

ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA —

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



1/2008

vol. 37

Tässä numerossa

Pääkirjoitus:

Ydinvoimalaitosten käyttö-
toiminnan turvallisuushaasteet 3

Editorial:

Safety Challenges of
Nuclear Power Plant Operation 4

Uutisia 5

Ydinasioista kuultuna:

Rainer Rantala 6

Kansainvälinen
käyttökokemustoiminta
– miten vahingoista viisastutaan? 10

Ledarskap för kärnsäkerhet:
Insikt – Engagemang – Förändring 14

Jälkilämpö määrittelee raamit
Posivan käyttötoiminnalle 17

Suomalaisten ydinvoimalaitosten
valmiusjärjestelyjen valvonta 20

Operointikäytännöt ja käyttöliittymät
digitaalisissa valvomoissa 23

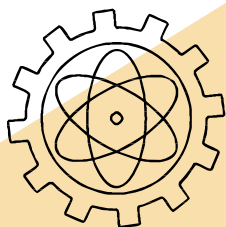
ATS vuosikokous 2008 26

Väitöskirjat ja diplomityöt 28

Kolumni:

Käytetään ydinvoimaa 30

Tapahtumakalenteri
ja seuran uudet jäsenet 31



ATS

1/2008, vol. 37

VUODEN 2008 TEEMAT

1/2008

Käyttötöiminta
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



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

TkL 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

Kolumnisti / Columnist

DI Olli Nevander
Teollisuuden Voima Oyj
olli.nevander@tvo.fi

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

Tekn.yo Malla Seppälä
VTT
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

FM, tekn. yo 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

Tekn.yo 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

Ekskursios sihteeri / Excursion Secretary

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

Suomen Atomiteknillisen Seuran (perustettu 1966) tarkoituksena on edistää ydintekniikan alan tuntemusta Suomessa, toimia yhdyssiteenä 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 ilmiöitä 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.

Ydinvoimalaitosten käyttötoiminnan turvallisuushaasteet

RIITTÄVÄN ETÄÄLTÄ katsottuna ydinvoimaloiden käyttö näyttää varsin tasaiselta ja yllätyksettömältä toiminnalta. Aika ajoin tapahtuvia käyttöhäiriöitä ja vuosihuoltoseisokkien kiireisempää rutistusta lukuun ottamatta laitokset käyvät omaa tasaista tahtiin ja tuottavat isommin ääntä pitämättä neljänneksen Suomessa käytetystä sähköstä.

PITKÄÄN JATKUNUT "rauhan aika" voi millä tahansa elämän alueella vähitellen rapauttaa turvallisuuskulttuuria. Ydinvoima-alallakin on tästä esimerkkejä. Tshernobylin onnettomuustutkintaa johtaneen Valeri Legasovin mukaan laitoksen menestyksessä käyttöhistoria (sitä oli mm. kuvattu Neuvostoliiton ydinlaivaston lippulaivaksi) oli osaltaan ollut synnyttämässä itsetyytyväistä ja piittaamatonta turvallisuuskulttuuria. Toisaalla tässä lehdessä kerrotaan ruotsalaisen Forsmarkin voimalaitoksen turvallisuuskulttuurista tehdystä selvityksestä. Laitos sai v. 1993 kansainvälistä tunnustusta "Powerplant Award":in muodossa. Selvityksessä todetaan: "Tyvärr övergick denna framgång efter en tid i självgodhet, och detta uppmärksamades inte av FKAs eller Vattenfalls ledning. Istället uppfattades Forsmarksverkets goda produktionsresultat vara helt i linje med det ökade fokus på ekonomi och produktion som utmärkte Vattenfall i slutet av 1990-talet."

PITKÄT ALIHANKINTAKETJUT tuovat oman lisähaasteensa turvallisuuskulttuurin ylläpitoon. Tilailta ja asiakkaalta vaaditaan suurempaa vastuunottoa kuin 1970-luvun lopulla: tuolloin maailmassa oli useita kokeneita, kokonaistoimitukseen kykeneviä valmistajia. Liiallinen luottaminen kansainvälisesti tunnettuun toimittajaan johti Paksin voimalaitoksella Unkarissa huhtikuussa 2003 merkittävään polttoaineaurioon, kun uuden polttoainenuppujen puhdistuslaitteen jäähdytysjärjestelmä osoittautui riittämättömäksi. Tapahtumaa koskevassa selvityksessään Unkarin atomienergiaviranomainen kertoi mm. seuraavaa: "The suitability and the possible consequen-

ces of the chemical process were emphasised in the licensing and supervisory procedures of the HAEA NSD (Hungarian Atomic Energy Authority, Nuclear Safety Directorate). Only the existence of the 17 safety analyses related to criticality and cooling was investigated, their professional suitability was not checked."

TEOLLISUUDEN VOIMA OY:N käyttöosaston johtaja **Olavi Vapaavuori** kertoi 1970-luvulla uusille työntekijöille, että yhtiön kolme tukipilaria ovat "turvalisuus, turvallisuus ja turvallisuus". Kustannusrakenne ja toiminnan pitkäjänteinen luonne ovat osaltaan vaikuttaneet siihen, että ydinvoima-ala ei ole ollut ensimmäisenä omaksumassa uuden ajan johtamis- ja organisaatio-oppeja, joissa muut arvot nousevat teknisen kompetenssin rinnalle ja ohi. Kun alusta asti mukana olleet alkavat vähitellen siirtyä taustalle, on pidettävä huolta, että tekniseen osaamiseen ja turvallisuusasioiden merkityksen korostamiseen perustuva kulttuuri säilyy ydinvoimalaitosten käyttöä ohjaavana toimintamallina. Turvallisuuden ylläpito edellyttää ohjeiden ja määräysten takana olevien perusteiden ymmärtämistä ja koko organisaation sitoutumista jatkuvaan omista ja muiden tekemistä virheistä oppimiseen.

TÄLLÄ HETKELLÄ näyttää siltä, että Suomi pääsi 1980- ja 1990-lukujen ydinenergian taantumasta sitenkin kohtalaisen vähällä: vanhimmat meikäläiset laitokset otettiin käyttöön kymmenisen vuotta myöhemmin kuin monissa muissa maissa, ja uutta päästiin rakentamaan ensimmäisten joukossa.

Nyt, kun ydinenergia on 1980-luvun myrskyn ja sitä seuranneen pitkän tyvenen jälkeen pitkistä aikaa saanut myötätuulta purjeisiinsa, sen käyttöön liittyvien organisaatioiden on huolehdittava, että peräsimen saadaan "vanhentuneiden asiantuntijoiden" tilalle värvättyä yhtä hyvää väkeä kuin 30 – 40 vuotta sitten, kun ala oli uusi ja lupaava ja veti puoleensa aikansa terävimmät aivot.

Safety Challenges of Nuclear Power Plant Operation

LOOKING AT a sufficient distance, nuclear power plant operation appears a rather dull and unexciting activity. With the exception of occasional disturbances (and the hectic refuelling/maintenance outages), the plants seem to operate in a humble, reliable manner, fulfilling a quarter of Finland's electricity needs without making much noise of themselves.

In all kinds of human activity, an extended period of relative peace tends to slowly degenerate the safety culture. In a conference held in Vienna in 1986, Valery Legasov, head of the USSR State Commission examining the causes of the Chernobyl accident, described how the successful operating history of the Chernobyl NPP (once considered the "flagship of the Soviet nuclear fleet") eventually lead to a negligent safety culture and unsubstantial complacency. One article in this issue of *ATS Ydintekniikka* cites an assessment made on the safety culture of the Swedish NPP Forsmark, which won the Electric Power International "Power Plant Award" on excellent performance in 1993: *"Unfortunately this success transformed into complacency, and that process went unnoticed by the management of FKA (the utility) and Vattenfall (the owner). The good performance record was considered to be fully in line with the increased emphasis on economy and production, which was the mindset at Vattenfall in the late '90s."*

Long subcontracting chains, typical of the current working environment, give rise to new challenges in maintaining a good safety culture. More expertise and responsibility is needed on the customer side than was the case in the late 1970's: at that time, there were several suppliers capable of offering entire power plant systems, and the project organizations had been trained and tuned in numerous construction projects during the decade. Too strong reliance on an internationally recognized contractor led to a significant fuel damage at the Hungarian NPP Paks in April 2003, when a new fuel assembly cleaning device turned out to have an insufficient cooling system. In a report given on the event, the

Hungarian nuclear authority stated e.g.: *"The suitability and the possible consequences of the chemical process were emphasised in the licensing and supervisory procedures of the HAEA NSD (Hungarian Atomic Energy Authority, Nuclear Safety Directorate). Only the existence of the 17 safety analyses related to criticality and cooling was investigated, their professional suitability was not checked."*

In the 1970's **Olavi Vapaavuori**, manager of the production department at the Finnish utility TVO, told the new employees that the company's three cornerstones are "safety, safety and safety". The cost structure and the long-sighted nature of the nuclear business have contributed to a conservative approach towards new management and organizational strategies, which tend to put increasing weight on other values instead of the traditionally emphasized technical competence. As the pioneers of the Finnish nuclear industry are gradually stepping to the background, attention must be paid in order not to lose the safety- and technical competence- oriented management principles in the transition. Keeping high standards of safety requires thorough understanding of the principles and phenomena behind the requirements, as well as commitment of the entire organization to continuous learning from mistakes made by themselves as well as by others.

At the moment it seems that Finland was not, after all, too severely hurt by the worldwide nuclear stagnation of the '80s and '90s. The first Finnish power reactors were commissioned ten years later than in many other countries, whereas we got to be among the first to start construction of the new generation reactors. Now, as the nuclear fleet is getting new wind in its sails after the storm in the 1980's and the following ten-year-long calm, the organizations working in the field must ascertain that new recruits can be found that are as good as those recruited 30 to 40 years ago – when the nuclear technology was new, interesting and capable of luring some of the brightest minds of that era.

Erkki Laurila -palkinto Karl-Erik Michelsenille

PROFESSORI KARL-ERIK MICHELSEN artikkelillaan "Project Eastinghouse – teknologinen haaste Loviisassa" valittiin vuoden 2007 Erkki Laurila -palkinnon saajaksi. Palkinnon saajan valitsi lehden toimitus ja valinnan vahvisti seuran johtokunta. Artikkelia julkaistiin numerossa 3/2007.

Valinnan tehneen ATS Ydintekniikan toimituksen mukaan Michelsenin artikkeli on palanen historiankirjoitusta, joka kertoo hienosti Loviisan projektin roolin suomalaisen ydintekniikan osaamisen kehittämisessä. Artikkelista näkyy selvästi Michelsenin pitkäjänteinen ja ansiokas tutkimustyö Loviisan voimalaitoksen rakentamiseen liittyvistä vaiheista, minkä tuloksena Michelsen ja *Tuomo Särkikoski* julkaisivat vuonna 2005 kirjan "Suomalainen ydinvoimalaitos".

LAPPEENRANNAN TEKNILLISEN yliopiston Etelä-Karjala-insituutin johtajana toimiva Michelsen kertoo energiapoliti-

sen historian tutkimuksen työllistävän häntä jatkosakin. Työn alla on muun muassa kirja ydinenergian käytön hyvin erilaisista kehityskuluista puolueettomiksi julistautuneissa Suomessa ja Ruotsissa.

ERKKI LAURILA -palkinto on jaettu vuodesta 2001 alkaen ATS Ydintekniikka-lehden parhaalle kirjoitukselle.



Karl-Erik Michelsen kertoo palkinnon tulleen hänelle yllätyksenä ja kiittää ATS:ää saamastaan tunnustuksesta. (Kuva: Kai Salminen)

Ydin-YVA:t etenevät

TEOLLISUUDEN VOIMA (TVO) jätti ympäristövaikutusten arviointiselostuksen työ- ja elinkeinoministeriölle (TEM) 14.2.2008 koskien OL4-laitosyksikköä. Selostuksessa tarkastellaan 1000–1800 MW:n laitosyksikön rakentamista Olkiluotoon. YVA-menettelyn mukaisiin kuulemisiin kuuluu 21.4.2008 saakka jatkuva lausuntoaika, jolloin TEM ottaa vastaan lausuntoja ja mielipiteitä selostuksesta ja hankkeesta. Kuulemisen päätyttyä ministeriöllä on kaksi kuukautta aikaa antaa oma lausuntonsa selostuksesta ja sen riittävydestä.

YDINLAITOSHANKKEIDEN OSALTA YVA-yhteysviranomaisena toimivassa TEMissä pitää lähimmän vuoden aikana kiirettä. TVO:n YVA-selostus on vasta ensimmäinen neljästä tämän vuoden aikana odotettavasta selostuksesta. Jo pelkkiä menettelyyn kuuluvia yleisötilaisuuksia järjestetään Eurajoella, Loviisassa, Kristiinankaupungissa, Pyhäjoella, Ruotsinpyhtäällä ja Simossa ainakin 11 kappaletta.

TVO:N LISÄKSI liikkeellä on Fortum Loviisa 3 -hankkeella. Fortum aikoo jättää hanketta koskevan selostuksen ministeriölle kesään mennessä. Fennovoiman yhden tai kahden reaktoriyk-

sikön voimalaitoshankkeen neljää vaihtoehtoista paikkakuntaa koskeva YVA-selostus valmistunee syksyllä 2008. YVA-vuoden päättää Posiva, joka ilmoitti tammikuussa toteuttavansa YVA-menettelyn Olkiluodon loppusijoitustilan mahdolliselle laajennusosalle. Posivan tavoitteena on selostuksen jättäminen vuoden 2008 loppuun mennessä.

YVA-MENETTELYN LOPPUUNSAATTAMINEN on edellytys valtioneuvoston periaatepäätökselle uudesta ydinlaitoksesta. Vastoin julkisuudessa esitettyjä arvioita on varsin epätodennäköistä, että valtioneuvosto saisi ennen kesää käsiteltäväkseen edes yhtä periaatepäätöshakemusta. Tästä pitää huolen ministeriön toivomus YVA-menettelyn loppuunsaattamisesta ennen periaatepäätöshakemuksen jättämistä.

JULKISESTI VAIN Fennovoima on ilmoittanut hakevansa periaatepäätöstä YVA:n valmistumisen jälkeen, TVO ja Fortum ovat toistaiseksi ilmoittaneet harkitsevansa asiaa. Myös Posiva tarvitsee periaatepäätöksen, mikäli sen suunnittelemaan loppusijoitustilaan aiotaan sijoittaa enemmän kuin viiden laitosyksikön käytetty polttoaine.



Rainer Rantala tietokoneen ääressä työhuoneessaan helmikuussa 2008 edessään tietoa nykyaikaisessa sähköisessä muodossa.

Rainer Rantala:

Suomi on tänään kysytty yhteistyökumppani ydinenergia-alalla

Suomen viidennen ydinvoimalaitoksen rakentamisprojekti on tuonut mukanaan sen, että Suomesta on tullut hyvin haluttu yhteistyökumppani ydinenergiayhteisön maiden joukossa. Monet maat ovat kiinnostuneita Olkiluotoon rakennettavasta ranskalais-saksalaisesta EPR -ydinvoimalaitoksesta mahdollisena ydinvoimalaitoshankkeena omassa maassaan ja haluavat siksi eri tyyppistä tietoa laitoksen suunnittelusta, ominaisuuksista, komponenttien valmistuksesta, rakentamisen kokemuksista, ylipäättään laitoksen eduista ja haitoista. Niinpä on perustettu erityinen yhteistyöryhmä uusien laitosprojektien tiimoille. Yhteistyöryhmän jäsenmaita ovat Suomen lisäksi mm. Ranska, Yhdysvallat, Britannia, Japani, Kiina, Etelä-Afrikka, ym. Tästä ja paljon muusta materiaalikysymyksiin liittyvästä keskustelemme Säteilyturvakeskuksen (STUK) ylitarkastaja Rainer Rantalan kanssa STUKin tiloissa, emme vain yhden vaan jopa kahden haastatteluistunnon verran. Ammattitermein ilmaisten redundanssi ja divergenssi nimittäin pettivät, ei riittänyt "vyö ja henkselit", vaan kaksi erilaista äänitustekniikkaa petti samalla kertaa, tai rehellisyyden nimissä äänittäjän taidot.

*Eiköhän aloiteta. On jo tuttua lähteä liik-
keelle kysymällä, tässä kun Rainer Rantalan
kanssa istutaan, missä ja mistä kaikki alkoi?
Eli yleensä sieltä missä koulua käyiin ja lap-
sena oltiin.*

"Koulu varmaan on ratkaiseva. Olin hyvä
matematiikassa ja fysiikassa ja huono kie-
lissä, joten oli aika selvää, että lähdän tekni-
selle alalle. Otaniemi oli siten luonnollinen
ratkaisu. Vähän vaikeampaa oli päättää,
minne siellä. Pääsin koneosastolle, jossa
aloitin koneasuunnittelun opintolinjalla
vuonna 1969."

"Pari vuotta myöhemmin sain tuntias-
sistentuurin lujuusopin aihepiiristä. Niihin
aikoihin tuli myös opintouudistus, jossa
systeemi vapautui niin, että valittiin pää-
ammattiaine ja sivuammattiaine. Niinpä
kolmantena vuonna valitsin pääammatti-
aineekseni lujuusopillisen konstruktitek-
niikan ja viidentenä vuonna vaihdoin sivu-
ammattiaineen lämpötekniikkaan."

"STUKiin päädyin niin, että rupesin ky-
selemään diplomityötä apulaisprofessori
Erkki Pennalalta ja hän kertoi työmahdol-
lisuudesta Säteilysäilylaitoksella (SFL).
Ihmettelin hiukan, mitä tekemistä SFL:llä
on lujuusopin kanssa, mutta Pennala sit-
ten selitti lujuusopin ja ydinvoima-asioi-
den kytköstä. Kaivoin tässä vielä esille dip-
lomityöni tarkan nimenkin: Yhdealueen
jännitystilän määrittämisestä paksuseinäi-
sessä sylinteripaineastiasa. Käytin työssä-
ni FEM -menetelmää (Finite element met-
hod), joka oli siihen aikaan vielä lähes uusi
laskentamenetelmä."

*Palataan aikaan ennen "Polille menoasi".
Mistä olet kotoisin, mitä kouluja kävit?*

"Olen helsinkiläinen. Ihan pienenä asuin
Fredrikinkadulla jonnekin nelivuotiaaksi
asti. Sitten asuin Kalliossa Viidennellä Lin-
jalla 12 -vuotiaaksi asti. Siellä kävin kan-
sakouluni ja sieltä käsin aloitin myös kes-
kikoulun ja myöhemmin lukion Helsin-
gin kaksoisyhteislyeossa Käpylässä, vaika
asuin Espoon Tuomarilassa seuraavat 5
vuotta. 17 -vuotiaasta lähtien asuin Vartiokylässä kunnes ostin Lauttasaaressa oman
asunnon. Tuolloin olin ollut töissäkin jo
muutamana vuoden."

Murtumismekaniikkaa ja säteilyhaurastumista

*Asiaan perehtyminen alkaa usein diplomi-
työstä. Se vie alalle ja työpaikkaan. Ja sitten-
hän rupeaa tulemaan asiaa "tuutin täydeltä."*

"Muistan hyvin, kuinka esimieheni **Alpo Ranta-Maunus** ehdotti, että osallistuisin
eräaseen murtumismekaniikka -aiheiseen
konferenssiin Englannissa. Osallistuinkin
vaan paljon esitelmistä jäi ymmärtämättä.
Mutta se vaikutus kokouksella oli, että han-
kin murtumismekaniikkaa käsitteleviä kir-
joja. Siitä se lähti. Kun hyvin tärkeille paine-
laitteille halutaan syvyysuuntaista puolus-
tusta, tehdään erilaisia oletuksia kuten
että rakenteet eivät ole täydellisiä eli niissä
on vikoja, hätäjäähdytyspumput työntävät
kylmää vettä, maanjäristys heiluttaa raken-
teita jne., ja lähdetään vaatimuksesta että
niissäkin tapauksissa suurien laitteiden
tulee selviytyä murtumatta. Tärkeimmille
laitteille haurasmurtuma -analyysijä teh-
dään jo suunnitteluvaiheessa, eli tehdään
säröoletuksia ja analysoidaan sitten ra-
kenteen kestävyys." Jos käyvällä laitoksel-
la laitteessa havaitaan särö, niin korjaustar-
ve voidaan arvioida murtumismekaanisin
menetelmin."

*Jos tämän päivän tilanteessa miettisit,
mikä lujuusopin, rakenteiden ja materiaalien
aihepiireissä on sinun STUKin ylitarkastajan
ammattisi näkökulmasta katsottuna am-
matillisesti tärkeintä, niin voiko niitä panna
järjestykseen?*

"Mitä omiin töihini tulee, voin laittaa
yhden asian ylitse kaikkien muiden, Lovii-
san reaktoripainesäiliöiden säteilyhauras-
tumisen. Se on ollut työtehtävistäni kaik-
kein tärkeimmällä sijalla ja merkitykseltään
suurin. Säteilysuauvoja ruvettiin testaa-
maan kolme vuotta Loviisa ykkösen käyn-
nistämisestä. Ja silloin "Charpy V" eli iskutit-
keys -kokeista nähtiin, että Loviisa ykkösen
paineastia haurastui paljon nopeammin
kuin mitä venäläiset olivat ennustaneet."

*Mitä muita asioita työtehtäviisi kuuluu,
voiko niitä panna järjestykseen?*

"Muut asiat ovat normaaleja tärkeimpi-
en laitteitten jännitys- ja väsymisanalyys-
sien tarkastuksia. Lisäksi on määräaika-

tarkastusohjelmien ja niiden tulosten ar-
viointia sekä vauriotapausten käsittelyä.
Jännitysanalyysissä kyse on klassisesta
jännitys- ja väsymisanalyysistä, jossa raken-
teessa ei ole mitään vikaa. Jokaisesta lait-
teesta pitää esittää rakennesuunnitelma ja
sen osana mitoituslaskut. Painetta vastaan
mitoitetaan yleensä kaavoilla eli on kaa-
voja, jotka kertovat mikä on minimi -seinä-
männäpaksuus. Mutta jos paineen lisäksi on
muuta kuormituksia kuten lämpöjännityk-
siä, ne pitää analysoida ja arvioida kuinka
paljon jännitykset vaihtelevat lämpötilojen
muuttuessa. Se vaatii tarkempia analyyse-
jä, jolloin joudutaan menemään numee-
risiin menetelmiin, esim. FEM-analyysi-
hin. Vaikka rakenne olisikin yksinkertainen
mutta jos kuormitukset eivät ole yksinker-
taisia, tapausta ei mitenkään pysty laske-
maan analyttisesti."

"En ollut vielä mukana Loviisan reaktori-
painesäiliön säteilyhaurastumisproses-
sin ensimmäisessä vaiheessa, kun ongel-
ma havaittiin. **Heikki Reponen** oli tarkasta-
nut reaktoripainesäiliön lujuusanalyysit ja
tarkasti myös ensimmäiset uusitut hauras-
murtuma-analyysit. Kohta sen jälkeen kun
painesäiliölle annettiin käyttö lupa, Alpo
Ranta-Maunus kysyi, haluanko perehtyä
enemmänkin säteilyhaurastumisen aihe-
piiriin ja sen myötä hoitaa asiaa tulevaisuu-
dessa. Ymmärsin, että aihepiiri on teknises-
ti ja tieteellisesti hyvin mielenkiintoinen ja
haastava, olkoonkin että päätöksien teke-
minen asioista ei niitä hauskipia asioita
olekaan. Haurastuminen on hyvin poikki-
tieteellinen ongelma. Siihen liittyy monta
eri asiaa ja monen eri alan ihmisiä tarvitaan
aihepiiriin käsittelyyn."

"Ensiksi tulee kuormitus. Putken men-
nessä poikki sisään työnnetään kylmää
vettä. Kun painesäiliöön työnnetään kyl-
mää vettä, niin paksuseinämaisen säiliön
jäähdyessä sen sisäpuoli on kylmä ja ulko-
puoli kuuma, mistä seuraa suuria lämpö-
jännityksiä jotka voivat rikkoa rakenteen.
Kuinka nopeasti paineastia jäähtyy, käy
ilmi termohydraulisista analyyseistä. Sitten
toinen asia on, kuinka paljon teräs on hau-
rastunut. Siihen tarvitaan nopeitten neut-



Ylitarkastajat ansaitulla kahvitauolla STUKissa Helsingin Kumpulassa 1990-luvulla, vasemmalla Olavi Valkeajärvi, oikealla Rainer Rantala.

ronien annos eli siinä analyysin lähtötiedot saadaan ydinfysiikasta. Ja sitten on vielä materiaaliapuoli, se kuinka paljon teräs haurastuu sen saadessa niin ja niin paljon säteilyä. Ainettarikkomattomien tarkastusten eli lähinnä ultraäänen perusteella arvioidaan, kuinka suuria vikoja hitsisaumassa voi mahdollisesti olla."

"Reaktoripainesäiliö olisi ilman parannustoimenpiteitä haurastunut hyvinkin nopeasti ja lisäksi reaktoripainesäiliöön työnnettiin täysin kylmää vettä. Eli silloin käytettiin oikeastaan kaikki mahdolliset keinot kuormitusten pienentämiseksi, myös kuormitusten todennäköisyyksien pienentämiseksi. Eli molemmat näkökohdat olivat tärkeitä, kuormituksen vakavuus ja kuormituksen todennäköisyys. Niinpä tuolloin tehtiin useita muutoksia, tärkeimpänä niistä sydämen pienentäminen. Sydämen etäisyyttä reaktorin seinämään kasvatettiin ja sydämen ulkokehälle, pahimpaan kohtaan, pantiin teräselementtejä, jotka sitten absorboivat säteilyannosta. Sydämen etäisyys painesäiliön seinämästä ei

Assosiaatiosanaleikki

- ☐ *Säteilyturvakeskus?*
"Viranomainen."
- ☐ *Sitoutuminen?*
"Välttämättömyys oman työn tekemisessä."
- ☐ *Ilmaston muutos?*
"Paha asia."
- ☐ *Areva?*
"EPR:n suunnittelu ei ollut niin pitkällä kuin luultiin."
- ☐ *Polkupyörä?*
"Olen innokas pyöräilijä."
- ☐ *Radioaktiivisuus?*
"Yksi luonnonilmiöistä."
- ☐ *Loviisa?*
"Kesä mökki ja voimalaitos."
- ☐ *Lauttasaari?*
"Merellinen asuinpaikka."

ole vakio, koska sydämen reuna ei ole ympyrän muotoinen."

Vierailevana tarkastajana NRC:ssä

1980-luvun alussa Suomesta lähdettiin paljon pitkäaikaisille työkomennuksille maailmalle. Myös STUKista moni lähti noin vuosina Yhdysvaltoihin NRC:hen vierailevaksi tarkastajaksi. Mikä oli tuon käytännön tarkoitus, millaista yhteistyö oli?

"Kyse oli kokemuksen hankkimisesta. **Jukka Laaksonen** oli NRC:llä ensimmäisenä vv. 1981-1982 ja minä toisena vv. 1982-1983. Olimme siellä parin viikon ajan limitäinkin, ostin Laaksosen huonekalutkin ja myin sitten minun jälkeeni tulleelle **Reino Virolaiselle**. Alkuvuosina oli peräkkäisiä vuoden mittaisia komennuksia. Mutta sitten käytäntö katkesi. Nyt viime vuosina-kin STUKilaisia on ollut siellä, ei välttämättä täyttä vuotta, komennukset ovat olleet irrallisia."

"Minun matkani liittyi Loviisan reaktoripainesäiliön haurastumiseen, koska myös Yhdysvalloissa reaktoripainesäiliöiden haurastuminen oli iso ongelma. Pääsin seuraamaan, miten he käsitelivät haurastumis-asiaa. Suuressa maassa on resursseja kehittää menetelmiä ja määräyksiä haurastumisen suhteen. Asia ymmärrettiin kyllä jo aiemminkin, jo silloin kun Loviisan laitoksen kaupat tehtiin. Suomalaiset edellyttivät silloin, että pitää olla surveillance-ohjelma, jossa materiaalinäytteitä säteilytetään reaktoripainesäiliön sisällä. Eli meilläkin jo tiedettiin, että haurastuminen voi olla ongelma, nimenomaan sen vuoksi, ettei haurastumisen syitä tiedetty. Ei tiedetty, miksi joku teräs haurastuu paljon ja toinen vähemmän. Vähitellen syyt alkoivat selvitä."

Voidaanko haurastumisen syyksi sanoa juuri epäpuhtaudet?

"Haurastuminen johtuu täysin epäpuhtauksista, ne hallitsevat haurastumista, ei itse terästyypistä. Samanlaisilta näyttävät laitokset voivat kuitenkin olla täysin erilaisia haurastumisen suhteen, ja juuri sen vuoksi että epäpuhtaudet määräävät haurastumisen asteen. Jos teräs on puhdasta, niin

se haurastuu vain vähän ja alkutilakin on parempi.”

Kansainvälisestä viranomaisyhteistyöstä

Onko sinulla näkemystä ja kokemusta, mikä on viranomaisen rooli kansainvälisellä kentällä? Kuinka paljon on eri maiden välistä viranomaisten yhteistyötä?

”NRC:n kanssa meillä on ollut paljon yhteistyötä, moni STUKin tarkastaja on ollut siellä ja NRC:n raportteja saamme sujuvasti. Olen toiminut OECD/NEA/CSNI/IAGE-työryhmässä, missä käsitellään rakenteiden ja laitteiden ikääntymistä. Nyt kun Olkiluoto 3:sta rakennetaan, yhteistyön suunta on kääntynyt paljolti toisin päin, muut haluavat tehdä yhteistyötä meidän kanssamme. Tämä on täysin uusi tilanne. Ennen me lähdimme hakemaan tietoa muilta, nyt muut pyrkivät saamaan tietoa ja kokemusta meiltä. Toki meillä on ollut aikaisemminkin annettavaa.”

Minkälaista tietoa ja mistä asioista he hakevat tietoa? Onko käytäntö jo kadonnut?

”Ei, vaan he haluavat tietoa nimenomaan EPR -laitoksesta, mitä ongelmia siinä on ollut, millaisia projektikokemuksia meillä on siitä, ym. Uusia laitoksia koskevien vaatimusten tiimoilta on jokin aika sitten perustettu yhteistyöryhmäkin nimeltään MDEP (Multinational Design Evaluation Programme), jossa ovat mukana Yhdysvallat, Suomi, Ranska, Kiina ja eräitä muita EPR -laitoksesta kiinnostuneita maita. Yhteistyöhön on lisätty myös muita laitostyyppisiä. Tehdäviäihepiirejä laitepuolelta ovat mm. a) monikansallisen laitospotenttien toimittajien viranomaistarkastustoiminnan valmistelu ja b) painetta kantavien laitospotenttien suunnittelu ja valmistuskoodien ja -standardien yhtenäistämiseen tähtäävä arviointityö. MDEP -yhteistyöryhmässä viranomaiset yrittävät yhtenäistää vaatimuksia. On erotettava toisistaan vaatimukset ja valvonta.”

Entä viranomaisen rooli omassa maassaan, se on aina kiehtonut minua yleensä ja siis erityisesti STUKin rooli Suomessa? Mikä se on?

”STUKin rooli on tietyllä tavalla kahtiajakoinen. Viranomaisen tärkein tehtävä on laatia vaatimukset. Eli meillä on YVL -ohjeet, joissa vaatimukset on sanottu. Lisäksi on ydinenergiaa koskevat lait ja asetukset sekä valtioneuvoston päätös. Niidenkin laadinnassa olemme mukana. Toinen tehtävä, jota teemme on tarkastus. On siis kaksi eri roolia, vaatimusten esittäminen ja tarkastus. Tarkastusta on nykyään kuitenkin mm. kolmos- ja nelosluokan painelaitteiden osalta selkeästi siirretty tarkastuslaitoksille. Elikkä voimayhtiö tilaa rakennesuunnitelmien tarkastuksen suoraan tarkastuslaitoksilta. Hyväksytty tarkastuslaitos tarkastaa, että rakennesuunnitelmat on tehty asiallisesti, ja tekee sitten laitteiden rakennetarkastukset. Kyseessä on siis sama työ kuin mitä me teemme mutta me teemme sitä painelaitteiden osalta enää ykkös- ja kakkosluokassa.”

Mikä on ykkös- ja kakkosluokan ero kolmos- ja nelosluokkaan?

”Jako menee turvallisuuden mukaan. Suorassa yhteydessä reaktoripainesäiliöön olevat laitteet ovat ykkösluokassa ja hätäjähdytysjärjestelmät kakkosluokassa. Niin ne voi karkeasti ottaen määritellä. Sitten mennäänkin jo vähemmän merkitystä omaaviin kolmos- ja nelosluokan järjestelmiin, erilaisiin apulaitteisiin. Mutta päämääräpiiri on siis ykkösluokkaa. Ja jos siihen tulee putkikatko, tarvitaan hätäjähdytysjärjestelmiä eli kakkosluokkaa.”

Eihän teillä väki riittäisikään, jos teidän kaikki laitteet pitäisi mennä tarkastamaan.

”Ei riittäisikään. Sen takia kirjoitimme YVL -ohjeetkin uusiksi juuri ennen Olkiluoto 3:n tilausta, koska näimme että ilman työnjakomuutosta meillä ei ole mitään mahdollisuuksia. Painelaitedirektiivin johdosta YVL -ohjeet piti uusita joka tapauksessa.”

Vai halusiko STUK silloin alussa valvoa kaikkea?

”Se oli paljolti sitäkin. Toisaalta ympäröivä maailmakin on muuttunut. Silloin ei tarkastuslaitoksia ollut siinä mielessä kuin tänä päivänä. Elikkä ympäristö on muuttunut ja nimenomaan niin että tarkastustoiminnan infrastruktuuri on kehittynyt, on

tullut kaupallisia tarkastuslaitoksia. Painelaitedirektiivin tullessa vuonna 1997 tarkastustoimi lähti liikkeelle hyvin kaupallisesta ajattelutavasta, että painelaitteiden kauppa maailmassa pitää olla vapaata. Eli käytäntöjä on alettu muuttaa vasta kymmenisen vuotta sitten.”

Omasta tarkastajan roolista

Millaiseksi näet ja koet oman roolisi viranomaistarkastajana?

”Katson olevani aidosti viranomainen enkä varmaan pysty ajattelemaankaan muuta. Olen niin samaistunut STUKin toimintaan, kuin vain voi olla kun on ikänsä STUKissa ollut.”

Koetko että vaatimuksia esittäessä ja niiden toteutusta valvoessa ja tarkastaessa voit siitä huolimatta tehdä yhteistyötä? Ja mitä sellainen yhteistyö voisi olla ”pähkinänkuorena”?

”Suuremmista teknisistä asioista ollaan samaa mieltä. Johonkin vaatimustaso on silti vedettävä ja rajatapauksissa on erilaisia näkemyksiä. ”Pähkinänkuoreen” yhteistyötä on vaikeaa panna. Käytäntöhän on, että kaikki aineistot, mitkä tulevat meille, voimayhtiön edustajan on ensin hyväksyttävä, ennen kuin STUK käsittelee asiaa ja tekee siinä päätöksen. Tämä on käytäntö.”

Eikö yhteistyö voi olla sitäkin että ollaan yhteisymmärryksessä tavoitteesta ja siihen pyrkimisestä, mutta sitten näkemykset voivat olla hieman erilaiset siitä, millä aikataululla johonkin ratkaisuun päästään? Silloinhan pitäisi olla jotain joustokykyä molemmin puolin.

”Ehkä yhteistyö on juuri sitä, että suuremmat asiat näemme samalla tavalla. Ongelmissa katsotaan, mitä siinä tilanteessa on järkevää ja mahdollista tehdä. On selvää että mm. Olkiluoto 3 -projektin kaltaisessa prosessissa tulee yllätyksiä. Ongelmat pyritään sitten käsittelemään mahdollisimman nopeasti. Yhteistyöhön voidaan lukea myös kommenttien pyytäminen YVL -ohjeista ennen niiden julkaisemista ja yksittäisistä päätöksistä kuullaan voimayhtiötä ennen päätöksen tekemistä.”

Kansainvälinen käyttökokemustoiminta – miten vahingoista viisastutaan?

*"Ydinvoima on turvallista niin kauan kuin kaikki sujuu suunnitellusti.
Mutta mitä sitten, jos jotain menee pieleen?"*

Mitä jos jotain menee pieleen? Kysymys lienee kaikille ydintekniikan parissa työskenteleville tuttu. Historiallisista syistä ydinen energian tuotannolla on dramaattinen leima: tultuaan maailman tietoisuuteen toisen maailmansodan päättäneenä ihmeeseen se muuntui nopeasti lupaukseksi rajattomasta energiasta ja ihmiskunnan edistymisen symboliksi. Vauhdilla pystyyn pantujen ydinen energiaohjelmien ja uraanin loppumista (ennenaikaisesti) ennakoineiden hyötöreaktoriprojektien käynnistymisen jälkeen alkuaikojen rajaton optimismi alkoi vähitellen hävetä.

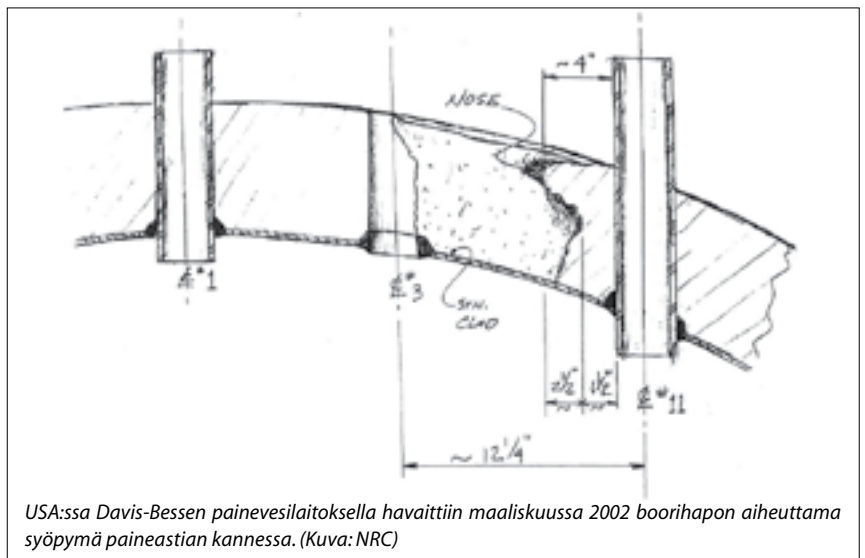
Three Mile Islandin onnettomuus ja sen kanssa samoihin aikoihin ilmestynyt elokuva (arvostelu ATS Ydintekniikan numerossa 3/79) saattoivat ydinvoiman riskit koko kansan tietoisuuteen. Yleinen mielipide alkoi kääntyä ydinen energian käyttöä vastaan. Kansan silmissä alkoi näyttää siltä, että ala oli pettänyt alkuaikojen lupauksensa. Tshernobylin onnettomuus huhtikuussa 1986 oli monen mielestä viimeinen varmistus sille, että ydinen energia ei ole ihmisen hallittavissa. Muodostui yleinen käsitys ydinvoimalaitoksesta korttitalona, jossa yhdenkin kortin poistaminen romahduttaa koko rakennelman.

Tiedonvälitys kaipaa dramatiikkaa. Ydinvoiman osakseen saama julkisuus on luonteeltaan samanlaista kuin viime vuosisadan alkupuolella Harland & Wolffin telakalla Irlannin Belfastissa valmistuneen, maailman suurimman ja nopeimman matkustaja-aluksen RMS Titanicin saama mediahohtelu.

Kun laivaa oli ensin lehtimiesten ja heidän yllyttämiensä laivanvarustamon edustajien toimesta mainostettu "uppoamattomaksi", ja kun se sitten jäävuoreen törmättyään kuitenkin upposi, tiedotusvälineet

välittivät kansalle käsityksen että insinöörit olivat valehdelleet.

Laivanrakennus ei kuitenkaan päättynyt Titanicin uppoamiseen. Haverin opetukset otettiin mahdollisuuksien mukaan huomioon tulevien alusten suunnittelussa ja vanhojen muutostöissä: vedenpitävien osastojen erottelua parannettiin, rungon kokoonpanotekniikassa siirryttiin vähitellen niittien käytöstä törmäyskuormituksia paremmin kestävään hitsaustekniikkaan, pelastusveneiden määrää lisättiin, ja komentosiltatyöskentelyä jäävuoririskin uhatessa



kehitettiin. Uuden tekniikan mahdollisuudet ja aika ajoin sattuvien vahinkojen ope-
tukset otetaan nykyisinkin huomioon me-
renkulun turvallisuuden parantamisessa.
Siitä huolimatta, että merenkuluelinkeino
edelleen vaatii varovastikin arvioiden 1000
ihmishenkeä vuosittain, kansalaismielipi-
de ei pidä sitä vaarallisuutensa tähden tuo-
mittavana toimintana.

Maailmassa on toiminnassa n. 440 säh-
köverkkoon energiaa tuottavaa ydinvoi-
malaitosta. Niiden käytöstä kertyy vuosit-
tain kokemuksia yli tuhannen raportoidun
tapahtuman verran. Three Mile Islandin on-
nettomuuden v. 1979 jälkeen on käyttöko-
kemuksia kertynyt n. 10 000 reaktorivuot-
ta (kuva 1). Ydinennergian turvallisen käytön
kannalta on tärkeää, että kertyvä kokemus
osataan hyödyntää tehokkaasti.

Monenlaisia haasteita

Vahingoista oppiminen ei ole aivan yksin-
kertaista. Onnistuakseen se vaatii mm. seu-
raavien edellytysten täyttymistä:

- ✓ tapahtumat ja läheltä piti -tilanteet kir-
jataan muistiin ja arvioidaan riittävän yksi-
tyiskohtaisesti
- ✓ suoritetaan turvallisuusparannukset ta-
pahtumien toistumisen estämiseksi
- ✓ tieto tapahtumista ja korjaavista toimen-
piteistä kulkee eri maiden ja organisaatioi-
den välillä
- ✓ ydinvoimaa käyttävissä ja sen käyttöä
valvovissa organisaatioissa seurataan aktii-
visesti muualta tiedoksi saatavia tapahtu-
mia ja niiden opetukset hyödynnetään.

Mikään edellä luetelluista asioista ei ole
itsestäänselvyys. Ihmisellä on luontainen
taipumus peitellä omia virheitään, ja vää-
rin toimiva laitos- tai viranomaisorganisa-
tio voi lisätä paineita jättää tapahtumia ja
etenkin läheltä piti -tilanteita kirjaamatta.
Taloudelliset paineet saattavat riittävän ul-
kopuolisen valvonnan puuttuessa aiheut-
taa sen, että toiminnan harjoittaja panee
tuotannon etusijalle ja jättää ilmenevät
ongelmat hoitamatta.

Oikean turvallisuuskulttuurin ylläpito
edellyttää sitä, että käyttöhenkilökunta voi

luottaa oman organisaation sekä valvo-
van viranomaisen asiantuntemukseen ja
kykyyn arvioida tapahtumien merkitys oi-
kein. Epäily, että raportoidut tapahtumat
voivat johtaa esimerkiksi asiantuntematto-
muudesta tai poliittisista syistä johtuvaan
ylireagointiin, nostaa väistämättä rapor-
tointikynnystä. Karkeasti voidaan sanoa:
mitä laajempi jakelu tiedolla on, sitä korke-
ampi on tiedottamiskynnys.

Ydinvoimalaitoksilla on omat kanavansa
käyttökokemustiedon välittämiseen. Näitä
ovat esim. tietyn laitostuotantajan reaktori-
en omistajien yhteydenpitofoorumit sekä
maailman ydinvoimalaitosten yhteistyö-
elin WANO.

Eri maissa on erilaisia käytäntöjä siitä,
mitkä tapahtumat ylittävät raportointi-
kynnyksen. Erityisesti, jos tapahtumassa
on nähtävissä suurta laitostuotantoa kos-
keva yleinen heikkous, kynnys raportoin-
tiin voi kalliiden muutostöiden pelossa
nousta. Niissä tiedonvaihtokanavissa, joi-
hin on ydinvoimaoperaattoreiden lisäk-
si pääsy myös viranomaisilla, on olemas-
sa riski, että hyödyllisiä tapahtumia jää ra-
portoimatta.

Tämä koskee erityisesti maita, joissa on
omaa ydinvoimateollisuutta ja välit sen
sekä valvovan viranomaisen välillä ovat
politisoituneet. Aktiivinen ja riittävän ruo-
honjuuritasoinen kanssakäyminen luvan-
haltijan ja viranomaisen välillä parantaa

turvallisuuteen vaikuttavien asioiden ra-
portointia.

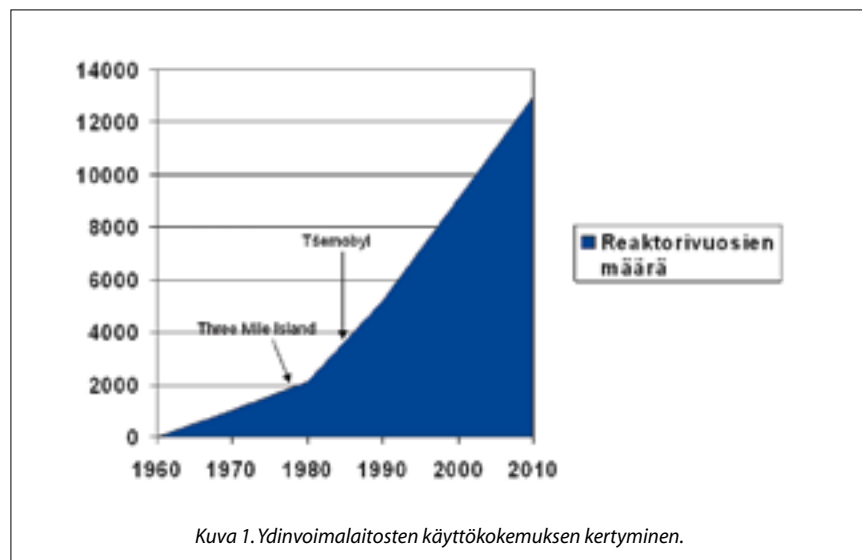
Tietoon tulleiden tapahtumien arvi-
oinnissa on siinäkin omat haasteensa. Ta-
pahtumia sattuu vuosittain satoja, ja niis-
tä oman toiminnan kannalta relevanttien
löytäminen vaatii työtä. On kohtuullisen
suoraviivaista selvittää, löytyykö omalta
laitokselta tiettyä ongelmalliseksi osoit-
tautunutta komponenttia, mutta moni-
mutkaisempien tapahtumaketjujen ar-
viointi edellyttää omien järjestelmien ja
menettelytapojen perinpohjaista tunte-
musta sekä resursseja (=työaikaa). Myös
arvioitavaksi saatavien tapahtumaraport-
tien laatu ja yksityiskohtaisuus jättävät
usein toivomisen varaa.

Kansainvälisen käyttö- kokemustoiminnan foorumit

World Association of Nuclear Operators
(WANO) perustettiin vuonna 1989 täyttä-
mään Tshernobylin onnettomuuden esille
nostamaa tarvetta parantaa ydinvoimayh-
tiöiden välistä tiedonsiirtoa ja mahdolli-
simaan laitosten käytöstä saatavien koke-
musten aiempaa tehokkaampi hyödyntä-
minen.

Maailman kaikki ydinvoimasähköä tuot-
tavat yhtiöt kuuluvat jäseninä WANO:on,
ja sen kautta jaetaan vuosittain n. 1000 ra-
porttia. Raportit jaetaan niiden luonteen
perusteella kolmeen ryhmään: "Signifi-

→ →



Kuva 1. Ydinvoimalaitosten käyttökokemuksen kertyminen.

cant Operating Experience Report” (SOER), ”Significant Event Report” (SER) sekä ”Just-in-Time briefing”. Lisäksi WANO mm. järjestää ydinvoimalaitoksille vertaisarviointoja sekä ylläpitää omiin indikaattoreihin perustuvaa tietokantaa ydinvoimalaitosten toimintavarmuudesta ja sen kehittymisestä. WANO:n organisaatio jakaantuu laitosten maantieteellisen sijainnin ja reaktoriyyppien perusteella neljään alueelliseen keskukseseen, jotka sijaitsevat Atlantas- sa, Pariisissa, Moskovassa ja Tokiossa. Toiminnan koordinoitua hoitava keskus on Lontoossa.

Samaa laitostyyppiä käyttävillä ydinvoimayhtiöillä on keskinäisiä tiedonvaihtofoorumia. Esimerkiksi Asea-Atomin valmistamien reaktorien käyttäjät (Ringhalsin painevesireaktoreilla täydennettynä) ovat yhdistäneet käyttötapahutumien arviointinsa ERFATOM-ryhmään, joka suodattaa kansainvälisistä tapahtumaraporteista omien laitosten kannalta relevanteiksi arvioidut. Vastaava yhteistyöelimi löytyy esim. CANDU-operaattoreilta, joita Kanadan lisäksi on Romaniassa, Kiinassa ja Argentiinassa.

Kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA ylläpitää yhteistyössä OECD:n ydinenergiatoimisto NEA:n kanssa omaa käyttötapahutumatietokantaansa, jonka välityksellä levitetään tietoa ydinturvallisuusviranomaisille turvallisuuden kannalta tärkeistä tapahtumista ja niistä saaduista opeista. Tähän IRS (Incident Reporting System) -tietokantaan on pääsy viranomaisorganisaatioiden lisäksi muillakin ydinenergia-alalla työskentelevillä asiantuntijoilla. Suurelle yleisölle raportteja ei kuitenkaan jaeta, millä pyritään alentamaan kynnystä tapahtumista ilmoittamiseen. IRS-tietokantaan ilmoitetaan nykyisellään n. 100 tapahtumaa tai muuten hyödylliseksi arvioitua käyttötoimintaan liittyvää havaintoa vuodessa, eli n. kymmenesosa WANO:n kautta kulkevasta tietomäärästä.

STUKin pääjohtaja teki v. 2006 Euroopan maiden ydinturvallisuusviranomaisen yhteistyöelimelle (WENRA) aloitteen eurooppalaisen ydinvoimalaitostapahtu-

mien käyttökokemustietojen käsittelykeskuksen perustamisesta esimerkiksi Alan-komaiden Petteniin EU:n tutkimuskeskuksen yhteyteen.

Pienet ydinvoimamaat ymmärsivät hankkeen resurssiansa ja kertyvien käyttökokemustensa rajallisuuden vuoksi. Alan-komaiden, Liettuan, Romanian, Slovenian, Sveitsin, Unkarin ja Suomen ydinturvallisuusviranomaisorganisaatiot solmivat vuoden 2008 alkupuolella yhteistyösopimuksen Euroopan komission kanssa osallistumisestaan eurooppalaisen ydinvoimalaitosten käyttökokemusverkoston (European Network On Operating Experience Feedback for NPPs) toimintaan. Verkoston koordinoitakeskus (EU Clearinghouse on NPP OEF) perustetaan Petteniin IE-JRC:n (Institute for Energy, Joint Research Centre) yhteyteen. Osallistuvilla mailla on mahdollisuus lähettää oma asiantuntijansa määrääjäksi käyttökokemuskeskukseen, jonka tehtävänä on mm. auttaa yhteistyömaita korkealaatuisten käyttötapahutumaraporttien tuottamisessa IAEA:n IRS-tietokantaan, niitä koskevien selvitysten ja yhteenvetojen laatimisessa sekä käyttökokemustietokannan ylläpitämisessä.

Onnettomuudet ydinturvallisuuskehityksen ohjaajina

Alkuaikoina pääpaino ydinturvallisuuden kehittämisessä oli reaktiivisuusasioissa. Kriittisyys-onnettomuuksia sattui aika ajoin, koska materiaalien neutronifysikaalisia ominaisuuksia ei vielä tunnettu riittävä tarkasti ja fissiilin materiaalin käsittelyjärjestelmät olivat alkeellisia. Tiedon lisääntyessä ja järjestelmien parantuessa ydinturvallisuuden painopiste siirtyi vähitellen reaktiivisuuden hallinnasta ydinpolttoaineen jäähdytyksen varmistamiseen. Riittämättömästä jäähdytyksestä johtuvia polttoaineenvaurioita ei kuitenkaan ole kokonaan saatu estettyä: v. 2003 Paksin ydinvoimalaitoksessa otettiin käyttöön uusi polttoaineniippujen puhdistussäiliö, jonka jälkilämmön poisto oli suunnittelupuutteiden vuoksi riittämätön, ja puhdistettavana ollut juuri reaktorista poistettu 30 nipun

polttoaine-erä pääsi vaurioitumaan pahoin ylikuumenemisen seurauksena.

Ydinvoimalaitosten alkuperäinen suunnittelufilosofia nojasi oletukseen, että mikäli laitos on mitoitettu kestävänsä suurimman mahdollisen putken katko ilman merkittäviä sydänvaurioita, se selviää ongelmitta myös pienemmistä vuodoista. Three Mile Islandin sydämensulamisonnettomuus alkuvuodesta 1979 toi runsaasti uusia näkökulmia siihen, miten laitoksen suunnittelu isoa LOCAa vastaan ei yksin riitä estämään sydämen sulamista. Onnettomuuden seurauksena aloitettiin useita tutkimusohjelmia, joilla selvitettiin ja parannettiin mm. valvomoergonomiaa ja henkilökunnan koulutusta sekä häiriö- ja hätätilanneohjeita.

Sen johdosta käynnistettiin myös aiemmin vähäiselle huomiolle jääneiden vakavien reaktorionnettomuuksien ilmiöiden tutkiminen. Vanhoille laitoksille tehtiin lukuisia vakavien onnettomuuksien lieventämiseen tähtääviä muutostöitä, ja seuraavan sukupolven reaktorit (kun niitä vihdoin alettiin rakentaa) suunniteltiin alusta pitäen selviytymään myös vakavista reaktorionnettomuuksista ilman merkittävää päästöä. Uusimmissa laitoksissa on v. 2001 terrori-iskujen myötä otettu huomioon myös mahdollisuus tahalliseen lentokone-
törmäykseen.

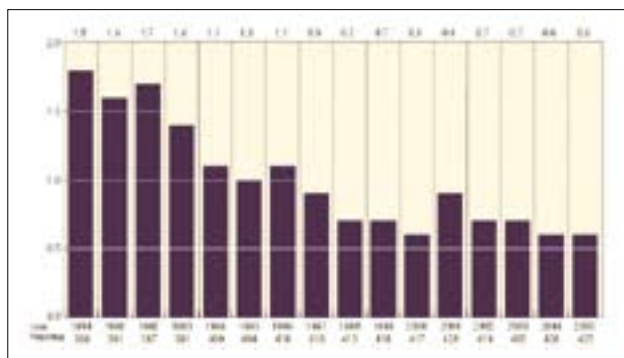
Tshernobylin reaktiivisuusonnettomuus v. 1986, Tokai-Muran kriittisyys-onnettomuus v. 1999 ja lopulta v. 2007 ilmi tulleet lukuisat tahattomat, mutta raportoitamatta jääneet reaktiivisuustapahtumat ympäri maailmaa ovat vähitellen palauttamassa reaktiivisuusasioiden asemaa samalle tasolle viime vuosikymmeninä päähuomion saaneen polttoaineen jäähdytyksen varmistamisen kanssa.

Hiljainen puurtaminen tuottaa tulosta

Saamastaan julkisesta mielenkiinnosta ja sinänsä tärkeästä roolistaan huolimatta onnettomuudet ovat ydinlaivan ohjaamisessa kuitenkin vain jäävuoren huippu. Valtaosa käyttökokemuksista liittyy tapahtu-



Japanilaisen Mihama 3-painevesilaitoksen elokuussa 2004 murtunut lauhdelinjan putki. Syy neljä työntekijää surmanneeseen onnettomuuteen oli puutteellinen kunnonvalvonta. (Kuva: NITI)



Kuva 2. Suunnittelemattomien pikasulkujen määrä aikavälillä 1990 - 2005. (Lähde: WANO)

miin, joiden turvallisuusmerkitys on sinänsä pieni, mutta jotka oikein hyödynnettyinä auttavat muuttamaan toimintatapoja niin, että käyttöhäiriöiden taajuus ja niiden mahdollisuudet kehittyä onnettomuuksiksi pienenevät.

Usein toistuvia teemoja käyttötapahtumamaraporteissa ovat materiaaliviat, ohjeiden virhetulkinnasta johtuvat väärät kenttäoperaatiot, useiden toisistaan riippumattomien tapahtumien ketjut sekä liika luottamus alihankkijoihin, joiden asiantuntemus on koko ajan pienenevässä. On osattava olla "älykäs asiakas", ja parasta on jos kokemus on saatu muualta eikä opittu oman kantapään kautta. Yksi ajan myötä kasvava ongelma on laitosten suunnittelijoiden ja käyttäjien matemaattis-fysikaalisen osaamisen rappeutuminen "pehmeiden" aineiden saadessa yhä suuremman painoarvon koulutusohjelmissa.

Tärkein hyötyjä kansainvälisestä käyttötapahtumatoiminnasta ovat voimayhtiöt. WANO käyttää ydinvoimalaitosten toimintavarmuuden arviointiin seuraavia indikaattoreita:

- ✓ laitosyksikön käyttökerroin
- ✓ suunnittelemattomien tuotannonmenetysten osuus
- ✓ suunnittelemattomien pikasulkujen määrä 7000 ajotuntia kohti
- ✓ turvallisuusjärjestelmien käyttökuntoisuus
- ✓ polttoainevuotojen määrä
- ✓ kemialliset olosuhteet jäähdytyspiireissä (kemian indeksi)

- ✓ työntekijöiden kollektiivinen säteilyannos
- ✓ työtaturmien lukumäärä 200 000 työtuntia kohden.

Kuvassa 2 on esitetty esimerkkinä suunnittelemattomien pikasulkujen määrän kehitys vuosina 1990-2005. Vaikka syy-seuraus-suhteen yksikäsitteinen osoittaminen on mahdotonta, käyttökokemusten systemaattisella hyödyntämisellä on varmasti ollut oma merkityksensä laitosten käyttövarmuuden parantamisessa.

Myös viranomaiselle käyttökokemustoinnasta on suuri hyöty mm. tarkastusten ja valvonnan painopistealueiden suunnittelussa.

Esimerkiksi tieto siitä, miten useat toisistaan riippumattomat yksittäisviat saattavat johtaa alkutapahtuman kehittymiseen turvallisuuteen vaikuttavaksi tapahtumaksi, auttaa löytämään niin vanhojen kuin piirustuslaudalla olevienkin laitosten suunnittelusta parantamista vaativia kohtia. Ihmillisille virheille alttiiden toimintojen automatisointi siellä, missä se on mahdollista, on puolestaan esimerkki kehityssuunnasta, jonka jatkaminen saa tukea käyttökokemuksista.

Rokotus yliherkkyyttä vastaan

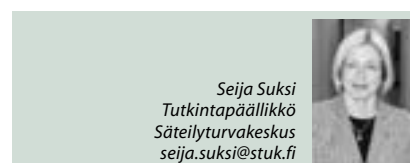
Maailman 440 ydinvoimalaitosta tuottavat sähkön lisäksi jatkuvalla syötöllä kokemuk- sia, joita oikein hyödyntämällä ydinenergi- an tuotannon käyttövarmuutta ja turvalli- suutta pystytään kehittämään yhä parem- maksi. Tapahtumien raportointi ja arvioin- ti hyödyttää paitsi muita alan toimijoita myös raportoivaa organisaatiota itseään ylläpitämällä asiantuntemukseen ja avoi- muuteen perustuvaa organisaatoraken- nassa vaatii jatkuvaa huolenpitoa.

Ydinvoima-alan lisäksi käyttötapahtumi- en avoimesta tiedottamisesta hyötyy suuri yleisö, joka saa paremman kuvan siitä, mil- laisia riskejä ydinenergian käytöstä aiheu- tuu: korttitalon sijasta ydinvoimalaitos on pikemminkin satojen vuosien aikana ker- tyneeseen kokemukseen perustuva hirsit- alo, joka tulee vuosi vuodelta tiiviimmäksi hirsien nitkahdellessa yhä paremmin tois- tensa lomaan, ja jota yhden hirren laho- aminen ei vielä sorra.

■



Riku Mattila
Tarkastaja
Säteilyturvakeskus
riku.mattila@stuk.fi



Seija Suksi
Tutkintapäällikkö
Säteilyturvakeskus
seija.suksi@stuk.fi

Ledarskap för kärnsäkerhet

Insikt – Engagemang – Förändring

Kärnkraft kräver ett ledarskap som innefattar insikt, engagemang och anpassningsförmåga för att hantera det speciella samspel mellan teknik, ekonomi och mänskliga faktorer, som är kännetecknande för säker och lönsam kärnkraftproduktion i en föränderlig omgivning.

Näillä sanoilla alkaa selvitys, jossa Magnus von Bonsdorff ja Lars G Larsson arvioivat Vattenfallin konsernijohdon tapaa käsitellä ydinturvallisuusturvallisuuskysymyksiä.

✓ World Association of Nuclear Operators (WANO) perustettiin Tshernobylin onnettomuuden jälkeen vuonna 1986 esikuvanaan Yhdysvalloissa toimiva Institute of Nuclear Power Operators (INPO). WANO korostaa työssään yhtiöiden vastuuta käyttökokeusten hyödyntämisessä.

✓ Vattenfall on päättänyt uudistaa toimintaansa selvityksen suositusten mukaisesti. Uudet toiminnot ja yksiköt korostettu. Oikeassa alalaidassa Vattenfall-konsernin yleiskuvaus. Uudistukset ovat alkaneet ja yhtiön Chief Nuclear Officer (CNO) -tehtävään nimettiin 1.2.2008 alkaen **Per Olof Wässman**.

Selvitystyö alkoi Forsmarkin laitoksen vuoden 2006 kesän tapahtumien jälkeen ja sen merkitys korostui yhtiön Saksan laitossyksiköiden ongelmien jälkeen. Työ tuotti yritysjohdolle lukuisia suosituksia joita onkin jo alettu toteuttaa ja se antaa ajattelemisen aihetta myös suomalaisille alan toimijoille.

Selvitystyön taustalla häiriöt Vattenfallin Forsmarkin ja Saksan laitossyksiköillä

Toimeksiannon taustalla olevia tapahtumia Forsmark 1 laitossyksiköllä on käsitelty ja kuvattu laajasti eri näkökulmista sekä teollisuuden että viranomaisten toimesta. Tapahtumat olivat erittäin vakavia ja ovat yksi harvoista Ruotsissa tapahtuneista häiriöistä, jotka on luokiteltu tasolle 2 kansainvälisellä INES-asteikolla. Merkittävää asiassa on myös se, että Forsmark 1 on perinteisesti ollut yksi parhaista ruotsalaisista ydinvoimalaitossyksiköistä jolla on osavaa henkilökuntaa. Hyvät tulokset toivatkin itsetytyväisyyttä jota yhtiön johto ei havainnut. Lisäksi ydinvoimalaitossyksiköiden henkilöresursseja oli vähennetty vaikka rahaa riittikin teknisiin parannuksiin laitoksilla.

Ydinvoimalaitosten häiriö- ja onnettomuustilanteiden syitä selvitettyä lähtökohtana on pyrkimys selvittää tapahtumien perussyä – englanniksi "the root cause". Perusteellisessa ydinturvallisuustyössä ei arvioida pelkästään häiriöiden

tekniisiä syitä vaan myös tapahtumien aikaisia organisatorisia ja johtamiseen liittyviä tekijöitä. Vastaavat menettelyt ovat yleisiä myös muilla korkeaa turvallisuustasoa vaativilla teollisuudenaloilla, kuten öljy-, kemian- ja avaruusteollisuudessa.

Vattenfallin ydinturvallisuuden tasoa on arvioitu aikaisemmin kahteen otteeseen. Lähtökohtana näissä arvioissa oli muilla kuin yhtiön omilla laitoksilla tapahtuneet häiriöt, nimittäin imusihtiongelmat Barsebäckissä ja Ontario Hydron laitosten tapahtumat Kanadassa 1990-luvun lopussa. Barsebäckin ongelmat johtivat pitkäaikaisiin seisokkeihin viidellä ruotsalaisella laitossyksiköllä. Kanadassa Ontario Hydron johto havaitsi, ettei turvallisuusvaatimuksia ollut noudatettu, mikä johti seitsemän laitossyksikön sulkemiseen ja merkittäviin muutoksiin kahdellatoista yksiköllä.

Sivumennen todettakoon että ensimmäiseen 1993 tehtyyn selvitykseen osallistui Lars G Larsson ja jälkimmäinen tehtiin kansainvälisenä "peer review":nä Magnus von Bonsdorffin johdolla 1998.

Tapahtumat Forsmarkissa olivat voimayhtiöiden sisäisiä – samoin kuin myöhemmät häiriöt yhtiön Saksan laitoksilla kesäkuussa 2007 – ja ne ravistelivat sekä niitä että pääomistajayhtiötä Vattenfallia kaikilla tasoilla. Keskusteluissa IAEA:n kanssa tapahtumia kuvattiinkin uudella termillä "emotionally significant event". Tapahtumien vaikutukset olivat niin voi-

makkaita, että ne antoivat ainutlaatuisen mahdollisuuden ja jopa velvollisuuden jokaiselle konsernin päättäjälle analysoida toimintatapojaan ja ryhtyä käytännön toimenpiteisiin ydinturvallisuuden parantamiseksi.

Selvitys toteutettiin vertailemalla yhtiön johdon toimintatapoja muiden relevanttien organisaatioiden tapaan käsitellä turvallisuuskysymyksiä. Havainnot tehtiin ja suositukset laadittiin organisatoriseen analyysiin pohjautuen. Toimeksiannossa pyrittiin arvioimaan yhtiön ruotsalaisten ydinvoimalaitosten johtamisjärjestelmää, valottamaan vuosien saatossa tehtyjä muutoksia yhtiön ja viranomaisen johtamisjärjestelmässä ja kuvaamaan valittujen kotimaisten ja ulkomaisten alan toimijoiden tapaa käsitellä turvallisuuskysymyksiä.

Toimeksiannossa haettiin systemaattisesti tietoa siitä kuinka muissa relevantissa yhtiöissä käsitellään turvallisuuskysymyksiä johdon näkökulmasta. Suositukset on laadittu parhaiden yritysten ja parhaimmat käytännöt omaavien organisaatioiden kokemusten pohjalta. Vertailuryhmään kuului alan kansainvälisiä järjestöjä (IAEA, INPO, WANO), voimayhtiöitä (EdF, British Energy, TVO), tutkimuslaitoksia (VTT) ja viranomaisia (SKI, STUK, NRC).

Konsulttiyhtiö ÅF selvitti lisäksi esimerkin omaisesti suurten ydintekniikan ulkopuolisten teollisuuskonsernien tapaa käsitellä turvallisuuskysymyksiä johdon näkökulmasta. Ulkopuolisten organisaatioiden lisäksi haastateltiin myös yhtiön strategisesti tärkeitä henkilöitä.

Vattenfallin ydinvoimaa koskevaa julkista viestintää tarkasteltiin varsin kriittisesti. Se on pitkät ajat ollut lähes olematonta eikä tasapainossa muihin mm. uusiutuviin tuotantomuotoihin verrattuna. Siinä missä sitä on näkynyt se on tekijöiden mielestä ollut varsin vinoutunutta. Selvityksessä todetaan, että ydinvoimatuotannon niin epätärkeänä asiana pitäminen että sitä tuskin mainitaan Vattenfallin sähköntuotannon kulmakivenä, rappeuttaa ydinvoimayhtiöissä vastuullista työtä tekevien motiva-

tiota ja huolellisuutta ja on siten välillisesti turvallisuusriski.

Arviointi johti lukuisiin suosituksiin

Selvitys tuotti joukon yleisiä havaintoja yhtiöiden tavasta käsitellä turvallisuuskysymyksiä sekä konkreettisia suosituksia yritysjohdolle. Työn tuloksia esiteltiin Vattenfallin johdolle syyskuussa 2007.

Selvityksessä muistutetaan että ydinvoimaa tuottavilla tytäryhtiöillä on muodollinen, jakamaton vastuu ydinturvallisuudesta.

Selvityksen keskeiseksi viestiksi konsernihallitukselle ja -johdolle tulikin, että niiden on paneuduttava lisää ydinvoima- ja ydinturvallisuusasioihin, siinä laajuudessa kuin näillä on merkitystä konsernin liiketoiminnan riskien ja mahdollisuuksien sekä Ruotsin sähkön saannin ja ilmastostrategian kannalta, huolehtimalla että ydinvoimayhtiöiden johto täyttää vastuunsa tavalla, joka käy ilmi selvityksen alkusanoista. Puhutaan johtajuudesta – "Ledarskap för kärnsäkerhet".

Konsernin hallitukselle ja johdolle suositeltiin

✓ ydinturvallisuusneuvoston, jossa konsernin johtaja toimisi puheenjohtajana, perustamista, konsernijohdon ydinvoima-asiantuntijan (Chief Nuclear Officer, CNO) nimeämistä, turvallisuuden ottamista mukaan konsernin arvoihin,

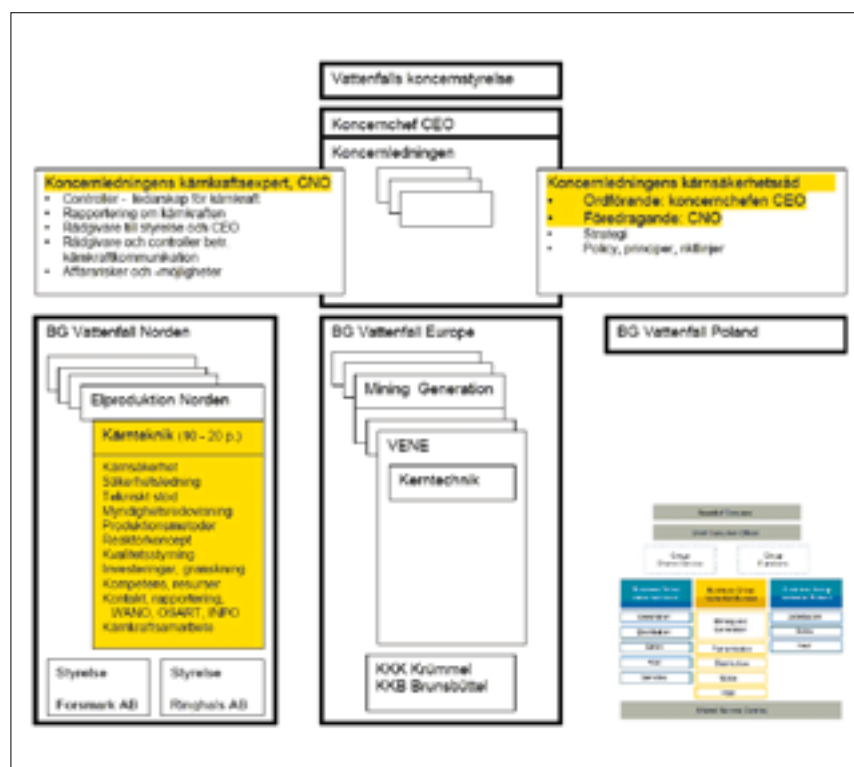
✓ viestittämistä konsernin sisällä siitä, että turvallisuus on laitosten tuotantoa ja taloutta tärkeämpää,

✓ ydinturvallisuustilanteen raportointia jokaisessa konsernin hallituksen kokouksessa, konsernin tasapainoisen ydinvoimastrategian laadintaa ja sen aktiivista viestintää yhtiön sisällä ja julkisuuteen,

✓ eurooppalaisen ydinturvallisuusyhteistyön vahvistamisen tukemista,

✓ konsernijohdolle ydinvoimatuotannon ja -turvallisuuden osaamisen valvontaa kaikilla johtotasoilla ja osaamisen parantamista osallistumalla kansainväliseen turvallisuusyhteistyöhön, sekä ydinturvallisuusyhteistyön tehostamista muiden ydinvoimayhtiöiden kanssa.

➔ ➔



Lisäksi konsernin pohjoismaiselle sähköntuotantoyksikölle (Vattenfall Elproduktion Norden, EN) suositeltiin mm. että

- ✓ ydinturvallisuuden tilasta ja mahdollista puutteista sekä johdon mahdollisista muutostarpeista on raportoitava säännöllisesti konsernijohtolle ja CNO:lle,

- ✓ EN-yksikön johtajan on toimittava puheenjohtajana vastuualueeseen kuuluvien ydinvoimalaitosten hallituksessa ja vastattava siitä, että yhtiöllä on riittävä ydintekninen osaaminen,

- ✓ varmistetaan, että ydinvoimayhtiö ja sen henkilökunta on tietoinen ydinturvallisuuden tärkeydestä,

- ✓ EN-yksikköön perustetaan ydintekniikkayksikkö tukemaan ydinvoimalaitoksia merkittävässä teknisissä, organisatorisissa ja taloudellisissa kysymyksissä,

- ✓ ydinvoimayhtiöiden henkilöresursseja vahvistetaan siten, että suunnitellut tehonkorotukset ja laitosten modernisoinnit voidaan toteuttaa,

- ✓ ydinvoimayhtiöiden pitkän tähtäimen osaamistarpeita vahvistetaan aktiivisella rekrytoinnilla siten, että ydinenergiasektorista tulee houkutteleva kohde,

- ✓ EN vakuuttaa ydinvoimayhtiöiden ja kamatonta vastuutaan ydinturvallisuudesta ja velvollisuuksiaan luvanhaltijana, ja

EN ja ydinvoimayhtiöt ottavat aktiiviseman roolin suhteessa ydinturvallisuusviranomaiseen valvonta- ja lupa-asioissa.

Uudistusten toteutus lähtenyt käyntiin

Selvityksen tulokset esitettiin Vattenfallin konsernihallitukselle 23.10. Hampurissa sekä myöhemmin neljässä henkilökuntaseminaarissa Vattenfallin pääkonttorissa, Forsmarkissa ja Ringhalsissa. Reaktiot olivat kauttaaltaan myönteiset, hallitus hyväksyi selvityksen kokonaisuudessaan ja on ryhtynyt toteuttamaan siinä olevia suosituksia.

Toistammeko ruotsalaisten virheet?

Selvitys herättää lukuisia kysymyksiä. Esi merkiksi onko suomalainen turvallisuuskulttuuri korkeaa kansainvälistä tasoa?

Onko kansainvälisten kokemusten vaihto tehokasta, huomioidaanko muiden maiden ja laitosten ongelmia sekä tapahtumia riittävästi?

Onko henkilökunnan rekrytoinnissa huomioitu riittävästi eläkkeelle siirtyvien henkilöiden aiempaa suurempi määrä ja osittainen ammattihenkilöpula työmarkkinoilla? ■

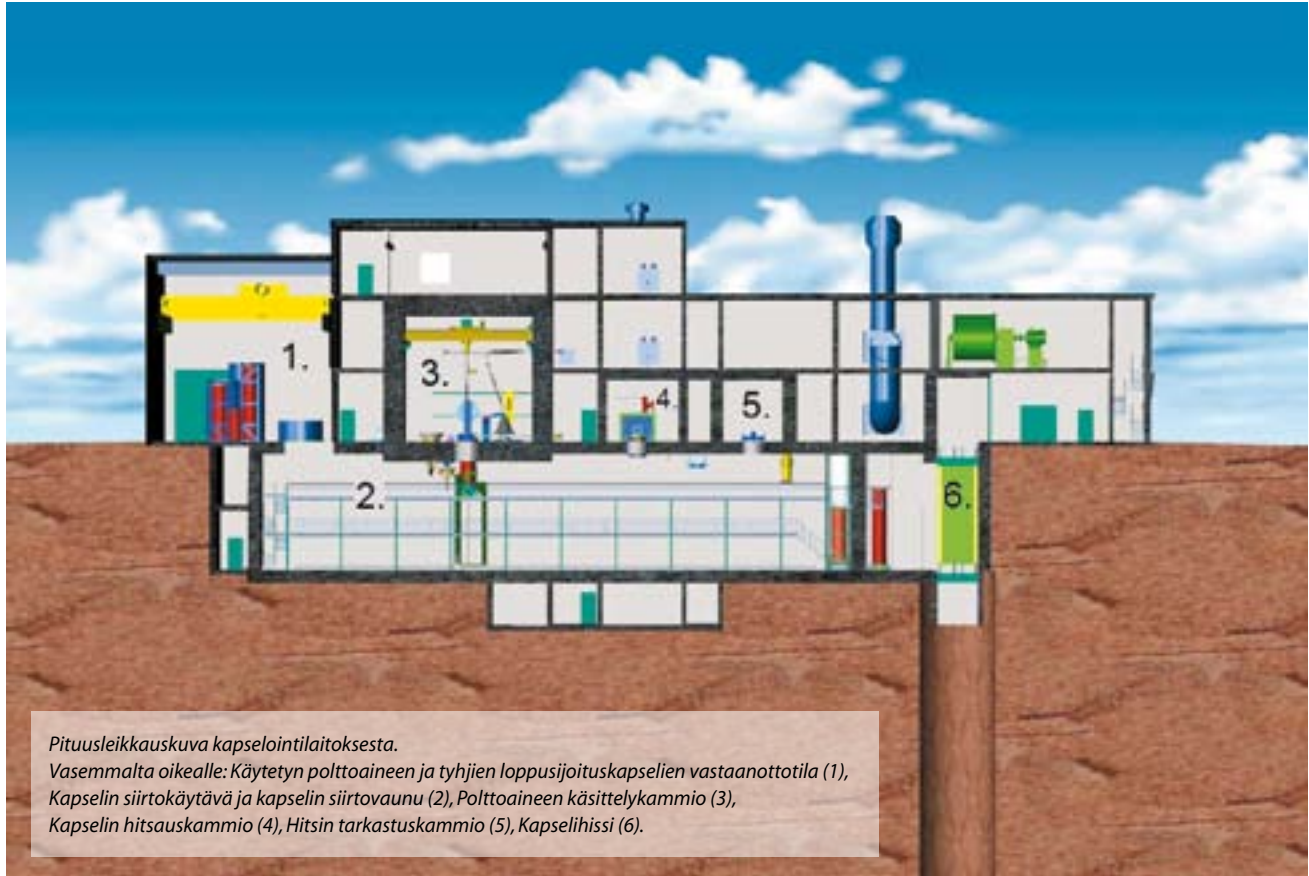
Magnus von Bonsdorffin ja Lars G Larssonin raportti annettiin julkaistavaksi 13.11.2007 ja on kokonaisuudessaan luettavissa ruotsiksi Internetissä osoitteessa <http://www.vattenfall.com>.



Benchmarking

"Each nuclear utility has a responsibility to learn from others by seeking out good practices and avoiding the mistakes that have already been made . . . and to help one another upgrade the safety and reliability of the plants they operate."

— Lord Marshall of Goring



Pituusleikkauskuva kapselointilaitoksesta.

Vasemmalta oikealle: Käytetyn polttoaineen ja tyhjen loppusijoituskapselin vastaanotto-tila (1), Kapselin siirtokäytävä ja kapselin siirtovaunu (2), Polttoaineen käsittelykammio (3), Kapselin hitsauskammio (4), Hitsin tarkastuskammio (5), Kapselihissi (6).

Jälkilämpö määrittelee raamit Posivan käyttötoiminnalle

Posiva Oy:n loppusijoituslaitoksen käyttötoiminnan reunaehdot määräytyvät pitkälti Posivan omistajien Teollisuuden Voima Oyj:n ja Fortum Power and Heat Oy:n ydinvoimalaitoksilta tulevan käytetyn polttoaineen määrästä ja ominaisuuksista. Laitosten käyttöikä, syntyvä polttoainemäärä, polttoaineen maksimipalama ja keskimääräinen palama määrittelevät loppusijoitustoiminnan aikataulun sekä antavat tärkeitä lähtökohtia laitoksen suunnittelulle. Tärkein yksittäinen tekijä käytännössä on polttoaineen jälkilämmön tuotto, joka mitoittaa monet asiat loppusijoitusjärjestelmässä.

Käytetyn polttoaineen näkökulmasta Posivan loppusijoituslaitoksen käyttötoiminta alkaa siitä, kun käytetyllä polttoaineella täytetyn polttoaineen kuljetussäiliön kuljetus alkaa voimalaitosten käytetyn polttoaineen välivarastoilta ja päättyy siihen, kun loppusijoituskapseli on sijoitettu kallioon porattuun loppusijoitusreikään. Tämän jälkeen tulevat vielä loppusijoitusreikien ja tunneliston täyttö ja tilojen sulkeminen.

Loppusijoitustoiminnan on määrä alkaa vuonna 2020 ja tämänhetkisten käyvien laitosten ja rakenteilla olevan OL3 -yksikön käytetty polttoaine on loppusijoitettu nyky-suunnitelmien mukaan vuosiin 2097-2111 mennessä riippuen siitä, kuinka pitkän peruskorjaustauko laitoksella pidetään ennen OL3 -polttoaineen sijoittamisen aloittamista. Tämänhetkinen käytetyn polttoaineen määrä johtaa noin 40 loppusijoituskapselin vuosituotantoon. Mikäli Posivan omista-





Loppusijoituskapselin kuljetus- ja asennusajoneuvo. Tela-alustaisella ajoneuvolla kapselia siirretään säteilysuojan sisällä loppusijoitus-tiloissa sekä asennetaan loppusijoitusreikään.

jayhtiöt rakentavat lisää laitosyksiköitä, vaikuttaa se suoraan Posivan käyttötoiminnan aikatauluun ja laajuuteen.

Kuljetukseen loppusijoitusta varten valitaan polttoaineen käyttöhistoriatiedon perusteella sellaiset niput, että loppusijoituskapselille määritetty maksimilämpöteho rajoitetaan mahdollisimman tarkasti kuitenkin ylittämättä suunnitteluarvoa (esimerkiksi OL1-2 kapselilla 1700W). Polttoaine kuljetetaan KPA-varastoilta tähän tarkoitukseen suunnitelluilla kuljetussäiliöillä loppusijoitustilojen yläpuolella maan päällä sijaitsevaan kapselointilaitokseen. Samantyyppisiä säiliöitä käytetään tälläkin hetkellä laitospaikoilla polttoaineen siirtoihin ydinvoimalaitoksilta KPA-varastoon. Olkiluodossa siirto KPA-varastosta kapselointilaitokseen tapahtuu Olkiluodon ydinlaitosalueen sisäpuolella, joten siirto ei vaadi yhtä mittavia kuljetusjärjestelyjä kuin kuljetukset Loviisasta. Tämänhetkinen referenssikuljetustapa Loviisasta on maantiekuljetus. Myös rautatie- ja merikuljetusta on selvitetty. Kuljetukset tapahtuvat märkäkuljetuksina, jolloin kuljetussäiliö on täytetty vedellä ja polttoaineen lämpötila ei nouse yli 40°C. Maantiekuljetus Loviisasta on valvottu kuljetus, jossa mukana seuraa tarvittava saattuehenkilöstö, kuten poliisi ja säteilyturvakeskuksen valvoja.

Kapselointilaitos käyttötoiminnan keskuksena

Kuljetussäiliön saapuessa kapselointilaitokseen sen pinta mitataan mahdollisen

kontaminoitumisen varalta. Tämän jälkeen säiliö nostetaan kuljetussäiliön siirtokäytävään, jossa se voidaan tarvittaessa puhdistaa. Säiliön painetaso mitataan ja kaasut analysoidaan, jonka jälkeen voidaan säiliön kannen pultit irrottaa. Tämän jälkeen säiliö nostetaan kapselointilaitoksen polttoaineen käsittelykammion lattiasa olevaan telakointiasemaan ja telakoidaan kaasutiiviisti siihen. Telakointiaseman suojakuppu poistetaan ja kuljetussäiliön kansi voidaan poistaa. Kansi siirretään suojakuvun alle, jotta se ei kontaminoidu käsittelykammiossa.

Koska loppusijoituskapseliin jäävä vesi-määrä on pyrittävä minimoimaan, on kuljetussäiliöstä nostettavat polttoaineniput kuivattava vedestä. Niput nostetaan polttoaineen siirtokoneella kuljetussäiliöstä polttoaineen kuivausasemaan. Käsittelykammiossa tapahtuvat polttoaineen siirrot ovat ainoita ilmassa tapahtuvia siirtoja polttoaineen reaktoriin latauksen jälkeen. Säteilysatot käsittelykammion sisällä ovat huomattavan korkeat. Polttoaineen siirtokonetta ohjataan käsittelykammion ulkopuolelta kauko-ohjatuksi operaattorin toimesta. Kuivausasemaan siirretään kerrallaan yhteen loppusijoituskapseliin menevät niput. Kuivaukseen on suunniteltu käytettävän alipaine-kuivausta, joka käyttää hyväksi polttoaineen jälkilämpötehoa.

Tyhjät loppusijoituskapselit tuodaan kapselointilaitokseen tarkoitukseen suunnitellussa siirtokehyksessä normaalilla rekakuljetuksella. Kapselissa on valurautai-

nen sisäosa paikallaan. Kapseleille tehdään vastaanottotarkastus ja tarvittaessa hitsauspinnat kapselista ja kannesta puhdistetaan. Kapseli nostetaan siirtokehyksessä kapselin siirtokäytävässä olevaan kapselin siirtovaunuun, jossa siirtokehys irrotetaan ja kapseli asemoidaan tarkasti kohtisuoraan oikealle paikalleen. Kuparikansi asetetaan siirtovaunussa olevalle omalle nostimelle.

Tyhjä loppusijoituskapseli siirretään ja nostetaan siirtovaunulla polttoaineen käsittelykammion toisella laidalla lattialla olevaan kapselin telakointiasemaan. Kapseli telakoidaan kuljetussäiliön tapaan kaasutiiviisti käsittelykammioon. Ensimmäiseksi kapselin yläosan päälle lasketaan kaasunvaihtokupu, jolla saadaan kapselin sisäosan valurautainen sisäkansi nostetuksi pois. Sisäkansi jää kaasunvaihtokuvun alle käsittelykammioon suojaan polttoaineen siirron ajaksi.

Kuivatut polttoaineniput nostetaan siirtokoneella kuivausasemasta loppusijoituskapseliin. Kun kaikki niput on siirretty, nostetaan kaasunvaihtokupu sisäkansineen kapselin päälle. Ennen sisäkannen kiinnitystä kapselin kaasuatmosfääri vaihdetaan argon-kaasuksi kapselin sisäpuolisen korroosion minimoimiseksi. Tämän jälkeen sisäkannen kiinnityspultti kiristetään ja kapseli voidaan laskea takaisin siirtokäytävään.

Kapselin yläpinta saattaa kontaminoidua käsittelykammiossa, jossa voi olla nipujen pinnalta irronneita korroosiotuotteita eli crudia. Kapselin siirtokäytävään on suunniteltu laitteisto, jolla kapselin yläpinnasta voidaan ottaa pyyhkäisynäyte ja tarvittaessa suorittaa puhdistustoimenpiteitä, jotta kontaminaatio ei leviäisi muualle kapselointilaitokseen.

Seuraavaksi kapseli siirretään hitsauskammioon. Ensin hitsauskammioon nostetaan hitsattava kuparikansi erillisellä nostimella. Tämän jälkeen nostetaan kapseli hitsauskammioon siirtovaunun nostimella. Kapseli telakoidaan jälleen kaasutiiviisti hitsauskammioon, jotta hitsauksessa tarvittava alipainetaso saavutetaan. Ennen



Polttoaineen käsittelykammio. Etualalla polttoaineen kuivausasemat (2 kpl) ja taaempänä loppusijoituskapselin telakointiasema kaasunvaihtokupuineen sekä polttoaineen siirtokone.

Monenlaista osaamista tarvitaan

Loppusijoituslaitoksen käyttötoiminta vaatii paljon erityyppistä erikoisosaamista. Ammattilaisia tarvitaan mm. polttoaineen siirtoon, kuljetuksiin ja käsittelyyn liittyvissä toiminnoissa sekä kapselointilaitoksessa että maanalaisissa loppusijoitustiloissa. Erityistä pätevöintiä vaativia tehtäviä tehdään kapselin hitsauksessa sekä kapselin ja hitsin tarkastuksissa. Myös bentoniitin käsittelyyn ja asennuksiin sekä tilojen louhintaan ja kallioperän karakterisointiin liittyviin tehtäviin tarvitaan erityisosaamista. Lisäksi tarvitaan normaalin ydinlaitoksen tapaan käyttöhenkilöstöä mm. säteilysuojeluun, kunnossapitoon, muutossuunnitteluun sekä käyttöturvallisuuteen ja ydinmateriaalivalvontaan liittyvissä tehtävissä. Kaikkiaan loppusijoituslaitoksessa tarvittava normaalikäytönaikainen henkilöstömäärä on reilut sata henkilöä. Varsinaisia huoltoseisokkeja on suunniteltu pidettävän 5 vuoden välein.

Laitoksen suunniteltu pitkä käyttöaika asettaa vaatimuksia osaamisen kehittämiselle. Voidaan perustellusti olettaa, että tekniikka kehittyy myös tulevaisuudessa ja nykyistä ratkaisua tullaan tiedon karttuessa optimoimaan. Tämän tulee luonnollisesti tapahtua turvallisuudesta tinkimättä. Erityisen haasteen asettaa tulevaisuudessa myös hankintaketjujen hallinta. Bentoniti on ostettava ulkomailta sellaisista maista, joissa näitä esiintymiä on. Tämän päivän näkymien perusteella myös raskaat kapselikomponentit hankitaan niin ikään ulkomailta. Näissä kuten monissa muissakin asioissa Posiva voi onneksi tukeutua omistajiensa ydinvoimaosaamiseen ja hyödyntää sen kokemuspohjan omassa työssään. ■

hitsauksen aloittamista on kansi asennettava paikoilleen. Koska kannen ja kapselin välissä on erittäin pieni välys, on asennuksen helpottamiseksi kapselin yläpäättä lämmitettävä erillisellä lämmittimellä, jotta kapselin yläpää lämpölaajenee hieman. Lämmityksen jälkeen voidaan kansi laittaa paikoilleen ja hitsaus aloittaa. Hitsauksessa on referenssimenetelmäksi valittu elektronisuihkuhitsaus, jolla noin 50 mm paksu kansi hitsataan tiiviisti kiinni kapseliin.

Hitsauksen jälkeen kapseli lasketaan alas hitsauskammioista siirtokäytävään ja siirretään edelleen hitsin koneistuspaikalle, jossa hitsin pinta koneistetaan tasaiseksi otsajyrsimellä. Koneistuksen jälkeen kapseli nostetaan tarkastusasemaan, jossa hitsille tehdään sekä röntgentarkastus että ulträänitarkastus. Mikäli tarkastus antaa hyväksyttävän tuloksen, voidaan kapseli siirtää puskurivarastoon odottamaan loppusijoitusta. Mikäli tarkastus osoittaa, että hitsaus on epäonnistunut, voidaan kapseli palauttaa hitsausasemaan ja hitsaus uusia. Ellei hitsiä saada kelvolliseksi korjaamallaan, koneistetaan kuparikansi irti ja kapselin sisältö puretaan käsittelykammiossa.

Valmiit kapselit alakertaan

Valmiit loppusijoituskapselit siirretään suoraan kapselointilaitoksen alapuolella sijaitseviin loppusijoitustiloihin hissillä. Kapselit ovat kapselointilaitoksen puskurivarastossa jalustan päällä, jota voidaan siirrellä tarkoitukseen suunnitellulla vihivaunulla

kauko-ohjatusti. Vihivaunu siirtyy kapselin alle, nostaa sen ylös ja kuljettaa kapselihiisiin. Hissillä kapseli siirtyy noin 400 metriä alemmas sijaitsevalle lastauspaikalle, jossa se lastataan kapselin kuljetus- ja asennusajoneuvoon.

Ajoneuvossa on säteilysuoja, jonka sisään kapseli nostetaan siirron ajaksi. Ajoneuvo on tela-alustainen, jotta se kykenee kuljettamaan kapselista ja säteilysuojasta muodostuvan suuren massan. Säteilysuoja mahdollistaa ajoneuvon ajamisen siinä olevasta ohjaamosta. Kapseli siirretään loppusijoitustunnelistoon ja kapselille varatun loppusijoitusreiän yläpuolelle. Ajoneuvossa olevalla asennuslaitteistolla kapseli nostetaan pystyasentoon ja lasketaan hallitusti loppusijoitusreikään, jonne on pohjalle asennettu osa kapselia ympäröivästä bentoniittipuskurista.

Kapselin asennuksen jälkeen asennetaan puskurin asennuslaitteella kauko-ohjatusti loput bentoniittipuskuripalat kapselin päälle. Tämän jälkeen voidaan kyseistä loppusijoitustunnelia alkaa täyttää tarkoitukseen suunnitellulla bentoniittipitoisella täyteaineella ja sulkea se lopullisesti. Samaan aikaan toisaalla loppusijoitustiloissa tehdään varsinaisen loppusijoitus toiminnan rinnalla kampanjamaisesti tilojen laajennuslouhintoja. On tärkeää, että kerrallaan avoimena olevien tilojen määrä pyritään pitämään mahdollisimman pienenä, jotta esimerkiksi ilmanvaihtoa tai tunnelistoon tulevan vuotoveden poistoa ei tarvitse ylivoimistaa.

DI Petteri Vuorio
Suunnitteluinsinööri
Posiva Oy
petteri.vuorio@posiva.fi



Suomalaisten ydinvoimalaitosten valmiusjärjestelyjen valvonta

Suomen ydinvoimalaitosten valmiusjärjestelyjä on laitosten käytön aikana jatkuvasti kehitetty ja ne täyttävät keskeiset viranomaisvaatimukset. Toimintaa ylläpidetään koulutuksella ja testataan säännöllisesti valmiusharjoituksissa. Säteilyturvakeskus (STUK) tarkastaa valmiusjärjestelyjä sekä suunnitelmien ja raporttien perusteella että vuosittain laitospaikoilla.

Ydinenergian käyttö ei saa vaarantaa ympäristöään. Turvallisuus varmistetaan ydinvoimalaitoksessa moninkertaisin teknisin järjestelyin ja henkilöstön koulutuksella. Vaarallinen tilanne voi syntyä vain, jos monia vikoja ja käyttöhenkilökunnan virheitä sattuisi yhtä aikaa.

Läntisissä ydinvoimalaitoksissa ei ole sattunut onnettomuutta, jossa olisi radioaktiivisten päästöjen takia tarvittu toimenpiteitä väestön suojaamiseksi säteilyltä. Vuonna 1979 USAn Harrisburgissa TMI-2:lla tapahtuneessa onnettomuudessa reaktorin sydän suli jäädytyspiiriin vuoden vuoksi, mutta suojarakennus esti merkittävät päästöt ympäristöön.

Uusimmissa rakennettavissa ydinvoimalaitoksissa, kuten Olkiluoto 3 ja Flamanville 3, vakava reaktorionnettomuus ja siitä seuraava radioaktiivinen päästö ympäristöön on äärimmäisen epätodennäköinen. Teollisessa toiminnassa onnettomuuksia ei voida koskaan kuitenkaan täysin sulkea pois, joten ydinvoimalaitoksilta ja viranomaisilta edellytetään valmius- ja pelastus-

suunnitelmia sekä varautumista onnettomuustilanteisiin. Varautumisella parannetaan myös valmiutta toimia esimerkiksi ulkoisten olosuhteiden aiheuttamassa poikkeavassa tilanteessa. Esimerkki tällaisesta koettiin 9.1.2005, jolloin meriveden korkea pinta johti varautumistilanteeseen, ja Loviisan laitokselle sekä STUKiin koottiin tarvittava määrä asiantuntijoita varmistamaan laitoksen turvallinen käyttö.

STUKin valvonnan perusteet

STUK antaa ydinenergian käyttöä koskevat yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset ja varmistaa riippumattomalla valvonnalla, että yhtiöt ja laitosten käyttäjät toimivat vaatimusten mukaisesti. Vaatimukset ja valvonta koskevat myös ydinvoimalaitosten valmiusjärjestelyjä. Ydinvoimalaitosten valmiusjärjestelyjen vaatimukset on esitetty valtioneuvoston päätöksessä 397/91 sekä STUKin ohjeessa YVL 7.4 "Ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyt". Parhaillaan meneillään oleva lainsäädännön uudistus ei muuttane merkittävästi vaatimusten

sisältöä valmiusjärjestelyjen osalta, vaan ottaa huomioon ja vakiinnuttaa tapahtuneen kehityksen.

Ydinvoimalaitosten valmiusjärjestelyt ja niiden valvonta kattaa mm. ydinvoimalaitoksen valmiutta koskevat asiakirjat, tilat, laitteet ja varusteet, valmiuskoulutuksen ja voimayhtiön yhteistoiminnan pelastusviranomaisien kanssa. Keskeinen ydinvoimalaitoksia koskeva vuosittainen valvontatoimi laitospaikoilla on valmiusjärjestelyjen tarkastus, jossa kootusti käydään läpi ydinvoimalaitoksen valmiusjärjestelyjä sekä niihin kohdistuneita kehityshankkeita ja valvontaa kuluneen vuoden ajalta.

Voimalaitoksen valmiusjärjestelyjä koskevat vaatimukset ja niiden valvonta

Valmiussuunnitelma

Ydinvoimalaitoksilla on valmiussuunnitelmat, jotka sisältävät kuvailevan osuuden sekä valmiusorganisaation eri tehtäviä koskevat yksityiskohtaiset toimintaohjeet.





Loviisan voimalaitoksen valmiusorganisaation toimintaa marraskuussa 2007 pidetyssä harjoituksessa.

Ydinvoimalaitoksen valmiussuunnitelu käynnistyy jo ennen rakentamisvaihetta. Ydinenergia-asetus (161/1988) edellyttää uusien ydinvoimalaitoshankkeiden rakentamislupahakemuksen liitteenä alustavaa valmiussuunnitelmaa, jossa kuvataan valmiusjärjestelyjen pääperiaatteet. Mikäli alueella, jonne uutta laitossyksikköä rakennetaan, on jo käyviä laitosyksiköitä, rakennustyömaan vaikutukset on otettava huomioon myös käyvien laitosyksiköiden valmiussuunnitelmassa ja -ohjeissa.

Ennen uuden laitossyksikön käyttöönottoa voimayhtiön on hyväksyttävä STUK:illa valmiussuunnitelma, joka täyttää asetetut vaatimukset.

Valmiussuunnitelma kuvaa mm. toiminnan keskeiset tehtävät ja toimenpiteet valmiustilanteen aikana, valmiusorganisaation, hälytys- ja tiedonvälitysjärjestelyt, laitosalueella olevan henkilöstön turvallisuudesta huolehtimisen, valmiustilanteen edellyttämät tilat, laitteet ja varusteet, tiedottamisen onnettomuustilanteen varalle ja sen aikana, sekä yhteistoiminnan alueel-

listen pelastusviranomaisten kanssa. Valmiussuunnitelmassa kuvataan myös tarvittavien tilojen ja laitteiden ylläpitoa ja henkilöstön koulutusta.

Suunnitelma sisältää valmiusorganisaation eri tehtäviä tarvittavia yhteystietoja ja tukiaineistoja. STUK pyytää ydinenergia-asetuksen mukaisesti sisäasiainministeriöltä lausunnon rakentamislupahakemuksen liitteenä olevasta alustavasta valmiussuunnitelmasta ja käyttöluupahakemuksen valmiussuunnitelmasta ennen niiden hyväksymistä.

Voimalaitosten käyttötoiminnan aikana STUK hyväksyy luvanhaltijoiden valmiussuunnitelmien päivitykset ja tarkastaa valmiustoimintaan liittyvää muuta ohjeistusta ja tausta-aineistoja.

Valmiusjärjestelyjen ylläpito ja valmiusorganisaatio

Voimayhtiöllä on oltava riittävä määrä tehtäviin koulutettua henkilöstöä valmiusorganisaatiota varten. Valmiusorganisaatio ja sen miehitys on kuvattu valmiussuunni-

telmassa. STUK arvioi valmiusjärjestelyistä vastaavan henkilön sekä ydinvoimalaitoksen vastuullisen johtajan (valmiusorganisaatiota johtavan valmiuspäällikön) pätevyyden ennen kyseiseen tehtävään nimitystä.

Valmiusjärjestelyistä huolehtiva henkilö on nimettävä viimeistään rakentamislupavaiheessa. Täysmittaiseen valmiusorganisaatioon kuuluu suomalaisilla laitoksilla minimissään 30 henkilöä eri tehtävissä. Henkilöiden nimeäminen ja koulutus ovat ajankohtaisia rakentamisen päättyessä käyttöluupavaiheessa ja henkilöitä nimitään useita kuhunkin tehtävään. Muutokset valmiusorganisaation kokoonpanossa varsinaisen käyttötoiminnan aikana päivitetään valmiussuunnitelmaan.

Tilat, laitteet ja varusteet

Valmiustoimintaa varten on oltava tarkoituksenmukaiset varusteet ja toimitilat, jotta voimalaitoksen valmiusorganisaatio voi työskennellä turvallisesti onnettomuustilanteen aikana. Nykyiset ensisijaiset



johtokeskustilat voimalaitoksilla ovat valvomorakennuksessa (OL1, OL2 ja OL3) ja väestönsuojassa (Lo 1/2). Tukiryhmän tilat ovat Olkiluodossa suojatiloissa, ja Loviisan tukiryhmillä on tiloja mm. voimalaitoksen valvomorakennuksessa ja Espoon Keilaniemessä.

Voimayhtiön on viipymättä ilmoitettava alueen hätäkeskukselle ja STUKille valmiustilanteeseen siirtymisestä sekä välitettävä pelastustoiminnan johtokeskukselle ja STUKille tilannekuvaa tapahtumasta. Valmiustilanteiden varalle on oltava luotettavat viesti- ja hälytysjärjestelmät. Reaaliaikaisen laitostiedon siirtoon valvomosta voimayhtiöiden ja STUKin valmiusorganisaatioille käytetään ensisijaisesti tiedonsiirtoyhteyttä.

Valmiusorganisaation hälyttämiseen käytetään automaattista hälytysjärjestelmää (Olkiluoto) tai hälytyspalvelua, joka sisältää automaattisen tekstiviestin ryhmälähteyksen että henkilökohtaiset soitot hälytettävälle (Loviisa). Laitospaikan lähellä ovat laitosten ylläpitämät, kattavat sää- ja säteilymittausjärjestelmät.

Rakentamislupavaiheessa tarkastetaan valmiustiloja koskevat alustavat suunnitelmat, niiden sijainti sekä periaateratkaisut valmiustilanteissa käytettävistä laitteista, reaaliaikaisen laitostiedon siirtämisestä ja yhteyksistä. STUK seuraa rakentamisen aikana tilojen valmistumista ja niiden varustamista sekä käyttölupavaiheessa tilojen käyttöönottoa sekä laitteiden ja yhteyksien testaamista.

Valmiustoiminnassa käytettävien laitteiden ja yhteyksien toimintakuntoisuutta arvioidaan laitteille tehtyjen tarkastusten ja testausten sekä vikailmoitusraportoinnin perusteella. Valmiusorganisaation toimittajia, niiden varustusta ja varusteiden toimivuutta arvioidaan myös STUKin tarkastuksissa ja niitä arvioidaan ja testataan valmiusharjoitusten yhteydessä.

Valmiuskoulutus

Voimayhtiöissä ylläpidetään toimintavalmiutta valmiustilanteiden varalle säännöllisellä ohjelmalla, joka sisältää valmiusor-

ganisaatiolle annettavaa tehtäväkohtaista koulutusta ja voimalaitoksen muulle henkilöstölle annettavaa peruskoulutusta toiminnasta valmiustilanteissa. Voimayhtiö laatii vuosittain valmiuskoulutus suunnitelman sekä pitemmän aikavälin suunnitelman valmiusharjoituksista ja operatiivisesta valmiuskoulutuksesta. STUK seuraa koulutusohjelmien toteuttamista.

Uuden laitoksen valmiuskoulutus käynnistyy muun henkilöstökoulutuksen osana rakentamis- ja käyttölupavaiheessa. Mikäli laitosalueella on myös käyviä laitosyksiöitä, työmaahenkilöstön tulokoulutukseen on sisällytettävä ohjeet toiminnasta valmiustilanteissa heti rakennustyön käynnistytessä.

Työmaan hälyttämistä ja sieltä poistumista on koulutettava ja harjoitettava soveltuvalla tavalla. Erytishaasteena koulutukselle ovat usean maan kansalaiset ja kielet.

Valmiusharjoitukset

Valmiusharjoitusten keskeinen tavoite on valmiusorganisaation kouluttaminen sekä valmiustoiminnan, -ohjeiden, -tilojen ja varusteiden testaaminen.

Harjoituksia järjestetään vuosittain kummallakin voimalaitospaikalla ja niistä saadun palautteen pohjalta arvioidaan jatkotoimenpiteitä ja toiminnan kehittämistä. STUK osallistuu harjoituksiin laitospaikoilla sekä valmiuskeskuksessaan. STUK myös arvioi voimayhtiön toimintaa harjoituksessa.

Laitoksen käytön aikana järjestetään lääninhallituksen johdolla pelastustoimintaharjoituksia joka kolmas vuosi sisäministeriön asetuksen (774/2001) mukaisesti. Pelastustoimintaharjoitukset ovat laajoja yhteistoimintaharjoituksia, joihin osallistuvat voimayhtiö, STUK ja alueelliset pelastusviranomaiset.

Näiden lisäksi viime vuosina on ollut mukana lukuisia kotimaisia viranomais- ja yhteistyötahoja, tiedotusvälineitten edustajia sekä ydinturvallisuus- ja säteilysuojeluviranomaisia naapurimaista. Harjoituksissa on testattu mm. toiminnan käynnis-

tämistä, viranomaisten yhteistoimintaa, tilannekuvan muodostamista ja tiedon välittämistä väestölle ja tiedotusvälineille. Harjoitusten suunnitteluryhmään osallistuvat ainakin voimayhtiön, STUKin, pelastusviranomaisten ja pelastusopiston asiantuntijoita.

Ryhmä vastaa harjoituksen suunnittelusta, toteutuksesta, harjoitusten arvioinnista sekä raportoinnista.

Ennen uuden laitoksen käyttöönottoa on järjestettävä yhteistoimintaharjoitus viranomaisten kanssa, laadittava arviot tästä harjoituksesta sekä tehtävä tarvittavat muutokset valmius- ja pelastussuunnitelmiin ja -ohjeistukseen.

Voimayhtiön yhteistoiminta viranomaisten kanssa

Pelastuslainsäädäntö ja STUKin säännöt edellyttävät voimayhtiöltä yhteistoimintaa pelastusviranomaisten ja STUKin kanssa valmiustilanteessa ja siihen varautumisessa.

Voimalaitoksen valmiusjärjestelyjen suunnittelussa ja ohjeistuksessa on kiinnitettävä huomiota siihen, että suunnitelmat ovat yhteensopivat viranomaisten pelastus- ja valmiussuunnitelmien kanssa.

Voimayhtiön on osallistuttava yhteistoiminnassa alueen pelastusviranomaisen kanssa laitoksen ympäristön pelastussuunnitelman laatimiseen, ennakotiedon ja toimintaohjeiden valmisteluun lähialueen väestölle valmiustilanteen varalle sekä jaettava etukäteen joditabletit väestölle suojavyöhykkeellä noin viiden kilometrin etäisyydellä voimalaitoksesta.

Säteilymittauksia laitosten ympäristössä valmiustilanteessa toteuttavat sekä ydinvoimalaitoksen että viranomaisten mittauspartiot.

Tuulikki Sillanpää
ylitarkastaja
Säteilyturvakeskus
tuulikki.sillanpaa@stuk.fi





Uusien käyttöliittymien validointia Fortumin Loviisan koulutussimulaattorilla.

Operointikäytännöt ja käyttöliittymät digitaalisissa valvomoissa

Suomen ydinvoimalaitosten automaatiojärjestelmien muutokset aiheuttavat muutoksia valvomoissa, joissa siirrytään analogisista valvomotauluista ja -pulpeteista digitaalisiin työasemiin. Muutokset vaikuttavat operaattoreiden yhteistyöhön sekä prosessin tilan havaitsemiseen ja tulkintaan. SAFIR2010-tutkimusohjelmaan kuuluvassa Operointikäytännöt ja käyttöliittymät digitaalisissa valvomoissa (O'PRACTICE) -hankeessa tutkitaan, miten uusien teknisten välineiden, kuten suurkuvanäyttöjen ja tietokonepohjaisten ohjeiden, avulla voidaan parantaa prosessin valvontaa ja ohjausta.

Suomen käytössä olevilla ydinvoimalaitoksilla ovat meneillään laajamittaiset automaatiojärjestelmiä ja valvomokäyttöliittymiä koskevat uudistushankkeet, joissa luovutaan analogisesta tekniikasta ja siirrytään täysin digitaaliseen automaatioon ja työasemapohjaisiin käyttöliittymiin. Uudistukset ovat alkaneet 2000-luvun alkupuolella, ja niiden on tar-

koitus jatkua ensi vuosikymmenen puoliväliin saakka. Kysymys on pitkästä uudistusprosessista, jossa edetään useiden hybridikonseptien kautta lopulliseen tavoitteeseen eli täysin digitalisoituun valvomoon. Hybridikonsepteissa on kysymys käyttöliittymistä, joissa on sekä vanhaa analogista tekniikkaa että uudempaa digitaalista tekniikkaa.



Automaatiojärjestelmä- ja käyttöliittymä uudistukset vaikuttavat monin tavoin voimlaitosten henkilöstön toimintaan. Turvallisuuden kannalta on toivottavaa, että käyttöliittymämuutokset eivät aiheuta muutoksia prosessinhallintaan eivätkä valvomohenkilökunnan työnjakoon. Toisaalta on ilmeistä, että käyttöliittymien muutokset aiheuttavat väistämättä muutoksia operaattorityön konkreettisissa käytännöissä (Naser ym. 2003; O'Hara ym. 2003).

Erilaiset standardit ja ohjeistot auttavat omalta osaltaan ottamaan paremmin huomioon ihmisen toiminnan laitosmuutoksissa (esim. O'Hara ym. 2004; EPRI 2004). Varsinaista tutkimustietoa uudistusten vaikutuksista operaattoritoimintaan on kuitenkin varsin vähän.

SAFIR2010-ohjelmaan kuuluvassa O'PRACTICE-hankkeessa VTT:n systeemi-käytettävyystiimi tutkii, miten digitaaliset valvomot ja käyttöliittymät voidaan ottaa turvallisesti käyttöön ja miten edistetään niiden tarjoamien uusien mahdollisuuksien hyväksikäyttöä ydinvoimalaitoksissa. Etsimme vastauksia haasteisiin, jotka liittyvät esimerkiksi digitaalisen automaation ja näyttöpohjaisten käyttöliittymien aiheuttamiin uudentyyppisiin häiriöihin tai virheisiin, yhteistoiminnan ja kommunikaation rakentumiseen ja tilan-tietoisuuden muodostumiseen näyttöinformaation varassa. Lisäksi kehitämme edelleen menetelmiä valvomokäyttöliittymien käyttäjäkeskeisen suunnittelun ja arvioinnin tueksi.

Uuden tekniikan hyödyntäminen

On mahdollista, että digitaalisessa valvomossa operaattorien on aikaisempaa vaikeampaa säilyttää yleiskuva laitoksen toiminnasta ja koordinoida toimintaansa muiden operaattoreiden kanssa. On myös todennäköistä, että itse käyttöliittymän hallintaan ja navigointiin liittyvät tehtävät tulevat lisääntymään, kun siirrytään analogisesta digitaaliseen, henkilökohtaisiin työasemiin perustuvaan valvomoon. Näiden muutosten seurauksena operaatto-

rien ja vuoron tietoisuus laitoksen ja prosessin tilasta saattaa heikentyä, mikä lisää virheiden mahdollisuutta. Käsitystemme mukaan näitä ongelmia voidaan ratkaista kehittämällä uudenlaisia ihmisen tiedonkäsittelyä tukevia apuvälineitä prosessin ohjauksen tueksi. Tällaisia ratkaisuja ovat esimerkiksi uudenlaiset ohjeiden esittämistekniikat sekä suurkuvanäytöt, jotka antavat yleiskuvan laitoksen ja prosessin tilasta.

Suurkuvanäytöt ovat yleistyneet viime vuosina ydinvoimalaitosten valvomoissa. Erityisesti digitaaliseen tekniikkaan ja henkilökohtaisiin työasemiin perustuvissa valvomoissa niillä on suuri merkitys yleistiedonantajina. Suurkuvanäyttöjen kehittämiseen liittyy kuitenkin monia haasteita. Koska suurkuvanäyttö on laadullisesti erilainen kuin työasemanäytöt, olemassa olevat työasemanäyttöjen käyttöliittymäratkaisut eivät välttämättä toimi suurkuvanäyttöjen kohdalla. Myöskään pöytäasemanäyttöjä koskevia standardeja ja käytettävyyssuosituksia ei voida suoraan soveltaa suurkuvanäyttöihin.

Tutkimustemme mukaan suurkuvanäyttöjen suunnittelussa tulisikin pyrkiä yhdistämään analogisten ohjauspaneelien ja prosessitietokonenäyttöjen parhaat puolet, jotta suurkuvanäyttö edistäisi tilan-tietoisuutta sekä käyttötiimin kommunikointia ja tiimityön tehokasta organisointia.

Ohjeita koskevan tutkimuksen tavoitteena on selvittää uusien käyttö-, häiriö- ja hätätilanneohjeiden tarkoituksenmukaista yhteistoiminnallista käyttöä ja ohjekäyttöliittymän integroitumista digitaalisen valvomon muuhun käyttöliittymään. Ohjeita kehitettäessä tulisi pyrkiä siihen, että ne ohjaavat operaattoreiden toimintaa optimaalisella tavalla – sekä liian tiukka että liian väljä ohjaus voivat haitata työskentelyä.

Ohjeiden tulisi myös tukea operaattoreiden välistä yhteistyötä ja kommunikointia, minkä vuoksi olisi tärkeää, että ne mahdollistavat joustavan tehtävien jakamisen ja toteutuksen.

Tulevaisuuden valvomot ja operointikonseptit

Ydinvoimalaitosten turvallisuus- ja toimivuusvaatimukset täyttävien valvomokonseptien kehittäminen on nykyvalvomoiden evolutiivista kehittämistä. Tämän kehitystyön rinnalla tutkimuslaitoksissa ja yliopistoissa on vireillä hankkeita, joissa kehitetään ja kokeillaan uuden tyyppisiä informaation esittämisen teknologioita ja ihmisten moniaistisuutta hyödyntäviä käyttöliittymäratkaisuja.

Eräs ydinvoimatoimialan kannalta keskeinen uusien konseptien kokeilun forumi on OECD/Halden Reactor Projectin (HRP) suojissa toimiva HAMMLAB. Useita simulaattoreita ja virtuaalitekniikan mahdollisuuksia hyödyntävässä tutkimuslaboratoriossa suoritetaan vuosittain monia suunnittelutyötä tukevia käytätutkimuksia, joihin mm. suomalaisten ydinvoimalaitosten operaattorit ovat osallistuneet.

Myös VTT:n tutkijat ovat olleet mukana näissä tutkimuksissa. Äskettäin olemme olleet selvittämässä ns. Ecological Interface Design (EID) -käyttöliittymäkonseptin toimivuutta erilaisissa ajotilanteissa. EID-konseptissa näyttöjen esitystapa ei noudata totunnaista informaation ja toimilaitteiden ryhmittelyä. Virtauskaavioajattelukin on vain yksi suunnitteluperiaate. Sen lisäksi näytöille luodaan toiminnallisia suhteita ilmaisevia visuaalisia symboleja ja koetaan informaatioelementtejä yhteen niin, että prosessimuutokset havaitaan poikkeamina kokonaishahmosta yhdellä silmäyksellä. Oletusten mukaan EID-näytön tulisi näine ominaisuuksineen tukea prosessimuutosten huomaamista ja parantaa tilannekäsitystä.

Kokeissa EID-konseptin käyttökokemuksia verrattiin kahden perinteisemmän näyttötyypin kanssa saatuihin tuloksiin. Kokeilujen aikana kerättiin käyttökokemuksia ja kuunneltiin operaattorien käsityksiä eri käyttöliittymävaihtoehtoista. Tilastolliset vertailut, joista HRP:n tutkijat vastasivat, tukivat oletusta että EID-näytöt edistävät no-

peaa havaitsemista odottamattomissa häiriötilanteissa (Skraaning Jr.ym.2007).

VTT:n tutkijat ovat pian valmistuvassa omassa analyysiosuudessaan, jossa käytettiin hieman toisenlaisia analyysimenetelmiä ja arviointikriteerejä, vahvistaneet tämän tuloksen. Osoitimme toisaalta myös sen, että virtaukset ja komponenttien paikat selvästi esiin tuovat vaihtoehtoiset näytöt tukivat EID-näyttöjä paremmin ope-
rintia tavallisemmissa mutta mutkikkaissa häiriötilanteissa.

VTT:n analyysit antavat yksityiskohtaisempaa tietoa siitä, miten operaattorit käyttävät eri näyttöjä ja mistä eri tilanteissa havaitut erot toiminnan tuloksessa ovat peräisin. Tällaisia päättelyjä ei voitaisi kun-
nolla tehdä, ellemmme olisi käyttäneet ana-
lyysissa hyväksi myös ohjaajien kuvauksia omista informaation käyttötavoistaan. Kai-
ken kaikkiaan EID-kokeilujen tulokset vii-
taavat siihen, että ohjaajien toimintatavat ovat yhteydessä näyttöjen informatiivisuu-
den laatuun, ja että ohjaajat pystyvät so-
peuttamaan toimintansa informaatioesi-
tyksen mukaan.

Toisaalta häiriötilanteen vaatimukset vai-
kuttavat siihen, miten näyttötyyppien vah-
vuudet pääsevät esiin. Monet asiat jäivät
vielä avoimiksi tässä tutkimuksessa, mutta
on ilmeistä, että diversiteetin periaate on
järkevä näyttösuunnittelussakin.

Tarkoitus on jatkaa edellä kuvatun kal-
taisia uusien konseptien kokeiluja. Se mikä
ei vielä tänään ole käyttökelpoista työväli-
neissä voi kokeiluissa paljastua lupaavaksi
mahdollisuudeksi, joka voidaan jalostaa ja
jonka käyttöön opitaan. Ohjaajien arvioin-
nit ovat olennaisen tärkeitä tällaisessa ke-
hitystyössä.

Keskeisenä tavoitteenamme on kehit-
tää digitaalisia valvomoja koskeva ope-
rintikonsepti kuvaamaan erityisesti suur-
kuvanäyttöjen ja ohjeiden käyttöä uusissa
valvomoissa. Näitä hankkeita tukee VTT:n
Complex Systems Design -tutkimusohjel-
man Novel Affordance of Smart Environ-
ments (NASE) -projektin puitteissa kehitet-
tävä intuitiivisiin käyttöliittymiin perustuva
älykkään valvomon konsepti.

Valvomo- ja käyttöliittymä- suunnittelun hallinta

O’PRACTICE-hankkeen yhtenä keskeise-
nä tavoitteena on edistää monimutkais-
ten, vaihteittain kehittyvien järjestelmien
käyttäjakeskeistä suunnittelua ja arviointia.
Näin tuotetaan menetelmiä, jotka palve-
levat sekä valvomo- ja käyttöliittymämuu-
tosten hyväksyttävyyden arviointia että
koko muutosprosessin hallintaa.

Edellisen SAFIR-ohjelman aikana kehi-
tettiin integroitu menetelmä (CASU, Con-
textual Assessment of Systems Usabili-
ty) valvomokäyttöliittymien toimivuuden
ja käytettävyyden arviointiin. Nykyisessä
ohjelmassa kehitetään ns. Usability Case
-menetelmää, joka auttaa järjestelmien
käytettävyyttä ja toimivuutta koskevia ar-
vioiden jäsentämisessä ja dokumentoin-
nissa. Menetelmä perustuu Safety Case -
metodologiaan, jonka avulla järjestelmän
turvallisuudesta voidaan esittää perusteltu
arvio (Bishop & Bloomfield, 1998). Usability
Case on jäsenitys, jonka avulla käytettävyy-
teen liittyvät yleisen tason väitteet voidaan
kytkeä todisteluperusteisiin eli tehtyihin
havaintoihin ja mittauksiin. Keskeinen osa
Usability Casea on kirjallinen kuvaus, josta
ilmenee selvästi kohteen käytettävyyden ja
se, mihin tämä näkemys käytettävyydestä
perustuu. Usability Case -menetelmän toi-
mivuutta arvioidaan tutkimuksessa, jossa
kehitetään menettelytapoja integroidun
järjestelmävalidoinnin testien käyttökel-
poisuuden ja luotettavuuden parantami-
seksi.

VTT:n systeemikäytettävyystiimi tekee
O’PRACTICE-hankkeen puitteissa yhteis-
työtä Halden Reactor Projectin kanssa
käyttöliittymäkonseptien ja suurkuvanäyt-
töjen sekä arviointimenetelmien kehittä-
misessä sekä operaattorikäytäntöjen ja ti-
mityön tutkimuksessa. Yhteistyötä teh-
dään myös Electricité de Francen (EdF) ja
CEA:n kanssa muun muassa uusien käyt-
töliittymäkonseptien kehittämisessä sekä
ohjeiden käyttötapoja ja ohjesuunnittelua
koskevista kysymyksistä.

Lähteet

- Bishop, P.G. & Bloomfield, R.E. (1998).
A methodology for Safety Case development,
Safety-Critical Systems Symposium,
Birmingham, UK.
- EPRI (2004). *Human factors guidance
for control room and digital human-system
interface design and modification*.
Report 1008122, Electric Power Research Institute.
- Naser, J., Hanes, L., O’Hara, J., Fink, R., Hill,
D. & Morris, G. (2003). *Guidelines for control
room modernisation as part of instrument
and control modernisation programs*.
Modifications at Nuclear Power Plants, Paris,
OECD/Nuclear Energy Agency.
- O’Hara, J., Higgins, J., Persensky, J.J., Lewis,
P.M. & Bongarra, J. (2004). *Human factors
engineering program review model*
(NUREG-0711, Rev. 2). Washington, DC,
United States Regulatory Commission.
- O’Hara, J., D. Pirus, et al. (2003). *Information
display: Considerations for designing modern
computer-based display systems*.
Palo Alto, CA, Electric Power Research Institute.
- Skraaning Jr., G., Lau, N., Welch, R., Nihlwing, C.,
Andresen, G., Brevig, L.H., Veland, O., Jamieson,
G., Burns C. & Kwok, G. (2007). *The ecological
interface design experiment* (2005).
Halden, OECD Halden Reactor Project: 125.

Jari Laarni
Erikoistutkija
Systeemitutkimus
VTT
jari.laarni@vtt.fi



Leena Norros
Tutkimusprofessori
Systeemitutkimus
VTT
Leena.Norros@vtt.fi



VUOSIKOKOUS



ATS vuosikokous 2008

ATS:n vuosikokous pidettiin ystävänpäivänä, 14. helmikuuta, paikkana perinteiseksi muodostunut Tieteiden talo Helsingissä. Kokouksessa käsiteltiin yhdistyksen sääntöjen määräämät asiat sekä julkistettiin vuoden 2007 Erkki Laurila-palkinnon saaja. Kokouksen lopuksi kuultiin kaksi esitelmää, aiheina suomalaisen keskimääräinen säteilyannos ja ydinjätteiden vaikutus säteilyaltistukseen.

Seuran puheenjohtaja **Harriet Kallio** toivotti kokousväen tervetulleeksi ja esitteli jäsenistölle vuoden 2007 toimintakertomuksen kertoen lyhyesti vuoden aikana järjestetyistä tapahtumista. Vuosikokouksen lisäksi seuralla oli kolme jäsenilaisuutta ja syysseminaari. Syysseminaarin aiheena käsiteltiin erilaisia ydinpolttoainekiertoja ja niihin liittyviä safeguards-kysymyksiä.

ATS:n vuoden 2007 lähialueen ekskursio kohdistui Norjaan Haldenin tutkimusreaktorille ja syksyn pitkällä ekskursiolla suunnattiin Romaniaan ja Bulgariaan.

YG ja Energiakanava aktiivisina

ATS Young Generation huolehti viimekin vuonna aktiivisesti seuran nuorten jäsenten hyvinvoinnista. YG järjesti paljon kiinnostusta herättäneen ekskursion Tshernobyliin, kesätapahtuman Loviisassa sekä syksyllä "Ydinvoima ympäröivässä yhteiskunnassa"-aiheisen seminaarin Olkiluodos-

sa. Opiskelijainfoja pidettiin Teknillisessä korkeakoulussa sekä Lappeenrannan ja Tampereen teknillisissä yliopistoissa. ATS YG osallistui myös Next Step koulutus- ja työpaikkamessuille, joita pidettiin hyödyllisenä tapahtumana ja osallistuminen päätettiin ottaa tavaksi jatkossakin.

Energiakanava jatkoi tiedon levittämistä energia-asioista järjestämällä Säteilevät Naiset -seminaarin ja toimittamalla vuoden 2006 seminaarin pohjalta tiedotuslehden, joka jaettiin koko jäsenistölle ATS Ydintekniikka -lehden välissä. Energiakanava osallistui myös kansainvälisen WIN Global -järjestön toimintaan.

Keskustelua sääntömuutoksista

Kokouksessa esiteltiin johtokunnan laatima ehdotus yhdistyksen sääntöjen muuttamiseksi, joka oli jaettu jäsenistölle vuosikokouskutsun mukana. Sääntömuutoksen voimaantuminen edellyttää sen hyväksymistä kahdessa peräkkäisessä jäsen-

kokouksessa, joista toisen tulee olla vuosikokous.

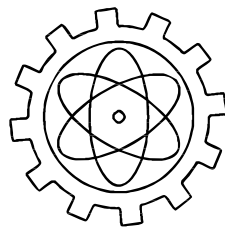
Sääntömuutosehdotus, jonka tarkoituksena on lähinnä selventää terminologiaa, parantaa läpinäkyvyyttä jäsenistöön päin sekä lisätä toimintatapojen joustavuutta, otettiin vastaan positiivisin tunnelmin ja se koettiin tarpeelliseksi. Ehdotus herätti kuitenkin vilkasta keskustelua ja jäsenistöltä tuli hyödyllisiä parannusehdotuksia niin sanamuotoihin kuin sääntöjen sisältöönkin. Saatujen kommenttien pohjalta johtokunta valmistelee uuden sääntömuutosehdotuksen, jota käsitellään tulevilla kokouksilla.

Johtokunnan jäsenistä erovuorossa oli sihteeri **Juha Poikolainen** (TVO), jonka tilalle uudeksi sihteeriksi valittiin **Malla Seppälä** (VTT). Muuten johtokunnan kokoonpano pysyi ennallaan. Puheenjohtajana jatkaa **Harriet Kallio** (Fortum), varapuheenjohtajana **Harry Lamroth** (Fortum), rahastonhoitajana **Anna-Maria Länsimies** (ET) sekä jäseninä **Johanna Hansen** (Posiva), **Yrjö Hytönen** (STUK) ja **Olli Nevan-der** (TVO).

Erkki Laurila -palkinto 2007

Tilaisuudessa julkistettiin vuoden 2007 Erkki Laurila -palkinto, joka jaetaan parhaalle ATS Ydintekniikka -lehden artikkelin kirjoittajalle. Johtokunta valitsi lehden toimituksen esityksen mukaisesti voittajaksi professori **Karl-Erik Michelsenin** Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta ja hänelle annettiin kunniakirja sekä 500 euron stipendi. Michelsenin artikkeli otsikolla "Project Eastinghouse – teknologien haaste Loviisassa" julkaistiin lehden numerossa 3/2007.

Kokouksen lopuksi kuultiin kaksi mielenkiintoista ja keskustelua herättänyttä esitelmää liittyen säteilyaltistukseen. Ensiksi Maarit Muikku (STUK) kertoi tärkeimmistä suomalaisen keskimääräistä efektiivistä annosta aiheuttavista tekijöistä. Toisen esitelmän piti Tapani Eurajoki (Fortum) otsikolla "Ydinjätteen vaikutus suomalaisen säteilyaltistukseen". ■

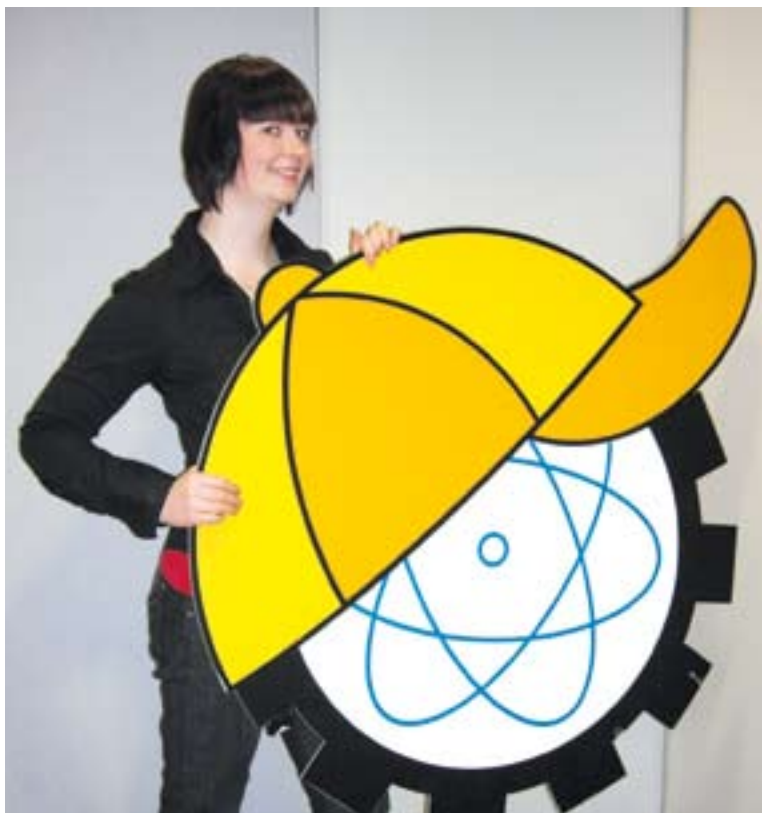


ATS:n johtokunnalle valittiin uusi sihteeri

ATS:N UUSI SIHTEERI tekn.yo Malla Seppälä on työskennellyt vuodesta 2004 lähtien tutkimusharjoittelijana Valtion Teknillisessä Tutkimuskeskuksessa reaktori-dynamiikkatiimissä. Malla opiskelee TKK:lla teknillisen fysiikan laitoksella pääaineenaan Energiatieteet ja sivuaineenaan Fysiikka.

Tällä hetkellä hän viimeistelee diplomityötään, jonka aiheena on ylikriittisessä paineessa toimivan HPLWR-reaktorin neutroniikan ja termohydrauliikan mallintaminen. Malla liittyi ATS:n jäseneksi vuonna 2005 ja hän on ollut aktiivisesti mukana ATS YG:n toiminnassa.

malla.seppala@vtt.fi



Ydinvoimalaitosten turvallisuutta on edistetty kotimaisilla lämpö- ja virtausteknisillä kokeilla



Kerrostunut (yläkuva) ja aaltomainen (alakuva) virtaus VOLLEY-koelaitteiston jäähdytyskanavassa, virtaussuunta vasemmalle. EPR:n sydänsulan levitysalueen jäähdytysjärjestelmän kokeita.



Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla (LTY) on tutkittu ydinvoimalaitosten turvallisuutta lukuisilla lämpö- ja virtausteknisillä koelaitteistoilla. Yleisenä periaatteena on ollut tyvestä puuhun -ajattelu: opetellaan ensin yksinkertaisemmilla tapauksilla ja koejärjestelyillä ja edetään hankalampiin tapauksiin kokemuksen karttuessa kulloisestakin aihepiiristä.

VVER-laitosten käyttäytymistä on opeteltu aloittaen pienellä polttoainesauvojen uudelleenkas-tumiskoelaitteistolla ja edeten pienen mittakaa-van järjestelmäkoelaitteiston kautta maailman suurimman VVER-440-järjestelmäkoelaitteiston PACTEL:in käyttöön. Kiehumusvesireaktoritutki-mus on puolestaan aloitettu lauhdutusallasko-keilla aluksi yksinkertaisella ilmapuhalluksella avoimeen altaaseen, myöhemmin on puhallettu myös höyryä. Avoin allas korvattiin sitten sul-jetulla, koko suojarakennusta mallintavalla, pai-neenkestävällä koelaitteistolla. Kehittyneiden kevytvesireaktoreiden turvallisuusjärjestelmiä on tutkittu tapauskohtaisesti, sydänsieppareista pikasulkujärjestelmiin.

Heikki Purhosen väitöskirja *“Experimental thermal hydraulic studies on the enhancement of safety of LWRs”* tarkastettiin tiistaina 18.12.2007 Lap-peenrannan teknillisen yliopiston energia- ja ym-

päristötekniikan osastolla. Vastaväittäjänä toimi apulaisprofessori **Henryk Anglart** KTH:sta ja val-vojana ja työn ohjaajana professori **Riitta Kyrki-Rajamäki** LTY:stä. Väitöskirjassa käsitellään koe-toiminnan merkitystä ydinvoimalaitosten turval-lisuudelle sekä analyysiohjelmien ja turvallisuus-analyysien kehittämiseksi. Työssä luodaan myös katsaus koetoiminnan historiaan Lappeenran-nassa sekä kansainvälisen yhteistyön välttämät-tömyyteen ydinvoima-alalla, niin koetoiminnassa kuin analyysiohjelmien kehittämisessä.

Vanhaa ja uutta, VVER ja ALWR

Väitöstyö jakautuu kokeiden osalta kahteen ai-heeseen: VVER-440-laitoksiin liittyvään lämpö- ja virtaustekniikkaan sekä kevytvesireaktorikon-septien uudentyyppisten turvallisuusjärjestelmi-en kehittämiseen. Kiehumusvesireaktoreihin liitty-vät lauhdutusallaskokeet on jätetty tämän työn ulkopuolelle.

Luonnonkiertovirtausta vaakahöyrystimellis-sä VVER-laitoksissa käsitellään tehtyjen REWET-III ja PACTEL-kokeiden avulla. Kiertopiirin määrä, vesilukot kiertoipiireissä, paine- ja tehotaso vaikut-tavat kaikki luonnonkiertokäyttäytymiseen. Suu-rimpana erona pystyhöyrystimellisiin laitoksiin on luonnonkiertovirtauksen pysähtyminen tie-tyllä jäähdytemäärällä vesilukkojen seurauksena.

Painetaso vaikuttaa siihen saavutetaanko suurin virtaus yksi- vai kaksifaasiluonnonkierrossa.

Primääripiirin paineenalennusmenetelmiä käsitellään työssä IMPAM-VVER-EU-projektin koe- ja analyysitulosten avulla. Projektissa tutkittiin harvinaisen kattavasti turvallisuusanalyysin kaikkia vaiheita ja menetelmiä: analyysiohjelmien kelpoistamista kokeiden avulla, kahden eri mittakaavan koelaitteiston vertailua sekä koetulosten siirtämistä laitosmittakaavaan kokeiden avulla kelpoistetuilla tietokoneohjelmilla. Lisäksi käsitellään lauhtumattomien kaasujen vaikutusta VVER:ien luonnonkiertoon sekä lauhtumattomien kaasujen vapautumismallin kehittämistä ja kelpoistamista tehtyjen erilliskokeiden avulla.

Kevytvesireaktorikonseptien turvallisuusjärjestelmien kehittämisestä käsitellään työssä SWR 1000 -laitoskonseptin uudentyyppejä pikasulkujärjestelmiä, sekä säätösauvoin että boorihapon syöttöön perustuvia. Molemmissa on käytetty käyttövoimana korkeapaineista höyryä. Näin vältetään lauhtumattomien kaasujen joutumista primääripiiriin, jossa ne voivat vaarantaa muun muassa luonnonkiertovirtauksen onnettomuustilanteessa. VVER-640-reaktorin pitkäaikaisjäähdytystä onnettomuuden jälkeen käsitellään työssä PACTEL:illa tehtyjen kokeiden ja usealla tietokoneohjelmalla tehtyjen analyysien perusteella.

Työssä käsitellään myös kahden laitoksen, BWR 90+ ja EPR, sydänsiepparikonsepteja. BWR 90+ -sydänsiepparin lämpö- ja virtaustekninen toimivuus varmistettiin kokeellisesti. EPR-laitoksen sydänsulan levitysalueen alapuolista jäähdytystä tutkittiin kahden virtauskanavan koelaitteistolla, jossa virtaus aikaansaatii painovoimaisesti esikuvansa mukaisesti. Kokeissa havaittiin tietyissä olosuhteissa voimakasta lauhtumisesta johtuvia vesi-iskuja, jotka lähes täydellisesti katosivat, kun virtauskanavia kallistettiin 1 aste ylöspäin virtaussuunnassa. Saksassa aiemmin tehdyssä samankaltaisissa kokeissa käytettiin pumppua virtauksen synnyttämiseen, jolloin vesi-iskuja ei havaittu.

Kokemusta ja kansainvälistä yhteistyötä

Lopuksi työssä käsitellään kertynyttä kokemusta koelaitteistojen suunnittelusta ja rakentamisesta sekä instrumentoinnin järjestämisestä ja kokeiden teosta. Rajallislakin resursseilla on mahdollista saada aikaan hyödyllisiä koetuloksia, kun onnistutaan keskittymään oleelliseen.

Yhteenvedossa todetaan, ettei ydinvoimalaitosten turvallisuutta voida varmistaa ilman kokeita yhdistettynä tietokoneanalyysiin. Tämä laaja ponnistus on tehtävä kansainvälisesti ja siinä organisaatiot kuten OECD ja IAEA ovat tärkeässä asemassa tukien sekä turvallisuustutkimusta

että uusien ydinvoimalaitoskonseptien kehittämistä.

Työssä on käsitelty erilliskokeita tietokoneohjelmien yksittäisen mallin kehittämiseksi, erilliskokeita yksittäisen ydinvoimalaitoskomponentin tai turvallisuusjärjestelmän käyttäytymisen tutkimiseksi sekä järjestelmäkokeita koko ydinvoimalaitoksen käyttäytymisen tutkimiseksi.

Joitakin tuloksia on voitu suoraan soveltaa reaktorimittakaavaan. Useimmiten kokeilla on kelpoistettu tietokoneohjelmien yksittäisiä malleja. Näitä malleja on käytetty ydinvoimalaitosten ja koelaitteiden transienttien analyysiin. Järjestelmäkokeiden tuloksia on käytetty koko tietokoneohjelman kelpoistukseen, jolloin nähdään kuinka mallit toimivat yhdessä. Viimeisenä vaiheena koelaitteistojen koetulokset on siirretty laitosmittakaavaan näiden kelpoistettujen tietokoneohjelmien avulla.

Jotkut kokeista ovat varmistaneet järjestelmän oletetun käyttäytymisen. Joissakin kokeissa on tullut esiin odottamattomia ilmiöitä, jotka ovat tehneet välttämättömäksi muuttaa alkuperäistä rakennetta tai proseduuria ongelmien välttämiseksi, mikä lie- neekin tällaisen koetoiminnan tärkein motivaatio.

Väitöstyössä heijastuu usean vuosikymmenen työ kokeellisen lämpö- ja virtaustekniikan parissa, ei vain väittelijän, vaan koko Lappeenrannassa toimivan tutkimusryhmän osalta. Perustan koko tälle työlle loi Mr. REWET, Timo Kervinen, joka ennakkoluulottomuudellaan ja kannustavuudellaan viitoitti tietä meille nuoremmille "termohydraulikoille". Ilman yhteistyötä kaikkien osapuolten kanssa kokeellinen toiminta nykyisessä laajuudessaan ei olisi mahdollista.

Väitöskirja on luettavissa pdf-muodossa osoitteessa <https://oa.doria.fi/handle/10024/29753>

Odottamattomia ilmiöitä: vesi-iskun voimasta särkynyt ikkuna VOLLEY-kokeessa.



TkT Heikki Purhonen
vanhempi erikoistutkija
Lappeenrannan teknillinen
yliopisto
heikki.purhonen@lut.fi



Käytetään ydinvoimaa

Tavalliselle kansalaiselle ydinvoiman käyttö edustaa tuntematonta uhkaa ja pelon lähdettä. Ilmaston lämpeneminen ei saanut aivan viime aikoihin saakka keskustelua lämpenemään ollenkaan samalla tavalla kuin ydinvoima. Samat puolitotuudet toistellaan kerran toisensa jälkeen. Ydinvoima ja tuulivoima esitellään kilpailevina vaihtoehtoina, vaikka molempia täysin erilaisia tuotantotapoja tarvitaan korvaamaan poistuvia hiililaitoksia. On selvää, että hiilen käyttöä on vähennettävä merkittävästi ja vähentäminen on aloitettava Euroopasta, koska jenkit ja kiinalaiset eivät halua tai osaa luopua hiilestä. Päinvastoin, voimakas Kiinan ja sen ympäristön alueen talouskasvu vaatii tuekseen nopeasti rakennettavia voimalaitoksia. Esimerkiksi Saksassa aloitettu hiilen korvaaminen kaasulla ei leikkaa hiilidioksidipäästöjä riittävästi. Osa lisäenergiasta seuraavien parin vuosikymmenen aikana pitää tempoa tuulesta, osa tuottaa tehostamalla vesivoimaa ja rakentamalla vesivoima nykyaikaiseksi, mutta loput on saatava ydinvoimasta ja sähkön käytön tehostamisesta.

TÄRKEITÄ PALASIA Suomen teollisuuden käyttämän sähkön riittävyydelle ja hinnalle ovat myös kudes ja seitsemäs sähköntuotantoon sopiva ydinreaktori. Ydinvoiman käyttäminen on vaativaa ja edellyttää varsinaisen käyttöhenkilökunnan sekä laitoksen toimintaa tukevan suunnitteluorganisaation hyvää osaamista. Tätä erityisosaamista pitää saada kiireesti lisää. Kykyjä meillä Pisa-tutkimusten mukaan siihen on! Onneksi uusien laitosten periaatepäättöshakemuksien valmistelu ja ympäristövaikutusten arviointiprosessit etenevät reippaasti kohti poliittista tuomiota. Todennäköisesti vielä tänä vuonna eduskunta saa asian puhuttavakseen ja pohdittavakseen. Prosessi osoittaa kansainvälistyvälle teollisuudellemme suunnan – pääomat kiinni pohjoiseen Suomeen jääneisiin juuriin vai pääomat lentoon maailmalle idän monsuunituulien vietäväksi.

TOIVOTTAVASTI EDUSKUNTA näkee mahdollisuuden toteuttaa jo nyt energiapolitiikkaa, joka useissa Euroopan maissa on tulossa kymmenen vuoden

päästä. Ydinvoimahankkeiden valmistelu on alkanut monen maan hämyisissä kabineteissa, myös henkilökuntaa palkataan ja koulutetaan jo. Kohta täytetään niiden harvojen ydinvoimalaitoslaitteiden toimittajien tilauskirjoja, jotka osaavat laitoksia toimittaa ja pystyvät pitämään aikataulunsa.

ILMAN ENERGIAPOLITIikkaa eduskunnasta ei ole paljon asiallista kirjoitettavaa. Mutta eduskunta jakaa aina yllättää: jokin aika sitten mieskansanedustajien modernia Ruotsin vaakunaleijonaa muistuttava ja väitteiden mukaan ahdistelevala tyyli oli yllätyksen aiheena. Onneksi tunnettu jääkiekkomies pelasti tilannetta edes hiukan reiluilla ja miehekkäillä lausunnoillaan – hyvä Kalervo!

Ajoittain myös suomalaiset paperiteollisuusjohtajat ovat katsoneet tornissaan istuen liian kauas maailmalle. Näin he ovat kuvitelleet kaukaa tynneltä ja siniseltä näyttävän meren odottavan siellä myyjää ilman kilpailua. Kaukaa tornista he eivät ole nähneet pinnan alla olevia liikkuvia suuria saalistajia. Kun harmitsee setelirahan polttamista vastaavaa oman yrityksen osakkeiden ostoa osakekurssin korottamiseksi, kannattaa muistaa vanha viisaus: ”Mikä menee ylös, tulee myös alas!”

YRITYSTEN MENO ulkomaille ja kansainvälistyminen on sinänsä positiivinen asia. Kansainvälisyys teemana tarkoittaa kansojen välejä keskenään. Vierailin sattumalta tammikuussa Singaporessa, joka on sekoitus länttä ja itää – maa, jossa vanha siirtomaakulttuuri ja nousevat idän talousmahdit kohtaavat. Singapore on paikka, jossa keskiaikainen tiukka rangaistuskäytäntö yhdistettynä ahkeruuteen ja hyvinvoinnin jatkuvaan kasvuun näyttävät muodostavan ainakin päällisin puolin kauniin kokonaisuuden. Pienelle alueelle ahtautuneelta Suomen kokoiselta kansalta puuttuu meidän ymmärtämämme kaltainen demokratia, mutta talouden kasvaessa ja kiireen lisäantäydessä se ei tunnu huolestuttavan ihmisiä. Osittain keskitetysti johdettu yhteiskuntarakenteeseen kuuluvien palvelujen (mm. joukkoliikenteen ja kaavoituksen) suunnittelu ja hoito on vaikka pääkaupunkiseutuun verrattuna todella tehokasta. Tehokas ja an-

kara yhteiskunta kykenee estämään vapaamatkustajien synnyn ja vaikuttaa saavan lähes kaikki mukaan tuottavaan työhön. Maan kulttuuri ja uskonto on sekoitus kiinalaista ja intialaista eksotiikkaa ja usean länsimaisen siirtomaavaltion perintöä. Ainoa mikä täälläkin vaikutti sopivan huonosti muuhun toisiinsa sekoittuvien, maallistuvien uskontojen ja kulttuuriperintöjen kirjoon oli uhkaava, aggressiivinen ja keskiajan yhteiskunnan arvojen säilyttämiseen pyrkivä islamin usko. Suomalaisille singaporelainen yhteiskunta tarjosi mahdollisuuden nähdä meillekin soveltuvia malleja, joilla pieni maa pärjää muuttuvassa maailmassa. Ideana pieneltä talousalueelta ja kotimaan markkina-alueelta ponnistavalla pienellä kansalla on erikoistuminen. Kouluttautuminen ja erikoistuminen – erottuminen muista ja satsaaminen tulevaisuuteen ennen muita – avaa pienelle kansalle menestykseen riittävän markkinaraon.

YDINVOIMAPROJEKTIN INSINÖÖRI oli stressautunut, nukkui huonosti ja heräsi joka yö väsyneenä, hiestä märkänä. Niinpä hän päätti mennä psykiatrille, joka käski häntä laittamaan kellon soittamaan keskellä yötä. Näin selviää mikä yön unien puuha aiheuttaa väsymyksen. Mies teki työtä käskettyä ja huomasi ajavansa joka yö valtavalla rekalla laitoskomponentteja Hampurin sataman kautta – Ranskasta Saksan ja Ruotsin kautta Raumalle. Hän selvitti psykiatrille väsymyksen syyn ja psykiatri sanoi: "Minä ehdotan, että päättätte pitää kahvitauon jossain kuppilassa Ruotsissa – minä jatkan itse ajamista sieltä Raumalle." Mies vei ajatuksen uneensa ja heräsi jatkossa aamuisin pirteänä. Niinpä hän, toisen projekti-insinöörin valittaessa stressiä ja huonoja yöunia, ohjasi miehen hyväksi toteamansa psykiatrin puheille.

Muutamaa viikkoa myöhemmin he tapasivat työmatkalla lentokoneessa, jolloin mies tiedusteli yhä väsyneen näköiseltä ystävältään hoidon onnistumista. Toinen vastasi: "Ei siitä ollut kuin haittaa! Minulle selvisi, että aamuisen väsymyksen syynä oli aiemmin se, että iloitsin joka yö unissani kolmen kauniin ranskataren kanssa hotellihuoneessani Saksassa. – Nyt minä sen sijaan ajan joka yö jotain saakelin rekkaa Ruotsista Raumalle!"

TAPAHTUMAKALENTERI

YG:n ekskursio Venäjälle 15.-19.4.2008

Vierailukohteina mm. LMZ:n, Elektrosilan ja Izhoran tehtaat sekä Leningradin ydinvoimalaitos.

Kutsu lähetetty sähköpostilla 10.2.2008.

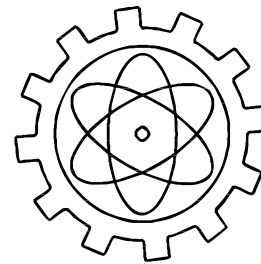
Lisätietoja: Kristiina Turtiainen
kristiina.turtiainen@tvo.fi

Jäsentilaisuus viikolla 17 STUK:ssa

aiheena "Säteilyturvallisuuteen liittyvä tutkimus"

Lisätietoja: Yrjö Hytönen
yrjo.hytönen@stuk.fi

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



UUDET JÄSENET

Varsinaiset jäsenet

- ☐ Jussi Näveri, Fortum Nuclear Services
- ☐ Laura Togneri, Fortum Power and Heat

Nuoret jäsenet

- ☐ Tiina Heikola, VTT
- ☐ Merja Tanhua-Tyrkkö, VTT

Suomen Atomiteknisessä Seurassa oli 14.2.2008 pidetyn johtokunnan kokouksen jälkeen 606 varsinaista jäsentä ja 41 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>