

15.2.1983

## POLTTOAINEEN SUUNNITTELURAJAT JA YLEISET SUUNNITTELUVAATIMUKSET

1. Yleistä
2. Vaurioitumisen estämistä koskevat suunnittelurajat
3. Jäähdytettävyyttä koskevat suunnittelurajat
4. Yleiset suunnitteluvaatimukset
5. Kirjallisuutta

1

## YLEISTÄ

Polttoaineen turvallisuutta koskevat yleiset vaatimukset esitetään ohjeessa YVL 1.0 "Ydinvoimalaitosten suunnittelussa noudatettavat turvallisuusperiaatteet". Polttoaineen vaurioitumisen estämisen ja polttoaineen jäähdytettävyyden säilyttämisen huomioon ottamiseksi on kyseisen ohjeen mukaisesti määriteltävä polttoaineelle riittävät turvallisuusmarginaalit sisältävät suunnittelurajat. Näissä rajoissa on otettava huomioon myös säätösauvojen käyttäytyminen ja rajojen on perustuttava soveltuvien osien kyseistä polttoainetta ja säätösauvatyyppiä koskeviin kokeellisiin tuloksiin.

Polttoainevaurio merkitsee sitä, että fissiokaasuja vapautuu polttoainesauvoista jäähdytteeseen (polttoainevuoto) tai suunnittelussa lähtökohtana olevat muodonmuutokset

ylitetään. Polttoaineen jäädytettävyyden menettäminen merkitsee sellaisia polttoaineessa tapahtuvia vaurioita, joiden seurauksena polttoaine menettää jäädytettävän muotonsa.

Polttoaineen suunnittelurajat ovat sekä polttoaineen että reaktorin ja siihen liittyvien järjestelmien suunnittelun perustana. Jotkin näistä rajoista voivat liittyä kaikkien edellä mainittujen kohteiden ja jotkin vain yhden kohteen suunnitteluun. Ohjeessa YVL 1.0 esitetään, kuinka nämä rajat otetaan huomioon ydinvoimalaitoksen suunnittelussa.

Polttoaineen suunnittelurajat esitetään soveltuvin osin laitoksen turvallisuusselosteessa, polttoaineen ennakkotarkastusaineistossa sekä aihekohtaisissa raporteissa.

Tähän ohjeeseen sisältyy polttoaineen suunnittelurajoja koskevien vaatimusten lisäksi polttoaineen yleisiä suunnitteluvaatimuksia. Ohjeessa YVL 6.3 "Polttoaineen suunnittelun ja valmistuksen valvonta" selvitetään, kuinka nämä suunnittelurajat ja vaatimukset otetaan huomioon polttoaineen suunnittelussa ja polttoainetta koskevissa analyyseissä.

2

## VAURIOITUMISEN ESTÄMISTÄ KOSKEVAT SUUNNITTELURAJAT

Vaurioitumisen estämistä koskevien rajojen määrittelyssä on otettava huomioon mm. seuraavat vaatimukset normaaleissa käyttöolosuhteissa ja odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä:

- Polttoainetablettien ja suojakuoren lämpötila  
Polttoainetableteissa ei saa tapahtua sulamista eikä suojakuoren lämpötila saa olennaisesti ylittää jäädytteen lämpötilaa. Riittävä suojakuoren

jäähdytys saavutetaan, jos on 95 % varmuudella 95 % todennäköisyys siitä, että kuumin polttoainesauva ei joudu lämmönsiirtokriisin tai siirtymäkierohunnon alueelle.

- Polttoaineen suojakuoren lommahtaminen

Polttoaineen suojakuori ei saa lommahtaa polttoainesauvaan oletettaviin aksiaalisiin aukkoihin suunnitellun käyttöiän aikana.

- Fissiokaasujen vapautuminen polttoainetableteista

Fissiokaasujen vapautumisen ja polttoainesauvan esipaineistuksen aiheuttama sisäinen paine polttoainesauvoissa ei saa ylittää jäähdytteen painetta, ellei erikseen osoiteta, että polttoainesauvan sisäinen ylipaine ei aiheuta polttoaineen käyttäytymiselle haitallisia vaikutuksia.

- Vuorovaikutukset polttoainetablettien ja suojakuoren välillä

Vuorovaikutusten aiheuttamien vaurioiden välttämiseksi on määriteltävä kyseiselle polttoaineelle soveltuvat käyttöä koskevat rajoitukset, jotka ottavat huomioon suojakuoren jännityskorroosion.

- Muodonmuutokset

Polttoaineen ja säätösauvojen osien muodonmuutoksille, mm. polttoainesauvojen, -nippujen, -koteloiden ja säätösauvojen taipumalle, kiertymälle ja pituuskasvulle on määriteltävä ylärajat.

- Materiaalien jännitykset, venymät ja väsyminen

Polttoaineen ja säätösauvojen eri osiin kohdistuville jännityksille ja venymille on määriteltävä ylärajat.

Materiaalien väsymisvaurioiden välttämiseksi on määriteltävä rajat kuormitusvaihteluille.

- Korroosio ja hydridoituminen  
Polttoaineen ja säätösauvojen eri osien hapettumisen sekä suojakuoren hydridoitumisen ja ulkopinnalle kertyvän korroosiotuotekerroksen (crud) paksuuden on pysyttävä ennalta asetettujen rajojen alapuolella. Tämän varmistamiseksi jäähdytteen kemiallisille ja fysikaalisille ominaisuuksille on asetettava rajat. Polttoainesauvojen sisäpuolisesta hydridoitumisesta johtuvat vauriot on estettävä rajoittamalla polttoainesauvojen sisäpuolista kosteuspitoisuutta.
- Polttoainetablettien tihentyminen ja paisuminen  
Polttoainetablettien tihentymiselle ja paisumiselle on määriteltävä ylärajat.
- Polttoainesauvan sisäinen jousi  
Polttoainesauvan sisäisen jousen jousivoimalle on määriteltävä alarajat polttoainetablettien siirtymisen estämiseksi tuoreen polttoaineen kuljetuksen ja käsittelyn aikana.
- Polttoaineen ja säätösauvojen käsittely  
Käsittelytoimenpiteille on asetettava rajat siten, että käsittelystä ja kuljetuksesta aiheutuvat rasitukset eivät vaikuta polttoaineen ja säätösauvojen käytönaikaiseen käyttäytymiseen.

3

### JÄÄHDYTETTÄVYYTTÄ KOSKEVAT SUUNNITTELURAJAT

Jäähdytettävyyttä koskevien rajojen määrittelyssä on otet-

tava huomioon mm. seuraavat vaatimukset oletetuissa onnettomuustilanteissa.

- Polttoaineen suojakuoren haurastuminen  
Suojakuoren liiallinen haurastuminen on estettävä. Tämän varmistamiseksi on osoitettava STL:n hyväksymillä laskentamenetelmillä, että
  - suojakuoren korkein onnettomuustilanteissa saavutettava lämpötila ei ylitä 1200°C ja
  - suojakuoren hapettumismäärä ei missään ylitä 17 % suojakuoren paksuudesta (mahdollisen pullistumisen jälkeen, mutta ennen merkittävää hapettumista)

Hapettumismäärällä tarkoitetaan sitä osuutta suojakuoren kokonaispaksuudesta, joka muuttuisi oksidiksi, jos suojakuoreen paikallisesti absorboitunut ja sen kanssa reagoanut happi kokonaisuudessaan muutettaisiin stökiometriseksi  $ZrO_2$ :ksi. Suojakuoren sekä ulkopuolinen että mahdollinen sisäpuolinen hapettuminen on otettava huomioon laskettaessa kokonaishapettumista.

- Rakenteelliset muodonmuutokset  
Polttoaineen virtauskanavat eivät saa tukkeutua niin, että polttoaineen jäähtytettävyyden vaarantuu polttoainesauvojen suojakuoren pullistumisen ja rikkoutumisen sekä polttoaineen muiden osien ja reaktorin sisäosien muodonmuutosten johdosta.
- Säätösauvojen sulaminen ja liikutettavuus  
Säätösauvoissa ei saa tapahtua sulamista. Rakenteelliset muodonmuutokset polttoaineessa, sää-

tösauvoissa ja reaktorin sisäosissa eivät saa estää säätösauvojen liikuttamista reaktorissa.

- Polttoaineen eri osien ja jäähdytteen vuorovaikutukset

Polttoaineen eri osien väliset vuorovaikutukset eivät saa johtaa sulamiseen.

Jäähdytteen ja suojakuoren välisen kemiallisen vuorovaikutuksen johdosta syntyvän vedyn määrä ei saa ylittää 1 % siitä määrästä, mikä syntyi, jos koko polttoainetabletteja ympäröivä suojakuoren osa reagoisi jäähdytteen kanssa.

- Polttoainesauvan hajoaminen

Polttoainesauvan mureneminen ja sulaminen on estettävä. Energialisäys oletetuissa onnettomuustilanteissa ei saa aiheuttaa minkään polttoainesauvan millään kohdalla säteettäisen keskimääräisen entalpian arvon  $963 \text{ J/g UO}_2$  ( $230 \text{ cal/g}$ ) ylittämistä. Polttoaineen vaurioituminen oletetaan tapahtuvaksi radioaktiivisten aineiden vapautumista koskevissa laskuissa säteettäisen keskimääräisen entalpian arvolla  $586 \text{ J/g UO}_2$  ( $140 \text{ cal/g}$ )\*

4

#### YLEISET SUUNNITTELUVAATIMUKSET

Polttoaine ja säätösauvat on suunniteltava siten, että edellä kohdissa 2 ja 3 esitetyt vaatimukset otetaan huomioon.

Vaurioitumisen estämiseksi ja jäädytettävyyden säilyttämiseksi on polttoaineen ja säätösauvojen suunnittelussa lisäksi otettava huomioon mm. seuraavat vaatimukset:

- Hydrauliset kuormitukset, yhteensopivuus reaktoriin  
Polttoaine ja sen sijoittaminen reaktoriin on suunniteltava siten, että polttoainekotelot ja -niput sekä niiden osat pysyvät paikoillaan käyttöolosuhteissa ja oletetuissa onnettomuustilanteissa ja ovat yhteensopivia reaktorin muiden rakenteiden kanssa.
  
- Polttoaineen rakenne  
Polttoaineen rakenne on suunniteltava siten, että se kestää vaurioitumatta käytönaikaisia rasituksia ja että välihilat estävät polttoainesauvojen liian suuren taipumisen ja kulumisen sekä värähtelyvauriot.
  
- Säätösauvojen liikutettavuus  
Säätösauvojen vapaa liikkuminen reaktorissa on varmistettava.
  
- Säätösauvojen mekaaninen kestävyys ja kuluminen sekä reaktorifysikaaliset ominaisuudet  
Säätösauvojen tulee kestää kulumista sekä muita käytön aikana aiheutuvia rasituksia ja niiden neutroniabsorptiokyvyn on säilyttävä käytön aikana.
  
- Käsittely  
Polttoaineen ja säätösauvojen suunnittelussa on otettava huomioon niille käsittelystä ja kuljettuksesta aiheutuvat rasitukset.

5

## KIRJALLISUUTTA

- 1) Ohje YVL 1.0 "Ydinvoimalaitoksen suunnittelussa noudatettavat turvallisuusperiaatteet"
- 2) Ohje YVL 1.1 "Säteilyturvallisuuslaitos ydinvoimalaitosten valvontaviranomaisena"
- 3) Ohje YVL 6.1 "Ydinpolttoaineen ja muiden ydinmateriaalien valvonta"
- 4) Ohje YVL 6.3 "Polttoaineen suunnittelun ja valmistuksen valvonta"