

OHJE YVL B.4

YDINPOLTTOAINE JA REAKTORI

1	Johdanto	3
2	Soveltamisala	5
3	Reaktorille ja reaktiivisuudenhallintajärjestelmille asetettavat vaatimukset	6
3.1	Reaktorin ja ydinpolttoaineen rakenteellinen yhteensopivuus	6
3.2	Reaktiivisuuden hallinta ja reaktorin pysäytys	6
4	Ydinpolttoaineelle asetettavat vaatimukset	7
4.1	Yleistä	7
4.2	Ydinpolttoaineen yleiset suunnitteluvaatimukset	7
4.3	Normaaleja käyttötilanteita koskevat suunnitteluvaatimukset	8
4.4	Käyttöhäiriöitä koskevat suunnitteluvaatimukset	9
4.5	Oletettuja onnettomuuksia ja oletettujen onnettomuuksien laajennuksia koskevat suunnitteluvaatimukset	9
4.5.1	Luokan 1 oletetut onnettomuudet	9
4.5.2	Luokan 2 oletetut onnettomuudet	10
4.5.3	Luokan 2 oletetut onnettomuudet ja oletettujen onnettomuuksien laajennukset	10
5	Kriittisyysongnettomuuden ehkäisemistä koskevat vaatimukset	12
5.1	Vaatimukset reaktorin ulkopuolella olevalle ydinpolttoaineelle	12
5.2	Vaatimukset reaktorissa olevan ydinpolttoaineen kriittisyysturvallisuudelle	13
6	Säteilyturvakeskuksen valvontamenettelyt	14
7	Viitteet	15

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 turvallisuusvaatimuksien 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 01.04.2019 alkaen toistaiseksi. Rakenteilla olevilla ja käyville ydinlaitoksilla tämä ohje saatetaan voimaan erillisellä STUKin päätöksellä.

Ohje kumoaa ohjeen YVL B.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. Säteilyturvakeskuksen määräyksessä ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (STUK Y/1/2018) esitetään yleiset ydinvoimalaitosten suunnittelussa, rakentamisessa, käytössä ja käytöstä poistossa noudatettavat turvallisuusperiaatteet. [2019-03-15]

102. STUKin määräyksen STUK Y/1/2018 3 §:ssä edellytetään, että ydinvoimalaitoksen turvallisuutta on arvioitava rakentamislupaa ja käyttöilupaa haettaessa, laitosten yhteydessä sekä määräaikaisten turvallisuusarvioiden yhteydessä laitoksen käytön aikana. Pykälän toisessa ja kolmannessa kohdassa esitetään vaatimukset niille menetelmille, joita ydinvoimalaitoksen turvallisuuden ja turvallisuusjärjestelmien teknisten ratkaisujen perustelemisessa on käytettävä. [2019-03-15]

103. STUKin määräyksen STUK Y/1/2018 11 §:ssä edellytetään, että ydinvoimalaitoksen turvallisuustoimintojen varmistamisessa on ensisijaisesti käytettävä hyväksi suunnitteluratkaisuin saavutettavissa olevia luontaisia turvallisuusominaisuuksia. Reaktorin pysäyttämiseen ja alikriittisenä pitämiseen, reaktorissa syntyvän jälkilämmön poistamiseen sekä radioaktiivisten aineiden pidättämiseen laitoksen sisällä on oltava järjestelmät, joiden suunnittelussa on sovellettava moninkertaisuus-, erottelu- ja erilaisuusperiaatetta. [2019-03-15]

104. STUKin määräyksen STUK Y/1/2018 10 §:ssä edellytetään, että polttoaineaurioista aiheutuvan radioaktiivisten aineiden leviämisen rajoittamiseksi

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

[2019-03-15]

104a. STUKin määräyksien STUK Y/1/2018 12 §:ssä ja STUK Y/4/2018 15 §:ssä annetaan polttoaineen käsittelyä ja varastointia koskevat määräykset. [2019-03-15]

105. Tässä ohjeessa esitetään kriteerit ja yksityiskohtaiset vaatimukset, joilla STUKin määräyksen STUK Y/1/2018 vaatimusten täyttyminen 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 kriittisyssonnettomuuden ehkäisemistä koskevat vaatimukset luvussa 5. [2019-03-15]

106. Tämän ohjeen luvuissa 4 ja 5.1 esitetään ne suunnitteluvaatimukset, joiden täytyminen on osoitettava ydinpolttoaineen soveltuvuus selvityksessä. Soveltuvuus selvitys on osa ohjeessa YVL E.2 ”Ydinpolttoaineen ja säätösauvojen hankinta ja käyttö” kuvattua ydinpolttoaineen hankinnan hyväksymismenettelyä, joka koostuu neljästä osasta:

- ydinpolttoaineen suunnittelun ja valmistuksen laadunhallinnan käsittely
- soveltuvuus selvityksen käsittely
- rakennesuunnitelman käsittely
- valmistuksen valvonta.

[2019-03-15]

107. Ydinpolttoaineen soveltuvuus selvityksen hyväksyntä on ohjeen YVL E.2 mukaisesti edellytys sen rakennesuunnitelman lopulliselle käsittelylle. [2013-11-15]

2 Soveltamisala

201. Tätä ohjetta sovelletaan ydinlaitosten reaktorin, reaktiivisuudenhallintajärjestelmien, ydinpolttoaineen ja sen käsittely- ja varastointijärjestelmien suunnitteluun. [2013-11-15]

202. Ydinpolttoaineen suunnittelun lisäksi tämän ohjeen lukujen 4 ja 5 vaatimuksia on noudatettava soveltuvin osin säätösauvojen suunnittelussa. [2013-11-15]

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 ”Ydinpolttoaineen käsittely ja varastointi”. Ydinvoimalaitoksen yleiset ja reaktiivisuuden hallintaan liittyvien järjestelmien erityiset suunnitteluvaatimukset esitetään ohjeessa YVL B.1 ”Ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelu” ja turvallisuuden osoittamiseksi edellytettäviä turvallisuusanalyseja koskevat vaatimukset ohjeessa YVL B.3 ”Ydinvoimalaitoksen deterministiset turvallisuusanalyysit”. [2019-03-15]

3 Reaktorille ja reaktiivisuudenhallintajärjestelmille asetettavat vaatimukset

3.1 Reaktorin ja ydinpolttoaineen rakenteellinen yhteensopivuus

301. Ydinpolttoaine ja reaktorin sisäosat on suunniteltava rakenteeltaan siten yhteensopiviksi, että reaktoria koottaessa kukin osa asettuu luotettavasti oikeaan paikkaan ja asentoon.

Ydinpolttoaineen ja reaktorin sisäosien oikea sijoittuminen on voitava tarkastaa lataustoimenpiteiden jälkeen. [2013-11-15]

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 jäähdytyksen vaarantumatta. [2013-11-15]

3.2 Reaktiivisuuden hallinta ja reaktorin pysäytys

303. Reaktorin fysikaalisten takaisinkytkentöjen yhteisvaikutuksen on oltava sellainen, että se hillitsee reaktorin tehon kasvua reaktorin normaalikäytön aikana sekä käyttöhäiriöissä ja onnettomuuksissa, joissa alkutapahtuma aiheuttaa sydämeen reaktiivisuuslisäyksen tai vaikuttaa heikentävästi ydinpolttoaineen jäähdytykseen. Tilanteissa, joissa fysikaaliset takaisinkytkennät aiheuttavat positiivisen reaktiivisuuslisäyksen, reaktorin suojausjärjestelmän on kyettävä rajoittamaan tehon kasvua niin, että ydinpolttoaineen suunnittelurajat eivät ylitä. [2013-11-15]

304. Säätojärjestelmän yksittäisvika tai yksittäinen ohjausvirhe ei saa aiheuttaa tehon kasvua reaktorin pysäytystä edellyttävälle rajalle. [2013-11-15]

305. Reaktiivisuuden hallitsemiseksi ydinvoimalaitoksessa on oltava kaksi erilaisuusperiaatteen toteuttavaa järjestelmää, jotka täyttävät ohjeessa YVL B.1 esitetyt, hallitun tilan saavuttamiseksi ja ylläpitämiseksi tarvittavia järjestelmiä koskevat erityisvaatimukset. [2013-11-15]

306. Reaktori ja siihen liittyvät järjestelmät on suunniteltava ja toteutettava niin, että käyttöhäiriö tai oletettu onnettomuus ei voi aiheuttaa merkittävää reaktiivisuuslisäystä reaktiivisuuden hallinnassa tarvittavien neutroniabsorbaattorien vähenemisen, niiden tehokkuuden heikkenemisen tai epätasaisen jakautumisen seurauksena. [2013-11-15]

307. Vakavassa reaktorionnettomuudessa vaurioitunut reaktori tai sen jäänteet on pystyttävä pitämään alikriittisenä. [2013-11-15]

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 polttoainetyyppiä koskeviin kokeellisiin tuloksiin.

[2013-11-15]

402. Ydinpolttoaineen suunnittelurajat on esitettävä laitostyöyksikön turvallisuusselosteessa tai ydinpolttoaineen suunnitteluaineistossa. [2013-11-15]

403. Ydinpolttoaineen soveltuvuus selvityksessä 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. [2013-11-15]

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 laitostyöyksikön turvallisuusanalyysiin on otettava huomioon. [2013-11-15]

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 laitostyöyksikön turvallisuusanalyysiin on selvitettävä. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

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

pitkäaikaisturvallisuuden kannalta. [2013-11-15]

408. Polttoainenippu on suunniteltava niin, että sen osat pysyvät paikoillaan eri käyttötilanteissa ja etteivät ne oletetuissa onnettomuuksissa siirtyä pysyvästi paikoiltaan. Polttoainenipun on kestettävä kaikissa suunnitteluperustetilanteissa esiintyvät kuormat reaktorin pysäytyksen ja jäähdytettävyyden vaarantumatta. [2013-11-15]

409. Säteililytyksen aiheuttamat muutokset ydinpolttoaineen ominaisuuksiin on otettava huomioon, kun määritetään ydinpolttoaineen turvallisen käytön rajoja. Ydinpolttoaineelle on esitettävä sovellettavat palamarajat, jotka perustuvat kokeelliseen aineistoon. Mikäli säteililytyksellä on vaikutusta suojakuoren ja jäähdytteen väliseen lämmönsiirtoon, se on otettava huomioon myös lämmönsiirtokriisin arvioinnissa käytettävissä korrelaatioissa. Ydinpolttoaineen turvallisen käytön rajoja määritettäessä on otettava huomioon myös vaikutukset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. [2019-03-15]

410. Säätosauvojen on kestettävä käytön aikainen kuluminen ja muut rasitukset siten, että niiden normaali toiminta ei vaarannu. Säätosauvojen neutroni-absorptiokyvyn on säilyttävä käytön aikana laitosesikön turvallisuusselosteen oletusten mukaisena. [2013-11-15]

411. Säätosauvojen normaali toiminta ei saa estyä polttoainenipun tai polttoainesauvojen muodonmuutosten vuoksi. [2013-11-15]

4.3 Normaaleja käyttötilanteita koskevat suunnitteluvaatimukset

412. Normaaleissa käyttötilanteissa ydinpolttoaineen on täytettävä seuraavat ehdot:

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

[2013-11-15]

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 säätösauvojen muuta liikuttamista
- eivät haittaa polttoainesauvojen käsittelytoimenpiteitä.

[2013-11-15]

414. Polttoainetabletin ja suojakuoren välisen mekaanisen vuorovaikutuksen aiheuttaman polttoaineaurion todennäköisyyden on oltava erittäin pieni. Tämän vuoksi ydinpolttoaineelle on määriteltävä käytönaikaiset tehonmuutosten ja -muutosnopeuksien rajat, joissa otetaan huomioon mm. suojakuoren jännityskorroosio. [2013-11-15]

4.4 Käyttöhäiriöitä koskevat suunnitteluvaatimukset

415. Odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä ydinpolttoaineen on täytettävä seuraavat ehdot:

- Polttoainetableteissa ei saa tapahtua sulamista.
- Suojakuoren riittävä jäähdytys on varmistettava. Suojakuoren jäähdytys katsotaan riittäväksi, jos 95 %:n luottamustasolla 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.

[2019-03-15]

4.5 Oletettuja onnettomuuksia ja oletettujen onnettomuuksien laajennuksia koskevat suunnitteluvaatimukset

4.5.1 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 polttoainevaurioiden määrä ei saa ylittää 0,1 %:a reaktorissa olevien polttoainesauvojen kokonaismäärästä.

[2013-11-15]

4.5.2 Luokan 2 oletetut onnettomuudet

417. Luokan 2 oletetuissa onnettomuuksissa vaurioituvien polttoainesauvojen lukumäärä ei saa ylittää 10 %:a reaktorissa olevien polttoainesauvojen kokonaismäärästä. [2013-11-15]

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. [2013-11-15]

419. Suojakuoren tiivyyden menetyksen arvioinnissa käytettävien rajojen on perustuttava kokeelliseen 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 polttoainevauriolle. [2013-11-15]

420. Ydinpolttoaineen katsotaan vaurioituneen, mikäli polttoainesauvan säteittäinen keskimääräinen entalpia jollakin pystykohdalla ylittää arvon 586 J/gUO_2 . Vauriokriteeriä on mahdollista muuttaa, mikäli kyseiselle polttoainetyypille tehdyillä, riittävän kattavilla kokeilla osoitetaan polttoaineen suurella todennäköisyydellä kestävänsä vastaavan entalpian vaurioitumatta. [2013-11-15]

4.5.3 Luokan 2 oletetut onnettomuudet ja oletettujen onnettomuuksien laajennukset

421. Ydinpolttoaineen jäähdytettävyyden ei saa vaarantua esimerkiksi polttoainesauvojen suojakuoren pullistumisen tai rikkoutumisen, polttoaine-elementin tai reaktorin sisäosien muodonmuutosten tai onnettomuuden seurauksena reaktoriin mahdollisesti joutuneiden epäpuhtauksien vuoksi. [2013-11-15]

422. Suojakuoren liiallinen haurastuminen on estettävä. 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 aiheutuvat polttoainepun onnettomuuden jälkeisestä käsittelystä, poiskuljettamisesta 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 1200 °C.

[2019-03-15]

423. Suojakuoren lämpötilannousu on rajoitettava tasolle, jossa suojakuoren hapettuminen metalli-vesireaktion seurauksena ei kiihdy hallitsemattomasti. [2013-11-15]

424. Polttoainesauvan mureneminen ja sulaminen on estettävä. Ydinpolttoaineen säteittäisen entalpian keskimääräinen arvo ei saa ylittää minkään polttoainesauvan millään pystykohtalla arvoa 963 J/gUO₂. Suojakuoren sulamisen estämisessä on otettava huomioon polttoainepun eri rakenneosien välisten vuorovaikutusten mahdollinen alentava vaikutus suojakuoren sulamislämpötilaan (esim. materiaalien eutektisten ominaisuuksien kautta). [2019-03-15]

425. Jäähdytteen ja suojakuoren välisen kemiallisen vuorovaikutuksen vuoksi syntyvän vedyn määrä ei saa ylittää 1 %:a siitä määrästä, joka syntyisi, jos polttoainetabletteja ympäröivä suojakuoren osa koko reaktorisydämessä reagoisi jäähdytteen kanssa. [2013-11-15]

426. Säätosauvoissa ei saa tapahtua sulamista. Rakenteelliset muodonmuutokset polttoainesauvoissa, polttoainepuissa, säätosauvoissa tai reaktorin sisäosissa eivät saa estää säätosauvojen liikuttamista reaktorissa. [2013-11-15]

5 Kriittisysonnettomuuden ehkäisemistä koskevat vaatimukset

501. Tässä luvussa esitetään yleiset vaatimukset kriittisysonnettomuuden 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. [2019-03-15]

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 soveltuvuus selvitystä. Uutta polttoainetyyppiä luvitettaessa on osoitettava, että ydinpolttoaine täyttää kriittisyysturvallisuusvaatimukset kaikissa sen suunnitellun käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen vaiheissa. [2013-11-15]

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 kriittisyysturvallisuusanalyseissa. [2013-11-15]

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 kriittisyysturvallisuusanalyseissa on onnettomuustilanteena tarkasteltava myös sellaisia tilanteita, joissa varastoon pääsee vettä tai muuta mahdollista hidastinainetta. [2019-03-15]

505. Kriittisyysturvallisuusanalyseissa 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 analyyseissa. [2013-11-15]

506. Kriittisyysturvallisuusanalyseissa 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 kriittisyysturvallisuusanalyysissä (palamahyvitys). Kaikissa muissa varastoissa on oletettava sellainen palama, että ydinpolttoaine on mahdollisimman reaktiivista. [2013-11-15]

507. Kriittisyysturvallisuusanalyysissä koko tarkasteltavan telineen tai muun rakenteen on oletettava olevan niin täynnä ydinpolttoainetta kuin siihen on teknisesti mahdollista sijoittaa. [2013-11-15]

508. Kriittisyysturvallisuusanalyysissä 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 analyysissä käytetyn suuruinen. Epästabiliin nuklidien osalta voidaan huomioida tytärnuklidien vaikutus reaktiivisuuteen siten, että epästabiliista ytimestä alkavan hajoamisketjun sisältämien nuklidien yhteisvaikutus reaktiivisuuteen muodostuu konservatiiviseksi. Ydinpolttoaineen isotooppikoostumusta määriteltäessä on otettava huomioon palamalaskentajärjestelmään sisältyvät epävarmuudet. [2013-11-15]

5.2 Vaatimukset reaktorissa olevan ydinpolttoaineen kriittisyysturvallisuudelle

509. Ydinreaktorissa olevan ydinpolttoaineen tahaton kriittisyys on estettävä ensisijaisesti teknisin keinoin. Jos teknistä estettä ydinpolttoaineen kriittiseksi tulon ei ole, reaktori on varustettava neutronivuon mittauksella, jonka on pystyttävä havaitsemaan lähestyvä kriittisyys ja hälyttämään siitä niin, että kriittisyysongelma voidaan estää. Polttoaineriippujen suunnitelmanmukaisen sijoittelun varmistaminen ei yksinään ole riittävä tekninen este tahattomalle kriittisyydelle. [2013-11-15]

510. Kun tehdään sydänmuutoksia (polttoaineriippujen tai säätösauvojen siirrot), on reaktorin neutronivuota ja jäähdytteen mahdollista booripitoisuutta valvottava. [2013-11-15]

6 Säteilyturvakeskuksen valvontamenettelyt

601. STUK tarkastaa ydinpolttoaineen soveltuvuus selvityksen. [2013-11-15]

602. STUK valvoo ydinvoimalaitosten järjestelmien suunnittelua tarkastamalla järjestelmien ennakkotarkastusaineistot ja valvomalla niiden rakentamista ja käyttöä. [2013-11-15]

603. STUK valvoo ydinpolttoaineen eheyteen ja kriittisyysturvallisuuteen vaikuttavia asioita käytön tarkastusohjelman mukaisilla tarkastuksilla. [2013-11-15]

7 Viitteet

1. Ydinenergialaki (990/1987). [2013-11-15]
2. Ydinenergia-asetus (161/1988). [2013-11-15]
3. Säteilyturvakeskuksen määräys ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (STUK Y/1/2018). [2019-03-15]
4. Säteilyturvakeskuksen määräys ydinenergian käytön turvajärjestelyistä (STUK Y/3/2016). [2019-03-15]
5. Säteilyturvakeskuksen määräys ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyistä (STUK Y/2/2018). [2019-03-15]
6. Säteilyturvakeskuksen määräys ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta (STUK Y/4/2018). [2019-03-15]
7. Design of the Reactor Core for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards, Safety Guide NS-G-1.12, Vienna 2005. [2019-03-15]
8. Design of Fuel Handling and Storage Systems in Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards, Safety Guide NS-G-1.4, IAEA Vienna 2003. [2019-03-15]
9. Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards, Specific Safety Guide SSG-2, IAEA Vienna 2010. [2019-03-15]

Määritelmät

Alikriittinen tila (subcritical state)

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

Hallittu tila (controlled state)

Hallitulla tilalla tarkoitetaan tilaa, jossa reaktori on sammutettu ja sen jälkilämmön poisto on turvattu. (STUK Y/1/2018)

Kriittisyys (criticality)

Kriittisyydellä tarkoitetaan tilaa, jossa fissiossa syntyvien, ketjureaktiota ylläpitävien neutronien tuotto ja hävikki ovat tasapainossa niin, että ketjureaktio jatkuu tasaisena. (STUK Y/1/2018)

Kriittisyysonnettomuus (criticality accident)

Kriittisyysonnettomuudella tarkoitetaan onnettomuutta, jonka aiheuttaa hallitsematon fissioiden ketjureaktio. (STUK Y/1/2018)

Oletettu onnettomuus (postulated accident)

Oletetulla onnettomuudella tarkoitetaan sellaista poikkeamaa normaaleista käyttötilanteista, jonka voidaan olettaa esiintyvän harvemmin kuin kerran sadassa käyttövuodessa, pois lukien oletetun onnettomuuden laajennukset, ja josta ydinlaitoksen 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, joiden voidaan olettaa esiintyvän harvemmin kuin kerran sadassa käyttövuodessa, mutta vähintään kerran tuhannessa käyttövuodessa; b) luokan 2 oletetut onnettomuudet, joiden voidaan olettaa esiintyvän harvemmin kuin kerran tuhannessa käyttövuodessa. (YEA 161/1988)

Oletetun onnettomuuden laajennus (design extension condition)

Oletetun onnettomuuden laajennuksella tarkoitetaan:

- a) onnettomuutta, jossa odotettavissa olevaan käyttöhäiriöön tai luokan 1 oletettuun onnettomuuteen liittyy turvallisuustoiminnon toteuttamiseen tarvittavassa järjestelmässä esiintyvä yhteisvika;
- b) onnettomuutta, jonka aiheuttaa todennäköisyysperusteisen riskianalyysin perusteella merkittäväksi tunnistettu vikayhdistelmä; tai

c) onnettomuutta, jonka aiheuttaa harvinainen ulkoinen tapahtuma, ja josta laitoksen edellytetään selviytyvän ilman vakavia polttoainevaurioita.

(YEA 161/1988)

Polttoainevaurio (fuel failure)

Polttoainevauriolla tarkoitetaan tilannetta, jossa polttoainesauva menettää tiivytensä.

Sammutettu reaktori (shut down reactor)

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

Suunnitteluperustetilanne (design basis scenario)

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

Toimituserään kohdistetut tuotteet (products specific to a delivery batch)

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 (safe state)

Turvallisella tilalla tarkoitetaan tilaa, jossa reaktori on sammutettu ja paineeton, ja sen jälkilämmön poisto on turvattu. (STUK Y/1/2018)

Ydinpolttoaineen jäähdytettävyyden menetys (loss of coolability of the nuclear fuel)

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

Yhteisvika (common cause failure)

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