

OHJE YVL E.4

YDINVOIMALAITOKSEN PAINELAITTEIDEN LUJUUSANALYYSIT

1	Johdanto	4
2	Soveltamisala	7
3	Lujuusanalyytiraportti	9
3.1	Sisältö ja tarkoitus	9
3.2	Toimitusajankohta	9
3.3	Esitystapa	10
4	Kuormitukset	12
4.1	Toimitettavat selvitykset	12
4.2	Suunnittelukuormitukset	12
4.3	Käyttökuormitukset	12
4.3.1	Ryhmittely	13
4.4	Kuormitusten analyysit	14
4.4.1	Termiset kuormitukset	14
4.4.2	Iskumaiset kuormitukset	14
4.4.3	Seismiset kuormitukset	15
4.5	Kuormitusten seuranta	16
4.5.1	Koekäyttö	16
4.5.2	Käyttö	16
5	Jännitysanalyysi	18
5.1	Analysoitavat laitteet	18
5.2	Noudatettavat standardit	18
5.3	Rakenteen mallinnus	19
5.3.1	Laajuus ja yksityiskohtaisuus	19
5.3.2	Putkistojen laskentamallit	20
5.3.3	Materiaaliominaisuudet	20
5.4	Hyväksymisrajat	20
5.5	Väsymistarkastelu	21
5.5.1	Jännityskeskittymät	21
5.5.2	Ympäristöolosuhteiden vaikutus	22
5.5.3	Väsymiskertymä	22
6	Haurasmurtuma-analyysi	23

6.1	Analysoitavat laitteet	23
6.2	Analyysimenetelmät	23
6.3	Sitkeysarvot	23
6.4	Säteilyhaurastuminen	24
6.5	Eri lämpötiloissa sallittu paine	24
6.6	Käyttöhäiriöt ja onnettomuudet	25
6.7	Todennäköisyysperusteinen analyysi	25
6.8	Muut nopean murtuman tarkastelut	26
7	Vuoto ennen murtumaa -analyysi	27
7.1	Turvallisuusperiaatteet	27
7.2	Soveltamisala	27
7.3	Suojausvaatimukset	27
7.4	Toimitettavat selvitykset	28
7.5	Murtuman ennalta estämisen toteutus	28
7.5.1	Tekninen toteutus	28
7.5.2	Organisatorinen toteutus	29
7.6	Täydellisen murtuman mekanismit	29
7.7	Analyysimenetelmät	30
7.7.1	Seinämän läpäisevän särön kriittisyys ja vuotoa havaitseminen	30
7.7.2	Sisäpinnasta alkanut särön kasvu	31
8	Lujuusanalyysien laadunhallinta	32
8.1	Lujuusanalyysin tekevä organisaatio	32
8.2	Lujuusanalyysin toimittajien arvioinnit ja valvonta	32
8.3	Lujuusanalyysin hankinta	33
8.4	Lujuusanalyysin tarkastaminen	33
8.5	Kuormitusanalyysien ja -seurannan laadunhallinta	33
8.6	Lujuusanalyysien laadunhallinta laitoshankkeissa	34
8.7	Lujuusanalyysirekisteri	35
9	Viranomaisvalvonta	36
9.1	Säteilyturvakeskuksen tekemä valvonta	36
9.2	Auktorisoidun tarkastuslaitoksen tekemä valvonta	36
10	Viitteet	37

Määritelmät

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.*

Uusien ydinlaitosten osalta tämä ohje on voimassa 1.4.2020 alkaen toistaiseksi. Rakenteilla olevilla ja käyville ydinlaitoksilla tämä ohje saatetaan voimaan erillisellä STUKin päätöksellä. Ohje kumoaa ohjeen YVL E.4 (15.11.2013).

STUK • SÄTEILYTURVAKESKUS
STRÅLSÄKERHETSCENTRALEN
RADIATION AND NUCLEAR SAFETY AUTHORITY

Osoite / Address • Laippatie 4, 00880 Helsinki

Postiosoite / Postal address • PL / P.O.Box 14, FI-00811 Helsinki, FINLAND

Puh. / Tel. (09) 759 881, +358 9 759 881 • Fax (09) 759 88 500, +358 9 759 88 500 • www.stuk.fi

1 Johdanto

101. Ydinvoimalaitoksen turvallisuudelle on ensiarvoisen tärkeää, että sen painetta kantavat rakenteet ja laitteet, erityisesti primääripiirin osat, kestävät suunnittelun perusteena olevissa käyttötiloissa syntyvät kuormitukset ja muut käyttöympäristön vaikutukset riittävillä marginaaleilla. Näihin vaikutuksiin varaudutaan järjestelmä- ja laitesuunnittelun teknisissä ratkaisuisissa. [2020-03-17]

102. Lujuuden riittävyys osoitetaan suunnitteluasiakirjoissa esitettävillä mitoituslaskelmilla ja lujuusanalyysillä sekä tarvittaessa vastaavilla kokeellisilla selvityksillä. Varmentavaa tietoa niiden kattavuudesta ja luotettavuudesta hankitaan käyttöönnoton koeohjelmilla. Käytön aikana tehtävällä seurannalla varmistetaan, että kuormitukset pysyvät lujuusanalyysien edellyttämissä rajoissa eikä haitallista rakenteiden heikkenemistä tapahdu. [2020-03-17]

103. Lujuusanalyysiin ja lujuuden varmistamiseen soveltuvia oikeudellisia perusteita esitetään Säteilyturvakeskuksen määräyksessä ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (STUK Y/1/2018).

Säteilyturvakeskuksen määräyksen STUK Y/1/2018 3 §:n 2 kohdan mukaisesti *ydinlaitoksen turvallisuutta ja sen turvallisuusjärjestelmien teknisiä ratkaisuja on arvioitava ja perusteltava analyttisesti ja tarvittaessa kokeellisesti.*

Säteilyturvakeskuksen määräyksen STUK Y/1/2018 3 §:n 3 kohdan mukaisesti *analyysija on ylläpidettävä ja tarvittaessa täsmennettävä ottaen huomioon oman laitoksen ja muiden ydinlaitosten käyttökokemukset, turvallisuustutkimuksen tulokset, laitosmuutokset ja laskentamenetelmissä tapahtuva kehitys.*

Säteilyturvakeskuksen määräyksen STUK Y/1/2018 3 §:n 4 kohdan mukaisesti *turvallisuusvaatimusten täyttymisen osoittamiseen käytettävien analyttisten menetelmien on oltava luotettavia sekä todennettuja ja kelpuutettuja käyttötarkoitukseensa. Analyysien avulla on osoitettava, että turvallisuusvaatimukset täyttyvät suurella varmuudella. Tulosten epävarmuus on otettava huomioon arvioitaessa turvallisuusvaatimusten täyttymistä.*

Säteilyturvakeskuksen määräyksen STUK Y/1/2018 5 §:n mukaisesti *ydinlaitoksen suunnittelussa, rakentamisessa, käytössä, kunnonvalvonnassa ja kunnossapidossa on varauduttava turvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden ikääntymiseen sen varmistamiseksi, että ne täyttävät laitoksen käyttöiän ja käytöstäpoiston ajan 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.

Säteilyturvakeskuksen määräyksen STUK Y/1/2018 10 §:n 3 b kohdan mukaisesti *primääri- ja sekundääripiirin eheyden varmistamiseksi ja tiiviiden todentamiseksi*

i. primääripiiri on suunniteltava ja valmistettava korkeita laatuvaatimuksia noudattaen siten, että haitallisten vikojen todennäköisyys rakenteissa on erittäin pieni ja mahdolliset viat primääripiirin elinkaaren aikana pystytään havaitsemaan luotettavasti;

ia. primääripiiriin kohdistuvien rasiusten on alitettava rakennemateriaaleille määritetyt nopeasti kasvavan murtuman estämiseksi tarkoitetut arvot normaaleissa käyttötilanteissa, odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä ja onnettomuuksissa;

ii. primääripiirin on kestettävä normaaleissa käyttötilanteissa, odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä, oletetuissa onnettomuuksissa ja oletettujen onnettomuuksien laajennuksissa syntyvät rasitukset riittäväillä marginaaleilla;

iii. 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;

iv. primääripiirin ja painevesireaktorin sekundääripiirin vesikemiallisista olosuhteista ei saa aiheutua näiden piirien eheyttä uhkaavia mekanismeja; ja

v. turvallisuuteen vaikuttavat ydinvoimalaitoksen primääri- ja sekundääripiirin vuodot on kyettävä havaitsemaan luotettavasti.

Säteilyturvakeskuksen määräyksen STUK Y/1/2018 10 §:n 3 c kohdan mukaisesti *suojarakennuksen eheyden varmistamiseksi suojarakennus on suunniteltava siten, että se säilyttää tiiviytensä odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä sekä suurella varmuudella onnettomuustilanteissa.*

Säteilyturvakeskuksen määräyksen STUK Y/1/2018 14 §:n mukaisesti *ydinlaitoksen suunnittelussa on otettava huomioon ulkoiset tapahtumat, jotka voivat uhata turvallisuutta. Järjestelmät, rakenteet ja laitteet sekä kulkuyhteydet on suunniteltava, sijoitettava ja suojattava siten, että mahdollisiksi arvioitujen ulkoisten tapahtumien vaikutukset ydinlaitoksen turvallisuuteen ovat vähäisiä. Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden toimintakyky on osoitettava niiden suunnitteluperusteena olevissa laitoksen ulkoisissa ympäristöolosuhteissa. Ulkoisina tapahtumina on otettava huomioon harvinaiset sääolosuhteet, seismiset ilmiöt, laitoksen*

ympäristössä tapahtuvien onnettomuuksien vaikutukset ja muut ympäristöstä tai ihmisen toiminnasta johtuvat tekijät. Suunnittelussa on otettava huomioon myös lainvastaiset ja muut ydinturvallisuutta vaarantavat luvattomat toimet sekä suuren liikennelentokoneen törmäys.

Säteilyturvakeskuksen määräyksen STUK Y/1/2018 15 §:n mukaisesti ydinlaitoksen suunnittelussa on otettava huomioon sisäiset tapahtumat, jotka voivat uhata turvallisuutta. Järjestelmät, rakenteet ja laitteet on suunniteltava, sijoitettava ja suojattava siten, että sisäisten tapahtumien todennäköisyydet ovat pieniä ja vaikutukset ydinlaitoksen turvallisuuteen vähäisiä. Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden toimintakyky on osoitettava niiden suunnitteluperusteena 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. Suunnittelussa on otettava huomioon myös lainvastaiset ja muut ydinturvallisuutta vaarantavat luvattomat toimet.

Säteilyturvakeskuksen määräyksen STUK Y/1/2018 18 §:n mukaisesti ydinlaitoksen rakentamisluvan haltijan on rakentamisen aikana huolehdittava siitä, että ydinlaitos rakennetaan ja toteutetaan turvallisuusvaatimusten mukaisesti noudattaen hyväksytyjä suunnitelmia ja menettelyjä.

Säteilyturvakeskuksen määräyksen STUK Y/1/2018 19 §:n 1 kohdan mukaisesti ydinlaitoksen tai sen muutosten käyttöönoton yhteydessä luvanhaltijan on varmistettava, että järjestelmät, rakenteet ja laitteet sekä ydinlaitos kokonaisuudessaan toimivat suunnitellulla tavalla. Ydinlaitoksen tai sen muutosten käyttöönoton menettelyt on suunniteltava ja ohjeistettava.

[2020-03-17]

2 Soveltamisala

201. Tässä ohjeessa esitetään vaatimuksia ydinvoimalaitoksen primääripiirin ja muiden turvallisuuden kannalta tärkeiden ydinteknisten painelaitteiden kuormituksista ja lujuusanalyyseista. Vaatimukset koskevat soveltuvilta osiltaan luvanhakijaa tai -haltijaa, laite- tai laitostoimittajia sekä muita suunnittelu-, testaus- ja asiantuntijaorganisaatioita. [2013-11-15]

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, lujuusanalyyseissa osoitettavilla turvamarginaaleilla. Lujuusanalyysihin kuuluvat jännitysanalyysi, 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. [2020-03-17]

203. Edellä mainittuja analyysieja 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 merkityksellisten lujuusselvitysten hyväksyttäminen hankkeen lupamenettelyn yhteydessä. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

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

- mitoitus ja yksinkertaistetut jännitysanalyysit käsitellään mekaanisia laitteita koskevissa ohjeissa YVL E.3 ”Ydinlaitoksen painesäiliöt ja putkistot”, YVL E.8 ”Ydinlaitoksen venttiilit” ja YVL E.9 ”Ydinlaitoksen pumput”
- suojarakennuksen lujuusanalyysit käsitellään ohjeissa YVL B.6 ”Ydinvoimalaitoksen suojarakennus” ja YVL E.6 ”Ydinlaitoksen rakennukset ja rakenteet”
- LBB-periaatteen vaikutukset turvallisuusjärjestelmien suunnitteluun käsitellään ohjeessa

YVL B.5 ”Ydinvoimalaitoksen primääripiiri”

- rakenteiden ja laitteiden seisminen suunnittelu sekä putkikatkoilta suojautuminen tilasuunnittelulla käsitellään ohjeessa YVL B.7 ”Varautuminen sisäisiin ja ulkoisiin uhkiin ydinlaitoksessa”
- ainetta rikkomattomien määräaikaistarkastusten päteväntä ja havaitun vikanäyttämän laskennallinen hyväksyttäminen käsitellään ohjeessa YVL E.5 ”Ydinlaitoksen painelaitteiden rikkomattomat määräaikaistarkastukset”
- kuormitusten ja materiaaliominaisuuksien seurannan hyödyntäminen ikääntymisen hallinnassa käsitellään ohjeessa A.8 ”Ydinlaitoksen ikääntymisen hallinta”
- ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelu ja -analyysit käsitellään ohjeissa YVL B.1 ”Ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelu” ja YVL B.3 ”Ydinvoimalaitoksen deterministiset turvallisuusanalyysit”
- ohjeessa YVL A.3 ”Turvallisuuden johtaminen ydinlaitoksella” esitetään yleiset vaatimukset johtamisjärjestelmistä ja laatusuunnitelmista.

[2020-03-17]

206. Tämän ohjeen mukainen turvallisuustaso vaaditaan tarvittaessa toteutettavaksi myös muihin ydinreaktorilla varustettuihin ydinlaitoksiin ja muihin ydinlaitoksiin siten, kuin laitokseen liittyvien onnettomuustilanteiden arvioitu todennäköisyys ja seuraukset edellyttävät. Muita ydinlaitoksia käsitellään ohjeissa YVL D.3 ”Ydinpolttoaineen käsittely ja varastointi” ja YVL D.5 ”Ydinjätteiden loppusijoitus”. [2020-03-17]

3 Lujuusanalyysiraportti

3.1 Sisältö ja tarkoitus

301. Painelaitteista ja niiden osista, jotka on määritelty vaatimuksessa 501, on toimitettava lujuusanalyysiraportti tai sitä vastaava erillisistä asiakirjoista koostuva selvitys STUKin hyväksyttäväksi. Lujuusanalyysiraportissa on esitettävä jännitysanalyysi väsymistarkasteluineen ja onnettomuustilanteiden analyysineen sekä luvussa 6.1 mainituissa tapauksissa myös haurasmurtuma-analyysi. [2020-03-17]

302. Lujuusanalyysiraportissa on lisäksi esitettävä ”Vuoto ennen murtumaa” (LBB) -analyysi niiden putkistojen osalta, joille LBB-periaatteen toteutuminen on osoitettava tai voidaan osoittaa. LBB-analyysia käsitellään luvussa 7. [2020-03-17]

303. Lujuusanalyysiraportin tarkoituksena on osoittaa, että painelaitteen rakenne täyttää suunnitteluperusteiden mukaisissa kuormitustilanteissa sovellettavan lujuusanalyysistandardin vaatimukset sekä mahdolliset muut lujuuteen liittyvälle suunnittelulle asetetut vaatimukset. [2013-11-15]

3.2 Toimitusajankohta

304. Lujuusanalyysiraportti on toimitettava STUKille painelaitteen rakennesuunnitelman osana. Tapauskohtaisesti STUK voi perustellusta syystä hyväksyä lujuusanalyysiraportille tai siihen kuuluvalla asiakirjalla myöhemmän toimitusajankohdan. [2013-11-15]

305. Painelaitteen muutostyöstä toimitettavassa rakennesuunnitelmassa on esitettävä tarpeellisilta osilta uusitut lujuusanalyysit, jos painelaitteen suunnittelupaine tai lämpötila, rakenne, ainevahvuudet, materiaaliarvot, käyttötapa, tuentatapa tai muut tekijät muuttuvat niin, että saavutettavat turvamarginaalit voivat heikentyä. [2013-11-15]

306. Jos painelaitteen valmistuksessa tai muutostyössä tai sen jälkeisessä koekäytössä havaitaan turvamarginaaleja heikentävä poikkeama niistä lujuusanalyysien lähtötiedoista, joita käyttäen kyseisen valmistuksen tai muutostyön rakennesuunnitelma on hyväksytetty, STUKille on toimitettava tarpeellisilta osilta uusitut laskelmat. [2013-11-15]

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 käyttöiän jatkamiseksi, määräaikainen turvallisuusarviointi tai turvallisuuteen vaikuttava tapahtuma, jota suunnittelussa ei ole osattu ottaa huomioon. [2013-11-15]

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 analysoitava lujuuden kannalta määräävät rakenneosat ja kuormitustilanteet sekä muista vastaavantyyppisistä ydinvoimalaitoksista poikkeavat rakenneratkaisut. [2020-03-17]

3.3 Esitystapa

309. Lujuusanalyysiraportti on laadittava niin selkeästi, että siinä annettujen tietojen avulla voidaan varmistua tehtyjen lujuusanalyysien oikeellisuudesta ja niiden tulosten hyväksyttävyydestä. Lujuusanalyysiraportista on yksikäsitteisesti käytävä ilmi annetut ajan tasalla olevat lähtötiedot ja niiden lähteet, sovelletut standardit, käytetyt analyysimenetelmät ja laskentamallit sekä tulokset ja johtopäätökset perusteluineen. [2020-03-17]

310. Lujuusanalyysien tulokset on esitettävä niin kattavasti, että analysoitujen rakenteiden rasitetuimmat 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. [2013-11-15]

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 kulusta
- 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 jännitysjakaumat sekä siirtymäkuvaajat
- o. jännitysten luokittelu jännitystyypeiksi, joille on asetettu hyväksymisrajoja

p. tarkastamiseen tarvittavat, riittävin selityksin varustetut tietokoneajojen tulosteet.

[2020-03-17]

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. [2013-11-15]

402. Yksityiskohtaiset tiedot kuormituksista ja niiden mallintamisesta on toimitettava STUKille järjestelmien tai rakennusteknisten rakenteiden suunnitteluun liittyvinä erillisinä analyysiraportteina. [2013-11-15]

403. Uuden ydinvoimalaitoksen suunnitteluperusteiden kannalta merkittävät, erityisesti primääripiirille tehdyt kuormitusanalyysit on toimitettava STUKille rakentamislupaa haettaessa. [2013-11-15]

404. Kuormitusten seurantaan liittyvien suunnitelmien ja tulosten raportointivelvoitteet määräytyvät koekäytöistä ja ikääntymisen hallinnasta annettujen STUKin vaatimusten mukaisesti. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

4.3 Käyttökuormitukset

406. Käyttökuormitukset liittyvät ydinvoimalaitoksen suunnittelun perusteena oleviin normaaleihin käyttötilanteisiin, odotettavissa oleviin käyttöhäiriöihin ja oletettuihin onnettomuuksiin sekä sisäisiin ja ulkoisiin tapahtumiin. Ne on määritettävä kullekin analysoitavalle painelaitteelle niihin tilanteisiin ja tapahtumiin, joissa siltä edellytetään eheyttä tai toimintakykyä. [2013-11-15]

4.3.1 Ryhmittely

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

Ryhmä A: kuormitusilanteet, joiden alaisena painelaite on suunnitellussa normaalikäytössä

Ryhmä B: sellaiset poikkeamat normaalikäytön aiheuttamista kuormituksista, jotka painelaite on suunniteltu kestävänsä lasketun käyttöikänsä ajan ilman korjaamista

Ryhmä C: poikkeukselliset kuormitusilanteet, joita ei ole otettu huomioon painelaitteen käyttöikälaskelmissa ja jotka voivat johtaa niin suuriin paikallisiin muodonmuutoksiin, että painelaite on tarkastettava ja mahdollisesti korjattava ennen käytön jatkamista

Ryhmä D: poikkeukselliset kuormitusilanteet, jotka paineenkantokyvyn edelleen säilyessä aiheuttavat painelaitteeseen muodon laajaa vääristymistä ja voivat edellyttää painelaitteen käytöstäpoiston. [2020-03-17]

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

- vaatimuksen 407 mukaiseen ryhmään B sijoitetaan sellaiset käyttökuormitukset, jotka eivät saa heikentää laitteen tai sen osan liikkeitä edellyttävää aktiivista toimintakykyä
- vaatimuksen 407 mukaiseen ryhmään C sijoitetaan sellaiset käyttökuormitukset, joiden alaisena laitteen muodon on säilyttävä niin, että laitteen kautta kulkevan virtauksen määrä täyttää vaatimukset (passiivinen toimintakyky).

[2020-03-17]

409. Erittäin harvinaisia onnettomuuskuormia, kuten suuren liikennelentokoneen törmäyksen aiheuttamaa värähtelyä ja räjähdyspaineaaltoa tai suunnittelumaanjäristyksen ylittäviä seismisiä olosuhteita, voidaan käsitellä oletetun onnettomuuden laajenuksena parhaan arvion menetelmiä käyttäen. Näin analysoitu vaikutus painelaitteen eheyteen tai kyseisessä onnettomuudessa vaadittavaan toimintakykyyn ei saa vastaavasti olla vaatimuksen 407 ryhmien D tai C käyttökuormituksille sallittuja vaikutuksia suurempi. [2020-03-17]

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 analyyseista.

Soveltuvia käyttökokemuksia ja kokeellisia tutkimuksia voidaan esittää perusteluina.

[2020-03-17]

411. Käyttökuormituksia koskevissa selvityksissä on otettava huomioon painelaitteen ja sen rakenneosien 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. [2013-11-15]

412. Jos käyttökuormitus johtuu useita kuormitusilmiöitä aiheuttavasta laitostapahtumasta, on eri osakuormitukset yhdistettävä sellaisella tavalla, joka ottaa luotettavasti huomioon niiden mahdolliset yhteisvaikutukset. [2013-11-15]

4.4.1 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 ainepaksuuksien, kuten laippaliitosten, kohdalla tapahtuville nopeille lämpötilan muutoksille. [2013-11-15]

414. Termisten kuormitusten analyyseissa on esitettävä sovellettu kuormitusspesifikaatio, virtaus- ja lämpötilajakaumien analysointimenetelmät sekä lämmönsiirtokertoimien määrittäminen. [2020-03-17]

4.4.2 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. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

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 esitettävä analyysissa selvitys. Muihin laitteisiin ja rakenteisiin kohdistuvat putken iskukuormat on tarkasteltava varauduttaessa ohjeen YVL B.7 mukaisesti laitteiden rikkoutumiseen. [2020-03-17]

418. Mahdollisuutta lauhtumispaineiskujen ja vesitulppien muodostumiseen on tarkasteltava sellaisissa kohteissa, joissa höyry ja kylmä vesi pääsevät sekoittumaan. Lisäksi on selvitettävä mahdollisuus primääripiirin tai sekundääripiirin veden pääsystä höyryjärjestelmien pääputkiin. [2013-11-15]

419. Iskumaisten kuormitusten analyyseissa on esitettävä putkikatkoista ja venttiilien toiminnasta tai toimintahäiriöstä tehdyt oletukset, käytetyt virtausdynamiikan ja rakenteiden dynamiikan analyysimenetelmät sekä painetransientista, suihkuista ja putken iskuista johtuvien voimien mallinnustapa. [2013-11-15]

4.4.3 Seismiset kuormitukset

420. Suunnittelumaanjärjestyksen dynaamiset vaikutukset on analysoitava ohjeen YVL B.2 ”Ydinlaitosten järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden luokittelu” mukaiseen maanjärjestyksiluokkaan 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 kerrosvaste, jonka erot eri tuentapisteiden välillä on selvitettävä, jos niistä aiheutuu merkittäviä lisärasituksia. [2020-03-17]

421. Seismisestä analyysistä on selvitettävä sovellettu kerrosvastespektri, analysoitu laitekokonaisuus, dynaamiset mallinnusmenetelmät, vaimennuskertoimet sekä lasketut ominaisvärähtelyt ja toiminnallisten laitteiden kokemat kiihtyvyydet. [2013-11-15]

4.5 Kuormitusten seuranta

4.5.1 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.

[2013-11-15]

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. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

425. Koekäytön koe- ja mittausohjelman sekä vaatimuksessa 424 tarkoitettujen selvitysten laajuudesta voidaan karsia vaativimpia koejärjestelyjä, mikäli niitä on aiemmin toteutettu vastaavalla ydinvoimalaitoksella ja niiden tulosraportit toimitetaan STUKille. [2013-11-15]

426. Koekäytön havaintoja on voitava verrata käytön aikana tehtävän kuormitusten seurannan tuloksiin. Laitekokonaisuuksien käyttäytymisestä ja merkityksellisistä paikallisista rasituksista on hankittava täydentäviä mittaustietoja, jotka tukevat näiden kuormitusten määrittäystä käytön aikana seurattavista mittaustiedoista. [2013-11-15]

4.5.2 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 kuormitustyypit havaitaan.

[2013-11-15]

428. Lämpöliikevarojen säilymistä on seurattava erityisesti murtumatuilla varustetuista putkistoista. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

430. Ydinvoimalaitoksen seismiset havaintolaitteet on järjestettävä siten, että niiden mittaamien tietojen avulla voidaan selvittää primääripiirin laitteisiin maanjäristyksissä ja lentokoneen törmäyksissä kohdistuneita rasituksia. [2013-11-15]

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

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

[2013-11-15]

502. Muille ydinlaitoksen ydinteknisille painelaitteille ja pumpuille määräytyy tämän ohjeen mukaisen jännitysanalyysin tarpeellisuus ensisijaisesti suunnitteluun sovelletun standardin perusteella. Tarkempia ohjeita annetaan kyseisiä laitetyyppejä 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 lukujen 4 ja 8 vaatimuksiin. [2013-11-15]

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.

[2013-11-15]

5.2 Noudatettavat standardit

504. Tämän ohjeen mukaisessa painelaitteiden sekä pumppujen jännitysanalyysissa 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. [2020-03-17]

505. Vaihtoehtoisesti voidaan STUKissa hyväksyttäväksi 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.

[2013-11-15]

506. STUK voi päätöksillään antaa täsmentäviä ohjeita jännitysanalyyseissa käytettäväksi hyväksyttävien standardien ja niiden eri painosversioiden soveltamistavasta. Huomioon voidaan ottaa muun muassa se, miten sovellettavan standardisarjan vaatimustaso kokonaisuudessaan täyttyy analysoitavalle painelaitteelle tai pumpulle. [2020-03-17]

5.3 Rakenteen mallinnus

5.3.1 Laajuus ja yksityiskohtaisuus

507. Painelaitteen rakenne on jännitysanalyysissä mallinnettava kattavasti. Mallissa on oltava kuormitusten oleelliset vaikutusalueet sekä ne painelaitteen osat, joilla on merkitystä hyväksymisrajojen lähtökohtana olevien vauriomekanismien kehittymiseen. [2020-03-17]

508. Yksittäisiin painelaitteen osiin rajoittuvia laskentamalleja voidaan käyttää, jos analysoitavan alueen lähellä sijaitsevien jännitys jakaumiin vaikuttavien epäjatkuvuuskohtien vaikutus otetaan huomioon jännitysanalyysissä ja reunaehtojen oikeellisuus tai konservatiivisuus perustellaan. Symmetriaehtoja hyödynnettäessä on samanaikaisesti otettava huomioon painelaitteen geometria, kuormitukset ja muut reunaehdot sekä materiaaliominaisuudet. [2020-03-17]

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 epäjatkuvuuskohtia. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

511. Malleissa on otettava huomioon rakenneosien välisistä esijännityksistä, kitkoista ja vällyksistä johtuvat, jännitystilojen kannalta merkitykselliset epälineaarisuudet. Tuentojen laskentamalleissa on kuvattava niiden rakennetyypin lujuusopillinen toimintaperiaate, painelaitteen erisuuntaisten liikkeiden rajoittuminen ja kiinnitykset rakennusteknisiin rakenteisiin. [2013-11-15]

5.3.2 Putkistojen laskentamallit

512. Putkistojen laskentamalleilla tarkasteltavan alueen on ulotuttava kussakin päässään jäykempään ja massiivisempaan muuhun painelaitteeseen tai rakenteeseen, ja lisäksi on otettava huomioon mahdolliset niistä välittyvät pakkoliikkeet. 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. [2020-03-17]

513. Putkistojen jännitysanalyyseissa voidaan niiden muotokappaleet kuvata sovellettavan standardin mukaisilla konservatiivisilla yksinkertaistuksilla. Todellisen rakenteen lujuuden riittävyyden suunnittelukuormituksilla on tällöin oltava perusteltu valmistustekniikaltaan, muotoilultaan ja ainevahvuuksiltaan edustavan koekappaleen tai laskentamallin avulla selvitettyllä todellisella kantokyvyllä. [2020-03-17]

514. Putkiston läpivienteihin ja muihin kiinnityskohtiin kuuluvat painetta kantavat osat on mallinnettava jännitysanalyyseissa 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. [2013-11-15]

5.3.3 Materiaaliominaisuudet

515. Jännitysanalyyseissa on käytettävä sovellettavan standardin mukaisia, tarkasteltaviin lämpötiloihin tarkoitettuja materiaalien lujuusarvoja ja fysikaalisia ominaisuuksia [1]. Muille erikseen hyväksytyille materiaaleille nämä arvot on määriteltävä suunnittelussa käytettävän standardin mukaisesti. Mikäli standardi ei sisällä kaikkia analyyseissa tarvittavia fysikaalisia ominaisuuksia, voidaan suunnittelijan harkinnan perusteella käyttää muista lähteistä peräisin olevia arvoja, joiden käyttö on perusteltava. [2020-03-17]

5.4 Hyväksymisrajat

516. Jännitysanalyyseissa on osoitettava niiden hyväksymisrajojen täyttyminen, jotka sovellettava standardi asettaa kyseiselle painelaitteelle tai sen osalle noudatettavaksi sen luokittelun, käyttökuormitusten ryhmittelyn, painekokeiden lukumäärän ja käytettyjen analyyseimenetelmien mukaan. Tätä varten on jännitysanalyyseissa lasketut jännitystilat luokiteltava eheyden ja toimintakyvyn säilymisen kannalta merkityksellisiin jännitystyyppisiin, joiden suhteen kukin hyväksymisraja on asetettu. Menettely on toistettava kaikille tarkastelluille

painelaitteen kohdille ja kuormituksille. [2020-03-17]

517. Jos painelaitteelle on asetettu muita, esimerkiksi muodonmuutoksiin liittyviä, lujuusopillisia hyväksymisrajoja, ne on esitettävä painelaitteen rakennesuunnitelmassa ja niiden täyttyminen on osoitettava jännitysanalyysissa. [2020-03-17]

518. Putkiston ja siihen liittyvien painelaitteiden jännitysanalyysissa on tarkistettava, etteivät putkiston ja liittyvän painelaitteen väliset yhdekuormat ylitä kummankaan laitteen eheyden ja toimintakyvyn varmistamiseksi asetettuja hyväksymisrajoja. [2013-11-15]

5.5 Väsymistarkastelu

519. Toistuvien tai suuruudeltaan vaihtelevien kuormitusten alaisille painelaitteen osille on tehtävä jännitysanalyysin yhteydessä väsymistarkastelu, jos väsymisen mahdollisuutta ei voida sulkea pois sovellettavan standardin mukaisilla konservatiivisilla likimääräisarvioilla. [2020-03-17]

520. Väsymistarkastelun lähtökohtana on käytettävä kullekin materiaalille tarkasteltaviin olosuhteisiin soveltuvaa väsymiskäyrää (design fatigue curve), joka esittää harmoniselle vaihtokuormitukselle elastisessa analyysissa sallittavan jännitysamplitudin kuormanvaihtoluvun funktiona. [2013-11-15]

521. Mikäli toistuvaa myötämistä tapahtuu paikallista rakenteellista epäjatkuvuuskohtaa laajemmalla alueella, on väsymistarkasteluun käytettävä sovellettavan standardin mukaisia elastis-plastisia menetelmiä. [2020-03-17]

5.5.1 Jännityskeskittymät

522. Paikallisten rakenteellisten epäjatkuvuuksien aiheuttamat huippujännitykset on väsymistarkastelussa määritettävä joko geometrian yksityiskohtaisella mallinnuksella tai likimääräisesti käyttäen kokeellisia väsymislujuuden alenemiskertoimia tai kimmoteoreettisia jännityskeskittymäkertoimia. Hitsausaumojen jännityskeskittymät on arvioitava todellisen geometrian perusteella. [2013-11-15]

523. Painelaitteen mallinnuksessa on vaatimuksen 510 perusteella huomioon otetulle pinnoitteelle tehtävä väsymistarkastelu osoittamaan, ettei pinnoitteeseen synny sen suuremmasta lämpölaajenemisesta johtuvaa haitallista väsymistä. [2013-11-15]

5.5.2 Ympäristöolosuhteiden vaikutus

524. Väsymistarkastelussa on otettava huomioon todellisista prosessiolosuhteista johtuvat, väsymisikää alentavat ympäristövaikutukset. Primääripiirissä näitä ympäristövaikutuksiin liittyviä tekijöitä ovat muun muassa jäähdytteen happipitoisuus, käyttölämpötila, materiaalin epäpuhtaudet ja kuormituksen materiaaliin aiheuttama venymänopeus. Ympäristövaikutteinen väsymistarkastelu on ensisijaisesti tehtävä viitteessä 5 esitetyillä menettelyillä. Mahdolliset muut menettelyt on hyväksyttävä STUKissa. [2020-03-17]

5.5.3 Väsymiskertymä

525. Painelaitteisiin käytön aikana kohdistuvat erityyppiset väsyttävät kuormitukset on yhdistettävä sovellettavan standardin mukaisella menettelyllä. Eri osakuormitusten yhdessä aiheuttama, painelaitteen koko käyttöiän ajalle määritelty väsymiskertymä on määritettävä painelaitteen väsytyimmille kohdille. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

6.2 Analyysimenetelmät

602. Turvallisuusluokan 1 painesäiliöiden haurasmurtuma-analyysi on tehtävä murtumismekaniikan menetelmillä. Mahdollisiin murtumakohtiin oletetuille säröille on selvitettävä turvamarginaalit säröjen äkillisen kasvun suhteen niin, että jännitysintensiiteettitekijän (KI) arvoja verrataan materiaalin murtumissitkeyteen (K_{Ic}). Myötävän alueen koon kasvaessa on käytettävä elastis-plastisia menetelmiä. Käytettyjen murtumismekaanisten suureiden laskentatapa on esitettävä. [2020-03-17]

603. Muiden kohteiden tarkastelu voi olla yksinkertaisempi ja perustua esimerkiksi alimman käytössä esiintyvän lämpötilan ja sitkeä-haurasmuutoslämpötilan (transitiolämpötilan) väliseen erotukseen. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

605. Reaktoripainesäiliön sydänalueen materiaalien murtumissitkeys on vaatimuksessa 604 esitetyn menettelyn lisäksi määritettävä myös mitatuista sitkeysarvoista viitteen 7 mukaisesti. Samaa menettelyä voidaan käyttää myös muille painelaitteille. Tuloksena saatuja sitkeysarvoja voidaan käyttää tapauskohtaisesti ottaen huomioon teräksen epähomogeenisuuden ja suuntaisuuden vaikutus sekä koetulosten lukumäärä ja hajonta. [2020-03-17]

606. Haurasmurtuma-analyysissa on lisäksi otettava huomioon mahdollisesta käytön aikaisesta vanhenemisesta johtuva sitkeysarvojen aleneminen. Dynaamisissa kuormitusilanteissa myös materiaalin suuri venymänopeus heikentää murtumissitkeyttä. [2013-11-15]

607. STUKille on järjestettävä mahdollisuus valvoa sitkeysarvojen määrittämiseen liittyviä kokeellisia tutkimuksia. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

609. Säteilysiirtymän ennusteen on perustuttava teräksen seosaineiden, kemiallisten epäpuhtauksien ja nopeiden neutronien annoksen väliseen kokemusperäiseen korrelaatioon. Käytön aikana lähtökohtana voidaan käyttää myös säteilyhaurastumisen seurantaohjelman tuloksiin tehtyä sovitetta. Materiaalin epähomogeenisuus ja koetuloksiin liittyvä hajonta on tällöin otettava huomioon. Käytetyt arvot on perusteltava. [2020-03-17]

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-alueita määritettäessä. Lisäksi on laskettava alimmat sallitut lämpötilat painelaitteen painekokeille. [2013-11-15]

611. Analyysissa voidaan käyttää viitteen 2 liitteessä G esitettyjä oletettuja sekä sisä- että ulkopintaan avautuvia säröjä ja laskentamenetelmiä. Muut laskentatavat on hyväksyttävä STUKissa. [2020-03-17]

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

- a. hätäjähdytykseen johtavat alkutapahtumat
- b. laitoksen järjestelmien toiminta
- c. laitoksen ohjaajien toiminta
- d. hätäjähdytteen aiheuttama paikallisesti kylmempi alue
- e. virtausnopeudet ja lämmönsiirto
- f. paineen ja lämpötilaerojen aiheuttamat jännitykset
- g. pinnoitteen ja perusaineen erilainen lämpölaajeneminen ja lämmönjohtuminen
- h. jäännösjännitykset
- i. säröjen koko, muoto, suunta ja sijainti
- j. sitkeysarvot ja säteilysiirtymä.

Analyysissa on tarkasteltava sekä sisä- että ulkopintaan avautuvia säröjä. [2020-03-17]

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. [2013-11-15]

614. Hyväksymiskriteerinä on käytettävä sovellettavan standardin mukaista varmuuskerrointa oletetun särön kasvamisen suhteen. Lisäperusteluna voidaan tapauskohtaisesti ottaa huomioon analyysi särönkasvun pysähtymisen antamasta turvamarginaalista. [2013-11-15]

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 ottava analyysi haurasmurtuman todennäköisyydestä. Hyväksymiskriteerinä on vaatimus, että haurasmurtuman todennäköisyys on erittäin pieni ja vain vähäinen osa todennäköisyysperusteisella riskianalyysilla (PRA) arvioidusta reaktorisydämen vaurioitumisen kokonaistodennäköisyydestä. [2013-11-15]

6.8 Muut nopean murtuman tarkastelut

616. Turvallisuusluokan 1 painelaitteen lujuusanalyysien yhteydessä on tarkasteltava transitoaluetta korkeammassa lämpötilassa, ns. ylätasanteen alueella, tapahtuvan nopean murtumisen mahdollisuutta. Tämä voi tulla kysymykseen painelaitteen sellaisissa paksuseinämaisissä kohdissa, joihin kohdistuu korkeassa paineessa nopea jäähdytys. Ylätasanteen sitkeysarvojen riittävyys on tarvittaessa analysoitava. Käytettävät menetelmät ja kriteerit on hyväksyttävä STUKissa. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

702. ”Vuoto ennen murtumaa” (leak before break, 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. [2020-03-17]

7.2 Soveltamisala

703. Tässä luvussa esitetään vaatimukset LBB-periaatteen toteutumisen osoittamisesta sekä BP-periaatteen teknisestä ja organisatorisesta toteutuksesta. Ne putkistot, joille LBB-periaatetta voidaan soveltaa, määritellään ohjeessa YVL B.5. [2020-03-17]

704. LBB-periaatteen toteutuminen voidaan tapauskohtaisesti ottaa huomioon teknisenä lisäperusteena putkistojen eheyteen liittyvien poikkeamien hyväksymiskäsittelyssä. [2013-11-15]

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. [2020-03-17]

705a. Vaatimuksessa 705 korkeaenergisinä putkistoina pidetään putkistoja, jotka eivät täytä matalaenergisien laitteen määritelmää. [2020-03-17]

706. Murtumatukien tyyppin, sijainnin ja vaikutussuuntien valinnassa on tarkasteltava kattavasti eri murtumaoletuksista aiheutuvat uhat. Tarvittaessa on suojaus rakennettava myös täydellisesti murtuneesta putkesta tulevan suihkun varalta. [2013-11-15]

707. Jos putkistolle on osoitettu LBB-periaatteen toteutuminen, suunnittelun ei tarvitse perustua oletetusta täydellisestä murtumasta johtuviin iskumaisiin kuormituksiin. Tarvittaessa suojaus on toteutettava seinämän läpäisevästä säröstä tulevaksi arvioidun suurimman mahdollisen suihkukuorman varalta. [2020-03-17]

708. Muut ydinvoimalaitoksen turvallisuusjärjestelmien suunnittelussa huomioon otettavat oletettujen putkikatkojen vaikutukset käsitellään ohjeissa YVL B.1, YVL B.5 ja YVL B.7. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

7.5 Murtuman ennalta estämisen toteutus

7.5.1 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 putkiosuuksille
- b. hitsausliitosten lukumäärien minimoiminen ja vieminen etäälle jännityskeskittymäkohdista suuria takeita ja integroituja yhteitä käyttämällä
- c. ainevahvuuksien toleranssien tiukennus erityisesti hitsausliitoksille
- d. kaarevien putkiosuuksien 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. [2013-11-15]

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 kohteiden seuranta käytönaikaisilla mittauksilla
- c. sitkeysominaisuuksien riittävyden tarkistus murtumisvastustestauksella. [2020-03-17]

7.5.2 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. [2013-11-15]

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. [2020-03-17]

714. Putkiston murtumistodennäköisyydestä tehty arvio voidaan esittää teknisenä lisäperusteluna. [2013-11-15]

7.7 Analyysimenetelmät

7.7.1 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.

[2020-03-17]

716. LBB-analyysin tekemiseksi on oletettava, että putkistoon on syntynyt seinämän läpäiseviä säröjä. Niiden on sijoitettava sellaisissa kohdissa, joissa lähtötietona annettavien jännitysten ja materiaaliominaisuuksien yhdistelmä on epäedullisin. [2013-11-15]

717. Kriittisen vikakoon määrittämiseksi 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 kelpoistuksesta esitettävä. [2013-11-15]

718. Jos murtumisvastusarvoja määritetään tai ekstrapolointimenetelmää kelpuutetaan kokeellisesti kysymyksessä olevalle laitoshankkeelle, STUKille on järjestettävä mahdollisuus näiden kokeiden valvontaan. Kokeista on jätävä luvanhaltijan taltioitavaksi materiaalinäytteitä. [2013-11-15]

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 lähtökohdaksi voidaan käyttää hitsausliitokselle huoneen lämpötilassa osoitettua iskusitkeysarvoa 100 J. [2013-11-15]

720. Kriittisen vikakoon ja vuotoaukon koon määrittämiseksi on käytettävä soveltuvia, esimerkiksi viitteessä 12 esitettyjä elastis-plastisia menetelmiä. Menetelmän perusteena olevan murtumismekaanisen parametrin laskentatapa on esitettävä, samoin sovellettu jännitysvenyäkäyrä 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. [2020-03-17]

721. LBB-analyysiin on sovellettava sellaisen vuotojen valvonnan toteutukseen kuuluvan järjestelmän herkkyyssarvoja, joka tuottaa tunnistamattomasta vuodosta hälytyksen viimeistään

yhden tunnin kuluessa. Järjestelmän on oltava testien avulla kelpoistettu saavuttamaan analyyseissa käytettävät arvot. Jos käytettävät arvot alittavat arvon 3,8 l/min [6], on kelpoistus tehtävä todellisia laitosolosuhteita edustavilla kokeilla, joiden valvomiseen STUKille järjestetään mahdollisuus. [2013-11-15]

722. Vuotomäärän laskentaan käytettävän menetelmän on oltava kelpoistettu soveltuvilla koetuloksilla. Kitkallisen vuotovirtauksen termohydraulinen mallinnustapa sekä siinä käytetyt pinnankarheuden arvot on esitettävä. [2013-11-15]

7.7.2 Sisäpinnasta alkanut särön kasvu

723. LBB-analyyseissä on osoitettava väsymissärön kasvuun perustuvilla murtumismekaanisilla tarkasteluilla, etteivät putkistolle spesifoidut väsyttävät kuormitukset aiheuta sen sisäpintaan oletetulle särölle merkittävää kasvua koko käyttöiän aikana. [2013-11-15]

724. Väsymissärön kasvutarkastelussa analysoitavat säröt on oletettava putkiston väsytyimpiin kohtiin. Valinnassa voidaan ottaa huomioon tarkastettavuuteen vaikuttavat tekijät. [2013-11-15]

725. Tarkasteltavien väsymissäröjen alkukoot on määriteltävä vähintään putkiston rikkomattomille määräaikaistarkastuksille asetetun havaitsemistavoitteen suuruiseksi. Soveltuvia kokemuksia valmistuksen aikana tehdyissä tarkastuksissa havaitsematta jääneistä virheistä voidaan ottaa huomioon. [2013-11-15]

8 Lujuusanalyysien laadunhallinta

8.1 Lujuusanalyysin tekevä organisaatio

801. Lujuusanalyyseja tekevällä organisaatiolla on oltava tähän tarkoitukseen dokumentoitu ja toimeenpantu, ohjeen YVL A.3 vaatimukset täyttävä johtamisjärjestelmä, josta ilmenee muun muassa seuraavat asiat:

- a. lujuusanalyyseja suorittava, tarkastava ja hyväksyvä henkilöstö ja sen osaaminen
- b. käytettävät tietokoneohjelmat ja niiden versiot
- c. menettelyt ja vastuut ohjelmistoja hankittaessa, ajan tasalla pidettäessä, kehitettäessä ja kelpoistettaessa
- d. lähtötietoihin, analyysin suoritukseen, dokumentointiin ja tarkastamiseen liittyvät prosessit
- e. laatuvaatimukset eri tärkeys- ja vaativuusluokan analyyseille. [2020-03-17]

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 laskentaohjelmasta ja sen ominaisuuksista hyvä kokemus. Analyysin oikeellisuuden varmistamiseksi on tehtävä tarkistuslaskelmia ja käytävä läpi ohjelman suorittamat tarkistukset. [2020-03-17]

803. Poistettu. [2020-03-17]

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. [2013-11-15]

805. Luvanhakijan tai -haltijan on arvioitava turvallisuusluokkien 1 ja 2 painelaitteiden lujuusanalyysien hankintoihin käyttämänsä toimittajat auditoimalla näiden johtamisjärjestelmät. [2020-03-17]

806. Luvanhakijan tai -haltijan on tekemillään arvioinneilla ja valvonnalla varmistuttava siitä, että turvallisuusluokkien 1 ja 2 painelaitteiden toimittajalla, joka teettää lujuusanalyysin alihankintana, on alihankkijan arviointiin johtamisjärjestelmän auditoinnin edellyttävä menettely ja että sitä noudatetaan. [2020-03-17]

807. Turvallisuusluokan 3 painelaitteiden lujuusanalyysien toimittajan arviointi voi perustua sertifioituun tai muutoin riippumattomasti arvioituun johtamisjärjestelmään. [2020-03-17]

808. Luvanhakijan tai -haltijan on ylläpidettävä luetteloa tekemissään arvioinneissa hyväksyttäväksi katsotuista lujuusanalyysien toimittajista ja lujuuslaskentaohjelmista. Hyväksyttäväksi katsomisen edellytysten säilymistä on seurattava. [2013-11-15]

8.3 Lujuusanalyysin hankinta

809. Luvanhakijan tai -haltijan johtamisjärjestelmässä on oltava noudatettavat laatuvaatimukset määrittelevä, ohjeistettu menettely lujuusanalyysien hankkimisesta hyväksyttäväksi katsotulta toimittajalta. [2020-03-17]

810. Luvanhakijan tai -haltijan on annettava tekemiensä lujuusanalyysien hankintojen yhteydessä toimittajalle tarvittavat lähtötiedot analysoitavista painelaitteista sekä niiden suunnitteluperusteista ja turvallisuusmääräyksistä. [2013-11-15]

811. Luvanhakijan tai -haltijan on varmistuttava siitä, että laitetoimittajalla on lujuusanalyysien alihankintoihinsa vastaava menettely ja että toimittaja saa alihankinnan yhteydessä tarvittavat lähtötiedot. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

814. Poistettu. [2020-03-17]

8.5 Kuormitusanalyysien ja -seurannan laadunhallinta

815. Luvuissa 8.1–8.4 esitetyt vaatimuksia on noudatettava soveltuvin osin kuormitusanalyseissa. [2020-03-17]

816. Kuormitusten ja vanhenemisen vaikutusten seurannassa on noudatettava ydinvoimalaitoksen ikääntymisen hallinnalle määriteltyjä laadunhallinnan menettelyjä. Tulosten käsittelijällä on oltava hyvä asiantuntemus ja kokemus kyseiselle ydinvoimalaitokselle hyväksytyistä väsymistarkasteluista sekä sen toiminnasta eri käyttö- ja häiriötilanteissa. [2013-11-15]

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 lujuusanalyyseja tekevien organisaatioiden, perehtyneisyydestä hankkeeseen ja siinä noudatettavaan turvallisuus- ja laatu politiikkaan, laatusuunnitelmaan sekä turvallisuusmääräyksiin. [2013-11-15]

818. Laitostoimituksen tai laajan muutostyön edettyä laitteiden suunnitteluun luvanhakijan tai -haltijan on valvottava turvallisuusluokkien 1–3 painelaitteiden lujuusanalyysien toimitusten etenemistä, johtamisjärjestelmien ja turvallisuusmääräysten noudattamista sekä alustavien tulosten hyväksyttävyyttä ja tämän ohjeen vaatimustason täyttymistä säännöllisellä yhteydenpidolla ja seurantakokouksilla. Merkittävistä poikkeamista on ilmoitettava STUKille. [2020-03-17]

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

- suunnittelussa pyritään painelaitteiden rasituksia, kuten termistä väsymistä tai reaktoripainesäiliön säteilyhaurastumista, alentaviin teknisiin ratkaisuihin ja toteutetaan BP-periaatetta koskevat vaatimukset
- osallistuvat organisaatiot noudattavat yhdenmukaisia suunnittelu- ja raportointikäytäntöjä sekä standardeja
- tarvittavat tiedonsiirrot eri organisaatioiden sekä tietokoneohjelmien ja -järjestelmien välillä toimivat luotettavasti
- suunnittelutietojen oikeellisuuden ja ajantasaisuuden varmistamiseen sekä kiinnittämiseen on riittävä hallinnollinen menettely
- laitteiden ja vastuualueiden rajapintoihin, esimerkiksi laitteiden yhdekuormien spesifointiin ja tarkistuksiin, on toimiva menettely
- valmistus- ja asennuspoikkeamien sekä massa-, tuenta- yms. tietojen muutosten hallintaan on toimivat menettelyt. [2013-11-15]

820. Luvanhakijan tai -haltijan on varmistuttava siitä, että laitostoimituksessa tai laajassa muutostyössä käytetään järjestelmällistä menettelyä kaikkien vaadittujen lujuusanalyysien toimitusaikataulun hallintaan. Lujuusanalyysien toimituksista ja viranomaishyväksynnöistä on oltava laitekohtaisesti eritelty suunnitelma rakentamislupaa haettaessa, ja käyttö lupaa haettaessa sen toteutumisesta on toimitettava yhteenveto STUKille. [2013-11-15]

8.7 Lujuusanalyysirekisteri

821. Luvanhaltijan 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. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

902. STUK valvoo tarkastusvastuulleen kuuluville painelaitteille tehtävien lujuus- ja kuormitusanalyysien oikeellisuuden osoittamiseen liittyviä kokeellisia tutkimuksia ja testauksia sekä valvoo kokeellisesti tehtäviä jännitysanalyyseja. [2013-11-15]

903. STUK valvoo väsyttävien kuormitusten ja värähtelyjen seuranta koekäyttöjen ja käytön aikana tehtävillä tarkastuskäynneillä sekä vuosiraportteja tarkastamalla. [2013-11-15]

904. STUK hyväksyy suunnitelmat tämän ohjeen mukaisissa lujuusanalyyseissa noudatettavista standardeista ja tarvittaessa täsmentää päätöksillään niiden soveltamistapaa. [2013-11-15]

905. STUK arvioi tarkastusvastuulleen kuuluville painelaitteille tehtävien kuormitus- ja lujuusanalyysien laatua omalla tarkastustoiminnalla sekä vertailuanalyyseja teettämällä. [2013-11-15]

906. STUK arvioi kuormitus- ja lujuusanalyyseihin sekä lujuuden varmistamiseen liittyviä luvanhakijan tai -haltijan johtamisjärjestelmiä. [2013-11-15]

907. Laitostoimitusten ja laajojen muutostöiden yhteydessä STUK valvoo tarkastusvastuulleen kuuluvien painelaitteiden kuormitus- ja lujuusanalyysien toimittajille sekä näihin analyyseihin alihankkijoina osallistuville toimittajille tehtäviä johtamisjärjestelmien auditointeja sekä suorittaa tärkeimpien lujuusanalyysien etenemiseen ja projektinhallintaan kohdistuvaa seuranta. [2020-03-17]

9.2 Auktorisoidun tarkastuslaitoksen tekemä valvonta

908. Auktorisoitu tarkastuslaitos tarkastaa vaatimuksessa 502 tarkoitetut ydinteknisten painelaitteiden ja pumppujen jännitysanalyysit niiden rakennesuunnitelmien käsittelyn yhteydessä. [2013-11-15]

909. Auktorisoitu tarkastuslaitos arvioi vaatimuksessa 502 tarkoitetuille ydinteknisille painelaitteille ja pumpuille tehtävien jännitysanalyysien laatua sekä arvioi jännitysanalyysin tarpeellisuutta vaatimuksessa 503 tarkoitetuille kohteille omalla tarkastustoiminnalla. [2013-11-15]

10 Viitteet

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, Materials, Part D - Properties, the American Society of Mechanical Engineers. [2020-03-17]
2. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Rules for Construction of Nuclear Facility Components, Division 1, the American Society of Mechanical Engineers. [2020-03-17]
3. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI, Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components, the American Society of Mechanical Engineers. [2020-03-17]
4. Comprehensive Vibration Assessment Program for Reactor Internals During Preoperational and Initial Startup Testing, Regulatory Guide 1.20, U.S. NRC. [2020-03-17]
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. 1, June 2018. [2020-03-17]
6. Guidance on monitoring and responding to reactor coolant system leakage, Regulatory Guide 1.45, U.S. NRC, Rev.1, May 2008. [2013-11-15]
7. Standard Test Method for Determination of Reference Temperature, T_0 , for Ferritic Steels in the Transition Range, ASTM E 1921. [2020-03-17]
8. Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness, ASTM E 1820. [2020-03-17]
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. [2013-11-15]
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. [2013-11-15]
11. Leak-Before-Break Evaluation Procedures, Standard Review Plan 3.6.3, U.S. NRC, Rev.1, March 2007. [2013-11-15]
12. Leak-Before-Break Evaluation Procedures for Piping Components, K. Ikonen et al., STUK-YTO-TR 83, Helsinki, 1995. [2013-11-15]
13. Poistettu. [2020-03-17]
14. WENRA Reactor Safety Reference Levels PS/7.1.2010. [2013-11-15]

15. IAEA Specific Safety Requirements No. SSR-2/1, Safety of Nuclear Power Plants: Design.
[2013-11-15]
16. Ydinenergi laki (990/1987). [2013-11-15]
17. Säteilyturvakeskuksen määräys ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (STUK Y/1/2018).
[2020-03-17]

Määritelmät

Auktorisoitu tarkastuslaitos (authorised inspection body, AIO)

Auktorisoidulla tarkastuslaitoksella (AIO) tarkoitetaan riippumatonta tarkastuslaitosta, jonka Säteilyturvakeskus on ydinenergialain 60 a §:n nojalla hyväksynyt suorittamaan ydinlaitosten painelaitteiden, teräs- ja betonirakenteiden sekä mekaanisten laitteiden tarkastustehtäviä julkisena hallintotehtävänä. (YEA 161/1988). YVL-ohjeissa ja perustelumuiiossa käytetään lyhennettä AIO.

Dynaaminen analyysi (dynamic analysis)

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

Elementtimenetelmä (finite element method)

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

Haurasmurtuma (brittle failure)

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 (stress analysis)

Jännitysanalyysillä tarkoitetaan painelaitteen todellisen rakenteen ja kuormitusten mallintamiseen perustuvaa lujuusanalyysiä, 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 (conservative analysis method)

Konservatiivisella analyysimenetelmällä tarkoitetaan sellaista turvallisuusanalyysin tekotapaa, jossa käytettäviin laskentamalleihin ja alkuoletuksiin liittyvät epävarmuudet otetaan huomioon

niin, että analysoitavan tapahtuman seuraukset olisivat hyvällä varmuudella lievempiä kuin analyysituloks osoittaa.

Kriittinen vikakoko (critical defect size)

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 epäedullisin.

Kuormituksen ryhmittely (load grouping)

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

Kuormitusten analyysi (load analysis)

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

Laadunhallinta (quality management)

Laadunhallinnalla tarkoitetaan laatuun liittyvää johtamista. Laadunhallintaan voi kuulua laatupolitiikan laatiminen ja laatutavoitteiden asettaminen sekä sellaisten prosessien laatiminen, joilla nämä laatutavoitteet saavutetaan laadun suunnittelun, laadunvarmistuksen, laadunohjauksen ja laadun parantamisen avulla. (SFS-EN ISO 9000)

Lujuusanalyysiraportti (strength analysis report)

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

Murtuman ennalta estäminen (BP) (break preclusion (BP))

Murtuman ennalta estämisen periaatteella (BP, Break Preclusion) tarkoitetaan kehittyneiden teknisten ja organisatoristen menettelyiden käyttämistä putkistojen suunnitteluun, materiaaleihin, valmistukseen, lujuusanalyysiin, käyttöön ja kunnonvalvontaan varmuuden

lisäämiseksi siihen, että LBB-periaate toteutuu ja putkiston täydellisen murtuman seurauksiin varautumista voidaan ydinvoimalaitoksen suunnittelussa sillä perusteella vähentää.

Murtumatuki (fracture support)

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 sisärakenteisiin.

Painelaite (pressure equipment)

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 (pressure equipment construction plan)

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

Parhaan arvion menetelmä (best estimate method)

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

Primäärinen jännitys (primary stress)

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

Sekundäärinen jännitys (secondary stress)

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

Suunnittelukuormitus (design load)

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

primääriset jännitykset.

Säteilyhaurastuminen (radiation embrittlement)

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

Säteilysiirtymä (transition temperature shift)

Säteilysiirtymällä tarkoitetaan neutronisäteilyn ferriittisillä teräksillä aiheuttamaa transitiolämpötilan nousua. Katso myös termi ”Säteilyhaurastuminen”.

Todennäköisyysperusteinen riskianalyysi (PRA) (probabilistic risk assessment (PRA))

Todennäköisyysperusteisella riskianalyysillä (PRA) tarkoitetaan kvantitatiivisia arvioita ydinvoimalaitoksen turvallisuuteen vaikuttavista uhkista, tapahtumaketjujen todennäköisyyksistä ja haittavaikutuksista. (YEA 161/1988)

Transitiolämpötila (transition temperature)

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

Turvallisuuden kannalta tärkeä järjestelmä/rakenne/laitte (system/structure/component important to safety)

Turvallisuuden kannalta tärkeällä järjestelmällä, rakenteella ja laitteella tarkoitetaan turvallisuusluokkiin 1, 2 ja 3 kuuluvia järjestelmiä, rakenteita ja laitteita sekä luokkaan EYT/STUK kuuluvia järjestelmiä.

Täydellinen, äkillinen murtuma (complete, instantaneous break)

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

Varaosaa (spare part)

Varaosalla tarkoitetaan varalla pidettävää laitososaan kuuluvaa osaa, jolla laitoksen heikentynyt tai menetetty käyttökuntoisuus voidaan palauttaa vaatimuksenmukaiseksi.

Vuoto ennen murtumaa (LBB) (leak before break (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 kehittyä enintään

pieni paikallinen vuoto, jonka havaitsemisen perusteella laitos ehditään ajaa sellaiseen tilaan, ettei vaaraa täydellisestä murtumasta ole.

Väsyminen (fatigue)

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