



PAINEVESIREAKTORILAITOKSEN PRIMAARIPIIRIN JA HÖYRYSTIMIEN YLIPAINESUOJAUS JA PAINEENSÄÄTÖ HÄIRIÖTILANTEISSA

SISÄLLYSLUETTELO

sivu

1	JOHDANTO	3
2	YLIPAINESUOJAUS NORMAALISSA KÄYTTÖLÄMPÖTILASSA	4
2.1	Ylipainesuojaukseen käytettävät järjestelmät	4
2.1.1	Varoventtiilit	4
2.1.2	Suojausjärjestelmä	6
2.1.3	Muut järjestelmät	7
2.2	Ylipainesuojauksen suunnitteluperusteena käytettävät häiriö- ja onnettomuustilanteet	7
2.3	Ylipainesuojausanalyysissä käytettävät oletukset ja analyysien hyväksymisrajat	9
3	YLIPAINESUOJAUS ALHAISISSA KÄYTTÖLÄMPÖTILOISSA	13
4	PAINEEN SÄÄTÖ HÄIRIÖTILANTEISSA	14

LIITE TILANTEITA, JOISSA PAINEVESIREAKTORIN PRIMAARI-
TAI SEKUNDAARIPAINEN PYRKIVÄT KASVAMAAN

Helsinki 1984
Valtion painatuskeskus

ISBN 951-46-8352-8
ISSN 0781-4313

1 JOHDANTO

Ydinvoimalaitoksen turvallisuuden varmistamiseksi on oleellista, että lämmönsiirto reaktorista primaarijähdytteeseen ja siitä edelleen lopulliseen lämpönieluun tapahtuu keskeytyksettä. Keskeytyksetön lämmönsiirto voidaan turvata parhaiten, mikäli lämmönsiirtoketjuun osallistuvat piirit säilyttävät eheydensä ja mikäli piireissä vallitsevat sopivat paine- ja lämpötilaolosuhteet. Primaaripiirin ja höyrystimien ylipainesuojaus on keskeinen tekijä lämmönsiirtoketjun eheyden säilyttämisessä ja tarkoituksenmukainen paineen säätö häiriötilanteissa puolestaan mahdollistaa sopivien paine- ja lämpötilaolosuhteiden ylläpidon.

Ydinvoimalaitoksen pääosien rakenneaineiden sitkeys on riippuvainen lämpötilasta ja siksi ylipainesuojaukselle asetettavat vaatimukset ovat erilaisia eri käyttötiloissa. Tämän ohjeen luvussa 2 annetaan ohjeita normaalin käyttötilan ylipainesuojaukseen soveltuvista järjestelmistä ja niiden suunnitteluperusteista. Luvussa 3 esitetään hyväksyttäviä tapoja ylipainesuojauksen järjestämiseksi alhaisissa käyttölämpötiloissa.

Luvussa 4 käsitellään vaatimuksia, joita määrätyt häiriötilanteet asettavat paineen säätöön käytettäville järjestelmille.

2 YLIPAINESUOJAUS NORMAALISSA KÄYTTÖLÄMPÖTILASSA

2.1 Ylipainesuojaukseen käytettävät järjestelmät

2.1.1 Varoventtiilit

Laitoksen primaaripiiri sekä kukin höyrystin tulee varustaa vähintään kahdella varoventtiilillä.

Varoventtiilien luotettavan avautumisen ja sulkeutumisen varmistamiseksi tulee käyttää venttiilityyppiä, josta on riittävästi käyttökokemuksia tai jota on riittävästi testattu todellisia käyttöolosuhteita vastaavissa olosuhteissa.

Varoventtiilien avautumispaineet, ominaiskäyrät (karanousu paineen funktiona) ja toiminta-ajat tulee tuntea tai kyetä säätämään ylipainesuojausanalyysien edellyttämällä tarkkuudella. Samoin tulee olla tiedossa, miten varoventtiilien toiminta riippuu niiden liittymisestä muuhun prosessiin (pää- ja ohjausventtiilien tulo- ja poistoyhteet).

Varoventtiilit tulee varustaa ohjauslaitteista riippumattomilla asennonosoituslaitteilla.

Varoventtiileille tulee järjestää mahdollisuus määräaikaisiin testauksiin.

Samaa kohdetta suojaavat rinnakkaiset varoventtiilit tulee virittää avautumaan vähintään kahdessa portaassa siten, että vältetään tarpeettoman monen varoventtiilin avautuminen ja näin pienennetään venttiilin aukijuuttumisen riskiä sekä lievennetään avautumiseen liittyvää transienttia.

Pääsääntöisesti tulee välttää sulkuventtiilin sijoittamista suojattavan kohteen ja varoventtiilin väliin, varoventtii-

lin puhalluslinjaan tai varoventtiilin avaamiseen tarvittavaan ohjauslinjaan. Mikäli säännöstä poiketaan testauksen tai huollon mahdollistamiseksi tai varoventtiilin virheellisen aukijäämisen varalta, tulee sulkuventtiilin virheellinen kiinniasento estää luotettavalla tavalla.

Varoventtiilien tulee olla ohjattuja varoventtiileitä, joilla on seuraavat kohdan a) tai kohdan b) mukaiset ominaisuudet:

- a) Rajoitetulla sulkuvoimalla kuormitetut ohjatut varoventtiilit

Varoventtiiliä sulkeva kuormitus aikaansaadaan kierrejousella tai sähköisellä tai pneumaattisella vieraalla energialla tai niiden yhdistelmällä. Osa sulkevasta kuormituksesta voidaan aikaansaada myös suojattavan kohteen omalla energialla. Venttiili avautuu venttiililautaseen kohdistuvan paineen aiheuttaessa avaavan voiman, joka ylittää sulkevan kuormituksen.

Varoventtiilin tiiveyden parantamiseksi venttiiliä sulkeva kuormitus valitaan suuremmaksi kuin avautumispaineessa venttiililautaseen vaikuttava avaava voima. Suunniteltu avautuminen aikaansaadaan ohjauslaitteella, joka toimii avautumispaineessa joko poistaen osan sulkevasta kuormituksesta tai aiheuttaen venttiiliä avaavan lisävoiman. Ohjauslaite voi käyttää joko suojattavan kohteen sisältämää tai vierasta energiaa.

Varoventtiiliä sulkeva kuormitus on enintään 10 % suurempi kuin avaava voima, joka kohdistuu venttiililautaseen avautumispaineessa.

Varoventtiilillä on yksi tai useampia ohjauslaitteita.

b) Rajoittamattomalla sulkuvoimalla kuormitetut ohjatut varoventtiilit

Varoventtiiliä sulkeva kuormitus aikaansaadaan suojattavan kohteen omalla energialla, kierrejousella tai sähköisellä tai pneumaattisella vieraalla energialla tai niiden yhdistelmällä. Venttiililautaan vaikuttava suojattavan kohteen paine voi aiheuttaa joko venttiiliä avaavan tai sulkevan voiman.

Varoventtiili avautuu ohjauslaitteen poistaessa ainakin osan sulkevasta kuormituksesta (kevennysohjaus) tai aiheuttaessa venttiiliä avaavan voiman (kuormitusohjaus). Ohjauslaite voi käyttää joko kohteen sisältämää tai vierasta energiaa. Jos venttiili toimii kuormitusohjauksella eikä käytä suojattavan kohteen omaa energiaa, sillä on kaksi toisistaan riippumatonta energialähdettä.

Varoventtiilillä on vähintään kaksi toisistaan riippumatonta ohjauslaitetta. Kumpikin ohjauslaite on suunniteltu siten, että toisen joutuessa epäkuntoon jäljellä oleva aukaisee luotettavasti varoventtiilin.

2.1.2 Suojausjärjestelmä

Ylipainesuojauksen suunnittelussa voidaan ottaa huomioon reaktorin sammutuksen käynnistävä suojausjärjestelmä, joka täyttää ohjeen YVL 1.0 luvussa 5 esitetyt yleiset turvallisuusperiaatteet ja ohjeessa YVL 5.5 mainittujen standardien antamat yksityiskohtaisemmat vaatimukset.

2.1.3 Muut järjestelmät

Muita ylipainesuojaukseen käytettäviä järjestelmiä ovat ulospuhallusventtiilit ja normaalissa paineensäädössä painetta alentavat järjestelmät kuten esimerkiksi paineistimen ruiskutus.

Ulospuhallusventtiilit ovat automaattisesti toimivia venttiileitä, jotka voidaan avata myös valvomo-ohjauksella ja joita voidaan käyttää hallittuun paineensäätöön ja paineenalennukseen. Ulospuhallusventtiili voi olla yksi laite tai se voi koostua esimerkiksi varoventtiilityyppisen pikaavausventtiilin ja säätöventtiilin yhdistelmästä.

Tässä luvussa tarkoitettut "muut järjestelmät" tulee suunnitella siten, että yksittäisen laitevian (esim. ulospuhallusventtiilin aukijuuttumisen) aiheuttama hallitsematon paineenlasku voidaan valvomosta tehtävin ohjaustoimenpitein keskeyttää.

2.2 Ylipainesuojauksen suunnitteluperusteena käytettävät häiriö- ja onnettomuustilanteet

Ylipainesuojausta suunniteltaessa on analysoitava häiriö- ja onnettomuustilanteet, joihin liittyy

1. Reaktorin tehon kasvu
2. Primaaripiiristä normaaliin lämpönieluun tapahtuvan lämmönsiirron pienentyminen
3. Primaari- tai sekundaarijäähdytteen hallitsematon lisäys

Esimerkkejä näistä painetta nostavista tilanteista on esitetty tämän ohjeen liitteenä.

Analysoitavat tilanteet tulee jakaa odotettavissa oleviin käyttöhäiriöihin ja oletettuihin onnettomuustilanteisiin. Jakoperusteena käytetään sitä, onko häiriön todennäköinen esiintymistäajuus suurempi kuin yksi tapaus laitoksen suunnitellun käyttöiän aikana. Jaottelussa käytetään hyväksi vastaavista voimalaitoksista ja laitteista saatuja käyttökokemuksia sekä todennäköisyyspohjaisia arviointimenetelmiä.

Sekundaaripiirin ylipainesuojauksen kannalta on lisäksi tarkasteltava oletetuksi onnettomuustilanteeksi määriteltävää tapausta, jossa primaarijäähdytettä vuotaa sekundaaripuolelle. Vuodon suuruus määritellään vastaamaan suurinta repeämää, jota höyrystimen rakenteen ja käytettyjen rakeneaineiden perusteella voidaan pitää mahdollisena.

Odotettavissa olevia käyttöhäiriöitä on tarkasteltava kolmella eri tasolla:

1. Kaikki voimalaitoksen järjestelmät toimivat ennen häiriötä ja sen aikana suunnitellulla tavalla ja nimellisparametrien mukaisessa tilassa, lukuunottamatta häiriön käynnistänyttä vikaa ja sen suoranaisia seurauksia.
2. Voimalaitoksen käyttöolosuhteet oletetaan ylipainesuojauksen kannalta mahdollisimman epäedullisiksi ja häiriön lisäksi oletetaan sitä pahentavia lisävikoja siten kuin tämän ohjeen kohdassa 2.3 esitetään.
3. Reaktorin pikasulun käynnistävä suojausjärjestelmä ei toimi eivätkä säätösauvat liiku sisäänpäin, mutta muuten voimalaitoksen automaattiset järjestelmät toimivat pääpiirteissään suunnitellulla tavalla.

Oletetuille onnettomuustilanteille edellytetään tehtäväksi vain tason 2 mukainen tarkastelu.

Mikäli jokin häiriö voidaan ilmeisin perustein todeta ylipainesuojauksen kannalta lievemmäksi kuin toinen vastaavan tyyppinen häiriö, ei sille tarvitse tehdä yksityiskohtaista kvantitatiivista analyysia.

Ylipainesuojauksen riittävyttä koskevien analyysien ohella tulee tarkastella myös sitä mahdollisuutta, että oikein avautunut varoventtiili juuttuu auki-asentoon. Auki asentoon juuttumisesta saattaa olla seurauksena reaktorijäähdytteen liiallinen vuoto tai liian nopea primaaripiirin jäähtyminen.

Mikäli höyrystimien varoventtiilit puhaltavat suojarakennuksen ulkopuolelle, tulee yksittäisen varoventtiilin auki juuttuminen primaari-sekundaarivuodon yhteydessä analysoida myös sekä primaarijäähdytteen riittävyden että radiologisten seurausten kannalta.

2.3 Ylipainesuojausanalyyseissa käytettävät oletukset ja analyysien hyväksymisrajat

Ensimmäisen tason analyysit tehdään ainoastaan odotettavissa oleville käyttöhäiriöille. Lukuunottamatta häiriön käynnistänyttä vikaa ja sen suoranaisia seurauksia oletetaan kaikkien laitoksen järjestelmien toimivan suunnitellulla tavalla ja nimellisparametrien mukaisesti. Ensimmäisen tason analyysien hyväksymisvaatimuksena on että mikään primaaripiirin varoventtiili ei aukea häiriön aikana, vaan häiriö pystytään hoitamaan reaktorin suojausjärjestelmällä ja muilla ylipainesuojaukseen käytettävillä järjestelmillä.

Toisen tason analyysit tehdään odotettavissa oleville käyttöhäiriöille sekä oletetuille onnettomuustilanteille. Niissä oletetaan, että

- reaktori toimii teholla, joka on nimellisteho lisätynä tehon säätöön liittyvällä epävarmuudella
- reaktoria ja siihen liittyviä järjestelmiä käytetään mahdollisimman epäedullisessa toimintapisteessä ottaen huomioon mittausepä-tarkkuudet ja turvallisuusteknisten käyttöehtojen sallimat rajat
- reaktiivisuuskertoimet ovat ko. tilanteen kannalta mahdollisimman epäedulliset ottaen huomioon reaktorin koko käyttöikä
- reaktorin pikasulku tapahtuu toisesta reaktorin suo-
jausjärjestelmän aiheuttamasta signaalista, jos on
kyseessä odotettavissa oleva käyttöhäiriö ja ensim-
mäisestä signaalista, jos on kyseessä oletettu onnet-
tomuustilanne
- ulospuhallusventtiilit vikaantuvat lukuunottamatta
niitä venttiileitä, jotka täyttävät kohdassa 2.1.1
varoventtiileille annetut vaatimukset,
- muut kohdassa 2.1.3 tarkoitettut järjestelmät vikaantu-
vat
- varoventtiileitä (ja niihin mahdollisesti rinnastetta-
via ulospuhallusventtiileitä) vikaantuu kiinni-asen-
toon seuraavasti (ts. ei avaudu):

varoventtiilien kokonaismäärä	vikaantuu
2 - 3	1
4 - 8	2
9 -	neljäsosa lukumäärästä pyöristettynä seuraa- vaan kokonaislukuun

- varoventtiilin puhalluskyky on varoventtiilille sovel-
tuvan standardin mukaisella tavalla määritellyn ni-
melliskapasiteetin suuruinen ja avautumispaine on
nimellinen virituspaine
- puhalluskyvyltään erisuuruiset varoventtiilit vikaan-
tuvat suuruusjärjestyksessä (suurimmasta alkaen) seu-
raavasti: ensimmäinen, neljäs, yhdeksäs, kolmastois-
ta, jne. aina neljän välein
- puhalluskyvyltään samansuuruiset, mutta eri avautumis-
paineisiin viritetyt varoventtiilit vikaantuvat avau-
tumispaineiden mukaisessa järjestyksessä (alimmasta
paineesta alkaen) seuraavasti: ensimmäinen, neljäs,
yhdeksäs, kolmastoista, jne. aina neljän välein
- jos varoventtiilillä on enemmän kuin yksi ohjauslaite
ja nämä laitteet on viritetty eri paineisiin, avautu-
mispaine on alempi virituspaine.

Toisen tason analyysien hyväksymisvaatimuksena on, että
paine pysyy pienempänä kuin 1,1 kertaa suojattavan kohteen
suunnittelupaine.

Kolmannen tason analyysit tehdään ainoastaan odotettavissa
oleville käyttöhäiriöille. Kolmannen tason analyysissa
oletetaan laitoksen järjestelmien toimivan suunnitellulla
tavalla ja nimellisparametrien mukaisesti lukuunottamatta
seuraavia vikoja:

- häiriön käynnistänyt vika ja sen suoranaiset seurauk-
set
- reaktorin pikasulun käynnistävien suojaussignaalien
ja niistä riippuvien toimintojen puuttuminen

- säätösauvojen pysyminen ennen häiriötä vallinneessa asemassaan.

Kolmannen tason analyyseissa käytettävän jäähdytteen lämpötilan reaktiivisuuskertoimen tulee olla vähiten negatiivinen niistä arvoista, jotka vallitsevat 99 % reaktorin käyttöajasta 100 % teholla.

Kolmannen tason analyyssien hyväksymisvaatimuksena on, että laskettu maksimijännitys missä tahansa primaaripiirin osassa lukuunottamatta höyrystimen lämmönsiirtoputkia ei ylitä ohjeessa YVL 3.5 tarkoitettua tason C käyttöolosuhteita vastaavaa arvoa. Lisäksi reaktorin primaaripiirin muodonmuutokset on rajoitettava sellaisiksi, että reaktori voidaan turvallisesti sammuttaa. Höyrystimen lämmönsiirtoputkien osalta rajana voidaan pitää koetuloksiin perustuvaa konservatiivisesti arvioitua painetta, joka putkien pitäisi kestää.

Varoventtiilin auki-asentoon juuttumista koskevissa analyyseissa voidaan olettaa, että ohjaaja ryhtyy toimenpiteisiin varoventtiilivuodon pienentämiseksi tai pysäyttämiseksi 30 minuutin kuluttua venttiilin aukijuuttumisesta. Vuodon rajoittamiseen tai pysäyttämiseen liittyvät automaattiset toiminnot voidaan ottaa huomioon, jos niiden ohjaus on luotettavasti varmistettu. Analyyssien hyväksymisvaatimuksena on, että primaaripiirin laitteiden ja höyrystimen voidaan osoittaa kestävän kyseeseen tulevat jäähtymistransientit. Primaari-sekundaarivuodon yhteydessä on lisäksi osoitettava, ettei varoventtiilin aukijuuttuminen aiheuta vaaraa reaktorin hätäjäähdytysveden loppumisesta tai aiheuta onnettomuustilanteita koskevien säteilyannosrajojen ylitystä.

3 YLIPAINESUOJAUS ALHAISISSA KÄYTTÖLÄMPÖTILOISSA

Alhaisissa käyttölämpötiloissa ydinvoimalaitoksen pääosien rakenneaineiden sitkeys saattaa olla oleellisesti pienempi kuin normaalissa käyttölämpötilassa. Tällöin tulee paine- ja lämpötilarajojen avulla määritellä olosuhteet, joissa laitteita voidaan turvallisesti käyttää myös alhaisissa lämpötiloissa. Näiden rajojen määrittelyä käyttö-alueelta poikkeaminen tulee estää luotettavin suojausjärjestelyin.

Ylipainesuojaus alhaisissa käyttölämpötiloissa voi perustua

- varoventtiileihin, joiden avautumispaine on valittavissa käyttölämpötilan mukaisesti,
- varoventtiileihin, jotka on luotettavasti erotettu lämpimässä käyttötilassa tai
- suojausjärjestelmiin, joiden avulla voidaan vaikuttaa suoraan mahdollisen ylipaineistumisen aiheuttaviin toimintoihin. Näiden suojausjärjestelmien tulee täyttää ohjeen YVL 1.0 luvussa 5 esitetyt yleiset turvallisuusperiaatteet ja ohjeessa YVL 5.5 mainittujen standardien antamat yksityiskohtaisemmat vaatimukset. Suojausjärjestelmien tehtävänä voi olla esimerkiksi suuren nostokorkeuden omaavien pumppujen pysäyttäminen tai uloslaskulinjojen avaaminen. Mikäli ylipainesuojaus perustuu suojausjärjestelmiin eikä varoventtiileihin, tulee suojattavissa piireissä olla myös kylmässä tilassa toimiva paineentasaussäiliö, jonka sisältämä kaasu- tai höyrypatja puskuroi nopeita painevaihteluita.

Alhaiselle käyttölämpötilalle tulee tehdä analyysit, joissa tarkastellaan erikseen kutakin paineen korottamiseen ky-

kenevää mekanismia ja osoitetaan, että suojausmenetelmät pystyvät pitämään paineen asetettua rajaa pienempänä.

Suunniteltaessa ylipainesuojausta alhaisissa käyttölämpötiloissa tulee ottaa huomioon myös häiriö- ja onnettomuustilanteet, joissa lämpötila voi laskea suoraan häiriön seurauksena tai joissa primaaripiiri joudutaan jäädyttämään epänormaalilla tavalla. Näissä tilanteissa tarvittavat järjestelmät (esim. hätäjäähdytysjärjestelmät) tulee suunnitella siten, että ne eivät voi korottaa painetta asetettun rajan yläpuolelle.

4 PAINEEN SÄÄTÖ HÄIRIÖTILANTEISSA

Primaaripiirin paineen ylläpito tulee varmistaa myös tilanteessa, jossa ulkoinen sähkönsyöttö on menetetty.

Primaaripiiri tulee varustaa paineen jatkuvaan hallittuun alentamiseen soveltuvilla laitteilla, joita voidaan käyttää valvomo-ohjauksella kaikissa käyttötilanteissa ja jotka ovat välittömässä käyttövalmiudessa sekä riippumattomat ulkoisesta sähkönsyötöstä ja pääkiertopumppujen toiminnasta.

Höyrystimet tulee varustaa paineen alentamiseen soveltuvilla laitteilla, joita voidaan käyttää valvomo-ohjauksella kaikissa käyttötilanteissa ja jotka ovat välittömässä käyttövalmiudessa sekä riippumattomat ulkoisesta sähkönsyötöstä ja höyrylinjojen mahdollisesta eristämisestä.

Primaaripiirin paineen nostamiseen käytettävät lämmittimet tulee varustaa lämmityksen keskeyttävällä suojausjärjestelmällä, mikäli virheellinen lämmitys jossakin häiriötilanteessa vaarantaisi primaaripiirin eheyden.

1 (1)

Liite

TILANTEITA, JOISSA PAINEVESIREAKTORIN PRIMAARI- TAI SEKUNDAARIPAINET
PYRKIVÄT KASVAMAAN

1. Ulkoisen kuorman menetys (ulkoinen sähkö on kuitenkin käytössä)
2. Turpiinin pikasulku virhesignaalin johdosta
3. Lauhduttimen tyhjön menetys
4. Sekundaaripaineen säätäjän virhetoiminto, joka aiheuttaa turpiinin säätöventtiilin kiinnisuuntaan ohjautumisen
5. Yhdessä höyrylinjassa olevan eristysventtiilin virheellinen sulkeutuminen
6. Kaikissa höyrylinjoissa olevien eristysventtiilien samanaikainen virheellinen sulkeutuminen
7. Ulkoisen sähkön täydellinen menetys
8. Kaikkien syöttövesipumppujen samanaikainen pysähtyminen
9. Pääkiertopumpun pysähtyminen
10. Kaikkien pääkiertopumppujen samanaikainen pysähtyminen
11. Säätösauvan tai sauvaryhmän virheellinen ulosveto
12. Reaktorijäähdytteen booripitoisuuden laimeneminen boorisäädön virhetoiminnan seurauksena
13. Reaktorijäähdytteen määrän lisäys lisävesijärjestelmän tai hätäjäähdytysjärjestelmän virheellisen käynnistytksen seurauksena.

