

YDINPOLTTOAINE JA REAKTORI

1	JOHDANTO	3
2	SOVELTAMISALA	3
3	REAKTORILLE JA REAKTIIVISUUDENHALLINTAJÄRJESTELMILLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET	4
3.1	Reaktorin ja ydinpolttoaineen rakenteellinen yhteensopivuus	4
3.2	Reaktiivisuuden hallinta ja reaktorin pysäytys	4
4	YDINPOLTTOAINEELLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET	4
4.1	Yleistä	4
4.2	Ydinpolttoaineen yleiset suunnitteluvaatimukset	5
4.3	Normaaleja käyttötilanteita koskevat suunnitteluvaatimukset	5
4.4	Käyttöhäiriöitä koskevat suunnitteluvaatimukset	6
4.5	Oletettuja onnettomuuksia ja oletettujen onnettomuuksien laajennuksia koskevat suunnitteluvaatimukset	6
5	KRIITTISYSSONNETTOMUUDEN EHKÄISEMISTÄ KOSKEVAT VAATIMUKSET	7
5.1	Vaatimukset reaktorin ulkopuolella olevalle ydinpolttoaineelle	7
5.2	Vaatimukset reaktorissa olevan ydinpolttoaineen kriittisyysturvallisuudelle	8
6	SÄTEILYTURVAKESKUKSEN VALVONTAMENETTELYT	8
	MÄÄRITELMÄT	8
	VIITTEET	10

Uusien ydinlaitosten osalta tämä ohje on voimassa 1.12.2013 alkaen toistaiseksi. Rakenteilla olevilla ja käyväillä ydinlaitoksilla tämä ohje saatetaan voimaan erillisellä STUKin päätöksellä. Ohje kumoaa ohjeet YVL 6.2, YVL 6.3 ja YVL 6.8.

Ensimmäinen painos
Helsinki 2013

ISBN 978-952-478-862-5 (nid.) Kopijyvä Oy 2013
ISBN 978-952-478-663-2 (pdf)
ISBN 978-952-478-864-9 (html)

Valtuutusperusteet

Ydinenergiain (990/1987) 7 r §:n mukaan Säteilyturvakeskuksen tehtävänä on asettaa ydinenergiain 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 ydinenergiain (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.*

Ydinenergiain 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. Valtioneuvoston asetuksessa ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (717/2013) säädetään yleiset ydinvoimalaitosten suunnittelussa, rakentamisessa, käytössä ja käytöstä poistossa noudatettavat turvallisuusperiaatteet.

102. VNA:n (717/2013) 3 §:ssä säädetään, että ydinvoimalaitoksen turvallisuutta on arvioitava rakentamislupaa ja käyttöilupaa haettaessa, laitosmuutosten yhteydessä sekä määräajoin laitoksen käytön aikana. Pykälän toisessa ja kolmannessa momentissa säädetään niistä menetelmistä, joita ydinvoimalaitoksen turvallisuuden ja turvallisuusjärjestelmien teknisten ratkaisujen perustelemisessa on käytettävä.

103. VNA:n (717/2013) 14 §:ssä säädetään, että ydinvoimalaitoksen turvallisuustoimintojen varmistamisessa on ensisijaisesti käytettävä hyväksitty suunnitteluratkaisuin saavutettavissa olevia luontaisia turvallisuusominaisuuksia. Reaktorin pysäyttämiseen ja alikriittisenä pitämiseen, jälkilämmön poistamiseen ja radioaktiivisten aineiden leviämisen estämiseen on oltava järjestelmät, joiden suunnittelussa on sovellettava moninkertaisuus-, erottelu- ja erilaisuusperiaatetta.

104. VNA:n (717/2013) 13 §:ssä säädetään, että ydinpolttoaineen eheyden varmistamiseksi

- polttoaineaurion todennäköisyyden on oltava pieni normaaleissa käyttötilanteissa ja odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä
- oletetuissa onnettomuuksissa polttoaineaurioiden määrän on pysyttävä pienenä eikä polttoaineen jäähdytettävyyden saa vaarantua
- kriittisyysjonnettomuuden mahdollisuuden on oltava erittäin pieni.

105. Tässä ohjeessa esitetään kriteerit ja yksityiskohtaiset vaatimukset, joilla em. VNA:n (717/2013) säädösten 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.

106. Tämän ohjeen luvussa 4 esitetään ne suunnitteluvaatimukset, joiden täytyminen on osoitettava ydinpolttoaineen soveltuvuusselvityksessä. Soveltuvuusselvitys on osa ohjeessa YVL E.2 kuvattua ydinpolttoaineen hankinnan hyväksymismenettelyä, joka koostuu neljästä osasta:

- ydinpolttoaineen suunnittelun ja valmistuksen laadunhallinnan käsittely
- soveltuvuusselvityksen käsittely
- rakennesuunnitelman käsittely
- valmistuksen valvonta.

107. Ydinpolttoaineen soveltuvuusselvityksen hyväksyntä on ohjeen YVL E.2 mukaisesti edellytys sen rakennesuunnitelman lopulliselle käsittelylle.

2 Soveltamisala

201. Tätä ohjetta sovelletaan ydinlaitosten reaktorin, reaktiivisuudenhallintajärjestelmien, ydinpolttoaineen ja sen käsittely- ja varastointijärjestelmien suunnitteluun.

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

203. Ydinpolttoaineen valmistusta ja suunnittelua koskevia vaatimuksia esitetään tämän ohjeen lisäksi ohjeessa YVL E.2. Käytetyn ydinpolttoaineen varastointia ja käsittelyä koskevia vaatimuksia esitetään ohjeessa YVL D.3. Ydinvoimalaitoksen reaktiivisuuden hallintaan liittyvien järjestelmien suunnitteluvaatimukset esitetään ohjeessa YVL B.1 ja turvallisuuden osoittamiseksi edellytettäviä turvallisuusanalyysieja koskevat vaatimukset ohjeessa YVL B.3.

3 Reaktorille ja reaktiivisuuden-hallintajärjestelmille asetettavat vaatimukset

3.1 Reaktorin ja ydinpolttoaineen rakenteellinen yhteensopivuus

301. Ydinpolttoaine ja reaktorin sisäosat on suunniteltava rakenteeltaan siten yhteensopiviksi, että reaktoria koottaessa kukin osa asetuu luotettavasti oikeaan paikkaan ja asentoon. Ydinpolttoaineen ja reaktorin sisäosien oikea sijoittuminen on voitava tarkastaa lataustoimienpiteiden jälkeen.

302. Reaktoripainesäiliön sisäosat on suunniteltava ja asennettava siten, että ne pysyvät paikoillaan eri käyttötilanteissa ja etteivät ne oletetuissa onnettomuuksissa siirry pysyvästi paikoiltaan. Reaktoripainesäiliön sisäosien on kestettävä kaikissa suunnitteluperustetilanteissa esiintyvät kuormat reaktorin pysäytyksen ja jäähdätyksen vaarantumatta.

3.2 Reaktiivisuuden hallinta ja reaktorin pysäytys

303. Reaktorin fysikaalisten takaisinkytkentöjen yhteisvaikutuksen on oltava sellainen, että se hillitsee reaktorin tehon kasvua reaktorin normaalkäytön aikana sekä käyttöhäiriöissä ja onnettomuuksissa, joissa alkutapahtuma aiheuttaa sydämeen reaktiivisuuslisäyksen tai vaikuttaa heikentävästi ydinpolttoaineen jäähdätykseen. Tilanteissa, joissa fysikaaliset takaisinkytkennät aiheuttavat positiivisen reaktiivisuuslisäyksen, reaktorin suojausjärjestelmän on kyettävä rajoittamaan tehon kasvua niin, että ydinpolttoaineen suunnittelurajat eivät ylity.

304. Säätojärjestelmän yksittäisvika tai yksittäinen ohjausvirhe ei saa aiheuttaa tehon kasvua reaktorin pysäytystä edellyttävälle rajalle.

305. Reaktiivisuuden hallitsemiseksi ydinvoimalaitoksessa on oltava kaksi erilaisuusperiaatteen toteuttavaa järjestelmää, jotka täyttävät ohjeissa YVL B.1 esitetyt, hallitun tilan saavuttami-

seksi ja ylläpitämiseksi tarvittavia järjestelmiä koskevat erityisvaatimukset.

306. Reaktori ja siihen liittyvät järjestelmät on suunniteltava ja toteutettava niin, että käyttöhäiriö tai oletettu onnettomuus ei voi aiheuttaa merkittävää reaktiivisuuslisäystä reaktiivisuuden hallinnassa tarvittavien neutroniabsorbattorien vähenemisen, niiden tehokkuuden heikkenemisen tai epätasaisen jakautumisen seurauksena.

307. Vakavassa reaktorionnettomuudessa vaurioitunut reaktori tai sen jäänteet on pystyttävä pitämään alikriittisenä.

4 Ydinpolttoaineelle asetettavat vaatimukset

4.1 Yleistä

401. Ydinpolttoaineen eheydestä on huolehdittava sen käytön, käsittelyn, kuljetuksen, pitkäaikaisen varastoinnin ja loppusijoituksen toteutuksen yhteydessä. Tämän varmistamiseksi ydinpolttoaineelle on määriteltävä suunnittelurajat, joihin sisältyy riittävät turvallisuusmarginaalit. Rajojen on perustuttava vastaavaa polttoainetyyppejä koskeviin kokeellisiin tuloksiin.

402. Ydinpolttoaineen suunnittelurajat on esitettävä laitossyksikön turvallisuusselosteessa tai ydinpolttoaineen suunnitteluaineistossa.

403. Ydinpolttoaineen soveltuvuusselvityksessä on esitettävä, mitkä polttoaineen materiaalit ja komponentit valmistetaan toimituserään kohdistettuina ja mitkä toimituserään kohdistamattomina. Vaihtoehtoisesti voidaan esittää viite muussa yhteydessä toimitettuun luetteloon, jossa asia on esitetty.

404. Ydinpolttoaineeseen saa tehdä vain sellaisia muutoksia, jotka suunnittelutyöstä ja laadunhallinnasta vastaavat organisaatioyksiköt ovat tarkastaneet ja hyväksyneet. Muutokset on perusteltava soveltuvilla analyysillä, kokeellisilla tutkimuksilla ja mahdollisilla käyttökokemuksilla. Muutosten mahdolliset vaikutukset kyseisen

laitosyksikön turvallisuusanalyysiin on otettava huomioon.

405. Jotta luvanhaltijan aiemmin käyttämään polttoainetyyppiin voidaan tehdä olennaisia muutoksia, luvanhaltijan on käytävä seikkaperäisesti läpi muutosta koskeva suunnitteluaineisto ja tehtävä tarvittavat vertailuanalyysit sekä selvitettävä muutoksen vaikutukset ydinpolttoaineen käyttäytymiseen. Muutoksen yhteensopivuus reaktoriin ja laitoksen muihin järjestelmiin on varmistettava. Myös muutoksen mahdolliset vaikutukset laitosyksikön turvallisuusanalyysiin on selvitettävä.

4.2 Ydinpolttoaineen yleiset suunnitteluvaatimukset

406. Ydinpolttoaineen suunnittelurajoja määriteltäessä on tarkasteltava kattavasti niitä fysikaalisia, kemiallisia ja mekaanisia ilmiöitä, joilla on vaikutusta ydinpolttoaineen kestävyteen käyttö- ja onnettomuustilanteissa. Tarkastelujen on katettava kaikki suunnitteluperustetilanteet.

407. Ydinpolttoaineen suunnittelurajoja määriteltäessä on lisäksi tarkasteltava niitä rakenne- ja materiaaliominaisuuksia, joilla on merkitystä loppusijoitustoiminnan sekä loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden kannalta.

408. Polttoainenippu on suunniteltava niin, että sen osat pysyvät paikoillaan eri käyttötilanteissa ja etteivät ne oletetuissa onnettomuuksissa siirtyä pysyvästi paikoiltaan. Polttoainenipun on kestävä kaikissa suunnitteluperustetilanteissa esiintyvät kuormat reaktorin pysäytyksen ja jäähdytettävyyden vaarantumatta.

409. Säteilytyksen aiheuttamat muutokset ydinpolttoaineen ominaisuuksiin on otettava huomioon, kun määritetään ydinpolttoaineen turvallisen käytön rajoja mukaan lukien vaikutukset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. Ydinpolttoaineelle on esitettävä sovellettavat palamarajat, jotka perustuvat kokeelliseen aineistoon. Mikäli säteilytyksellä on vaikutusta suoja-kuoren ja jäähdytteen väliseen lämmönsiirtoon, se on otettava huomioon myös lämmönsiirtokriisin arvioinnissa käytettävissä korrelaatioissa.

410. Säätosauvojen on kestävä käytön aikainen kuluminen ja muut rasitukset siten, että niiden normaali toiminta ei vaarannu. Säätosauvojen neutroni-absorptiokyvyn on säilyttävä käytön aikana laitosyksikön turvallisuusselosteen oletusten mukaisena.

411. Säätosauvojen normaali toiminta ei saa estyä polttoainenipun tai polttoainesauvojen muodonmuutosten vuoksi.

4.3 Normaaileja käyttötilanteita koskevat suunnitteluvaatimukset

412. Normaaileissa käyttötilanteissa ydinpolttoaineen on täytettävä seuraavat ehdot:

- Polttoainetableteissa ei saa tapahtua sulamista.
- Suojakuoren lämpötila ei saa olennaisesti ylittää jäähdytteen lämpötilaa.
- Polttoainesauvan suojakuori ei saa lommahdtaa.
- Polttoainesauvan sisäinen paine ei saa kasvaa niin suureksi, että siitä aiheutuvat suoja-kuoren muodonmuutokset heikentävät polttoainetabletin ja jäähdytteen välistä lämmönsiirtoa (lift-off).

413. Polttoainenipun ja säätosauvan osien muodonmuutosten on pysyttävä niin vähäisinä, että ne

- eivät aiheuta merkittävää tehonnousua polttoainesauvoissa
- eivät haittaa ydinpolttoaineen jäähdytettävyyttä
- eivät haittaa reaktorin pikasulun onnistumista tai säätosauvojen muuta liikuttamista
- eivät haittaa polttoainesauvojen käsittelytoimenpiteitä.

414. Polttoainetabletin ja suoja-kuoren välisen mekaanisen vuorovaikutuksen aiheuttaman polttoainevaurion todennäköisyyden on oltava erittäin pieni. Tämän vuoksi ydinpolttoaineelle on määriteltävä käytönaikaiset tehonmuutosten ja -muutosnopeuksien rajat, joissa otetaan huomioon mm. suoja-kuoren jännityskorroosio.

4.4 Käyttöhäiriöitä koskevat suunnitteluvaatimukset

415. Odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä ydinpolttoaineen on täytettävä seuraavat ehdot:

- Polttoainetableteissa ei saa tapahtua sulamista.
- Suojakuoren riittävä jäädytys on varmistettava. Suojakuoren jäädytys katsotaan riittäväksi, jos 95 %:n varmuudella on 95 %:n todennäköisyys sille, että kuumin polttoainesauva ei joudu lämmönsiirtokriisiin. Vaihtoehtoisesti voidaan osoittaa, että lämmönsiirtokriisiin joutuvien sauvojen lukumäärä ei ylitä 0,1 %:a reaktorissa olevien polttoainesauvojen kokonaismäärästä.
- Ydinpolttoaineen ja suojakuoren välisen mekaanisen vuorovaikutuksen aiheuttaman polttoaineaurion todennäköisyyden on oltava erittäin pieni.

4.5 Oletettuja onnettomuuksia ja oletettujen onnettomuuksien laajennuksia koskevat suunnitteluvaatimukset

Luokan 1 oletetut onnettomuudet

416. Luokan 1 oletettu onnettomuus ei saa aiheuttaa merkittäviä muutoksia polttoaineen alkuperäiseen rakenteeseen. Tämän varmistamiseksi ydinpolttoaineen on täytettävä seuraavat ehdot:

- Lämmönsiirtokriisiin joutuvien polttoainesauvojen lukumäärä ei saa ylittää 1 %:a reaktorissa olevien polttoainesauvojen kokonaismäärästä.
- Ydinpolttoaineen suojakuoren maksimilämpötila ei saa nousta niin korkeaksi, että suojakuoren hapettuminen tai suojakuorimateriaalin ominaisuuksien muuttuminen voisi uhata suojakuoren kestävyyttä onnettomuuden aikana. Vaatimuksen voidaan katsoa täyttyvän ilman erillistä perustelua, mikäli lämpötila ei ylitä arvoa 650 °C.
- Ydinpolttoaineen ja suojakuoren välisen mekaanisen vuorovaikutuksen aiheuttamien polttoaineaurioiden määrä ei saa ylittää 0,1 %:a reaktorissa olevien polttoainesauvojen kokonaismäärästä.

Luokan 2 oletetut onnettomuudet

417. Luokan 2 oletetuissa onnettomuuksissa vaurioituvien polttoainesauvojen lukumäärä ei saa

ylittää 10 %:a reaktorissa olevien polttoainesauvojen kokonaismäärästä.

418. Suojakuoren lämpötilan nousun vuoksi rikkoutuvien polttoainesauvojen kokonaismäärää arvioitaessa on otettava huomioon suojakuoren lämpötilan muutokset, kemialliset reaktiot, muodonmuutokset, kuten suojakuoren pullistuminen ja lommahtaminen, sekä polttoaineen entalpian kasvun seurauksista johtuva suojakuoren vaurioituminen.

419. Suojakuoren tiiviyn menetyksen arvioinnissa käytettävien rajojen on perustuttava koikeelliseen tutkimukseen. Rajoja määritettäessä on otettava kattavasti huomioon ko. ilmiöihin vaikuttavat kemialliset, fysikaaliset ja mekaaniset tekijät sekä polttoainesauvan mittatoleranssit. Ydinpolttoaineen säteilytyksen myötä muuttuvat suojakuoren ja polttoainetabletin ominaisuudet on otettava huomioon silloin, kun arvioidaan kokeiden kattavuutta ja määritetään niiden perusteella polttoaineen palamasta riippuvia rajoja polttoaineauriolle.

420. Ydinpolttoaineen katsotaan vaurioituneen, mikäli polttoainesauvan säteittäinen keskimääräinen entalpia jollakin pystykohdalla ylittää arvon 586 J/gUO₂. Vauriokriteeriä on mahdollista muuttaa, mikäli kyseiselle polttoainetyypille tehdyillä, riittävän kattavilla kokeilla osoitetaan polttoaineen suurella todennäköisyydellä kestävänsä vastaavan entalpian vaurioitumatta.

Luokan 2 oletetut onnettomuudet ja oletettujen onnettomuuksien laajennukset

421. Ydinpolttoaineen jäädytettävyyden ei saa vaarantua esimerkiksi polttoainesauvojen suojakuoren pullistumisen tai rikkoutumisen, polttoaine-elementin tai reaktorin sisäosien muodonmuutosten tai onnettomuuden seurauksena reaktoriin mahdollisesti joutuneiden epäpuhtauksien vuoksi.

422. Suojakuoren liiallinen haurastuminen on esitettävä. Tämän varmistamiseksi on osoitettava, että

- suojakuori ei hapetu onnettomuuden aikana siinä määrin, että se ei kestä onnettomuuden

aiheuttamia kuormituksia; arvioissa on otettava huomioon sekä onnettomuuden aikainen (ulkopuolinen ja mahdollinen sisäpuolinen) että sitä edeltäneen normaalin käytön aikainen hapettuminen ja lisäksi polttoainetabletin ja suojakuorimateriaalin väliset kemialliset vuorovaikutukset

- suojakuori kestää kuormitukset, jotka aiheuttavat polttoaineniipun onnettomuuden jälkeisestä käsittelystä, pois kuljettamisesta ja varastoinnista
- ydinpolttoaineen normaalin käytön ja onnettomuustilanteen aikana suojakuoreen absorboitunut vety ei heikennä liikaa suojakuoren ominaisuuksia; suojakuoreen absorboituneen vedyn vaikutus suojakuoren kestävytyteen on määriteltävä kokeellisesti
- suojakuoren korkein onnettomuustilanteissa saavutettava lämpötila ei ylitä arvoa 1 200 °C.

423. Suojakuoren lämpötilannousu on rajoitettava tasolle, jossa suojakuoren hapettuminen metallivesireaktion seurauksena ei kiihdy hallitsematomasti.

424. Polttoainesauvan mureneminen ja sulaminen on estettävä. Ydinpolttoaineen säteittäisen entalpian keskimääräinen arvo ei saa ylittää minkään polttoainesauvan millään pystykohdalla arvoa 963 J/g UO₂. Suojakuoren sulamisen estämisessä on otettava huomioon polttoaineniipun eri rakenneosien välisten vuorovaikutusten mahdollinen alentava vaikutus suojakuoren sulamislämpötilaan (esim. materiaalien eutektisten ominaisuuksien kautta).

425. Jäähdytteen ja suojakuoren välisen kemiallisen vuorovaikutuksen vuoksi syntyvän vedyn määrä ei saa ylittää 1 %:a siitä määrästä, mikä syntyisi, jos polttoainetabletteja ympäröivä suojakuoren osa koko reaktorisydämessä reagoisi jäähdytteen kanssa.

426. Säätosauvoissa ei saa tapahtua sulamista. Rakenteelliset muodonmuutokset polttoainesauvoissa, polttoaineniipuissa, säätosauvoissa tai reaktorin sisäosissa eivät saa estää säätosauvojen liikuttamista reaktorissa.

5 Kriittisyys-onnettomuuden ehkäisemistä koskevat vaatimukset

501. Tässä kappaleessa esitetään yleiset vaatimukset kriittisyys-onnettomuuden ehkäisemiselle reaktorisydämen, polttoaineen ja sen varastointi- ja käsittelyjärjestelmien suunnittelun kannalta. Ohjeessa YVL D.3 on esitetty muut käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyä, kapselointia ja loppusijoitusta koskevat vaatimukset.

5.1 Vaatimukset reaktorin ulkopuolella olevalle ydinpolttoaineelle

502. Ydinpolttoaineen ja sen varastointi- ja käsittelyjärjestelmien suunnittelun yhteydessä on varmistettava, että kriittisyysturvallisuudelle asetetut vaatimukset täyttyvät. Vaatimusten täyttymisen osoittamiseksi tehdyt analyysit on esitettävä osana ydinpolttoaineen tai sen käsittelyyn tai varastointiin liittyvän järjestelmän soveltuvuusselvitystä. Uutta polttoainetyyppiä luvitettaessa on osoitettava, että ydinpolttoaine täyttää kriittisyysturvallisuusvaatimukset kaikissa sen suunnitellun käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen vaiheissa.

503. Kun ydinpolttoaine on reaktorin ulkopuolella, sen kriittisyys on estettävä rakenteellisin keinoin. Varastointi- ja käsittelyjärjestelmien alikriittisyyden varmistaminen ei saa perustua veteen liuotettuihin aineisiin. Vain varastossa sijaitsevat kiinteät absorbaattorirakenteet saa ottaa huomioon kriittisyysturvallisuusanalyysissa.

504. Varastopaikat ja ydinpolttoaineen käsittely- ja siirtojärjestelmät on suunniteltava siten, että varaston ollessa täynnä ydinpolttoainetta efektiivinen kasvutekijä k_{eff} ei normaalitilanteissa tai käyttöhäiriöissä ylitä arvoa 0,95 eikä muissa suunnitteluperustetilanteissa arvoa 0,98. Kuivavaraston kriittisyysturvallisuusanalyysissa on onnettomuustilanteena tarkasteltava myös sellaisia tilanteita, joissa varastoon pääsee vettä tai muuta mahdollista hidastinainetta.

505. Kriittisyysturvallisuusanalyysseissa on otettava huomioon esim. rakenteista, mitoista ja varastointiolosuhteista johtuvien epävarmuuksien mahdollinen kasvutekijää korottava vaikutus niin, että analyysien tulokset ovat suurella varmuudella konservatiivisia. Onnettomuustilanteiden aikaiset mahdolliset poikkeamat normaaleista varastointiolosuhteista on otettava huomioon analyysseissa.

506. Kriittisyysturvallisuusanalyysseissa käytetty ydinpolttoaineen isotooppikoostumus on määriteltävä niin, että analyysit kattavat suurella varmuudella kaikki mahdollisena pidettävät ydinpolttoaineen säteilytyshistoriat. Tuoreen ydinpolttoaineen kuivavarastossa ja kuljetuspakkauksissa on riittävää tarkastella yksinomaan tuoretta ydinpolttoainetta. Silloin, kun analysoidaan yksinomaan lopullisesti käytöstä poistettua ydinpolttoainetta sisältäviä varastoja ja käsittelyjärjestelmiä, voidaan ydinpolttoaineen palama ottaa lieventävänä huomioon kriittisyysturvallisuusanalyysseissa (palamahyvitys). Kaikissa muissa varastoissa on oletettava sellainen palama, että ydinpolttoaine on mahdollisimman reaktiivista.

507. Kriittisyysturvallisuusanalyysseissä koko tarkasteltavan telineen tai muun rakenteen on oletettava olevan niin täynnä ydinpolttoainetta kuin siihen on teknisesti mahdollista sijoittaa.

508. Kriittisyysturvallisuusanalyysseissa on otettava huomioon kaikki fissiilit nuklidit, joilla on merkittävä reaktiivisuusvaikutus. Ei-fissiileistä, neutroneita absorboivista nuklideista voidaan ottaa huomioon ne, joiden vaikutus reaktiivisuuteen on koko suunnitellun säilytysajan suurella varmuudella vähintään analyysseissa käytetyn suuruinen. Epästabiilien nuklidien osalta voidaan huomioida tytärnuklidien vaikutus reaktiivisuuteen siten, että epästabiilista ytimeistä alkavan hajoamisketjun sisältämien nuklidien yhteisvaikutus reaktiivisuuteen muodostuu konservatiiviseksi. Ydinpolttoaineen isotooppikoostumusta määriteltäessä on otettava huomioon palamalaskentajärjestelmään sisältyvät epävarmuudet.

5.2 Vaatimukset reaktorissa olevan ydinpolttoaineen kriittisyysturvallisuudelle

509. Ydinreaktorissa olevan ydinpolttoaineen tahaton kriittisyys on estettävä ensisijaisesti teknisin keinoin. Jos teknistä estettä ydinpolttoaineen kriittiseksi tuloon ei ole, reaktori on varustettava neutronivuon mittauksella, jonka on pystyttävä havaitsemaan lähestyvä kriittisyys ja hälyttämään siitä niin, että kriittisyyssonnettomuus voidaan estää. Polttoainennippujen suunnitelmanmukaisen sijoittelun varmistaminen ei yksinään ole riittävä tekninen este tahattomalle kriittisyydelle.

510. Kun tehdään sydänmuutoksia (polttoainennippujen tai säätösauvojen siirrot), on reaktorin neutronivuota ja jäädytteen mahdollista boori-pitoisuutta valvottava.

6 Säteilyturvakeskuksen valvontamenettelyt

601. STUK tarkastaa ydinpolttoaineen soveltuvuusselvityksen.

602. STUK valvoo ydinvoimalaitosten järjestelmien suunnittelua tarkastamalla järjestelmien ennakkotarkastusaineistot ja valvomalla niiden rakentamista ja käyttöä.

603. STUK valvoo ydinpolttoaineen eheyteen ja kriittisyysturvallisuuteen vaikuttavia asioita käytön tarkastusohjelman mukaisilla tarkastuksilla.

Määritelmät

Alikriittinen tila

Alikriittisellä tilalla tarkoitetaan tilaa, jossa ei tapahdu fissioissa vapautuvien neutronien ylläpitämää ketjureaktiota.

Hallittu tila

Hallittu tilalla tarkoitetaan tilaa, jossa reaktori on sammutettu ja sen jälkilämmön poisto on turvattu. (VNA 717/2013)

Kriittisyys

Kriittisyydellä tarkoitetaan tilaa, jossa fissiona syntyvien, ketjureaktiota ylläpitävien neutronien tuotto ja hävikki ovat tasapainossa niin, että ketjureaktio jatkuu tasaisena. (VNA 717/2013)

Kriittisyysonnennettomuus

Kriittisyysonnennettomuudella tarkoitetaan onnettomuutta, jonka aiheuttaa hallitsematon fissioiden ketjureaktio.

Oletettu onnettomuus

Oletetulla onnettomuudella tarkoitetaan sellaista poikkeamaa normaaleista käyttötilanteista, jonka voidaan olettaa esiintyvän harvemmin kuin kerran sadassa käyttövuodessa, pois lukien oletetun onnettomuuden laajennukset ja josta ydinvoimalaitoksen edellytetään selviytyvän ilman vakavia polttoainevaurioita, vaikka yksittäisiä turvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien laitteita olisi käyttökunnottomina huoltotöiden tai vikojen johdosta; oletetut onnettomuudet jaetaan niiden alkutapahtumataajuuden perusteella kahteen luokkaan: a) luokan 1 oletetut onnettomuudet (DBC 3), joiden voidaan olettaa esiintyvän harvemmin kuin kerran sadassa käyttövuodessa mutta vähintään kerran tuhannessa käyttövuodessa. b) luokan 2 oletetut onnettomuudet (DBC 4), joiden voidaan olettaa esiintyvän harvemmin kuin kerran tuhannessa käyttövuodessa.

Oletetun onnettomuuden laajennus (DEC)

Oletetun onnettomuuden laajennuksella (DEC) tarkoitetaan:

- a. onnettomuutta, jossa odotettavissa olevaan käyttöhäiriöön tai luokan 1 oletettuun onnettomuuteen liittyy turvallisuustoiminnon toteuttamiseen tarvittavassa järjestelmässä esiintyvä yhteisvika (DEC A);
- b. onnettomuutta, jonka aiheuttaa todennäköisyysperusteisen riskianalyysin perusteella merkittäväksi tunnistettu vikayhdistelmä (DEC B); tai
- c. onnettomuutta, jonka aiheuttaa harvinainen ulkoinen tapahtuma, ja josta laitoksen edellytetään selviytyvän ilman vakavia polttoainevaurioita (DEC C).

Polttoainevaurio

Polttoainevauriolla tarkoitetaan tilannetta, jossa polttoainesauva menettää tiiviytensä.

Sammutettu reaktori

Sammutetulla reaktorilla tarkoitetaan alkukriittisessä tilassa olevaa reaktoria, jonka efektiivinen kasvutekijä on epävarmuudet huomioon ottaen pienempi kuin 0,995.

Suunnitteluperustetilanne

Suunnitteluperustetilanteella tarkoitetaan reaktorin normaaleja käyttötilanteita, odotettavissa olevia käyttöhäiriöitä, oletettuja onnettomuuksia ja oletettujen onnettomuuksien laajennuksia.

Toimituserään kohdistetut tuotteet

Toimituserään kohdistetuilla tuotteilla tarkoitetaan tuotteita (materiaalit, osat, komponentit), jotka on kohdistettu tiettyyn ydinpolttoaineen toimituserään jo niiden valmistuksen yhteydessä. Ydinpolttoaineen muut tuotteet ovat toimituserään kohdistamattomia.

Turvallinen tila

Turvallisella tilalla tarkoitetaan tilaa, jossa reaktori on sammutettu ja paineeton ja sen jälkilämmön poisto on turvattu. (VNA 717/2013)

Ydinpolttoaineen jäähdytettävyyden menetykset

Ydinpolttoaineen jäähdytettävyyden menetyksellä tarkoitetaan tilannetta, jossa ydinpolttoaine menettää jäähdytettävissä olevan muotonsa polttoainevaurion tai suunnitteluperusteet ylittävän muodonmuutoksen seurauksena tai jossa polttoainesauvoja jäähdyttävä virtaus estyy polttoainepuutteeseen päätyneiden epäpuhtauksien vuoksi.

Yhteisvika

Yhteisvialla tarkoitetaan kahden tai useamman rakenteen, järjestelmän tai laitteen vikaantumista saman yksittäisen tapahtuman tai syyn vaikutuksesta.

Viitteet

1. Ydinenergialaki (990/1987).
2. Ydinenergia-asetus (161/1988).
3. Valtioneuvoston asetus ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (717/2013).
4. Valtioneuvoston asetus ydinenergian käytön turvajärjestelyistä (734/2008).
5. Valtioneuvoston asetus ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyistä (716/2013).
6. Valtioneuvoston asetus ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta (736/2008).
7. IAEA Safety Guide NS-G-1.12: Design of the Reactor Core for Nuclear Power Plants.
8. IAEA Safety Guide NS-G-1.4: Design of Fuel Handling and Storage Systems in Nuclear Power Plants.
9. IAEA Safety Guide SSG-2: Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants.