

ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA —

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



4/2008

vol. 37

Tässä numerossa

Pääkirjoitus:

Pysyvätkö suunnittelu-
perusteet tallessa? 3

Editorial:

Original design bases –
will they be remembered? 4

Uutisia 5

ATS:n kannanotto
ydintekniikan koulutukseen 6

Ydinenergia-
lainsäädännön uudistus 8

Kuulumisia Saksasta 10

Arkiston helmiä:

Turvallisuustutkimuksen
näköalat Suomessa 14

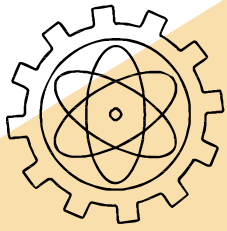
ATS Syysseminaari:

APR 1400 ja EU-APWR 16

Drag ur FiR 1 reaktorns historia 18

Diplomityöt 22

Tapahtumakalenteri
ja seuran uudet jäsenet 27



ATS

4/2008, vol. 37

VUODEN 2008 TEEMAT

1/2008

Käyttötoiminta
ja turvallisuus

2/2008

Kansainvälinen
yhteistyö

3/2008

Uudet laitoshankkeet
ja YVAt

4/2008

Syysseminaari, ekskursio

ILMOITUSHINNAT

1/1 sivua 700 €

1/2 sivua 500 €

1/4 sivua 300 €

TOIMITUKSEN OSOITE

ATS Ydintekniikka
c/o Riku Mattila
Säteilyturvakeskus
PL 14
00881 Helsinki
Puhelin 09 759 88680
Telefax 09 759 88382
toimitus@ats-ydintekniikka.fi

ISSN-0356-0473

Painotalo Miktor Ky



441 194
Painotuote

JULKAISIJA / PUBLISHER

Suomen Atomiteknillinen Seura –
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

ATS WWW

www.ats-fns.fi

Toimitus / Editorial Staff

Päätoimittaja / Chief Editor

DI Riku Mattila
Säteilyturvakeskus
paatoimittaja@ats-ydintekniikka.fi

Toimitussihteeri / Subeditor

Minna Rahkonen
p. 0400 508 088
fancymedia@saunalahti.fi

Erikoistoimittajat /

Members of the Editorial Staff

TKT Jarmo Ala-Heikkilä
Teknillinen korkeakoulu
jarmo.ala-heikkila@tkk.fi

FM Sini Gahmberg

Teollisuuden Voima Oyj
sini.gahmberg@tvo.fi

FM Johanna Hansen

Posiva
johanna.hansen@posiva.fi

DI Tommi Henttonen

Fortum Nuclear Services
tommi.henttonen@fortum.com

DI Kai Salminen

Fennovoima Oy
kai.salminen@fennovoima.fi

DI Eveliina Takasuo

VTT
eveliina.takasuo@vtt.fi

Haastattelutoimittaja /

Journalist reporter

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@welho.com

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / Chairperson

DI Harriet Kallio
Fortum Power and Heat
PL 100, 00048 Fortum
p. 010 453 2463
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja /

Vice-chairperson

DI Harry Lamroth
Fortum Nuclear Services
harry.lamroth@fortum.com

Sihteeri /

Secretary of the Board

DI Malla Seppälä
VTT
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Anna-Maria Länsimies
Energiateollisuus ry
anna-maria.lansimies@energia.fi

Jäsenet /

Other Members of the Board

FM Johanna Hansen
Posiva
johanna.hansen@posiva.fi

DI Yrjö Hytönen

Säteilyturvakeskus
yrjo.hytonen@stuk.fi

DI Olli Nevander

Teollisuuden Voima Oyj
olli.nevander@tvo.fi

Toimihenkilöt / Officials

Jäsenrekisteri /

Membership Register

DI Malla Seppälä
VTT
sihteeri@ats-fns.fi

Kv. asioiden sihteeri /

Secretary of International Affairs

DI Tommi Henttonen
Fortum Nuclear Services
tommi.henttonen@fortum.com

Energiakanava /

Energy Channel

TKT Karin Rantamäki
VTT
karin.rantamaki@vtt.fi

Young Generation

DI Juha Poikolainen
Teollisuuden Voima
juha.poikolainen@tvo.fi

Ekskursiosihteeri /

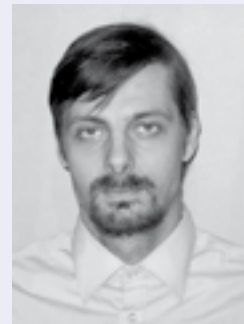
Excursion Secretary

DI Kristiina Turtiainen
Teollisuuden Voima
kristiina.turtiainen@tvo.fi

Suomen Atomiteknillisen Seuran (perustettu 1966) tarkoituksena on edistää ydintekniikan alan tuntemusta Suomessa, toimia yhdysiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi sekä vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla.

ATS Ydintekniikka on neljä kertaa vuodessa ilmestyvä lehti, jossa esitellään ydintekniikan tapahtumia, hankkeita ja ilmoitetaan numeroitain vaihtuvan teeman ympäriltä. Lehti postitetaan seuran jäsenille.

Lehdessä julkaistut artikkelit edustavat kirjoittajien omia mielipiteitä, eikä niiden kaikissa suhteissa tarvitse vastata Suomen Atomiteknillisen Seuran kantaa.



Pysyvätkö suunnitteluperusteet tallessa?

TÄTÄ KIRJOITETTAESSA kaksi Pohjoismaiden suurinta ydinvoimalaitosta seisoo säätösauvojen välitangoissa havaittujen murtumien alkusyitä selvitetäessä. Ei ole vielä kulunut puolta vuotta siitä, kun kahdella BWR-laitoksella tapahtui kahden viikon välein suunnitteluperusteet ylittäneet pääkiertopumppujen pysähtymistransientit, joiden seurauksena osaa sähkömarkkina-alueemme laitoksista joudutaan turvallisuussyistä toistaiseksi ajamaan merkittävästi heikentyneellä polttoainetaloudella. Keväällä osoittautui, että yhden laitoksen hätädiezelgeneraattoreiden käynnistinmoottoreista yli puolet oli eriasteisesti vikaantuneita, koska tietyn tiivisteiden vaihto ei kuulunut määräaikaishuolto-ohjelmaan. Kahden vuoden takaisen verkkohäiriötransientin jälkiselvittelyjen yhteydessä on kuluneen syksyn aikana puolestaan paljastunut, että kaikkien laitosten hätäjärjestelmät eivät välttämättä ole riittävän luotettavia kaikissa mahdollisina pidettävissä valtakunnan verkon häiriötilanteissa.

TUNTUU SILTÄ, että viime aikoina käyttötapauksien määrä on ollut lisääntymään päin. Mistä tämä voi johtua? Onko kyse pelkämästä sattumasta? Vai onko syynä se, että laitokset ovat nyt saavuttamassa alun perin suunnitellun käyttöikänsä? Tai mahdollisesti kokeneimpien asiantuntijoiden siirtyminen eläkkeelle ja "hiljaisen tiedon" hukkuminen? Tai 10 vuoden kokonaisvaltaisen suunnitteluprosessin tuloksena syntyneisiin laitoksiin paljon tiukemmin aika- ja talutetuilla projekteilla tehtävät vähittäiset muutokset?

VIIMEAIKAISET KÄYTTÖTAPAHTUMAT ovat taas muistuttaneet siitä, että ydinturvallisuudesta huolehtivissa organisaatioissa pitää olla riittävä oma asiantuntemus, jotta laitokset pysyvät jatkuvasti hyvässä kunnossa, ja poikkeaviin tapahtumiin pystytään reagoimaan ripeästi – mutta hätäilemättä – järkevillä ja perustelluilla toimenpiteillä. Tällä hetkellä laitosten käyttöönotosta asti mukana olleita "ensimmäisen polven ekspertejä" vielä löytyy, mutta tilanne muuttuu nopeasti. "Toisen sukupolven" rekrytointi on vaativa tehtävä verrattuna 30 vuoden takaiseen tilanteeseen, jolloin laitoksia rakennettiin, ja teknisen asiantuntemuksen arvostus oli jo käytännönkin syistä korkealla. Motivoituneen ja osaavan väen saaminen viestikapulan vastaanottajiksi edellyttää, että näiden hiljaisen tiedon kerääjien merkitys ydinlaitosten turvallisen käytön jatkamiselle tunnustetaan, eivätkä he organisaatioissaan jää äänekkäämpien asiantuntijoiden varjoon. Tässä riittää haastetta, koska asiantuntemuksen syvällisyys ja työhön sitoutuneisuus ovat paljon vaikeammin mitattavia asioita kuin esim. onnistuneesti läpi viedyt projektit tai laitosten käyttökertoimet: puutteiden seuraukset kumuloiduvat vasta vähitellen ajan myötä.

P.S. Teemaksi valitun ATS:n syyskursion peruuntua ei vuoden viimeisessä numerossa tällä kerralla nähdä perinteisiä ekskursioraportteja. Ajatelkaamme positiivisesti – ehkäpä osasyyni niukkaan ilmoitustunneiden määrään on se, että maamme ydintekniikan asiantuntijoilla on nyt kädet täynnä työtä alan tulevaisuuden rakentamisessa. ■

Original design bases – will they be remembered?

AT THE time of this writing, two largest nuclear power plant units in the Nordic area are standing still, waiting for results of inspections due to cracks found in their control rod shafts. Less than six months have passed since a sudden flow reduction transient occurred at two different BWR units, resulting into a number of the NPP:s in the Nordic electricity market area being forced to operate with a significantly weakened fuel economy, until the required safety improvements have been made. Last spring it turned out that more than half of the starter motors of the emergency diesel generators at one plant unit had faults in a certain rubber seal, because this seal was not included in the starter motors' regular maintenance program. This autumn, studies made due to a grid failure that took place two years ago revealed that the emergency equipment at some plant units might not be sufficiently reliable at all grid disturbances that can be assumed possible.

IT FEELS that the number of operational occurrences has recently been on the rise. What is the reason for this? Is it just a coincidence? Or is it because the plant units are starting to reach their originally designed 30-year service lives? Or the increasing number of the most experienced experts that are retiring, taking their experience with them? Or perhaps the fact that tightly scheduled modifications are accumulating at the plant units that originally took more than 10 years of design work to reach an optimal balance?

THE RECENT occurrences have been a reminder of the fact that all organizations operating in the nu-

clear safety field must have a sufficient in-house expertise in order to be able to keep the plants in good condition, and to be able to react promptly – but without panic – and with the right measures, when something unexpected happens. At the moment, there is still a number of “first generation experts” – those who have worked at the plant units since the beginning of their operation – available, but the situation is changing rapidly. Recruitment of the “second generation” is a demanding task compared to that of 30 years ago, when the plants were being built and the high importance of technical competence was self-evident. In order to be able to get well-motivated and skilful people to man the units for the remaining 30 years of their service lives, it is important that the value of these “gatherers of silent information” is recognized, and they must not be overrun by the more forthcoming parts of the organization. This is a big challenge, since the depth of expertise and understanding, as well as the degree of commitment, is much more difficult to measure than e.g. successfully coordinated projects or the plant availability factors, since the consequences on negligence will cumulate slowly over a long period of time.

P.S. As the Society's traditional autumn excursion was cancelled due to lack of participants, there will be no excursion reports in this issue. Let us think positively: perhaps a reason for the low number of participants to sign up is the fact that the nuclear experts in our country are currently up to their eyes in work building the future of the Finnish nuclear technology. ■

UUTISIA

Riitta Kyrki-Rajamäki ENS:n tieteelliseen neuvostoon



YDINVOIMATEKNIIKAN PROFESSORI Riitta Kyrki-Rajamäki Lappeenrannan teknillisen yliopiston energia- ja ympäristötekniikan osastolta on nimitetty European Nuclear Societyn (ENS) High Scientific Councilin (HSC) jäseneksi. Neuvosto koostuu ydintekniikan käyttöä sivuavien tieteenalojen kuten fysiikan, biologian, lääketieteen sekä insinööri- ja yhteiskuntatieteiden arvostetuista tiedemiehistä ja -naisista. Jäsenet nimetään kolmivuotiskausiksi kerrallaan. Prof. Kyrki-Rajamäki on tällä hetkellä neuvoston 16 jäsenen joukossa ainut pohjoismainen edustaja. Neuvoston puheenjohtajana toimii tohtori **Bernard Bonin** CEA:lta Ranskasta.

Neuvosto ON perustettu ENS:n tukena toimivaksi tieteelliseksi asiantuntijaryhmäksi, jonka tarkoituksena on mm. laatia ENS:n nimissä tieteellisiä kannanottoja, joita voidaan käyttää seuran ulkoisessa viestinnässä. Tullaan myös laatimaan tieteellisiä tiivistelmiä ENS:n järjestämien ja muiden tärkeiksi katsottujen konferenssien - kuten TopSafe, TopFuel, TopSeal ja RRFM - jälkeen.

ATS TOIVOTTAA Riitalle mielenkiintoisia hetkiä HSC:n jäsenyyden parissa! Kaikilta ENS:n konferensseihin osallistuvilta ATS:n jäseniltä otetaan mielihyvin vastaan kommentteja ja palautetta konferenssien tieteelliseen sisältöön liittyen. Näkemyksiä voi lähettää osoitteeseen riitta.kyrki-rajamaki@lut.fi.

JULKAISUN ARTIKKELIT:
Nykyisten ydinvoimalaitosten turvallisuuden kehittäminen
Tkt Eija Karita Puska, VTT
Neljännän sukupolven reaktoritekniikan tavoitteet
Tkt Jaakko Leppänen, VTT
Torium - vaihtoehtoinen ydinpolttoaine
FT Jani Halinen, Fortum
Fuusio - tulevaisuuden ydinvoimaa
Tkt Karin Rantamäki, VTT
Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus - ONKALO-tutkimustila
DI Markku Harmaala, Energiateollisuus ry

Japan Steel Works aikoo kolminkertaistaa tuotantokapasiteettinsa

MAAILMAN SUURIN ydinvoimaloiden raskaiden komponenttien valmistaja Japan Steel Works (JSW) on ilmoittanut, että sen tavoitteena on kolminkertaistaa raskaiden takeiden tuotantokapasiteettinsa vuoden 2012 puoleen väliin mennessä. Ilmoitusta edelsi ydinvoimalaitostoimittaja Arevan kanssa tehty, vuoteen 2016 ulottuva sopimus komponenttien toimittamisesta Arevan voimalaitoksiin.

JSW:LLÄ ON oman ilmoituksensa mukaan 80 % markkinaosuus ydinvoimaloiden raskaiden komponenttien toimituksista, ja se on valmistanut kaikkiaan noin 130 reaktoripaineastiaa eri puolille maailmaa. Tällä hetkellä esisopimuksia on mm. GE-Hitachin ABWR- ja ESBWR- sekä Arevan EPR-reaktorien komponenttien toimituksista. Hokkaidossa sijaitsevan Mutoranin tehtaan nykyinen tuotantokapasiteetti on neljä paineastiaa vuodessa.

(Lähde: World Nuclear News)

Ydinvoima ja Innovaatiot -julkaisu

ENERGIATEOLLISUUS RY:N tuottama **Ydinvoima ja innovaatiot** -julkaisu esittelee esimerkkien avulla ydinenergiaan liittyvää tutkimustyötä. Julkaisussa esitellään viisi ydinvoima-alan ajankohtaista ja kiinnostavaa tutkimusteemaa. Artikkelien kirjoittajat ovat alansa huippuasiantuntijoita ja työskentelevät päivittäin ydinvoiman kehittämisen parissa.

JULKAISUN ARTIKKELIT:

Nykyisten ydinvoimalaitosten turvallisuuden kehittäminen

Tkt Eija Karita Puska, VTT

Neljännän sukupolven reaktoritekniikan tavoitteet

Tkt Jaakko Leppänen, VTT

Torium - vaihtoehtoinen ydinpolttoaine

FT Jani Halinen, Fortum

Fuusio - tulevaisuuden ydinvoimaa

Tkt Karin Rantamäki, VTT

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus

- ONKALO-tutkimustila

DI Markku Harmaala, Energiateollisuus ry

Julkaisu on luettavissa pdf-muodossa *Energiateollisuus ry:n* sivuilla osoitteessa www.energia.fi/fi/julkaisut



Kuudetta kertaa ydinalan organisaatioiden talkoovoimin järjestämällä kansallisella ydinturvallisuuskurssilla (YK6) annetaan alalle hiljattain tulleille perustiedot ydinturvallisuudesta. (Kuva: Riku Mattila)

Harriet Kallio

ATS:n kannanotto ydintekniikan koulutukseen

KAIKKI YDINVOIMA-ALAN toimijat ovat jo jonkin aikaa olleet liikuttavan yksimielisiä siitä, että inhimilliset resurssit ja alan osaaminen nousevat niukkuutensa vuoksi arvoon arvaamattomaan ainakin, jos vielä jokin aika sitten näköpiirissä siinnyt alan renessanssi pääsee todella vauhtiin. Sukupolven vaihdoksen osuminen samaan saumaan ei ole omiaan helpottamaan tilannetta. Laite/laitostoimittajat, voimayhtiöt, tutkimuslaitokset ja viranomaiset taistelevat samoista resursseista. Yhteistä kakkua voidaan kuitenkin kasvatkaa vain alan koulutusta lisäämällä. Tästäkin on kansallisesti vallinnut täysi yhteisymmärrys. Yksimielisyys tuppaa loppua siinä vaiheessa, kun pitäisi löytää maksumiehiä

ATS:N JOHTOKUNNASSAKIN on keskusteltu resursseista ja alan koulutuksen lisäämisen tarpeesta. Viime talvena päätimme kantaa oman kevyen kortemme kekoon hyvän asian puolesta ja tuoda syvän huolestunein saatesanoin työ- ja elinkeinoministeriön edustajalle lokakuun 24. päivänä järjestetyssä ATS:n perinteisessä syysseminaarissa. Opetusministeriö sekä sosiaali- ja terveysministeriö saivat vastaavat kirjeet postitse.

KORKEAKOULUOPETUKSEN JÄRJESTÄMINEN kuuluu valtiovallan tehtäviin. Suomalainen energiapolitiikka on saanut kiitosta maan rajojen ulkopuolelta. Toivoa sopii, että siihen kyetään koordinoimaan tarkoituksenmukainen koulutuspolitiikka, ilman että ydintekniikan alan koulutusta pidetään ei-hyväksyttävänä, vastikkeettomana tukena ydinvoimateollisuudelle.

ATS:n kannanotto koulutuksen kehittämiseen

*Työ- ja elinkeinoministeriölle
Opetusministeriölle
Sosiaali- ja terveysministeriölle*

SUOMEEN RAKENNETAAN parhaillaan viidettä ydinvoimalaitos-yksikköä ja ydinlaitosten ympäristövaikutusten arvioinnit ovat meillä useilla paikkakunnilla. Ydinvoiman käytön laajentaminen antaa työtä yhä kasvavalle joukolla ydintekniikan ja -fysiikan, reaktorimateriaalien käytön ja radiokemian ammattilaisia. Vuosien myötä ydinvoiman turvallisuusvaatimusten ja suunnittelun kehittyminen sekä turvallisuuskulttuurin kehittäminen on tuonut alalle lisäkoulutustarpeita. Myös alalla avautuvat osaamisen vientimahdollisuudet ovat lisänneet korkeakoulutetun henkilöstön tarvetta. Käynnistyneen ydinvoimalaitosrakentamisen innostamana on alan opiskelijoiden määrä kasvanut merkittävästi. Uusien suomalaisten ammattilaisten riittävä kouluttaminen asettaa yliopistot ja korkeakoulut vaativan haasteen eteen.

OSAAMISEN JATKUVA kehittyminen koko suomalaisen ydinvoiman kolmen vuosikymmenen käyttöhistorian ajan on luonut suomalaisille toimijoille ainutlaatuista osaamista. Osaaminen kohdistuu ydinvoimalaitosten turvalliseen ja luotettavaan käyttöön sekä ydinjätehuollon ja jätteiden loppusijoituksen teknisten ratkaisujen hallintaan. Näiden hankkeiden yhteydessä on todettu yhä tärkeämmäksi ymmärtää ja tunnistaa säteilevät aineet osana luonnon normaalia kiertokulkua. Työtehtävissä syntyneen osaamisen siirtäminen uudelle henkilöstölle on ensiarvoisen tärkeää. Osaamisen siirrossa avainasemassa ovat alan toimijoiden ohella myös ydinenergian käyttöön liittyvää opetusta tarjoavat korkeakoulut ja yliopistot.

SUOMALAISTEN YLIOPISTOJEN ydintekniikan opiskelijoiden määrä oli ydinvoiman voimakkaan vastustuksen vuosina varsin pieni. Opiskelijoiden pieni määrä aiheutti myös ydintekniikan opetukseen ja tutkimukseen sijoitettujen resurssien vähenemisen. Tällä hetkellä ydin- ja säteilytekniikan tutkimuksen ja osaamisen kehityksen saama tuki ei ole riittävää. Tuen välttämättömän lisäämisen myötä alan koulutusresurssit on suunnattava tehokkaasti, jotta kukin korkeakoulu saa osaamisalueeseensa luontevasti istuvan roolin. Tämä edellyttää ydintekniikan ja -fysiikan sekä muiden ydinenergiaan liittyvien aihepiirien opetuksen ja tieteellisen tutkimuksen järkevää työnjakoa eri yliopistojen ja tutkimuslaitosten kesken.

YLLÄ ESITETYN kehityksen vuoksi Suomen Atomiteknillinen Seura (ATS) haluaa kiinnittää työ- ja elinkeinoministeriön, opetusministeriön ja sosiaali- ja terveysministeriön huomion ydintekniikan ja -fysiikan sekä säteilyn käytön opetuksen ja koulutuksen tärkeään merkitykseen Suomessa. Seura pitää tärkeänä näiden alojen yliopisto-opetukseen panostamista nyt, jotta varmistetaan uusien määrältään kasvavien ydinenergia-alan ammattilaisten opetuksen taso. Tämän ohella seura toivoo oppimisen pohjana olevassa yläasteen ja lukion opetuksessa välitettävän tiedon olevan jatkossa entistä vahvemmin luonnontieteellisellä pohjalla. Näin koulut antavat opiskelijalle mahdollisuuden muodostaa totuudenmukainen kuva ydinenergian ja säteilyn hyötykäytön aiheuttamista terveysvaikutuksista ja ydinalan merkityksestä yhteiskunnallemme.

Helsingissä 24.10.2008

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA

Harriet Kallio
ATS:n johtokunnan puheenjohtaja

Harry Lamroth
ATS:n johtokunnan varapuheenjohtaja

Ydinenergialain- säädännön uudistus

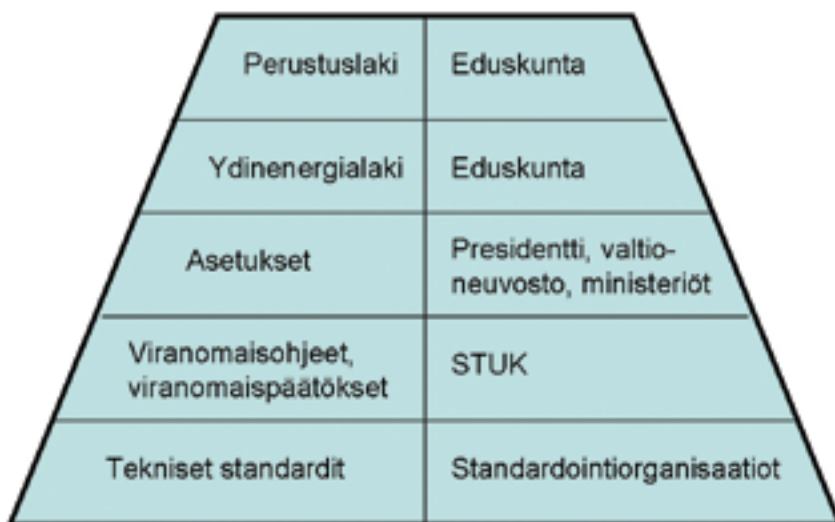
Laki ydinenergialain muuttamisesta (23.5.2008/342) tuli voimaan 1.6.2008. Lain muutos on osa ydinenergialainsäädännön osittaisuudistusta, joka saatetaan loppuun kuluvan vuoden aikana. Muutoksella luotiin perusta ydinenergia-alan teknisen turvallisuussäädännön uudistamiselle. Kimmokkeena toimi ydinturvallisuutta koskevien viranomaisvaatimusten eli YVL-ohjeiden rakenneuudistus.

O hjeuudistuksen yhteydessä katsottiin välttämättömäksi myös ydinenergia-asetuksen (YEA) ja muiden ydinenergialain (YEL) alaisten valtioneuvoston päätösten päivittäminen ydinturvallisuusvaatimuksiltaan ajanmukaisiksi. Uudet valtioneuvoston asetukset (VNA:t) ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta, ydinenergian käytön turvajärjestelyistä, ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyistä ja ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta sekä ydinenergia-asetuksen muuttamisesta on tarkoitus antaa vuoden 2008 loppuun mennessä.

Vuoden 2000 maaliskuun alusta voimaan tullut Suomen perustuslaki edellyttää, että yksilön oikeuksien ja velvollisuuksien perusteista sekä asioista, jotka perustuslain mukaan muuten kuuluvat lain alaan, on säädettävä lailla. Siten ydinenergialain ja sen alaisen säännösten perustuslainmukaisuus oli tutkittava uudistuksen yhteydessä.

Valvontaa ja turvallisuutta koskevat yleiset säännökset oli annettava laissa ja lain-säädäntövaltaa delegeoivat valtuutus-säännökset tarkistettava riittävän tarkkarajaisiksi. Ydinenergialainsäädännön sisältämät lukuisat teknisuonteiset säännökset voidaan täsmälliseen valtuutukseen perustuen antaa asetuksessa tai YVL-ohjeessa (kuva 1).

Uudistus valmisteltiin kolmen vuoden aikana Säteilyturvakeskuksessa ns. virkayönä työ- ja elinkeinoministeriön (vuo-



Kuva 1. Ydinenergiasäädännön rakenne.

teen 2008 saakka kaupp- ja teollisuusministeriö) koordinoitessa hanketta.

Kategoriset muutokset

Ydinturvallisuusvaatimusten ajanmukaistamisen ja OL3-hankkeen valvonnasta saatujen kokemusten huomioimisen ohella vaatimusten säädöstaso tarkistettiin siten, että uusittu YEL sisältää perusvaatimukset ja yksityiskohtaisempi sääntely toteutetaan asetuksissa ja YVL-ohjeissa. Asetusten soveltamisalat täsmennettiin ja valtuutussäännökset saatettiin perustuslain edellyttämällä tavalla riittävän tarkkarajaisiksi. Määritelmiä lisättiin ja täsmennettiin sekä säädösten rajapinnat tarkistettiin.

Kaksikäyttötuotteiden vientivalvonta siirrettiin ydinenergialaista ja -asetukses-

ta vientivalvonta-asetukseen. Ydinlaitosten käytöstä poistoa koskevat säännökset lisättiin sekä laki- että asetustasolle. Ydinenergialainsäädännön perusteisiin ja ydinlaitosten lupamenettelyihin ei tehty muutoksia. Vaatimusten määrän näennäisestä lisääntymisestä huolimatta uusia vaatimuksia ei luotu vaan esim. YVL-ohjeissa olleita tai STUKin valvontatoiminnassaan vakiintuneesti soveltamia vaatimuksia siirrettiin säädöshierarkian ylemmille tasoille.

Ydinenergialaki

Lain muutoksista tärkein on uusi luku 2a, jossa asetetaan ydinenergian käytön turvallisuutta koskevat perusvaatimukset. Luokun kirjattiin keskeiset turvallisuusperi-

1 Yleiset turvallisuusohjeet 1.1 Ydinenergian käytön turvallisuusvalvonta 1.2 STUK-YVL-ohjeiston rakenne ja käytetyt määrittelmät			
2 Ydinlaitoksen turvallisuuden hallinta 2.1 Ydinlaitoksen sijaonpaikka 2.2 Ydinlaitoksen johtamisjärjestelmät 2.3 Ydinlaitoksen henkilöstö 2.4 Ydinlaitoksen rakentamistoiminta 2.5 Ydinlaitoksen käyttöohjeita 2.6 Riskien hallinta ydinlaitoksella 2.7 Muutoksen hallinta ydinlaitoksella 2.8 Ydinlaitoksen kunnonvalvonta, kunnosraportit ja ikääntymisen hallinta 2.9 Ydinlaitoksen turvajärjestelyt 2.10 Ydinlaitoksen valmiusjärjestelyt 2.11 Ydinlaitoksen raportointi 2.12 Ydinlaitoksen käyttökokemustoiminta	3 Laitos- ja järjestelmäsuunnittelu 3.1 Ydinlaitoksen jäsennönnin, rakenteiden ja laitteiden luokittelu 3.2 Turvallisuusluokittelu ja järjestelmät 3.3 Ydinlaitoksen ja reaktorin 3.4 Ydinvoimalaitoksen primääripiiri 3.5 Ydinvoimalaitoksen suojarakennus 3.6 Ydinlaitokseen kohdistuvat sisäiset ja ulkoiset uhat 3.7 Ydinlaitoksen palonkorjaus 3.8 Turvallisuuden arviointi	4 Ydinlaitoksen säteilyturvallisuus 4.1 Ydinlaitoksen työntekijöiden säteilyturvallisuus 4.2 Ydinlaitoksen ympäristöolosuhteet 4.3 Ydinlaitoksen ympäristöolosuhteiden mittaaminen 4.4 Ydinlaitoksen rakenteellinen säteilyturvallisuus	5 Ydinmateriaalit ja -jätteet 5.1 Ydinmateriaalivalvonta 5.2 Ydinenergian ja -jätteiden kuljetus 5.3 Käytön jälkeisten kiviainesten käsittely, varastointi ja karsinointi 5.4 Ydinjätteenhoito ja käytöstä poisto 5.5 Ydinlaitoksen lopetusolosuhteet
6 Ydinlaitoksen rakenteet ja laitteet 6.1 Ydinlaitoksen voimistaminen ja käyttö 6.2 Ydinlaitoksen mekaaniset laitteet ja rakenteet, rakentamistoiminta 6.3 Ydinlaitoksen mekaaniset laitteet ja rakenteet, viranomaisvalvonta 6.4 Ydinlaitoksen painealtteen lujuuden varmistaminen 6.5 Asettamat huomattomat tärkeät ydinlaitoksella 6.6 Ydinlaitoksen rakennustekniset rakenteet 6.7 Ydinlaitoksen sähkö- ja automaatiolaitteet			

Kuva 2: Uudistetun YVL-ohjeiston rakenne.

aatteet, esim. SAHARA (Safety As High As Reasonably Achievable), syvyysuuntaisuus sekä säteilyaltistuksen ja radioaktiivisten päästöjen rajoittaminen. Lukuun lisättiin myös perussäännökset valmius- ja turvajärjestelyistä sekä lainvastaisen toiminnan torjumiseksi tarpeellisten voimakeinojen oikeutusperusteista.

YEA:sta lakiin siirrettiin keskeiset luvan haltijan organisaatiota koskevat vaatimukset.

Luvussa on lisäksi täsmälliset valtuutussäännökset, joiden nojalla valtioneuvosto voi asettaa yleisiä turvallisuusmääräyksiä eli asetuksia ja STUK yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia eli YVL-ohjeita.

VNA ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta

Säädökseen on lisätty ydinvoimalaitoksen sijoituspaikkaa, rakentamista, käyttöä ja käytöstä poistoa koskevat vaatimukset. Asetus sisältää säännökset oletettujen onnettomuuksien jaosta luokkiin 1 ja 2, oletettujen onnettomuuden laajuudesta sekä näihin liittyvistä säteilyaltistuksen raja-arvoista.

Asetukseen on lisätty turvallisuuden määräaikaisarviointia ja ikääntymisen hallintaa sekä polttoaineen ja radioaktiivisten jätteiden käsittelyä ja varastointia koskevat vaatimukset. Säädös ulottuu myös luvan haltijan organisaatioon kattaen johtosuhteet, vastuut ja käytettävissä olevan asiantuntemuksen.

VNA ydinenergian käytön turvajärjestelyistä

Turvajärjestelyjen suunnitteluperusteita koskevia vaatimuksiin on lisätty varautuminen terroristiseen toimintaan. Säädökseen on lisätty henkilöturvallisuutta, turvaluovontaa, turvahenkilöitä ja uhkatilanteisiin varautumista (esim. koulutus ja voimankäyttövälineet) koskevat yksityiskohtaiset vaatimukset.

Ydinalan turvajärjestelyjen neuvottelukuntaa koskevat säännökset on sisällytetty asetukseen.

VNA ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyistä

Asetukseen on lisätty valmiustilanteita koskeva luokitus ja ydinvoimalaitoksen lähi-alueita (voimalaitosalue, suojavaiohyke ja varautumisalue) koskevat säännökset. Säädös kattaa valmiustilanteen purkamisen ja sisältää vaatimukset voimalaitosalueella olevan henkilöstön koulutuksesta ja turvallisuudesta huolehtimiseksi.

VNA ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta

Asetuksessa on yhdistetty valtioneuvoston päätökset voimalaitosjätteiden loppusijoituslaitoksen ja käytetyn ydinpoltoaineen loppusijoituksen turvallisuudesta. Samalla säädöstä on yleistetty niin, että se kattaa kaikkien ydinjätteiden loppusijoituksen. Erityisesti loppusijoituslaitoksen ra-

kentamista ja käyttöä koskevia vaatimuksia on lisätty.

VNA ydinenergia-asetuksen muuttamisesta

Ydinalan kaksikäyttötuotteiden vientivalvonta on poistettu YEL:n soveltamisalasta, joten vientiä koskevat säännökset kumotaan ydinenergia-asetuksesta. YEA:sta on nostettu lakiin perusvaatimukset koskien ydinenergian käytössä tarvittavaa henkilökuntaa. Rakentamis- ja käyttö lupaa haettaessa STUKille toimitettavaksi edellytettävien asiakirjojen luetteloa (YEA 35 § ja 36 §) on täydennetty vastaamaan YVL-ohjeistossa esitettyä.

Uudistettu säännöstö osaksi valvonnan arkipäivää

Ylemmän tason ydinturvallisuussäännöstön päivittäminen luo erinomaisen pohjan YVL-ohjeiston uudistukselle (kuva 2), joka on tarkoitus saattaa loppuun vuoden 2011 mennessä. Ohjeiston uudistuksen jälkeen Suomessa noudatettava alan säännöstö on sisällöltään ja rakenteeltaan yhdenmukainen ja moderni kokonaisuus, joka luo vankan pohjan viranomaisvalvonnan toteuttamiselle.

Mari Andersin
Lakimies
Säteilyturvakeskus
mari.andersin@stuk.fi

Kuulumisia Saksasta

Kun suomalaiset ydinvoimainsinöörit valmistelevat lukuisia PAP-hakemuksia, heidän saksalaiset kollegansa vetävät osavaltioita oikeuteen. Kolmella laitossyksiköllä on ajankohtaista soveltaa lakia ydinvoimasta luopumisesta. Luovuudella ja nokkeluudella tavoitellaan sulkemisajankohdan siirtoa ainakin seuraavien vaalien yli. Nousseiden energiakustannusten seurauksena yleinen mielipide ydinvoimasta on jo paranemaan päin. Yleistilanne on kuitenkin edelleen negatiivinen, mikä näkyy vahvasti mediassa. Yksilötasolla saattaa joutua lähes syrjinnän uhriksi ammattinsa vuoksi.

Jo asuntoa etsiessä törmäsin kulttuuri-eroihin ja ydinvoiman huonoon suosioon Saksassa. Kun miellyttävä asunto on löytynyt, asuntoa etsivä tekee paikallisen tavan mukaan omistajalle virallisen anomuksen. Siinä tulee erityisesti osoittaa maksukyky, mutta myös nuhteettomuutta. Anomukseen on liitettävä viimeisimpiä palkkakuitteja tai kopio uudesta työsopimuksesta.

Asuntovälittäjä piti hakemustietojani erinomaisina. Saksalaiset asuvat huomattavan yleisesti vuokralla, joten mm. aiempi omistusasunto Suomessa herätti erityistä luottamusta. Kaikki sujui kuin rasvattu, kunnes vuokraisäntä ja -emäntä näkivät työsopimuksessani nimen AREVA. He eivät voineet kuvitellakaan vuokraavansa asuntoaan henkilölle, joka edustaa "ydinkatastrofia ja taantumusta".

Omistajapariskunnalla oli varsin ideologiset näkemykset ekologiasta ja maailman menosta yleensäkin. Vuokravälittäjä oli yhtälailla puulla päähän lyöty kuin minäkin. Vuokravälittäjä puhui heidän kanssaan puhelimesta kauan ja kauniisti. He olisivat vielä hyväksyneet työnantajani, jos olisin kuitenkin ollut jollakin ei-ydinteknisellä osastolla töissä. No, OL3-projektihan oli tällä kertaa se kyseenalainen meriitti, jolla pääsin heistä onneksi lopullisesti eroon.

Jos alku oli noin kivinen, niin mitähän olisi seurannut tulevaisuudessa!

Saksalaisetkin takoivat Sammon

Uusiutuvia sähköntuotantomuotoja, kuten aurinko- ja tuulisähköä tuetaan lakisääteisillä syöttötariffeilla. Paikallisen jakeluverkkoyhtiön on ostettava sähkö laissa säädettyllä hinnalla. Tuottajan näkökulmasta järjestelmä antaa hintatakuun jopa kymmeniksi vuosiksi eteenpäin.

Tuet ovat varsin mittavia. Lainsäätäjän erityissuosiassa on ollut aurinkoenergia, jolla on parhaat syöttötariffit. Kun tuottajahinta sähköpörssissä on 5-6 c/kWh ja sähkö yksityiskuluttajalla siirtoineen ja veroineen maksaa tyypillisesti 20 c/kWh, aurinkosähkön tuottaja saa 45-60 c/kWh. Tämä hintataso taataan aurinkopaneelin ostajalle seuraavaksi 20 vuodeksi. Nopeat investoinnit saavat parhaat tuotot, koska 20 vuoden hintatakuu on sidottu käyttöönottovuoteen. Uusien sopimusten tariffi on aina 5% edellisvuotta huonompi.

Erikoista lain soveltamisessa on, että syöttötariffin saa myös itse kuluttamalleen sähkölle. Koko tuotanto myydään takuuhinnalla paikalliselle energiayhtiölle ja oma kulutus ostetaan normaalilla markkinahinnalla takaisin. Omakotitalon omista-



ja saavuttaa 30 000 euron aurinkopaneeli-investoinnilla noin 3500 euron vuositulot, jos talon katto sattuu olemaan oikeaan ilmansuuntaan. Tulo luonnollisesti pienenee jonkin verran 20-vuotisjaksolla, kun omaan kulutukseen ostettava sähkö kallistuu.

Tuotantokustannus 500 euroa megawattitunnilta

Olkiluodon projektiviiveet tuntuvat pikkumurheilta verrattuna Mülheim-Kärlichin painajaiseen. Myös tämä projekti myöhästyi pahasti, sillä rakennusaika oli kymmen-



Neckarwestheim 1 on ensimmäisiä tuotantokattonsa saavuttavia laitoksia. Kuva: Felix König (copyright).

kunta vuotta. Jo projektiaikana pinnan alla kyti viiveitä suurempi ongelma. Laitospaikka on seismisesti aktiivisimpia alueita Saksan mittakaavassa. Projektin alkumetreillä rakennuspaikkaa päätettiin siirtää 70 metriä. Uusi paikka oli seismisesti edullisempi. Viranomaisten kanssa sovittiin, että muutoksen muutoseikat voidaan hoitaa ns. toisen luvitusvaiheen aikana. Laitosyksikön suunnitteluperusteet vastasivat alu-

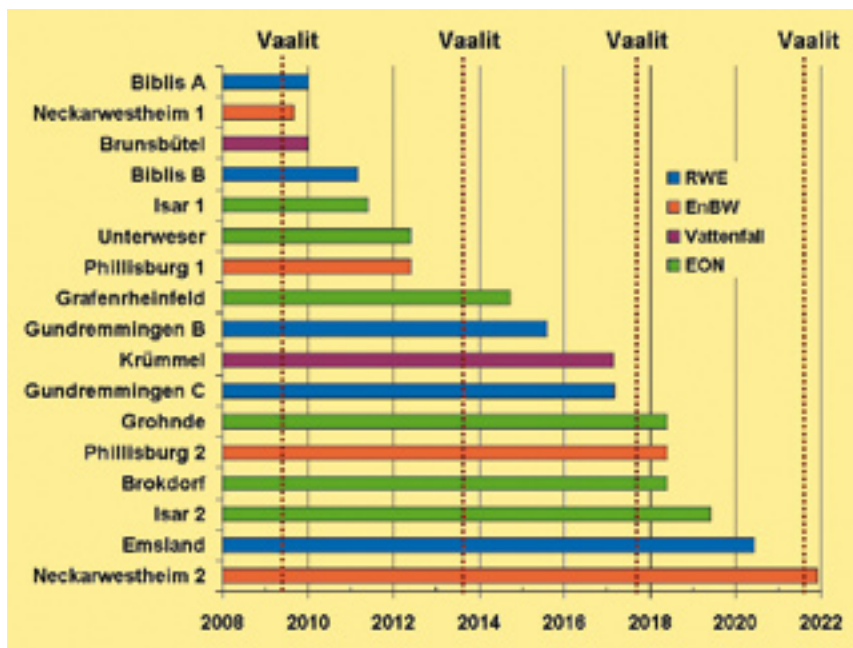
een seismisiä olosuhteita, joten kyseessä oli rakennusluvan muutos eikä niinkään ydinvoimaviranomaisen siunausta vaativa suunnitteluperustemuutos.

Hankkeen vastustajat kyseenalaistivat rakennuspaikan siirron ja haastoivat luvanhaltijan oikeuteen. Vastustajiin lukeutui erilaisia ympäristöjärjestöjä, mutta yllättäen myös lähes kaikki naapurikaupungit. Heidän näkemyksensä oli, että lain

mukaan rakennusluvituksen ensimmäinen vaihe olisi pitänyt uusua, kun rakennuspaikka siirrettiin. Muutoksen luvitus toisessa vaiheessa oli siten lainvastainen ja lainvoimaton.

Laitosyksikkö tahdistettiin ensimmäisen kerran verkkoon vuonna 1986. Tuotantovaihe kesti kokonaiset 13 kuukautta. Sitten yksikkö ajettiin alas oikeuden määräyksellä, sillä luvituksen epäselvyydet oli-





Sähköntuotannon päättymisen ajankohta laitosyksiköittäin.

vat ratkaisematta. Oikeusprosessi kesti 10 vuotta ja kulki Saksan kaikkien oikeusportaiden kautta. Lopullinen tyrmäys tapahtui korkeimmassa oikeudessa vuonna 1998. Missään vaiheessa ei kyseenalaistettu laitoksen turvallisuutta, vaan kyse oli puhtaasti rakennusluvituksen muutoseikasta. Sen korjaaminen olisi ainakin teoreettisesti ollut täysin mahdollista aloittamalla rakennuslupa uudelleen sen ensimmäisestä vaiheesta. Poliittisesti korjaus olisi ollut kuitenkin mahdottomuus. Uusia lupia tuskin olisi enää herunut, sillä hallitus valmisteli jo päätöstä luopua ydinenergiasta. Voimayhtiö päätti aloittaa laitoksen käytöstäpoiston valmistelun.

Juridisesti katsottuna kyseessä oli yksiselitteisesti voimayhtiön virhe, joten kustannukset jäivät energiayhtiö RWE:n kannettavaksi. Laitosyksikön rakennuskustannukset olivat noin 3,5 Mrd euroa. Ylläpidon ja meneillään olevan käytöstäpoiston kokonaishinnaksi tulee noin 1,5 Mrd euroa. Huikeita summia laitokselle, joka tuotti elinkaarensa aikana sähköä vaivaiset 10 terawattituntia.

Pääsin vierailemaan laitosyksiköllä vuosina 1996 ja 2007 sekä samalla kuulemaan tilanteesta ja kokemuksista. Tarina on pai-

najainen myös työntekijöiden kannalta. Henkilöstön vire oli toiveikas, kun yritettiin aina uudelleen seuraavassa oikeusportaassa. Negatiivisten päätösten yhteydessä olo oli kuin selkään saaneella, sillä ei ollut automaattisesti heti varmaa, haluako työnantaja jatkaa seuraavaan oikeusportaaseen. Henkilöstö oli asennoitunut tekemään töitä voimalaitoksen tuotannon hyväksi. Seisova laitosyksikkö oli monille ammatillisesti valtava pettymys. Ironisesti hiljaista tietoa on alkanut kertyä vasta käytöstäpoiston alettua.

Saksalainen ydinvoimalaitos on hengenvaarallinen työpaikka

Journalistit kirjoittavat edelleen ydinvoimasta negatiivisesti ja tarkoitusshakuisesti. Toki iltalehdet, Nykyposti, Seiska jne. pystyvät samaan kummassakin maassa. Sen sijaan ns. laatulehtien moraali on Suomeen verrattuna heikko. Jos ydinvoimasta julkaistaan Saksassa jokin riippumaton tutkimus, raportista poimitaan yksi ainoa kohua lietsova lause. Tarkoitushakuisesti onohdetaan sen ympärillä olleet 20 tärkeämpää lausetta. Poimittua lausetta riepotellaan sitten valtamedioissa ainoana totuutena päivätolkulla. Muut näkemykset eivät yk-

sinkertaisesti pääse järjestelmästä läpi julkisuuteen saakka.

Eräällä laitoksella sattui valitettava kuolemaan johtanut työtapaturma, jossa nosturin koukulla tönäistiin kaksi työntekijää kaiteen yli. Pudotusta oli lähes 20 metriä, joten selviämismahdollisuudet olivat huonot. Työtapaturma oli lehdistölle toisijainen asia. Herkullisinta oli, että se sattui ydinvoimalaitoksessa. Tapahtumaa otsikoitiin Hesarin veroisissa päivälehdissä "Ydinvoimalaitos on Saksassa edelleen hengenvaarallinen työpaikka". Vastaavasti Vattenfall ongelmineen Krümmelissä ja Brunsbüttelissä tuomittiin nopeasti voimayhtiöksi, joka käyttää ikivanhoja ja häiriöherkkiä laitoksia. Kyseiset laitosyksiköt otettiin käyttöön vuosina 1984 ja 1977.

Kun hallitus aikanaan teki päätöksen ydinvoimasta luopumisesta, noin 10 000 alan ammattilaista oli kokoontunut pääkaupunkiin osoittaakseen mieltään alan ja työpaikkojensa puolesta. Tapahtuma ei ollut ylittänyt televisiointikynnystä. Kun kyse on ydinvoimavastaisuudesta, TV-uutisiin pääsyyn riittää viisi aktiivista, pätkä ketinkiä ja käytetyn polttoaineen kuljetussäiliö.

Herkkää yleistilannetta kuvaa modernilla tavallaan myös vapaa ensyklopedia Wikipedia: laitosyksiköiden kuvauksissa on silmiinpistävästi panostettu vastoin käymisten esilletuomiseen. Kun sana on vapaa, maan kulttuuri ja asenteet putkattavat pintaan, vaikka kyse onkin eräänlaisesta tietosanakirjasta.

Käyttöhäiriö poliittisessa reaktorissa

Saksan puna-vihreä hallitus teki aikanaan ydinvoimasta luopumisessa hyvin perusteellista työtä. Kyseessä ei ole erillinen laki tai asetukset, jonka muodollinen kumoaminen olisi suhteellisen helppoa, jos poliittinen tilanne olisi suotuisa. Alkuperäinen ydinenergilaki nimittäin kirjoitettiin kokonaan uuteen asuun. Jo lain johdanto-osassa määritellään tavoitteiksi: "Ydinenergilain tarkoituksena on lopettaa ydinvoiman kaupallinen käyttö sähköntuotantoon...".

Saksan poliittinen reaktori on silti alkanut yskähdellä. Kun ydinenergiasta päättiin luopua, raakaöljyn hinta oli 20 dollarin tuntumassa tynnyriltä. Edelliset 10 vuottakin olivat olleet stabiileja öljymarkkinoilla, joten luottamus vakaisiin energiamarkkinoihin tuntui perustellulta. Kioton sopimus oli hyväksytty vasta kolme vuotta aikaisemmin ja odotti edelleen Venäjän ratkaisevaa ratifiointia. Hiilidioksidipäästökaupan harjoittelujaksoonkin oli matkaa turvalliset viisi vuotta, eikä sen kustannusvaikutuksistaakaan ollut kovin hyvää käsitystä.

Kuluvan vuoden aikana raakaöljytynnyrin hinta on ollut pääosin 100 dollarin yläpuolella, ellei juuri kirjoitushetken osunutta maailmantalouden kriisiä oteta huomioon. Koska kaukolämpö on maassa harvinaisuus ja kallis sähkökin on poissuljettu lämmitysmuoto, kodit lämpiävät hajautetusti öljyllä, maakaasulla ja vähäisessä määrin kivihiilellä.

Maakaasun hinta seuraa öljyn hintaa, joten energia-asioissa on tapahtunut realismipainotteinen uudelleenherääminen. Muutos näkyy niin yksilö- kuin poliittisella tasolla. Katalysaattorina ovat toimineet alati nousevat lämmitys- ja sähkölasut sekä liittokansleri Gerhard Schröderin uran eteneminen Itämeren kaasuputken mannekiiniksi.

Schröderin uraputki herätti rivikansalaisissa melkoista närää ja havahdutti kansaa energiasta myös poliittisena kysymyksenä, joka ei enää olekaan pelkäämään Saksan sisäinen asia. Erityisesti Venäjä-riippuvuuden kasvattamiseen suhtaudutaan nyt varauksellisesti. Maakaasun tuonti kasvaa koko ajan ja kasvu räjähtää käsiin, jos ydinvoimasta todella luovutaan ja samaan aikaan yritetään karsia ruskoja kivihiilisähkön hiilidioksidipäästöjä. Uusiutuvilla tuotantomuodoilla ei valitettavasti kateta sellaisia tuotantomääriä, vaikka tuotanto lisääntyikin kohtalaista vauhtia syöttötariffien ansiosta.

Saksa on hyvin konservatiivinen maa ja muutokset vievät aikaa. Positiivisemmassa vireessä huolimatta on edelleen pitkä

matka varsinaiseen ydinvoimamyönteisyyteen. Uusien laitosten rakentamisesta on vielä turha tehdä mielipidekyselyjä, joten tutkimuksissa kysytäänkin, tulisiko laitosten käyttöä jatkaa nykyisestä. Joulukuussa 2007 käyttöä pidennysten puolesta oli 36 % ja vastaan 58 % kansasta. Heinäkuussa 2008 puolesta oli jo 44 % ja vastaan 51 % vastaajista.

Poliittinen keskustelu käyttöä pidennyksistä on vilkasta. Informaatioisota kuuluu asiaan ja huhujen mukaan myös vastustavat poliitikot ovat jo pidennysten kannalla, mutteivät voi sitä virallisesti myöntää, koska pettäisivät äänestäjensä. Käyttöä pidennyksiä on ehdotettu myös poliittiseksi kauppatavaraksi: pidennysten vastapainoksi ydinvoimaa kannattavien poliitikkojen olisi jotenkin sitouduttava siihen, etteivät koskaan ota esiin uusien laitosyksiköiden rakentamista.

Eloonjäämististelua positiivisemmän hallituksen toivossa

Kun laki ydinvoimasta luopumisesta tuli voimaan, kullekin laitosyksikölle sovittiin tuotantokatto. Yksikön käytöstäpoisto alkaa, kun sovittu määrä terawattitunteja on tuotettu. Ensimmäiset yksiköt alkavat lähestyä tuotantokattoaan, joten on tullut aika soveltaa ydinenergialakia käytäntöön. Insinööri on kekseliäs ja niinpä paria laitosyksikköä ajetaan osateholla. Pidempi tarkastusseisokkikin on toimiva tapa estää terawattituntien kertymistä. Tuotantokaton täytyminen siirtyy tällöin vaalien yli, jospa sittenkin seuraava hallitus olisi ydinvoimamyönteisempi!

Yksittäistapauksissa mietitään jopa tehonkorotuksia. Investoinnissahan ei sinänsä ole mitään järkeä, koska oma tuotantobudjetti tulee aiemmin täyteen. Tehonkorotuksen hyödyntämisaikakin jäisi varsin lyhyeksi.

Taustalla on taktikointia ja näkemys, että tuotannon lopettamiselle asetettu takaraja ei ole realistinen ainakaan viimeisten laitosyksiköiden osalta. Sähkön markkinahintakin lienee ydinvoimasta luopumisen loppumetreillä aivan muuta kuin tänään.

Tehoa korottaneella laitosyksiköllä on silloin tuottavuus huipussaan.

Eloonjäämististeluun kuuluu myös tuotantobudjettien siirto laitosyksiköltä toiselle, yleensä uudemmalla vanhemmalle. Virallinen selitys on tuotannon kokonaistaloudellisuus ja työpaikat. Jos laitospaikkala on useita yksiköitä ja yksi niistä suljetaan nyt ja loput 15 vuoden kuluttua, menetetään mm. revisioiden toteutuksen synergiaetuja. Ehkäpä olisi järkevää ajaa kaikkia yksiköitä noin 10 vuotta. Yhtä tärkeänä tavoitteena on pitää käytöstäpoistouhan alla oleva vanhin laitos verkossa yksien tai jopa kaksien vaalien yli.

Tuotantobudjetin siirtoja on haettu useammalle yksikölle eri voimayhtiöiden toimesta ja vieläpä useammassa osavaltiossa. Osavaltioiden ympäristöministeriöt ovat pääosin vihreiden vetämiä, joten kaikki anomukset on systemaattisesti hylätty. Eloonjäämististelu on saanut varsin kovia piirteitä, sillä voimayhtiöt ovat haastaneet osavaltiot oikeuteen hylkäämispäätöksistä! Kaikki kortit katsotaan loppuun saakka.

Voimayhtiöillä on vahva usko, että yleisen mielipiteen käänös parempaan johtaa poliittisella kentällä käyttöä pidennyksiin. Ydinvoima-alan kvartaali on vuosikymmen, joten aika on käymässä vähiin. Vuoteen 2013 mennessä peräti seitsemän laitosyksikköä kokee kohtalonsa, mikäli seuraavat liittovaalit menevät alan kannalta kehnosti.

Aika näyttää onko muutosnopeus riittävä, jotta tehtyjä päätöksiä peruttaisiin. Uusimpien laitosyksiköiden osalta toivossa voi elää vielä kolmien vaalien yli. ■

Mika Yli-Kauhaluoma
Projekti-insinööri
AREVA NP GmbH
mika.yli-kauhaluoma@areva.com

Turvallisuustutkimuksen näköalat Suomessa turvallisuusviranomaisen kannalta

Artikkeli on julkaistu aiemmin ATS Ydintekniikan numerossa 4/1979, ja se perustuu VTT:n onnettomuusanalyysiprojektin informaatiotilaisuudessa 13.6.1979 pidettyyn alustukseen. Lukija voi itse arvioida, miten artikkelissa esitetyt asiat pitävät paikkansa tänään, vajaan 30 vuotta artikkelin kirjoittamisen jälkeen.

Reaktoriturvallisuustutkimuksen oleellisimpiä tavoitteina voitaneen pitää tiedon lisäämistä ja valmiuksien hankkimista ydinenergian tuotantoa koskevien suunnitelmien ja päätösten tekoa sekä suunnitelmien toteutuksessa esiintyvien tehtävien hoitoa varten. Näihin tavoitteisiin tulisi pyrkiä optimitavalla ottaen huomioon omat voimavarat, aikatekijät, mahdollisuudet osallistua muualla tehtäviin tutkimuksiin tai saada muuten tietoa niistä ja mahdollisuudet hyödyntää tätä tietoa omia tarpeita ajatellen.

Tiedon ja valmiuden hankkimisessa tulisi vähimmäistavoitteena olla sellaisten perustietojen ja toimintavalmiuksien saaminen, että

- pystytään arvioimaan tehtyjä tutkimuksia, analyyseja ja niissä käytettyjä menetelmiä (koejärjestelyt, tietokoneohjelmat, korrelaatiot, tulokset)
- pystytään käyttämään asiantuntijoita, heidän valmiuksiaan sekä kommunikoimaan heidän kanssaan tehtävän suoritusta koskevista näkökohdista
- pystytään muualta saatujen tietojen, menetelmien ja tulosten muokkaamiseen meidän tarpeisiimme soveltuviksi.

Valikoitu osallistuminen kansainväliseen ydinenergian tuoton turvallisuutta koskevaan tutkimustoimintaan on meidän oloissamme varmaan merkittävin tekijä edellä viitattuihin tavoitteisiin pyrittäessä. Oma painonsa on kuitenkin korkeakouluissamme ja tutkimuslaitoksissamme sinänsä olevalla valmiudella erilaisten reaktoriturvallisuuden osa-alueiden tutkimiseen sekä mahdollisuuksilla tämän oman valmiuden kehittämiseen. Tutkimusvalmiuden omavaraisuuden rajaaminen ei ole kovin yksikäsitteinen tehtävä.

Turvallisuusviranomaisen tarpeet

Turvallisuusviranomaisen tehtävien hoitoa suoranaisesti palvelevia tutkimusaloja ovat riippumattomien toiminta-, luotettavuus-, häiriö- ja onnettomuusanalyysien suorittamisen tai suorituttamisen mahdollistava tutkimus- ja kehitystoiminta, erityisalueisiin liittyvän tiedon syventämiseen tähtäävät tutkimukset, valvontatyön yhteydessä esiintyvien yksittäisten ongelmien tutkiminen, uusien laityyppien hyväksyttävyyden arviointia palvelevat tutkimukset, valvontavalmiuden kehittämiseen liittyvät tutkimukset sekä tutkimustyöt, jotka palvelevat henkilöiden kouluttamista valvontatehtäviä suorittamaan.

Tulevaisuuden tutkimusnäköalat

Viranomainen suorittaa, yleensä suorittaa, erilaisia riippumattomia analyyseja ydinvoimalaitoksia koskevien lupahakemusten käsittelyn ja rakentamisen valvonnan, jossakin määrin myös käytön valvonnan, yhteydessä.

Tällaisten analyysien tarve kytkeytyy vahvasti ydinenergian tuotantolaitosten rakentamishjelmaan. Käytön valvonta ja etenkin käytössä esiintyvät häiriö- ja onnettomuustilanteet (sekä kotimaassa että ulkomailla mahdollisesti tapahtuvat) saattavat johtaa jonkinasteiseen lisäanalyysien ja niihin kytkeytyvän tutkimustoiminnan tarpeeseen.

Erityisalueisiin liittyvää tiedon syventämistä palvelevaa tutkimustoimintaa voi olla hyvinkin monenlaista. Käytännössä toiminta on jakautunut kolmelle päälinjalle: kansainvälisiin tutkimusprojekteihin osallistuminen, puhtaasti kotimainen korkeakouluissa tai tutkimuslaitoksissa tapahtuva toiminta

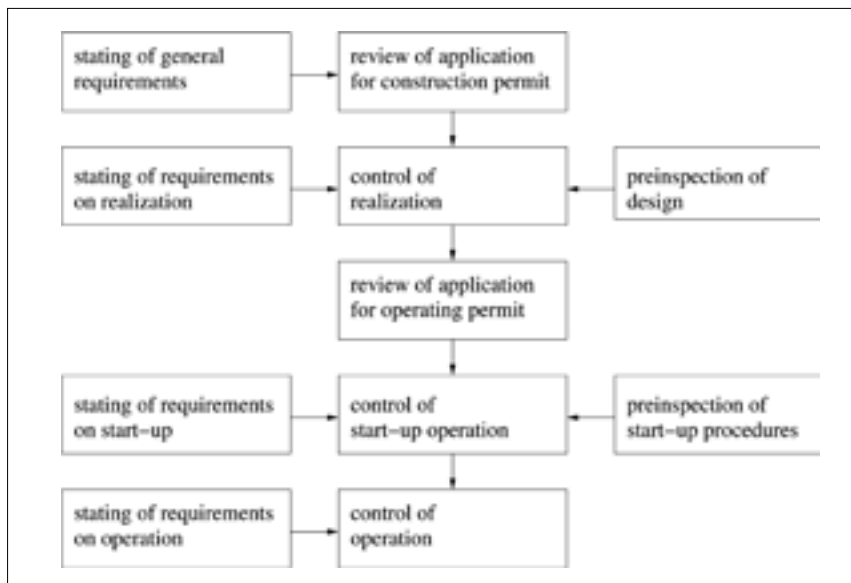
sekä valvontaviranomaisen tilaamat tutkimukset, jotka eivät kuulu riippumattomien analyysien luokkaan.

Kansainvälisten tutkimusprojektien alueella voidaan osallistumista LOFT-, NOR-HAV-, CSNI-standardiprobleema-, VTI- ja Marviken-projekteihin pitää viranomaisen kannalta kohtalaisen oikeaan osuena toimintana. Se on palvelut sellaisten toimintaedellytysten luomista, ettei esimerkiksi merkittävää tarvetta ole syntynyt käyttää ulkomaista tukea varsinaisessa valvontatyössä. Toiminta on lisäksi palvelut mm. turvallisuustason määrittelyä sekä kuvan saamista turvallisuusmarginaalista, epävarmuustekijöistä ja kriteerien oikeellisuudesta. Valikoitua kansainvälisiin tutkimusprojekteihin osallistumista, joka esimerkiksi tähtää valvontatyössä tarpeellisten laskentamallien parantamiseen, korrelaatioiden ja kriteerien täsmentämiseen ts. nykyisen analysointivalmiuden oikeamittaiseen ajan tasalla pitoon, voidaan valvontaviranomaisen puolelta suositella.

Puhtaasti kotimaisen, korkeakouluissa ja tutkimuslaitoksissa tapahtuvan tutkimustoiminnan ohjauksessa on meidän oloissamme oltava hyvin valikoiva. REWET-koheet ja suunnitellut VVER-tyyppisen kanavan erityispiirteitä valaisevat tutkimukset palvelevat hyvin myös viranomaisen tiedon syventämisen tarpeita.

Meneillään olevista säteilyturvallisuuslaitoksen tilaamista tutkimuksista voidaan mainita painevesireaktorilaitoksen ja kiehutusvesireaktorilaitoksen dynamiikkamallin kehittäminen ja verifiointi, ruostumattomien terästen jännityskorroosiotutkimus, ydinvoimalaitosten betonirakenteiden epälineaarinen analyysiohjelma, ydinvoimalaitosten suojarakennuksien jänneterästen korroosiota koskeva tutkimus sekä ydinvoimalaitosten suojarakennusten tiiveyttä koskeva tutkimus.

Tämäntapaisten tutkimusten teettämistarvetta näyttää olevan jossain määrin jatkuvasti. Tarveimpulsseja tulee mm. vaatimustason tarkentamisesta, ydinenergia-alan yleisestä kehitymisestä ja onnettomuustapauksista.



Ydinvoimalaitoksen turvallisuusvalvonnan päävaiheet.

Tutkimus valvontatyön tukena

Valvontatyössä esiintyy tilanteita, silloin tällöin jopa vaikeitakin, joissa esimerkiksi mitoituksen tai itse tuotteen hyväksyttävyyttä ei voi suoraviivaisesti standardeihin, kriteereihin tms. perustuen ratkaista. Tällöin valvontaviranomainen tavallisesti joutuu turvautumaan asiantuntija-apuun ja tilanteesta riippuen kyseeseen voi tulla mitattavakin tutkimus- ja selvitystyö. Tällaistenkin tutkimusten tarve kytkeytyy vahvasti ydinvoimalaitosten rakentamishjelmaan. Voitaneen todeta, että jokaisen ydinvoimalaitosyksikön toteuttamiseen niitä liittyy.

Uusien laitosyoppien hyväksyttävyyttä palvelevat, viranomaisen kannalta aiheelliset tutkimukset ja selvitykset voivat muotoutua kohtalaisen laajoiksi laitosyoppiin riippuen. Tällöin tulevat kysymyksen toiminta-, luotettavuus-, häiriötilanne-, onnettomuus- ja reaktoridynaamiset analyysit, polttoaineanalyysit, rakenneanalyysit, rakenneainetutkimukset sekä rakennustekniset erilliselvitykset. Uuden laitostyyppin ollessa kyseessä tehtävien suoritukseen liittyy yleensä tietokoneohjelmien tai muun valmiuden kehittämistä ja kokeellisia tutkimuksia.

Valvontavalmiuden kehittämistä palvelevat tutkimukset ovat yleensä valvontaviranomaisen sisäistä, esimerkiksi pätevöitymistutkimuksina suoritettua, tutkimus-

toimintaa. Tällaisia tutkimuksia voi olla tarpeen teettää myös korkeakouluissa ja tutkimuslaitoksissa.

Lopuksi on syytä todeta, että esimerkiksi sekä viranomaiset että teollisuus tarvitsevat tehtävien ja henkilökuntarakenteen johdosta uutta, ydinenergia-alan eri alueilla kokemusta saanutta työvoimaa. Turvallisuustutkimuksen tulisi olla mitoitettu siten, että tällaista kokemusta syntyy korkeakoulujen antaman perusopetuksen täydennyksenä.

Päätelmä

Turvallisuustutkimuksen näköalat Suomessa, ei varmaan pelkästään viranomaisen kannalta, ovat paljolti ydinvoimalaitosten rakentamishjelmiin sidottuja. Vaikka tällä hetkellä ollaan todennäköisesti tietynasteisen alan hiljaiselon kynnyksellä, on syytä jatkaa kansainvälisiin tutkimusprojekteihin osallistumista sekä omakohtaista tutkimus- ja kehitystyötä saavutetun valmiuden ajan tasalla pitämiseksi. Tähän kuuluu mm. laskentamallien parantamistoiminta ja valmiuden kehittäminen uusienkin tilanteiden käsittelyyn.

APR1400

Esittäjät: Yong Soo Kim,
Korea Hydro and Nuclear Power
Soon Chul Yun,
Korea Power Engineering Company

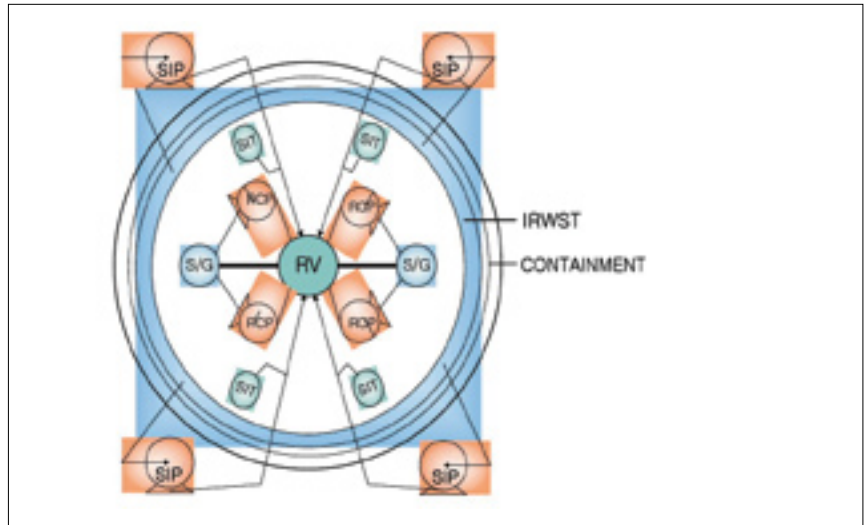
Atomiteknillisen seuran syysseminaarissa 24.10.2008 Hotelli Linnassa Helsingissä olivat aiheena eri voimalaitostyyppit ja kokemukset OL3:n rakentamisesta. Kaikille Suomessa parhailaan vireillä olevissa periaatepäätöshakemuksissa mainituille potentiaalisille laitoistoimittajille oli lähetetty kutsu tulla esittelemään laitostyyppejään ATS:n syysseminariin. Seminaarissa esiteltiin kaksi laitostyyppiä: japanilainen EU-APWR- ja eteläkorealainen APR-1400-painevesireaktori.

Etelä-Korealla on ollut selvä halu saada oma kansallinen tietotaito ydinvoimalaitoksen rakentamiseksi. Ensimmäinen ydinvoimalaitos Etelä-Koreassa otettiin kaupalliseen käyttöön 1978. 1980-luvulla korealaiset alkoivat valmistaa ydinvoimalaitoskomponentteja itse eivätkä enää tilanneet ydinvoimalaitoksiaan "avaimet käteen"-periaatteella. 1990-luvulla korealaiset ottivat jo itse päävastuun ydinvoimalaitosurakoista, mutta teettivät vielä suunnittelun ulkomaisella toimittajalla.

2000-luvulla rakennetut kuusi uutta ydinvoimalaitosta ovat kaikki olleet täysin korealaisvalmisteisia ja kokonaan korealaisten suunnitteleamia.

Parhaillaan rakenteilla olevan "parannetun" OPR1000:n seuraavaa kehitysversiota kutsutaan APR1400:ksi. Ensimmäiset APR1400:t valmistuvat Shin-Koriin 2013. Niiden pohjavalut on aloitettu kuluvan vuoden marraskuussa. APR1400:aa tarjotaan Suomeen n. 1600 MWe painevesilaitoksena, joka perustuu parannettuun OPR1000:een.

APR1400:n suunnittelun lähtökohtana on ollut parannettu turvallisuustaso, parempi kustannustehokkuus, sujuva käyttö ja kunnossapito sekä alhaiset säteilytasot. Kun APR1400:ten rakentamisessa päästään



APR1400:n primääripiirin ja hätäruiskutusjärjestelmän kaavio (Lähde: KHNP)

vauhtiin ja kokemuksesta otetaan opiksi, Yun uskoo, että APR1400:n valmistusaika saadaan lyhennettyä 48 kuukauteen.

APR1400 on 4000 MWt kaksilooppinen painevesilaitos. Reaktorista lähtee kaksi kuumaa haaraa, jotka johtavat kumpikin yhdelle höyrystimelle, joilta kummaltakin palaa kaksi kylmää haaraa takaisin reaktoriin. Jokaisessa kylmässä haarassa on oma pääkiertopumppunsa. Hätäjäähdytysyhteet liittyvät suoraan reaktoripainesäiliöön. Reaktori toimii 158 bar paineessa

Parannuksista edellisiin malleihin kannattaa mainita, että reaktoripaineastiassa ei ole hitsisaumaa polttoainesydämen tasolla. Reaktorisydämen mitoitus perustuu suunnittelupoistopalamaan 55 MWd/kgU. APR1400:n paineistimen tilavuutta on kasvatettu OPR1000:een verrattuna, jotta reaktori ei olisi niin herkkä erilaisille transienteille. Höyrystimissä on varaa 10 % tuubien tukkimiselle.

APR1400-yksiköt on suunniteltu rakennettaviksi pareittain. Kaksoisyksiköillä saavutetaan arviolta n. 10-15 % kustannussäästö suunnittelun synergiaetu-

jen kautta verrattuna kahteen yksittään rakennettuun laitokseen verrattuna. Lisäksi laitokset jakavat keskenään yhteisen apurakennuksen. Nykyiset korealaiset ydinvoimalaitokset toimivat 12 kk käyttöjaksoilla. Osittain korealaiset ovat kokeilleet myös 18 kk käyttöjaksoja. APR1400:aa on suunniteltu ajettavan vähintään 18 kk pituisin käyttöjaksoin.

Vakavien onnettomuuksien hallinta perustuu APR1400:ssa reaktorikuopan tulvitukseen. Turvallisuudesta on huolehdittu täysin digitaalisella automaatiolla ja neliredundantisilla turvallisuusjärjestelmillä. Sydänvauriotaajuuden tavoitteena on alle 1E-5 ja suuren päästön taajuuden tavoitteena alle 1E-6, jotka tullaan alittamaan.

DI Toivo Kivirinta
Turvallisuusinsinööri, PSA
Fortum Generation,
Loviisan voimalaitos
toivo.kivirinta@fortum.com

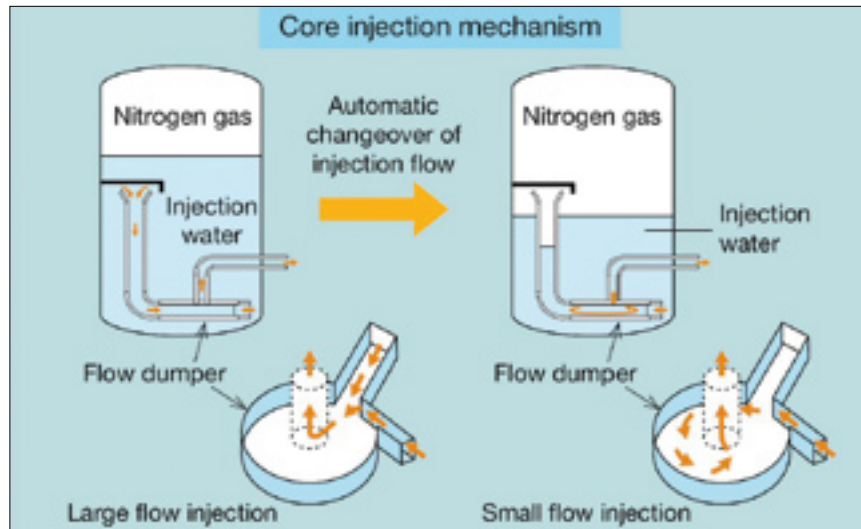
EU-APWR

Esittäjät: Hiroto Kawahara, Engineering Manager,
Makoto Yamagishi, Engineering Manager,
Masafumi Utsumi, Engineering Manager
Nuclear Energy Systems Engineering Center, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

EU-APWR on Mitsubishi Heavy Industriesin kauppaama 1700 MWe:n painevesilaitos, joka jatkaa yhtiön 1970-luvulla alkanutta painevesireaktorilinjaa: 1970-luvulla valmistui 9 yksikköä, 1980-luvulla 7 yksikköä, ja tällä hetkellä on rakenteilla kaikkiaan 24. MHI:n painevesilaitosyksikkö, Tomari 3. Lisäksi lisensointivaiheessa on kahdesta 1538 MWe:n APWR-laitosyksiköstä muodostuva Tsu-ruga 3/4-kaksoislaitos. EU-APWR:n rinnalla kehitetään sisarlaitosta US-APWR, joka ei merkittävästi poikkea tästä.

EU-APWR:n reaktorisydän koostuu 257 kappaleesta 4,2 m:n polttoainenuppuja. Neutronilouden parantamiseksi sydämen ulkopuolella on raskas rautaheijastin. Polttoaineessa käytetään palavana myrkyä gadoliniumia enimmillään 10 % pitoisuudella. Sydämen lämpöteho on 4451 MWth. In core -instrumentointi asennetaan yläkautta.

Laitos on "perinteinen" neliluoppilaitos: pääkiertopiirejä on neljä, samoin höyrystimiä. Kunkin höyrystimen lämmönsiirtopinta on 8 500 m². Höyrystintuubien läpimitä on höyrystimen koon kurissa pitämiseksi pienennetty 7/8 tuumasta 3/4 tuumaan. Laitoksessa on yksi generaattori, jota pyörittää yksi korkeapaine- ja kolme matalapaine-turpiinia. Turpiinien testaamiseen MHI:llä on Takasago Machinery Works -niminen tes-



EU-APWR:n hätäjähdytysakku ja virtauksenvaimennin (Lähde: MHI)

tausfasiliteetti, jonka esittäjät kertoivat olevan maailman suurin.

Laitoksen erityispiirteistä tuotiin esille mm. se, että sydämen hätäjähdytysjärjestelmän (4 x 50 %) akkudesignin ja passiivisesti toimivan virtauksenvaimenninlaitteen (kuva 1) yhteisvaikutuksesta laitoksessa ei tarvita lainkaan matalapaineista hätäjähdytysjärjestelmää (LHSI). Suojausjärjestelmä on neliredundanttinen ja digitaaliseen automaatioon ("Nuclear Dedicated Digital Platform" - Mitsubishi Electric Total Advanced Control, MELTAC) pohjautuva; joillekin suojuksille on lisäksi olemassa langoitettu varajärjestelmä.

Toinen laitoksen erityispiirre on, että siinä ei ole lainkaan hätädieselgeneraattoreita: turvallisuusjärjestelmien sähkönsaanti on varmistettu yksinomaan (kevyttä polttoöljyä käyttävillä) kaasuturbiineilla. Kaasuturbiinien etuna dieselgeneraattoreihin verrattuna on kompakti rakenne ja toimintavarmuus, huonona puolena pidempi käynnistysaika. EU-APWR:n kaasuturbiinien käynnistysajaksi kerrottiin n. 40 sekuntia (dieselgeneraattoreilla tyypillisesti n. 10 s), mikä on riittävä tälle laitostyyppille.

Suojarakennuksen ulkopuolella on erillinen sekundäärinen suojarakennus, joka sijaitsee apurakennuksissa niissä paikoissa, joihin tulee putkiläpivientejä primäärisuojarakennuksesta. Vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmät kerrottiin tarkastetun Suomen YVL-ohjeita vastaan. Sydänsulan hallinta perustuu levytykseen ja tulvitukseen, ja vakavia onnettomuuksia varten on olemassa kaksi erillistä kaasuturbiinia normaalien hätägeneraattorien lisäksi. ■

Esiintyjiltä kysyttiin mm. seuraavia kysymyksiä:

Onko NRC lisensoinut digitaalisen suojausautomaation?

Paperit ovat olleet sisällä 1,5 vuotta, hyväksyntää odotetaan v. 2009.

Onko kaasuturbiineita jo hyväksytty turvajärjestelmiin?

Station Blackout -generaattoreiksi kyllä, mutta varsinaisiin turvallisuusjärjestelmiin toistaiseksi ei (vanhoissa laitoksissa 40 s käynnistysaika olisi liian pitkä).

Onko MHI:llä kokemuksia kaukolämpösovelluksista?

Ei ole.

DI Riku Mattila
Säteilyturvakeskus
riku.mattila@stuk.fi

Drag ur FiR 1 reaktorns historia

I den här tvådelade artikelserien beskriver skribenten drag i FiR 1 reaktorns historia. Serien är ett komplement till tidigare artiklar i ATS Ydintekniikka. Den reflekterar också några personliga erfarenheter och synpunkter från över 30 års arbete i FiR 1 miljön.

del 2/2

[Fortsättning från
ATS Ydintekniikka 3/2008.]

Det är inte möjligt att i detta sammanhang behandla alla beställningsforskningar och praktiska tillämpningar. De har också delvis presenterats i tidigare artiklar.

Radioisotopproduktion genom bestrålning av inaktiva prover med neutroner i bestrålningsutrymmen i eller nära reaktorhärden tilltog med tiden. Under början av 1980-talet bestrålade enbart laboratoriets analytiksektion ca. 20 000 prover varje år för aktiveringsanalys.

Isotoptekniska analysmetoder

Den isotoptekniska sektionen, inkluderande analytik, som delvis beskrivits i tidigare artiklar, var tidvis av stort omfång med mycket beställningsforskning. Neutronaktiveringsanalys kombinerades framgångsrikt med kemi och andra former av analys. År 1982 utfördes närmare 300 000 grundelementbestämningar i analytiksektionen. Instrumentala metoder trängde med tiden delvis ut neutronaktiveringsanalysen.

Till de nya instrumenten och metoderna hörde bl.a. en superkänslig ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer), RIS (Laser Resonance Ionization Spectrometer) och isotopinducerad röntgenfluorescens (XRF). Analysteknik har tillämpats på många olika slags prover inklusive geologiska prover, stenanalyser och bioanalytik. Gammaspakrometrar med automatiska provbytare konstruerades i laboratoriet. Ett flertal högresolutions Ge och Si detektorer kylde med flytande kväve användes för olika ändamål i flera av laboratoriets sektioner.

En automatisk uranalysator togs i bruk 1975 i anknötning till reaktorns snabba

luftdrivna rörpostsystem för analys av ett stort antal geologiska prover baserad på mätning av fördröjda neutroner. En av analytiksektionens långvariga ledare var FD **Rolf Rosenberg**.

Spårämnesteknik för olika ändamål

Radioisotopteknik, radioaktiv spårämnesteknik, bestrålningskällor och ultraljudsteknik utnyttjades också för olika diagnostiska processstudier i industri. VTTs insatser har behandlats i tidigare artiklar. Hithörande forskning och beställningsarbeten gick sedan 1980-talet under benämningen "processfysik".

Den inkluderade bl.a. processdynamik för industrin, såsom kolmatningssystem, förslitning av smältugnars ytbeläggning, strömningar och förorening i vattendrag, grundvattenmätningar, luftströmningar, akustisk läckagedetektering i fjärrvärme- och vattenförsörjningssystem och tillämpning av matematiska modeller för vattenflöden. I spårämnesteknik injekteras en lämplig radioaktiv isotop i en process och dess transport i systemet följes via radioaktiva mätningar. Till de använda nukliderna hörde bl.a. Br-82, Kr-82, Na-24, Ar-41 och La-140. Bl.a. tillämpades pulshastighetsmetoden baserad på Cs-137/Ba-137m för flödesmätningar.

De lågenergetiska termiska neutronerna kan via strålknippen från de tre strålrören användas för undersökning av materialers strukturer via diffraktion och tomografi. På 1970-talet startades ett *neutronradiografiprojekt* bl.a. för materialundersökningar genom genomlysning av prover med neutroner. Neutronstrålar från termiska ka-

nalen samt från reaktorns tangentiella och vertikala strålrör utnyttjades.

Radioisotopinducerad röntgenfluorescensanalys (XRF) tillämpades på industriella objekt. En nondestruktiv radioisotopmetod användes för mätning av fyllnads-material i papper. Kapningsgammagenomlysning (från Cd) prövades 1972 på stora komponenter utanför tangentiella strålröret och ett vertikalt rör.

Neutroninducerade strålskador i halvledare, isoleringsmaterial mm. har undersökts, och också halvledares gensvar på reaktorns effektpulser. Utomstående kunder har bestrålat och testat elektroniska apparaters strålningsbeständighet.

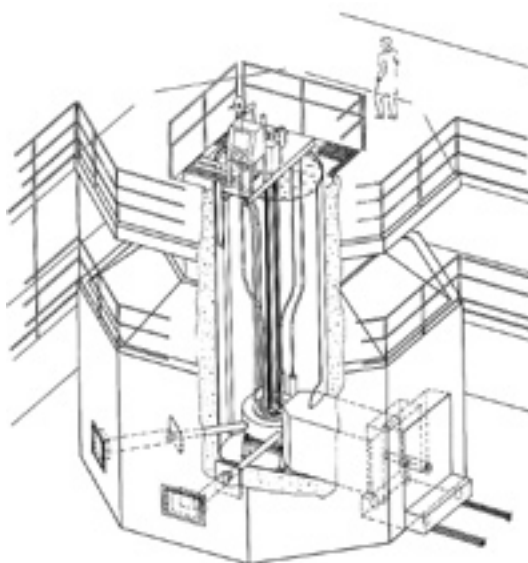
Tillverkning av medicinska isotoper

Reaktorlaboratoriet tillverkade tidvis och behandlade radioisotoper för medicinskt bruk i inhemska sjukhus i samarbete med inhemska medicinska industri. Ett par viktiga radionuklider var Tc-99m levererat till sjukhus i huvudstadsregionen och den kortlivade I-131. Två andra nuklider som producerades för medicinskt bruk var Dy-165 för behandling av ledreumatism och Sm-153.

Kortlivade I-131 tillverkades sedan 1968 genom bestrålning i FiR 1, men importerades senare från Rossendorf i DDR för utportionering i mindre doser via reaktorlaboratoriets isotoplaboratorium. En jodproduktionsenhet och portioneringsanläggning från Ab Atomenergi i Sverige installerades 1968. K-42 och Na-24 lösningar har producerats och levererats för metabolismundersökningar. Laboratoriet har också bistått IAEA i hjälpprogram för utvecklingsländer.



Vy uppifrån av FIR 1 år 1966 med reaktortank och betongskydd.



3-dimensionell ritning av FIR 1 reaktorn.

Isotoptekniska sektionen var under långa tider den största av alla sektioner och år 1972 hade sektionen 21 anställda.

Materialtestning i en het cell

1975 startades ett het cell projekt, ett *materialtestningslaboratorium* i isotoplaboratoriets bottenvåning i första hand för omfattande mekaniska tester av högaktiva bestrålade prover av tryckkärlsång från Lovisa kk. Också andra interna reaktormaterial har undersökts. Hetcellanläggningen färdigställdes 1979.

Denna viktiga och omfattande beställningsforskning i samarbete med VTTs Metallaboratorium (MET) leddes av DI **Matti Valo**. De högenergetiska, snabba neutronerna (> 0,5 MeV) förspredar reaktormaterialen genom dislokationer, förskjutningar av atomerna, och leder till begränsad livslängd för bl.a. tryckkärlet med åtföljande säkerhetsmässiga risker och ökade kostnader.

Materialprover insattes i kk för accelererad bestrålning utanför reaktorhärden med mångfaldigt högre flöde än tryckkärlet. I Lovisa kk fanns installerade specialkonstruerade par av kedjor i varje hexagonalt hörn utanför härden. Efter bestrålning och uttagning installerades nya provkedjor, inklusive neutrondosimetrar baserade

på aktivering och temperaturindikatorer. Därutöver bestrålades prover bl.a. i forskningsreaktorn R2 i Studsvik, Sverige och i KORPUS bestrålningsanläggningen i Dimitrovgrad, Ryssland. Resultaten från den accelererade bestrålningen ger förhandsinformation om tryckkärlsångens förspredning.

De viktigaste provbitarna var av Charpy-typ och testades genom slagprov. Därutöver användes dragstavar och RCT-stavar. Vidare utfördes utmattnings- och metallografiska tester och bearbetning av aktivt material. Till de senare startade vidlyftiga undersökningar hör också i vilken mån och hur materialförspredningen kan återställas genom glödning, termisk upphettning. På basen av resultaten har tryckkärlet i Lovisa 1 och 2 kk upphettats och därmed fått en ökad livslängd. Möjligheterna till andra och tredje upphettningar och en ytterligare förlängning av tryckkärlets användningstid undersöktes.

Mätmetoder för neutrondosor utvecklades

I anknäring till materialtesterna krävdes också bestämning av neutrondosorna för de testade materialen och för tryckkärlet. På basen av den så bestämda relationen mellan provbitarnas neutrondosor och för-

spredning samt uppskattade eller uppmätta neutrondosor för tryckkärlet uppskattas tryckkärlets förspredning och livslängd.

Vid start av Lovisa 1 kk överfördes *neutrondosimeträmätningarna* och den senare planeringen av dosimetrar i de nya provkedjorna till undertecknad. (Se separat artikel i ATS Ydinteknikka 4/2007.) Detta inledde ett vidlyftigt och långvarigt betjäningensarbete för inhemska och utländska kunder. Ett framgångsrikt forsknings- och utvecklingsarbete med relativt små resurser startades och genomfördes också.

De i början stora osäkerheterna, upp till tiotals procent, kunde förbättras, mätmetoder utvecklades och valdes för rutinbruk. På dosimetrigruppens förslag introducerades den banbrytande metoden för direkt och därmed noggrannare bestämning av tryckkärlets neutrondosor, genom att taga fräsprover från tryckkärlets inre yta. Likaså utvecklades den viktiga Nb-dosimetrin, både med installerade Nb-dosimetrar och utnyttjande av ca. 1% Nb i Lovisa kk inre korrosionsskydd.

I kokarvattenreaktorernas (BWR) stora tryckkärl med större avstånd från reaktorhärden är neutrondosorna mindre. Kontrollmätningar har dock utförts också på TVOs kokarvattenreaktorer i Olkiluoto.

Högaktiva prover för materialtestning och basmaterial (bl.a. I-131) för medicinskt bruk var till förfång för lågaktiva mätningar i angränsande laborierutrymmen. Speciellt materialtestningslaboratoriet med sitt högaktiva innehåll borde ur denna synpunkt helst ha placerats i annan miljö.

Forskning i kärnavfall och cancerterapi

Den i mitten på 1970-talet grundade *kärnavfallssektionen* utför forsknings- och utvecklingsarbete i samarbete med andra VTTs laboratorier, HUs Radiokemiska institution och utländska parter i Norden (Nordiska Atomkoordineringskommitten, NKA) och OECD/NEA. Sektionens arbete inkluderar bl.a. en vidlyftig och viktig beställningsforskning till de inhemska kärnkraftbolagen och har i viss mån belysts i tidigare artiklar.

Undersökningar om förglasat kärnbränsleavfall utfördes bl.a. i samarbete med Tyskland. Bitumeringen av medelaktiva kärnavfallsprodukter utforskades bl.a. inom ett samnordiskt NKA-projekt. En av sektionens långvariga ledare var TkD **Arto Muurinen**.

Neutronkapningsterapiprojektet (Boron Neutron Capture Therapy, BNCT) planerat för terapeutisk behandling av hjärntumörer startades 1990. Apparaturen, som färdigställdes med många fördröjningar, har behandlats i tidigare artiklar. BNCT har i senaste skede framgångsrikt vidareutvecklats av HUCS, VTT och Boneca för bestrålning av svår cancer i huvud- och nackregionen.

Underkritiska undersökningar

Den 1958 startade *underkritiska reaktorn, milan* (Ydin Exponential Pile, YXP) nermonterades sommaren 1974 inför det planerade isotoplaboratoriet. Den nya platsen som reserverades för YXP i isotoplaboratoriet var dock olämplig pga. bakgrundsstrålning från högaktiv isotopproduktion och en närliggande het cell för materialtestning. YXP-milan hade bl.a. använts för skolningsändamål, pulsneutronmätningar i olika gitter och en relativt avancerad brusforskning

inklusive utnyttjande av gammabrus. Den reaktorfyikaliska forskningens betydelse hade minskat inför mera pockande materialforskning och andra uppgifter.

En underkritisk reaktor är en relativt enkel och billig anläggning, användbar för skolning och vissa grundläggande fysikmätningar. YXP använde 10% anrikat uranstavar från Sovjetunionen och natururan från Sverige och hade tillstånd att och kunde opereras endast i underkritiskt läge, med tillväxtfaktorn $k < 1$. Reaktortank och en del av ansluten apparatur är numera utställda i Tekniska museet i Helsingfors.

Hemkommen från en ASLA/Fulbright stipendieresa till USA på hösten 1968 noterade jag en viss vårdslöshet i underkritiska reaktorns uranhantering och förvaring. Följande år 1969 hamnade jag att göra upp uraninventarier och noterade att en uranstav var avsågad och att 30,3 gram 10% anrikat uran saknades. På min förfrågan angav laboratorieförföraren att uranet använts för forskning. I rapporten till IAEA skrevs in olika forskningsändamål, det mesta till eleverbeten. Urananrikning nämndes ej.

Enligt Tekniikka ja Talous/Teknik & Ekonomi 21.4.1994 hade en del uran använts till hemliga anrikningsförsök. Om anrikningsförsöket startade från redan 10% anrikat uran och inte från natururan (0,7% U-235) kan det tolkas som ett försök att producera höganrikat uran, som också har vapenbruk. Kärnkraftverkens uran har låg, några procent, anrikningsgrad.

Exempel på "brandkårsuppgifter"

På basen av ett telefonsamtal från TVO mottog undertecknad det brådskande uppdraget att utreda *kärningen av kontrollstavarna i TVO kärnkraftverk*. Ett i början planerat veckoslutarbete med hjälp av kemister tänjde sig för undertecknads del till ett brådskande dag- och nattarbete under fyra månaders tid. Det blev ett långt och intressant "veckoslut" med bidrag av flera personer och laboratorier och med unika resultat.

Ett avancerat system för mätning och evaluering av *utbränningen i bränsleelement* lagrade i Lovisa kk:s förvaringstank installerades och användes. I samarbete med andra forskare studerades den komplicerade *vattenkemin* i Lovisa kärnkraftverk.

Strålskydd på FiR 1

Endast smärre strålningsincidenter inträffade i laboratoriet och inga överstora stråldoser noterades för personalen. Ett bränsleelementläckage 1980 med utsläpp av fissionsprodukter ledde till strålalarm och evakuering av reaktorhallen. Själva bränslet var dock relativt stabilt och utsläppen små. Ett läckande bränsleelement 1988 ledde också till strålalarm.

Vid normal drift aktiverades luftens argon i olika strålrör och ett visst kontrollerat utsläpp av kortlivat Ar-41 gas ägde rum. Ar-41 utsläppens inverkan på den närliggande miljön konstaterades vara mycket små och knappt observerbara på ca. 100 m avstånd i ett ordnat experiment i vindriktningen. På grund av Ar-41 läckage från kallneutronanläggningens metanmoderator evakuerades reaktorhallens personal två gånger 1967.

Ett antal störningar i I-131 produktionen ledde till stora sköldkörteldoser för laboranter och en temporär överskridning av normen för utsläpp.

Laboratoriedirektörens njugga inställning till nödiga resurser var ett annat problem. Med en utifrån lånad alfa-kontaminationsmätare noterade jag brydsam alfa-kontamination på två ställen i laboratoriet, Po-210 från bestrålning av Bi-214 tyngder i en bestrålningsrigg och alfa-kontamination från fissionsprodukter vid uranalytatorn. Laboratoriedirektören avfärdade också ett ordentligt åtgärdande av problemen i jodtillverkningen som alltför dyra. Jag och laboranter i jodtillverkningen kom på kollisionskurs med laboratoriedirektören om strålskyddsfrågor och 1976 entledigades jag från posten som strålskyddschef, en post som jag 3,5 år tidigare blev påtruggad av föregående laboratoriedirektör.

Lindrig radioaktiv kontamination av anställda i materialtestningslaboratoriet och jodtillverkningsgruppen samt något högre persondoser i den industriella mätgruppen ledde ibland till kontrollmätningar i Strålsäkerhetsinstitutet. En 14 mCi Am-241 strålningskälla rapporterades försvunnen 1968.

Under min tid som strålskyddschef och samtidigt också ledare för reaktormätteknikgruppen producerades en relativt detaljerad strålskyddshandbok för laboratoriet. I samband med instrumentförnyelseprojektet 1981 uppgjordes också en ny och mera komplett säkerhetsrapport.

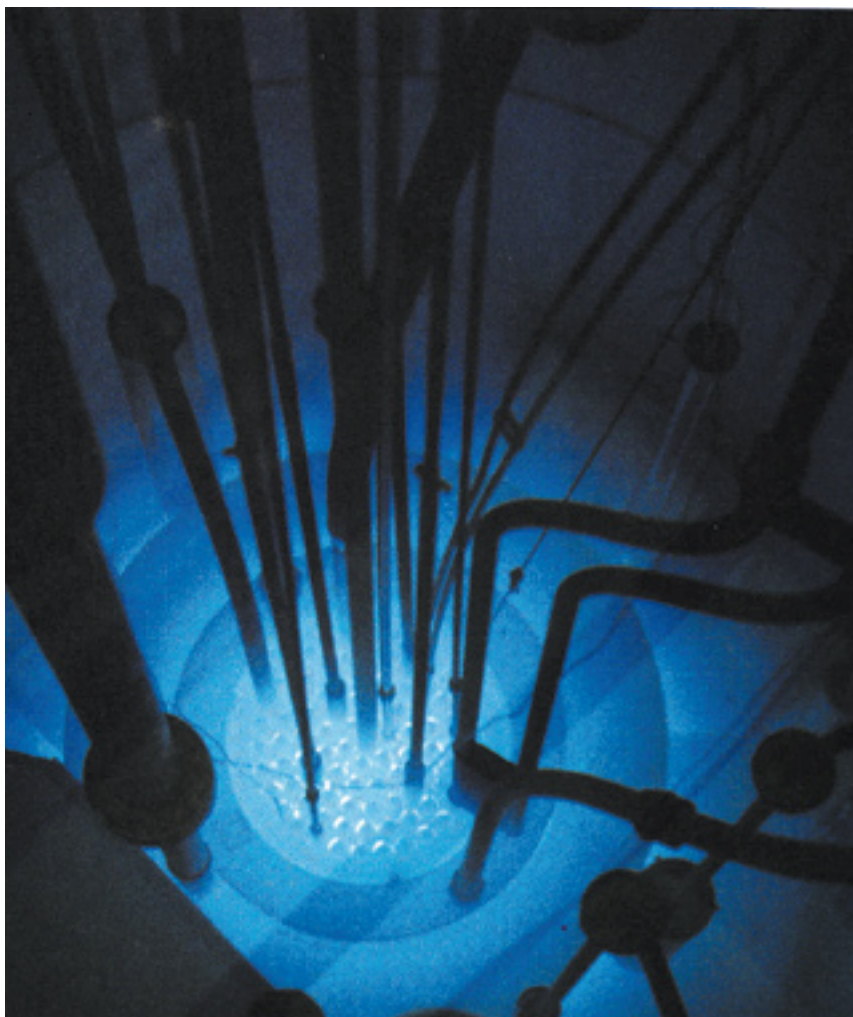
Viktig FiR 1 epok men oviss framtid

I motsats till många andra länder saknar Finland ett stort atomforskningsinstitut. FiR 1 reaktorn kan uppskattas som viktig i den praktiska kontakten till reaktorfysik och -teknik samt strålmätningsteknik. FiR 1 är en forsknings- och serviceanläggning för utbildning och beställningsforskning till utomstående kunder.

Reaktorfysik- och teknikundervisningen, som startades i TH på 1950-talet och utövades bl.a. på FiR 1 och på underkritiska reaktorn, resulterade i ett antal kvalificerade personer med teoretiskt och praktiskt kunnande. Vid och efter start av det relativt stora kärnkraftprogrammet förekom dock också kritik av att beredskapen var för låg med ett fåtal utbildade personer. TVOs första kärnkraftverk TVO1 levererades av svenska ASEA-ATOM med "nycklarna i handen" principen.

Undervisnings- och utbildningsversamheten vid FiR 1 har också omfattat kurser till utomstående, ett stort antal laboratorie- och övningsarbeten för elever vid TH, främst vid avdelningen för teknisk fysik. Ett betydande antal övningsarbeten, diplomarbeten, licentiatarbeten och doktorsavhandlingar har utförts i laboratoriet, de flesta för TH:s avdelning för teknisk fysik.

Reaktor- sedermera fysiklaboratoriet har idkat en vidlyftig publikationsverksamhet med tiotals publikationer och interna rapporter årligen, med något lägre aktivitet de



Cerenkov-strålning från FiR 1 reaktorhård vid drift.

första åren. En mångfald av rapporter över beställningsforskning har levererats, oftast konfidentiella rapporter till inhemska och utländska beställare.

FiR 1 reaktorn med anknytande apparatur och hus representerar betydande grundinvesteringar, reaktorns komponenter är i rimligt skick och ett betydande lager av icke använt uranbränsle finns. Ur teknisk synpunkt kunde FiR 1 troligen användas för en lång tid framåt. Isotoplaboratoriets utrymmen är numera delvis uthyrda till utomstående.

I dagens läge är reaktorns användningsområden relativt begränsade. Det är också frågan om hur användningen av en dylik företagsekonomiskt olönsam infrastrukturinvestering skall finansieras. Reaktorns framtid verkar oviss. ■

Anmärkning: Det var svårigheter att få tag på gamla verksamhetsberättelser från reaktorlaboratoriet och de talrika interna rapporterna kunde jag i kortvariga försök inte hitta. "Atombiblioteket" vid TH:s avdelning för teknisk fysik är stängt och ej heller VTT har något bibliotek. Jag har tillvaratagit endast en del material.

TkD Bruno Bärs
Pensionerad specialforskare
Reaktor-/fysiklaboratoriet, Statens
tekniska forskningscentral, VTT



ATS:n ulkomaanekskursiot 1966 - 2008

SEURAN PERINTEISEN syyskursion peruuntumisen johdosta tässä lehden numerossa ei ennakkotiedoista poiketen nähty perinteisiä ekskursiokuvauksia. Seuraavassa lohdutukseksi ja muistini virkistämiseksi lista ATS:n tähän mennessä tekemistä ulkomaan opintomatkoihin. Lista ei ole täydellinen: aukkoja on ja virheitäkin löytynee. Toimitus ottaa mielihyvän vastaan täydennyksiä ja korjauksia.

VUOSI	AJANKOHTA	KOHDEMAA	ATS YDINTEKNIIKAN NUMERO
1966		Sveitsi (Nuclex)	
1968		Tanska	
1969		Sveitsi (Nuclex)	
1971		Neuvostoliitto	
1972		Sveitsi (Nuclex)	
1973		Ruotsi ja Tanska	
1974		Saksan liittotasavalta	
1975		Sveitsi (Nuclex)	
1976		Englanti ja Belgia	
1977		Ranska	
1978		Sveitsi (Nucleax), Itävalta (IAEA)	
1979		Neuvostoliitto	4/1979
1980		Japani	
1981	8.-17.10	Sveitsi (Nuclex), Ranska ja Espanja	
1982		Unkari ja Italia	4/1982
1983		Neuvostoliitto	1/1984
1984	3.-18.11.	USA ja Kanada	1/1985
1985	17.-26.10.	Tšekkoslovakia ja Saksan liittotasavalta	4/1985
1986	27.10.-9.11.	Kiina	4/1986
1987	4.-11.10.	Ranska ja Sveitsi	4/1987
1988	21.10.-2.11.	Japani	4/1988
1989	22.-28.10.	Englanti	4/1989
1990	1.-9.10	Neuvostoliitto	4/1990
1991	20.-26.10.	Espanja	4/1991
1992	24.10.-4.11.	USA, Kanada ja Meksiko	4/1992
1993	26.9.-2.10.	Saksa ja Hollanti	4/1993
1994		Lyonin messut	4/1994
	23.-24.9.	Sosnovy Bor	4/1994
1995		Tseki, Itävalta ja Unkari	4/1995
1996		Etelä-Korea	4/1996
1997		Ranska ja Sveitsi	4/1997
1998		Iso-Britannia	4/1998
1999	29.4.-2.5.	Liettua	2/1999
	15.-25.10.	Kiina	4/1999
2000	8.-15.10.	Saksa	4/2000
2001	17.-18.5.	Sosnovy Bor	2/2001
	25.10.-1.11.	Espanja	4/2001
2002	18.-20.4.	Oskarshamn	2/2002
	14.-24.10.	USA ja Kanada	4/2002
2003	24.-27.4.	Kuola	2/2003
	23.-30.11.	Slovakia, Itävalta ja Unkari	4/2003
2004	14.-18.4.	Englanti	2/2004
	23.-?.10.	Etelä-Afrikka	4/2004
2005	8.-16.10.	Venäjä	4/2005
2006	20.-28.10.	Japani	4/2006
2007	11.-15.4.	Ukraina	2/2007
	7.-9.6.	Norja	2/2007
	viikko 39	Romania, Bulgaria	4/2007
2008	15.-19.4.	Leningradin alue	2/2008

Vertailuanalyysin käyttö termohydraulisten koelaitteistojen tulosten laitosmittakaavaan skaalautumisen tutkimisessa

Turvallisuus on ydinalalla korostetussa asemassa moneen muuhun alaan verrattuna. Ydinvoimalaitosten turvallisuutta voidaan arvioida muiden menetelmien lisäksi turvallisuusanalyysillä. Nämä perustuvat sekä kokeelliseen tutkimukseen että laskennallisiin menetelmiin. Kokeellisella toiminnalla luodaan pohja laskennallisten menetelmien käytölle. Laskentaohjelmien valmiutta turvallisuusanalyysien tekemiseen tarkastellaan vertaamalla laskennan ja koelaitteistoilla suoritettujen kokeiden tuloksia toisiinsa. Kokeiden avulla kelpoistettuja laskentaohjelmia käytetään ydinvoimalaitosten turvallisuusanalyysien tekemisessä. Laskentaohjelmia voidaan käyttää myös koelaitteistoilla tehtävien kokeiden ja jopa uuden koelaitteiston suunnitteluun.

Koelaitteistot rakennetaan usein skaalattuna, eli ydinvoimalaitosmittakaavaa pienempänä. Täysmittakaavaisen, voimalaitosta mallintavan koelaitteiston rakentaminen olisi liian kallista. Skaalauksen onnistuminen määrää, kuinka hyvin koelaitteisto mallintaa voimalaitosta ja soveltuu käytettäväksi laskentaohjelmien kelpoistamiseen. Jos laskentaohjelma kelpoistettaisiin väärin skaalatun koelaitteiston tuloksilla, olisi vaarana virheellinen käsitys ilmiöiden käyttäytymisestä, mikä puolestaan voi johtaa virheisiin sekä ydinvoimalaitosten analyysissä että uusien kokeiden suunnittelussa.

Skaalaus on monimutkainen prosessi ja siinä huomioitavia asioita on lukuisia. Skaalauksessa pyritään säilyttämään tarkasteltavan järjestelmän käytös alkuperäistä vastaavana. Mittakaavan muutos ei kuitenkaan tapahdu koskaan ilman vaikutuksia järjestelmän toiminnalle. Skaalauksessa on tehtävä kompromisseja, sillä kaikkien ilmiöiden ja niiden välisten vuorovaikutusten huomioiminen on mahdotonta. Ilmiöiden tärkeysjärjestykseen laittaminen onkin olennainen osa skaalausta. Ilmiöt voidaan järjestää taulukkoon, johon merkitään ilmiön oletettu tärkeys kokeen kannalta.

Tätä PIRT:iksi (Phenomena Identification and Ranking Table) kutsuttua ilmiölistaa voidaan suunnittelun jälkeen käyttää kokeiden suunnittelussa, kun halutaan varmistua

siitä, että koelaitteistossa on huomioitu tutkittavaksi haluttu ilmiö.

Säteilyturvakeskukselle tehty diplomityö käsitteli skaalausta sekä sitä, miten skaalattujen koelaitteistojen avulla voidaan tehdä arvioita ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta. Diplomityössä tarkasteltiin termohydraulisten koelaitteistojen skaalauksessa käytettäviä periaatteita ja menettelyjä. Lisäksi työssä vertailtiin Apros-simulaattoriohjelmalla laskettuja kahden koelaitteistomallin ja EPR-mallin tuloksia.

Työssä käytettiin PKL- (Primärkreisläufe), LSTF- (Large Scale Test Facility) sekä EPR-mallia. Malleilla tutkittiin jäähdytteen määrän vaikutusta primääripiirin käyttäytymiseen. Lasketut tapaukset mukailivat PKL-koelaitteistolla tehtyä F1.2-koetta, jossa jäähdytteen määrää primääripiirissä muutettiin askelmaisesti.

Kokeessa paineistin oli erotettuna primääripiiristä ja sydämen teho pidettiin vakiona. Primääripiirin paine pidettiin vakiona sekundääripiirin painetta säätämällä. Sekundääripiirin paine vaikuttaa suoraan lämmönsiirtoon höyrystimissä. Kokeessa jäähdytettä vähennettiin, kunnes sydämen lämpötilat lähtivät kasvuun. Tämän jälkeen jäähdytteen määrää alettiin lisätä askelmaisesti. PKL-mallilla tehdyn laskennan tuloksia verrattiin tehdyn kokeen tuloksiin. Tarkasteltu tapaus ei kuvannut suoraan EPR-laitoksen käyttäytymistä onnettomuustilanteessa, sillä koelaitteistolla suoritettu koe ei kuvannut onnettomuustilannetta. Apros-laskemat tulokset PKL-mallilla vastasivat hyvin koelaitteistolla suoritettujen kokeiden tuloksia.

Tärkeimpiä koelaitteistoilla tehtävän tutkimuksen tuloksia on parempi ymmärrys ilmiöiden käyttäytymisestä ja keskinäisistä vuorovaikutuksista. Veden lämmittämisen, jäähdyttämisen ja kiertopiirissä kierrättämisen aiheuttamien ilmiöiden ymmärtämisessä ja mallintamisessa on vielä tekemistä ja tutkimista tulevinakin vuosina. ■

Tekn.yo Petteri Suikkanen
Säteilyturvakeskus
petteri.suikkanen@stuk.fi

Jäähdytteen virtaus ja lämmönsiirto kuulakekoreaktorin sydämessä

Kiinnostus jo 60-luvulla toimineita kaasujäähdytteisiä grafiittimoderoituja korkealämpötilareaktoreita kohtaan on herännyt uudestaan. Reaktorityyppejä kehitetään yhtenä neljännen sukupolven reaktorivaihtoehdona ympäri maailmaa. Kahden nykyisin toiminnassa olevan kooreaktorin lisäksi Etelä-Afrikkaan on suunnitteilla demonstraatiolaitos (kts. ATS Ydintekniikka 4/2004). Myös muita varteenotettavia hankkeita on käynnissä mm. Kiinassa ja Yhdysvalloissa. Suomessa on meneillään Suomen Akatemian rahoittama neljännen sukupolven reaktoreita tutkiva hanke, jonka osana tämä diplomityö tehtiin.

Korkealämpötilareaktori kuumentaa kaasujäähdytteen korkeaan, noin 900 °C:n lämpötilaan. Kuuma kaasujäähdyte sallii kaasuturbiinin käytön, mikä johtaa korkeaan hyötysuhteeseen sähköntuotannossa. Korkeaa lämpötilaa voidaan myös hyödyntää prosessilämpösovelluksissa ja esimerkiksi vedyn tuottamisessa termokemiallisesti.

Reaktorin korkea lämpötila on perinteisestä poikkeavan polttoainesuunnittelun ansiota. Korkealämpötilareaktorin polttoaine koostuu pienistä päällystetyistä uraanijäsvästä, jotka on sidottu grafiittielementteihin. Päällystetyt polttoainejyvät pidättävät fissiotuotteet tehokkaasti korkeissa lämpötiloissa ja pitkän palamajakson aikana. Polttoaine yhdessä muiden suunnittelunäkökohtien kanssa mahdollistaa täysin passiivisen jälkilämmön poiston, jolloin sydämen sulaminen jäähdytteen menetyksen seurauksena ei ole mahdollista.

Korkealämpötilareaktorista on olemassa kaksi pääkonseptiä, jotka poikkeavat toisistaan lähinnä polttoaine-elementtien osalta. Elementit ovat joko blokki- tai kuulatyypisiä. Polttoainekuulat mahdollistavat jatkuvan latauksen, kun niitä syötetään sisään reaktorin yläosasta ja poistetaan alaosasta. Kuulat siis muodostavat keon sydänalueelle. Jäähdyte virtaa kuulakeon läpi poistaen fissiolämpöä. Blokki-tyyppien elementit puolestaan kasataan kiinteäksi sydämeiksi. Elementeissä on kanavat jäähdytteenvirtausta varten. Tämän diplomityön tarkastelussa on keskitytty kuulakekokonseptiin.

Diplomityön kirjallisuusosan alkupuolella kerrotaan korkealämpötilareaktoritekniikan historiasta ja reaktorityypin toimintaperiaatteesta sekä tarkastellaan mahdollisia prosessilämpösovelluksia, joiden lämmönlähteenä reaktoria voitaisiin käyttää. Lisäksi kirjallisuusosassa on tehty katsaus tekniikan nykytilaan ja jäljellä oleviin ongelmiin ja haasteisiin.

Laskentaosiota varten valittiin tarkasteltavaksi Etelä-Afrikkaan suunnitteilla oleva PBMR-400 reaktorimalli. Laskentaosassa tutkittiin jäähdytteen virtausta ja lämmönsiirtoa reaktorin sydämessä numeerisen virtauslaskennan eli CFD:n (Computational Fluid Dynamics) avulla. Työkaluna käytettiin kaupallista Fluent-virtauslaskentaohjelmaa. Kaikki käytetyt geometria- ja materiaalitiedot etsittiin avoimesti saatavilla olevasta kirjallisuudesta.

CFD-mallinnusta varten reaktorisydäimestä luotiin akselisymmetrinen hieman karsittu geometria, josta jätettiin pois mm. sivuheijastimessa olevat säätösauvakanavat. Kuulamaiset polttoaine-elementit muodostavat haasteen sydämen mallinnukselle, sillä jokaisen kuulun yksityiskohdainen kuvaaminen koko sydämen CFD-laskennassa on nykyisen laskentatehon ulottumattomissa. Tarkasteltavan reaktorin sydän koostuu noin 450 000 polttoaine-elementistä! Ongelma ratkaistiin käyttämällä kuulakeolle huokoisen materiaalin approksimaatiota, jossa virtausta kuvaaviin liikemääräyhtälöihin lisätään vastustermit kuvaamaan kuulusta aiheutuvaa virtausvastusta.

Lämmönsiirtoa kuulakeossa mallinnettiin kahdella eri menetelmällä. Laskentaohjelmassa oletuksena oleva malli olettaa polttoaineen ja jäähdytteen olevan paikallisesti samassa lämpötilassa. Oletusmallin lisäksi ohjelmaan lisättiin malli, jossa tätä oletusta ei tehdä, vaan polttoaineen ja jäähdytteen välistä lämmönsiirtoa mallinnetaan sopivalla kirjallisuudesta löytyvällä korrelaatiolla. Polttoaineen energiayhtälöön lisättiin lähdetermi kuvaamaan fissioreaktioista syntyvää lämpöä. Fissioteho lämmittää polttoainetta muodostetun tehojakauma-approksimaation mukaisesti siten, että koko sydämen lämmöntuotto on 400 MW.

Laskennan tuloksina saatiin tietoa jäähdytevirtauksen painehäviöstä ja virtausprofiilista sen kulkiessa kuulakeon läpi sekä lämpötilajakaumasta reaktorisydämessä. Tehdyistä yksinkertaistuksista ja approksimaatioista huolimatta tulokset vastaavat melko hyvin kirjallisuudesta löytyviä reaktorin suunnitteluarvoja. Parannettavaa mallissa kuitenkin on: esimerkiksi laskentaohjelmaan lisätty lämmönsiirtomalli ei vielä toimi aivan kuten pitäisi ja joidenkin korrelaatioiden oikeellisuudesta ei ole täyttä varmuutta. ■

DI Heikki Suikkanen,
Tutkijakoulutettava,
Lappeenrannan teknillinen yliopisto,
Energia- ja ympäristötekniikan osasto,
heikki.suikkanen@lut.fi



Primääripiirin vuodon hallintastrategia Loviisan laitoksen kuumaseisokitiloissa

Häiriö- ja onnettomuustilanteissa Loviisan voimalaitoksen ohjaajat käyttävät erityisiä turvallisuuden ja laitoksen käytettävyyden kannalta optimoituja hätätilanneohjeita vian tunnistamiseksi ja ohjatakseen laitoksen turvalliseen tilaan.

Fortum Nuclear Servicessa on käynnissä työ, jonka tavoitteena on laatia hätätilanneohjeet laitoksen seisokitiloja varten. Tässä diplomityössä oli tavoitteena selvittää, miten kuumaseisokissa syntyvää primääripiirin vuotoa tulisi hallita hätätilanneohjeilla. Työn tulokset perustuvat pääasiassa APROS-simulointiohjelmistolla tehtyihin vuotosimulointeihin.

Loviisan laitoksen normaali alasajo teholta kuumaseisokkiin aloitetaan pienentämällä sähkötehoa ja ajamalla turbiinit alas. Sen jälkeen työnnetään säätösauvat reaktoriin ja primääripiirin boorihappopitoisuus nostetaan tasolle 2450 ppm. Tämä boorihappopitoisuus pitäisi reaktorin alikriittisenä ilman säätösauvojakin. Paineistimen pinta nostetaan 7,4 m korkeudelle ja paineistimen höyrypatja vaihdetaan typpipatjaksi. Alasajon aikana primääripiirin painetta ja lämpötilaa lasketaan säilyttään riittävä kiehumavara. Kun kuumaseisokki saavutetaan, primääripiirin lämpötila on noin 165 °C ja paine noin 30 bar.

Kuumaseisokissa syntyvä vuoto havaitaan ensin siitä, että paineistimen pinta tai primääripiirin paine laskee. Jos vuotovirtaus on pieni, voi normaali lisävesijärjestelmä kompensoida virtauksen ja näin ollen ei paineistimen pinta eikä primääripiirin paine välttämättä laske. Tällöin vuodon havaitsee uloslaskuvirtauksesta.

Jotta varmistetaan, että kyseessä on vuoto suojarakennukseen eikä esimerkiksi primääri-sekundäärivuoto, tarkastellaan myös suojarakennuksen suhteellista kosteutta, lämpötilaa ja painetta sekä hätälisävesijärjestelmän kokoojakaivojen pinnankorkeutta.

Primääripiirin vuodon yhteydessä laitoksen ohjaajien on varmistettava, että reaktori pysyy alikriittisenä, jälkilämpö poistuu reaktorista ja että radioaktiivisten aineiden leviäminen on estetty. Kuumaseisokissa säätösauvat ovat reaktorissa ja primääripiirin booripitoisuus on nostettu niin korkealle, että reaktorin alikriittisyys ei ole uhattuna vo-

dosta huolimatta. Myös radioaktiivisten aineiden leviäminen estyy suojarakennuksen avulla.

Jälkilämmön poisto tehdään syöttämällä kylmää hätälisävettä reaktoriin ja antamalla veden virrata vuodosta ulos suojarakennukseen. Suojarakennuksesta vesi kierrätetään takaisin kokoojakaivojen kautta hätälisävesijärjestelmään. Hätälisävesisyötön ja vuotovirtauksen avulla primääripiiri saadaan jäähtymään sellaiseen tilaan, että vuodon korjaamiseen vaadittavat huoltotyöt voidaan suorittaa turvallisesti.

Vuoto voidaan myös yrittää erottaa. Ongelma erottamisen kannalta on se, että ei ole kovin todennäköistä, että laitoksen ohjaajat tietäisivät missä vuotokohta on. Lisäksi vuoto voi olla primääripiirin osiolla, jota ei ole mahdollista erottaa. Jos erottamista kuitenkin päätetään yrittää, erotetaan alkuun primääripiirin puhdistusjärjestelmä. Jos vuoto ei erotu puhdistusjärjestelmän erottamisen myötä, voidaan myös primääripiirin kiertopiirejä erottaa. Kaikkia kiertopiirejä ei voi erottaa samaan aikaan, sillä jos vuodon erottaminen onnistuu, jälkilämpö poistetaan kiertopiirejä käyttäen sekundääripiirin kautta.

Diplomityön tulokset antavat hyvän pohjan hätätilanneohjeiden jatkokehitystä varten ja edessä onkin työn tulosten testausta muun muassa Loviisan voimalaitoksen koulutussimulaattorilla.

*DI Janne Liuko
Fortum Nuclear Services
Suunnitteluinsinööri
Turvallisuusosasto
janne.liuko@fortum.com*



Ydinreaktorin painesäiliön ulkoisen jäähdytyksen lämmönsiirtokokeita

Loviisan ydinvoimalaitoksen suojarakennus on varustettu ruiskutusjärjestelmällä, jonka tehtävä on lauhduttaa höyryä jäähdytteenmenetysonnettomuuden tapauksessa. Onnettomuustilanteessa suojarakennukseen kertyvä vesi kulkeutuu reaktorikuilun pohjalle ja sitä voidaan käyttää reaktorin painesäiliön ulkoiseen jäähdytykseen vakavien onnettomuuksien hallinnassa.

Kuvattu jäähdytysjärjestely tuo mukanaan uuden onnettomuusmahdollisuuden. Jos suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmä käynnistyy tahattomasti tehoajon aikana, kylmää vettä pääsee kosketuksiin kuuman painesäiliön seinämän kanssa. Tällöin syntyvät lämpöjännitykset aiheuttavat ylimääräistä jännitystä painesäiliön seinämään, jossa vaikuttaa edelleen säiliön sisällä olevan paineen aiheuttama jännitys. Tilanne on erityisen vaikea reaktorisydämen korkeudella sijaitsevassa hitsisaumassa, jossa haurasmurtuman transitiolämpötila on nousut neutronisäteilyn vaikutuksesta ympäröivää materiaalia korkeammaksi.

Painesäiliön kestävyyttä tutkitaan lujuusanalyysillä, joihin tarvitaan tämän tyyppisissä tapauksissa lähtötietoina lämpötilat seinämässä. Lämmönsiirto painesäiliön ulkopinnalla poikkeaa kuitenkin oppikirjamaisista tapauksista, joille useimmat lämmönsiirtokorrelaatiot on suunniteltu. Tämän vuoksi korrelaatioiden sopivuus tutkittavaan tilanteeseen haluttiin varmistaa kokeellisesti.

Kokeiden ja laitteiston suunnittelussa haluttiin säilyttää mahdollisimman paljon piirteitä todellisesta tilanteesta reaktorikuilussa. Koelaitteiston oli kuitenkin oltava kohtuullisen kokoinen, joten rakenteessa päädyttiin sektori-maiseen leikkaukseen painesäiliön seinämästä ja sen ulkopuolella olevasta tilasta. Laitteiston yksityiskohtien ja erityisesti lämpötilamittausten suunnittelussa käytettiin runsaasti laskennallisia apuvälineitä.

Kokeita varten rakennetun laitteiston pääosat olivat painesäiliön seinämää kuvaava teräspalkki ja siihen kiinnitetty reaktorikuilun ilmatilaa kuvaava virtauskanava. Teräspalkin yhdellä sivulla oli sähkövastuslämmittimet. Näin koelaitteeseen saatiin todenmukainen lämpötilajakauma alkutilassa ja mahdollisuus käyttää laitteistoa pitkäkestoisissa kokeissa.

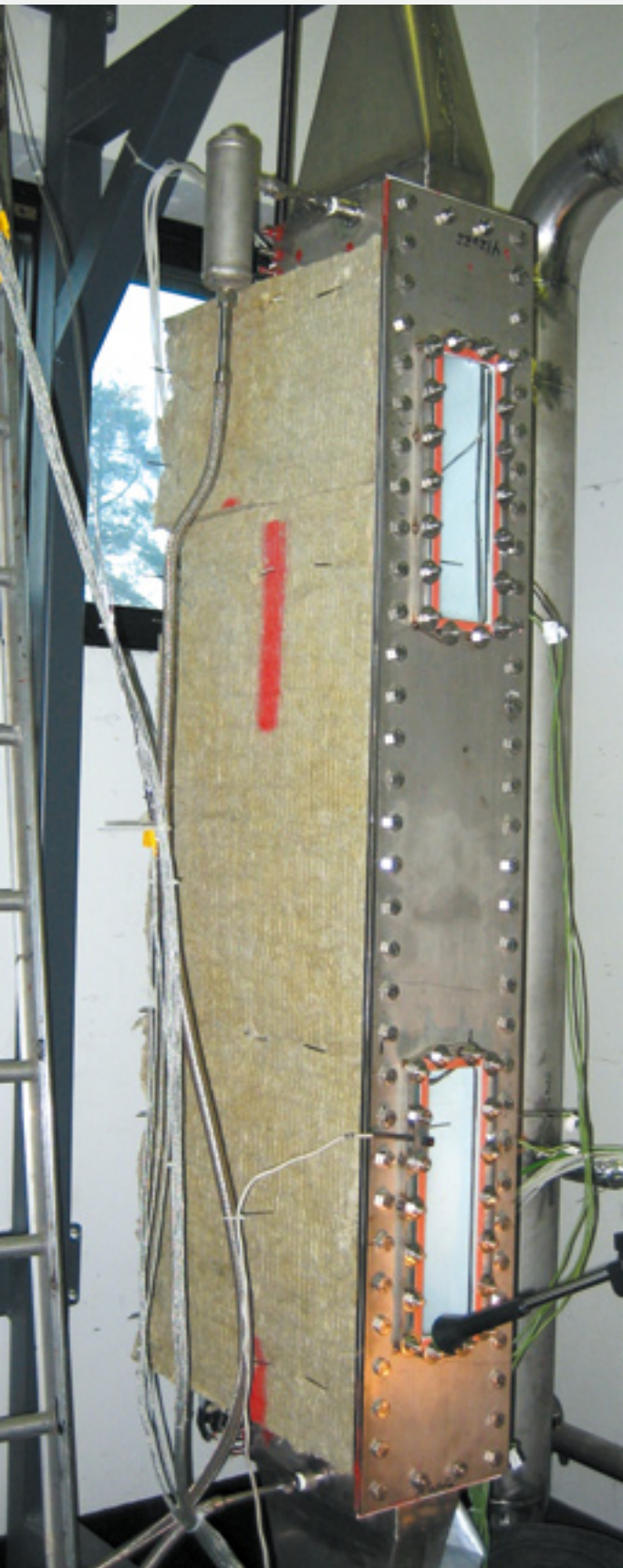
Instrumentoinnissa käytettiin yhteensä 40 termoparia lämpötilamittauksiin, paine-eromittaria pinnankorkeuden määrittämiseen ja virtausmittaria veden nousunopeuden määrittämiseen. Termoparien aikavasteeseen kiinnitettiin erityistä huomiota, sillä pinnan tuntumassa teräksen lämpötila laskee nopeasti. Lisäksi tulosten laskennassa pyrittiin vähentämään termopareista ja niiden asennuksesta johtuvien viiveiden ja häiriöiden vaikutuksia käyttämällä erityisesti tämän tyyppisiä inversio-ongelmia varten kehitettyjä laskentamenetelmiä.

Kokeet suoritettiin kahdessa sarjassa. Aluksi pääpaino oli alkutilanteen tarkassa mittauksessa, mutta tuloksista huomattiin lämmönsiirron jatkuvan suhteellisen voimakkaana odotettua kauemmin. Tämän vuoksi tehtiin sarja pidempikestoisia kokeita, joilla tulokset vahvistettiin. Molempiin sarjoihin kuului koeparametrien vaihtelua, joista oleellisimpana veden virtausnopeus. Vesi nousi melko hitaasti kanavassa, ja lämpö siirtyi alun kiehumisen jälkeen lähinnä vapaalla konvektiolla.

Testattu vapaan konvektion korrelaatio ennustikin hyvin lämmönsiirron kokeen stationarisessa vaiheessa. Ylipäätään kokeellinen testaus toi varmuutta aiheesta tehtäviin laskennallisiin tarkasteluihin. ■

DI Timo Merisaari
Tutkijakoulutettava
Ydinvoimalaitostekniikka
Lappeenrannan teknillinen yliopisto
timo.merisaari@lut.fi





TAPAHTUMAKALENTERI

Jäsentilaisuus 21.1.2009

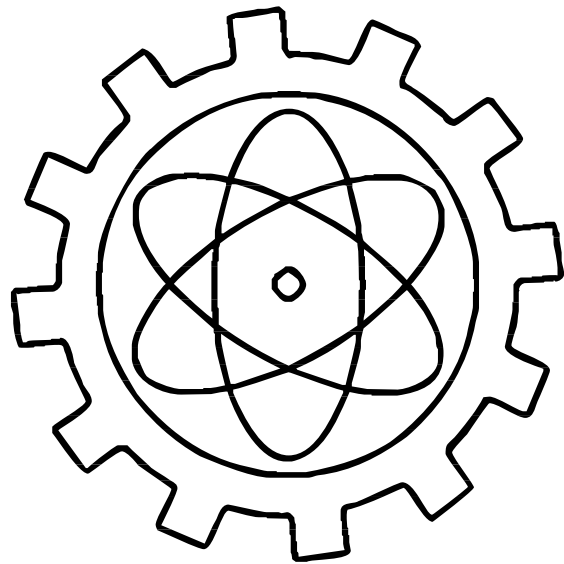
Tieteiden talo, Helsinki

Kutsu jäsenpostissa.

Lisätietoja: Harriet Kallio

harriet.kallio@fortum.com

*Lisätietoja kaikista ATS:n tapahtumista
löytyy internetistä: www.ats-fns.fi*



JÄSENET

Suomen Atomiteknillisessä Seurassa oli 6.10.2008 pidetyn johtokunnan kokouksen jälkeen 614 varsinaista jäsentä ja 36 nuorta jäsentä eli opiskelijaa. Kunniajäseniä oli 12 ja kannatusjäseniä 18.

Seuran jäseneksi pääse johtokunnan hyväksymällä hakemuksella. Hakemukseen tarvitaan kahden jäsenen suositus.

*ATS:n jäsenhakemus internetissä:
<http://www.ats-fns.fi/info/jasenhakemus.html>*

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA —

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



Palautus
Suomen Atomiteknillinen Seura
c/o VTT (Tietotie 3, Espoo)
PL 1000
02044 VTT

Kannatusjäsenet

Alstom Finland Oy
Fennovoima Oy
Fintact Oy
Fortum Oyj
Patria Finavitec Oy
Platom Oy
Pohjolan Voima Oy
Posiva Oy
PRG-Tech Oy
Pohjoismainen Ydinvakuutuspooli
PrizzTech Oy
Rados Technology Oy
Saanio & Riekkola Oy
Siemens Osakeyhtiö
Teollisuuden Voima Oy
TVO Nuclear Services Oy
Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT
Voimaosakeyhtiö SF Oy
YIT Installaatiot

ATS internetissä:

<http://www.ats-fns.fi>