

## Maanjäristysten huomioonottaminen ydinlaitoksissa

1	Johdanto	3
2	Laskentamaanjäristys	3
3	Laitteiden ja rakenteiden maanjäristysluokitus	3
4	Maanjäristyskestävyyden osoittaminen	3
4.1	Analyttinen osoittaminen	4
4.2	Kokeet	4
4.3	Kokemusperäinen arvio	4
4.4	Sallitut jännitykset	4
5	Käytön aikainen valvonta	4
6	Kirjallisuutta	5

## 1 Johdanto

Ydinlaitosten suunnittelulla pyritään ehkäisemään turvallisuutta vaarantavia tapahtumia ja lieventämään niiden seurauksia. Tavoitteena on, että onnettomuusriski eli onnettomuustilanteeseen johtavan tapahtuman todennäköisyyden ja tapahtuman aiheuttaman haitan tulo on riittävän pieni.

Voimakkaita maanjäristyksiä sattuu Suomessa hyvin harvoin, mutta pahimmillaan niiden seuraukset ydinlaitoksilla saattavat olla niin merkittäviä, että varautuminen maanjäristyksiin on tarpeen. Tämä ohje määrittelee yleisperiaatteet ydinlaitosten maanjäristyskestävyyden suunnittelulle ja osoittamiselle sekä käytönaikaisten maanjäristysten tarkkailulle.

Tämän ohjeen vaatimukset kohdistuvat ensisijaisesti uudisrakentamiseen. Ennen ohjeen julkaisemista rakennettuihin ydinlaitoksiin tai niiden käytönaikaiseen valvontaan tarvittavat muutokset käsitellään tapauskohtaisesti. Yksityiskohtaiset vaatimukset säteilyturvakeskus esittää kullekin ydinlaitokselle erikseen.

## 2 Laskentamaanjäritys

Ydinlaitoksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon laskentamaanjärityksen aiheuttamat kuormitukset. Laskentamaanjärityksellä tarkoitetaan vaikutuksiltaan suurinta maanjäristystä, jonka suurella varmuudella arvioidaan esiintyvän laitospaikalla enintään keskimäärin kerran kymmenen tuhannen vuoden aikana. Esiintymisarviossa otetaan lähtötietoina huomioon alueen seismisen historian lisäksi alueellinen ja paikallinen geologia sekä tektoniikka.

Laskentamaanjärityksen ydinlaitokseen kohdistamat dynaamiset vaikutukset ilmaistaan vastespektrin avulla. Spektri valitaan siten, että se vastaa suurinta laskentamaanjärityksen laitospaikalla aiheuttamaa peruskallion pinnan kiihtyvyyttä eli enimmäiskiihtyvyyttä. Dynaamiset vaikutukset muodostavat laitteiden ja rakenteiden suunnittelussa huomioonotettavat kuormitukset. Suunnittelussa voidaan kuormitusten määrittämiseen käyttää myös vastespektristä konstruoitua kiihtyvyyshistoriaa.

Mikäli vastespektrien luotettavaa määrittämistä varten ei ole käytettävissä riittävästi laitospaikkaa koskevia tietoja, muodostetaan tarvittavat spektrit noudattaen viitteessä /6/ esitettyä käytäntöä. Ellei mitään edellä esitettyä menettelyä voida soveltaa, enimmäiskiihtyvyyden resultantin tai sen vaakasuuntaisten kohtisuorien komponenttien arvona tulee kuormituksia määriteltäessä käyttää lukua

$1,0 \text{ m/s}^2$  sekä pystysuuntaisen komponentin arvona  $0,67 \text{ m/s}^2$ .

Laskentamaanjäritykselle valittu arvo perusteluineen on esitettävä alustavan turvallisuusselosteen yhteydessä.

## 3 Laitteiden ja rakenteiden maanjäristysluokitus

Ydinlaitosten laitteet ja rakenteet luokitellaan niille maanjäristystilanteita varten asetettavien kestävyysvaatimusten perusteella kolmeen luokkaan.

Maanjäristysluokkaan IA kuuluvat ne laitteet ja rakenteet, jotka

- ovat tarpeen ydinlaitoksen hallitussaalasajossa tai jälkilämmön poistamisessa,
- rajoittavat ydinpoltoaineessa olevien radioaktiivisten aineiden pääsyä ydinlaitoksen ulkopuolelle tai
- sisältävät merkittäviä määriä helposti vapautuvassa muodossa olevia radioaktiivisia aineita.

Näiden laitteiden ja rakenteiden, mahdollisine tukineen ja kannattimineen, tulee laskentamaanjärityksen aiheuttamassa kuormitustilanteessa pysyä ehjinä, tiiviinä, toimintakykyisinä ja oikealla paikallaan.

Ne laitteet, jotka muuten kuuluisivat maanjäristysluokkaan IA, mutta joiden ei tarvitse mainittujen turvallisuustehtävien täyttämiseksi säilyttää aktiivista toimintakykyään, kuuluvat maanjäristysluokkaan IP. Niitä koskevat toimintakyvyn säilyttämistä lukuunottamatta samat vaatimukset kuin maanjäristysluokan IA laitteita.

Kaikki muut laitteet ja rakenteet kuuluvat maanjäristysluokkaan N. Niiden maanjäristyskestävyydelle ei aseteta vaatimuksia, mutta niiden vaurioituminen ei saa vaarantaa maanjäristysluokkiin IA ja IP kuuluvia laitteita ja rakenteita.

Maanjäristysluokitus on esitettävä lupahakemukseen liittyvän, ohjeen YVL 2.1 /2/ mukaisen turvallisuusluokituksen yhteydessä.

## 4 Maanjäristyskestävyyden osoittaminen

Luvanhakijan tulee ennen ydinlaitoksen käyttöönottoa osoittaa, että ydinlaitoksen laitteet ja rakenteet kestävät laskentamaanjärityksen aiheuttamat kuormitukset maanjäristysluokkansa vaatimusten mukaisesti.

Maanjäristyskestävyys osoitetaan laitteen tai rakenteen lujuusselvitysten yhteydessä. Mikäli kyseessä on esimerkiksi sähkö- tai instrumentointilaitte, jolta ei edellytetä lujuusselvityksiä, toimitetaan maanjäristyskestävyydestä erillinen selvitys.

Ydinlaitoksen maanjäristyskestävyyttä osoitettaessa tulee ottaa huomioon laskentamaanjäristyksen aiheuttamien kiihtyvyyden komponenttien muutokset liikkeen välittyessä kallioperästä rakenteita pitkin tarkasteltavan laitteen tai rakenteen alustaan. Alustan enimmäiskiihtyvyyksien vaakasuuntainen komponentti valitaan kullekin kohteelle sen arimman suunnan mukaiseksi silloin kun tämä voidaan selvittää. Muussa tapauksessa valitaan komponentit kahteen toisiaan vastaan kohtisuoraan vaakasuuntaan (kohteen pääsuunnat).

Maanjäristyskestävyyden osoittamiseen voidaan käyttää staattisia tai dynaamisia analyysejä, kohteita tai kokemuseräisiä arvioita.

#### 4.1 Analyttinen osoittaminen

Laitteen tai rakenteen maanjäristyskestävyys voidaan osoittaa staattisin tai dynaamisin laskentamenetelmin. Staattisissa laskelmissa kuormituksenä käytetään massajakauman ja alustan suurimman kiihtyvyyden tuloa. Jos kuitenkin alustan vaaka- tai pystykiihtyvyys on yhtä suuri tai suurempi kuin  $1,0 \text{ m/s}^2$ , vaaditaan dynaaminen analyysi laitteelle tai rakenteelle, jonka alin ominaistajuus on alle 33 Hz tai alinta ominaistajuutta ei tunneta. Hyväksyttävä dynaaminen analyysimenetelmä on yhden vapausasteen värähtelijän dynamiikkaan perustuva vastespektrimenetelmä, jonka suhteellinen vaimennuskerroin valitaan konservatiivisesti esimerkiksi viitteestä /6/. Jos ominaisvärähtelytaajuutta ei tunneta, sen arvoksi valitaan suurimmat rasitukset aiheuttava värähtelytaajuus ja nämä rasitukset kerrotaan tekijällä 1,5 muiden ominaistajuuksien mahdollisten vaikutusten huomioonottamiseksi.

Viitteen /6/ mukaisella aikahistoriamenetelmällä on tarvittaessa analysoitava ne kohteet, joihin laskentamaanjäristys aiheuttaa välyksistä tms. tekijöistä johtuvia epälineaarisia värähtelyjä. Menetelmä soveltuu maanjäristyskestävyyden osoittamiseen myös kaikissa lineaarisissa värähtelytapauksissa.

Alustan enimmäiskiihtyvyydet johdetaan kallioperän enimmäiskiihtyvyyksistä joko aikahistoria- tai vastespektrimenetelmällä. Alustan enimmäiskiihtyvyyksien sijasta voidaan käyttää kallioperän enimmäiskiihtyvyyksiä kerrottuna luvulla 1,5 alustoille, jotka ovat enintään 10 metrin korkeudella rakennuksen perustuksesta.

Ominaistajuudet määritetään joko tunnetuilla rakenteiden dynamiikan laskentamenetelmillä tai mittausten avulla.

#### 4.2 Kokeet

Vaikeasti analysoitavien laitteiden ja rakenteiden maanjäristyskestävyys voidaan osoittaa tärypöytäkokein. Tällä tavalla tarkasteltavia laitteita ovat esimerkiksi aktiivisesti toimivat osat, kuten sähkölaitteet ja putkistojen toimilaitteet. Näille soveltuvia tärypöytäkohteita selvitetään viitteessä /9/.

#### 4.3 Kokemuseräinen arvio

Maanjäristyskestävyys voidaan arvioida vastaavalle laitteelle tai rakenteelle aikaisemmin tehdyn, kohdan 4.1 tai 4.2 mukaisen selvityksen perusteella. Myös vertailukelpoisia kokemuksia tapahtuneista maanjäristyksistä voidaan käyttää hyväksi.

Näin esimerkiksi putkistojen osalta analyttinen osoittaminen ei ole tarpeen, jos

- putkistoa voidaan verrata toiseen riittävän tarkasti analysoituun putkistoon
- putkisto on samanlainen ja samoissa käyttöolosuhteissa toimiva kuin jokin tyydyttävästi toiminut putkisto, jolle on todettu maanjäristyskestävyys joko kokeellisesti tai kokemuseräisesti.

#### 4.4 Sallitut jännitykset

Jännityksiä laskettaessa tulee laskentamaanjäristyksen aiheuttamat kuormitukset lisätä muihin samanaikaisesti vaikuttaviin kuormituksiin. Laskentamaanjäristyksen ja muiden onnettomuustilanteiden kuten jäähdytteenmenetyksen aiheuttamia kuormituksia ei tarvitse yleensä ottaa huomioon samanaikaisesti. Laskentamaanjäristys luokitellaan mekaanisten laitteiden kannalta viitteen /3/ mukaisesti onnettomuusolosuhteisiin ja sallitut jännitykset määräytyvät sen mukaisesti.

## 5 Käytön aikainen valvonta

Ydinlaitos on varustettava maanjäristyksen kiihtyvyydestä tallentavilla havaintolaitteilla.

Ydinvoimalaitoksen reaktorirakennuksessa tulee olla vähintään kaksi havaintolaitetta, joista toinen kiinnitetään pohjalaataan ja toinen turvallisuudelle tärkeiden laitteiden ja rakenteiden tason yläpuolelle. Lisäksi ydinvoimalaitoksen ympäristöön on sijoitettava havaintolaitteita analyyseissa oletetun rakenteiden ja kallioperän dynaamisen vuorovaikutuksen tarkistamiseksi. Laitteiden tu-

lee tallentaa pystysuunnan sekä kahden toisiinsa nähden kohtisuoran vaakasuunnan kiihtyvyyssi-

dot.  
Ydinvoimalaitoksen välittömässä läheisyydessä sijaisevat muut ydinlaitokset eivät tarvitse omia havaintolaitteita.

Merkittävän maanjäristyksen tapahduttua käytetään havaintolaitteiden tuloksia apuna arvioitaessa turvallisuudelle tärkeiden laitteiden ja rakenteiden tarkastusten tarpeellista laajuutta sekä edellytyksiä käytön jatkamiselle.

## 6 Kirjallisuutta

- |   |   |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1 YVL 1.0 Ydinvoimalaitosten suunnittelussa noudatettavat turvallisuusperiaatteet, 1.12.1982</li> <li>2 YLV 2.1 Ydinvoimalaitosten järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden turvallisuusluokitus, rev. 1,14.12.1982</li> <li>3 YVL 3.5 Ydinvoimalaitosten paineastiat. Jännitysanalyysi, luonnos, 5.5.1978</li> <li>4 IAEA Safety standards<br/>No. 50-C-S Safety in Nuclear Power Plant Siting<br/>IAEA Safety Guides<br/>No. 50-SG-S1 Earthquakes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Siting<br/>No. 50-SG-S2 Seismic Analysis and Testing of Nuclear Power Plants</li> <li>5 International Organization for Standardization<br/>ISO 8258 Nuclear Power Plants- Design against Seismic Hazards<br/>ISO/TC 85/SC3/GT7 Draft 1980 Seismic Design Criteria in Zones I &lt; 7 MSK</li> <li>6 US.NRC. Regulatory Guides<br/>1.29 Seismic Design Classification<br/>1.48 Design Limits and Loading Combinations for Seismic Category I Fluid System Components</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.60 Design Response Spectra for Seismic Design of Nuclear Power Plants</li> <li>1.61 Damping Values for Seismic Design of Nuclear Power Plants (+ Code Case N-411, NUREG 1061 vol 5)</li> <li>1.70.9 Additional Information: Design of Seismic Category I structures</li> <li>1.92 Combining Modal Responses and Spectral Components in Seismic Response Analysis</li> <li>1.122 Development of Floor Design Response Spectra for Seismic Design of Floor - Supported Equipment of Components (+ Code Case -397 App N)</li> <li>7 Statens Kärnkraftinspektion, godkänd FSAR för Forsmark 3</li> <li>8 KTA 2201 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen<br/>KTA 2201.1 Teil 1 Grundsätze<br/>KTA 2201.2 Teil 2 Baugrund<br/>KTA 2201.4 Teil 4 Auslegung der maschinen- und elektrotechnischen Anlagenteile</li> <li>9 IEEE Std 344-1987 Recommended practice for seismic qualification of class 1E equipment for nuclear power generating stations. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1987</li> </ol> |
|---|---|

Tämä ohje on voimassa 19.12.1988 alkaen toistaiseksi.

## YVL-ohjeet

### Yleiset ohjeet

- YVL 1.0 Ydinvoimalaitosten suunnittelussa noudatettavat turvallisuusperiaatteet, 1.12.1982
- YVL 1.1 Säteilyturvallisuuslaitos ydinvoimalaitosten valvontaviranomaisena, 10.5.1976
- YVL 1.2 Asiakirja-aineistolle asetettavat yleiset vaatimukset, 1.12.1976
- YVL 1.3 Ydinvoimalaitosten mekaaniset laitteet ja rakenteet. Tarkastusoikeudet, 25.3.1983
- YVL 1.4 Ydinvoimalaitosten laadunvarmistusohjelma, 20.10.1976
- YVL 1.5 Säteilyturvallisuuslaitokselle toimitettavat ydinvoimalaitosten käyttöraportit, 24.4.1981
- YVL 1.6 Ydinvoimalaitosten ohjaajien hyväksyminen, 17.10.1979
- YVL 1.7 Ydinvoimalaitosten henkilökunnalle asetettavat vaatimukset, 12.1.1978
- YVL 1.8 Muutos-, korjaus- ja ennakkovalvontatyöt ydinlaitoksissa, 2.10.1986
- YVL 1.13 Ydinvoimalaitosten seisokkien valvonta, 9.5.1985
- YVL 1.15 Ydinlaitosten mekaaniset laitteet ja rakenteet. Rakennetarkastus, 16.4.1984

### Järjestelmät

- YVL 2.1 Ydinvoimalaitosten järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden turvallisuusluokitus, 14.12.1982
- YVL 2.2 Ydinvoimalaitosten teknisten ratkaisujen perustelemiseksi tehtävät häiriö- ja onnettomuusanalyysit, 7.10.1987
- YVL 2.3 Ydinvoimalaitosten järjestelmien ennakkotarkastus, 14.8.1975
- YVL 2.4 Painevesireaktorilaitoksen primaaripiirin ja -höyrystimien ylipainesuojaus ja paineensäätö häiriötilanteissa, 19.9.1984
- YVL 2.5 Ydinvoimalaitosten koekäyttö, 30.6.1976
- YVL 2.6 Maanjäristysten huomioonottaminen ydinlaitoksissa, 19.12.1988
- YVL 2.7 Vikakriteerit kevytvesireaktorilla varustetun ydinvoimalaitoksen suunnittelua varten, 6.4.1983
- YVL 2.8 Todennäköisyyspohjaiset turvallisuusanalyysit (PSA) ydinvoimalaitoksen lupakäsittelyssä ja käytön valvonnassa, 16.10.1987

### Paineastiat

- YVL 3.0 Ydinlaitosten paineastiat. Valvonnan yleisohjeet, 21.1.1986
- YVL 3.1 Ydinvoimalaitosten painesäiliöt. Rakennesuunnitelma. Turvallisuusluokat 1 ja 2, 11.5.1981

YVL 3.2 Ydinvoimalaitosten painesäiliöt. Rakennesuunnitelma. Turvallisuusluokka 3 ja luokka EYT, 21.6.1982

YVL 3.3 Ydinlaitosten putkistojen valvonta, 21.5.1984

YVL 3.4 Ydinvoimalaitosten paineastiat. Valmistuslupa, 15.4.1981

YVL 3.7 Ydinvoimalaitosten paineastioiden käyttöönottotarkastus, 16.3.1976

YVL 3.8 Ydinvoimalaitosten paineastiat. Määräaikaistarkastukset, 9.9.1982

YVL 3.9 Ydinvoimalaitosten paineastiat. Rakennearneet ja hitsauslisäaineet, 6.11.1978

### Rakennustekniikka

- YVL 4.1 Ydinvoimalaitosten betonirakenteet, 9.9.1982
- YVL 4.2 Ydinlaitosten teräsrakenteet, 19.1.1987
- YVL 4.3 Ydinlaitosten palontorjunta, 2.2.1987

### Muut rakenteet ja laitteet

- YVL 5.3 Ydinvoimalaitosten venttiilien valvonta, 26.11.1979
- YVL 5.4 Ydinlaitosten varoventtiilien valvonta, 3.6.1985
- YVL 5.5 Ydinlaitosten sähkö- ja instrumentointijärjestelmien ja -laitteiden valvonta, 7.6.1985
- YVL 5.7 Ydinlaitosten pumppujen valvonta, 27.5.1986
- YVL 5.8 Ydinlaitosten nosto- ja siirtolaitteet, 5.1.1987

### Ydinmateriaali

- YVL 6.1 Ydinpolttoaineen ja muiden ydinmateriaalien valvonta, 23.4.1978
- YVL 6.2 Polttoaineen suunnittelurajat ja yleiset suunnitteluvaatimukset, 15.2.1983
- YVL 6.3 Polttoaineen suunnittelun ja valmistuksen valvonta, 15.2.1983
- YVL 6.4 Ydinpolttoaineen kuljetuspakkausten valvonta, 1.3.1984
- YVL 6.5 Ydinpolttoaineen kuljetusten valvonta, 1.3.1984
- YVL 6.6 Ydinpolttoaineen käytön valvonta, 19.6.1979
- YVL 6.7 Ydinpolttoaineen laadunvarmistus, 11.10.1983

YVL 6.20 Ydinvoimalaitosten turvajärjestelyt, 30.6.1983

YVL 6.21 Ydinpolttoaineen kuljetusten turvajärjestelyt, 15.2.1988

### Säteilysuojelu

YVL 7.1 Ydinlaitosten ympäristön säteilyaltistuksen rajoittaminen, 7.10.1987

YVL 7.2 Ydinvoimalaitosten ympäristön väestön säteilyannosten arvioiminen, 12.5.1983

YVL 7.3 Radioaktiivisten aineiden päästöjen leviämisen arviointi ydinvoimalaitosten käyttö- ja onnettomuustilanteissa, 12.5.1983

YVL 7.4 Ydinvoimalaitosten valmiussuunnitelmat, 12.5.1983

YVL 7.5 Ydinvoimalaitosten ympäristön meteorologiset selvitykset ja paikallinen meteorologinen mittausohjelma, 14.5.1976

YVL 7.6 Ydinvoimalaitosten radioaktiivisten aineiden päästöjen mittaus, 19.5.1976

YVL 7.7 Ydinvoimalaitosten ympäristön säteilytarkkailu, 21.5.1982

YVL 7.8 Ydinvoimalaitosten ympäristön säteilyturvallisuusvalvonnan raportointi säteilyturvallisuuslaitokselle, 21.5.1982

YVL 7.9 Ydinvoimalaitosten hallinnollinen säteilysuojelu, 21.4.1981

YVL 7.10 Henkilökohtainen säteilyannostarkkailu ja -raportointi, 1.3.1984

YVL 7.11 Ydinvoimalaitosten säteilymittausjärjestelmät ja -laitteet, 1.2.1983

YVL 7.12 Ydinvoimalaitosten henkilökunnan terveystarkkailu sekä toimenpiteet annosrajojen ylitys- ja onnettomuustapauksissa, 1.3.1984

YVL 7.14 Toimenpidetasot väestön suojelemiseksi ydinvoimalaitosten onnettomuustilanteissa, 26.5.1976

YVL 7.18 Ydinvoimalaitosten suunnittelussa huomioon otettavat laitoksen sisäiseen säteilyturvallisuuteen vaikuttavat tekijät, 14.5.1981

### Ydinjätehuolto

YVL 8.2 Ydinvoimalaitoksen valvotulla alueella syntyneiden jätteiden vapauttaminen valvonnasta hävittämistä varten, 1.7.1985

YVL 8.3 Radioaktiivisten jätteiden käsittely ja varastointi voimalaitoksella, 1.7.1985

**Valtion painatuskeskus myy suomenkielisiä YVL-ohjeita, jotka on julkaistu 1.3.1984 jälkeen. Muita ohjeita saa säteilyturvakeskuksesta.**