

## Ydinpolttoaineen suunnittelurajat ja yleiset suunnitteluvaatimukset

1	Yleistä	3
2	Yleiset suunnitteluvaatimukset	3
3	Normaaleita käyttötilanteita koskevat suunnitteluvaatimukset	4
4	Käyttöhäiriöitä koskevat suunnitteluvaatimukset	4
5	Oletettuja onnettomuuksia koskevat suunnitteluvaatimukset	5

Tämä ohje on voimassa 1.5.2000 alkaen toistaiseksi. Ohje kumoaa 15.2.1983 annetun ohjeen YVL 6.2.

Toinen, uudistettu painos  
Helsinki 1999  
Oy Edita Ab  
ISBN 951-712-347-7  
ISSN 0783-2419

# Valtuutusperusteet

Säteilyturvakeskus antaa ydinenergian käytön turvallisuutta, turva- ja valmiusjärjestelyjä sekä ydinmateriaalien valvontaa koskevat yksityiskohtaiset määräykset seuraavien lakien ja määräysten nojalla:

- ydinenergialain (990/1987) 55 §:n 2 momentin 3 kohta
- ydinvoimalaitosten turvallisuutta koskevan valtioneuvoston päätöksen (395/1991) 29 §
- ydinvoimalaitosten turvajärjestelyjä koskevan valtioneuvoston päätöksen (396/1991) 13 §
- ydinvoimalaitosten valmiusjärjestelyjä koskevan valtioneuvoston päätöksen (397/1991) 11 §
- ydinvoimalaitosten voimalaitosjätteiden loppusijoituksen turvallisuutta koskevan valtioneuvoston päätöksen (398/1991) 8 §
- käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuutta koskevan valtioneuvoston päätöksen (478/1999) 30 §.

## 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 valtioneuvoston päätöksen (395/1991) 27 §:ssä säädetyn periaatteen. Sen mukaan *turvallisuuden edelleen parantamiseksi on toteutettava sellaiset toimenpiteet, joita käyttökokemukset ja turvallisuustutkimukset sekä tieteen ja tekniikan kehitys huomioon ottaen voidaan pitää perusteltuina.*

Jos halutaan poiketa YVL-ohjeessa esitetyistä vaatimuksista, on Säteilyturvakeskukselle esitettävä muu hyväksyttävä menettelytapa tai ratkaisu, jolla saavutetaan YVL-ohjeessa esitetty turvallisuustaso.

# 1 Yleistä

Ydinvoimalaitosten turvallisuutta koskevat yleiset vaatimukset esitetään valtioneuvoston päätöksessä (395/1991). Vaatimukset, joilla pyritään varmistamaan ydinpolttoaineen eheys, esitetään päätöksen 15 §:ssä. Tämän pykälän 1 ja 2 momenttien mukaan

*Polttoaineen jäähtyksen olennaisen heikkene-  
misen tai muusta syystä aiheutuvan polttoaine-  
vaurion todennäköisyyden on oltava pieni nor-  
maaleissa käyttötilanteissa ja odotettavissa ole-  
vissa käyttöhäiriöissä.*

*Oletetuissa onnettomuuksissa polttoainevaurioi-  
den määrän on pysyttävä pienenä eikä polttoai-  
neen jäähtytettävyyden saa vaarantua.*

Polttoainevauriolla tarkoitetaan sitä, että polttoainesauva menettää tiiviytensä, jolloin fisiotuotteita vapautuu polttoainesauvoista jäähtytteeseen, tai että suunnittelussa lähtökohtana olevat sallitut muodonmuutokset ylittävät. Polttoaineen jäähtytettävyyden menettäminen merkitsee sellaisia polttoaineessa tapahtuvia vaurioita, joiden seurauksena polttoaine menettää jäähtytettävissä olevan muotonsa.

Polttoaineen vaurioitumisen estämiseksi ja polttoaineen jäähtytettävyyden varmistamiseksi polttoaineelle määritellään suunnittelurajat, joihin sisältyy riittävät turvallisuusmarginaalit. Näissä rajoissa otetaan huomioon myös se, että säätösauvojen normaali toiminta ei saa estyä polttoaineen vaurioitumisen vuoksi. Rajat perustuvat kyseistä polttoainetta ja säätösauvatyyppiä koskeviin kokeellisiin tuloksiin.

Polttoaineen suunnittelurajat ovat sekä polttoaineen että reaktorin ja siihen liittyvien järjestelmien suunnittelun perustana. Jotkut näistä rajoista voivat liittyä kaikkien edellä mainittujen kohteiden ja jotkut vain yhden kohteen suunnitteluun. Ohjeessa YVL 1.0 esitetään, kuinka nämä rajat otetaan huomioon ydinvoimalaitoksen suunnittelussa. Ohjeessa YVL 6.3 selvitetään, kuinka nämä suunnittelurajat ja vaatimukset otetaan huomioon polttoaineen suunnittelussa ja polttoainetta koskevissa analyyseissä.

Polttoaineen suunnittelurajat esitetään soveltuvin osin laitousyksikön turvallisuusselosteessa, aihekohtaisissa raporteissa ja polttoaineen ennakkotarkastusaineistossa.

## 2 Yleiset suunnitteluvaatimukset

Polttoaineen ja säätösauvojen vaurioitumisen estämiseksi ja jäähtytettävyyden säilyttämiseksi on niiden suunnittelussa otettava huomioon seuraavat vaatimukset:

Ohjeen YVL 1.0 mukaan *polttoaine ja reaktorin sisäosat tulee suunnitella rakenteeltaan siten yhteensopiviksi, että reaktoria koottaessa kukin osa asettuu luotettavasti oikeaan paikkaan ja asentoon. Polttoaineen ja reaktorin sisäosien oikea sijoittuminen on voitava tarkastaa lataustöiden jälkeen.*

Polttoaineen rakenne on suunniteltava siten, että se kestää vaurioitumatta käytönaikaiset rasitukset. Polttoaine on suunniteltava niin, että polttoainekotelot ja -niput sekä niiden osat pysyvät paikoillaan sekä käyttötilanteissa että oletetuissa onnettomuuksissa. Niiden on tällöin myös kestettävä tilanteen aiheuttamat kuormitukset reaktorin pysäytyksen ja jäähtyksen vaarantumatta.

Säteilytyksen aiheuttamat muutokset polttoaineen ominaisuuksiin tulee ottaa huomioon määritettäessä polttoaineen turvallisen käytön rajoja. Tässä ohjeessa esitettyjä vaatimuksia voidaan soveltaa polttoaineelle, jonka nippupalama ei ylitä arvoa 40 MWd/kgU. Tätä korkeammilla palamalla polttoaineen hyväksyttävät rajat tulee perustella erikseen kokeellisesti.

Säätösauvojen tulee kestää käytön aikainen kuluminen sekä muut rasitukset siten, että niiden normaali toiminta ei vaarannu. Säätösauvojen neutroni-absorptiokyky on säilyttävä käytön aikana riittävänä.

Polttoaineen ja säätösauvojen suunnittelussa on otettava huomioon niille käsittelystä ja kuluksesta aiheutuvat rasitukset.

### 3 Normaaleita käyttötilanteita koskevat suunnitteluvaatimukset

Polttoaineen ja säätösauvojen vaurioitumisen estämiseksi sekä polttoaineen jäähdytettävyyden varmistamiseksi on normaaleissa käyttötilanteissa otettava huomioon seuraavat vaatimukset:

Polttoainetableteissa ei saa tapahtua sulamista, eikä suojakuoren lämpötila saa olennaisesti ylittää jäähdytteen lämpötilaa.

Polttoainesauvan suojakuori ei saa lommahtaa polttoainepipun suunnitellun käyttöajan aikana.

Fissiokaasujen vapautumisen polttoainesauvan sisään tulee pysyä vähäisenä. Fissiokaasujen vapautumisesta ja polttoainesauvan esipaineituksesta johtuvan sauvan sisäisen paineen tulee pysyä niin pienenä, että polttoainesauvan sisäinen paine ei ylitä jäähdytteen normaalia käyttöpainetta.

Polttoaineen ja säätösauvojen osien muodonmuutokset, kuten polttoainesauvojen, -nippujen, -koteloiden ja säätösauvojen taipumat, kiertymät ja pituuskasvu, on rajoitettava siten, että ne

- eivät aiheuta muodonmuutosten vuoksi merkittävää tehonnousua polttoainesauvoissa ja siitä mahdollisesti syntyvää polttoainevuoriot
- eivät haittaa polttoaineen jäähdytettävyyttä
- eivät haittaa reaktorin pikasulun onnistumista säätösauvojen avulla
- eivät haittaa polttoainesauvojen käsittelytoimenpiteitä.

Polttoainetabletin ja suojakuoren välisen mekaanisen vuorovaikutuksen aiheuttamat vauriot on estettävä. Tämän vuoksi on käytettävillä polttoainetyypeille määriteltävä käytön aikaiset tehonmuutoksia ja -muutosnopeuksia koskevat rajat. Niissä on otettava huomioon mm. suojakuoren jännityskorroosio.

Polttoaineen ja säätösauvojen vaurioituminen on estettävä niiden käytön, käsittelyn ja kuljetuksen aikana. Tämän varmistamiseksi on ainakin seuraavat ilmiöt ja asiat otettava huomioon:

- polttoaineen eri osiin kohdistuvat jännitykset ja venymät
- käytönaikaisista kuormitusvaihteluista johtuvat väsymisilmiöt
- eri osien hapettuminen sekä sauvojen suoja-kuoren hydridoituminen
- jäähdytteen 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 raskaudet, jotka voivat vaikuttaa polttoaineen ja säätösauvojen käytönaikaiseen käyttäytymiseen.

Näiden ilmiöiden aiheuttamille kuormituksille sekä polttoaineessa käytettyjen materiaalien ominaisuuksien muutoksille on asetettava soveltuvin osin turvallisuuden edellyttämät rajat.

Polttoaine on suunniteltava siten, että se normaalin reaktorissa käytön jälkeen kestää pitkäaikaisen varastoinnin ja loppusijoittamiseen liittyvät käsittelyvaiheet.

### 4 Käyttöhäiriöitä koskevat suunnitteluvaatimukset

Odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä, joissa alkutapahtumataajuus on suurempi kuin  $10^{-2}$ /vuosi, on polttoaineen vaurioitumisen estämiseksi ja jäähdytettävyyden varmistamiseksi otettava huomioon seuraavat vaatimukset:

- Polttoainetableteissa ei saa tapahtua sulamista.
- Suojakuoren riittävä jäähdytys tulee varmistaa. Riittävä suojakuoren jäähdytys saavute-

taan, jos on 95 %:n varmuudella 95 %:n todennäköisyys siitä, että kuumin polttoainesauva ei joudu lämmönsiirtokriisiin tai siirtymäkiehunnan alueelle. Lämmönsiirtokriisiin joutuvien sauvojen lukumäärä ei saa ylittää 0,1 % reaktorissa olevien polttoainesauvojen kokonaismäärästä.

- Polttoaineen ja suojakuoren välisen mekaanisen vuorovaikutuksen aiheuttamien polttoainevaurioiden todennäköisyyden tulee olla erittäin pieni.

## 5 Oletettuja onnettomuuksia koskevat suunnitteluvaatimukset

Oletetut onnettomuudet on tässä ohjeessa jaettu niiden todennäköisyyden perusteella kahteen luokkaan. Luokassa 1 oletettujen onnettomuuksien alkutapahtumataajuus on  $10^{-2}$ – $10^{-3}$  /vuosi. Tätä epätodennäköisemmät tapahtumat luokitellaan luokan 2 oletetuiksi onnettomuuksiksi.

### Luokan 1 oletetut onnettomuudet

Luokan 1 oletetuissa onnettomuuksissa on lämmönsiirtokriisiin joutuvien polttoainesauvojen määrän pysyttävä pienenä. Onnettomuuden seuraukset eivät myöskään saa aiheuttaa merkittäviä muutoksia polttoaineen alkuperäiseen rakenteeseen. Tämän varmistamiseksi on otettava huomioon seuraavat vaatimukset:

- Lämmönsiirtokriisiin joutuvien polttoainesauvojen lukumäärä ei saa ylittää 1 % reaktorissa olevien polttoainesauvojen kokonaismäärästä.
- Polttoaineen suojakuoren maksimilämpötila ei saa ylittää 650 °C:ta.
- On osoitettava, että polttoaineen ja suojakuoren välisen mekaanisen vuorovaikutuksen aiheuttamien polttoainevaurioiden todennäköisyys on erittäin pieni.

### Luokan 2 oletetut onnettomuudet

Luokan 2 oletetuissa onnettomuuksissa vaurioituvien polttoainesauvojen lukumäärän tulee olla sitä pienempi, mitä suurempi on oletetun onnettomuuden alkutapahtumataajuus. Vaurioituvien polttoainesauvojen lukumäärä ei saa ylittää 10 % reaktorissa olevien polttoainesauvojen kokonaismäärästä. Oletetun onnettomuuden seuraukset eivät myöskään saa vaarantaa polttoaineen jäähdytettävyyttä.

Määriteltäessä suojakuoren lämpötilan nousun vuoksi rikkoutuvien sauvojen kokonaismäärää tulee ottaa huomioon suojakuoren lämpötilan muutokset, kemialliset reaktiot, muodonmuutokset, suojakuoren pullistuminen ja lommahtaminen sekä polttoaineen entalpiian kasvun seurauksista johtuva suojakuoren vaurioituminen.

Suojakuorimateriaalille tulee olla kokeellisesti määritellyt puhkeamis- ja lommahtamisrajat. Määriteltäessä näitä rajoja tulee soveltuvin osin ottaa huomioon ainakin seuraavat seikat:

- fissiokaasujen vapautumisesta johtuva polttoainesauvan sisäinen kaasunpaine
- suojakuoren kaasurakoon kertyvät suojakuoren korroosion kannalta aggressiiviset fissiotuotteet, esimerkiksi jodi
- suojakuorimateriaalin seinämävahvuuden kehäsuuntaiset paksuusvaihtelut; tästä voidaan käyttää valmistusspesifikaatiossa määriteltäviä maksimitoleransseja
- suojakuoreen polttoaineen ja suojakuoren mekaanisen vuorovaikutuksen vuoksi tai polttoaineen valmistuksen aikana syntyneet säröt ja naarmut
- suojakuoren normaalikäytön aikainen hapettuminen ja hydridoituminen
- polttoaineen säteilytyksen aiheuttamat muutokset suojakuorimateriaaliin ja polttoainetabletin ominaisuuksiin.

Polttoaineen vaurioitumisen oletetaan tapahtuvan silloin, kun polttoaineen säteittäinen keskimääräinen entalpia ylittää arvon  $586 \text{ J/gUO}_2$  (140 cal/g).

Suojakuoren liiallinen haurastuminen on estettävä. Tämän varmistamiseksi on osoitettava, että

- suojakuori ei hapetu onnettomuuden aikana siinä määrin, että se ei kestä onnettomuuden aiheuttamia kuormituksia, kuten jäähdytteenmenetysonnettomuuden loppuvaiheessa uudelleenkastumisen aiheuttamaa äkillistä jäähtymistä. Arvioitaessa tarvittavan suojakuoren sitkeän osuuden kokonaispaksuutta on otettava huomioon onnettomuuden aikainen suojakuoren ulkopuolinen ja mahdollinen sisäpuolinen hapettuminen sekä edeltäneen normaalin käytön aikainen hapettuminen. Lisäksi on huomioitava suojakuoren lommahtamiseen liittyvät uraanidioksidin ja suojakuorimateriaalin väliset kemialliset vuorovaikutukset. Tässä arviossa tulee ottaa huomioon myös ne kuormitukset, jotka aiheutuvat polttoainepinon onnettomuuden jälkeisestä käsittelystä, poiskuljettamisesta ja varastoinnista.
- polttoaineen normaalin käytön ja onnettomuustilanteen aikana suojakuoreen absorboitunut vety ei heikennä liikaa suojakuoren ominaisuuksia. Suojakuoreen absorboituneen vedyn vaikutus suojakuoren kestävyysasteen tulee määrittellä kokeellisesti.
- suojakuoren lämpötilannousu on rajoitettu tasolle, jossa suojakuoren hapettuminen metalli-vesireaktion seurauksena on hallittavissa. Tämän vuoksi suojakuoren korkein onnettomuustilanteissa saavutettava lämpötila ei saa ylittää 1200 °C.

Polttoainesauvan mureneminen ja sulaminen on estettävä. Polttoaineen entalpia ei saa ylittää minkään polttoainesauvan millään kohdalla säteittäisen keskimääräisen entalpiarvoa 963 J/g UO<sub>2</sub> (230 cal/g).

Polttoainepinon eri rakenneosien väliset vuorovaikutukset eivät saa johtaa polttoaineen suojakuoren sulamiseen. Tällaisia vuorovaikutuksia ovat esimerkiksi eri materiaalia olevien rakenneosien väliset eutektiset reaktiot. Niissä polttoaineen suojakuori saattaa sulaa suojakuorimateriaalin sulamislämpötilaa alhaisemmissa lämpötiloissa.

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

Polttoaineen virtauskanavat eivät saa tukkeutua niin, että polttoaineen jäähdytettävyyttä vaurantuu sen vuoksi, että polttoainesauvojen suojakuori pullistuu, rikkoutuu tai polttoaineen muut osat tai reaktorin sisäosa muuttavat muotoaan tai onnettomuuden seurauksena reaktoriin on mahdollisesti joutunut epäpuhtautta.

Säätösauvoissa ei saa tapahtua sulamista. Rakenteelliset muodonmuutokset polttoaineissa, säätösauvoissa ja reaktorin sisäosissa eivät saa estää säätösauvojen liikuttamista reaktorissa.