

ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA –

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



2/96, vol. 25

Tässä numerossa

Eurooppalaisella tutkimuksella lisää turvallisuutta	1
Wilhelm Guerillot – Ydinvoimatutkimuksen merkittävä tukija	2
Ruotsissa vakavia onnettomuuksia tutkimassa	4
Gammaspektroskopiaa voimalaitoksen uumenissa	7
Kehittyneitä laskentamalleja säteilyannosten arviointiin	10
Strontium ja plutonium vesiekosysteemeissä	14
RBMK-reaktorit tutkimuskohteena – Länsimaisten simulointiohjelmien soveltuvuutta testataan	16
Pugwash ja ydinaseiden kieltäminen	20
Ydinenergian hyödyntämistä kehitettävä edelleen	25
Loviisan YVA liikkeelle	27
Jäsenpalsta	29
English abstracts	31

ATS

YDINTEKNIikka

2/96, vol. 25

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

VUODEN 1996 TEEMAT

TOIMITUS

Päätoimittaja
DI Jorma Aurela
Imatran Voima Oy
Loviisan voimalaitos
PL 23
07901 Loviisa
p. (915) 550 3070
Jorma.Aurela@ivo.fi

Erikoistoimittaja
TkT Seppo Vuori
VTT Energia
PL 1604
02044 VTT
p. (90) 456 5067
Seppo.Vuori@vtt.fi

Erikoistoimittaja
FL Risto Paltemaa
Säteilyturvakeskus
PL 14
00881 Helsinki
p. (90) 7598 8313
Risto.Paltemaa@stuk.fi

Erikoistoimittaja
DI Olli Nevander
IVO International Oy
01019 IVO
p. (90) 8561 2613
Olli.Nevander@ivo.fi

Erikoistoimittaja
DI Tapio Saarenpää
Teollisuuden Voima Oy
27160 Olkiluoto
p. (938) 381 4312
Tapio.Saarenpää@tvo.tv.elisa.fi

1/96
Ajankohtaista
ydintekniikassa

2/96
Ydintutkimuksen linjat

3/96
ATS 30 vuotta - juhlaulkaisu

4/96
Ekskursio Etelä-Koreaan

ILMOITUSHINNAT

1/1 sivua 2000 mk
1/2 sivua 1400 mk
1/4 sivua 1000 mk

JOHTOKUNTA

Puheenjohtaja
TkL Eero Patrakka
Teollisuuden Voima Oy
27160 Olkiluoto
p. (938) 381 3300

Varapuheenjohtaja
DI Pertti Salminen
Teollisuuden ja Työnantajain
Keskusliitto (TT)
PL 30
00131 Helsinki
p. (90) 6868 2562

TkT Ilari Aro
Säteilyturvakeskus
PL 14
00881 Helsinki
p. (90) 7598 8296

Rahastonhoitaja
TkL Eija Karita Puska
VTT Energia
PL 1604
02044 VTT
p. (90) 456 5036

DI Eero Mattila
IVO International Oy
01019 IVO
p. (90) 8561 2418

Sihteeri
DI Timo Ritonummi
KTM Energiaosasto
PL 230
00171 Helsinki
p. (90) 160 4798

TkT Seppo Vuori
VTT Energia
PL 1604
02044 VTT
p. (90) 456 5067

TOIMITUKSEN OSOITE

ATS Ydintekniikka
c/o Timo Ritonummi
KTM Energiaosasto
PL 230
00171 Helsinki
p. (90) 160 4798 (suora)
telefax (90) 160 2695

Osoitteenmuutokset
pyydetään ilmoittamaan
Liisa Hinkulalle / VTT,
Internet: Liisa.Hinkula@vtt.fi

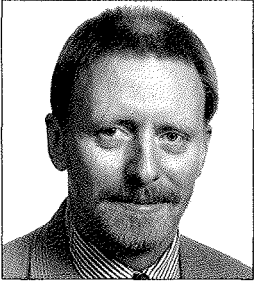
Lehdessä julkaistut artikkelit
edustavat kirjoittajien omia
mielipiteitä, eikä niiden kai-
kissa suhteissa tarvitse vasta-
ta Suomen Atomiteknillisen
Seuran kantaa.

TOIMIHENKILÖT

Kansainväl. asioiden sihteeri
DI Jussi Palmu
Posiva Oy
Annankatu 42 D
00100 Helsinki
p. (90) 2280 3750

Ekskursios sihteeri
DI Ari Anttila
Teollisuuden Voima Oy
27160 Olkiluoto
p. (938) 381 5240

ISSN-0356-0473



Kari Törrönen

EUROOPPALAISELLA TUTKIMUKSELLA LISÄÄ TURVALLISUUTTA

Ydinvoimalaitosten turvallisuus puhuttaa jatkuvasti kansalaisia. Tämä tuli korostetusti esiin Tshernobylin onnettomuuden 10-vuotispäivän yhteydessä. Luottamus ydinvoimaan on jatkuvasti huonoa kansalaisten keskuudessa. Asiantuntijoiden ponnistelut tilanteen muuttamiseksi näyttävät valuvan hukkaan; poliittinen päätöksenteko seuraa demokraattisissa maissa pitkälti kansalaismielipidettä.

Mitä sitten voimme tehdä? Voimme pyrkiä parantamaan laitosten turvallisuutta monella tavalla, joista eräs tärkeimmistä on varmasti tutkimus. Turvallisuustaso ei voi koskaan olla niin hyvä, etteikö sitä voisi vielä parantaa tutkimustiedon ja toki myös kokemuksen kautta.

OECD on kartoittanut ydinvoimaan liittyvän turvallisuustutkimuksen tulevaisuuden suuntaviivoja. Rakenteellisen turvallisuuden kannalta olennainen aihe liittyy materiaalien ja rakenteiden vanhenemiseen. Käyttöturvallisuudessa inhimillisten tekijöiden vaikutusta tulee kartoittaa erityisesti huolto- ja seisokitilanteiden yhteydessä. Laitoskontrolliin ja monitorointiin osviitta on saatavissa ilmailun ja muun liikenteen alueilta. Paloturvallisuustutkimusta tulisi tehostaa mm. mallintamisen osalta. Transienttitutkimusta tulee jatkaa mm. termohydrauliikan ja monidimensioisen mallintamisen alueilla. Todennäköisyyspohjaisessa turvallisuusanalyysissä (PSA) ympäristövaikutuksia koskevan osuuden (taso 3) rooli ja kattavuus viranomaiskäsitelyssä on avoin kysymys. Vakavien onnettomuuksien osalta prioriteetit tulisi asettaa suojarakennuksen luotettavuuteen riittäväällä turvallisuustasolla.

Euroopan Unionin neljänteen puiteohjelmaan kuuluva Nuclear Fission Safety -ohjelma sisältää useimmat edellä olevat alueet. Puiteohjelmaan kuuluu myös Komission yhden pääosaston Joint Research Centressä (JRC) tehtävä varsin mittava Nuclear Safety and Safeguards -ohjelma. Merkittävä osa tätä ohjelmaa kohdistuu rakenteelliseen turvallisuuteen.

Myös JRC:n ohjelman tärkeimmäksi alueeksi on identifioitu laitosten vanhenemiseen liittyvä problematiikka. Yksittäisinä kohteina tulee esiin reaktoripaineastian haurastuminen ja paineastian käyttäytyminen erilaisissa häiriötilanteissa, putkistojen, erityisesti höyrystimen tuubien säröytyminen paikallisen korroosion takia sekä sähköisten komponenttien vanheneminen. Näiltä osin ohjelma toteutetaan pääosin ns. Eurooppalaisten Networkeissa, ENIQ, NESC ja AMES. Kaikki tärkeimmät eurooppalaiset laitevalmistajat, voimayhtiöt, viranomaiset ja tutkimuslaitokset ovat näissä verkostoissa mukana; koordinaattoreina ja referenssilaboratoriona toimii JRC:n Institute for Advanced Materials. Suomesta voimayhtiöt ja VTT ovat erittäin vahvalla panoksella ja näkyvästi mukana.

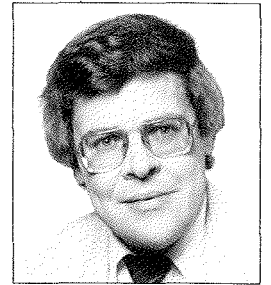
Euroopan Komissio rahoittaa merkittäväällä summalla itäisen Euroopan kehitystä PHARE- ja TACIS-ohjelmien kautta. Ydinvoiman turvallisuus ja ympäristö on näiden ohjelmien prioriteettialue. Vaikka ohjelma ei ole varsinaisesti tutkimusohjelma, osa sen rahoittamista hankkeista on varsin tutkimuksellisista kohdistuen mm. vanhenemisilmiöiden torjumiseen. JRC toimii ohjelmissa lähinnä alihankkijana tai evaluaattorina. Suomesta IVO ja VTT ovat myös näkyvästi mukana.

Eurooppalaisessa skaalassa tutkimustoiminta on siis varsin laajaa ja sillä saavutetaan selkeästi osoitettavaa turvallisuustason paranemista. Vaikeampi kysymys on sitten, miten välittää tämä tieto kansalaisilla ja poliittisille päättäjille.

Tkt Kari Törrönen on Pettenissä, Hollannissa sijaitsevan Euroopan Komission Joint Research Centren Institute for Advanced Materials -laitoksen johtaja, puh. +31-224 565401.

WILHELM GUERILLOT

Ydinvoimatutkimuksen merkittävä tukija



Diplomi-insinööri Wilhelm Guerillot jätti kuollessaan kolme miljoonaa markkaa ydinvoimatutkimuksen tukemiseen. Hän määräsi, että nämä rahat jaetaan kokonaisuudessaan neljänä peräkkäisenä vuotena sekä apurahoina että kunniapalkintoina henkilöille, jotka ovat edesauttaneet ydinvoimateknologian tutkimusta tarkoituksena lisätä ydinvoiman käyttöä Suomen sähkötuotantoon. Wilhelm Guerillot ei itse ollut mikään ydinvoima-alan ammattilainen vaan aktiivisena aikanaan hän toimi autoalan myyntitehtävissä. Hänen suuri harrastuksensa hiihtämisen ja tenniksen lisäksi oli osallistuminen julkiseen keskusteluun ydinvoiman rakentamisesta Suomeen.

Lokakuussa 1993 ruotsinkielisen tiedeakatemian, Svenska tekniska vetenskapsakademiens i Finlandin sihteeri, professori Kenneth Holmberg sai asianajajatoimistosta yllätykseksen kovin erikoisen kirjeen. Siinä kerrottiin, että Wilhelm Guerillot, joka oli kuollut helmikuussa samana vuonna, oli 1979 kirjoitetussa testamentissaan määrännyt, että kuusi kymmenesosaa hänen noin viiden miljoonan markan omaisuudestaan oli osoitettu akatemian hallintaan. Rahat tuli jakaa ydinvoimatutkimuksen tukemiseen neljänä peräkkäisenä vuotena.

Kirje herätti hämmästyksi varsinkin, koska Guerillot ei ollut mikään tuttu nimi useimmille akatemian jäsenille. Akatemian hallituksen jäsen Anders Palmgren muisti kyllä, että Guerillot oli ollut innokas ydinvoiman kannattaja ja usein aktiivisesti ensimmäiseltä riviltä osallistunut julkisiin ydinvoimakeskusteluihin, joissa Palmgren oli käynyt alustamassa. Mutta kukaan ei näyttänyt tietävän tarkemmin, kuka tämä Guerillot oikein oli.

Wilhelm Guerillot oli syvästi kiinnostunut ydintekniikasta

Lehdistön saatua tiedon asiasta Hufvudstadsbladetin toimittaja Staffan

Bruun penkoi taustoja ja sai selville, että Guerillot oli syntynyt Saksassa 1904 ja lapsena muuttanut perheensä kanssa Suomeen. Hän kävi koulua Porin ruotsinkielisessä yhteiskoulussa ja pääsi ylioppilaaksi 1921. Diplomi-insinöörin tutkintonsa hän suoritti 1928 Teknillisen korkeakoulun moottoritekniikan opintosuunnalta. Valmistumisensa jälkeen hän matkusti Detroitiin Yhdysvaltoihin ja työskenteli siellä jonkun aikaa mekaniikkona Packardin tehtaassa. Palattuaan Suomeen hän jatkoi autoalalla, ensin Nikolajeff Oy:n verstaapäällikkönä ja vuosina 1932–1958 Autola Oy:n myyntijohtajana. Toimittaja Bruunin selvitys ei kuitenkaan tuonut vastausta kysymykseen, miten tämä Guerillot'n viiden miljoonan markan omaisuus oli syntynyt.

Wilhelm Guerillot ei koskaan mennyt naimisiin. Kun hänen äitinsä kuoli 60-luvulla hänellä ei enää ollut sukulaisia Suomessa. Hän harrasti tennistä ja hiihtämistä ja teki usein pitkiä hiihtoretkiä Lapin tuntureilla. Hänet nähtiin usein teknillisten seurojen tilaisuuksissa Helsingissä ja häntä kiinnosti erityisesti keskustelu ydinvoiman käytöstä sähkötuotantoon. Sillä alueella hän osallistui ahkerasti keskustelutilaisuuksiin ja esitti mielipiteitään päivälehtien yleisönosastojen palstoilla.

Testamentissaan Guerillot muisti myös muita. Noin puoli miljoonaa markkaa sai jokainen seuraavista tahoista: Porin ruotsinkielinen yhteiskoulu, Ruotsalaisen kansakoulun ystävät ry, Kovaosaisen ystävät ry ja Asunto-osakeyhtiö Eureka, Topeliuksenkatu 11. Asunto-osakeyhtiön rahat saatiin käyttää korjaus-, maalaus- ja kunnossapitokustannuksiin mutta ei muutos- tai purkutöihin. Hänen asuntonsa Topeliuksenkadulla sai Pelastusarmeija.

Testamentin täytäntöpano tapahtuu neljässä vuodessa

Testamentin toteuttamiseksi Svenska tekniska vetenskapsakademiens perusti 1994 Diplomi-insinööri Wilhelm Guerillot'n säätiön. Säätiön säännöissä määritellään, että ydinvoimatutkimukseen osoitetut varat julistetaan haettavaksi vuosina 1994–1997. Apurahoihin ja kunniapalkintoihin käytetään vuosittain noin 750 000 markkaa. Jakamalla apurahoja halutaan tukea:

- korkeatasoisen tutkimuksen suorittamista,
- tohtori-, lisensiaatti- tai muuhun tutkintoon tähtääviä jatko-opintoja,
- opintoja tai tutkimusta ulkomailla,
- uusien suunnittelu-, laskenta-, testaus- tai valvontamenetelmien käyttöönottoa ja
- muita tarkoituksia sillä edellytyksellä, että ne edistävät ydinvoiman käyttöä sähkötuotantoon.

Apurahat myönnetään suoran ydinvoimatutkimuksen lisäksi myös lähellä olevien alojen tutkimukseen kuten turvallisuus-, ympäristö- ja tuotantotekniikan tutkimukseen sekä tarvittavan infrastruktuurin kehittämiseen.

Kunniapalkinnoilla halutaan muistaa henkilöitä, jotka ovat tehneet elämänsä aikana merkittävän panoksen ydinvoimateknologian tutkimuksen edistämiseksi maassamme. Kunniapalkinnoista ja apurahoista päättää akatemian hallitus.

Ensimmäisenä kunniapalkintojen jakovuonna palkittiin akateemikko Erkki Laurila (120 000 mk), akateemikko Pekka Jauho (60 000 mk), vuorineuvos Kalevi Numminen (60 000 mk) ja pääjohtaja Antti Vuorinen (60 000 mk).

Seuraavana vuonna eli 1995 kunniapalkintoja saivat toimitusjohtaja Magnus von Bonsdorff (60 000 mk), akateemikko Jorma K. Miettinen (40 000 mk), johtaja Anders Palmgren (60 000 mk) ja FT Raimo Mustonen (40 000 mk).



Tutkimusprofessori, Tkt **Kenneth Holmberg** on VTT Valmistustekniikan tutkimuspäällikkö ja Svenska tekniska vetenskapsakademiens i Finlandin tieteilin sihteeri, p. (90) 456 5370.

Wilhelm Guerillot'n ensimmäisessä kunniapalkintojen jakotilaisuudessa akatemian esimies Tor-Magnus Enari luovutti kunniakirjat palkintojen saajille (oikealta) Kalevi Nummiselle, Pekka Jauholle, Erkki Laurilalle ja Antti Vuoriselle. Kuvassa vasemmalta akatemian hallituksen jäsen Björn Wahlström, varapuheenjohtaja Erkki Wänninen ja esimies Tor-Magnus Enari.

ANNONS

STIPENDIER FÖR KÄRNKRAFTSFORSKNING LEDIGANSLÅS

Svenska tekniska vetenskapsakademien i Finland lediganslår stipendier att sökas ur dipl.ing. **Edmund Wilhelm Guerillot's fond.**

Stipendierna ges i enlighet med testamentet åt forskare eller forskargrupper, för forskning av teknologi i kärnkraftverk. Förutom direkt kärnteknisk forskning kan även forskning i angränsande områden som säkerhets-, miljö- och produktionsteknik samt uppbyggande av behövlig infrastruktur beaktas. Med stipendierna vill man befrämja

- utförande av kvalificerat forskningsarbete,
- fortbildning för doktors-, licentiat- eller annan examen

- studier eller forskning vid utländska organisationer
- ibruktagande av nya planerings-, beräknings-, provnings- och övervakningsmetoder och
- andra ändamål under förutsättning att de främjar användningen av kärnkraft för el-produktion.

Totalt utdelas ca. 500.000 mk i stipendier år 1996. Motsvarande belopp kommer att lediganslås för samma ändamål även år 1997. Sålunda kan tvååriga projekt stödas även om stipendiebesluten görs årligen.

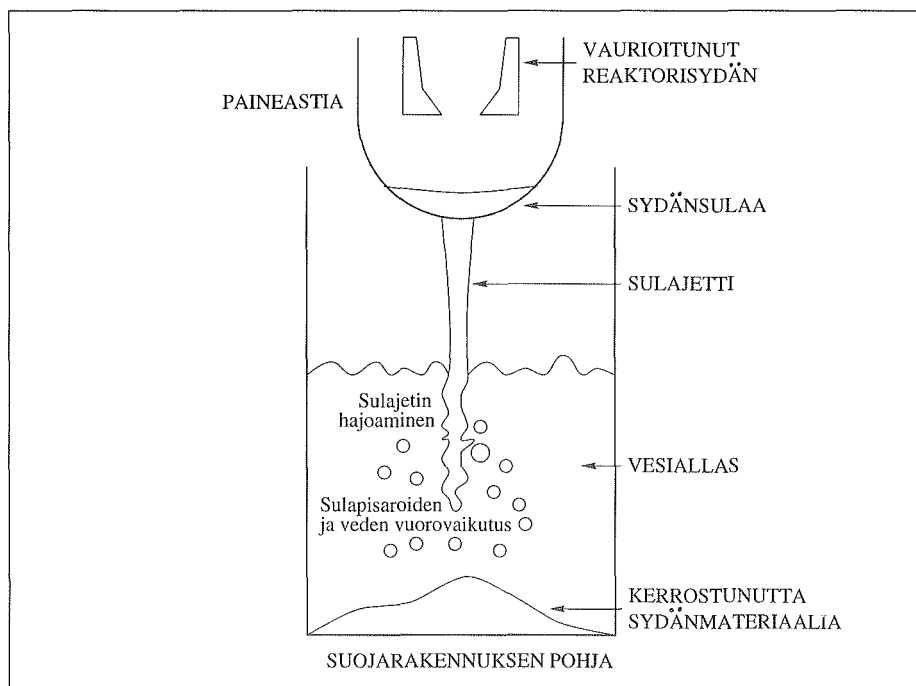
Ansökan bör innehålla beskrivning av på vilket sätt stipendiet skall användas och stipendiemottagarnas meritförteckning eller curriculum vitae. Om ansökan görs

i en forskargrups namn bör även forskargruppens målsättning beskrivas. Stipendiemottagare bör efter stipendietidens utgång avge skriftlig redogörelse över stipendiets användning och uppnådda resultat.

Ansökan bör vara akademins sekreterare, prof. Kenneth Holmberg tillhanda senast **torsdagen den 15 augusti 1996** under adress VTT Tillverkningsteknik, P.B. 1704, 02044 VTT (Esbo). På eventuella förfrågningar svarar akademins sekreterare (tel. 90-4565370, fax 90-4567002 eller email: Kenneth.Holmberg@vtt.fi).

RUOTSISSA VAKAVIA ONNETTOMUUKSIA TUTKIMASSA

Kungliga Tekniska Högskolanin (KTH) ydinturvallisuuden tutkimusohjelman keskeisenä alueena ovat vakavien reaktorionnettomuuksien ilmiöt. Kirjoittaja on keskittynyt sydänsulan ja veden vuorovaikutuksiin sekä niiden riskivaikutukseen. Työhön kuuluu mallien kehitystä ja kokeita seuraavista osailmiöistä: veden kalvokiehuminen, sulajetin hajoaminen vedessä, sulapisaroiden jähmettyminen ja hajoaminen, metallien hapettuminen ja vedyn kehitys. Nämä ilmiöt vaikuttavat vakavan onnettomuuden etene- miseen ja hallittavuuteen etenkin ruotsalaisissa ja suomalaisissa kiehutusvesireaktoreissa.



Sula-vesi-vuorovaikutuksia suojarakennuksen vesialtaassa.

Professori Bal Raj Sehgal on muutama vuoden ajan rakentanut KTH:lla ydinturvallisuuden tutkimusohjelmaa, jossa työskentelee tällä hetkellä parikymmentä henkilöä. Suurin osa ryhmän tutkimusvoimasta kohdistuu vakavien reaktorionnettomuuksien ilmiöihin ja erityisesti ns. sula-vesi-rakenne-vuorovaikutuksiin. Tämä työ käsittää sekä kokeellista havainnointia että teoreettista mallien kehitystä. Muita osa-alueita ovat ruotsalaisten reaktorien ja Liettuan RBMK-yksiköiden (Ignalina) onnettomuusanalyysit.

Ilmapiiri KTH:lla on erittäin kansainvälinen, sillä edustajia on nyt jo seitsemästä maasta. Osa heistä harjoittaa myös jatko-opintoja tai viimeistelee perusopintojaan.

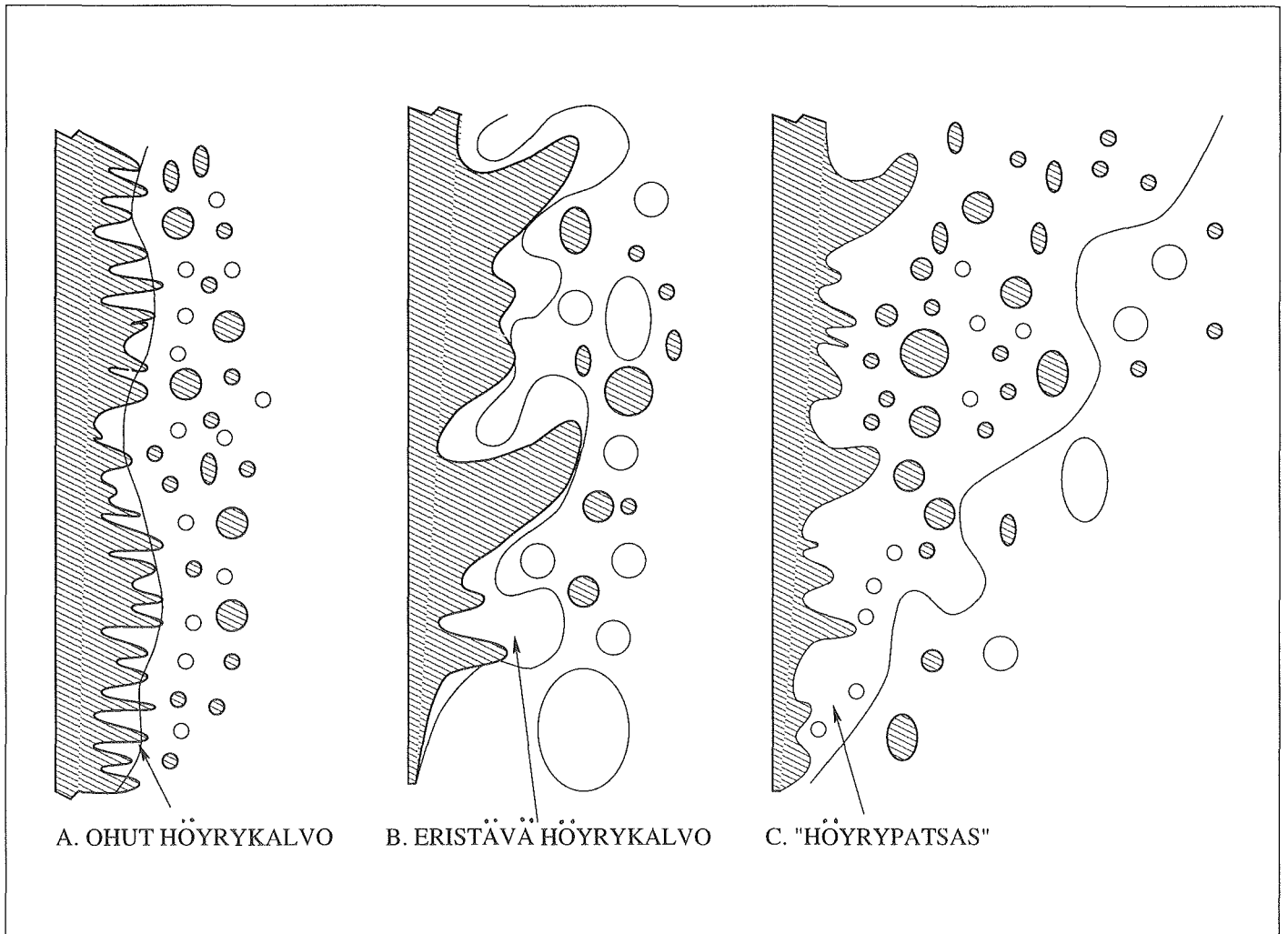
Tutkimusrahoituksesta vastaavat lähinnä Ruotsin ydinturvaviranomainen (SKI) ja voimayhtiöt sekä kasvavassa määrin EU. Suomalaiset voimayhtiöt IVO ja TVO rahoittavat osan reaktorityypeilleen tärkeistä kokeista.

Tuloksista hyötyä Suomen ja Ruotsin ydinturvallisuudelle

Ruotsissa ja Suomessa on vakaviin reaktorionnettomuuksiin varauduttu monin toimenpitein. Vakavien onnettomuuksien hallinnan arviointi on haastava tehtävä, ja keskeisenä epävarmuutena ovat vielä sydänsulan, veden ja reaktorirakenteiden vuorovaikutukset. Nämä ilmiöt vaikuttavat esimerkiksi reaktoripaineastian vaurioitumistapaan, sydänsulan purkautumiseen suojarakennukseen ja sulan jatkokäyttämiseen suojarakennuksen pohjalla.

Sula-vesi-rakenne-vuorovaikutukset ovat erityisen tärkeitä pohjoismaisissa kiehutusvesireaktoreissa, joissa paineastian alla olevaan tilaan tulvitettaisiin vettä (ei mitenkään riitä paineastian vaurioitumisen estämiseen). Sula-vesi-vuorovaikutusten aiheuttamat suojarakennuskuormat ja vesialtaaseen kertyneen sydänmateriaalin jäädytettävyyden vaatimat suunnattua tutkimusta, jossa otetaan huomioon reaktoriemme erityispiirteet. Professori Sehgalin ryhmän merkitys on myös tässä mielessä keskeinen.

Työskennellessäni aikaisemmin Säteilys- ja turvakeskuksesta törmäsin usein vaikeuksiin arvioida sula-vesi-vuorovaikutuksia. Tämä johtui toisaalta tietämyksen ja toisaalta ajan puutteesta. Kesällä 1993 tapasin professori Sehgalin, ja hän kyseli kiinnostustani muutaman vuoden syventymiseen ryhmässään. Työ oli



Sulajetin ja kiehuvan veden vuorovaikutusmuotoja.

silloin alkutekijöissään. Nyt olen tutkinut sulaa ja vettä, jatko-opiskellut ja elänyt Tukholmassa reilut kaksi ja puoli vuotta. Viimeistelen juuri tällä hetkellä julkaisuitani ja opintojani, joihin olen saanut kiitettävää tukea
DI Edmund Wilhelm Guerillot'n rahastosta.

Sulaa vettä vasten

Vajaa vuosi sitten saimme valmiiksi alustavan riskitutkimuksen, jossa kartoitettiin höyryräjähdysriskiä (energeettinen sula-vesi-vuorovaikutus) ja sydänsulan jäädytettävyyttä suojarakennuksessa. Sen jälkeen olen keskittynyt sula-vesi-ilmiöihin.

Sydänsula voi purkautua reaktoripaineastian pohjavaurion jälkeen suojarakennukseen. Sula virtaa ulos jatkuvana "jettinä", jos paineastian pohjalla on vaurioitumishetkellä riittävästi sulaa ja vaurio on paikallinen. Jetti voi hajota osittain jo ennen tippumistaan vesialtaaseen, jossa hajottavat voimat ovat kuitenkin paljon suuremmat kuin kaasutilassa. Sulajetin hajoamisaste ja -tapa vaikuttavat vesialtaan pohjalle kerrostuvan materiaalin muotoon ja jäädytettävyyteen. Myös mahdollisten höyryräjähdysten voima riippuu vesialtaassa olevien sulapisaroiden määrästä ja syvyydestä räjähdyshetkellä. Tätä kutsutaan sulan ja veden esisekoittumiseksi.

Sulajetin hajoamista voidaan arvioida lähtien sulan ja jäädytteen nopeuseroista, jotka synnyttävät pisaroina irtoavia aaltoja jetin pinnalle. Sulajetin tapauksessa ongelmana on tietää jäädytteen

olosuhteet, sillä korkea sydänsulan lämpötila (1700...3100 K) johtaa veden kiehumiseen: jäädytteen voi olla vettä tai höyryä. Kiehuminen tapahtuu korkeissa pintalämpötiloissa kalvokiehuna, eli sulan ja nestemäisen veden väliin syntyy höyrykalvo. Sulajetin pintaan syntyvät aallot tekevät tilanteesta entistä monimutkaisemman. Yllä olevassa kuvassa on esitetty erilaisia mahdollisuuksia, jotka vaihtelevat erittäin ohuesta höyrykalvosta lähes pelkästään höyryä sisältävään "höyrypatsaaseen". Viimeksi mainittu voi syntyä, jos sulapisaroihin sekoittuu paljon kylmää vettä. Tällöin ei enää ole kyse kalvokiehunnasta jetin pinnalla, vaan sulan ja veden esisekoittumisen aiheuttamasta voimakkaasta höyryn tuotosta jetin ympärillä.

KTH:n reaktoritekniikan professorissa tehtiin viime vuonna kalvokiehukokeita, joissa kuuma (500...1700 K)

metalliputki laskettiin suureen vesialtaaseen. Osallistuin näiden kokeiden suunnitteluun ja hoidin ennen kaikkea tulosten tulkinnan. Tärkeimpänä tuloksesta oli havainto, että kalvokiehumiseen kehitetty solumalli antoi järkeviä tuloksia. Perinteisissä malleissa oletetaan, että höyrykalvo voi kasvaa pystysuoralla pinnalla rajattomasti. Näin ei kuitenkaan käy, vaan korkealla pinnalla kalvo jakaantuu soluihin johtuen höyryn ja veden rajapintaan syntyvistä aalloista. Yhden solun analyysillä voidaan arvioida esimerkiksi lämmönsiirtoa, joka riippuu kääntäen höyrykalvon keskimääräisestä paksuudesta (johtumislämmönsiirto).

Alkuperäinen solumalli on analyttinen eikä ota huomioon esimerkiksi säteilylämmönsiirtoa saati pakotettua veden virtausta suhteessa lämmittävään pintaan. Kehitinkin uuden mallin, jossa nämä tekijät ovat mukana ja joka "ennustaa" hyvin KTH:n mittaukset lämmönsiirron tehokkuudesta. Tämän lisäksi tulkitsin muualla tehtyjen sulajetin hajoamiskokeiden tuloksia uutta kalvokiehumismallia käyttäen. Eri jäädytteille saatujen solukokojen perusteella selvitin, miksi sulajettien hajoamista ennustava (ns. Saiton) kokeellinen kaava toimii niin hyvin. Samanlaiseen tulokseen päädyin myös siinä tapauksessa, että putoavaa jettiä ympäröi voimakkaasti ylöspäin virtaava höyrypatsas.

Edellä mainittu kalvokiehumismalli ennusti myös äkillisen höyrykalvon romahtamisen, kun veden alijäähtyminen (lämpötilaero kiehumispisteeseen) ja nopeus (pakotettu virtaus) ovat riittävän suuria. Tämän siirtymän voidaan katsoa johtavan erittäin ohueen höyrykalvoon, jolloin jetti voi hajota nopeasti johtuen paremmasta kosketuksesta tiheään veteen. Mikä yllättävintä, mallin ennusteet pitivät yhtä nopeaan hajoamiseen johtaneiden jettikokeiden olosuhteiden kanssa. Kun mallia sovelletaan kiehumiseen kiinteällä pinnalla, voidaan ennustetun siirtymän ajatella liittyvän höyrykalvon romahtamiseen ja pinnan uudellenkastumiseen, siis yhteen kiehumislämmönsiirron perusilmiöistä. Olen viime aikoina vertaillut mallin ennusteita vanhoihin metanolilla tehtyihin kokeisiin, suhteellisen hyvin tuloksin.

Kokeita veteen tiputetuilla sulapisaroilla

Sulajetistä irtoavat pisarat luovuttavat lämpöä veteen, lopulta jähmettyen ja jäähtyen. Täysin jähmettynyt sula ei voi osallistua tehokkaasti höyryräjähdykseen, koska räjähdyskseen paineaalto ei pysty rikkomaan kiinteitä partikkeleita kuten sulia pisaroita. Nopea pisaroiden hajoaminen on olennaista räjähdyskseen omassa lämpöenergian vapautumisessa, jota kutsutaan räjähdyskseen etenemiseksi. On tärkeää pystyä arvioimaan, miten nopeasti sulapisarat muuttuvat erittäin vaikeasti hajoaviksi. Ongelma voidaan jakaa kahteen kysymykseen: miten jähmettyminen etenee ja minkälainen sulapisara on riittävän jähmeä?

Aloitin jähmettymisen ennustamisen kehittämällä tavanomaisen lämmönjohtumismallin ja soveltamalla sitä tyypillisiin sula-vesi-tilanteisiin. Jaoin erilaiset sulamateriaalit kolmeen eri tyyppiin, joista huonosti lämpöä johtavia oksideja ja hyvin johtavia metalleja on tyypillisesti käytetty kokeissa. Sydänsula on taasen oksidien ja ehkä myös joidenkin metallien seos. Sulaseoksella ei yleensä ole yhtä sulamispistettä, vaan se sulaa tai jähmettyy tietyssä lämpötilahaarukassa, missä se ei ole puhtaasti nesteistä eikä kiinteää. Havaitsin tähän alueeseen siirtymisen erityisen nopeaksi ja ehdotin tätä yhdeksi lisäsyysiksi sille, ettei viimeaikaisissa kokeissa ole saatu aikaiseksi höyryräjähdyskseen UO₂/ZrO₂-sulaseoksella.

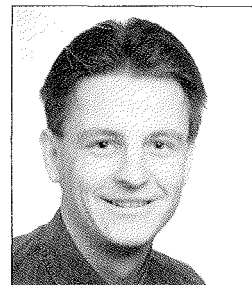
Tällä hetkellä teen kokeita pudottamalla sulapisaroita veteen. Alunperin kiinteä materiaali sulatetaan astiassa, jonka pohjassa on lyhyt putki. Alas virtaava sula saa pyöreän pisaran muodon ja iskeytyessään veteen se voi muuttua muotoaan olosuhteista riippuen. Ääritapauksia ovat täysin alkuperäinen muoto ja toisaalta pieniksi siruiksi hajoaminen. Tarkoituksena on löytää hajoamiseen vaikuttavat tekijät ja arvioida materiaalseosten erityispiirteitä tässä suhteessa. Ensimmäinen koesarja saataneen valmiiksi kesään mennessä.

Höyryn aiheuttama metallien hapettuminen ja siitä seuraava lämmön- ja vedyn tuotto voivat vaikuttaa sekä sulapisaroiden jähmettymiseen että kalvokiehumtaan sulan pinnalla. Nämä riippuvuudet ovat mietinnän alla.

Toivon, että edellä esittelemäni tutkimustulokset johtavat väittelyyn KTH:lla ensi vuodenvaihteen tienoilla. Kansainvälisten tiedekokemusten ja -ystävien lisäksi ovat nämä reilut pari vuotta antaneet paljon ajateltavaa olipa sitten kyse suomalaisesta tai ruotsalaisesta tyylistä, keskustelusta, politiikasta — tai vain tavasta nähdä ja käsitellä asioita. Ydintaipaleeni jatkuu kesän jälkeen ABB Atomilla Västeråsissa.

DI Timo Okkonen työskentelee Kungliga Tekniska Högskolanissa Ruotsissa, p. +46-8-7909254; E-mail: timo@ne.kth.se

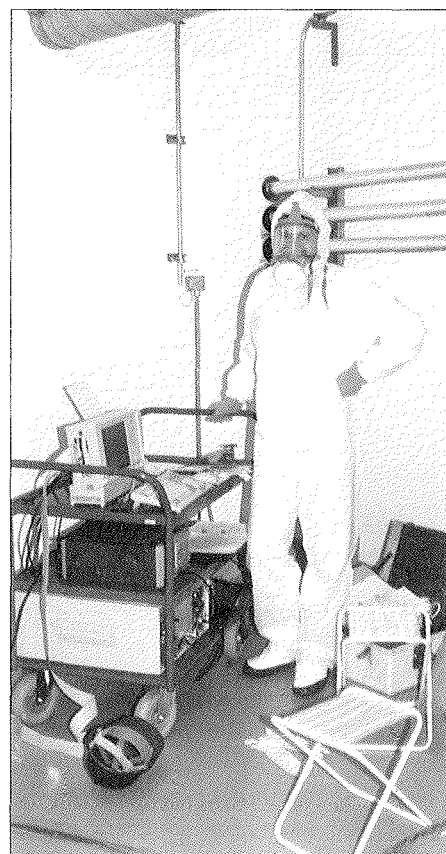
GAMMASPEKTROSKOPIAA VOIMALAITOKSEN UUMENISSA



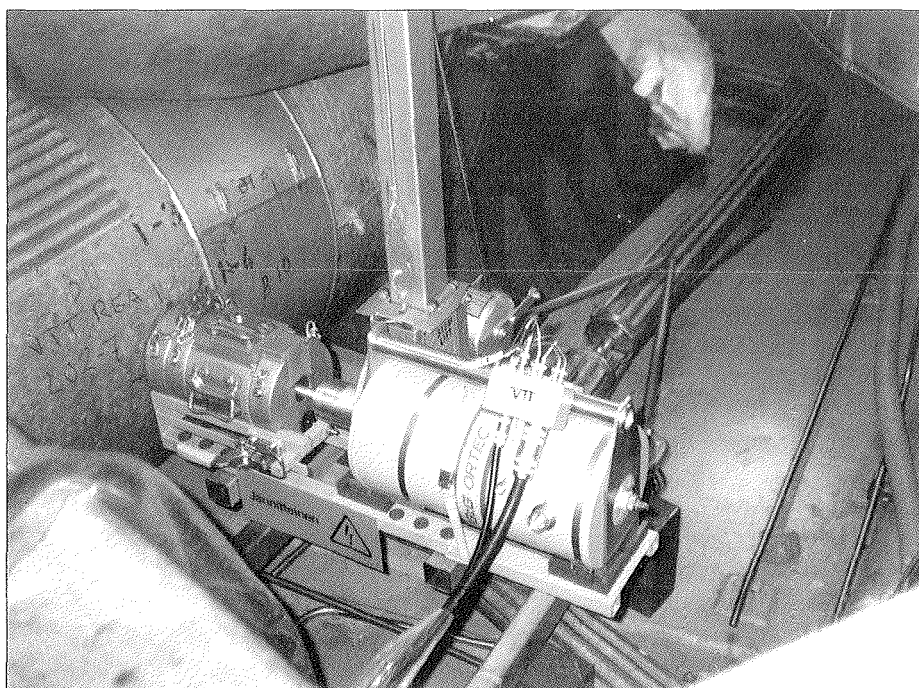
Ydinvoimalaitoksella säteilyannosnopeuksia ja eri radionuklidien pitoisuuksia valvotaan annosnopeusmittareilla ja näytteitä ottamalla jatkuvasti sekä tehoajon että revision aikana. Tämän lisäksi kerran vuodessa suomalaisille laitoksille tuodaan pakettiautollinen säteilymittausinstrumentteja, lyijysuojia ja nostolaitteita, joilla päästään mittaamaan suoraan laitoskomponenttien sisäpuolella vallitsevia radionuklidipitoisuuksia.

Ydinvoimalaitoksen käytön aikana sen kiertoprosesseissa tapahtuu reaktorissa syntyneiden radioaktiivisten aineiden kulkeutumista, mikä johtaa laitoskomponenttien vähittäiseen kontaminoitumiseen. Aktiivisuus kulkeutuu prosessissa sekä liukoisessa että partikkelimuodossa. Kulkeutuvan aktiivisuuden määrään vaikuttaa polttoaineen kunnan lisäksi reaktorin jäähdytteen vesikemia ja korroosiotuotepitoisuus. Kontaminoituminen sinänsä ei vaikuta laitosprosessin toimintaan tai laitoksen käyttöominaisuuksiin, mutta sillä on merkittävä vaikutus huoltohenkilöstön revisionaikaisiin säteilyannoksiin.

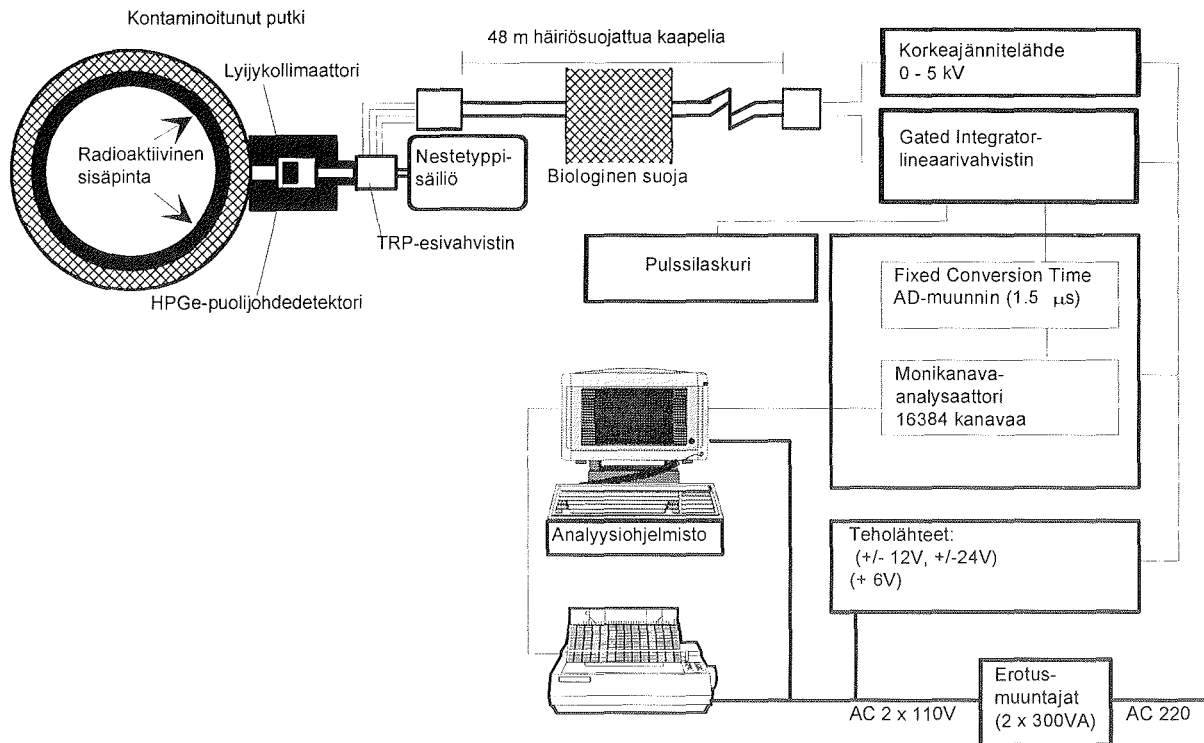
Suomen ydinvoimalaitosyksikköjen kontaminoitumista valvotaan jatkuvasti paitsi annosnopeusmittauksilla ja vesikemian tarkkailulla, myös vuosihuoltojen aikaisilla prosessilaitteiden suorilla gammaspektroskopisilla mittauksilla. Paikan päällä tehtävillä mittauksilla vältetään näytteenottoon liittyvät rajoitukset ja epätarkkuudet, mutta toisaalta joudutaan selviytymään moninaisista laitteiston kalibrointiin ja mittauksen käytännön suorittamiseen liittyvistä ongelmista. VTT Kemiantekniikka suorittaa mittauksia varta vasten tarkoitukseen rakennetulla MARC-laitteistolla vuosittain sekä Olkiluodon että Loviisan voimalaitoksilla.



MARC-laitteiston mittausasema Olkiluodon voimalaitoksella. Hankalissa paikoissa mittaushenkilöstö suojautuu ylimääräisellä suojapuvulla ja hengityssuojaimella.



MARC-laitteiston mittauspää Loviisa 2:n höyrystintilassa. Mittauskohteena on vasemmalla näkyvä primärdripiirin putki höyrystimen alla.



MARC-laitteisto ydinvoimalaitosten kontaminaatiomittauksiin.

MARC-gammaspektroskopia-laitteisto

Gammaspektroskopia on laboratoriokäytössä rutiininomainen gammasäteilyn mittausten menetelmä, mutta sen siirtäminen laboratoriosta ydinvoimalaitosolosuhteisiin tuottaa omat ongelmansa. Ydinvoimalaitoksilla suurin ongelma on voimakas ja paikallisesti suuresti vaihteleva taustasäteily. Yleensä mittaustilassa mittavan kohteen lisäksi melkein kaikki muukin säteilee suhteellisen voimakkaasti. Lisäksi mittaustila on yleensä ahdas ja mittauskohde usein vaikeasti lähestyttävissä.

MARC-laitteisto (Measurement and Analysis of Reactor circuit Contamination) koostuu kannettavasta HPGe-puolijohdedetektorista ja tehokkaasta taustasuojauksesta sekä hyvin aktiivisten kohteiden mittaukseen soveltuvasta suuren pulssitaajuden mittauselektronikasta. Ainoastaan detektor, siihen liittyvät lyijysuojat ja moninaiset nostolaitteet viedään mitattavan kohteen luokse. Mittauselektronikka ja tietoko-

nelaitteet pystytetään matalan säteilytaason alueelle. Näin mittaushenkilöstön säteilyannos pyritään pitämään niin pienenä kuin mahdollista.

Mittaustyö laitoksella vuosihuollon aikana on luonteeltaan lähinnä rutiinimaista fyysistä raatamista, sillä tavaraa on paljon ja raskaat lyijysuojat ja nosturit täytyy miesvoimin kantaa mitä ihmeellisimpiin paikkoihin laitoksen uumenissa. Mittauksen tilaajan mielenkiinto kohdistuu luonnollisesti usein sinne, missä säteily on voimakasta, joten mittaushenkilöstön säteilysuojeluun on kiinnitettävä erityistä huomiota. Laitteiston kokoamista ja purkamista sekä nostovälineiden käyttöä harjoitellaan etukäteen laboratoriossa, jotta se sujuisi säteilevän kohteen vieressä mahdollisimman joutuisasti.

Kontaminaatiomittauksen tärkein ominaisuus on hyvä fyysinen kunto ja kyky tehdä tarkkaa työtä pitkänkin työrupeaman jälkeen. Kaikki elegantti tutkimus- ja analysointityö tehdään etukäteen tai jälkeenpäin laboratoriossa. Yleensä

alustava kontaminaatioreportti voidaan tulostaa heti mittauksen jälkeen. Palvelu on pyritty rakentamaan avaimet käteen -tyyppiseksi, eli mittaustiimi tuo kaiken tarvittavan välineistön mukanaan ja toimii laitoksella täysin itsenäisesti. Lähtiessään mittaajat antavat alustavat aktiivisuusraportit heti laitoksen henkilökunnan käyttöön.

Laitteisto kalibroidaan eri mittauskohteille

Esimerkkispektrissä (Loviisa 2) erottuvat selvästi tavallisimpien kontaminaationuklidien (^{60}Co , ^{58}Co , ^{124}Sb ja ^{54}Mn) gammapiikit; lisäksi pieninä pitoisuuksina nähdään myös ^{95}Nb , ^{59}Fe , ^{122}Sb ja $^{110\text{m}}\text{Ag}$. ^{60}Co :n hallitseva osuus ydinvoimalaitoksen kontaminaatioaktiivisuudesta käy selvästi esille. Itse asiassa juuri kobolttiaktiivisuuden seuranta on mittauksissa kaikkein oleellisin, sillä koboltti aiheuttaa suurimman osan huoltohenkilöstön säteilyannoksesta ja tulee suhteellisen pitkäikäisenä ($T_{1/2} = 5,3$ vuotta) muodostamaan suuren osan

myös laitoksien käytöstäpoistoaktiivisuuksista.

Gammaspektri sinänsä ei kerro juuri mitään eri nuklidien aktiivisuuksista mittaustilanteesta, ellei mittaukselle ole määritetty efektiivisyyskalibrointia. Efektiivisyys riippuu gammaenergiasta ja mittausteoriasta. Se ilmaistaan energiariippuvaisella käyrällä, joka kertoo gammapiikin nettopinta-alan ja kohteen pinta- tai tilavuusaktiivisuuden välisen suhteen.

Juuri laitteiston kalibroinnin osaaminen on keskeinen tekijä onnistuneessa mittaustoiminnassa. Laboratorioissa gammaspektroskopiaalaitteet yleensä kalibroidaan yksinkertaisella pistemäisen standardilähteen mittaauksella, mutta laitolosuhteissa tämä ei käy päinsä, sillä säteilylähde on yleensä raskaan prosessikomponentin kontaminoitunut sisäpinta tai materiaalitilavuus. Mikäli mittauksen geometria on suhteellisen yksinkertainen, kuten esimerkiksi pie-nehkön putken kontaminoitunut sisäpinta, voidaan laboratorioon rakentaa mittaustilanteen malli ja suorittaa sillä kokeellinen efektiivisyyskalibrointi. Tarvittavat standardipintalähteet valmistetaan itse käyttäen VTT:n Triga-tutkimusreaktorissa tuotettuja ^{60}Co - ja ^{152}Eu -isotooppeja.

Kokeellinen kalibrointi on työlästä ja aikaavieppää, eikä edes mahdollista vähänkin kookkaampien kohteiden mittaauksessa, joten käyttöön on otettu myös laskennalliset menetelmät. Mikäli geometria on sellainen, että se voidaan hallita matemaattisesti, voidaan eri materiaalikerrosten aiheuttama säteilyn vaimenemisen laskea integroimalla vaimenemiskertoimet yli koko säteilylähteen. VTT Kemiantekniikassa on tarkoitukseen kirjoitettu EFKALIB-ohjelmisto, jonka avulla MARC-laitteisto voidaan kalibroida nopeasti kaikkein tavallisimmille mittausteorioiden. Näin esimerkiksi materiaaliapaksuuksien muuttuminen voidaan ottaa helposti huomioon. Vaimenemisintegrointi on epäilemättä kaikkein edullisin tapa kalibroida laitteisto, mutta valitettavasti senkin kohdevalikoima on suhteellisen suppea, sillä laskenta vaikeutuu nopeasti vähänkin monimutkaisemmassa geometriassa.

Mikäli kokeellinen työ tai vaimenemisintegrointi eivät kerta kaikkiaan sovellu, täytyy ottaa kovat keinot käyttöön.

Tässä tapauksessa tämä tarkoittaa mittausteorioiden ohjelmoimista mahdollisimman yksityiskohtaisesti tehokaseen laskentatyöasemaan Monte Carlo -partikkelisimulointia varten. Järeän Monte Carlo -simuloinnin käyttö sinänsä yksinkertaiseen detektorin kalibrointiin on vähän kuin ampuisi karpästä tykillä, mutta se toimii. Geometrian ohjelmoiminen on työlästä ja laskenta-ajat pitkiä, mutta menetelmän avulla voidaan kalibroida myös hyvin vaikeita mittaustilanteita. Esimerkkinä vaativasta kalibrointitilanteesta voidaan mainita Olkiluodossa suoritettujen reaktoriveden puhdistuspiirien lämmönvaihtimien kontaminaatiomittaukset.

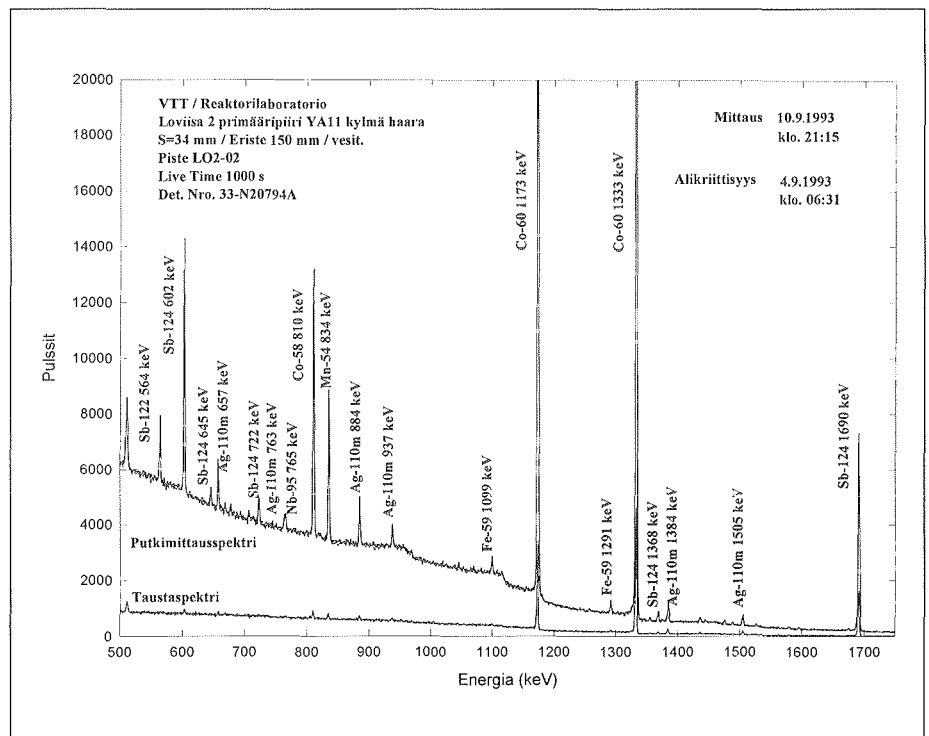
Loviisaa ja Olkiluotoa mitattu jo useita vuosia

Loviisan voimalaitoksella mittauksia on suoritettu vuodesta 1992 lähtien molemmilla laitosyksiköillä. Ensimmäiset mittaukset tehtiin primitiivisellä koelaitteistolla, joka toimi hyvin, mutta oli

fyysisesti niin kömpelö, ettei sitä saatu sopimaan kuin muutamaa kohteeseen ahtaassa höyrystintilassa. Kokeilu johti nykyisen laitteiston kehittämiseen; diplomityön tuloksena syntynyt MARC-laitteisto on ollut käytössä vuodesta 1993 lähtien.

Erityisen mielenkiinnon kohteeksi mittaustulokset tulivat vuonna 1994 Loviisa 2:lla suoritettujen primääripiirin dekontaminoinnin yhteydessä. Mittaukset suoritettiin silloin sekä ennen että jälkeen puhdistusoperaation. Tulokset osoittivat operaation olleen hyvin tehokas; itse asiassa jopa niin tehokas, ettei vähäisen säteilyn vuoksi eräissä kohdissa operaation jälkeen saatu normaalilla mittaussajalla riittävän tarkkoja mittaustuloksia lainkaan. Tällä hetkellä mittaustuloksissa suurin mielenkiinto kohdistuu piirin uudelleenkontaminoitumisen nopeuteen ja eri nuklidien pinta-aktiivisuuksien kehittämiseen.

Olkiluodon voimalaitoksella mittaukset kohdistuvat enimmäkseen reaktoriveden puhdistusjärjestelmään ja sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmään. Erityisen mielenkiinnon kohteena ovat läm-



Loviisa 2:n primäärikiertopiiristä YA11 mitattu gammaspektri ja vastaava taustaspektri. Selvästi voidaan todeta ^{60}Co :n hallitseva osuus kontaminaatioaktiivisuudesta. Mittauksen kvantitatiivinen informaatio sisältyy gammapiikkien pinta-aloihin sen jälkeen, kun spektrit on vähennetty toisistaan.

mönvaihtimet, joihin kerääntyy aktiivisuutta ja joiden huoltotyöt siksi ovat säteilysuojellisesti varsin vaativia. Varsinaista höyryprosessia mitataan vain yhdestä pisteestä. Laitoksilla on lisäksi mitattu sinne asennettuja sähkökiillotetuja putkiosia pintakäsittelyn kontaminoitumista vähentävän vaikutuksen arvioimiseksi.

Tutkimusmatkalla tuntumaa laitosympäristöön

Vaikka itse mittaustyö on pitkälle rutinoitua ja tuotteistettua, soveltuu VTT Kemiantekniikan kaltainen tutkimuslaitos hyvin sen suorittajaksi. Laitteisto on kallis ja sen verran erikoinen, ettei voimalaitoksien kannata hankkia omia laitteita. Vuosihuollot ovat laitoksella kiireistä aikaa, joten laitoksen omalla väellä tuskin riittäisi edes aikaa mittaus-ten suorittamiseen. Lisäksi mittauspälvälu rutinoitunakin vaatii tuekseen kokeellisen ydintekniikan tutkimusinfrastruktuurin, sillä laitteiston kalibrointiin tarvitaan sekä mahdollisuus tuottaa ja käsitellä radioaktiivisia aineita että mahdollisuus simuloida mittausta Monte Carlo -laskennalla.

Osallistuminen voimalaitosmittauksiin on laajentanut VTT Kemiantekniikan osaamista laitetekniikassa ja erityisesti detektorien kalibroinnissa. Tätä osaamista on pystytty soveltamaan myös muissa ydinteknisissä tutkimusprojekteissa.

Voimalaitoksille suuntautuvat jokavuotiset mittaamatkat tarjoavat tutkijoille tilaisuuden saada tuntumaa laitosympäristöön ja pitää yhteyttä laitoksella toimiviin kollegoihin. Vastaavasti voimalaitoksen laboratoriohenkilöstö saa tilaisuuden kuulla, mitä tutkimuslaitoksessa oikein puuhataan. Tämänkaltaista yhteydenpitoa tuskin on koskaan liikaa, sillä tosielämästä vieraantunut tutkimuslaitos ei pysty täyttämään perustehtävänsä teollisuuden palvelijana.

DI Vesa Tanner toimii tutkijana VTT Kemiantekniikan prosessifysiikan ryhmässä, p. (90) 456 6354; E-mail: Vesa.Tanner@vt.fi

Mikko Ilvonen

KEHITTYNEITÄ LASKENTAMALLEJA SÄTEILYANNOSTEN ARVIOINTIIN

Tshernobylin onnettomuus vuonna 1986 osoitti, että vakavan reaktioonnettomuuden haitat voivat ulottua tuhansien kilometrien päähän ja että väestön kunnollinen suojeleminen lähialueilla vaatisi nopeita toimenpiteitä. Annoslaskentamalleilla tuotetaan sekä etukäteistietoa että tositilanteessa mahdollisimman hyviä ennusteita odotettavista haitoista.

Oleskelu alueella, jonka sisältää tai on sisältänyt radioaktiivisia epäpuhtauksia, tai siellä tuotettujen elintarvikkeiden nauttaminen voi pahimmassa tapauksessa johtaa terveydelle haitallisiin säteilyannoksiin. Tässä kuvatuilla annoslaskentamalleilla pyritään mahdollisimman realistisesti arvioimaan, kuinka suuria nämä annokset voivat olla. Epäpuhtauksien mahdollisena lähteenä tarkastellaan lähinnä ydinvoimalaitoksia.

Annosten luotettava arvioiminen kokeusperäisen tiedon pohjalta ei ole mahdollista, koska merkittäviin päästöihin johtaneita onnettomuuksia on hyvin vähän ja toisaalta erilaisia lähdetermin, leviämisosolosuhteiden ja muiden tekijöiden yhdistelmiä hyvin laaja kirjo. Tie lähdeterministä säteilyannokseen sisältää lisäksi monia epälineaarisia ilmiöitä. Siksi ainoa mahdollisuus annosten ja samalla niiden seurauksivaikutusten laskentaan on todellisuutta riittävän hyvin jäljittelevä laskentamalli.

Mallin suorittamaa laskentaa voidaan hyödyntää periaatteessa kahdella eritavalla: voidaan suorittaa ns. todennäköisyyspohjaisia analyysejä tai antaa valmiustoimintaa tukevia ennusteita yksittäisessä onnettomuustilanteessa. Todennäköisyyspohjainen analyysi on palvelut esimerkiksi ydinvoimalaitosten sijoituspaikkatutkimuksen pohjana. Onnettomuustilanteessa laskentamalli voi auttaa juuri oikein mitoitettujen ja kohdistettujen vastatoimenpiteiden

aloittamisessa jopa ennen kuin altistus on edes ehtinyt alkaa.

Annoslaskentamalleja kehitetty jo pitkään

Monien muiden mutkikkaiden mallien tavoin annoslaskentamallit ovat vain kalpea aavistus todellisuudesta, koska muistin ja CPU-ajan kulutuksen pitämiseksi aisoissa on jouduttu tekemään monenlaisia approksimaatioita. Tyypillisesti jokin jatkuvaluontoisesti muuttuva skalaari tai vektori on korvattu diskreetillä joukolla edustavia tapauksia. Ajallinen ja paikallinen erotuskyky on jouduttu pitämään alhaisena. Kasvaneet resurssit mahdollistaisivat tarkemman mallintamisen, mutta monissa tapauksissa vanhojen ohjelmien rakenne vaikeuttaa skaalaamista.

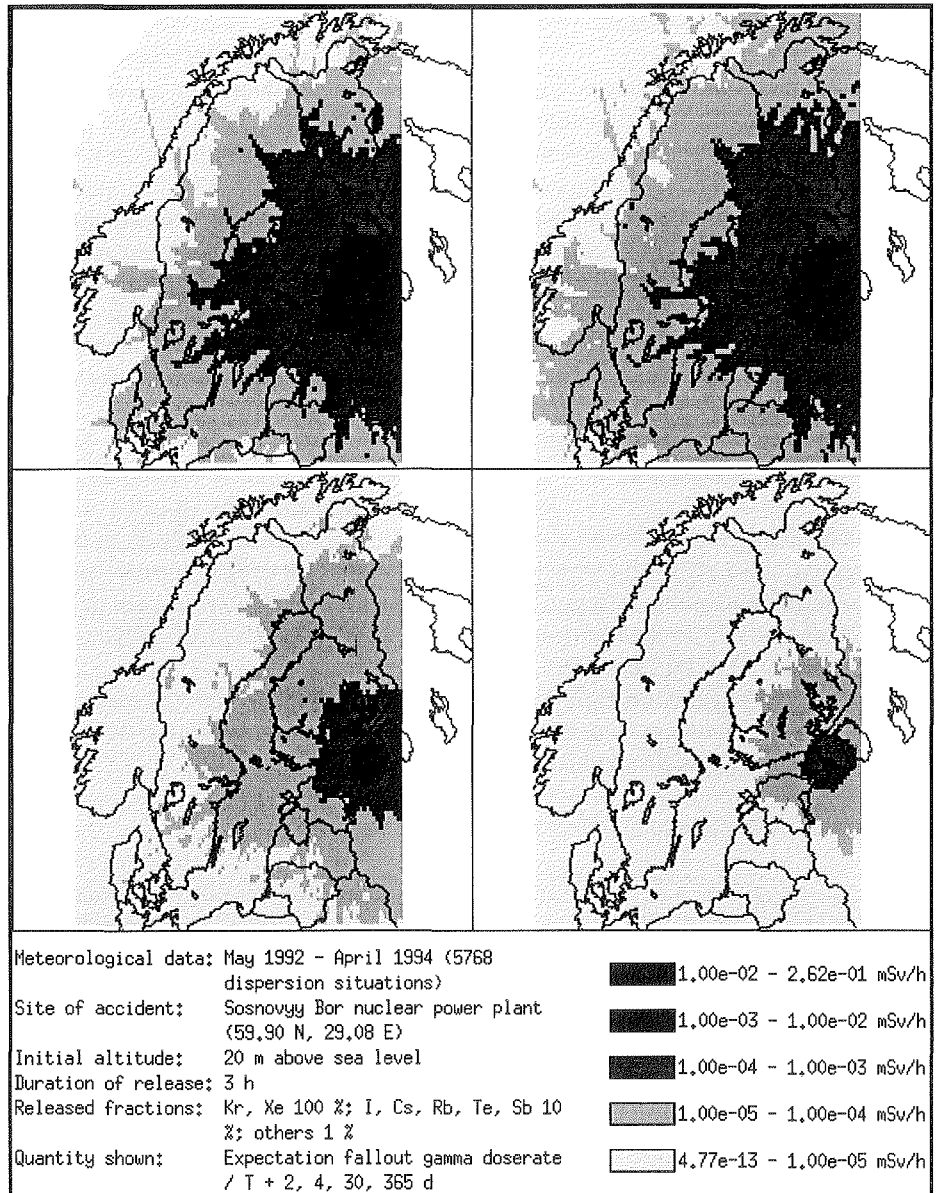
Artikkelissa esiteltävään leviämisen ja annoslaskentamallien tutkimukseen on saatu rahoitusta osaksi Edmund Wilhelm Guerillot'n rahastosta. Pää tavoitteena on saattaa suomalainen leviämisen ja annoslaskenta vastaamaan viimeisintä tekniikkaa ja viimeisintä tietämystä mallinnettavista ilmiöistä. Lisäksi pyritään tekemään laskentamallit helpokäyttöisiksi myös muille kuin niitä kehittäville asiantuntijoille liittämällä niihin älykäitä graafisia käyttöliittymiä. Tavoitteiden saavuttamiseksi parannetaan vanhoja malleja ja tehdään täysin uuden mallin kehitystyötä.



Ilmaleviämisen ja annoslaskennan perusteista

Annosten laskemiseksi on tunnettava radioaktiivisten nuklidien konsentraatiot ilmassa ajan ja paikan funktiona. Ne ovat seurausta lähdetermistä, meteorologisista tekijöistä ja muista prosesseista, kuten radioaktiivisesta hajoamisesta. Tarkasteltaessa onnettomuuspäästöä on kesto aika yleensä siinä määrin rajallinen, että voidaan puhua saaste pilvestä, joka lähtee kulkeutumaan tuulen mukana leviten samalla myös turbulenssin vaikutuksesta. Hyvin lähellä lähdettä voi laskenta perustua vain lähtöpisteessä vallitsevaan tuulen suuntaan, kun taas kaukokulkeutumisessa (aina tuhansiin kilometreihin asti) on tunnettava laajan alueen tuulikentät mahdollisimman tarkasti — pilven kulkureitti voi olla kaikkea muuta kuin suoraviivainen. Ilmakehän kaottisesta luonteesta johtuen pieni lähtötietojen muutos voi muuttaa lopputulosta voimakkaasti.

Pääasiassa pilveä levittää ilmakehän pyörteilyä johtuva turbulenti diffuusio. Tämän leviämisen laskemiseksi on pystysuunnassa käytetty ns. K-teoriaa, jossa pitoisuutta muuttavat turbulentiiset vuot oletetaan verrannolliseksi pitoisuuden gradientteihin (kuten molekulaarisessa diffuusiassa). Laskeumasta ja ilmakehän kerrostuneisuudesta johtuen pitoisuus monesti muuttuu pystysuunnassa paljon jyrkemmin kuin vaakatasossa. Malleissa on käytetty ns. ilmakehän stabiiliusluokkia, joihin



TRADOSilla tulostettu laskeumasta aiheutuvan gamma-annosnopeuden odotusarvo Pohjoismaissa ja Baltian maissa Sosnovyi Borissa tapahtuneen vakavan onnettomuuden jälkeen. Kuvat muodostavat aikasarjan 2, 4, 30 ja 365 vuorokautta päästön alkamisen jälkeen. Neljän vuorokauden jälkeen (oikealla ylhäällä) annosnopeudet pienenevät kaikkialla, koska se on rajana tarkastelujakson kestolle.

kuhunkin liittyy sille ominainen turbulenssin voimakkuus ja sekoittuneen kerroksen korkeus. Leviäminen vaakatasossa on ratkaistu yksinkertaisemmin. Esimerkiksi Lagrange-tyyppisessä mallissa, jossa pilvi noudattaa tiettyä kulkurataa, voidaan olettaa pitoisuuden huipun sivusuunnassa olevan kulkuradalla ja pitoisuuden laskevan sivulle liikuttaessa normaalijakauman mukaisesti.

Pilven kulkeutumisen aikana siihen vaikuttavat erilaiset lähte- ja nielu prosessit, tässä tapauksessa lähinnä laskeutuminen ja radioaktiivinen hajoaminen. Kaikki hiukkasmuodossa esiintyvät aineet laskeutuvat vähitellen maahan painovoiman ja silloin tällöin esiintyvän sateen vaikutuksesta. Pilvi puhdistuu, mutta laskeuman nuklidit jäävät aiheuttamaan ulkoista altistusta ja siirtyvät mahdollisesti myös elintarvikkeisiin.

Hajoaminen on laskettava kytketysti muiden prosessien kanssa, koska esimerkiksi eri nuklidien laskeutumisoimaisuudet poikkeavat toisistaan.

Annoksia laskettaessa jaetaan altistusreitit kahteen pääryhmään: ulkoisiin ja sisäisiin. Ulkoista annosta tulee suoraan pilvestä ja sen jälkeensä jättämästä laskeumasta. Sisäistä annosta puolestaan aiheutuu hengitetyistä ja nautituista nuklideista. Ulkoiset annokset lasketaan malleissa periaatteessa integroimalla paikan ja ajan suhteen, kun taas sisäisiin sovelletaan ennalta laskettuja kertoimia, jotka ilmoittavat kuinka suuri annos aiheutuu tietyn nuklidin yksikkönautinnasta tietyn ajan kuluessa.

Kaikkein monivaiheisin tie on niillä nuklideilla, jotka päätyvät ihmiseen elintarvikkeiden kautta. Tällaisen ketjun mallinnukseen tarjoo mahdollisuuden esimerkiksi VTT:n DETRA-malli, jota toistaiseksi on käytetty erillään leviämismalleista. Haluttaessa laskea säteilyannosten terveydellisiä vaikutuksia on kaiken lisäksi erotettava toisistaan ihmisen eri elinten saamat annokset.

Hyvin palvelleet mallit ARANO ja TRADOS

Lähialuemalli ARANO otettiin alkupe- räisessä muodossaan käyttöön jo vuonna 1975. Osittain siihen perustuvat kauko- kulkeutumismalli TRADOS ja voimayhtiöiden käyttöön kehitetty ROSA. Viimeisimmät parannukset ARANOon tehtiin viime vuonna. Alunperin pilvi saattoi siinä liikkua vain suoraviivaisesti, lähtöhetken ja lähtöpisteen tuulivektorin määräämällä. Uudessa versiossa, josta käytetään nimeä ARANO-2, pilvi noudattaa kaikkia päästölähteen säämas- ton havaitsemia parametrien muutoksia. Tässä on hyödynnetty TRADOSin käyttämiä muuttuvan sään algoritmeja. Mahdollisten muidenkin havaintopisteiden data on helposti otettavissa käyt- töön.

TRADOS on kehitetty VTT:n ja Ilmatie- teen laitoksen (IL) yhteistyönä. IL vastaa ohjelman kulkeutumisosasta, joka perustuu hiukkasten tai ilmapakettien kolmiulotteisten kulkureittien eli trajek- torien laskentaan. Siinä käytetään lähtö- tietona sääennustusmalli HIRLAMin

Säteilyn terveydellisten vaikutusten arviointi

Säteilyn vaikutukset elävässä solussa seuraavat lähinnä sen aiheuttamasta ionisaatiosta. Syntyvät vapaat radi- kaalit reagoivat kiivaasti ja voivat näin vaurioittaa DNA:ta (mutaatio). Kohteena olevasta solusta, vaurion laadusta ja korjausmekanismien toiminnasta riippuen haitta voi moni- soluisessa olennossa ilmetä välittö- mänä (solukuolemasta johtuva sätei- lysairaus), myöhäisvaikutuksena (syöpä) tai perinnöllisenä.

Mutaatiot sinänsä ovat täysin normaali ilmiö, sillä niitä aiheuttavat koko ajan luonnon taustasäteily ja erilaiset kemialliset tekijät, ja periytyessään ne ovat aikojen kuluessa mahdollista- neet evoluution ja lajien synnyn.

Erityyppisiä terveysvaikutuksia mallinnetaan tavallisesti ns. annos-

vasteilla, jotka ilmaisevat vaikutuk- sen todennäköisyyden funktiona säteilyannoksesta. TRADOSin ja ARANO-2:n yhteydessä toimiva terveysvaikutusten laskentajärjestel- mä sisältää yli 40 erilaista annosvas- tetta. Sitä toteutettaessa lisättiin samalla laskettavien annosteiden lukumäärä yli sataan (eri elimiä ja eri pituisia sisäisten annosten integrointi- aikoja).

Annostulosten lisäksi voidaan nyt myös terveysvaikutusten todennäköi- syyksiä (odotusarvo, ala- ja yläraja) esittää havainnollisessa muodossa karttapohjalla. Vastefunktioiden käyttö sinänsä ei rajoitu näihin mal- leihin, vaan ne voidaan ottaa kirjasto- aliohjelman tapaan käyttöön minkä tahansa annoslaskentaohjelman yhteydessä.

tuloksia ja trajektorilla olevia pisteitä varustetaan tietyin välein meteorologis- in parametrein. TRADOS on leviämismal- lina Lagrange-tyyppinen, sillä pilven leviäminen lasketaan suhteessa trajekto- riin. TRADOSiin liittyy X-ympäristössä toimiva Motif-pohjainen graafinen käyttöliittymä, jolla voidaan mm. nope- asti havainnollistaa konsentraatioita, laskeumia, annosnopeuksia ja annoksia karttapohjalla.

TRADOSin viimeaikaisia sovelluksia

Viime vuosien huomattavimmat TRA- DOS-ajot liittyvät Pietarin lähetyvillä sijaitsevan RBMK-tyyppisen Sosnovyi Borin ydinvoimalaitoksen Suomelle, muille Pohjoismaille ja Baltian maille aiheuttamaan säteilyriskiin. Laskuissa oletettiin vakava onnettomuus, joka johtaisi mm. jalokaasujen täydelliseen ja jodin, kesiumin, rubidiumin, telluurin ja antimoinin 10-prosenttiseen vapautumi- seen reaktorista ilmakehään. Laskut suoritettiin noin 6000 todelliselle meteo- rologiselle tilanteelle ja tuloksena saa- tiin pitoisuuksien, laskeumien ja eri

annosteiden annosnopeuksien ja annos- ten odotusarvoja paikan funktiona (karttapohjalla) sekä myös saatujen arvojen jakaumia paikkakohtaisesti tai väestöannoksen osalta. Päättös tutkimus- tusta on se, että vakavakaan onnet- tomuus Sosnovyi Borissa ei aiheuttaisi Suomessa niin suuria annoksia, että välittömiä terveydellisiä haittoja (sätei- lysairaus ym.) voisi ilmetä.

Toisentyyppiset TRADOS-sovellukset liittyvät kansainväliseen merkkiaineke- okeeseen ja pohjoismaisiin valmiusharjoit-uksiin. Loppuvuodesta 1994 suoritettiin ETEX-projektin (European Tracer Experiment) merkkiainepäästöt Renne- sistä Ranskasta. Laskentaan osallistui 28 leviämismallia eri maista. Merkkiaineen leviämistä myöskin mitattiin useissa maissa. Suomen TRADOSilla saavutta- mat tulokset olivat hyvin vertailukelpoi- sia muiden samaan säämalliin (HIR- LAM) perustuvien tulosten kanssa. Tällä hetkellä ollaan ETEX-projektin vaihees- sa 2, jossa vertaillaan kaikkien eri leviä- mismallien suorituskykyä silloin, kun säädata on sama.

Pohjoismaisista valmiusharjoituksista viimeisin oli maaliskuussa järjestetty annoslaskentaharjoitus, jota Suomen osalta koordinoi Säteilyturvakeskus. Kaukokulkeutumisen ja siihen liittyvät säteilyannokset laskivat IL ja VTT TRADOSilla. Graafisessa muodossa olevat ennusteet säteilyannoksista (karttapohjalla) saatiin kolmessa tunnissa ensimmäisen tiedon saapumisesta. Tästä ajasta suurin osa kului erilaiseen lähtötietojen valmisteluun ja syöttämiseen.

Suomalainen ilmaleviämisen- ja annoslaskentamalli SILJA

Viime vuosina alettiin yhä voimakkaammin tiedostaa kasvaneiden laskentatehujen tuoma käyttämätön potentiaali myös leviämisen- ja annoslaskennassa. Esimerkiksi TRADOSin laskenta-ajat yhdelle leviämistilanteelle ovat tyypillisesti muutaman sekunnin luokkaa. Useimmiten tämä onkin toivottavaa, mutta jos haluttaisiin tutkimusmielessä tai vaikkapa todellisessa onnettomuustilanteessa tarkentaa mallinnusta mahdollisimman oikean ennusteen saamiseksi, törmätään ohjelmointiratkaisuihin, jotka eivät salli laajennuksia.

Toisaalta Suomessakin on käytössä monia leviämismalleja, jotka kaikki käyttävät jonkinlaista meteorologista dataa ja laskevat samantyyppisiä asioita, mutta ovat kuitenkin "räätälöityjä" eri käyttötarkoituksiin. Halu kohottaa leviämisen- ja annoslaskentamallin yhtäpitävyys todellisuuden kanssa ennennäkemättömälle tasolle ja lisäksi päästä eroon samojen asioiden toteuttamisesta uudelleen ja uudelleen johti päätökseen kokonaan uuden ohjelman, SILJAn, kehittamisestä.

VTT tekee SILJAA yhdessä Ilmatieteen laitoksen kanssa päävastuualueenaan radioaktiivisen hajoamisen mallinnus yhdessä muiden lähde- ja nielutyypisten prosessien kanssa sekä siihen liittyvä säteilyannosten laskenta. SILJA on toteutettu Fortran-90:llä tiukasti olio-ohjelmoinnin periaatteita noudattaen. SILJA ei varsinaisesti ole jälleen uusi leviämisen- ja annoslaskentamalli, vaan sen voi ennemmin nähdä ympäristönä, "kehiksenä", jonka sisällä mallin voi toteuttaa, ja siihen liittyvänä jättä läismäisenä ohjelmakirjastona, "työkalu-

pakkina", joka koostuu olioluokista ja niiden jäsenfunktioista.

Ensimmäinen SILJA-pohjainen leviämismalli, toiminnassa odotettavasti lähiaikoina, on Monte Carlo -tyyppinen partikkelimalli, jossa hyvin suuri joukko epäpuhtaushiukkasia yhdessä muodostaa pilven. Kaikessa pyritään modulaarisuuteen, jotta yksittäinen osamalli olisi myöhemmin helposti vaihdettavissa; tässä joudutaan kuitenkin luonnollisesti ottamaan huomioon eri ilmiöiden kytkäytyminen toisiinsa.

SILJAssa kaikki voidaan laskea tarkemmin kuin ARANossa tai TRADOSissa. Sitä on tarkoitus itsenäisen moodin ohella ajaa HIRLAM-säämallin aliohjelman, jolloin käytettävissä olevan meteorologisen datan määrä maksimoi-tuu, kun sitä ei jouduta välillä tallettamaan tiedostoon. Myös annoslaskenta astuu uuteen aikakauteen. Esimerkiksi pilvestä tulevan suoran gammasäteilyn aiheuttama annos on tähänastisissa malleissa kuvattu tiettyihin pitoisuuden pystyprofiileihin liittyvien ennalta laskettujen annosten avulla.

Kun tiedetään, että pitoisuus ei horisontaalisuunnassa yleensä juurikaan vaihtele fotonien kantamalla (paitsi hyvin lähellä lähdeä), voidaan uudessa järjestelmässä mielivaltaisen pystyprofiilin aiheuttama annos aina lausua kombinaationa päällekkäisissä kerroksissa olevien eri nuklidien yksikköpitoisuuksien aiheuttamista annoksista. Tämä vie vain murto-osan täydellisen kolmiulotteisen integroinnin vaatimasta laskenta-ajasta; lisäksi ajan ja tarkkuuden välistä kompromissia voidaan helposti säädellä muuttamalla kerrosten määrää ja jakamalla nuklideja energiaryhmiin.

Tulevaisuuden suunnitelmia

Koska SILJAn on tarkoitus lopulta täysin korvata vanhemmat leviämisen- ja annoslaskentamallit, liittyvät monet tämän alan tulevat kehityskohteet ilman muuta siihen. VTT:n osalta kiinnostavimmat aluevaltauksset, sen jälkeen kun perusjärjestelmä toimii, perustuvat uusimman tietokone- ja informaatiotekniikan sekä radiologisten mittausten

hyväksikäyttöön. Mittausverkko Suomessa on tiheä ja tulosten välitys tietoverkkojen kautta periaatteessa helppoa. Mittaustietojen sulauttamista leviämismalliin on tutkittu teoreettisella tasolla, mutta mitään käytännön sovelluksia ei ole tehty. Niiden avulla voidaan joko korjata leviämismallin epävarmoja lähtötietoja tai jopa suoraan mallipilveä jossain laskennan välivaiheessa.

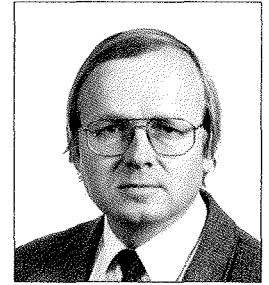
Tietokonetekniikassa tärkein muutos on massiivisesti rinnakkaisten laskentajärjestelmien käyttöönotto (esim. CSC:n 192-prosessorinen Cray T3E). Näyttää siltä, että laskentatehoa tullaan saamaan halvemmalla yhdistämällä olemassaolevia prosessoreita kuin kehittämällä entistä nopeampia uusia. SILJasta pyritään tekemään mielivaltaiselle prosessorimäärälle jakautuva. Mitään rinnakkaistamista ei toistaiseksi ole tehty, mutta otollisimmat kohteet siihen on paikallistettu; varsinkin annoslaskennassa mahdollisuuksia on paljon.

Informaatiotekniikassa tapahtuu myös paljon menetelmäkehitystä, joka tähtää erilaisten "älykkäiden" prosessien automatisointiin. Esimerkkejä ovat hyvin moniulotteisessa parametriavaruudessa tapahtuva optimointi, sekä ns. oppiminen, joka useimmiten on eräänlaista esimerkkitapauksiin pohjautuvaa interpolointia myöskin hyvin moniulotteisessa ongelmassa. Erityisesti graafiseen käyttöliittymään upotettuina monet uudet menetelmät voisivat tehdä massiivisestakin laskentaohjelmasta hyvin käyttäjäystävällisen, parantaa ihmisen ja koneen vuorovaikutusta "tasoittamalla" ohjelman rajapintaa käyttäjän osaamistason mukaisesti.

Optimointia tarvittaisiin erityisesti päätettäessä säteilysuojellisuista vastatoimenpiteistä mahdollisuuksia rajoittavien reunaehtojen vallitessa. Tavallisesti kysymyksenasettelut ovat kuitenkin niin mutkikkaita, että minkään automatisoidun menetelmän ei voida odottaakaan antavan tyhjentävää vastausta.

DI Mikko Ilvonen työskentelee tutkijana VTT Energian ydinenergian tutkimusalueella, p. (90) 456 5054; E-mail: Mikko.Ilvonen@vtt.fi

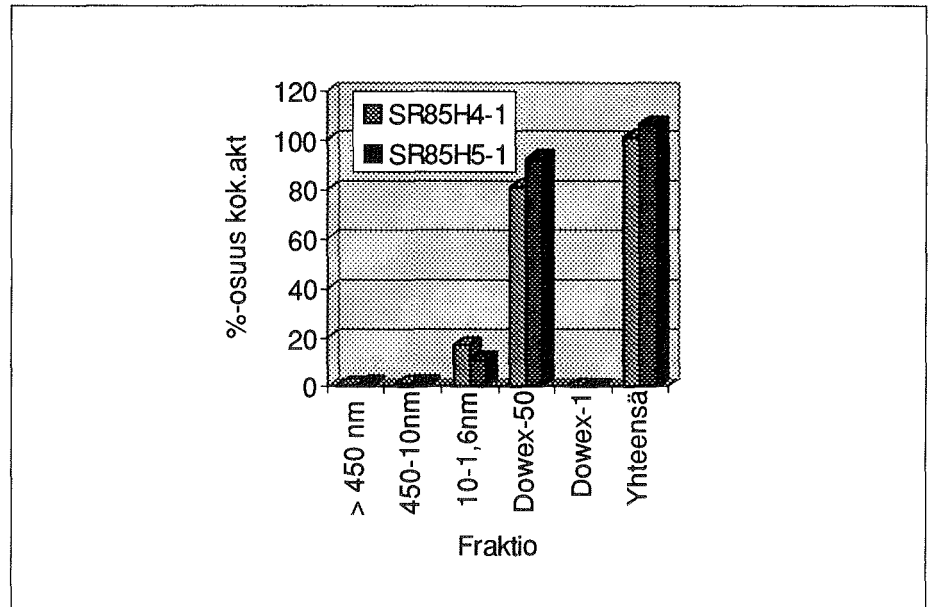
STRONTIUM JA PLUTONIUM VESIEKOSYSTEEMEISSÄ



Vuonna 1995 VTT Kemianteekniikka ja Helsingin yliopiston Radiokemian laboratorio aloittivat yhteistyönä uuden RADSPES-tutkimusprojektin, jonka tarkoituksena on selvittää strontium 90:n ja plutonium 239:n fysikokemialliset olomuodot erilaisissa luonnonvesissä. Nelivuotiseksi suunnitellussa hankkeessa kehitetään menetelmät radionuklidien fysikokemiallisten olomuotojen kokeelliseksi määrittämiseksi sekä mitataan strontium 90:n ja plutonium 239:n fysikokemialliset olomuodot sekä simuloituissa laboratorio-olosuhteissa että luonnonvesissä.

Radionuklidien kulkeutumista ja niistä aiheutuvia annoksia ennustetaan yleensä mallien avulla. Nämä mallit perustuvat sellaisiin makroskooppisiin suureisiin, kuten diffuusio- ja jakamakertoimiin, jotka perustuvat radionuklidien keskimääräiseen käyttäytymiseen. Koska tällainen mallintaminen ei perustu termodynaamiseen ymmärtämiseen vaan makroskooppisiin havaintoihin ovat tulokset suhteellisen luotettavia normaaleissa olosuhteissa. Ne eivät kuitenkaan pysty huomioimaan paikallisten, poikkeavien sää- tai kemiallisten olosuhteiden vaihteluita, ja niistä mahdollisesti aiheutuvaa poikkeavaa radionuklidien käyttäytymistä. Tällaisia paikallisia olosuhteita voivat olla mm. ylimääräinen happamoituminen, kompleksinmuodostajien läsnäolo, redoxpotentiaal- tai muun kemiallisen ympäristön muuttuminen.

Radionuklidien käyttäytyminen erilaisissa päästötilanteissa, kulkeutuminen ympäristössä sekä biologinen käyttäytyminen määräytyy siitä kemiallisesta yhdisteestä (spesies), missä kukin nukli-



di on erilaisissa olosuhteissa. Tähän saakka on useimmiten määritetty vain radionuklidien kokonaismäärät erilaisissa näytteissä. Spesiaation tarve on kuitenkin tiedeyhteisössä tiedostettu. Tästä on osoituksena se, että alan tutkimusta julkaistaan. Rahoittajat ja turvallisuusanalytiikot eivät kuitenkaan ole tarvetta tiedostaneet ja siksi spesiaatio-tutkimusta ei tehdä riittävässä määrin.

Kuitenkin radionuklidien haihtuvuus, liukoisuus, adsorptio, kulkeutuminen biologisissa järjestelmissä jne. määräytyy niiden kemiallisista ominaisuuksista. Kemialliset ominaisuudet taas riippuvat täysin alkuaineiden fysikokemiallisesta olomuodosta. Mikä on alkuaineen hapeatusaste, epäorgaanisen yhdisteen laatu, onko se sitoutunut epäorgaaniseen tai orgaaniseen kompleksinmuodostajaan, onko se sitoutunut orgaanisiin yhdisteihin hiilidoksella jne. Fysikokemiallisen esiintymismuodon määrittäminen kutsutaan spesiaatioksi. Riippuen radionuklidien syntyhistoriasta, niiden jokahetkisestä kemiallisesta ympäristöstä ja fysikaalisista olosuhteista, kemiallinen

Humuksen vaikutus strontiumin käyttäytymiseen. Kuvassa on esitetty prosentteina strontiumaktiivisuuden jakautuminen eri fraktioihin.

olomuoto, ja siten radionuklidien käyttäytyminen muuttuu.

RADSPESista tulossa väitös

Projektin tarve on jo tiedostettu kauan, mutta sille ei onnistuttu saamaan rahoitusta. Guerillot-säätiön apurahan antamat mahdollisuudet tiedostettiin välittömästi. Ajatuksena oli rahoittaa stipendillä nuorta tutkijaa, siten että elinkustannukset peittyisivät. Työn ohjauksen, laitteet ja muut kustannukset peittävät VTT Kemianteekniikka ja Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio. Ohjaajina toimivat allekirjoittanut ja professori Timo Jaakkola. Guerillot-säätiöltä saatiinkin rahoitus vuodelle 1995 puoleksi vuodeksi ja koko vuodeksi 1996. Työhön palkattiin fil.yo Tommi Kekki. Hän on jo tehnyt projektissa

radiokemian erikoistyön ja pro gradu -työn ja jatkaa nyt väitöskirjatyöllä.

Projekti tarvitsee tuekseen osaamista ja laitteita. Yhteisesti osallistuvilla laitoksilla on aiheesta maassamme ainutlaatuisen osaaminen ja laitekanta. Laitteista voidaan erityisesti mainita radiokemian laitoksen kaksi Quantulus 1220 -nestetuikelaskuria ja VTT:n induktiivisesti kytketty plasma massaspektrometri (ICP-MS). Näillä laitteilla ja alfa- ja gammaspektrometreillä voidaan määrittää kaikki radionuklidit ja inaktiiviset isotoopit ja alkuaineet erinomaisella herkkyydellä.

Projektissa on tarkoitus kehittää yleispeiteviä spesiaatiomenetelmiä, joilla voitaisiin määrittää radionuklidien kemiallisia olomuotoja yleensä. Useimpia kirjallisuudessa esiintyviä menetelmiä ei tässä voi käyttää, koska luonnonvesissä radionuklidien pitoisuudet ovat yleensä niin pieniä että tarvitaan suuria näytemääriä; näytemäärät vaihtelevat 1 litraa sataan litraan. Useimmat ympäristönäytteille kehitetyt spesiaatiomenetelmät perustuvat nestekromatografiaan (HPLC), jossa näytemäärät ovat muutamia kymmeniä mikrolitroja. Siksi tässä työssä on kehitettävä uusia, suurille näytteille sopivia menetelmiä.

Seuraavaksi piti valita sopivat radionuklidit joihin menetelmiä sovelletaan. ^{90}Sr :n käyttäytyminen vesiekosysteemeissä on heikosti ymmärretty. Se pysyy biologisessa kierrossa pitkän aikaa, ja vain pieni osa menee sedimenttiin. Se ei myöskään poistu normaaleissa vedenpuhdistuslaitoksissa. ^{239}Pu on toinen kriittinen nukliidi, osaksi säteilyvaarallisuutensa ja osaksi puhtaasti poliittisista syistä. Lähialueillamme merissä ja satamissa lojuu lukuisia ydinsukellusvenettä, joista plutoniumia saattaa päästä veteen. Lisäksi merissä on suuri joukko ydinpommeja, joista saattaa tulla päästöjä tulevaisuudessa.

^{90}Sr ja ^{239}Pu ovat siis erityisen ongelmallisia nuklideja ja siksi tutkimus aloitettiin niistä. Tavoitteena on saavuttaa entistä syvällisempi ymmärtäminen ^{90}Sr :n ja ^{239}Pu :n ekologisesta käyttäytymisestä, ja siten sen leviämisteistä poikkeavissa kemiallisissa olosuhteissa. Työssä on tarkoitus selvittää näiden nuklidien kemialliset olomuodot erilai-

sisia kulkeutumiseen oleellisesti vaikuttavissa ympäristöissä.

Radionuklidien päästöt reaktorionnettomuuksissa tapahtuvat yleensä ilman kautta. Siten kriittinen polku on ilma-sadevesi-pintavesi-kasvit-eläimet-ihminen. Miten tapahtuu liukeneminen sade- ja pintaveisiin sekä biologisiin nesteisiin erilaisissa kemiallisissa olosuhteissa. Minkälaisia kemiallisia yhdisteitä muodostuu.

Työssä on toistaiseksi tehty kaksi kirjallisuustutkimusta. Ensimmäisen aiheena on ^{90}Sr :n spesiaatio ja käyttäytyminen ympäristössä. Toinen käsittelee ^{239}Pu :n esiintymistä luonnonvesissä ja spesiaatioissa käytettyjä menetelmiä.

Spesiaatiomenetelmät

Ensimmäiseksi kehitettiin konsepti, jolla vedessä olevat radionuklidit voitaisiin jakaa niiden kemiallisia olomuotoja vastaaviin faaseihin.

Menetelmä toimii surimmalta osin hyvin. Ainut ongelma on viimeinen suodatusvaihe, joka ei toimi oikein hyvin, vaan siinä tapahtuu, ilmeisesti suodattimen varautumisesta johtuen, rikastumista jäännösluokseen. Muutamat kokeet on tehty 1,6 nm suodattimella. Tulokset ovat silloin jonkin verran paremmat, mutta eivät vielä täysin tyydyttäviä. Tätä erotusvaihetta kehitetään vielä.

Luonnollisia faaseja

- 1 Yli 0,45 μm :n partikkelit
- 2 Molekyylipainoltaan yli 200 kDaltonin kolloidit joita ovat mm. humushapot ja jotkut metallihydroksidit
- 3 Molekyylipainoltaan välillä 500 Dalton-200 kDalton kolloidit, joita ovat mm. fulvohapot, muut orgaaniset yhdisteet ja polysilikaatit
- 4 Epäorgaaniset kationit
- 5 Epäorgaaniset anionit

Tämän ryhmäerotuksen jälkeen voidaan vielä määrittää ionien hapetusasteet käyttäen ioninvaihtokromatografiaa erilaisilla ioninvaihtomassoilla ja happoliuoksilla. Tämä on erityisen tärkeää aktinidien spesiaatioissa.

Tutkittu strontiumia keinotekoisissa pintavesissä

Kuvattua spesiaatiomenetelmää on sovellettu strontiumiin. Tämä tehtiin laboratoriosimulaatiolla joilla yritettiin hallitusti matkia luonnonvesiä. Valmistettiin keinotekoisesti vesiä, joihin lisättiin ^{85}Sr -merkkiainetta ja tehtiin kaavion mukaiset erotukset. Työssä käytettiin strontiumia, koska se voidaan mitata gammaspektrometrisesti. Tutkittiin keinotekoisista pintavettä, jossa vain liuenneita suoloja, keinotekoisista pintavettä, johon lisättiin humusaineita ja keinotekoisista pintavettä, johon lisättiin bentoniittia simuloimaan savea. Jokaisessa kokeessa lisättiin osakomponentit ja annettiin veden seistä, jotta taattaisiin tasapainon syntyminen.

Ensimmäiset kokeet tehtiin tislattulla vedellä ja kantajattomalla merkkiaineella. Tällöin kaikki strontium tarttui analyysilaitteiston lasipinnoille. Se oli selvä osoitus radiokemistien jo kauan tuntemasta kemiallisten yhdisteiden ominaisuudesta, että kantajaton radionukliidi, kuten ultrahivenaineetkin, usein eivät käyttäydy kemiallisesti samalla tavalla kuin makromäärät vastaavia

Faasien erotus

- 1 Näyte suodatetaan 450 nm membraanifiltterillä
- 2 Suodos suodatetaan edelleen 10 nm membraanifiltterillä
- 3 Suodos suodatetaan 1,1 nm membraanifiltterillä
- 4 Suodos ajetaan kationinvaihtajan läpi
- 5 Kationinvaihtajasta läpi mennyt näyte ajetaan anioninvaihtajan läpi

yhdisteitä. Seuraavissa kokeissa lisättiin Sr-kantajaa määrää, joka vastaa stabiilin strontiumin normaalia pitoisuutta luonnonvesissä.

Kokeissa ilmeni, että pintavedessä, jossa ei ole humusta eikä savea, käytännöllisesti katsoen kaikki strontium esiintyy plus kahdenarvoisena liuenneena ionina. Rinnakkaiskokeet osoittavat menetelmän toistettavuuden. Osa strontiumista sitoutuu humuksen kevyeen fraktioon ja jää 1,6 nm suodattimeen.

Menetelmiä hiottava edelleen

Jatkossa syvennyttään fraktiointimenetelmän hiomiseen, jotta pystyttäisiin luotettavasti luokittelemaan radionuklidit pääluokkiin. Kehitetään edelleen ioninvaihtomenetelmiä, joilla voidaan määrittää epäorgaanisten ionien hapetusasteet ja katsotaan menetelmiä, joilla voidaan lähemmin tutkia > 1 nm faasin koostumusta. Rinnan tämän menetelmäkehityksen kanssa tehdään lisää laboratorio-kokeita ⁹⁰Sr:n käyttäytymisen selvittämiseksi. Kun liuoskemia ymmärretään, tutkitaan vuorovaikutusta kiinteiden faasien kanssa.

Seuraavaksi tehdään samat kokeet ²³⁹Pu:lle. Plutoniumtutkimuksen yhteydessä kehitetään ioninvaihtokromatografisia menetelmiä hapetusasteiden määrittämiseksi. Jossain vaiheessa aloitetaan oikeiden ympäristönäytteiden tutkiminen. Ennenkuin siihen päästään joudutaan kuitenkin vielä tekemään paljon työtä. Rahoitus on siis selvä tälle vuodelle. Mikäli jatkorahoitusta saadaan, työ tulee jatkumaan vuosina 1997–1998, jolloin Tommi Kekin väitöskirja valmistuu.

FT, dos. **Rolf Rosenberg** on johtava tutkija VTT Kemiantekniikassa, p. (90) 4561; E-mail: Rolf.Rosenberg@vtt.fi

Virpi Korteniemi

RBMK-REAKTORIT TUTKIMUSKOHTENA

Länsimaisten simulointiohjelmien soveltuvuutta testataan

Suomalaiset ovat kiinnostuneita Sosnovyi Borin RBMK-tyyppisten ydinvoimaloiden turvallisuudesta. Länsimaissa reaktoreiden turvallisuusanalyseissä käytetään suuria tietokoneohjelmia, mutta nämä eivät sellaisenaan sovellu RBMK-reaktorien simulointiin. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu aloitti kahden läntisen analyysiohjelman soveltuvuuden testaamisen RBMK-reaktoreille vuonna 1995.

Länsimaat ovat suunnanneet ydinvoimaloiden turvallisuustutkimustensa lisäksi Venäjällä suunniteltujen ydinreaktorien tutkimiseen. Länsimaiden mukaantulo on ollut mahdollista Neuvostoliiton hajottua ja avoimuuden lisääntyttyä myös ydintekniikassa. Itäreaktoreiden turvallisuuden parantamiseksi tähdättyjä tutkimushankkeita on käynnistetty kansallisesti useissa maissa sekä EU:n toimesta.

RBMK-tyyppisten ydinvoimalaitosten turvallisuus on tietenkin herättänyt suurta mielenkiintoa Tshernobylin onnettomuuden takia ja sen seurauksena Suomessa erityisesti on kiinnostuttu Leningradin voimalaitosyksikköjen toiminnasta niiden läheisen sijainnin vuoksi.

Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun (LTKK) energiatekniikan osaston ydintekniikan laboratorio ja VTT Energia ovat tehneet Lappeenrannassa ydinturvallisuustutkimusta vuodesta 1976 lähtien. Yhteistyö on keskittynyt VVER-tyyppisen Loviisan ydinvoimalaitoksen termohydrauliikan tutkimiseen. Tutkimustyössä on käytetty erilaisia reaktorin pääkiertopiiriä tai sen osia simuloivia koelaitteistoja, joista PACTEL-koelaitteisto on ryhmän päätyökalu.

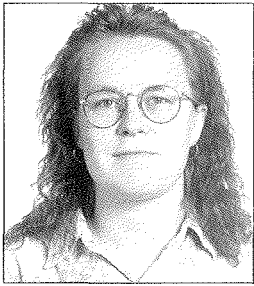
Kokeelliseen tutkimukseen liittyy kiinteästi termohydrauliikkaa mallintavien tietokoneohjelmien käyttö, koska skaalatuilla koelaitteistoilla saadut tulokset siirretään reaktorimittakaavaan analyysi-

ohjelmien avulla. Lappeenrannassa käytetään analyysityökaluina suuria, integroitua termohydrauliikkatietokoneohjelmia, joita ovat suomalainen APROS, ranskalainen CATHARE ja amerikkalainen RELAP. Kokeelliseen tutkimukseen liittyvän laskennan lisäksi LTKK:ssa on suoritettu tietokoneanalyysiä Säteilyturvakeskukselle ja Imatran Voima Oy:lle.

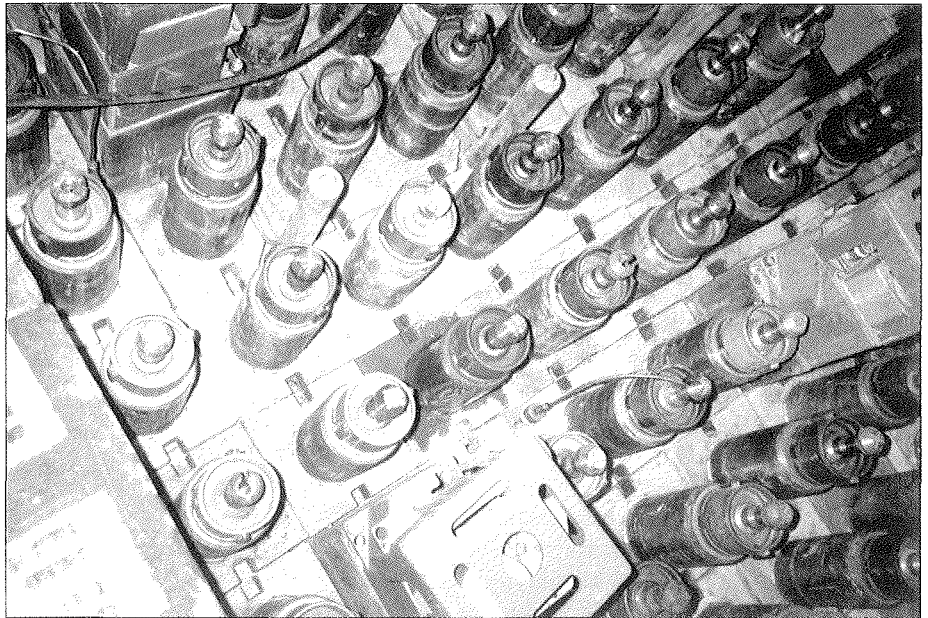
RBMK-tutkimus Lappeenrannassa

Vuonna 1995 LTKK:ssa aloitettiin RBMK-reaktoreiden tutkimus. Hankkeessa analysoidaan länsimaisten termohydrauliikkaohjelmien käytön soveltuvuutta RBMK-ydinvoimalaitoksen reaktorijäähdytyspiirien mallintamisessa. Projektin tarkoituksena on parantaa laboratorion mahdollisuuksia ja valmiuksia analysoida RBMK-tyyppisen ydinvoimalaitoksen käyttäytymistä erilaisissa normaaleissa käyttötilanteissa sekä oletetuissa häiriö- tai onnettomuus-tilanteissa. RBMK-projektissa käytetään kahta tietokoneohjelmaa, APROSt ja CATHAREa.

LTKK:n RBMK-projekti aloitettiin diplomityönä, johon liittyi selvitystyö ydinvoimalaitostyyppistä ja Leningradin voimalaitoksen erityispiirteistä. Diplomityössä rakennettiin RBMK-1000-tyyppisen reaktorin jäähdytysjärjestelmän perusmalli CATHARE-ohjelmalle. Tutkimusta on jatkettu kehittämällä



RBMK-reaktorin yltösa, jossa näkyvät kanavat. Kuvattu Sosnovyi Borissa vuonna 1990 (kuva: J. Aurela).



CATHARE-simulointimallia sekä rakentamalla vastaavaa mallia APROS-ohjelmalle.

LTKK:n RBMK-projektin rahoitus vuodelle 1995 koostui diplomityöntekijälle myönnetystä apurahoista (LTKK ja Imatran Voiman säätö) sekä Suomen Akatemian myöntämästä RBMK-projektimäärärahasta tutkijoiden palkkaukseen (2 henkilöä, 12 + 2 kk). Tämän vuoden alusta tutkimusta on jatkettu assistenttin työn ohessa. Apurahoja jatko-opinnäytteen tekemiseen ovat myöntäneet Etelä-Karjalan kulttuurirahasto ja Edmund Wilhelm Guerillot'n säätö.

APROS- ja CATHARE-termohydrauliikkaohjelmat

APROS (Advanced PROcess Simulator) -ohjelman kehittäjät ovat VTT Energia ja Imatran Voima Oy. Ohjelma sisältää perustietokannan, graafisen käyttöliittymän ja fysikaaliset mallit ydin- ja konventionaalisten voimalaitosten sekä kemiallisten prosessien simulointia varten. Tietokannasta löytyy erilaisia voimalaitosprosessien peruskomponentteja kuten säiliöitä, höyrystimiä, pumpumalleja ja erilaisia venttiilejä sekä automaatio- ja sähköjärjestelmiä. APROSin termohydrauliikkapaketin avulla voidaan laskennassa käyttää käyttäjän valinnan mukaan joko yksifaasimallia tai kaksifaasisia kolmen, viiden tai kuuden yhtälön laskentamalleja.

CATHARE (Code for Analysis of Thermalhydraulics during Accident of Reactor and safety Evaluation) on yksiulotteinen, kahden virtaavan aineen kuuden yhtälön malliin perustuva kehittynyt termohydrauliikkaohjelma. Ohjelmassa määritellään kahdelle virtaavalle aineelle (vedelle ja höyrylle) energian, liikemäärän ja massan taseyhtälöt. Ohjelman ovat kehittäneet Ranskan atomienergiakomissio CEA, ydinvoimalakomponentteja toimittava Framatome sekä valtiollinen voimayhtiö EDF. LTKK:ssa ohjelma on ollut käytössä syksystä 1989 lähtien.

LTKK:n RBMK-projektin mallinnustyössä käytettävien ohjelmien versiot ovat CATHARE2 V1.3U ja APROS versio 4.02 (kuusiyhtälömalli).

RBMK-tyyppinen ydinvoimalaitos poikkeaa geometrialtaan ja varsinkin fysikaalisilta ominaisuuksiltaan Suomessa ja muissa länsimaissa käytössä olevista reaktorityypeistä. Sellaisenaan länsimaaiset tietokoneohjelmat eivät sovellu RBMK-analyysiin, koska niihin ohjelmoidut fysikaaliset mallit on kehitetty toisentyypisille reaktoreille. Länsimaissa käytettävät termohydrauliikkaohjelmat on kehitetty ensisijaisesti ja erityisesti ohjelman kehittäjän omia erityistarpeita ja simulointikohteita silmälläpitäen.

Esimerkiksi ranskalainen CATHARE-ohjelma on alunperin kehitetty mallintamaan erityisesti ranskalaistyyppisiä painevesireaktoreita. Ohjelmat ovat "viriteltyjä" eli niiden sisältämät termohydrauliseen laskentaan liittyvät korrelaatiot on muokattu joitakin osin ohjelmistojen kehittäjämaiten voimalaitosten ja koelaitteistoilla tehtyjen kokeiden mukaan vastaamaan nimenomaan näiden voimalaitosten käyttäytymistä.

Koska RBMK-reaktorityyppi ei kuulu ohjelmien varsinaiseen alkuperäiseen sovellusalueeseen, täytyy itse ohjelman toimivuus ja luotettavuus tällä voimalaitostyyppillä kelpoistaa ja todentaa, ennen kuin ohjelman simulaatiomallien avulla voidaan vetää mitään suurempia johtopäätöksiä itse voimalaitoksen toiminnasta. Vasta tämän työn jälkeen voidaan laskentatuloksia käyttää turvallisuusanalyysien apuna.

Termohydraulinen mallinnus ja simulointi käytännössä

Käytössä olevat termohydrauliikkaohjelmat poikkeavat hieman toisistaan laskenta- ja mallintamistavoiltaan, mutta analysointikohteet ja periaatteet ovat samat. Ohjelmilla lasketaan ydinvoimalaitoksien normaali- ja häiriöolosuhteissa jäähdytysjärjestelmien eri osien ja komponenttien paineita, lämpötiloja ja virtausnopeuksia — siis lämmönsiirtoa ja virtaustekniikkaa erilaisissa tilanteissa.

Taulukossa on listattuna 1000 MW sähkötehoa tuottavan RBMK-tyyppisen voimalaitosyksikön parametreja, jotka osaltaan määrävät jäähdytyspiirin eri komponenttien tilan ja toiminta-arvot.

Tietojen kerääminen mallinnettavasta voimalaitoksesta on ensisijaisen tärkeää, jotta ohjelmalle rakennettua simulaatiomallia voidaan käyttää. Mallinnusta varten kerätään tietoja jäähdytysjärjestelmän eri komponenttien muodosta (putket, kollektorit, höyrynerottimet, sydämen rakenne) ja niissä käytettyjen materiaalien ominaisuuksista. Lisäksi simulointimallin eri komponenteille tarvitaan referenssivoimalaitoksen vastaavien osien normaalin käyttötilan termohydrauliset arvot. Näiden tietojen avulla saadaan simulointimallille alkutila.

Nominaalitalan arvojen avulla pyritään saattamaan laskentamalli niin sanottuun "steady state" -tilaan. Tämä tarkoittaa ohjelman kannalta tilaa, jossa mallin eri toimintapisteiden ja mallinnettavan järjestelmän komponenttien termohydrauliset arvot saavuttavat pitkällä aikavälillä vakaan arvon. Käyttäjän kannalta steady state -tilanne tietysti tarkoittaa useimmiten voimalaitoksen normaalia käyttötilaa.

RBMK-1000 -tyyppisen ydinvoimalaitoksen toimintaperiaate on esitettyä kaaviokuvana. Kuvassa on esitetty nimenomaan termohydraulisesti kiinnostava voimalaitoksen reaktorin jäähdytysjärjestelmä. Jäähdytysjärjestelmä on jaettu kahteen lähes yhtä suureen jäähdytyspiiriin.

Voimalaitoksen reaktori muodostuu hidastinaineena käytettävästä grafiitista tehdyistä tiilistä, jonka läpäisee noin 2 000 pystysuoraa kanavaa, jotka ovat polttoainetta, säätösauvoja, jäähdytystä sekä instrumentointia varten. Polttoainekanavia reaktorissa on noin 1 700, joissa kussakin on kaksi päällekkäin sijaitsevaa 18 polttoainesauvaa sisältävää polttoainennippua. Jokaiselle polttoainekanavalle tuleva oma jäähdyteputkilinja mahdollistaa yksittäisen polttoainekanavan

Sähköteho	1000 MW
Lämpöteho (~95 % polttoaineesta, ~5 % grafiitista)	3200 MW
Reaktori	
- halkaisija	11,8 m
- tehollisen osan korkeus	7 m
- polttoainekanavien kokonaismäärä reaktorissa	1661 kpl
- polttoainekanavan ulkohalkaisija	8,8 cm
- polttoainennippuja * -sauvoja / 1 kanava	2 * 18 kpl
- polttoaine / väkevöinti	uraanidioksidi / 2,4 % U-235
- maksimiteho kanavassa	3 MW
- keskimääräinen lineaariteho	350 W/cm
- polttoaineen keskimääräinen palama	19500 Mwd/tmU
- grafiitin massa reaktorissa	1700 tn
- grafiitin lämpötila	600 - 700 °C
Jäähdyte (vesi / vesi-höyry-seos)	
Sydämen sisääntulo	
- paine, lämpötila, kokonaismassavirta	87,5 bar, 270 °C, ~10000 kg/s
Höyrynerotin (lieriö)	
- paine, veden lämpötila, höyryn massaosuus	70 bar, 284 °C, ~15-20 %
Syöttöveden lämpötila	170 °C
Turbiinit	
- lukumäärä, sähköteho generaattoreilta	2, 2 * 500 MW
- höyryn paine, lämpötila, kokonaismassavirta	65 bar, 280 °C, ~1600 kg/s
Pääkiertopumppu	
- lukumäärä	6 kpl (+2 varalla)
- nostokorkeus, massavirta	2 bar, ~1700 kg/s

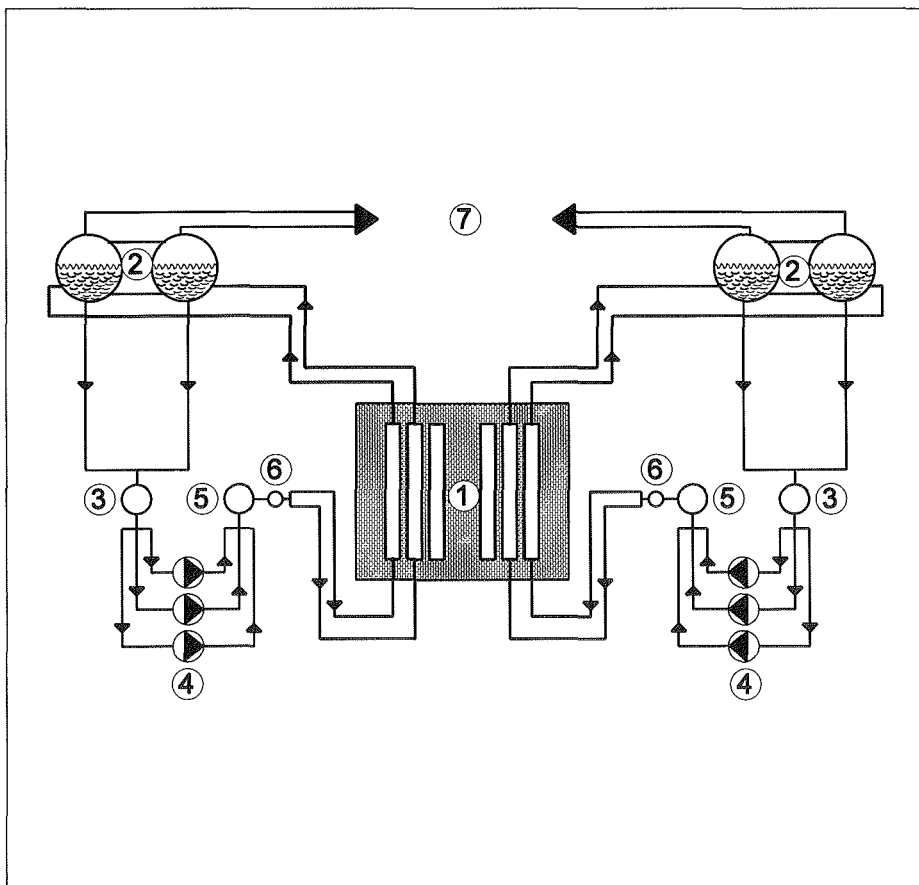
jäähdytevirran säädön, huollon ja polttoaineen vaihdon normaalikäytön aikana.

Jäähdyte alkaa reaktorin läpi kulkiesaan kiehua ja syntynyt vesi ja höyry seos siirretään noin 1 700 sekoitusputkilinjan kautta höyrynerottimille. Voimalaitoksella näitä höyrynerottimia on neljä, kaksi kummassakin reaktorin jäähdytyspiirissä. Höyrynerottimissa (lieriöissä) sinne kulkeutunut vesihöyry erotetaan vedestä ja siirretään höyryputkilinjojen kautta kahdelle turbiinille.

Höyrynerottimiin jäänyt vesi ja erottimiin suihkutettava syöttövesi johdetaan alasmenoputkilinjojen kautta pumppulinjan imupuolen kollektorille. Pääkiertopumput, joita on normaalikäyttötilassa toiminnassa kuusi kappaletta, pumppaavat jäähdytteen putkilinjan painekollektorin kautta jakotukeille, joita on kummassakin kiertopiirissä 22 kappaletta. Jokaiselta jakotukilta lähtee keskimäärin 38 putkilinjaa, joiden kautta jäähdytevirtaus ohjataan reaktorin polttoainekanaviin.

Tätä reaktorin jäähdytysjärjestelmää on mallinnettu CATHARE- ja APROS-ohjelmilla. Malleissa on tehty muutamia yksinkertaistuksia. Mallia suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon tietokonekapasiteetti ja mallinnuksen tarkkuuden tarve. Jos referenssijärjestelmää pyritään mallintamaan liian yksityiskohtaisesti, simuloinnin laskenta-aika venyy tarpeettoman pitkäksi. Esimerkiksi kaikkia 1 700 polttoainekanavaa ei ole mallinnettu erikseen, vaan ohjelmilla pystytään yhdellä komponentilla kuvaamaan useita samanlaisia komponentteja. Tätä periaatetta on käytetty myös voimalaitoksen "putkiviidakon" ja esimerkiksi jakotukkien mallinnuksessa. Höyrynerottimia simulaatiomallissa on yksi kummallekin jäähdytyspiirille. Mallin perustilan, geometrian ja termohydraulisten parametrien arvot steady state -tilaan pääsemiseksi on pyritty valitsemaan Leningradin kolmosyksikön arvoja vastaaviksi.

Normaalin ja stabiilin käyttötilan saavuttamisen jälkeen simulointimallilla voidaan aloittaa erilaisten normaalin käyttötilan toimenpiteiden tai oletettujen häiriötilanteiden simulointi. Termohyd-



RBMK-1000 -tyyppisen ydinvoimalan reaktorijäähdytyspiirit:

1. reaktori (1700 polttoainekanavaa),
2. höyrynerottimet (2*2 kpl),
3. imukollektori (2*1 kpl),
4. päänkiertopumput (2*3 {4} kpl),
5. painekollektori (2*1 kpl),
6. jakotukit (2*22 kpl),
7. höyrylinjat turbiineille (4*15 kpl).

raulisen simuloinnin tuloksena saadaan valtava määrä tietoa järjestelmän eri komponenttien ja osien tilasta eri ajanhetkillä — paineita, lämpötiloja ja virtausnopeuksia ajan funktiona. Tulosten saattaminen helposti hyödynnettävään muotoon analysointia varten vaatii erilaisten graafisten käyttöliittymien, piirto- tai taulukkolaskentaohjelmien käyttöä kunkin käyttäjän omien tottumusten ja mahdollisuuksien mukaisesti.

Ongelmia mallinnustyössä ja tulosten analysoinnissa aiheuttaa sopivien vertailutietojen puuttuminen. Jotta mallia voitaisiin kelpoistaa ja kehittää, tarvitaan koelaitteistoilla tehtyjen kokeiden tuloksia ja voimalaitoksien mittaustietoja simulaatiotilanteiden tutkimisessa. Simulointimallien lähtötietojen, geometrian ja muiden alkuarvojen, tulisi olla myös tietyllä tarkkuudella voimalaitosarvoja vastaavia. Suuren ongelman mallinnukseen ja transienttilaskennan oikeellisuuteen aiheuttaa polttoaineen käyttäytymisen kuvaaminen mallissa. RBMK-reaktorin eräänä ominaisuutena on reaktorin jäähdytysjärjestelmän termohydrauliikan ja polttoaineen neutroniikan voimakas keskinäinen vuorovaiku-

tus. Tähän mennessä simulaatiomalleissa ei ole käytetty ohjelmissa olevaa neutroniikkalaskentamallia, vaan reaktorikomponentille on määritelty keskimääräinen teho.

RBMK-projektin jatkonäkymiä

Termohydrauliikkaohjelmien simulaatiomalleista CATHARE-ohjelman RBMK-perusmalli on valmis. Sitä on testattu ja sillä on saavutettu kohtuullinen steady state -tila. Lisäksi mallia on testattu transienttialojalla, joka vastaa Leningradin kolmannessa voimalaitosyksikössä 1992 sattunutta tapahtumaa. Tuolloin yksikön yksi polttoainekanava rikkoutui, kun kyseiselle kanavalle tullut jäähdytysvesivirta laski rajusti vioittuneen venttiilin takia. Vastaavan APROS-mallin rakentaminen on vielä kesken.

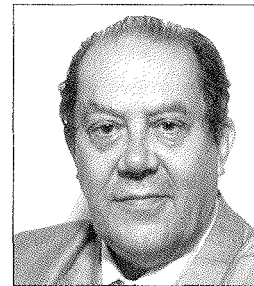
Tutkimusta jatketaan käyttämällä simulaatiomalleja erilaisten jäähdytysmenetysolosuhteiden analysoinnissa. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi useiden jäähdytyspiirien paineputkien

rikkoutuminen samanaikaisesti tai jakotukin rikkoutuminen, mahdollisesti luonnonkiertotilanteen simulointi.

Edelleen panostetaan erityisesti APROS-mallin kehittämiseen. VTT Energian tutkijoiden avustuksella liitetään perusmalliin reaktorin neutroniikkalaskentamalli sekä pyritään laajentamaan laskentamallia lisäämällä siihen voimalaitosautomaatiota. Laajempi malli mahdollistaisi erilaisten voimalaitoksen operaattorien toimintaohjeiden vaikutuksen analysoinnin voimalaitoksen käyttö- ja häiriötilanteissa. APROS-ohjelmassa olisi myös ainakin periaatteessa mahdollista mallintaa RBMK-laitoksen päästöjen rajoitusjärjestelmää (Accident Localization System).

DI Virpi Korteniemi toimii ydintekniikan assistenttina Lappeenrantaan teknillisen korkeakoulun Energiatekniikan osaston Ydintekniikan laboratoriossa, p. (953) 621 2713.

PUGWASH JA YDINASEIDEN KIELTÄMINEN



Suuret vetypommikokeet 1950-luvun puolivälissä saivat eräät kuuluisat tiedemiehet lordi Bertrand Russelin ja Albert Einsteinin vetoomuksesta käynnistämään vuonna 1957 Pugwash-konferenssien nimellä tunnetun kokoussarjan, jonka päätarkoituksena on ollut ydinaseiden kehittämisen ja käytön suunnittelun vastustaminen. Vuoden 1987 jälkeen ovat USA ja Neuvostoliitto/Venäjä sopineet huomattavista ydinaseiden supistuksista Pugwashin vaatiessa ydinaseetonta maailmaa. Siihen ko. valtiot eivät ole suostuneet vaan pitävät edelleen usean tuhannen ydinaseen arsenaaleja vedoten kylmän sodan aikaisiin perusteluihin.

Kansainvälinen Pugwash-liike, viralliselta nimeltään "Tieteen ja maailman asioiden konferenssi", sai alkunsa lordi Bertrand Russelin vuonna 1955 laatimasta ydinasekokeiden kieltämistä vaativasta julkilausumasta, ns. "Russell-Einstein manifestista", jonka myös kahdeksan muuta Nobelin palkinnon saanutta tiedemiestä allekirjoitti — Albert Einstein kaksi päivää ennen kuolemaansa. Siinä selostettiin niitä vaaroja, joita käynnistynyt hillitön ydinasekilpa aiheutti ihmiskun-

nalle ja ehdotettiin idän ja lännen tiedemiesten kokousta suunnitelman tekemiseksi ydinasekokeiden kieltämiseksi.

Kokous saatiinkin aikaan vuonna 1957 kanadalaisen monimiljonääri Cyrus Eatonin tarjouduttua järjestämään sen maatilallaan pienessä Pugwashin kalastajakylässä Kanadan Nova Scotiassa. Siihen osallistui 22 tiedemiestä, etupäässä tiedeakatemiaain presidenttejä, fyysikoja ja kemistejä. Heistä vain kolme,

silloin Russellin sihteerinä toiminut ja nykyinen Pugwashin presidentti Josef Rotblat, japanilainen prof. I Ogawa ja amerikkalainen prof. P.Doty ovat hengissä. Neuvostoliiton tiedeakatemiasta oli kolme tiedemiestä ja "tulkki", Kiinan tiedeakatemiasta yksi henkilö.

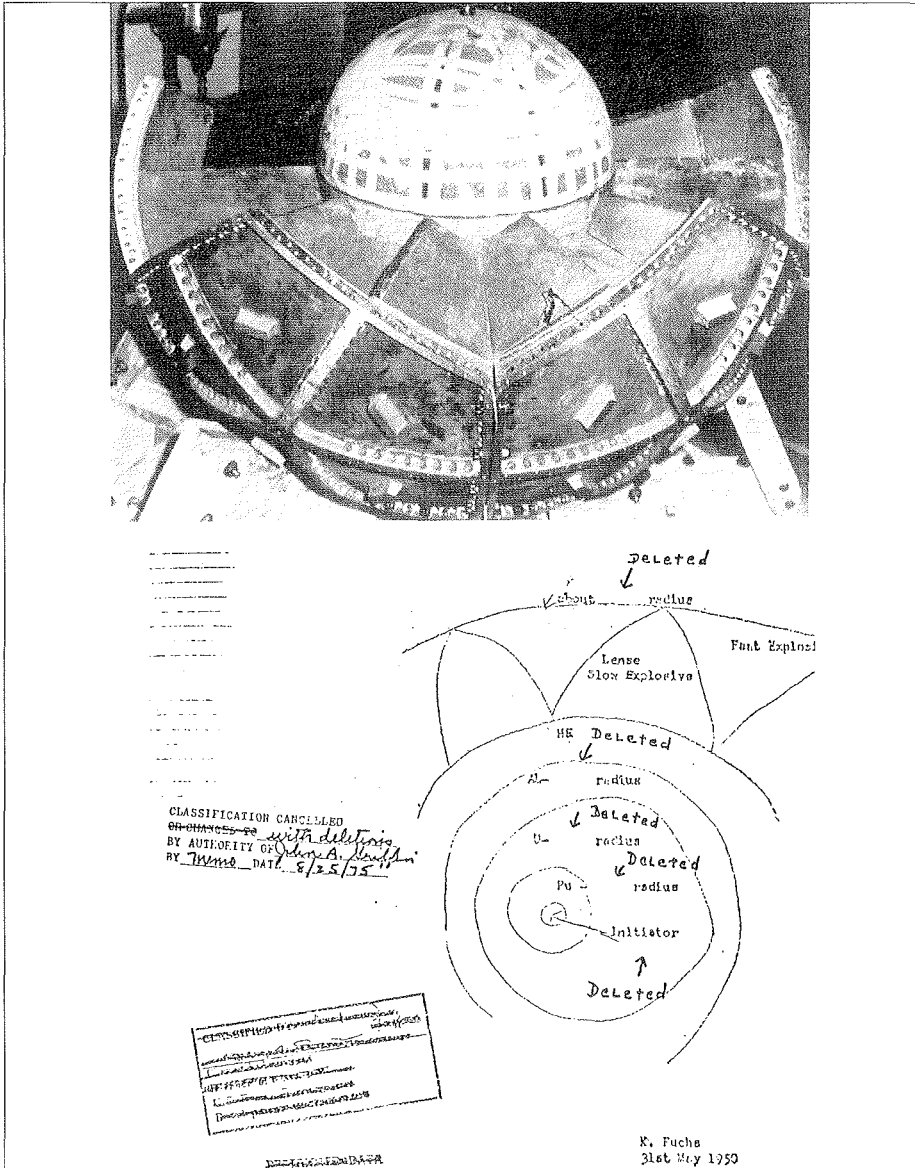
Ensimmäisen konferenssin aiheena olivat ydinsodan tuhot, ydinasekokeiden vaarat ja tiedemiehen sosiaalinen vastuu. Se oli menestyksellinen, sillä sen vaikutuksesta saatiin aikaan ensimmäinen ydinkoetauko vuosille 1958–1961. Ns. Pugwash-konferensseja alettiin järjestää vuosittain eri puolilla maailmaa. Viimeisin niistä oli Hiroshimassa heinäkuussa 1995.

Ennen maailmansotaa tärkeitä ydinhavaintoja

Juuri ennen maailmansodan syttymistä oli ydinfysiikassa ja radiokemiassa tehty joukko havaintoja, joiden perusteella



Ensimmäisen Pugwash-konferenssin osanottajat.



Tavatessaan vakoilija Harry Goldin Santa Fessä kesäkuussa 1945, Fuchs antoi Neuvostoliitolle tarkat Nagasakiin pudotettavan Fat Man -pommin piirustukset. Tässä valokuvassa pommi on osittain purettu tavanmukaisten räjähteiden ja "tamperin" eli uraanihidastimien näyttämiseksi.

tain atomitutkimuksen edistymistä. Japanin pommitus ei tullutkaan sille yllätyksenä. Mm. saksalainen teoreettinen fyysikko Klaus Fuchs, joka pakolaiseksi tekeytyneenä oli päässyt mukaan Manhattan-projektiin, lähetti Neuvostoliitolle raportteja vuodesta 1941 ja kesäkuussa 1945 mm. Nagasakin plutoniumpommin tarkan kuvauksen jo ennen sen pudottamista. Niinpä Neuvostoliitto kykeni tekemään ensimmäisen atomipommikokeensa jo vuonna 1949, vuosia aikaisemmin kuin useimmat amerikkalaiset uskoivat.

Pugwash ydinasekilpaa vastaan

Yhdysvallat pelästyi Neuvostoliiton pommikokeesta. Presidentti Truman päätti tammikuussa 1950 aloittaa vetypommin kehittämisen, ettei Neuvostoliitto ennättäisi edelle. Yhdysvallat räjähdetti ensimmäisen fuusioon perustuvan koelaitteensa nimeltä Mike 1.11.1952 ja Neuvostoliitto ensimmäisen omansa, ns. "kerroskakku"-laitteen elokuussa 1953, vain 9 kuukautta Yhdysvaltoja jäljessä. Tästä alkoi ensimmäinen kiihkeä ydinkoekausi, jolloin suuret vetypommikokeetkin tehtiin maan pinnalla tai ilmakehässä ja joka johti mm. Pugwash-liikkeen syntymiseen. Lordi Russell esitti vetoamuksensa maailman tiedemiehille heti, kun vetypommikokeiden maailmanlaajuinen laskeuma tuli yleisesti tietoon.

Pugwash-konferensseja pidettiin aluksi puolivuosittain, mutta 1960-luvun alusta lähtien vuosittain. Aluksi niiden osanottajien määrä oli noin 60, sittemmin 80–120. Joka viides vuosi pidettävään "quinquennial"-konferenssiin kutsutaan 180–220 osanottajaa 30–50 maasta. Tänä vuonna pidetään Lahdessa 46. Pugwash-konferenssi, johon tulee noin 140 osanottajaa.

kaikille asiantuntijoille oli selvä, että atomipommi oli periaatteessa mahdollinen. Hahn ja Strassmann Berliinissä osoittivat joulukuussa 1938, että uraaniatomi halkeaa neutronin vaikutuksesta. Lise Meitner puolestaan laski, että halkeamisessa täytyy vapautua useita neutroneita ja miljoonia elektronivoltteja energiaa jokaista halkeavaa atomia kohti, mikä tekee ketjureaktion ja atomipommin mahdolliseksi. Enrico Fermi ja Leo Szilard Yhdysvalloissa ja Georgi Flerov ja Lev Rusinov Neuvostoliitossa osoittivat vuonna 1939, että uraanin fissiona todella vapautuu useita neutroneita. Nils Bohr osoitti, että vain U-235-isotooppi ylläpitää ketjureaktiota.

Saksa oli ydintutkimuksen johtavia maita. Tiedettiin, että siellä oli käynnistynyt kesällä 1939 uraanin ja raskaan veden valmistusprojekti. Albert Einstein

ja Leo Szilard lähettivätkin 2. elokuuta 1939 presidentti Rooseveltille kirjeen, jossa esitettiin tutkittavaksi, onko atomien energian vapauttaminen käytännössä mahdollista. Natsi-Saksan ei haluttu pääsevän yllättämään ensimmäisellä atomipommilla. Tästä kirjeestä käynnistyi Yhdysvalloissa ns. Manhattan-projekti, joka kulmineitui vuonna 1945 atomipommin valmistukseen ja käyttöön sodassa Hiroshiman ja Nagasakin hävitykseen.

Saksassa, Neuvostoliitossa ja Japanissa jatkettiin sodan aikana atomitutkimusta pienillä resursseilla. Varsinaiseen pommin valmistamiseen ei päästy, koska poliittinen johto ei katsonut atomipommin ehtivän mukaan sodan ratkaisuun.

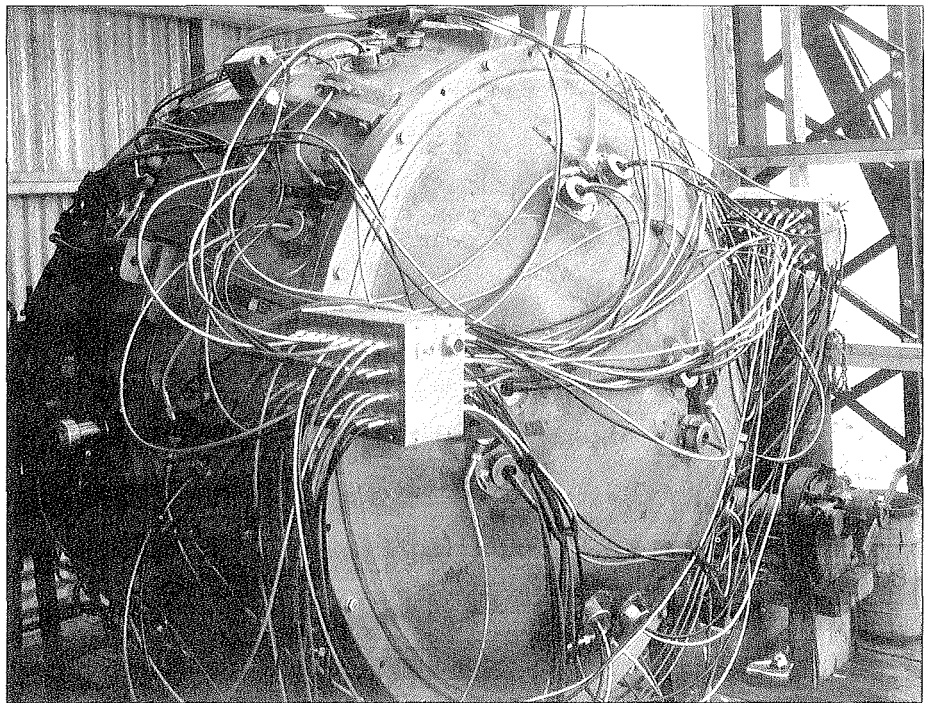
Neuvostoliiton atomivakoilu pystyi kuitenkin hyvin seuraamaan Yhdysval-

Aluksi konferenssien aihepiiri käsitti lähinnä ydinaseisiin liittyviä teemoja. Osanottajista monet olivat entisiä ydinaseiden kehittäjiä. 1960-luvun lopulla aihepiiri laajeni käsittämään myös muita aseidenriisuntakysymyksiä, kansainvälistä turvallisuutta, väestönlisäystä ja kehityskaakysykyksiä. Aseidenriisunta on säilynyt kuitenkin Pugwashin vahvimpana alueena ja kolmasosa osanottajista on edelleen "kovia" luonnontieteilijöitä. Vuodesta 1968 on alettu järjestää myös suppeampia symposiumeja, joita pidetään lähes kymmenen vuosittain.

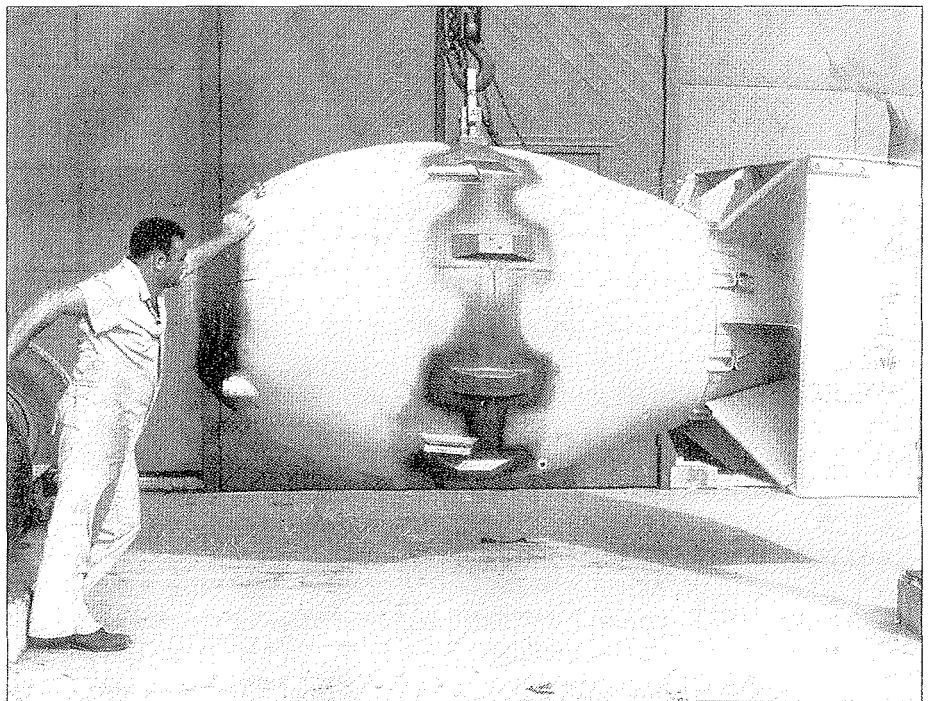
Osanottajat kutsuu Pugwashin johtoelin, Council. Siinä on 22 jäsentä, 16 maasta yksi, mutta Englannista, Yhdysvalloista ja Venäjältä kaksi kustakin. Neljäskymmenessä maassa on kansallinen Pugwash-ryhmä, useimmiten maan tiedeakatemia asettama. Suomalainen tiedeakatemia ja Suomen tiedeseura asettivat vuonna 1970 Suomen Pugwash-komitean, johon nykyään kuuluu akatemiain nimeäminä neljä tiedemiestä, professorit Bengt Broms, Göran von Bonsdorff, Kari Cantell ja Jorma K. Miettinen (puheenjohtajana) sekä toimikunnan kutsumana lakitieteen kandidaatti Kari Takamaa pääsihteerinä ja varatuomari Juhani Parkkari varainhoitajana.

Kokoukset pidetään tavallisesti jossakin konferenssikeskuksessa ja työmuotona ovat plenaarikokoukset, joissa on kutsuttuja yleisesitelmää sekä työryhmien kokoukset, jotka tapahtuvat ns. pyöreän pöydän keskusteluna. Työryhmiä on tavallisesti 6, joissa kussakin noin 20 henkeä. Viime vuonna Hiroshimassa oli työryhmillä seuraavat aiheet:

- Ohjelma ydinaseetonta maailmaa varten
- Suurtuhoaseiden leviämiskärsien vähentäminen
- Aseiden kaupan, siirron ja tuotannon valvonta
- Kansainvälinen maailman hallinta (so. YK ja sen järjestöt)
- Aasian ja Tyynen meren alueen turvallisuus
- Energia-ympäristö-kehitys riippuvuudet.

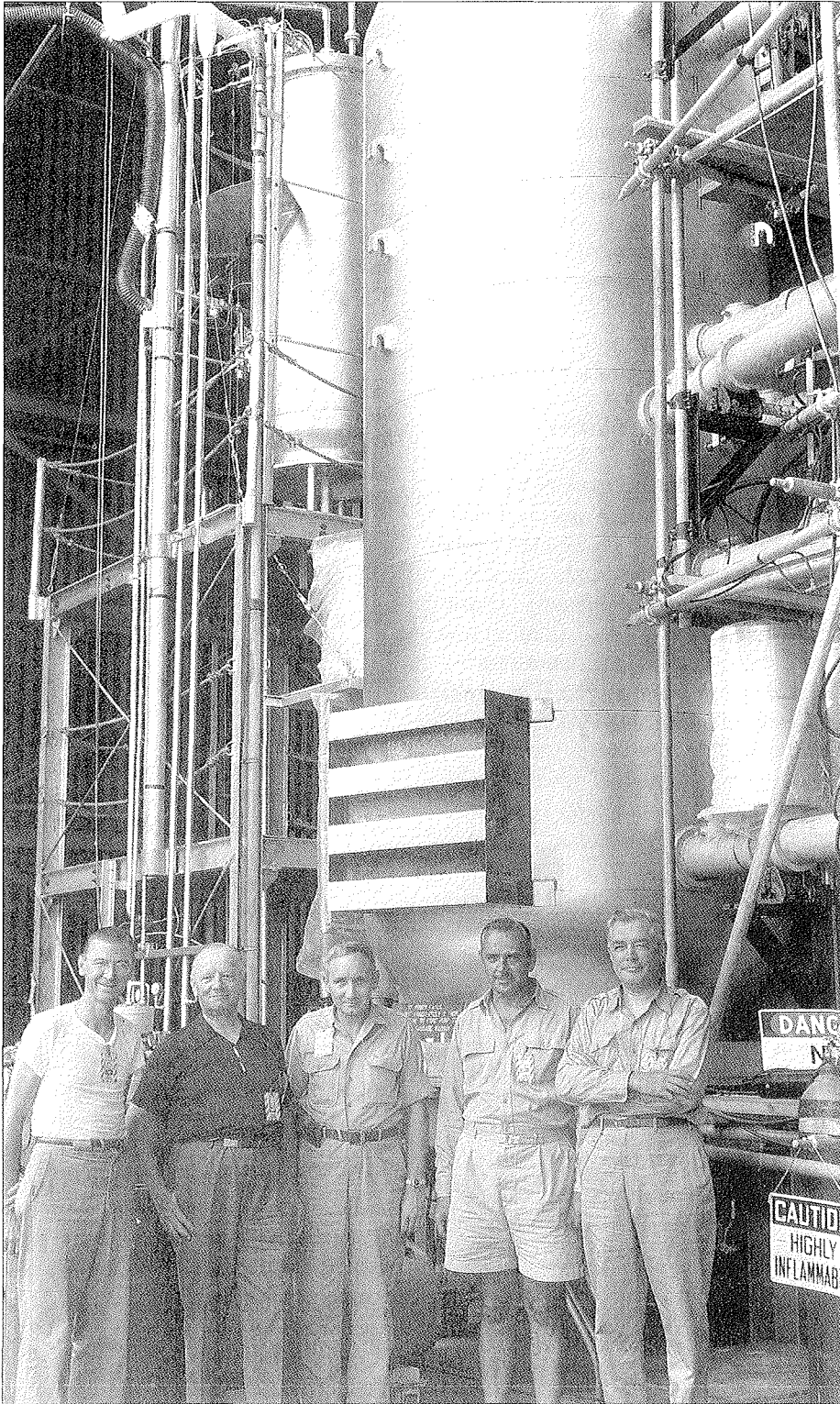


Alamogordossa 16.7.1945 räjäytetty Pu-239-pommi oli Nagasakin pommin koekappale (yläkuva). Fat Man -plutonumpommia valmisteltiin Tinianin saarella Nagasakiin pudotusta varten. (alakuva)



Eri vuosina otsikot vaihtelevat jonkin verran. Työryhmäkokoukset jatkuvat toisinaan myöhään yöhön. Puheenjohtajina toimii vuorotellen kaksi *conveneriä* ja noin 5-sivuisen tiivistelmän keskusteluista kirjoittaa ennalta valittu *raportööri*. Niiden perusteella Council laatii konferenssiselosteen, joka lähetetään valtioiden päämiehille, hallituksille ja kansainvälisille järjestöille sekä uutisvä-

lineille. Muutamassa konferenssissa on hyväksytty myös Councilin laatima juhlallinen julkilausuma. On selvää, ettei juhlallista julkilausumaa kannata kovin usein esittää, muuten esitykset menettävät tehonsa.



Vetypommin koelaitte "MIKE". Keskellä Marchall Holloway.

Mitä sitten on saatu aikaan?

Tuloksia on vaikea mitata, sillä Pugwash-liikehän voi esittää vain suosituksia, hallitusten asia on tehdä päätöksiä. Suurin menestys oli ehkä heti ensimmäisellä konferenssilla, jonka vaikutuksesta syntyi ensimmäinen ydinkoetauko.

Neuvostoliiton ja Yhdysvaltain hallituksilla ei ollut juuri valinnan varaa, kun maiden korkeimmat tiedeaktoriteetit yhdessä vaativat maanpinnalla tehtävien ydinkokeiden lopettamista, koska ne saattaisivat vaarantaa ihmiskunnan geeniperimän. Pugwash oli silloin ainoa diplomaattiyhteyksien ulkopuolinen neuvotteluelin ydinkoekesympäyksessä.

Kylmä sota oli kireimmillään ja suuret vetypommitkokeet kiihkeimmillään. Osottautui, että Pugwash-kontaktia tarvittiin jatkuvasti ja konferenssit muodostuivat aluksi puolivuositaisiksi, sittemmin vuosittaisiksi. Vuonna 1962 oli syntynä rajoitettu ydinkoekiello, joka olisi sallinut vain 3–5 maanalaista ydinkoetta vuodessa, mutta viime tingassa luottamus petti. Kuuban kriisi kärjisti supervaltojen välejä.

Maanpäälliset ydinasekokeet kiellettiin 1963

Vuonna 1963 saatiin kuitenkin aikaan maanpäälliset ydinkokeet kieltävä sopimus, mutta ydinkokeet jatkuivat maanalaisina entistä kiivaampina. Niitä on nyt tehty kaikkiaan 2 042 kappaletta, ja Kiina voi vielä tehdä muutaman ennen liittymistään täydelliseen ydinkoekielloon. Sopimus voi syntyä jo tämän vuoden kuluessa.

Kuuban kriisi teki supervallat myös entistä varovaisemmiksi ydinaseilla uhkailun suhteen, sillä niiden välinen ydinsota olisi voinut muuttaa molemmat maat kuun maisemaksi Neuvostoliiton saavuttaessa 1960-luvulla ns. olennaisen tasavertaisuuden. Yhdysvallat sotkeutui Vietnamin sotaan ja joutui kotirintamalleen ankaran poliittisen protestiaallon kohteeksi. Niinpä supervallat alkoivat neuvotella strategisten aseittensa rajoittamisesta. SALT-neuvottelut alkoivat Helsingissä vuonna 1969. Niiden synnyssä oli Pugwash-liikkeellä ansionsa.

Eräs tärkeä Pugwashin työkokoussarja oli keskimatkan ja taktisten ydinaseiden työkokoukset, joita alettiin pitää vuonna 1980. Yhdysvaltain yritys tuoda neutroniaseita Eurooppaan tyrehtyi, kun Saksan liittokanslerin Schmidtin kieltäytyi vuonna 1988 ottamasta niitä vastaan. Tässä tapahtumassa oli Pugwashilla ja

eräällä kirjoittamallani artikkelilla yllättävä osuus.

Taktiset salat selville Eduskunnan kirjastossa

Aloin perehtyä taktisten ydinaseiden merkitykseen vuonna 1972 Suomen Pugwash-toimikunnan järjestäessä Lahdessa, hotelli Seurahuoneessa, kansainvälisen Pugwash-symposiumin taktisten ydinaseiden vähentämisestä. Sitä kutsuttiin "TALT-symposiumiksi" analogisesti SALT-neuvottelujen kanssa. Olimme kuitenkin lähes 20 vuotta ajastamme edellä, sillä Euroopan keskimatkan aseiden hävitys sopimus saatiin aikaan vasta vuonna 1989 ja ko. aseet hävitetyiksi vuoden 1991 loppuun mennessä. Venäjä ja Yhdysvallat alkoivat poistaa taktisia ydinaseitaan vasta vuoroisesti vasta vuonna 1991.

Neuvostoliiton otettua käyttöön uusia, Länsi-Eurooppaan suunnattuja SS-20-keskimatkan ydinaseita 1970-luvun puolivälissä Yhdysvallat päätti modernisoida omat taistelukentän aseensa sijoittamalla niihin ns. neutronikärkiä. Neutroniase oli Yhdysvalloissa tabu. Siitä ei kukaan asiantuntija voinut kirjoittaa mitään tarkempaa kuvausta. Asiaa käsiteltiin kuitenkin senaatin kuulusteluissa, ja pöytäkirjat, "Hearingsit", julkaistiin. Ne tulivat mm. Eduskunnan kirjastoon yli hyllymetri vuodessa.

Aineisto oli kyllä outoa luettavaa, kun joka toisella rivillä oli salaisia yksityiskohtia peitetty lapulla jossa luki "deleted". Sensoreina toimivat nuoret majurit, joilla ei kuitenkaan ollut täysin yksikäsitteistä käytäntöä. Hearings-pöytäkirjoja taktisista ydinaseista oli satoja sivuja. Kun tunsin asian osapuolteen ja luki kaikki, sai melko aukottoman kuvan asiasta. Yhdessä artikkelissa oli poistettu yksi detalji, toisessa toinen. Hearingseissä on myös se hyvä puoli, että niissä kaikki on valalla vahvistettua totuutta.

Kirjoitin kesällä 1977 melko seikkaperäisen artikkelin neutroniaseesta ja sen mielettömyydestä taktisena aseena Saksan tiheään asutussa maassa. *Bulletin of Atomic Scientists* julkaisi artikkelin syyskuun 1977 numerossaan. Siitä tuli pieni sensaatio, josta sain paljon eripai-

noskyselyjä varsinkin Amerikasta ja Liittotasavallasta. Mutta vasta vuonna 1992 minulle selvisi, että artikkelilla oli ollut tavallista syvempi merkitys. *Bulletin* julkaisi näet syyskuun 1992 numerossaan laatikon "15 years ago", jossa se kuvaa artikkelin vaikutusta Yhdysvalloissa ja prosessia, joka johti neutronipommin kieltämiseen. Aika harvoin saa tällaista arviointia jonkin artikkelin merkityksestä.

Tunnustuksena Nobelin rauhanpalkinto

Yleensäkin Pugwashin tulokset ovat todistamattomia, koska ne voivat vain muokata maata aseidenriisuntasopimuksille, jotka hallitukset sitten solmivat. Pugwashille annetaan kuitenkin melko yksimielisesti ansio monista edistysaskeleista rauhan tiellä, mm. Vietnamin sodan rauhantunnusteluista ja ydinsulkusopimuksen valmisteluista. Nythän Pugwash-järjestö ja sen presidentti professori Josef Rotblat saivat kauniin tunnustuksen vuoden 1995 Nobelin rauhanpalkinnon muodossa.

Nykyään fyysikkallisten tieteiden edustajia on enää vajaat kolmannes kun taas yhteiskuntatieteiden edustajia on kaksi kolmasosaa Pugwash-konferenssien osanottajista. Tiedemiesten lisäksi on jo parin vuosikymmenen ajan otettu mukaan myös opiskelijoita, Pugwashin toiminnasta kiinnostuneita suunnilleen liseniaattityövaiheessa olevia, jotka vuonna 1981 järjestäytyivät "nuorten pugwashittien" ryhmiksi. Sellaisia on nyt noin 13:ssa maassa, Suomessa vuodesta 1983 lähtien.

Tämän vuoden Pugwash-konferenssi pidetään Suomessa, Lahden aikuiskoulutuskeskuksessa 2.–7.9.1996. Sen agenda on seuraava:

- Ydinaseeton maailma
- Pienten aseiden leviäminen
- Tulevat alueellisen puolustuksen järjestelmät; laajennettu EU
- Globaalinen vaikuttaminen energia/ilmastonmuutos-yhteyteen
- Kehittyminen rauhan vallitessa

- YK 50:n vuotensa jälkeen; Globaalinen kansainvälinen hallinta.

Suomesta isäntämaana pääsee varsinaisiksi osallistujiksi toistakymmentä henkeä, joista puolet järjestelytoimikuntana toimivan Suomen Pugwash-toimikunnan jäseniä. Nuoria osallistujia, jotka toimivat työryhmien sihteereinä, saamme konferenssiin noin 10.

Kun ajattelee käynnissä olevaa valtavaa maailmanjärjestyksen muutosta ja sen tuottamia uusia kriisejä, on selvää, että Pugwashin kaltaista aivotrustia tarvitaan edelleenkin. Eivätkä vanhatkaan päämäärät — suurthuhoaseiden hävittäminen — ole vielä loppuun suoritettuja, vaikka kehitys kyllä näyttää melko lupaavalta.

Mutta suurthuhoaset ovat kuin antiikin monipäinen vesikäärme Hydra, kun yhden pään katkaisee, kasvaa kaksi uutta tilalle. Vaikka kemiallisten aseiden kieltosopimus on allekirjoitettu vuonna 1993, eräissä maissa jatkuu yhä uusien agenssien kehittäminen ja kokeilu, ja vaikka biologisten aseiden kehittäminen ja omistuskin on vuoden 1975 bioase-sopimuksella kielletty, uusia bioaseita kehitellään edelleen, puhumattakaan uusista taktisista ydinaseista, joita yhä yritetään saada tuotantoon, vaikka vanhat on töintuskin saatu poistetuiksi käytöstä.

Pugwashin kaltaista vahtikoiraa tarvitaan edelleen, sillä ihminen ei ole miksiäkään muuttunut, kuten Ruandan ja Bosnian tapahtumien kaltaiset kansanmurhat todistavat. Viime vuotinen suuri tunnustus antaa meille Pugwashin parisessa työskenteleville uutta uskoa toimintamme tärkeyteen.

Valokuvat

Richard Rhodes: Dark Sun
— *The Making of the Hydrogen bomb*

Akateemikko **Jorma K. Miettinen** on Helsingin yliopiston radiokemian laitoksen perustaja ja emeritusprofessori.

YDINENERGIAN HYÖDYNTÄMISTÄ KEHITETTÄVÄ EDELLEEN



ATS:n jäsenistöä EPR-tilaisuudessa: Edessä vasemmalta puheenjohtaja Eero Patrakka ja Eero Mattila. Takarivissä toinen vasemmalta illan isäntä Jaakko Toppila, seuran uusi sihteeri Timo Ritonummi ja professori Heikki Kalli. (kuva: J. Aurela)

Saksan ja Ranskan yhdessä kehittämä EPR eli European Pressurized Water Reactor merkitsee uutta lukua ydinenergian hyväksikäytössä. Sen parannetut turvatoimet tekevät vakavat häiriöt entistä epätodennäköisemmiksi ja ennustetut vakavat häiriöt — mukaan luettuna reaktorin sydämen sulaminen — voidaan suunniteltujen toimien avulla hallita. Siksi voimalan lähistöllä asuvaa väestöä ei jouduta evakuoimaan tai asuttamaan uudelleen tällaisen häiriön tapahtuessa. Näin lisätään ydinenergian hyväksyttävyyttä ja kiinnitetään erityistä huomiota ydinvoimalla tuotetun sähkövirran kilpailukykyisyyteen. Tehokkaammista turvatoimista aiheutuvat suuremmat investointikustannukset kompensoidaan suuremmalla käytön joustavuudella, paremmalla polttoaineen hyväksikäytöllä ja suuremmalla käytettävyydellä.

Perusta seuraavan sukupolven painevesireaktorien yhteiselle kehittämiselle luotiin vuonna 1989, jolloin perustettiin NPI-niminen yhtiö (Nuclear Power International). Siemensin ja Framatomen kummankin puoleksi omistaman yrityksen ensimmäinen tehtävä oli kilpailukykyisen tuotteen kehittäminen maailman markkinoille. Ranskan valtiollinen energiayhtiö EDF (Electricité de France) ja yhdeksän suurta saksalaista energiayhtiötä, joilla on käytössään ydinvoimaloita, päättivät

vuonna 1992 liittyä mukaan kehityshankkeeseen. Siihenastisista kansallisista kehitysprojekteista luovuttiin EPR:n hyväksi ja voimavarat yhdistettiin.

Valmistajien ja käyttäjien yhteistyö oli läheistä. Jo varhain päätettiin, että EPR:ää kehitetään evoluutiomaisesti eikä revolutiomaisesti. Näin varmistettiin, että käytössä olevista laitoksista saadut kokemukset käytetään optimaalisesti hyväksi.

Saksalais-ranskalaisella yhteistyöllä laaja pohja

Yhteistyötä harjoittavat valmistajien lisäksi kummankin maan lupia myöntävät viranomaiset. Sitä varten laajennettiin käynnissä olevien laitosten valvontaan liittyvä yhteistyötä kehittämällä yhdessä tulevia reaktorisukupolvia koskevia määräyksiä. Lupaviranomaiset laativat yhteisen paperin tulevasta vaatimuksista ennen kuin perussuunnittelusopimus (Basic Design) allekirjoitettiin helmikuussa 1995.

Kun EPR suunnitellaan yhdessä määriteltyjen vaatimusten pohjalta, laitos voidaan hyväksyä kummassakin maassa ilman erityismuutoksia. Tällä tavoin luotiin edellytykset EPR:n sarjavalmistukselle, joten kehityskustannukset voidaan jakaa usean laitoksen osalle.

Korkeimmalla tasolla harmonisoituja sääntöjen ja ohjeiden lisäksi tullaan myös tekniset standardit yhtenäistämään. Valmistajien ja käyttäjien asiantuntijoista koostuvissa työryhmissä

laaditaan niin kutsuttuja ETC:eitä (EPR Technical Codes). Ne säätelevät Saksassa jo toimivaa KTA:ta (Kerntechnischer Ausschuß) ja korvaavat ranskalaisen RCC:n (Règles de conception des chaudières). Lupaviranomaisten tekniset asiantuntijat tarkastavat ja hyväksyvät ne.

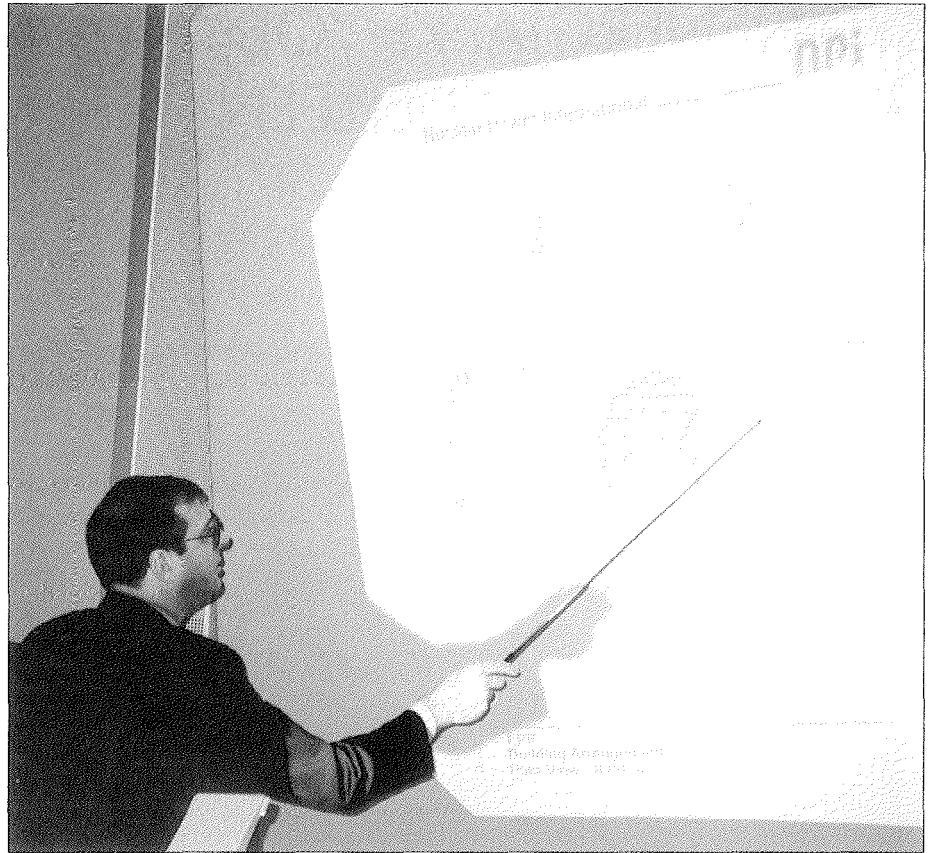
EPR saa saksalais-ranskalaisen yhteistyön lisäksi eurooppalaisen dimension, koska se täyttää EUR:n (European Utility Requirements) vaatimukset. EUR:n laati ryhmä johtavia eurooppalaisia sähköntuotantoyhtiöitä yhteisiksi vaatimuksiksi tulevien eurooppalaisten ydinvoimaloiden käyttäjille.

Turvallisuusteknisten vaatimusten täyttäminen

Jotta EPR täyttäisi asetetut turvallisuustekniset vaatimukset, Saksassa ja Ranskassa arvioitiin nykyisiä teknisiä ratkaisuja ja kehitettiin yhdessä päätettyjen periaatteiden mukaisesti uusia ratkaisuja. Samoin kuin harmonisoituja vaatimuksia määriteltäessä myös teknisessä toteutuksessa vältettiin vain nykyisten ratkaisujen yhdistämistä tai jonkin nykyisen ratkaisun valitsemista paremmaksi vaihtoehdoksi.

Koko turvallisuusfilosofia määriteltiin uudelleen, ja sen perustalta kehitettiin uusi perusteellisesti harkittu konsepti. Lupaviranomaisten tavoitteena on turvallisuusjärjestelmien yksinkertaistaminen, niiden erillaisuusperiaatteen takaaminen ja järjestelmien sijoittaminen johdonmukaisesti erillisiin tiloihin. Siksi yhdistettiin saksalaisista KONVOI-laitoksista tunnettu nelinkertainen redundanssi ranskalaisissa laitoksissa käytettävään turvajärjestelmien diversiteettiin.

Häiriöiden hallintaan tarvittavat järjestelmät ovat nelinkertaiset, jotta turvallisuustavoite saavutetaan, vaikka osajärjestelmiin tulisi vikoja. Jokainen osajärjestelmä sijoitetaan lisäksi suojarakennuksen eri osastoon. Tällä estetään yhteisestä syystä, esimerkiksi tulipalosta tai tulvasta, aiheutuva kaikkien osajärjestelmien vikaantuminen. Osajärjestelmät ovat yleensä rakenteeltaan kuitenkin identtisiä, joten samoista syistä — esimerkiksi komponenttien samanlaiset



Rüdiger Leverenz esitelmöi ATS:n jäsenille Siemensin tiloissa Mankkaalla. EPR:n layout on epäilemättä ydinvoiman evoluution huippuja. (kuva: J. Aurela)

rakenneominaisuudet — johtuvien vikaantumisen mahdollisuutta ei voida sulkea pois. Tämä vikatodennäköisyys kumotaan käyttämällä diversifioituja turvallisuustoimintoja. Tämä tarkoittaa, että jos nelikanavainen turvallisuusjärjestelmä vikaantuu täysin, sen tehtävistä huolehtivat toiset järjestelmät, jotka nekin ovat yleensä nelikanavaisia.

Suuren redundanttisuuden ja diversifioitujen, turvallisuustavoitteeltaan samojen turvallisuustoimintojen yhdistelmä lisää itse turvallisuustoimintojen luotettavuutta ja vähentää merkittävästi vakavien häiriöiden todennäköisyyttä.

Vakavatkin häiriöt hallintaan hyvin

EPR:llä on lisäksi erikoisominaisuus: ennustettujen vakavien häiriöiden hallinta. Tähän kuuluu mukaan myös reaktorin sydämen sulaminen. Seurannaisriskiin luettavien hypoteettisten häiriöiden vaikutukset rajoittuvat itse laitokseen, joten sen ympäristön asukkaiden ei

tarvitse pelätä evakuoitua tai pakkomuuttoa.

Eräs tärkeä häiriöiden hallintaan myötävaikuttava tekijä on reaktoripaineastian alle sijoitettava pinta, jolle sulanut polttoaine kertyy. Kun sulanut polttoaine on poistunut paineastiasta, se leviää ja muodostaa ohuen kerroksen, joka on helppo jäähdyttää. Sitä jäähdytetään edelleen sisällä sijaitsevista altaista otettavalla vedellä, kunnes se jähmettyy ja stabiloituu suojarakennukseen, jolloin estetään massan sulaminen perustalaatan läpi. Lisäksi varmistetaan suojarakennuksen tiiviys, jotta radioaktiivisia aineita ei pääse leviämään ympäristöön. Suojarakennuksen suunnittelupaine valitaan tarpeeksi suureksi, kehittyvä vety poistetaan hallitusti ja lämmönpoistojärjestelmä ruiskuttaa suojarakennuksen ilmakehään vettä, jolloin syntyvä höyry kondensoituu ja paine laskee pysyvästi.

EPR on turvallinen ja kilpailukykyinen

On selvää, että EPR:n lisäturvatoimet aiheuttavat kustannuksia. Toisaalta sähköyhtiöt tilaavat laitoksen vain, kun voidaan osoittaa, että energian tuotantokustannukset ovat kilpailukykyiset muiden primäärienergiälähteiden kanssa. Siksi on huolehdittava, että suuremmat investointikustannukset kompensoidaan optimoimalla muut parametrit. Näihin optimointitoimiin kuuluu erityisesti laitoksen koko, 1500 MW. Niinpä ominaisrakennuskustannukset ovat pienet. Kattava standardointi vähentää suunnitteluun ja rakentamiseen tarvittavaa insinööriyöaika ja käyttää hyväksi sarjavaikutusta. Käyttöpuolella optimoidun kunnossapitojärjestelmän avulla saavutettu suuri 87 % käytettävyysaste ja korkeampi hyötysuhde pienentävät käyttökustannuksia merkittävästi.

Polttoainekustannuksetkin vaikuttavat energian tuotantokustannuksia alentavasti, koska palama on suurempi ja polttoaine käytetään tehokkaammin hyväksi. Lisäksi EPR:n käyttöikäsi suunnitellaan 60 vuotta, joten investoinnin käyttöaika on pidempi.

Koska käyttöikä on pidempi, EPR on käytössä pitkälle seuraavalle vuosisadalle, kunhan se kytketään nykyisten suunnitelmien mukaan vuonna 2005 ensimmäisen kerran verkkoon. Tästä syystä on jo jätetty hieman pelivaraa mahdollisten tulevien vaatimusten varalta. Tällä tarkoitetaan erityisesti mahdollisuutta käyttää sekaoksidipolttoainesauvoja (MOX), jolloin käytetyn polttoaineen jälkikäsitellyssä erottuva plutonium voidaan käyttää uudelleen turvallisesti ja ympäristöä vahingoittamatta.

EPR luo edellä uudet normit paitsi ydinvoimaloiden turvallisuudelle, myös kilpailukykyiselle sähköntuotannolle. Se on siksi enemmän kuin vain tuleva sähköntuotannon vaihtoehto Saksassa, Ranskassa, Euroopassa ja muualla maailmassa.

Rüdiger Leverenz toimii projektipäällikkönä Nuclear Power Internationalissa Pariisissa, p. +33 1 49 01 46 26.

Kari Kankaanpää

LOVIISAN YVA LIIKKEELLE

Loviisan voimalaitoksen historian ensimmäinen ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA) käynnistyi huhtikuussa, jolloin IVO luovutti YVA-ohjelman kauppa- ja teollisuusministeriölle. Arviointiin sisältyy neljä hanketta; laitoksen modernisointi ja tehonkorotus, KPA-varaston laajennus, voimalaitosjätteen kiinteytyslaitos sekä loppusijoitustila. Arviointimenettely saataneen päätökseen vuoden 1997 alkupuolella.

Ympäristövaikutusten arviointi on menettely, jossa ennakolta selvitetään hankkeen ympäristönsuojellinen hyväksyttävyyden. YVA:n tavoitteena on lisätä kansalaisten tiedonsaantia ja osallistumismahdollisuuksia. Menettely sai alkunsa Yhdysvalloissa 1970-luvun alussa. EU:ssa annettiin YVA:a koskeva direktiivi vuonna 1985. Suomessa laki ja asetus ympäristövaikutusten arvioinnista astuivat voimaan 1.9.1994.

YVA ei ole lupamenettely eikä siinä tehdä päätöksiä hankkeesta. Arviointimenettely on kuitenkin oltava suoritettuna ennen kuin hankkeelle voidaan myöntää eri lakien mukaisia lupia.

YVA-menettelyä sovelletaan mm. ydinvoimalaitoksiin sekä laitoksiin, jotka on suunniteltu ydinenergian tuottamisesta aiheutuvan radioaktiivisen jätteen käsittelyyn, pysyvään varastointiin ja loppusijoittamiseen.



Loviisan YVA-ohjelman tiedotustilaisuus Myllyharjun yläasteella 14.5. Vasemmalta IVO:n apulaisjohtaja Heikki Raumolin, Loviisan voimalaitoksen johtaja Jussi Helke, vanhempi hallitussihteeri Päivi Janka KTM:stä ja YVA-tuotepäällikkö Kari Kankaanpää IVO:sta. (kuva: K. Westerberg)

Kaksivaiheinen menettely

Arviointimenettely on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa laaditaan arviointiohjelma (YVA-ohjelma), joka on suunnitelma siitä, miten ympäristövaikutukset selvitetään. Arviointiohjelman ja yhteysviranomaisen siitä antaman lausunnon pohjalta suoritetaan varsinainen arviointi, jonka tulokset kootaan ympäristövaikutusselostukseksi (YVA-selostus). Arviointimenettely päättyy, kun yhteysviranomainen on antanut siitä lausuntonsa.

Eri viranomaiset, hankkeen vaikutusalueen asukkaat ja muut eturyhmät voivat menettelyn molemmissa vaiheissa ottaa kantaa hankkeeseen.

Menettelyssä keskeinen taho on yhteysviranomainen, joka huolehtii menettelyn järjestämisestä ja toimii lausunnonantajana. Ydinenergiահankkeissa yhteysviranomaisena toimii kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM).

Arvioidaan hankkeiden vaikutusta ympäristön nykytilaan

Loviisan YVA:ssa tarkastellaan pääasiassa laitoksen modernisointiin ja tehonkorotuksen sekä käytetyn polttoaineen varaston laajennuksen ympäristövaikutuksia. Lisäksi käsitellään matala- ja keskiaktiivisen voimalaitosjätteen kiinteistyksen ja loppusijoituksen ympäristövaikutuksia tarpeellisessa laajuudessa.

Eri ympäristövaikutuksia tarkastellaan lähinnä siltä pohjalta, mikä muutoksia toteutettavat hankkeet aiheuttavat ympäristössä nykytilanteeseen verrattuna. Tarkastelussa ovat mukana sekä rakentamiskäytön aikaiset vaikutukset. Onnettomuustilanteiden osalta YVA:ssa rajaudutaan supeaan arviointiin, yksityiskohtaiset turvallisuustarkastelut tehdään edelleen ydinenergiain mukaisissa menettelyissä.

Normaalikäytön aikaisina väestöön ja luonnonympäristöön kohdistuvina vaikutuksina tarkastellaan mm. vaikutuksia ympäristön säteilytilanteeseen, merialueen tilaan, maaperään ja pohjavesiin. Lisäksi tarkastellaan hankkeiden

sosioekonomisia vaikutuksia. Vaikutusalueeksi on rajattu Loviisan, Pernajan, Ruotsinpyhtään ja Pyhtään kunnat.

Tehonkorotuksen ns. nollavaihtoehtona tarkastellaan vastaavan sähkön tuottamista kivihiilellä kotimaassa tai sähkön tuontia ulkomailta.

YVA korostaa vuorovaikutusta

YVA-lain keskeisimpiä tavoitteita on lisätä avoimuutta ympäristöön vaikuttavien hankkeiden suunnittelussa. IVOn tavoitteena Loviisan YVA-menettelyssä on aktiivinen tiedotus. Ensimmäinen suurelle yleisölle suunnattu tapahtuma oli yhtiön Loviisassa 14. toukokuuta järjestämä yleisötilaisuus, jossa esiteltiin hankkeet ja suunnitelmat niiden ympäristöarvioinnista. Tilaisuuteen osallistui vajaa 40 henkeä, mikä oli ennakolta arvioitua vähemmän.

Arviointiohjelma on yleisön nähtävillä Loviisassa ja ympäristökunnissa 28. kesäkuuta saakka. Alueen asukkaita informoidaan uudelleen loppuvuodesta 1996, jolloin ympäristöarvioinnin tulokset ovat valmiina.

DI Kari Kankaanpää on Imatran Voima Oy:n YVA-tuotepäällikkö, p. (90) 8561 2330.

EU:n Ydinturvallisuustutkimusohjelma (NFS-2)

Tutkimusohjelman toinen hakukierros avautui 15.12.1995 ja umpeutui 28.2.1996. Kevään 1996 kuluessa komissio ja sen asettamat arviointiraadit ovat puntaroineet jätettyjä hanke-ehdotuksia. Hakemuksia jätettiin komissiolle kaikkiaan 148, joista 43 ehdotuksessa on mukana suomalaisia osallistujia. Komissiolta haettiin rahoitusta yhteensä 165 MECUa, ja käytettävissä on toisella hakukierroksella kaikkiaan noin 47 MECUa. Suomeen haettiin kaikkiaan komission rahoitusta noin 6,6 MECUn edestä.

Hankkeiden arvioinnin aikataulun mukaan rahoitettavien hankkeiden valinta tehdään kesäkuun loppuun mennessä ja päätökset ilmoitetaan hankkeiden koordinaattoreille heinäkuun loppuun mennessä. Näyttää ilmeiseltä, että tällä hakukierroksella suomalaishankkeet menestyivät erityisen hyvin alueilla D ja E. Ohjelmaan ehdotetut hakemukset jakaantuivat seuraavasti:

Osa-alueet	Hakemuksia yhteensä	Hankkeita, joissa suomalaisia mukana
A. Uudet innovatiiviset ratkaisut	2	1
B. Reaktoriturvallisuus	43	17
C. Radioaktiivisten jätteiden huolto ja loppusijoitus sekä ydinlaitosten purku	33	9
D. Säteilyn vaikutukset ihmiseen ja ympäristöön sekä	70	16
E. Itä-Euroopan ydin/säteilyturvallisuuden parantaminen		
YHTEENSÄ	148	43

JÄSENPALSTA

ATS juhlii vuonna 1996

Vuonna 1996 ATS juhlii 30. toimintavuottaan. Ikänsä puolesta seura on siis parhaissa voimissaan, ja toiminta on sen mukaisesti virkeää.

Alkuvuoden aikana on jo ehditty pitää neljä kokousta: vuosikokous ja kolme kuukausikokousta, ja alkukesän ohjelmaan mahtuu vielä yhteiskokous Energiakanavan kanssa. Myös seuran tiedotustoiminta on ollut erittäin aktiivista. ATS Ydintekniikan lisäksi ATS Info on julkaissut tiedotteen ”Tshernobyl — Kymmenen vuotta myöhemmin” yhteistyössä Energiakanavan ja Sähkövaltuuskunnan kanssa. ATS Info valmistele KTM:n toimeksiannosta julkaisun ”Nuclear Energy in Finland” uutta painosta.

Syyskauden merkittävin jäsentapahtuma on 30-vuotisseminaari ja siihen liittyvä iltajuhla, jotka pidetään vakiintuneen tavan mukaan Lord-hotellissa perjantaina 25.10.1996. Varatkaa aika kalenteriinne! Seminaarin valmistelu on jo aloitettu, ja ohjelmasta pyritään tekemään uusia uria aukova — itse asiassa keskeisenä teemana on Suomen ydinvoimatilanne vuonna 2016, jolloin ATS täyttää 50 vuotta. Ennustajan rooli on epäkiitollinen, mutta mielenkiintoinen.

Vuotuista ulkomaanekskursiota suunnitellaan Etelä-Koreaan, joka tällä hetkellä on ydinvoiman lisärakentamisen kärkimaita. Euroopan maiden lisäksi ATS:n delegaatio on vieraillut aikaisemmin USA:ssa, Kanadassa, Kiinassa, Japanissa ja Meksikossa, joten Korean

valitseminen matkakohteeksi on varsin johdonmukaista. Matkavarauksia on tehty aikavälille 8.–16.11.1996, ja matkan kustannukset pyritään minimoimaan osallistumisen helpottamiseksi. Matkakohde on taatusti kiinnostava sekä ammatillisesti että muutoinkin.

Nuorten jäsenten verkosto Nuclear Young Generation (NYG) Finland on aloittamassa toimintaansa. Energiakanava toimii edelleen aktiivisesti. ENS näkyy seuran jäsenille parhaiten Nuclear Europe Worldscan -lehden ilmestymisenä postilaatikkoon. Ja lopuksi on syytä muistuttaa tästä ATS Ydintekniikasta, joka on kaiken jäsen toiminnan perusta.

Eero Patrakka

ATS:n johtokunta vuonna 1996

ATS:n johtokunnan puheenjohtajana jatkaa Eero Patrakka. Seuran sihteerinä pitkään palvelut Petra Lundström jättää sihteerintehtävät, ja hänen seuraajakseen tuli Timo Ritonummi kauppa- ja teollisuusministeriöstä. Kiitos Petralle aktiivisesta toiminnasta!

EERO PATRAKKA toimii kehityspäällikkönä Teollisuuden Voima Oy:ssä. Hän vastaa TVO:n kehitysprojekteista ja osallistuu Olkiluodon laitoksen modernisointiin. Hän vastaa TVO:n ydinjätteesiin liittyvien tehtävien koordinoimisesta. ATS:n johtokunnassa Eeron erityisinä vastuualueina ovat ekskursion ja ydintekniikan tulevaisuuden näkymien seuraminen Suomessa ja ulkomailla.

PERTTI SALMINEN on Teollisuuden ja Työnantajain Keskusliiton (TT) energiapoliittinen asiamies. Hän on perehtynyt energiapoliittiseen edunvalvontaan päävastuualueina perusvoimaratkaisut, energiaverot ja EU. Pertti on

johtokunnan varapuheenjohtaja ja vastaa seuran ulkoisesta tiedotuksesta ja ydinvoimaan liittyvistä yhteiskuntasuhteista sekä on ATS-Infon puheenjohtaja.

ILARI ARO on Säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosaston koulutuspäällikkö. Hän vastaa mm. ydinvoimalaitosten koulutustoiminnan arvioinnista ja ohjainten lisensoimisesta. ATS:n johtokunnassa hänen tehtävänä on kuukausikokousten suunnittelu ja muu koulutus.

EIJA KARITA PUSKA on VTT Energian erikoistutkija. Hänen päätehtävänsä on APROS-voimalaitossimulaattorin suunnittelu. ATS:n rahastonhoitajana hänen tehtäviinsä kuuluu budjetin laadinta, seuranta sekä jäsenmaksuasiat.

TIMO RITONUMMI on erikoistutkija Kauppa- ja teollisuusministeriön Energiaosaston Energiamarckinaryhmässä. ATS:n johtokunnan sihteerinä hän vastaa kuukausikokousten ja seminaarien suunnittelusta ja toteutuksesta, nuoren jäsenistön aktivoinnista ja seuran sisäisestä tiedotuksesta.

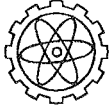
EERO MATTIILA on IVO Internationalin ydinjätetekniikan tuoteryhmäpäällikkö. Lisäksi hän vastaa Loviisan keski- ja matala-aktiivisen ydinjätteen loppusijoitustilan rakennusprojektista. ATS:n johtokunnassa hän vastaa kannatusjäsenasioista.

SEPPÖ VUORI on VTT Energian johtava tutkija ja Julkishallinoidun ydinjätetutkimuksen ohjelman (JYT) johtaja. Johtokunnassa hän edustaa tutkimukseen ja opetukseen liittyvää seuran toimintaa. Lisäksi hän jatkaa edelleen ATS Ydintekniikka-lehden erikoistoimittajana.

Timo Ritonummi

Kesätapahtumia

SIGYN vierailee Raumalla 22.–25.8.1996. ATS:n jäsenille järjestetään tilaisuus tutustua laivaan. Seuraa jäsenpostiasi! (SV)



ATS

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA -
ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND r.y.
FINNISH NUCLEAR SOCIETY

JÄSENHAKEMUS - MEDLEMSANSÖKNING

Täydellinen nimi _____
Fullständig namn _____

Kotiosoite _____
Hemadress _____

Postitusosoite _____
Postadress _____

Puhelin kotiin _____ toimeen _____
Telefon hem _____ tjänst _____

Toimipaikan osoite _____
Tjänstadress _____

Telekopio & E-mail toimeen _____
Telefax & E-mail till tjänst _____

Syntymävuosi / Opinnot ja suoritettut tutkinnot
Födelseår / Studier och avlagda examina

19 ____ / _____

Nykyinen toimipaikka ja tehtävä tai virkanimike
Nuvarande tjänst och uppdrag eller yrkesbenämning

Aikaisempi toiminta _____
Tidigare verksamhet _____

Paikka ja aika _____
Ort och datum _____

Suosittelijat (nimikirjoitus ja selvennys)
Förordarna (namnteckning och förtydligande)

Hyväksytty Johtokunnassa _____
Godkänt av Direktionen _____

Kutsu lähetetty _____
Kallelse sänd _____

Kopioi tästä!

English abstract

EDITORIAL

Törrönen (page 1)

Research is one of the most important ways to improve safety of nuclear power. The research priorities has recently been surveyed by OECD. Within structural safety research the ageing of materials and components is a key topic in the future research. For operational safety human factors — especially related to shutdown and maintenance conditions — as well as fire safety analyses are important future topics.

The problems related to ageing phenomena have also been identified as the most important area in the research programme of the Joint Research Centre (JRC). The European Commission contributes with significant funding through the PHARE and TACIS programmes the improvement of the nuclear safety within countries of the eastern Europe and the former Soviet Union.

In the European scale the nuclear research activities are quite comprehensive and significant improvements in nuclear safety have been achieved. A more difficult task is to convey this message to the general public and the political decision-makers

FINNISH NUCLEAR RESEARCH INHERITS 3 MILLIONS FROM A LATE ENCOURAGER

Holmberg (page 2)

Mr. Wilhelm Guerrillot was born in 1904. He made a good career as an engineer in the car industry. It was known that was very interested in nuclear power but when he died in 1993 a big surprise took place. He devoted three million marks to be given to the Finnish nuclear research. A special fund was founded in 1994 to organize the distribution of money. The first round took place the same year and the second last year. One of Mr. Guerrillot's conditions was that the money should be distributed as stipends (doctoral thesis etc.) and prices of honour in only four years.

Stipends and prices of honour will be awarded also this year. The call for applications in published in this issue. And the Finnish nuclear research will still have the fourth and the last round in 1997.

MODELLING AND EXPERIMENTS ON SEVERE ACCIDENT PHENOMENA

Okkonen (page 4)

Phenomena of severe reactor accidents form a major research focus at the Division of Nuclear Power Safety at Royal Institute of Technology (KTH). The author's research work includes modelling and experiments on the following phenomena: film boiling of water, melt jet breakup in water, freezing and fragmentation of melt droplets, metal oxidation and hydrogen generation. These phenomena affect the

severe accident progression and management in the Swedish and Finnish boiling water reactors, in particular.

IN-SITU GAMMA SPECTROSCOPY IN FINNISH NUCLEAR POWER PLANTS

Tanner (page 7)

In-situ gamma spectroscopy is used annually in all the Finnish NPPs to monitor the nuclide specific contamination activity of the process components. These measurements are performed by VTT Chemical Technology with the MARC-measurement system (Measurement and Analysis of Reactor circuit Contamination). MARC is a mobile high count-rate gamma spectroscopy system, which can be used in power plant environment. The most common measurement targets are contaminated pipes, tanks and heat exchangers. The system efficiency calibration is done either with calculational or experimental methods. For the most challenging targets a Monte Carlo particle simulation is used.

DOSE ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC RADIOACTIVE RELEASES

Ilvonen (page 10)

Methods developed by VTT Energy to calculate radiation doses caused by airborne radioactive material are described. Procedures in the calculational models include atmospheric transport, dispersion, deposition, chain decay and integration of doses. To obtain concentrations and

fallout, meteorological data are crucial, and there is a long tradition of co-operation with the Finnish Meteorological Institute (FMI). Some applications both in probabilistic assessment and emergency preparedness are also briefly described. At the moment, the emphasis is shifting from old models ARANO and TRADOS to the new model SILJA, which features the possibility of a much more detailed description of the phenomena and the use of modern programming paradigms, like object-oriented design in Fortran-90. Future plans include utilization of radiological measurements, parallel computation and intelligent graphical user interfaces.

SPECIATION OF STRONTIUM AND PLUTONIUM IN AQUATIC ECOSYSTEMS

Rosenberg (page 14)

In 1995 VTT and the Laboratory of Radiochemistry of the University of Helsinki initiated jointly a project on the speciation of ^{90}Sr and ^{239}Pu . The work has two goals. One is to develop methods for the general classification of the chemical species of radionuclides in water. The second goal is to get more insight in the behaviour of ^{90}Sr and ^{239}Pu in water ecosystems. At present literature reviews on the behaviour of ^{90}Sr and ^{239}Pu have been prepared, the classification method is almost ready, and some laboratory simulations on the speciation of ^{90}Sr have been done. The work will continue at least this year, and the years 1997 and 98 also, if funding will be provided.

APPLICABILITY OF WESTERN COMPUTER CODES ON RBMK REACTORS

Korteniemi (page 16)

Western countries have taken several steps towards enhancing the safety of Russian type nuclear power plants. Great interest has been focused especially on the RBMK-type NPPs. In Finland there's been concern on the operational safety of the near-by Leningrad NPP.

In the Nuclear Laboratory at Lappeenranta University of Technology (LTKK) experimental safety research has been carried out for several years in co-operation with VTT Energy. Research work has included thermal-hydraulic analyses mainly on the VVER-type Loviisa NPP, using experimental facilities like PACTEL and large integrated thermal-hydraulic computer codes as analysis tools.

Since the year 1995 a research project on RBMK-type NPP has been carried out in LTKK. The aim of the project is to become more acquainted with RBMKs in general and test the ability of the western computer codes to simulate a RBMK geometry. The work is done by using advanced computer codes, Finnish APROS and French CATHARE, in analyses on behaviour of RBMKs, especially on the thermal-hydraulic point of view.

PUGWASH AND NUCLEAR DISARMAMENT

Miettinen (page 20)

The article describes the development of nuclear weapons in the 1940s and 1950s. The great hydrogen bomb tests in the middle of 1950s caused a global radioactive fallout. This led to a conference in Pugwash, New Founland, of world's leading scientists, which demanded cessation of the bomb tests.

The "Pugwash-conferences became an annual event; nuclear disarmament became the central theme of them. After 1987 the USA and the Soviet Union/Russia agreed about considerable reductions of their nuclear weapons. Pugwash has demanded a world without nuclear weapons but the leading nuclear powers still keep arsenals of many thousands of nuclear weapons trying to justify them with arguments of the cold war period.

EPR — EUROPEAN PRESSURISED REACTOR

Leverenz (page 25)

EPR is being developed by the most experienced European suppliers of nuclear power plants. The Basic Design is carried out in cooperation with French and German utilities determined to implement EPR into their grids by the turn of the century. EPR is evolutionary developed on basis of the existing plants in France and Germany which serve as reference plants proving outstanding performance records.

The licensing authorities of France and Germany accompany the development by reviewing the design results in parallel to the development. The safety approach goes far beyond the present world-wide practice and fulfils the challenging Finnish requirements regarding the mitigation of severe accidents as laid down in the YVL guides.

The power generation costs of EPR will be competitive with other primary energy sources. The price tag for an EPR could be today 15 billion marks.

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT PROCESS STARTED FOR LOVIISA NPP

Kankaanpää (page 27)

The modernization and power upgrading project of Loviisa NPP has started this spring the process of Environmental Impact Assessment. This procedure is mandatory for all major construction/ investment projects in Finland. A comprehensive evaluation of the environmental impacts is carried out and the alternative solutions are discussed as well. The most important change to present situation is the additional temperature increase (of about 1 °C) of the cooling water at the outlet point. The general public can participate in the process through public hearings. The whole assesment process will last over one year.

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA –

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



Kannatusjäsenet

ABB Power Oy

Fintact Oy

IVO International Oy

Kemira Oy, Energia

Oy Mercantile-KSB AB

NAF Oy

Neste Oy

Nokia Oy Ab Voima

Perusvoima Oy

Pohjolan Voima Oy

Posiva Oy

PRG-Tec Oy

Rados Technology Oy

Saanio & Riekkola Oy

Siemens Osakeyhtiö

Oy Soffco Ab

Suomen Atomivakuutuspooli

Suomen Malmi Oy

Teollisuuden Voima Oy

Terasto Oy

VTT Energia

YIT-Yhtymä Oy