

901. STUK tarkastaa tämän ohjeen mukaiset kuormitusanalyysit sekä vaatimusten 501, 503, 601, 616 ja 703 mukaisiin soveltamisaloihin kuuluvat painelaitteiden ja pumppujen lujuusanalyysit lupahakemusten ja rakennesuunnitelmien käsittelyn yhteydessä.

902. STUK valvoo tarkastusvastuulleen kuuluville painelaitteille tehtävien lujuus- ja kuormitusanalyysien oikeellisuuden osoittamiseen liittyviä kokeellisia tutkimuksia ja testauksia sekä valvoo kokeellisesti tehtäviä jännitysanalyysseja.

903. STUK valvoo väsyttävien kuormitusten ja värähtelyjen seuranta koekäyttöjen ja käytön aikana tehtävillä tarkastuskäynneillä sekä vuosiraportteja tarkastamalla.

904. STUK hyväksyy suunnitelmat tämän ohjeen mukaisissa lujuusanalyyseissa noudatettavista standardeista ja tarvittaessa täsmentää päätöksillään niiden soveltamistapaa.

905. STUK arvioi tarkastusvastuulleen kuuluville painelaitteille tehtävien kuormitus- ja lujuusanalyysien laatua omalla tarkastustoiminnalla sekä vertailuanalyysseja teettämällä.

906. STUK arvioi kuormitus- ja lujuusanalyysihin sekä lujuuden varmistamiseen liittyviä luvan hakijan tai -haltijan johtamisjärjestelmiä.

907. Laitostoimitusten ja laajojen muutostöiden yhteydessä STUK valvoo tarkastusvastuulleen kuuluvien painelaitteiden kuormitus- ja lujuusanalyysien toimittajille sekä näihin analyysihin alihankkijoina osallistuville toimittajille tehtäviä laadunhallintajärjestelmien auditointeja sekä tärkeimpien lujuusanalyysien etenemiseen ja projektinhallintaan kohdistuvaa seurantaa.

9.2 Auktorisoidun tarkastuslaitoksen tekemä valvonta

908. Auktorisoitu tarkastuslaitos tarkastaa vaatimuksessa 502 tarkoitettua ydinteknisten painelaitteiden ja pumppujen jännitysanalyysit niiden rakennesuunnitelmien käsittelyn yhteydessä.

909. Auktorisoitu tarkastuslaitos arvioi vaatimuksessa 502 tarkoitetuille ydinteknisille painelaitteille ja pumpuille tehtävien jännitysanalyysien laatua sekä arvioi jännitysanalyysin tarpeellisuutta vaatimuksessa 503 tarkoitetuille kohteille omalla tarkastustoiminnalla.

Määritelmät

Auktorisoitu tarkastuslaitos

Auktorisoidulla tarkastuslaitoksella tarkoitetaan riippumatonta tarkastuslaitosta, jonka Säteilyturvakeskus on ydinenergialain 60 a §:n nojalla hyväksynyt suorittamaan ydinlaitosten painelaitteiden, teräs- ja betonirakenteiden sekä mekaanisten laitteiden tarkastustehtäviä julkisena hallintotehtävänä.

Dynaaminen analyysi

Dynaamisella analyysillä tarkoitetaan iskumaisen, seismisen tai jaksollisesti vaihtelevan kuormituksen alaisena olevan laitteen tai rakenteen ajasta riippuvan käyttäytymisen (värähtelyiden) ja rasiusten määrittämistä. Erityisesti selvitetään ominaisvärähtelyjen heräämisestä johtuva resonanssin riski ja rasiusten voimistuminen suhteessa saman suuruisen staattisen kuormituksen aiheuttamiin rasiuksiin.

Elementtimenetelmä

Elementtimenetelmällä (finite element method, FEM) tarkoitetaan sellaista rakenteessa tai muussa väliaineessa tapahtuvien fyysikaalisten ilmiöiden matemaattista mallintamistapaa, jossa analysoitava tilavuus ja ilmiöitä hallitsevien muuttujien jakautuminen siinä kuvataan numeerisesti äärellisten elementtien muodostamalla verkolla.

Haurasmurtuma

Haurasmurtumalla tarkoitetaan metallisessa rakenteessa vetojännityksen alaisena ja ilman olennaista pysyvää muodonmuutosta tapahtuvaa nopeaa särön kasvua, jonka kasvusta vapautuvaa energiaa hyödyntäen voi edetä rakenteessa aina täydelliseen murtumaan asti.

Jännitysanalyysi

Jännitysanalyysilla painelaitteen todellisen rakenteen ja kuormitusten mallintamiseen perustuvaa lujuusanalyysia, jolla eliminoidaan kuormitusten kantokyvyn menetyksestä, liiallisesta muodonmuutoksesta ja väsymisestä johtuva vaurioitumisriski, kun näitä mekanismeja hallitseville lasketuille jännityksille asetetut, sovellettavan standardin mukaiset hyväksymisrajat täytetään.

Konservatiivinen analyysimenetelmä

Konservatiivisella analyysimenetelmällä tarkoitetaan sellaista turvallisuusanalyysin teko tapaa, jossa käytettäviin laskentamalleihin ja alkuoletuksiin liittyvät epävarmuudet otetaan huomioon niin, että analysoitavan tapahtuman seuraukset olisivat hyvällä varmuudella lievempiä kuin analyysitulosta osoitetaan.

Kriittinen vikakoko

Kriittinen vikakoko tarkoittaa painelaitteeseen oletetun särömäisen vian sellaista kokoa, jonka ylittyminen aiheuttaisi sovellettavan murtumismekaanisen kriteerin mukaan nopean murtuman vaaran kuormitustilanteessa, jossa jännitystilojen ja materiaaliominaisuuksien yhdistelmä on epädullisin.

Kuormitusten analyysi

Kuormitusten analyysillä tarkoitetaan koko elinkaaren kattavaa laskennallista määrittelyä niille mekaanisille ja termisille rasituksille (käyttökuormituksille, service loadings), joita laite koee suunnittelun perusteena olevissa laitoksen käyttötilanteissa ja onnettomuuksissa, kun huomioon otetaan käyttöä, vaadittuja toimintoja sekä tapahtumien kulkua koskevat ohjeet, spesifikaatiot ja analyysit.

Kuormitusten ryhmittely

Kuormitusten ryhmittelyllä tarkoitetaan jännitysanalyysiin sovellettavassa standardissa esitettyjen, kuormituksen vakavuusasteen ja edellytettävien varmuuskertoimien mukaan porrastettujen hyväksymisrajojen kohdentamista suunnittelussa määritelyihin käyttökuormituksiin siten, että huomioon otetaan kuormituksen esiintymistäajuus, sen jälkeiset tarkastus- ja korjausmahdollisuudet sekä painelaitteelle kyseisessä tilanteessa asetettävät eheys- ja toiminnallisuusvaatimukset.

Laadunhallinta

Laadunhallinnalla tarkoitetaan kaikkia niitä koordinoituja ja suunniteltuja toimenpiteitä, jotka tehdään sen varmistamiseksi, että organisaatio, laite, laitos tai toiminta täyttää sille asetetut vaatimukset ja laatukriteerit (SFS-EN ISO 9000).

Lujuusanalyysiraportti

Lujuusanalyysiraportilla tarkoitetaan painelaitteen lujuusanalyysien dokumentaatiosta muodostuvaa, rakennesuunnitelman yhteydessä viranomaiskäsittelyyn toimitettavaa asiakirjakokonaisuutta.

Murtuman ennalta estäminen

Murtuman ennalta estämisellä (break preclusion, BP) tarkoitetaan periaatetta käyttää kehittyneitä teknisiä ja organisatorisia menetelmiä putkistojen rakentamiseen, käyttöön ja kunnossapitoon siten, että LBB-periaate toteutuu ja tämä voidaan ottaa huomioon, kun ydinvoimalaitoksen suunnittelussa varaudutaan putkiston täydellisen, äkillisen murtumisen seurausvaikutuksiin.

Murtumatuki

Murtumatuella tarkoitetaan korkeaenergisien putken katkeamisen varalta rakennettua teräsrakennetta, joka estää katkosta johtuvat iskut turvallisuuden kannalta tärkeisiin laitteisiin ja rakenteisiin sekä rajoittaa äkillisestä vuotovirtauksesta syntyvää hydrodynaamista kuormitusta saman järjestelmän sisä rakenteisiin.

Painelaite

Painelaitteella tarkoitetaan säiliötä, putkistoa ja muuta teknistä kokonaisuutta, jossa on tai johon voi kehittyä ylipainetta, samoin kuin painelaitteen suojaamiseksi tarkoitettuja teknisiä kokonaisuuksia; painelaitteiden osiksi luetaan myös paineenalaisiin osiin kiinnitetyt osat kuten laipat, yhteet, liittimet, kannattimet, nostokorvakkeet jne.

Painelaitteen rakennesuunnitelma

Painelaitteen rakennesuunnitelmalla tarkoitetaan ennen painelaitteen valmistuksen aloittamista viranomaiskäsittelyyn toimitettavaa asiakirjakokonaisuutta, joka dokumentoi painelaitteen suunnitellun rakenteen laskelmiseen, valmistussuunnitelmat, tarkastus- ja testaussuunnitelmat, liittyvien muiden laitteiden soveltuvuuden sekä yhteenvedon luvanhaltijan hyväksymisperusteista

Parhaan arvion menetelmä

Parhaan arvion menetelmällä tarkoitetaan sellaista turvallisuusanalyysin tekotapaa, jossa tarkasteltavan ilmiön fysikaalinen mallinnus on mahdollisimman realistinen ja laskennan alkuoletukset valitaan realistisesti.

Primäärinen jännitys

Primäärisellä jännityksellä tarkoitetaan painelaitteen rakenteeseen syntyvää jännitystä, joka pitää rakennetta tasapainossa siihen kohdistuvien ulkoisten mekaanisten kuormitusten kanssa.

Sekundäärinen jännitys

Sekundäärisellä jännityksellä tarkoitetaan painelaitteen rakenteeseen muodonmuutoksen rajoittumisen seurauksena syntyvää tai eri lämpötilassa olevien tai jäykkyydeltään erilaisten osien yhteensopivuutta ja mukautumista (shakedown) kontrolloivaa jännitystä.

Suunnittelukuormitus

Suunnittelukuormituksella tarkoitetaan sovellettavan standardin mukaisesti määritettävää suunnittelupainetta, suunnittelulämpötilaa tai muuta mekaanista suunnittelukuormitusta, joka yhdessä suunnittelupaineen kanssa aiheuttaa normaaleissa käyttöolosuhteissa suurimmat primääriset jännitykset.

Säteilyhaurastuminen

Säteilyhaurastumisella tarkoitetaan neutronisäteilyn aiheuttamasta mikrorakenteen vaurioitumisesta ja transitiolämpötilan noususta (säteilysiirtymästä) johtuvaa reaktoripainesäiliön teräksen haurastumista sydänalueella.

Todennäköisyysperusteinen riskianalyysi (PRA)

Todennäköisyysperusteisella riskianalyysillä (PRA) tarkoitetaan kvantitatiivista arviota ydinvoimalaitoksen turvallisuuteen vaikuttavista uhkista, tapahtumaketjujen todennäköisyyksistä ja haittavaikutuksista. (VNA 717/2013)

Transitiolämpötila

Transitiolämpötilalla tarkoitetaan ferriittisellä teräksellä lämpötilan laskiessa ilmenevää olennaista sitkeä-haurasmuutosta kuvaavaa, sovellettavan standardin mukaisilla ainetta rikkovilla testauksilla määritettävää lämpötilaa.

Täydellinen, äkillinen murtuma

Täydellisellä, äkillisellä murtumalla tarkoitetaan putken katkeamista tai muuta suureen vuotoon johtavaa murtumista laajan rakenteellisen vioittumisen, materiaaliominaisuuksien heikkenemisen tai ylikuormittumisen seurauksena.

Vuoto ennen murtumaa (LBB)

Vuoto ennen murtumaa (LBB, Leak Before Break) -periaatteella tarkoitetaan sitä, että putkistolla ei ole tunnistettuja täydellisen murtuman mahdollisuuden aiheuttavia vaurioitumismekanismeja ja tarkastuksilla havaitsematta jäävästä viastakin kehittyen enintään pieni paikallinen vuoto, jonka havaitsemisen perusteella laitos ehditään ajaa sellaiseen tilaan, ettei vaaraa täydellisestä murtumasta ole.

Väsyminen

Väsymisellä tarkoitetaan paikallisissa rakenteellisissa epäjatkuvuuskohdissa toistuvien mekaanisten tai termisten kuormitusten seurauksena etenevää vauriota, joka tarkastellaan jännitysanalyysissä vertaamalla näihin kohtiin laskettuja huippujännityksiä sovellettavan standardin mukaiseen väsymiskäyrään.

Viitteet

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, Materials, Part D - Properties, the American Society of Mechanical Engineers, New York, 2010.
2. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Rules for Construction of Nuclear Facility Components, Division 1, the American Society of Mechanical Engineers, New York, 2010.
3. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI, Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components, the American Society of Mechanical Engineers, New York, 2010.
4. Comprehensive Vibration Assessment Program for Reactor Internals During Preoperational and Initial Startup Testing, Regulatory Guide 1.20, U.S. NRC, Rev.3, March 2007.
5. Guidelines for Evaluating Fatigue Analyses Incorporating the Life Reduction of Metal Components Due to the Effects of the Light-Water Reactor Environment for New Reactors, Regulatory Guide 1.207, U.S. NRC, Rev.3, March 2007.
6. Guidance on monitoring and responding to reactor coolant system leakage, Regulatory Guide 1.45, U.S. NRC, Rev.1, May 2008.
7. Standard Test Method for Determination of Reference Temperature, T_0 , for Ferritic Steels in the Transition Range, ASTM E 1921-11.
8. Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness, ASTM E 1820-11.
9. RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren mit Anhänge zu Kapitel 4.2, 1. Auflistung der Systeme und Komponenten und 2. Rahmenspezifikation Basissicherheit, GRS, Ausg. 3, 14. Okt. 1981.
10. Determination of Rupture Locations and Dynamic Effects Associated with the Postulated Rupture of Piping, Standard Review Plan 3.6.2, U.S. NRC, Rev.2, March 2007.
11. Leak-Before-Break Evaluation Procedures, Standard Review Plan 3.6.3, U.S. NRC, Rev.1, March 2007.
12. Leak-Before-Break Evaluation Procedures for Piping Components, K. Ikonen et al., STUK-YTO-TR 83, Helsinki, 1995.
13. ASME NQA-1-2008, Quality Assurance Requirements for Nuclear Facility Applications, the American Society of Mechanical Engineers, New York, 2008.
14. WENRA Reactor Safety Reference Levels PS/7.1.2010.
15. IAEA Specific Safety Requirements No. SSR-2/1, Safety of Nuclear Power Plants: Design.
16. Ydinenergiälaki (990/1987).
17. Valtioneuvoston asetus ydinvoimalaitosten turvallisuudesta (VNA 717/2013).