

Ohje YVL B.4, Ydinpolttoaine ja reaktori

1 Johdanto

Tässä ohjeessa esitetään kriteerit ja yksityiskohtaiset vaatimukset, joilla Säteilyturvakeskuksen määräyksen ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (Y/1/2018) vaatimusten toteutuminen varmistetaan ja osoitetaan ydinvoimalaitoksen, reaktorisydämen ja ydinpolttoaineen suunnittelun yhteydessä. Kriittisyysturvallisuuteen liittyvät vaatimukset koskevat kaikkia ydinlaitoksia, joissa käytetään, varastoidaan tai käsitellään fissiiliä materiaalia. Reaktorisydäntä ja reaktiivisuudenhallintajärjestelmiä koskevat vaatimukset esitetään ohjeen luvussa 3, ydinpolttoainetta ja sen suunnittelua koskevat vaatimukset luvussa 4 ja kriittisyysjonnettomuuden ehkäisemistä koskevat vaatimukset luvussa 5.

2 Soveltamisala

Ohjetta YVL B.4 sovelletaan ydinlaitosten reaktorin, reaktiivisuudenhallintajärjestelmien, ydinpolttoaineen ja sen käsittely- ja varastointijärjestelmien suunnitteluun.

Ydinpolttoaineen suunnittelun lisäksi ohjeen YVL B.4 lukujen 4 ja 5 vaatimuksia on noudatettava soveltuvin osin säätösauvojen suunnittelussa.

3 Vaatimusten perustelut

Vaatus 202. Mainitseamalla säätösauvat soveltamisalassa voidaan myöhempää tekstiä keventää, kun jokaisessa kohdassa ei mainita erikseen vaatimuksen koskevan myös säätösauvoja. Myös esim. mittausinstrumentit, jotka sijoitetaan polttoaineenippujen sisään, tulee suunnitella niin, että niiden vaurioituminen ei uhkaa polttoaineen eheyttä.

Vaatus 303. BWR-poltoaineen kehitys on johtanut siihen, että reaktorin isoterminen lämpötilatakaisinkytkentä saattaa erityisesti jakson loppupuolella olla ydinlämmitysvaiheessa positiivinen. Tämä on hyväksyttävissä seuraavilla edellytyksillä:

- Reaktiivisuustakaisinkytkentä polttoainekanavan sisäpuolella olevan veden lämpötilasta on negatiivinen. Tämä hillitsee tehon kasvua nopeissa transienteissa, joissa kanavien välinen vesi ei ehdi lämmitä.
- Positiivisen isotermisen takaisinkytkennän itseisarvo pysyy riittävän pienenä, ja ilmiöön on varauduttu laitoksen käyttöohjeissa sekä henkilökunnan koulutuksessa.

Alkutapahtuma aiheuttaa reaktiivisuuslisän esim. BWR:n painetransientissa, säätösauvan putoamisessa/uloslennossa ja boorin laimenemisessä. Jäähdytyksen heikkeneminen tapahtuu LOCAssa. PWR:n höyryputken katkossa ei välittömästi tapahdu kumpaakaan, joten siinä takaisinkytkentä saa nostaa tehoa.

Säteilyturvakeskus

105/0002/2016

15.3.2019

Vaatus 306. Vaatus liittyy painevesilaitoksen onnettomuustyyppiin, jossa primääriveden höyrystymisen seurauksena voi päästä syntymään boorihappopitoisuudeltaan alhaisen (=”laimean”) veden tulppa. Vaatuksella edellytetään, että tällainen tulppa ei saa päästä reaktoriin, vaan sen pitää sitä ennen riittävässä määrin sekoittua boorihappopitoisuudeltaan korkeamman primääriveden kanssa. Samoin edellytetään, että säätösauvat eivät selektiivisesti voi menettää tehokkuuttaan putkirikon seurauksena (esim. paineputkireaktoreissa asia on usein näin).

Vaatus 406. Seuraavassa on lueteltu esimerkkejä ilmiöistä ja asioista, jotka tulee ottaa huomioon polttoaineen suunnittelussa:

- polttoaineen eri osiin kohdistuvat jännitykset ja venymät
- käytönaikaisista kuormitusvaihteluista johtuvat väsymisilmiöt
- eri osien hapettuminen sekä sauvojen suojakuoren hydridoituminen
- jäädytteen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet
- polttoainetablettien tihentyminen ja paisuminen
- polttoainesauvan sisäisen jousen jousivoima polttoainetablettien siirtymisen estämiseksi tuoreen polttoaineen kuljetuksen ja käsittelyn aikana
- käsittelystä ja kuljetuksesta aiheutuvat rasitukset, jotka voivat vaikuttaa polttoaineen ja säätösauvojen käytönaikaiseen käyttäytymiseen.

Vaatus 407. Ydinpolttoaineen luvituksen yhteydessä on osoitettava sen soveltuvuus kaikkiin suunnitellun elinkaaren vaiheisiin. Loppusijoituksen osalta tarkastelu voidaan tehdä siten, että osoitetaan polttoaineen suunnittelun sisältyvän niihin rajoihin, joita kapselointi- ja loppusijoituslaitos asettavat. Tällöin loppusijoituslaitoksen turvallisuusanalyysijä ei ole tarpeen uusia kullekin uudelle polttoainetyypille.

Vaatus 409. Ohjeessa ei suoraan määrätä, miten polttoaineelle sovellettavat palamarajat tulee esittää. Ohjeen muotoilu jättää luvanhakijan päätettäväksi, millaisilla käyttörajoilla kokeellisesti perusteltujen turvallisten, yleensä sauvalle tai pelletille määriteltyjen rajojen sisällä pysyminen tullaan varmistamaan. Käyttörajojen määrityksessä on otettava huomioon toisaalta se, että niiden tulee varmistaa turvallisissa rajoissa pysyminen; toisaalta se, että niiden noudattamisen on oltava kohtuudella valvottavissa.

Loppusijoituksen osalta on tarkoitus varmistaa, että reaktorin ja polttoaineen käyttörajat on asetettu siten, että käytetty polttoaine on loppusijoitettavissa turvallisuusvaatimusten mukaisesti. Käytetyn polttoaineen ominaisuuksien (mm. jälkilämpö, säteilytaso, reaktiivisuus) täytyy olla suunnitteilla tai olemassa olevien käsittely- ja loppusijoituslaitosten suunnitteluperusteiden mukaisia. Jos uuden laitoshankkeen loppusijoitusratkaisu ei ole vielä tarkasti tiedossa, polttoaineen luvitettavuus on arvioitava osana välivarastointi- ja loppusijoituslaitosten luvitusta.

Polttoaineen palaman kasvaessa suojakuoren oksidikerros ja crud voivat muuttaa polttoaineen suojakuoren lämmönsiirto-ominaisuuksia. Tällä saattaa olla vaikutusta lämmönsiirtokriisin tapahtumiseen. Asia on nostettu esille NEA:n raportissa NEA/CSNI/R(99)25 (kohta 3.1).

Säteilyturvakeskus

105/0002/2016

15.3.2019

Vaatus 412. Polttoainesauvan sisäiseen paineeseen vaikuttavat fissiokaasujen vapautuminen ja sauvan esipaineistus. Lift off -ilmiöstä voidaan nykyisin katsoa olevan riittävästi kokeellista tietoa, että systeemipaineen ylitys voidaan sallia ja lift off -rajat perustella kokeellisesti. Polttoainesauvan sisäisen paineen rajaamisella on myös saatu lisävarmuutta jäähdytettävyyden säilymiselle LOCA-tilanteissa, mikä on otettava huomioon LOCA-analysien tarkastuksessa.

Vaatus 415. Lämmönsiirtokriisillä tarkoitetaan tässä kahta ilmiötä, pienillä höyrypitoisuuksilla esiintyvää DNB:tä ja suurilla höyrypitoisuuksilla esiintyvää dryout-ilmiötä. Näistä ensimmäinen on tyypillisesti rajoittava painevesireaktorissa ja jälkimmäinen kiehumisvesireaktorissa.

Vaatus 416. Lyhytaikainen lämmönsiirtokriisi ei välttämättä aiheuta polttoaineauriota, mutta se on selvä ja kohtuullisella luotettavuudella arvioitavissa oleva kriteeri. Jos lyhytaikainen lämmönsiirtokriisi sallittaisiin, jouduttaisiin polttoaineaurioiden syntymistä arvioimaan huomattavia epävarmuuksia sisältävillä analyyseilla. Suojakuoren hapettuminen onnettomuuden aikana pysyy vähäisenä, mikäli sen lämpötila ei ylitä arvoa 700 °C. Puhkeamisriskin kannalta koeaineisto on suurelta osin validia 650 °C lämpötilaan asti alhaisessa paineessa. Tätä korkeammassa lämpötilassa normaali systeemipaine ja tilanteen lyhytkestoisuus minimoivat puhkeamisriskin.

Vaatuset 420, 424. RIA-polttoaineauriorajana on Suomessa (alun perin VVER-reaktoreissa) yleisesti käytetty arvoa 140 cal/g (586 J/kg) ja fragmentaatorajana arvoa 230 cal/g eli 963 J/kg.

Vaatus 422. Analyyseissa on otettava huomioon, että suojakuori voi onnettomuuden aikana hapettua sekä sisä- että ulkopuolelta. Onnettomuuden aiheuttamiin kuormituksiin sisältyy esim. jäähdytteenmenetysonnettomuuden loppuvaiheen uudelleenkastumisen aiheuttama äkillinen jäähtyminen.

Vaatus 424. Muotoilu ei kiellä paikallista sulamista polttoainetabletin keskellä RIA-tilanteissa, kunhan pirstoutumisentalpia ei ylitä.

Vaatus 501. Myös loppusijoituskapselin kriittisyysturvallisuus on osoitettava uusille polttoainetyypeille. Jos uuden laitoshankkeen loppusijoitusratkaisu ei ole vielä tarkasti tiedossa, polttoaineen luvitettavuus on arvioitava osana välivarastointi- ja loppusijoituslaitosten luvitusta.

Vaatus 502. Ydinpolttoaineen luvituksen yhteydessä on osoitettava sen soveltuvuus kaikkiin suunnitellun elinkaaren vaiheisiin. Loppusijoituksen kriittisyysturvallisuuden osalta osoittaminen voidaan tehdä esim. käyttämällä tarkasteluissa referenssinippua, jolle loppusijoituksen kriittisyysturvallisuus on osoitettu vaatimukset täyttäväksi. Tällöin yksittäistä polttoainepudesignia luvitettaessa riittää osoittaa, että sen reaktiivisuus loppusijoitusilannetta vastaavissa olosuhteissa on ko. referenssinipun palamasta riippuvan reaktiivisuuskäyrän alapuolella.

Vaatus 506. Rakenteille, joissa hyödynnetään palamahyvitystä, on esitettävä pienin sallittu polttoaineen palama.

Säteilyturvakeskus

105/0002/2016

15.3.2019

Vaatus 507. Telineen kriittisyysturvallisuutta voidaan tarvittaessa parantaa estämällä pysyvällä tavalla joidenkin positioiden käyttö. Hallinnolliset menetelmät eivät ole riittäviä.

4 Ohjeen alaa koskeva kansainvälinen säännöstö

- IAEA Safety Guide NS-G-1.12: Design of the Reactor Core for Nuclear Power Plants
- IAEA Safety Guide NS-G-1.4: Design of Fuel Handling and Storage Systems in Nuclear Power Plants.
- IAEA Safety Guide SSG-2: Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants

5 Tepco Fukushima Dai-ichi onnettomuuden vaikutukset

Ei vaikutuksia ohjeeseen.

6 Päivityksessä huomioidut muutostarpeet

Vaatuksia päivitettäessä on tarkasteltu kansainvälisten ja kotimaisten laki/säännöstmuutosten aiheuttamia muutostarpeita sekä YVL-ohjeiden täytäntöönpanopäätösten laadinnan (SYLVI) yhteydessä esille tulleita ja muita STUKin muutosehdotustietokantaan kirjattuja muutosehdotuksia. Lisäksi on tarkasteltu myös ns. hallinnollisen taakan keventämismahdollisuuksia.

Ohjeen sisältö ja vaatimustaso ovat pysyneet ennallaan. Muutamaa vaatimusta on selkeytetty (106, 203, 409) ja yksi uusi kuvaus lisätty (104a). Viittaukset on tarkistettu ja päivitetty. Hallinnollisen taakan keventämismahdollisuuksia ohjeessa ei ole.