



ATS

YDINTEKNIikka

SISÄLTÖ

YDINTEKNIIKAN TUTKIMUS

Lisää tietoa	1
Nordic safety research aims at maintaining knowledge and harmonizing views	2
Kansalliset ydinenergia-alan tutkimusohjelmat	4
EY panostaa ydinenergiatutkimukseen	7
Turvallisuus — välttämätön edellytys ydinenergian käytölle	10
IVO:n ydinvoimatutkimus — yhteistyötä kotimaassa ja ulkomailla	11
Maailman tutkimusreaktorit	13
FiR 1, Otaniemen TRIGA-reaktori, 28 vuotta ydintekniikan palveluksessa	15
Ydinpolttoainetutkimukset IVO:ssa	18
APROS-ohjelmisto voimalaitosten simulointiin	21
PACTEL — termohydraulinen koelaitteisto	23
Ydinvoimalaitosmateriaalien ympäristön aiheuttamat murtumisilmiöt	24
Säteilyhaurastuminen	25
Reaktoripaineastiaterästen säteilyhaurastumisen tietopankki toteutettu	26
Pohjavesivirtausten mallinnus ydinjätteiden sijoituspaikkatutkimuksissa	27
Palmotun uraaniesiintymä ydinjäteanaloggiana	29
Tietämyspohjainen järjestelmä radionuklidien identifikaatioon	31
Vuosi Ranskassa vierailevana tutkijana	33
ENS:n seminaari "Women and Nuclear Energy" ..	35
Sihteerin sana — Laajaa pohjoismaista yhteistyötä suomalaisten johdolla	36
Ytimekkäät	38
Lyhyesti maailmalta	40
English abstracts	
Special issue: Nuclear energy research	42

ATS

YDINTEKNIikka

2/90, vol. 19

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

TOIMITUS

Päätoimittaja
DI Heikki Raumolin
Perusvoima Oy
PL 138, Malminkatu 16
00101 Helsinki
P. 90-60906017

DI Kirsti Tossavainen
Säteilyturvakeskus
PL 268
00101 HELSINKI
P. 90-708 2388

Erikoistoimittaja
FK Osmo Kaipainen
Teollisuuden Voima Oy
Fredrikinkatu 51—53
00100 Helsinki
P. 90-605022

Toimitussihteeri
DI Pertti Salminen
Teollisuuden Keskusliitto
PL 220, Eteläranta 10
00131 Helsinki
P. 90-180 1233

Erikoistoimittaja
DI Jorma Aurela
Imatran Voima Oy
PL 23
07901 Loviisa
P. 915-550576

JOHTOKUNTA

Pj DI Ilkka Mikkola
Teollisuuden Voima Oy
Fredrikinkatu 51—53 B
00100 Helsinki
P. 90-605022

Jäs. DI Klaus Kilpi
VTT/Ydinvoimatekniikan laboratorio
Lönnrotinkatu 37
00180 Helsinki
P. 90-648931

Vpj. TKT Rainer Salomaa
TKK/Teknillisen fysiikan laitos
Otakaari 2
02150 Espoo
P. 90-4513199

Jäs. DI Leif Blomqvist
Säteilyturvakeskus
PL 268
00101 Helsinki
P. 90-70821

Rh DI Anna-Maija Kosonen
VTT/Metallilaboratorio
PL 26
02151 Espoo
P. 90-43566858

Jäs. DI Jorma Kotro
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa
P. 90-5082416

Siht. DI Jussi-Pekka Palmu
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa
P. 90-5084562

TOIMIHENKILÖT

Yleissihteeri
Tekn.yo Petra Lundström
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa
P. 90-5085422

Ekskursios sihteeri
DI Jorma Aurela
Imatran Voima Oy
PL 23
07901 Loviisa
P. 915-550576

Kans.väl.yhteyks.siht.
DI Klaus Kilpi
VTT/Ydinvoimatekniikan lab.
Lönnrotinkatu 37
00180 Helsinki
P. 90-648931

ATS-Info puheenjohtaja
DI Antti Hanelius
Suomen Voimalaitosyhdistys ry.
Lönnrotinkatu 4 B
00120 Helsinki
P. 90-602944

Professori Pekka Silvennoinen
on VTT:n energiatekniikan tut-
kimusosaston tutkimusjohtaja,
p. 90-456 4140

ATS YDINTEKNIikka (19) 2/90

YDINTEKNIIKAN TUTKIMUS

Vuoden 1990 numeroiden teemat ovat:

- No. 1 Uutta ydinvoimaa Suomeen
dead-line 31.1.
- No. 2 Ydintekniikan tutkimus
dead-line 30.4.
- No. 3 Ydinvoiman riskit
dead-line 31.8.
- No. 4 Ekskursion kohdamaa
dead-line 9.11.

Vuosikerran tilaushinta muilta kuin
ATS:n jäseniltä: 200 mk

Ilmoitushinnat: 1/1 sivua 1300 mk
1/2 sivua 800 mk
1/3 sivua 600 mk

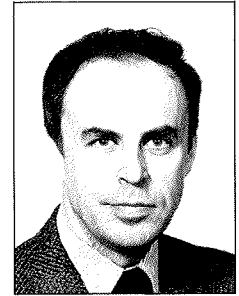
Toimituksen osoite:

ATS Ydintekniikka
c/o Pertti Salminen
Teollisuuden Keskusliitto
Eteläranta 10, PL 220
00131 Helsinki
p. 90-180 9233
telefax 90-180 9209

Lehdessä julkaistut artikkelit edustavat
kirjoittajien omia mielipiteitä, eikä ni-
iden kaikissa suhteissa tarvitse vastata
Suomen Atomiteknillisen Seuran kan-
taa.

ISSN-0356-0473

Pekka Silvennoinen, VTT



Lisää tietoa

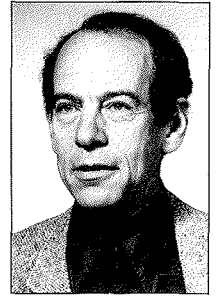
Ydinenergian riskit ovat vielä liian monien mielestä liian suuria tai liian epävarmasti arvioitavissa, jotta uraani ja plutonium voisivat saada niille muuten kuuluvan aseman energianlähteinä. Tarvitaan lisää tutkimusta, tietoa ja tulosten hyväksikäyttöä. Siksi ydinvoimatekniikan tutkimuksen painopiste on meillä nimenomaan turvallisuustutkimuksessa.

Kevytvesireaktorioiden turvallisuustekniset suunnitteluperusteet ovat muuttuneet oleellisesti sitten 1960-luvun lopun, jolloin ensimmäinen ydinvoimala tilattiin Suomeen. Muutokset ovat perustuneet käyttökokemuksista ja onnettomuuksista oppimiseen sekä jatkuvaan tutkimus- ja kehitystyöhön. Tutkimusta on suurelta osin tehty muualla ja tuloksia sovellettu täällä. Muutostöitä on vielä tehtävä sydämen sulamisonnettomuuden hallitsemiseksi. Sulamista kuvaavat teoreettiset mallit ovat vielä varsin puutteellisia. Toteutettavia ratkaisuja on tuettava osin omin kokein.

Vanhojen ydinvoimaloiden turvajärjestelmiä parannettaessa on joskus jouduttu sovittamaan yhteen vastakkaisiin tavoitteisiin tähtääviä vaatimuksia. Oppirahojen maksamisen myötä Suomeen on nyt saatu aikaan selkeät suunnitteluohjeet. Ydinvoiman jatkorakentamisen kannalta tiedon taso ja oma osaamisemme olisivat parempia kuin koskaan.

Toinen tutkimus-, selvitys- ja kehitystyön painopiste on ydinjätehuolto. Sekin työ palvelee välillisesti jatkoa. Määrätietoinen panostus voimakkaasti radioaktiivisten jätteiden Suomessa tapahtuvan loppusijoituksen tutkimiseen on omiaan pitämään yllä kilpailutilannetta mahdollisten ydinvoimalatoimittajien kesken. Vaikka näiden jätteiden toimittaminen pois Suomesta olisikin toivottavaa, se ei nouse kynnyskysymykseksi uusia voimalavaihtoehtoja punnittaessa.

Ydintekniikan tutkijoidemme tulee voida osallistua kansainvälisesti haasteellisiin tutkimushankkeisiin. Joskus ulkopuolisten asenteista saa vaikutelman, että heidän katsotaan olevan lähinnä reservinä Suomen ydinvoimaohjelman jatkoa varten. Näin ei voi olla, sillä osaamista ja ytyä syntyy vain uutta luovassa tutkimuksessa. □



Nordic safety research aims at maintaining knowledge and harmonizing views

A new Nordic safety programme in the nuclear field has just started. Apart from Finland it is only Sweden, out of the five Nordic countries, who has nuclear power plants. Why then is it of interest to maintain joint Nordic research on safety questions related to nuclear power?

After Chernobyl there has been a growing awareness of the need for a competent staff even in countries without own nuclear plants. All the Nordic countries are in some way surrounded by or in contact with nuclear installations at a certain distance. They must all be able to judge the safety of own and foreign nuclear plants. They must also be qualified to take necessary countermeasures, and be well informed, should news about unwanted events appear.

Such competence is also needed to satisfy the requirements of international and bilateral conventions which the individual Nordic countries have undersigned with a number of countries. These conventions deal with exchange of information and with mutual assistance related to nuclear accidents. Active work is needed to maintain the necessary competence and to develop it further.

Therefore, it was decided in 1989 to embark on a new four-year programme, the fourth in a row since 1977. Basic funds for all the previous programmes had come

from the Nordic Council of Ministers. They have now set other priorities for their Nordic cooperation, mainly related to the "Brundtland report".

Finland's share of the basic finance for the new programme comes from the Ministry of trade and industry (KTM). In the four other countries, it is the safety authorities who cover the basic common expenditure. In addition a number of co-sponsors have stepped in — in Finland IVO and TVO — so that the targeted annual amount of 6.5 million DKK (approximately 4 million FIM) is attained.

Above this, experience from the forerunner programme shows that these basic funds will most probably be supplemented by in-kind contributions from interested parties. In this way the total work embraced by the safety programme may double or tripple. Thus, the Nordic programme can provide a non-negligible complement to national research.

25 new Nordic reports are now edited

Presently, the 1985—89 programme results are being presented in the NKA report series, mainly in English in order to reach even an international target group.

Final reports from the NKS 1985—89 programme.

AKT

Severe reactor accident assessment, a Nordic survey
Severe accident analysis, a Nordic study of codes
Aerosol transport in severe reactor accidents
Chemical reactions in reactor accidents
Environmental consequences of releases from large reactor accidents
The Nordic Chernobyl data base
Deposition of radioactive fall-out

KAV

Aspects of nuclear waste management
Geologifrågor i samband med slutförvar av kärnbränsle
Decommissioning of nuclear reactors
Nordiska transporter
Kvalitetssäkring av transportbehållare för radioaktivt material
Management of radioactive waste from a major core damage in a BWR power plant

RAS

Risk analysis and safety rationale
Optimization of radiation protection at nuclear power plants
National radiation, nuclear wastes, and chemical pollutants
Radioaktivitet i Norden
Optimization of technical specifications by use of probabilistic methods
Dependencies, human interactions and uncertainties
Principles for decisions involving environmental and health risks

MAT

Corrosion in seawater systems
Intergranular stress corrosion cracking
Crack arrest — Additional safety against catastrophic fracture
Prevention of catastrophic failure in pressure vessels and pipings

INF

Information technology for emergency management

Some of the programme areas have been directly related to nuclear power plants — for example those dealing with events that may occur during severe accidents, such as aerosol behaviour in the reactor core and chemical reactions. The use of probabilistic safety analyses (PSA) has been analysed with special emphasis on common cause failures, human interactions, and uncertainty aspects. Methods for assessment of fracture mechanisms in reactor tank steel have been improved so as to exclude serious cracks.

Other programmes are centered around environmental questions (here the projects were re-directed after Chernobyl) and waste management. Thus, a Nordic database with environmental measurements has been created, and in a waste project it has been shown that even in a severe accident in a BWR, the waste occurring can be taken care of in existing treatment plants at the reactor sites. A group of questions has dealt with the relative risk of nuclear power and with optimization of protection. Finally, a

prototype has been developed for an automated assistance system for decision-makers in emergency cases.

Presently, the past programme is being evaluated, Heikki Kalli and Heikki Rautolin participate in the evaluation where a report is scheduled for the second part of 1990.

The new programme started in January 1990

The new four-year safety research programme includes 15 main projects with four programme areas. The programme is directed towards obtaining a joint basis for judging the safety of nuclear power and for the possible effects and countermeasures in case of accidents. Some of the projects deal with specific development areas — often based on more detailed project work performed in some of the countries, or for example in Finnish/Swedish joint projects. Other projects are centered around the establishment of a common Nordic frame by

comparing national work, directing further development and drawing overall conclusions.

In a second part of the programme, all projects will be involved in one or several Nordic emergency exercises. As an ultimate step it is planned to test the response to an accident supposed to occur outside the Nordic area but with various consequences in all the countries.

The safety research programme is directed by the NKS committee whose chairman is Svante Nyman from the Nuclear training and safety center of the Swedish utilities (KSU). The Finnish NKS-members are Lasse Mattila, Bjarne Regnell, and Anneli Salo. For each of the four programmes a reference group has been formed with representatives from all the Nordic countries. There is also a follow-up group from those electricity producers who have nuclear power plants. The first seminars within the four project areas will be held at the end of 1990.

The Nordic safety projects do not only result in advances in our knowledge and abilities. They have an important function in the contact they provide among researchers, safety authorities, and other decision makers in the Nordic countries, contacts which can be of great value in the daily work as well as in case a critical situation should occur in the future. □

Projects of the NKS 1990—93 programme

Emergency in Abnormal Radiation Situations (BER-programme).

Coordinator: Erling Stranden, SAT, Norway

Project leaders

BER-1	Dispersion and environmental consequences	Ulf Tveten, IFE
BER-2	Strategy and methodology for measurements and data handling/exchange for decision makers	Leif Blomqvist, STUK
BER-3	Evaluation, harmonization of plans for countermeasures and use of intervention levels	Ole Walmod-Larsen, Risø
BER-4	Background for information to the public	Sven Carlsson, SSI
BER-0	Emergency exercises	Anneli Salo, STUK

Nuclear Waste and Decommissioning (KAN-programme)

Coordinator: Johan Andersson, SKI, Sweden

KAN-1	Waste questions related to decommissioning	Anne Liv Rudjord, SIS
KAN-1.1	Criteria for declassifying radioactive materials	Esko Ruokola, STUK
KAN-1.2	Experience from decommissioning of the reprocessing pilot plant	John E. Lundby, IFE
KAN-1.3	Conservation of information	Mikael Jensen, SSI
KAN-2	Management of waste from accidents, transportation, etc.	Jukka Lehto, Helsinki University
KAN-3	Geology and climatology research relevant for the long term safety of waste	Fritz Kautsky, SKI

Radioecology (RAD-programme)

Coordinator: Henning Dahlgaard, Risø, Denmark

RAD-1	Training, education, and methods	Elis Holm, University of Lund
RAD-2	Aquatic radioecology	Manuela Notter, SNV
RAD-3	Terrestrial radioecology — agricultural	Lars Egil Haugen, NLH
RAD-4	Terrestrial radioecology — natural eco-systems	Aino Rantavaara, STUK

Reactor safety — availing of knowledge (SIK-programme)

Coordinator: Risto Sairanen, VTT

SIK-1	Safety evaluation	Kari Laakso, VTT
SIK-2	Severe accidents	Wiktor Frid, SKI
SIK-3	Safety of reactors in nearby countries	Erik Nonbøl, Risø

Franz Marcus is engineer and chemist and works as secretary general for the Nordic liaison committee for atomic energy (NKA) as well as for the Nordic nuclear safety research (NKS) committee.



Kansalliset ydinenergia-alan tutkimusohjelmat

Kauppa- ja teollisuusministeriön rahoittama ydinenergiatutkimus tukee energiapoliittista päätöksentekoa ja varmistaa ydinenergian käytön valvonnan perustumisen korkeatasoiseen riippumattomaan asiantuntimukseen. Julkinen hallinto vastaa osaltaan siitä, että Suomessa on ydinenergian käytön edellyttämä koulutusjärjestelmä, tutkimus- ja kehitystoiminnan vaatimat henkilöstö- ja laitteistoresurssit sekä edellytykset kansainväliseen yhteistyöhön. Tavoitteellisuuden, tuloksellisuuden ja hyödynnettävyyden parantamiseksi on pääosa ydinenergiatutkimuksesta organisoitu kolmeksi kansalliseksi tutkimusohjelmaksi.

Nykyisten ydinvoimalaitosten luotettavan ja turvallisen käytön varmistaminen sekä ydinjätehuollon turvallinen toteuttaminen ovat lähitulevaisuuden keskeiset tutkimustavoitteet. Tutkimusohjelmat toteutetaan siten, että ne samalla tukevat asiantuntijoiden perus- ja jatkokoulutusta. Laajat tutkimuskokonaisuudet mahdollistavat myös systemaattisen ja tehokkaan kansainvälisen yhteistyön. Tutkimusohjelmat ovat:

- Ydinvoimalaitosten käyttöturvallisuuden tutkimusohjelma (1990—1994)
- Ydinvoimalaitosten rakenteellisen turvallisuuden tutkimusohjelma (1990—1994)
- Julkisrahoitteisen ydinjätetutkimuksen ohjelma (1989—1993)

Tutkimusohjelmien lisäksi on vuosittain käynnissä useita pienekkoja hankkeita lähinnä ympäristönsuojelun, fuusioenergian, ydintekniikan erityissovellusten ja ydintekniikan perustutkimuksen alueilta.

Tutkimus hajautettu useaan tutkimuslaitokseen

Useimmista muista ydinenergia-alaista poiketen Suomeen ei ole perustettu yksinomaan ydinenergiatutkimukseen erikoistunutta tutkimuslaitosta, vaan tutkimus- ja kehitystyö on hajautettu useisiin tutkimusyksiköihin ja -ryhmiin. Julkisrahoit-

TUTKIMUSOHJELMAT PÄHKINÄNKUORESSA

Ydinvoimalaitosten käyttöturvallisuuden tutkimusohjelma

Kokonaislaajuus: 130—140 Mmk
KTM:n rahoitus: 42—47 Mmk
Laajuus 1990: 21,4 Mmk, 37 htv
KTM:n rahoitus 1990: 7,0 Mmk
Tutkimuslaitokset:
Kuopion yliopisto
Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu
Valtion teknillinen tutkimuskeskus
Imatran Voima Oy
Tutkimusohjelman johtaja:
Professori Lasse Mattila,
VTT/Ydinvoimatekniikan laboratorio

Ydinvoimalaitosten rakenteellisen turvallisuuden tutkimusohjelma

Kokonaislaajuus: 65—70 Mmk
KTM:n rahoitus: 30—35 Mmk
Laajuus 1990: 9,6 Mmk, 17 htv
KTM:n rahoitus 1990: 5,4 Mmk
Tutkimuslaitokset:
Helsingin yliopisto
Valtion teknillinen tutkimuskeskus
Imatran Voima Oy
Tutkimusohjelman johtaja:
TkT Hannu Hänninen,
VTT/Metallilaboratorio

Julkisrahoitteisen ydinjätetutkimuksen ohjelma

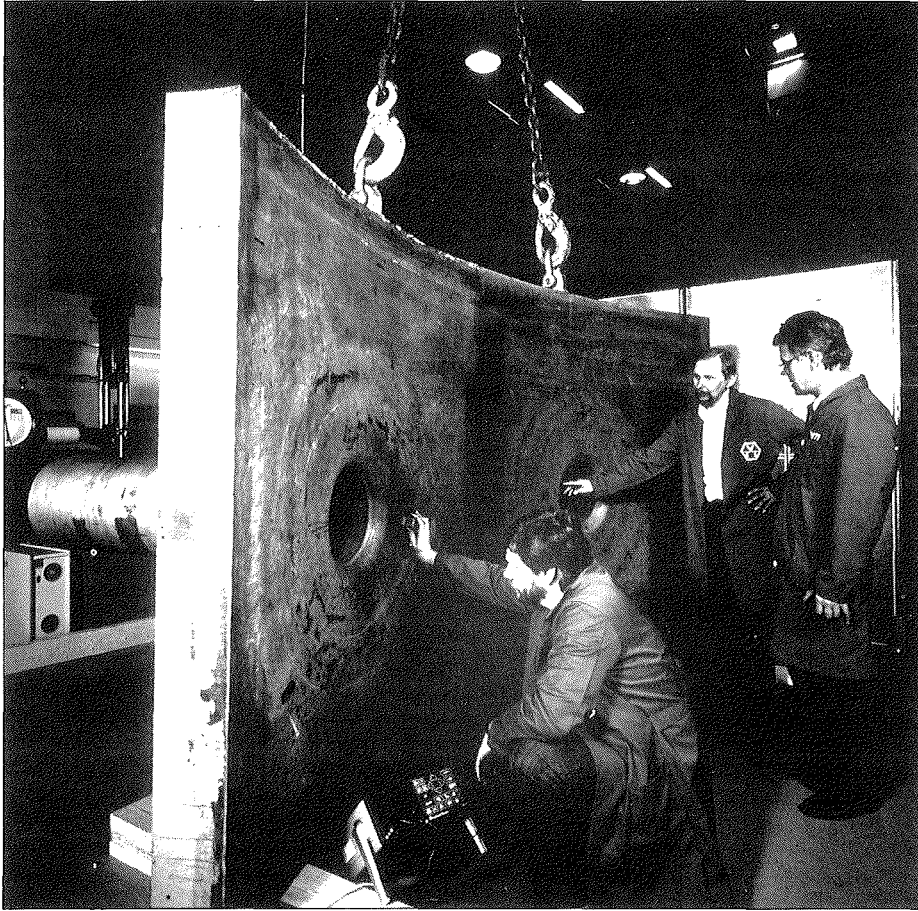
Kokonaislaajuus: 40—45 Mmk
KTM:n rahoitusosuus: 30—35 Mmk
Laajuus vuonna 1990: 7,9 Mmk, 23 htv
KTM:n rahoitus 1990: 6,0 Mmk
Osallistujat:
Geologian tutkimuskeskus
Helsingin yliopisto
Teknillinen korkeakoulu
Valtion teknillinen tutkimuskeskus
Tutkimusohjelman johtaja:
TkT Seppo Vuori,
VTT/Ydinvoimatekniikan laboratorio

Tutkimusohjelmiin kuulumattomat erillishankkeet

Laajuus vuonna 1990: 12 Mmk, 25 htv
KTM:n rahoitus 1990: 3 Mmk
Tutkimuslaitokset:
Helsingin yliopisto
Ilmatieteen laitos
Säteilyturvakeskus
Teknillinen korkeakoulu
Valtion teknillinen tutkimuskeskus

teinen tutkimus tehdään suurimmaksi osaksi Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa (VTT). Tärkeimmät muut tutkimuslaitokset ovat Geologian tutkimuskeskus, Helsingin ja Kuopion yliopistot, Lappeenrannan ja Helsingin teknilliset korkeakoulut, Ilmatieteen laitos sekä säteilyturvakeskus (STUK).

Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) on tutkimuksen keskeinen rahoittaja. Muita merkittäviä rahoittajia ovat VTT ja STUK. Ydinvoimayhtiöt osallistuvat myös muutaman projektin rahoitukseen. Julkisrahoitteisen tutkimuksen ohjaamisessa ja suuntaamisessa on neuvoo-antavana elimenä KTM:n yhteydessä toimiva



Testaukseen käytettävien menetelmien luotettavuutta tutkitaan kansainvälisenä yhteistyönä OECD:n PISC 3 -tutkimusohjelmassa. Kuvassa ohjelmaan kuuluva reaktoripaineastian osa NDT-testauksessa.

ydinenergianeuvottelukunta. Koordinoiva elin on KTM:n ydinenergiatoimisto. Lisäksi KTM on asettanut jokaiselle tutkimusohjelmalle johtoryhmän, joka ohjaa ja valvoo tutkimusta.

Ydinenergian turvallisuustutkimuksessa kansainvälinen yhteistyö on erittäin tiivistä ja avointa. Yhteistyön suotuisaan kehittymiseen ovat vaikuttaneet lähinnä yhtenevät turvallisuustavoitteet ja mahdollisuudet jakaa erittäin kalliiden tutkimus- ja koelaitteistojen kustannuksia. Suomelle kansainvälisen yhteistyön merkitys on ratkaiseva kokeellisessa tutkimuksessa sekä laajojen, erityisesti turvallisuusselvityksissä käytettävien tietokoneohjelmistojen kehitystyössä.

Ydinvoimalaitosten käyttöturvallisuuden tutkimusohjelma

Käyttöturvallisuustutkimuksen keskeiset alueet ovat häiriö- ja onnettomuustilanteiden hallinta, ydinvoimalaitosanalyysointien kehittäminen sekä todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi. Häiriö- ja onnettomuustilanteiden hallinnalla pyritään vaaratilanteiden varhaiseen havaitsemiseen ja pysäyttämiseen sekä seurausten rajoittamiseen niin vähäisiksi kuin mahdollista. Ydinvoimalaitosanalyysointitehostaa häiriö- ja onnettomuusanalyysia suunnittelussa, turvallisuusarvioinneissa ja myös koulutustarkoituksissa. Todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin tavoitteena on turvallisuuden monipuolinen arviointi ja tasapainoinen edelleen kehittäminen sekä käyttövarmuuden ja turvallisuuden vaatimusten yhteensovittaminen.

Tutkimus kattaa turvallisuusarvioinnin kannalta kaikki kuviteltavissa olevat suomalaisten ydinvoimalaitosten häiriö- ja onnettomuustilanteet. Keskeinen termohydraulinen koelaitteisto on Lappeenrannassa sijaitseva Loviisan reaktoria kuvaava PACTEL (Parallel Channel Test Loop). PACTEL-koeohjelmassa tehdään kokeita ensisijaisesti pienistä ja keskisuurista jäädytteenmenetysonnettomuuksista, mutta myös vakavista sydänvauriotilanteista. Lisäksi tuetaan operaattoreiden koulutusta ja tutkitaan uusien reaktori-tyyppien turvallisuusominaisuuksia.

VTT ja IVO ovat yhdessä kehittäneet uuden teollisuus- ja voimalaitosprosessien simulointiympäristön, APROS-ohjelmiston (Advanced Process Simulator). Sitä jatkokehitetään tavoitteena yksityiskohtaisiin turvallisuusanalyysiin soveltuva ydinvoimalaitosanalyysointitehostaa häiriö- ja onnettomuusanalyysia suunnittelussa, turvallisuusarvioinneissa ja myös koulutustarkoituksissa. Todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin tavoitteena on turvallisuuden monipuolinen arviointi ja tasapainoinen edelleen kehittäminen sekä käyttövarmuuden ja turvallisuuden vaatimusten yhteensovittaminen.

Polttoaineen käyttäytymistä selvitetään nykyistä korkeammilla palamilla ja lisätään ydinpolttoainemateriaalien ominaisuuksien tuntemusta. Erityisesti VVERTyyppisten reaktoreiden polttoaineesta hankitaan yksityiskohtaista kokeellista tietoa.

Ydinvoimalaitosten rakenteellisen turvallisuuden tutkimusohjelma

Rakenteiden ja rakennemateriaalien tutkimuksella pyritään onnettomuuksien ja odottamattomien seisokkien ennaltaehkäi-

semiseen ja siihen, että laitteiden ja rakenteiden vioista aiheutuvat haitat ja riskit ovat mahdollisimman vähäiset. Tutkimuksella varmistetaan osaltaan laitteiden turvallinen ja luotettava toiminta niiden suunnitellun käyttöajan ajan. Samalla selvitetään edellytykset teknisen käyttöajan pidentämiseen. Säteilyn, korroosion ja mekaanisten rasitusten vaikutukset materiaaleihin selvitetään. Muita kehityskohteita ovat murtumismekaaniset analyysit, säröjen estämis- ja korjausmenetelmät, NDT-menetelmät, jäljellä olevan eliniän laskentamenetelmät sekä ehkäisevä kunnossapito.

Useimpien metallisten rakennemateriaalien ominaisuudet muuttuvat käyttöajan mukana, ne vanhenevat. Käyttöympäristön, kuten vesikemian, muutokset saattavat myös kasvattaa säröjen muodostumistodennäköisyyttä. Tärkeitä tutkimuskohteita ovat lohkomurtuman etenemiseen vaikuttavat tekijät, paineastiaterästen kokeellisten murtumissitkeystulosten ja murtumismallien väliset korrelaatiot, säteilyhaurastuminen ja toipuminen, neutroniannosten määrittäminen, särönkasvu- ja korroosionopeuksien luotettava määrittäminen sekä vesikemian käytönaikainen seuranta.

Reaktoripaineastia ja siihen liittyvät pääkiertoputket sekä suojarakennus ovat ydinvoimalaitoksen turvallisuuden kannalta keskeisimpiä rakenteita. Niiden keskeytyksen ja murtumistodennäköisyyden arviointimenetelmien luotettavuuden parantaminen on keskeinen tavoite.

Ydinvoimalaitosten käyttöseisokin aikana on luotettavasti löydettävä viat rakenteissa ja määritettävä niiden koot riittävällä tarkkuudella. Tärkeimpien komponenttien tarkastukseen kehitetään nykyistä luotettavampia ja tarkempia NDT-menetelmiä.

Julkisrahoitteisen ydinjätetutkimuksen ohjelma

Ydinjätetutkimuksen keskeinen kohde on ydinjätteiden ja erityisesti käytetyn polttoaineen loppusijoituksen turvallisuus. Tärkeimpänä tavoitteena on selvittää ja vähentää loppusijoituksen turvallisuuteen liittyviä periaatteellisia epävarmuuksia. Loppusijoituksen turvallisuuden kannalta merkityksellisistä ilmiöistä, tapahtumista ja vuorovaikutuksista hankitaan mahdollisimman todenmukainen kuva.

Kallioperän rakenteellisten ja geohydrologisten ominaisuuksien tutkimuksella saadaan tietoa kallioperän käyttäytymisestä. Jääkauden jälkeisiin lohkoliiikuntoihin liittyviä kallioperän rakenteellisia ominaisuuksia selvitetään. Kallion pysyvyyden ja vedenjohtavuuden kannalta on tärkeää tuntea kallioperän rakoilua sekä sen suhdetta jännityskenttään ja kallioliikuntoihin. Pohjaveden virtausta kalliioraioissa tutkitaan yksityiskohtaisten matemaattisten mallien avulla.

Ydinjätteiden loppusijoitusympäristö, radionuklidien vapautuminen jätteestä sekä kulkeutuminen ja pidättyminen teknisissä

TÄRKEIMMÄT KANSAINVÄLISET YHTEISHANKKEET

Pohjoismainen ydinturvallisuusohjelma 1990—1993 (NKS)

Ohjelma edistää ja ylläpitää ydinturvallisuutta koskevaa asiantuntemusta Pohjoismaissa ja lisää valmiutta toimia oikein poikkeustilanteissa. Tutkimuskohteet ovat varautuminen epätavallisiin säteilytilanteisiin (BER), ydinjätehuolto ja laistosten käytöstäpoisto (KAN), radioekologia (RAD) ja reaktoriturvallisuus (SIK).

VVER-polttoainekokeet

Kurtsatov-instituutin MR-koereaktorissa Moskovassa tehdään pitkäkestoisia käyttötilanteiden säteilytuskokeita ja IAE-Swierkin MARIA-koereaktorilla Puolassa häiriö- ja onnettomuustilanteiden kokeita. Suomesta osallistuvat IVO ja VTT erityispanoksenaan uusien instrumentointitekniikoiden kehittäminen ja koeparametrien määrittely.

OECD Halden Reactor Project

Suurella tutkimusreaktorilla ja monipuolisessa simulaattorilaboratoriossa Norjan Haldenissa kehitetään reaktori-instrumentointia sekä tutkitaan polttoaineen käyttäytymistä ja tietokoneen käyttöä ydinvoimalan hallinnassa. 10 OECD-maata osallistuu projektiin.

Vakavien reaktorionnettomuuksien tutkimus

Advanced Containment Experiments (ACE) ja Melt Attack Coolability Experiments (MACE) projekteissa tutkitaan suojarakennuksessa olevien fissiotuotteiden käyttäytymistä sekä sydänsulan jäähdytettävyyttä. USA:n EPRIn johtamiin projekteihin osallistuu 14 maata.

Programme for Inspection of Steel Components (PISC 3)

PISC 3 -ohjelmassa tutkitaan reaktorikomponentteihin käytön aikana syntyvien materiaaliaviojen havaitsemista ja analysointia NDT-menetelmin. Projektin pääorganisaattorina toimii EY:n tutkimuskeskus Joint Research Centre (JRC) Italiassa.

IAEA:n yhteistyöprojektit

IAEA:n koordinoimassa tutkimusohjelmassa "Reactor Pressure Vessel Surveillance Programme" selvitetään reaktoripaineastiatierästen säteilyhaurastumista, säteilyvaurioiden toipumisherkkyyksiä ja säteilyvaurioiden seurantaohjelmia. Ympäristökulkeutumismallien luotettavuuden parantamiseen pyritään VAMP-projektissa suoritettavien katsausten ja vertailulaskelmien pohjalta. ATMES-projektissa verrataan radioaktiivisten aineiden kaukokulkeutumismalleja.

Heissdampfreaktor (HDR) tutkimusohjelma

Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) johtama tutkimusohjelma, jossa käytöstä poistetulla ydinvoimalaitoksella tehdään täyden mittakaavan kokeita. Tutkimusohjelman nykyinen kolmas vaihe painottuu ydinvoimalaitosrakenteiden vanhenemisen, eliniän ja palokestävyuden arviointiin.

OECD/NEA-yhteistyö

NEA:n ydinjätealan yhteistyö liittyy loppusijoituksen turvallisuusarvioinnin ja loppusijoitusalueiden soveltuvuusvertailun menetelmiin sekä ydinlaitosten käytöstäpoiston tekniikkaan ja kustannuksiin. Tärkeä yksittäinen yhteistyökohde on STRIPA-projekti, jossa Ruotsissa sijaitsevassa entisessä rautamalmikaivoksessa tutkitaan ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuteen vaikuttavia kiteisen kallioperän ominaisuuksia.

Ruotsin turvallisuusviranomaisten koordinoimat yhteistyöprojektit

Ruotsin viranomaiset SKI ja SSI ovat vuodesta 1980 lähtien järjestäneet kansainvälisiä ydinjätehuollon turvallisuusanalyseissa käytettävien tietokonemallien vertailuselvityksiä. Niillä pyritään selvittämään laskentamallien luotettavuutta ja parantamaan niitä.

EY:n ydinjätehuollon projektit

Suomella on tiedonvaihtosopimus EY:n ydinjätehuollon tutkimusohjelman kanssa ja sen työryhmytyöskentelyyn osallistutaan hankkeissa, jotka koskevat geokemiallisia malleja, kolloidisia ja kompleksisia kemiallisia yhdisteitä sekä luonnon-analogioita.

Fuusiotutkimuksen kansainvälinen yhteistyö

Yksittäiset tutkijat Suomesta ovat voineet osallistua EY:n JET (Joint European Torus) fuusiotutkimukseen Englannin Culhamissa, vaikka Suomi ei virallisesti ole mukana JET-tutkimusyhteistyössä. Rutherford-Appleton laboratoriossa Englannissa osallistutaan laserplasmavuorovaikutuksen tutkimukseen.

LARISA (Laser Resonance Ionization Analysis)

Vuonna 1984 aloitetussa LARISA-projektissa kehitetään resonanssi-ionisaatioon perustuvaa alkuaine- ja isotooppianalytiikkaa. Projekti perustuu Suomen Akatemian ja Neuvostoliiton tiedeakatemian yhteistyösopimukseen.

vapautumisesteissä ja kallioperässä ovat keskeisiä osa-alueita ydinjätetutkimuksessa.

Loppusijoitusratkaisujen toiminnan ja turvallisuuden arvioinnissa keskeisessä asemassa ovat turvallisuusanalyysit, joissa loppusijoitusratkaisun tai jonkin sen osajärjestelmän toimintaa simuloidaan matemaattisin mallein. Kokonaisvaltaisissa turvallisuusanalyseissa luonnollisista ja teknisistä vapautumisesteistä koostuvaa loppusijoitusratkaisua tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena. Analyysi sisältää myös ydinjätehuollosta ihmisille ja muulle luonnolle aiheutuvien haittojen arvioinnin.

Tutkimusohjelmiin kuuluvat erillishankkeet

Ympäristötutkimus

Viime vuosina on kiinnitetty kasvavaa huomiota mahdollisen reaktorionnettomuuden ympäristöseurausten arviointiin ja rajoittamistoimien ennakkosuunnitteluun. Ympäristöä suojaavien vastatoimien tehokkuutta tarkastellaan sekä vertaillaan niiden hyötyjä ja haittoja keskenään erityyppisten reaktorionnettomuuksien yhteydessä. Käyttäen hyväksi vakavien reaktorionnettomuuksien tutkimusten tuottamia radioaktiivisten aineiden päästöarvioita, ns. lähde-termejä, tehdään kokonaisvaltaisia ympäristövaikutuksiin ulottuvia erilaisten onnettomuusketjujen turvallisuusanalyseja sekä arvioidaan ympäristöseurausten lieventämistoimenpiteiden tarpeellisuutta ja tehokkuutta.

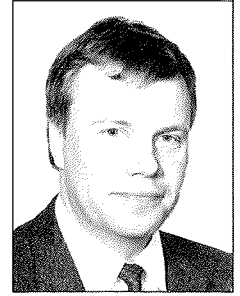
Fuusio ja plasmatutkimus

Suomessa fuusiotutkimuksen tavoitteena on ylläpitää fuusiota koskeva asiantuntemus ja tuottaa tieteellisesti korkeatasoinen suomalainen tutkimuspanos kansainväliseen fuusioyhteistyöhön. Tärkeimmät tutkimuskohteet ovat plasman kuumentamisessa tehokkaaksi osoittautunut radio- ja sähkövirran ylläpitäminen plasmassa. Kansainväliseen Englannissa toteutettavaan JET-projektiin (Joint European Torus) ovat yksittäiset suomalaiset tutkijat voineet osallistua, vaikkei Suomi ole virallisesti mukana projektissa. Suurella JET-tokamak-laitteella ollaan jo nyt fuusio-olosuhteiden lähituntumassa.

Ydintekniikan erityissovellukset

Suoranaisesti ydinenergian tuotantoon liittyvän tutkimuksen lisäksi julkisin varoin tuetaan rajoitetusti sellaista ydintekniikan tutkimusta, joka edesauttaa ydinenergian käytön turvallisuutta, ydintekniikan tiedon soveltamista muille aloille tai ydintekniikan perusteiden tuntemusta. Tällaisia tutkimuskohteita ovat säteilyyn liittyvien mittausmenetelmien kehittäminen, isotooppilääketiede, radioaktiivisten merkkiaineiden hyväksikäyttö, alkuainemääritykset aktivointianalyysien avulla, ydinaineiden valvonta- ja laadunvarmistusanalytiikka sekä laserisotooppitekniikka. □

DI Pertti Salminen toimii Teollisuuden Keskusliitossa teollisuusasiainnehenä, p. 90-180 9233.



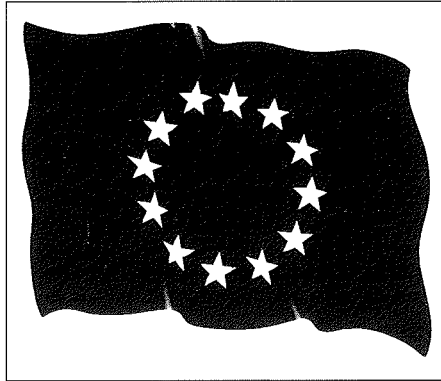
EY panostaa ydinenergia- tutkimukseen

Euroopan Yhteisön (EY) tutkimuksen ja kehityksen puiteohjelmissa on perinteisesti panostettu ydinenergian tutkimukseen. Uudessa kolmannessa puiteohjelmassa ydinenergiaohjelmien laajuus on 657 miljoonaa ECU, mikä vastaa lähes 12 prosenttia koko puiteohjelman budjetista. Uuteen puiteohjelmaan tulee yhteensä 15 tutkimusohjelmaa, joista kahdessa tutkitaan ydinenergiaa ja yhdessä muita energiamuotoja. Ydinenergiaohjelmat ovat fissionenergian turvallisuus (Nuclear fission safety) ja fuusioenergia (Controlled nuclear fusion). Tähän mennessä Suomen osallistuminen EY:n ydinenergiatutkimukseen on ollut vähäistä, mutta on oletettavaa, että panostuksemme kasvaa lähivuosina merkittävästi.

Vuonna 1986 Suomi solmi EY:n kanssa sopimuksen, joka avasi mahdollisuuden osallistua EY:n tutkimusohjelmiin rajoitetusti lähinnä projektitasolla ja omalla rahoituksella. Parhailaan käydään neuvotteluja EFTA:n ja EY:n suhteiden järjestämisestä uuden yhtenäisen talousalueen EES:n puitteissa. Osana EES:n muodostamista on ratkaistava, miten EFTA-maiden osallistuminen EY:n tutkimusohjelmiin toteutetaan. Tällä hetkellä näyttää todennäköiseltä, että EFTA-maiden mahdollisuus osallistua täysimääräisesti kaikkiin tutkimusohjelmiin toteutuu.

Nykyään Suomella kuten muillakin EFTA-mailla on kolme tapaa osallistua EY:n tutkimusohjelmiin ohjelmasta riippuen.

Täysosallistuminen (full participation) tutkimusohjelmaan tai siitä selkeästi erottettavaan osa-alueeseen. Tällöin Suomi maksaa 2,2 % tutkimusohjelman kustannuksista. Hyväksytyssä projektissa yritys tai tutkimuslaitos saa EY:ltä normaalisti 50 % projektin kustannuksista kuten EY-partnerinsakin (vähintään 2 maata) ja loput jää kansallisesti rahoitettavaksi.



Projektiosallistumisessa (project by project participation) yritys tai tutkimuslaitos ei saa EY:n rahoitusta, sen sijaan EY-osapuolet (vähintään kaksi maata) saavat. Projektiosallistumisessa hyöty onkin pelkästään tutkimuksellinen ja koulutuksellinen.

Tiedonvaihtoyhteistyö (concertation) tapahtuu EY:n tutkimusohjelman ja Suomen kansallisen tutkimusohjelman välillä. Yhteistyöllä edistetään tiedonvaihtoa tutkimusohjelmien välillä, jotka ovat sisältöltään ja tavoitteiltaan riittävän yhteneviä.

Ydinenergia-alan tutkimusohjelmat 1987—1991

Ydinenergian osuus energiatutkimuksesta on huomattava. Sen kokonaislaajuus nykyisessä puiteohjelmassa 1987—1991 on 1051 miljoonaa ECU (MECU) koko energiasektorin ollessa 1173 MECU (ECU on noin 4,85 mk).

Puiteohjelmassa ydinenergiatutkimus jaetaan fission perustuvan ydintekniikan turvallisuuden (Nuclear fission safety) ja fuusioenergian tutkimukseen (Controlled nuclear fusion). Edellisessä on kolme tutkimusohjelmaa ja jälkimmäisessä yksi. Seuraavassa on lyhyesti kuvattu nykyisin käynnissä olevat ydinenergia-alan tutkimusohjelmat.

1 Management and storage of waste 1990—1994

Keskeisiä tutkimuskohteita ovat jätehuoltojärjestelmät (mm. kuljetusten minimointi), jätteiden käsittely, maanalaisen moniasteisen loppusijoituksen turvallisuus ja maanalaisen pilottilaitoksen rakentaminen. Ohjelman laajuus on 80 MECU.

2 Decommissioning of nuclear installations 1989—1993

Ydinvoimaloiden käytöstäpoistotutkimuksen ohjelmassa kehitetään uusia tekniikoita ja tehdään myös täyden mittakaavan kokeita. Ohjelman laajuus on 31,5 MECU.

3 The TELEMAT programme 1989—1993

Ohjelmassa tutkitaan robotisoitua ja kauko-ohjattua toimintaa säteilyvaarallisissa ympäristöissä. Lisäksi vahvistetaan sekä tieteellistä että teknistä tietämystä robotiikasta, manipulaattoreista ja materiaalin kuljetuksesta. Ohjelman laajuus on 19 MECU.

4 Controlled thermonuclear fusion 1988—1992

Ohjelma toteutetaan osallistuvien maiden kansallisten organisaatioiden yhteistyönä JET-tutkimuskeskuksessa Englannissa. JET-kooreaktori on lupaavin fuusiokooreaktori maailmassa. Sillä on voitu osoittaa fuusioenergian tieteellinen toteutettavuus, ts. se, että tokamaklaitteella on mahdollista tuottaa fuusioenergiaa enemmän kuin mitä polttoaineena olevan plasman kuumentamiseen fuusiolämpötilaan kuluu. Ohjelman kokonaislaajuus on 795 MECU, joka sisältää myös JET:n kiinteät kulut ja JRC:ssä (Joint Research Centre) tehtävän tutkimuksen.

Suomen nykyinen osallistuminen EY:n ydinenergiatutkimukseen

Nykyisistä tutkimusohjelmista Suomi on mukana ainoastaan ydinjätehuollon tutkimusohjelmassa projektitasolla. Työ sisältää tiedonvaihtoa (concertation) eri maiden välillä kolmessa projektissa:

- Natural Analogue Working Group (NAWG), joka koordinoi ja avustaa kansainvälistä ja kansallista luonnon-analogiatutkimusta
- Colloids and complexes (Coco Club), jossa Suomi osallistuu kolloidien karakterisoinnin vertailututkimukseen
- Geokemiallisten ja kytkettyjen mallien verifiointi (CHEMVAL).

Suomi osallistuu myös PISC 3 -projektiin. Siinä tutkitaan reaktorikomponentteihin käytön aikana syntyvien materiaali-vikojen havaitsemista ja analysointia NDT-menetelmin. Fuusio-ohjelmaan Suo-

mi on voinut osallistua lähettämällä yksittäisiä tutkijoita määräajaksi JET:iin, vaikka Suomi ei olekaan virallisesti mukana hankkeessa.

Kaikkiaan osallistuminen EURATOMin koordinoimaan EY:n tutkimukseen on Suomessa ollut vähäistä sekä resurssi- että taloudellisessa mielessä kun sitä verrataan esim. Ruotsin vastaavaan osallistumisaktiiviteettiin.

Uuden puiteohjelman 1990—1994 ydinenergiatutkimus

Uudessa puiteohjelmassa fissio-ohjelmat yhdistetään yhdeksi tutkimusohjelmaksi. Fuusiotutkimus säilyy yhtenä tutkimusohjelmaksi, joka toteutetaan JET-projektissa. Muu kuin ydinenergiaan liittyvä energiätutkimus toteutetaan JOULE-ohjelmassa.

Uudet ohjelmat käynnistävät päällekkäin jo meneillään olevien ohjelmien kanssa. Toisen puiteohjelman projektit jatkuvat vielä pitkään, jopa vuoteen 1994. Seuraavasta taulukosta ilmenevä rahoituksen pieneneminen on osittain näennäistä, koska vanhan puiteohjelman budjetista on käyttämättä vielä huomattava osa, ehkä noin 30 %. On huomattava, että ydinenergian osuus koko EY:n tutkimuspanostuksesta pienenee toisen puiteohjelman yli 19 prosentista hieman alle 12 prosenttiin.

Taulukko. Panostus energiätutkimukseen (MECU).

	II Puite- ohjelma 1987—	III Puite- ohjelma 1990—94
Fissiotutkimus	440	199
Fuusiotutkimus	611	458
JOULE	122	157
Energia yhteensä	1173	814

Uusien ohjelmien sisältö on vielä avoin, ja niistä on saatavilla vain hyvin suurpiirteiset tavoitteiden kuvaukset. Seuraavassa on kuitenkin lyhyesti yritetty kuvata uusien fissio- ja fuusio-ohjelmien sisältöä.

Nuclear fission safety

Tutkimuksessa keskitytään lisääntyvästi turvallisuusajattelun ja -lähestymistavan yhtenäistämiseen ja siten turvallisuustutkimuksen normiston kehittämiseen. Tutkimuksen painoaloja ovat:

- reaktoriturvallisuus painottaen passiivista turvallisuutta
- jätehuolto
- voimalaitosten käytöstäpoisto
- työskentely säteilyvaarallisessa ympäristössä
- polttoaine-elementit
- aktinidit
- fissiilien materiaalien valvonta
- säteily suojele.

JRC osallistuu työhön reaktoriturvallisuuden, radioaktiivisten jätteiden turvallisuuden ja käsittelyn, fissiilien materiaalien turvallisuuden ja käsittelyn, ydinpol-

EY:N KOLMAS PUITEOHJELMA 1990—1994

	MECU	%	
I	Enabling technologies		
1	Information and communication technologies	2221	39
	— Information technologies	1352	
	— Communications technologies	489	
	— Development of telematics systems	380	
2	Industrial and materials technologies	888	16
	— Industrial and materials technologies	748	
	— Measurement and testing	140	
II	Management of natural resources		
3	Environment	518	9
	— Environment	414	
	— Marine Science and technology	104	
4	Life sciences and technologies	741	13
	— Biotechnology	164	
	— Agricultural and agro-industrial research	333	
	— Biomedical and health research	133	
	— Life science and technologies for developing countries	111	
5	Energy	814	14
	— Non-nuclear energies (JOULE)	157	
	— Nuclear fission safety	199	
	— Controlled nuclear fusion	458	
III	Management of intellectual resources		
6	Human capital and mobility	518	9
	— Human capital and mobility	518	
Yhteensä		5700	100

toineen ja aktinidien sekä säteily suojele-
lun tutkimuksessa.

Controlled nuclear fusion

EY:n fuusio-ohjelman pitkän tähtäyksen tavoite on kehittää turvallisia ja ympäristön kannalta ongelmattomia prototyyppi-reaktoreita. Lähiajan tavoite on tieteellisen ja teknologisen perustan luominen sellaisen tutkimuslaitoksen rakentamiselle, jossa voidaan tutkia plasman syttymistä ja palamista sekä tähän liittyviä teknologisia ongelmia. Hankkeesta käytetään nimitystä Next Step. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi EY:n neuvosto saattaa pidentää JET-yhteistyötä alunperin suunnitellun ajankohdan yli, ilmeisesti vuoteen 1996.

Fuusiotutkimuksessa ovat EY-maiden lisäksi mukana Ruotsi ja Sveitsi täysimääräisesti. Jos EY toteuttaa seuraavan sukupolven reaktorin (NET) rakentamisen omin voimin, merkittävästi suurempaa taloudellista panostusta fuusiotutkimukseen. Jos koereaktori sen sijaan toteutetaan Japanin, Neuvostoliiton, USA ja EY:n yhteishankkeena (ITER), olisivat EY:n ja siten myös Suomen kustannukset todennäköisesti pienemmät kuin NET:in vastaavat kustannukset.

JRC:n fuusiotutkimus kohdistuu laitosten turvallisuusarvioihin, NET-kehitystyön tukemiseen ja materiaaleja koskevaan perustutkimukseen.

Kannataako Suomen mennä mukaan?

Euroopassa tehtävän ydinenergiatutkimuksen ja erityisesti fuusiotutkimuksen rooli on keskeinen maailmassa, ja se vahvistuu edelleen. Osallistuminen täysimääräisesti EY:n ydinenergia-alan tutkimushankkeisiin merkitsee sitoutumista pysyviin laajamittaisiin kansainvälisiin yhteistyöhankkeisiin, jotka edellyttävät osallistujilta merkittäviä valmiuksia ja resursseja. Toisaalta kansallisen ydinenergiatutkimuksen tavoitteista ja resursseista ei tule tinkiä. Suomalaisten mahdollinen osallistuminen EY:n tutkimusohjelmiin onkin kohdennettava niin, että se tukee riittävästi kansallisia tutkimustavoitteita.

Fissiotutkimus on luonteeltaan soveltaa, ja se tukee nykyisten voimalaitosten turvallista käyttöä. Kokonaisuutena fissio-ohjelma vaikuttaa varsin kiinnostavalta ja sen merkitys tulee korostumaan eurooppalaisessa ydinenergia-alan tutkimusyhteistyössä. Kun otetaan vielä huomioon lisääntyvä mahdollisuus osallistua JRC:ssä tehtävään tutkimukseen, voidaan liittymistä täysimääräisesti fissio-ohjelmaan pitää perusteltuna.

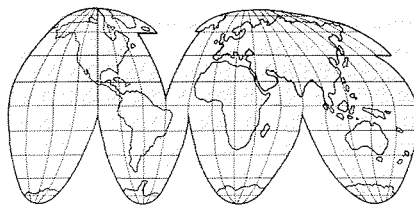
Fuusiotutkimus on perustutkimusta, jonka aikajänne on kymmeniä vuosia. Tässä vaiheessa Suomen osallistuminen täysimääräisesti EY:n fuusio-ohjelmaan ei lie mahdollaista. Rahan lisäksi rajoittava tekijä on tutkijaresurssit.

Kansainvälinen tutkimusyhteistyö edellyttää korkeatasoista ja kansainvälisen kanssakäymisen huomioonottavaa tutkijakoulutusta ja -ainesta. Koulutuksen on oltava jatkuvaa myös valmistumisen jälkeen. Korkeakoulujen on pyrittävä pitämään yllä mielenkiintoa ydintekniikkaa kohtaan, jotta korkeatasoiset ja riittävät tutkijaresurssit myös jatkossa turvataan. Fuusio-ohjelmaan osallistuminen edellyttäisi kokonaisvaltaisen koulutusohjelman aloittamista korkeakouluissa.

Mikäli Suomi osallistuu täysimääräisesti tutkimusohjelmaan, maksaa se osallistumismaksuna vastaavan BKT-osuuden eli 2,2 prosenttia. Näin ollen Suomen osallistumismaksu fissio-ohjelmaan olisi yhteensä noin 21 miljoonaa markkaa ja fuusio-ohjelmaan noin 50 miljoonaa markkaa. Tähän summaan on lisättävä kansallinen tutkimusrahoitus, jolloin kokonaisrahoitustarve nousee jo lähelle 100 miljoonaa markkaa. □

DI Pertti Salminen toimii Teollisuuden Keskusliitossa teollisuusasiamiehenä, p. 90-180 9233.

International Symposium



RADIATION PROTECTION IN THE 1990's

Geneva, Switzerland
September 19-21, 1990

(Just prior to the ENC '90 conference in Lyon, France)

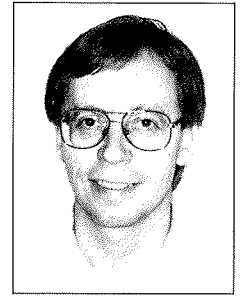
Leading experts from the United States and Europe will present the latest advances and state-of-the-art technology in the most important areas of health physics: Internal and External Dose Assessment, the latest in Nuclear Instrumentation, Environmental Monitoring, Derivation and Use of Radiation Risk Coefficients, and Dose Reduction Techniques, including advances in Robotics.

TMS

Technical Management Services, Inc.

P.O. Box 2979, Gaithersburg, MD 20879 USA

To register or to receive a course brochure, call TMS.
(301) 963-4776 or (301) 926-9826 FAX



Turvallisuustutkimus — välttämätön edellytys ydinenergian käytölle

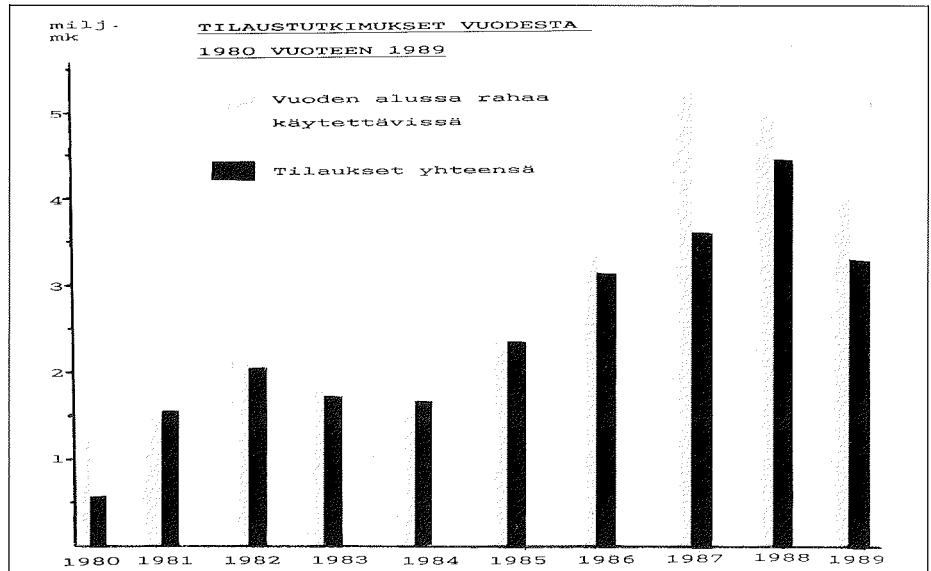
Ydinvoimalaitosten turvallisuudesta ja käytettävyydestä varmistuminen edellyttää laajalaista tutkimustoimintaa. Suomen kaltaisessa pienessä maassa on välttämätöntä turvata riittävän tutkimustiedon saanti osallistumalla kansainvälisiin tutkimusohjelmiin. Tästä huolimatta omakohtaisen tutkimuksen on katettava kaikki keskeiset turvallisuusongelmat, erityisesti omien ydinvoimalaitostemme osalta.

Ydinvoimalaitosten turvallisuutta koskevat tutkimukset koskettavat monitahoisesti säteilyturvakeskuksen tehtäviä. Ensinnäkin voimayhtiöt tekevät tai teettävät tutkimuslaitoksissa tai muualla omistamansa ydinvoimalaitoksen turvallisuutta koskevia tutkimuksia. Tutkimuksia tarvitaan erityisesti lupakäsittelyä varten, mutta myös laitoksen käytön aikana on tarpeen tehdä uusia tutkimuksia. Tällaiset tutkimukset liittyvät esimerkiksi reaktorin vaihtolataukseen, käyttötapatumiin tai turvallisuuden edelleen kehittämistä koskeviin uusiin hankkeisiin, kuten varautumiseen vakaviin onnettomuuksiin.

Säteilyturvakeskus tarkastaa voimayhtiöiden esittämät turvallisuuselvitykset. Tarkastaminen edellyttää usein riippumattomien analyysien tekemistä. Näitä riippumattomia analyyseja säteilyturvakeskus on tilannut pääasiassa Valtion teknilliseltä tutkimuskeskukselta. Säteilyturvakeskuksen kehitettyjen valmiuksien johdosta keskus on voinut tehdä tarpeellisia tarkistusanalyyseja viime aikoina enenevässä määrin itsekin.

Säteilyturvakeskuksen rahoittama tutkimustoiminta liittyy pääosin ydinvoimalaitostemme käytön valvontaan — joko välittömästi tai välillisesti. Erityisesti viime vuosina on yleisempien, asiantuntemusta lisäävien tutkimusten osuus lisääntynyt verrattuna niihin tutkimuksiin, jotka kohdistuvat suoraan johonkin olemassaolevan ydinvoimalaitoksen turvallisuusongelmaan.

Kuvassa esitetään säteilyturvakeskuksen käyttämät tutkimusvarat 1980-luvulla. Eri vuosia kuvaavat luvut osoittavat kyseisen vuoden alussa kokonaisuudessaan käytettävissä olevat varat sekä tilauksin sidotut varat ottaen huomioon myös ko. vuonna tehdyt tilaukset.



Viime vuosina säteilyturvakeskuksen rahoittaman tutkimuksen keskeisiä kohteita ovat olleet

- vakavat reaktorionnettomuudet,
- reaktorin ja ydinpolttoaineen käyttäytymisen häiriö- ja onnettomuusolosuhteissa,
- reaktoripaineastian turvallisuus,
- tulipalojen vaikutukset ydinvoimalaitoksen eri tiloissa,
- ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät,
- onnettomuuksien seuraukset ympäristössä ja
- ydinjätteiden loppusijoitus.

Säteilyturvakeskus on osallistunut aiempaa enemmän myös kansainvälisiin ydinvoimalaitosten turvallisuutta koskeviin tutkimushankkeisiin. Tällaisia hankkeita ovat mm.

- U.S. NRC:n vakavia onnettomuuksia koskeva tutkimusohjelma,
- eräät kansainväliset ydinpolttoainetutkimusohjelmat,
- TMI-paineastian tutkimusohjelma,
- HDR-tutkimusohjelma (sis. mm. onnettomuuksiin ja paloturvallisuuteen liittyviä tutkimuksia) ja
- PISC-ohjelma (ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät).

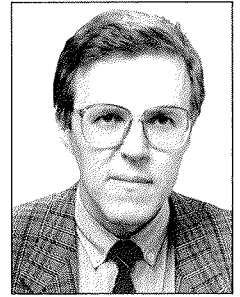
Säteilyturvakeskus tekee myös itse rajoitetussa määrin suoraan valvontaan liittyvää tutkimusta. Tähän toimintaan keskus on saanut oman budjettinsa lisäksi rahoitusta kauppa- ja teollisuusministeriöltä.

Ministeriön rahoittamat hankkeet ovat kohdistuneet mm. analyysivalmiuden kehittämiseen ja ydinvoimalaitosten käytökokemusten arviointiin.

Säteilyturvakeskus osallistuu itse rahoittamansa tutkimuksen lisäksi myös kauppa- ja teollisuusministeriön rahoittaman tutkimuksen ohjaukseen. Tässä mielessä säteilyturvakeskuksen edustajat osallistuvat tällaisten tutkimusohjelmien johtoryhmiin ja muihin ohjaaviin ja valvoviin elimiin. Tällä pyritään varmistamaan se, että käytettävissä olevat rajoitetut resurssit palvelevat mahdollisimman hyvin omien ydinvoimalaitostemme turvallisuusvalvonnan tarpeita.

Säteilyturvakeskuksen rahoittama tutkimus sekä oikein suunnattu muu julkisin varoin tehtävä tutkimus ovat välttämätön edellytys ydinvoimalaitosten turvallisuusongelmien monipuoliseksi ymmärtämiseksi. Tätä tukee lisäksi osallistuminen laajempiin kansainvälisiin tutkimushankkeisiin. Tutkimusten tulosten hyödyntäminen riippuu keskeisesti tutkimuksen aiheesta: mitä suuremmin tutkimus kohdistuu tietyn laitoksen turvallisuuteen, sen helpommin tuloksia voidaan käyttää kyseistä laitosta koskevassa päätöksenteossa. Yleisten hankkeiden tuloksia voidaan sitävästoin hyödyntää esimerkiksi säännöstöä ja asiantuntemusta kehitettäessä. □

FM Hannu Koponen on säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosaston apulaisosastopäällikkö, p. 90-7082 398.



IVO:n ydinvoimatutkimus — yhteistyötä kotimaassa ja ulkomailla

Imatran Voiman T & K budjetti vuodelle 1990 on noin 190 miljoonaa markkaa, josta ydinvoimaliiketoimintaa palvelevien hankkeiden osuus on lähes 50 miljoonaa. Tutkimuksessa on kaksi lähes samankokoista pääaluetta: Loviisan laitosten käytön tukeminen ja Suomen seuraavan YVL-hankkeen valmistelu. IVO:n ydinvoimatutkimus on suurelta osin yhteistyötä alan yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa kotimaassa sekä ulkomailla. Yhtiön omat laboratoriot ja engineering-toiminta ovat pannonaneet erityisesti mallikokeisiin. Viimeisin malli on tehty Loviisan laitosten suojarakennuksista ja tutkimukset sillä ovat alkamassa.

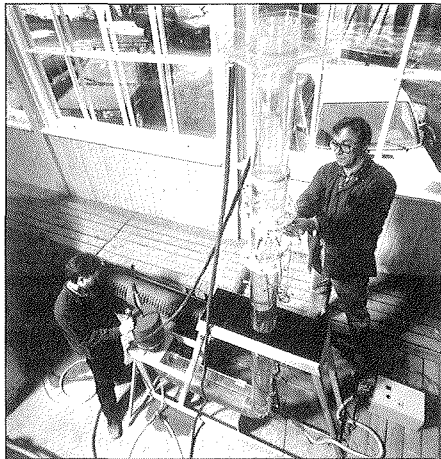
IVO kehittää edelleen aktiivisella tutkimuksella Loviisan laitosten turvallisuutta ja varmuutta. Myös 1990-luvun uusi ydinvoima on vilkkaan toiminnan kohteena. Tutkimus- ja kehitystyö sisältää laboratoriossa tehtäviä tutkimuksia, erilaisia selvityksiä sekä tuotekehitysprojekteja. Hankkeet ovat keskimäärin melko suuria ja kuluvan vuoden budjetti nouseekin lähes 50 miljoonaa markkaan. Yhteistyökumppanimme osallistuvat siihen vajaalla 19 miljoonalla markalla.

Isot projektit vaikuttavat aina positiivisesti alan kiinnostavuuteen. IVOssa uskotaan, että sen tutkimusprojektit pystyvät tuottamaan Suomen ydinvoiman tulevaisuudelle myös tätä hyötyä.

Laitosvaihtoehdot esiin

Perusvoima, IVO ja Teollisuuden Voima jatkavat yhdessä laajoja selvityksiä, joiden tarkoituksena on varmistaa usean kilpailevan laitospäätöksen Suomeen soveltuvuus hankintatilanteessa.

Yhtiöt paneutuvat yhteisen kokonaisuohjelman puitteissa lausehdokkaiden soveltuvuuteen, kullekin vaihtoehdolle ominaisiin lisensiointi- ja turvallisuuskysymyksiin sekä erityisesti projektien toteutusten suunnitteluun. Aikaisemmin voimayhtiöiden yhteiset hankkeet oli suunnattu ko-



Virtauslaboratorioon rakennetulla läpinäkyvällä laitteisella tutkitaan suolaliuoksilla pienten tiheyserojen ja hitaiden pystyvirtausten ylläpitämää kerrostumista.

keellista tutkimusta edellyttäviin ja paljon aika vieviin erityisongelmiin; sen laatuun kysymyksiin, jotka saattaisivat muodostua kriittisiksi pääprojektin aikataululle.

Työnjaossa IVO vastaa painevesitekniikan perustuvista malleista ja TVO kiehutustekniikan vaihtoehdoista. Suurin painostus IVO:sta menee VVER-1000:n pohjalta kehitettävään VVER-91 -voimalamalliin. Muut IVO:n selvittämät mallit ovat VVER-440 tyyppin pohjalta kaavailtu laitos sekä saksalaisten ja ranskalaisten NPI-1000 vaihtoehto.

Turvallisuuden kivijalka vahvistuu

IVO on kantanut vastuuta Loviisan laitosten keskeisistä turvallisuusominaisuuksista perustiedon hankinnasta alkaen. Tutkimuksen avulla ratkaistavana on ollut ennen kaikkea materiaaleihin sekä lämpö- ja virtaustekniikkaan liittyviä kysymyksiä. Samalla laitosten käytettävyyttä on saatu nousemaan maailman ydinvoimalaitosten kärkiryhmään. Edelleen on kuitenkin käynnissä laajoja ja merkittäviä turvallisuuden parantamiseen tähtäviä hankkeita.

Materiaalitekniikan tärkeimpänä tutkimusten kohteena ovat luonnollisesti Loviisan laitosten reaktoreiden paineastiat. Neuvostoliiton atomienergiakomitean alaisen tutkimusinstituutin kanssa käynnistyi vuonna 1989 tutkimusohjelma, jonka tavoitteena on selvittää paineastian

haurastumisen eliminoivan elvytyshehkuksen yksityiskohtia ja määrittellä hehkukselle optimaaliset parametrit. Haurastumisongelmaan liittyen alkoivat viime vuonna myös Novo Voronesh 1:n paineastiasta saadun aktiivisen hitsinäytteen kuumakammiotutkimukset VTT:n reaktorilaboratoriossa.

SKODA-yhtiön kanssa IVO on käynnistänyt yhteistyön tutkimustulosten vaihtamiseksi ja yhteisten raporttien laatimiseksi reaktoripaineastian materiaalikysymyksistä. Tarkoituksena on selvittää paineastettua termistä shokkia, murtumisriskiä ja neutronisäteilyn vaikutusta. Ensimmäinen jäähdytyskoe, jossa kuumennettu ja jännitetty paineastian kappale jäädytettiin vesisuihkulla, tehtiin jokin aika sitten Tshekkoslovakiassa SKODAN laboratoriossa.

IVO on yhdessä VTT:n kanssa lähtemässä myös mukaan vastaaviin termisen shokin kokeisiin Leningradin lähistöllä sijaitsevassa PROMETEEY laboratoriossa. Siellä kokeet tehdään paineastetulla pienoismallipaineastialla.

Yhteistoiminta VVER-440 käyttäjien piirissä länsimaiseen tapaan on pääsemässä vasta nyt toden teolla liikkeelle Itä-Euroopassa tapahtuvan avautumisen myötä. Äskettäin on mm. saatu alulle VVER-käyttäjien paineastioiden surveillance-tulosten tietopankin pystyttäminen.

Mallikokeet jatkuvat IVO:n virtauslaboratoriossa

Jäälauhdutinsuojarakennuksen tutkimuksiin on IVO:n Vanhankaupungin virtauslaboratorioon rakennettu suojarakennuksen pienoismalli tilavuusskaalaussuhteessa 1:3375. Mallilla on tarkoitus tutkia suojarakennuksen, jäälauhduttimien ja muiden turvallisuusjärjestelmien toimintaa ja niihin liittyviä ilmiöitä. Kokeet antavat perustietoa, jota tarvitaan muissa turvallisuushankkeissa kuten PSA-projektissa ja SUOJA-projektissa (vakavat onnettomuudet)

Suunnitelluissa kolmessa koesarjassa selvitetään ensiksi pieniä primääripiirin vuotilanteita, sitten suojarakennuksen pitkän aikavälin käyttäytymistä ja lopuksi vedyn kulkeutumista. Tälle vuodelle on suunniteltu 20 erilaista koetta ja ensi vuodelle 10 koetta.

Jäähdytteenmenetykseen liittyvä kaksifaasivirtaus ja hätäjäähdytyksen aikana mahdollisesti tapahtuva boorin rikastuminen

ovat muita sellaisia kysymyksiä, joita koskevan tietämyksen lisäämiseksi virtauslaboratoriossa on myös käynnissä laitoksen geometriassa tehtäviä mallikoikeita.

Tietämys vakavista reaktorionnettomuuksista on maailmalla kehittymisvaiheessa. VVER-laitosten erityispiirteistä aiheutuu myös tässä kysymyksessä tarvetta tutkimukseen ja laskentamallien muokkaamiseen. Valmiuksien nosto tapahtuu pääosin kansainvälisistä lähteistä: osallistutaan tutkimusprojekteihin ja konferensseihin, kehitetään ohjelmia ja analysoidaan laitoksen toimintaa. Lisäksi käytetään apuna koti- ja ulkomaista konsulttiapua. Yhteistyötä on myös Neuvostoliittoon mm. Kurchatov-instituuttiin.

VVER-laitosten polttoaine kehitty

IVO lähti 80-luvun alkupuolella mukaan MR-reaktorilla Moskovassa ja MARIA-reaktorilla Puolassa toteutettaviin tutkimusohjelmiin, joissa ydinpolttoainetta säteilytetään reaktoriolosuhteissa ja tutkitaan myöhemmin kuumakammioissa. MR-kokeiden tavoitteena on todentaa ja kehittää polttoaineen normaalin käytön tietokonemalleja; MARIA-ohjelma puolestaan tutkii enemmän onnettomuusolosuhteita. Säteilytutkimukset ovat tunnetusti verraten kalliita ja pitkäaikaisia koikeita.

MR-ohjelmassa koesäteilytysten ja verifiointien sarjat ovat jatkuneet jo muutamia vuosia, MARIA-loopin käyntiinajo on näköpiirissä noin vuoden kuluessa. IVO:n ja suomalaisten aktiivinen panos kohdistuu molemmassa ohjelmassa instrumentointiin ja koesauvojen karakterisointiin. Nämä alueet ovat perinteisesti muodostaneet pullonkaulakohtia itäisten naapureidemme tutkimuksessa. Lisäksi IVO on VTT:n avustuksella tiiviisti mukana koeohjelmien suunnittelussa ja tulosten tarkastelussa.

Ydinjäte tuotekehitysvaiheessa

Ydinjätetutkimusten tavoitteena on ollut hankkia IVO:lle ja TVO:lle tietämys ydinjätteiden turvalliseen ja taloudelliseen huoltoon. Työ jatkuu edelleen voimayhtiöiden ydinjätetoimikunnan (YJT) koordinoimia ja viranomaisten hyväksymiä ohjelmia toteuttaen. Peruskysymykset alkavat olla ratkaistut ja painopiste voi siirtyä ratkaisujen optimointiin. Tutkimuksella on myös osaltaan hoidettavanaan pitkällistä ututteruutta vaativa tehtävä pitää esillä näkökulmaa: ”energiamuoto, jonka jätehuolto on ympäristöystävällinen ja varma”.

IVO on kehittänyt kalliovarastointiin perustuvan huoltoketjun Loviisan laitosten matala- ja keskiaktiivisille jätteille. Jätteille tarvittavasta kiinteytyslaitoksesta ja loppusijoitustilasta on olemassa viran-

omaisten hyväksymät konseptit ja suunnitelmat nopeaankin rakentamispäätökseen, mikäli ne jätemäärien kasvaessa tulevat ajankohtaiseksi. Kalliovarastoinnin turvallisuusselosteiden lähtötietojen tutkimukset jatkuvat edelleen. Muut ydinjätetekniikan kokeet ja selvitykset koskevat jätteiden käsittelymenetelmiä, jätteiden sementtiin kiinteytyksen optimointia, betonin pitkäaikaista pysyvyyttä sekä laitoksen käytöstä poiston tekniikoita.

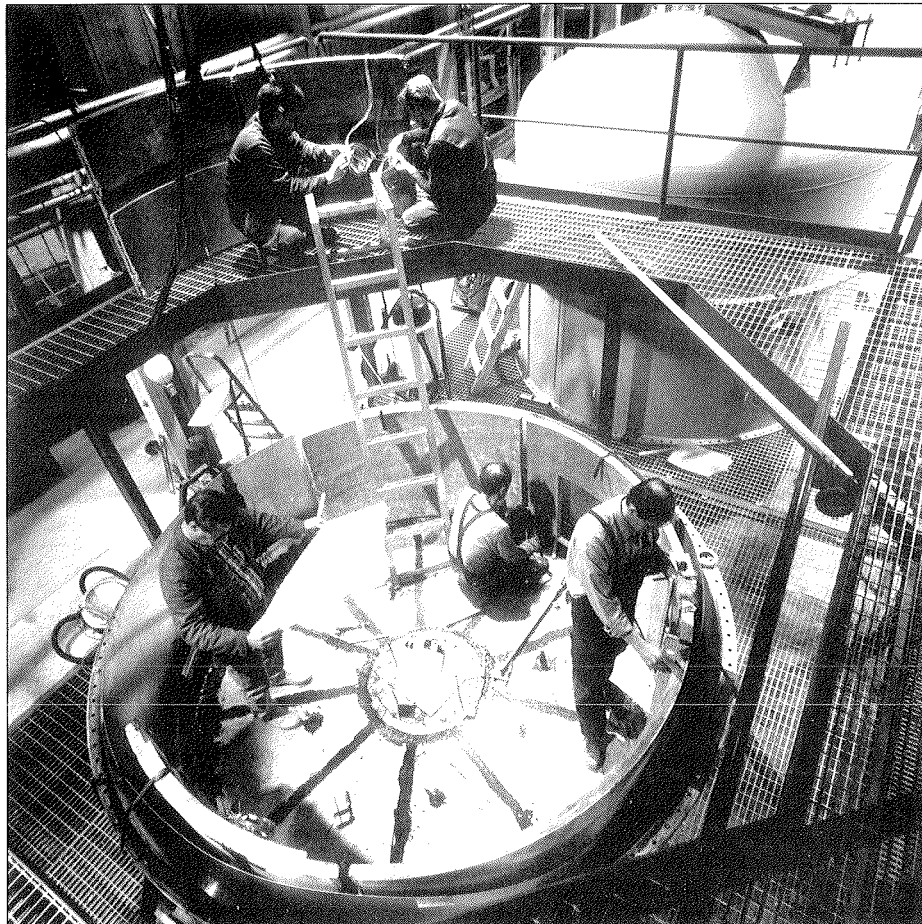
Taloudellisella ja tehokkaalla jäteteknologialla on kasvava kysyntä ydinvoimalalla. Ydinjätetekniikasta on parhaillaan kehittymässä uusi liiketoiminta-alue. Eriytyisen kiinnostavilta näyttävät sellaiset menetelmät, joilla jätteen tilavuus saadaan pieneneväksi. Jätehuollon kustannukset riippuvat näet melko suoraan jätteiden tilavuudesta.

IVO:n tuotekehitys testaa ja kehittää menetelmää orgaanisten jätteiden ja hartsien mikrobiologiseen hajotukseen. Toinen kehitteillä oleva tilavuuden pienentämisen tekniikka on nuklidien kemiallinen erottaminen jäteliemistä. Menetelmää on kehitetty ensiksi kesiumin keruuseen mutta mahdollisesti se soveltuu myös eräille muillekin nuklideille.

Ydinvoimalaitosanalysaattorilla määrää ja laatua suunnitteluun

IVO ja VTT ovat kehittäneet voimalaitoksen prosessin vaihtoehtojen tarkastelua ja valintaa tehostavan suunnittelusimulaattorin. Nyt on käynnissä simulaattorin verifiointi ja sen erikoisversion laatiminen ydinvoimalaitoksia varten. Tavoitteena on vähintään nykyisten analysohjelmistojen tasoinen simulaattori, joka kattaa pääosin kaikki ydinvoimalaitoksen järjestelmät.

Uuteen ydinvoimalaitokseen tulisi todennäköisesti digitaalinen automaatiojärjestelmä. Tätä koskevassa kehitysprojektissa tavoitellaan valmiutta ydinvoimalan digitaalisen automaation toteuttamiseen. Ennen määritellään digitaalisen järjestelmän piirteet ja selvitetään lisensiointikysymykset. Tavoitteena tässä vaiheessa on edetä tarjouskyselyihin asti. □



Loviisan suojarakennusta kuvaavan koelaitteiston asennustyöt käynnissä.

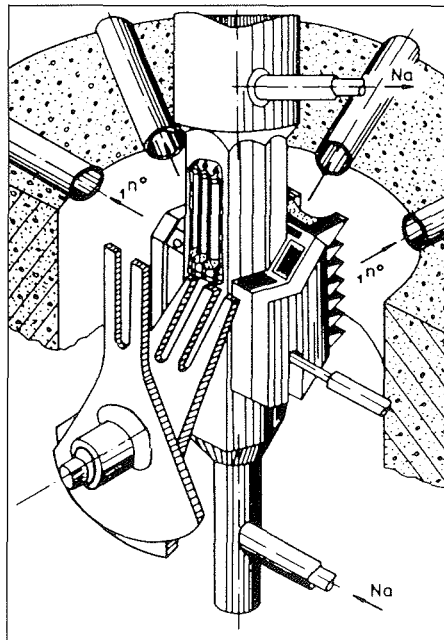
TkL Hannu Kaikkonen toimii IVO:ssa tutkimustoiminnan suunnitteluun ja hallintoon liittyvissä tehtävissä, p. 90-508 4603.



Maailman tutkimusreaktorit

Tutkimusreaktoreiden samoin kuin muidenkin ydinreaktoreiden historia sai alkunsa Chicagossa Yhdysvalloissa joulukuun toisena päivänä v. 1942, kun Enrico Fermi työryhmineen sai aikaan jatkuvan ketjureaktion kuuluisassa atomimilussaan, jossa oli 30 tonnia grafiittia ja kahdeksan tonnia luonnonuraania. Fermi reaktori oli oikeastaan koereaktori, jonka tarkoituksena oli saada kokeellista tietoa ketjureaktion ylläpitämisestä. Koereaktoreita on sittemmin rakennettu lukuisissa osana normaalia teknillistä kehitysprosessia käyttökokemusten hankkimiseksi erilaisista reaktorikonsepteista.

Tutkimusreaktori puolestaan on valmis teknillinen tuote, jonka tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman suuri neutronivuo mahdollisimman taloudellisesti ja selviytyä turvallisesti sivutuotteena syntyvän hukkalämmön siirtämisestä pois. Tavoite on siten tavallaan aivan vastakkainen voimantuotantoreaktoreille, joiden tarkoituksena on hyödyntää lämpöenergiaa ja tulla toimeen sivutuotteena aina syntyvän säteilyn kanssa hyväksyttävällä tavalla. Tänäaän maailmassa on toiminnassa kaikkiaan 329 tutkimusreaktoria 54:ssä eri maassa. Käyttötarkoitukseltaan, neutronivuoltaan ja käyttökustannuksiltaan tutkimusreaktorit vaihtelevat suuresti ja ne voidaan jakaa karkeasti kolmeen kokoluokkaan. Skaalan alapäässä ovat opeuskäyttöön ja lyhytikäisimpien isotooppien tuottamiseen soveltuvat, neutronivuoltaan tyypillisesti enintään tasolle $1E13$ n/cm²/s yltävät matalatehoiset tutkimusreaktorit, jollainen on esimerkiksi Espoon Otaniemessä sijaitseva TRIGA-merkkinen tutkimusreaktori. Seuraavan kokoluokan muodostavat keskiuuren neutronivuon, tasolla $1E14$ n/cm²/s toimivat materiaalitutkimus- ja monikäyttöreaktorit, jollaisilla useimpien teollisuusmaiden käyttötarve tyydytetään. Ylimpänä luokkana ovat suurvoimareaktorit, neutronivuoltaan $1E15$ n/cm²/s tai enemmän, jollaisia on rakennettu vain muutama transuraanien ja/tai suuri-intensiteettisten neutronisuihkujen tuottamiseen lähinnä materiaali-fysiikan perustutkimuksen tar-



Dubnassa, Neuvostoliitossa toimivan IBR-2 reaktorin sydän. Kuvassa näkyy natriumjäähdytys ja kaksi pyörivää heijastinlevyä (vasemmalla), joilla tehopulssin syntymistä ohjataan.

peisiin. Seuraavassa pyritään lyhyesti selvittämään tutkimusreaktoreiden ja niiden varaan rakentuvan toiminnan merkitystä nykyaikaisille yhteiskunnille sekä esittelemään esimerkinomaisesti eräitä aktiivisesti toimivia tutkimusreaktoreita.

Reaktorimateriaalien tutkimus

Reaktorimateriaalien, sekä rakennemateriaalien että polttoaineen, on täytettävä niille asetetut suoritusarvot koko suunnitellun käyttöhistorian ajan ja selviydyttävä myös epätodennäköisistä, mutta mahdollisista, rasittavista transientitilanteista. Materiaalien kehittäminen ja valittujen materiaalien laadunvalvonta edellyttävät, että materiaalinäytteitä ja koekappaleita on voitava rasittaa käyttöä vastaavissa olosuhteissa neutroniannoksilla, jotka ylittävät suunnitellun käytön aikana saatavat annokset. Tällaista tarvetta varten tutkimusreaktoreiden sydämeen, nopean neutronivuon alueelle on rakennettu kontrolloidulla vesikierrolla varustettuja säteilytasemia, "irradiation loops", joihin on mahdollista aikaansaadan myös äärimmäisiä käyttötilanteita vastaavat olosuhteet.

Meitä lähimpänä sijaitseva materiaalitutkimusreaktori on Studsvikin R-2 reaktori Ruotsissa. Sen terminen teho on 50 MW ja suurin terminen ja nopea vuo kumpikin $4.0 E14$ n/cm²/s. Reaktorissa on kaikkiaan 21 säteilytuupia ja 34 muuta säteilytasemaa. Sen tärkein käyttötarkoitus on kevytvesireaktoripolttoainesäteilyskokeet, mutta reaktori on oikeastaan monikäyttöreaktori, joka on varustettu myös kuudella suihkuputkella neutronisointakokeiden suorittamista varten.

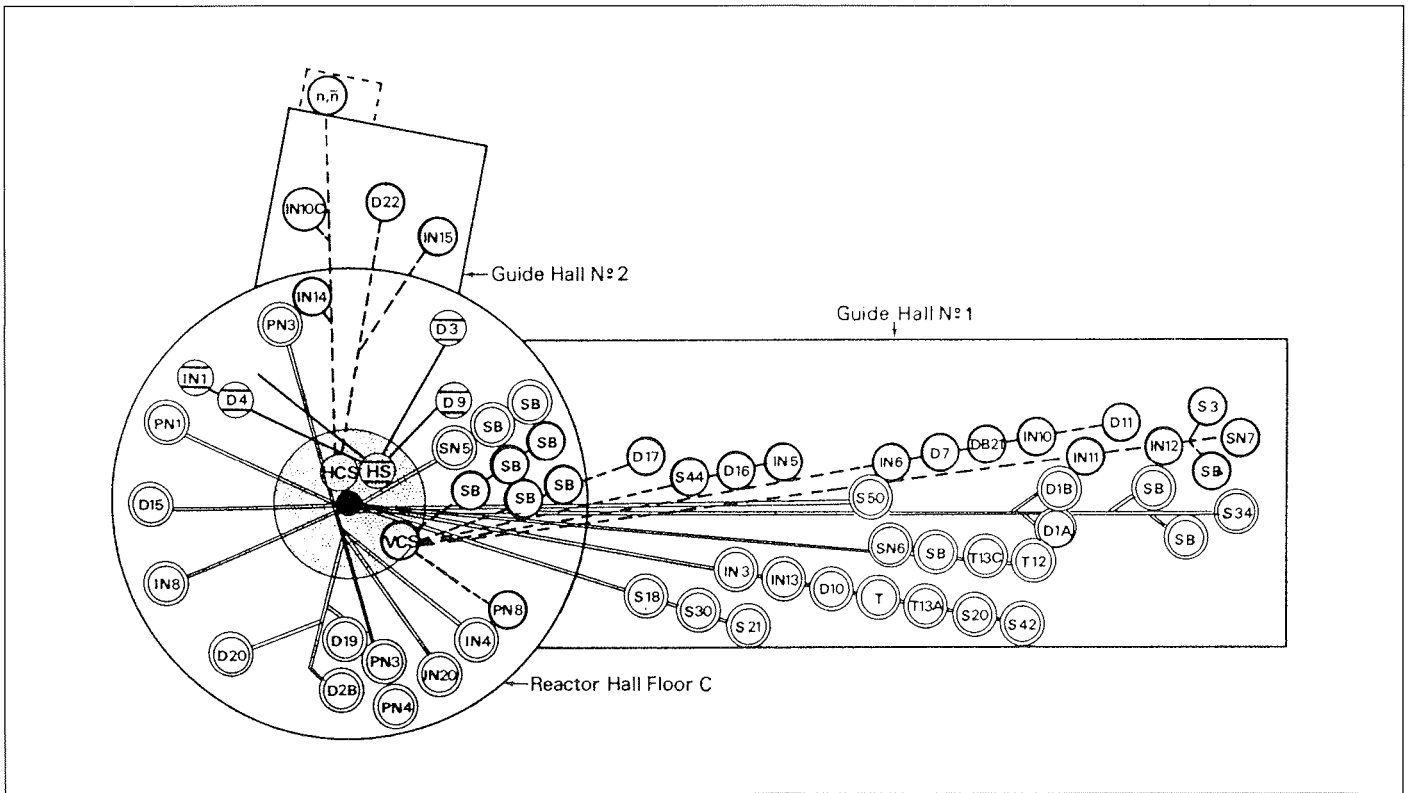
Toinen Suomen kannalta tärkeä materiaalitutkimusreaktori on Haldenissa, Norjassa sijaitseva HBWR, jonka terminen teho on 25 MW ja suurin terminen ja nopea vuo kumpikin $1.0 E14$ n/cm²/s. Reaktori on varustettu 5:llä luopilla ja 49:llä säteilytuupilla. Materiaalitutkimusohjelma on keskittynyt kevytvesireaktoripolttoaineeseen erityisesti monipuolisesti instrumentoiduin säteilytuupiksi.

Kolmantena esimerkkinä materiaalitutkimusreaktoreista mainittakoon Japanissa, Tokai-Murassa sijaitseva sylinterirengas-sydämellä varustettu TRIGA-reaktori NSRR. Se on jatkuvalta teholtaan vain 300 kW, mutta TRIGA-reaktoreiden tapaan sillä voidaan tehdä pulssikokeita, joissa tehuippu nousee peräti 2300 MW:iin. Rengasmaisen sydämen keskellä on suuri vapaa tila, johon voidaan sijoittaa tehoreaktoreiden polttoainepipuja kokonaisuutena. Pulssin aikana tutkittavaan nippuun voidaan aiheuttaa niin suuri tehotransientti, että nippu vaurioituu vakavasti. Näinkin rajuja testejä tehdään, jotta saataisiin selville polttoaineen käyttäytyminen todella äärimmäisissä olosuhteissa.

Tutkimusreaktoreiden tuotannollinen käyttö

Tutkimusreaktoreilla harjoitetaan pääasiassa kahdenlaista tuotannollista toimintaa, radioisotooppien valmistusta teolliseen ja lääkinälliseen käyttöön sekä puhtaan piin seostamista neutronikaappauksen synnyttämällä fosforilla.

Radioisotooppien tuottamista varten reaktorin yhteydessä on oltava radiokeemialliseen erotukseen soveltuvaa kuuma-kammioita. Tuotoreaktio on tavallimminkin yksinkertainen neutronikaappaus ja tähän riittää hyvin keskiuuren vuo reaktori. Harvinaisempien isotooppien tuottamiseen tarvitaan kaksi tai useampia peräkkäisiä neutronikaappauksia, esimerkiksi spontaanifissionneutronilähteenä käytetyn kalifornium-252:n tuottaminen.



Grenoblessa, Ranskassa sijaitsevan ILL-instituutin suurreaktorin tutkimuslaitteiden sijoittelukuva. Musta piste on reaktorin sydän.

Tämä edellyttää usein suurta vuota, jotta välituotteina syntyvät isotoopit, jotka ovat nekin tavallisesti radioaktiivisia, eivät ehtisi hajota ennen haluttua seuraavaa neutronikaappausta. Kaliforniumin ja muiden transuraanien tuotantoa on harjoitettu Yhdysvalloissa, Oak Ridgen laitoksessa sijaitsevalla HFIR-suuruvooreaktorilla, jonka terminen teho on 100 MW, suurin terminen vuo $2.1 \text{ E}15 \text{ n/cm}^2/\text{s}$ ja suurin nopea vuo $1.0 \text{ E}15 \text{ n/cm}^2/\text{s}$. Nykyisin osa säännöllisesti käytetyistä isotoopeista tuotetaan uraanista fissiona ja erotetaan muista fissionituotteista radiokemiallisesti, esimerkkinä molybdeeni-99, joka on teknetiumgeneraattoreissa käytetty emänukliidi.

Suurjännitepuolijohdekomponenteilta vaaditaan korkeaa lämpilyöntikestävyttä. Tämän saavuttamiseksi seostamisen 1. douppauksen on oltava mahdollisimman homogeeninen. Luonnon pii sisältää 3.1 % isotooppia Si-30, joka neutronikaappauksen ja beta-hajoamisen kautta muuttuu stabiiliksi fosfori-isotoopiksi P-31. Termisillä neutroneilla annettu piin säteilytys johtaa selvästi tasaisempaan fosforijakautumaan kuin mitä on mahdollista saavuttaa kemiallisella seostamisella. Säteilyspaikan tulee olla riittävän suuri, jotta piitangot voidaan kokonaisena säteilyttää, nopean vuon alhainen ja termisen vuon homogeeninen. Varsinkin pienisydämisillä reaktoreilla vaatimusten täyttäminen on vaikeaa. Homogeenisempaan fosforijakautumaan voidaan päästä katkaisemalla tanko kahtia, kääntämällä aluksi ulommaisina olleet päät vastakkain kesken säteilytyksen ja pyörittämällä puolikkaita säteilytyksen aikana.

Neutronisuihkuja hyödyntävä tutkimus

Tiiviin aineen eli kiinteässä tai nestemäisessä muodossa olevan aineen järjestäytymisen ja energiatilojen tutkimisessa termiset neutronit ovat osoittautuneet korvaamattomiksi. Tämä johtuu neljästä seikasta. Ensinnäkin neutroneilla ei ole sähköistä varausta, minkä vuoksi ne helposti tunkeutuvat tutkittavaan aineeseen. Toiseksi termisten neutronien aallonpituus on samaa suuruusluokkaa kuin atomien väliset etäisyydet tiiviissä aineessa, jolloin neutronien elastisessa sironnassa esiintyy voimakkaita interferenssejä, diffraktiota, järjestäytymisen sormenjälkinä. Kolmanneksi termisten neutronien energia, kuten termisyyskäsite pyrkii ilmaisemaan, on samalla energia-alueella näytteen lämpöliikettä karakterisoivien energiatilamuu-
tosten kanssa, ja vuorovaikutus sopivan heikko, jotta neutronien epäelastinen sironna voitaisiin selittää yksinkertaisina energian- ja impulssinvaihtoreaktioina. Neljänneksi on vielä mainittava, että neutronilla on magneettinen momentti, mikä mahdollistaa aineen magneettisen järjestyksen ja magneettisten energiatilojen tutkimisen. Kun sironnakohteissa kerättävä informaatio koostuu yksittäisten neutronien rekisteröintinä, tarkkojen tulosten mittaaminen edellyttää riittävää statistiikkaa, eli miljoonien tai jopa miljardien neutronien rekisteröintiä yhdessä kokeessa. Vaikeat ja haasteelliset kokeet vaativat intensiivisiä neutronisuihkuja ja niiden tuottamiseksi on rakennettu suurvooreaktoreita. Alan kansainvälinen keskus on Laue-Langevin-instituutti (ILL) Grenoblessa, jossa on toiminut 57 MW:n

suuruvooreaktori vuodesta 1971. Tämä Ranskan, Saksan Liittotasavallan ja Englannin yhdessä ylläpitämä reaktori on rakennettu suihkuputkireaktoriksi tuottamaan neutroneita suurelle joukolla erilaisia neutronispektrometreja, joista huomattava osa sijaitsee kymmenien metrien päässä reaktorista, neutronijohdinhallissa. Neutronijohtimet ovat nikkelpäällysteisistä lasielementeistä rakennettuja, neutroneja kokonaisheijastavia johtimia, jotka pystyvät lähes häviöttömästi siirtämään neutroneja alhaisen taustasäteilyn alueelle kauas reaktorista. Reaktorin suurin terminen vuo on $1.3 \text{ E}15 \text{ n/cm}^2/\text{s}$ ja reaktori on varustettu sekä kylmä- että kuumaneutronilähteillä halutun spektri-alueen intensiteetin maksimoimiseksi.

Leningradin lähelle Hatsinaan rakennetaan 100 MW:n suurvooreaktoria, jonka termisen vuon suunnitteluarvo on $4 \text{ E}15 \text{ n/cm}^2/\text{s}$. Tshernobylin onnettomuuden seurauksena myös tutkimusreaktoreiden turvallisuusvaatimuksia kiristettiin ja tämä on osaltaan viivästännyt rakennustöitä, jotka aloitettiin jo v. 1979. Tämän hetken tietojen mukaan käyttöönoton pitäisi tapahtua v. 1992.

Dubnassa, Moskovan luoteispuolella toimii pulssikäyttöinen nopea reaktori IBR-2 ja tuottaa pulssitettuja neutronisuihkuja erilaisten lentoaikaspektrometrien käyttöön. Polttoaineena on plutonium. Reaktori on normaalisti alikriittinen, mutta kasvutekijään voidaan vaikuttaa kahdella, toisiaan täydentävällä pyörivällä heijastinlevyllä. Vasta, kun molemmat, toisiinsa synkronoidut, mutta eri nopeudella vastakkaisiin suuntiin pyörivät hei-

jastimet muodostavat hetkeksi yhtenäisen heijastimen, reaktori tulee ylikriittiseksi ja tuottaa viisi kertaa sekunnissa 1500 MW:n suuruisen, 215 mikrosekunnin kes- toisen tehopulssin. Keskimääräinen teho on 2 MW. Moderaattorissa saavutettava termi- nen vuo on pulssin huipussa $1E16$ n/cm²s. Tarkkoja lentoaikamittauksia varten termisen pulssin pituus, yli 300 mikrosekuntia on kuitenkin liian pitkä, jotta sitä voitaisiin sellaisenaan käyttää suurta erotuskykyä vaativien lentoaika- mittauksen lähtömerkkinä. Diffraktiomit- tauksissa asiaa voidaan auttaa Otanie- messä kehitetyllä käänteisellä lentoaika- tekniikalla, millä efektiivinen pulssinpi- tuus voidaan lyhentää alle 10 mikrose- kunnin menettämättä intensiteetistä enempää kuin kolme neljäsosaa. Käytän- nön toteutukseen tähtäävä projekti on käynnissä.

Tulevaisuudennäkymiä

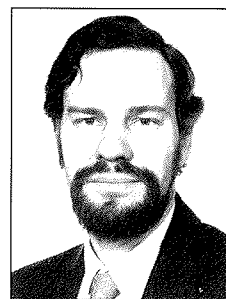
Reaktoritekniikan mahdollisuudet kasvat- taa neutronivuota nykyisistä arvoista kil- pistyvät ennenkaikkea lämmönsiirto- ongelmaan. Tosin Yhdysvalloissa on esi- tetty suunnitelma uudesta ANS- reaktorista (advanced neutron source), jonka teho olisi 300 MW ja termi- nen vuo $1E16$ n/cm²/s. Sydän koostuisi kahdesta sylinterirenkaan puolikkaasta, jonka muodostaisivat U₃Si₂ polttoaineesta val- mistetut levyt. Vaihtoehtoinen teknologia perustuu spallaatioon, missä n. 1 GeV:n protonisuihku kohdistetaan raskaista yti- mistä muodostuvaan kohtioon. Vapautu- vien neutronien tuotto suhteessa pois siir- rettävään lämmöntuottoon on paljon edullisempi kuin fissiossa. Tästä syystä spallaatioteknologialla on puoltajansa seuraavien suurvuoneutronilähteiden kaa- viluissa. Spallaatiolähteitä on toiminnas-

sa Englannissa, Sveitsissä, Japanissa ja kaksi Yhdysvalloissa. Eräänä vaikuttime- na on ollut välttää korkeasti väkevoityyn ydinpolttoaineeseen liittyvät ydinaseiden leviämiskäsit. Alhaisempaan väkevointi- asteeseen tyytyminen johtaa nimittään suurvuoreaktoreilla huomompaan käyttö- talouteen. □

Professori Pekka Hiismäki on VTT:n reaktorilaboratorion johtaja, p. 90-456 6320.

Pekka Hiismäki, VTT

FiR 1, Otaniemen TRIGA-reaktori, 28 vuotta ydintekniikan palveluksessa



1950-luvulla prof. Erkki Lauri- lan johdolla toiminut energia- komitea esitti, että Suomeen olisi luotava edellytykset ydin- energian käyttöön otolle. En- simmäinen askel olisi alan koulutus- ja tutkimustoimin- nan käynnistäminen, mikä ta- pahtuisi parhaiten hankkimalla oma tutkimusreaktori. Hanke konkretisoitui nopeasti, kun Geneven konferenssiin v. 1958 osallistuneet suomalaiset tutus- tuivat siellä esiteltyyn, toimi- vaan yhdysvaltalaiseen TRIGA- reaktoriin. Toimittajalta pyy- detty tarjous osoitti, että TRIGA MARK II-tyyppinen reaktori oli teknisiltä ominai- suuksiltaan poikkeuksellisen turvallinen, ja lisäksi hinnal- taan edullinen.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätök- sellä tilattiin jatkuvalta teholtaan 100 kW:n suuruinen tutkimusreaktori, joka annettiin teknillisen korkeakoulun hallin- taan toimimaan prof. Pekka Jauhon joh- dolla Otaniemessä, teknillisen fysiikan laitoksen yhteydessä. Tasavallan presi- dentti Urho Kekkonen vihki reaktorin vi-

rallisesti käyttöön elokuun 31 p:nä 1962 laukaisemalla reaktorin erikoisuuksiin kuuluvan tehopulssin. Tiedotusvälineiden mukaan Suomi oli täten siirtynyt atomi- aikaan.

Reaktori ydintekniikan koulu- tuksessa

Vaikka Suomeen hankittu reaktori olikin varsin pienikokoinen esimerkiksi muiden pohjoismaiden hankkimiin reaktoreihin verrattuna, käynnistyi sen pohjalta erityi- sen innostunut ja tuottelias tutkimus- ja opetustoiminta. Ensimmäisen kymmenen vuoden aikana valmistui kaikkiaan 63 diplomityötä, 22 lisensiaattityötä ja 13 väitöskirjaa, jotka käsitelivät sekä reaktoria itseään, että reaktorin mahdollista- mia tutkimuskohteita laajalla sovellutus- alueella. Tähän ajankohtaan asti vastaavat luvut ovat 86, 29 ja 20. Kokemusta kar- tutti myös tehonkorotusprojekti v. 1967, jolloin teho nostettiin nykyiseen 250 kW:iin. Reaktorin hallinta siirrettiin v. 1971 TKK:lta VTT:lle, mikä johtui pää- asiassa kahdesta syystä. Samaan aikaan toteutettu korkeakoulu-uudistus siirsi TKK:n kauppa- ja teollisuusministeriön alaisuudesta opetusministeriön alaisuus- teen. KTM:n huomattavalta osaltaan ra- hoittama tutkimustoiminta katsottiin tar- koituksenmukaisemmaksi kanavoida oman ministeriön alaiselle VTT:lle. Toi- seksi monet reaktorin varaan rakennetut palvelutoiminnat soveltuivat paremmin VTT:n kuin TKK:n yhteyteen. Opetus- ja tutkimustarkoituksiin TKK:lle jäi vielä oikeus ilman eri korvausta käyttää enin-

tään 30 % reaktorin kapasiteetista. Tek- nillinen korkeakoulu käyttää edelleenkin reaktoria reaktorifysiikan ja -tekniikan harjoitustöissä. Vuosittain töihin osallis- tuu noin 25 innostunutta korkeakoulu- opiskelijaa. Reaktoriin käy lisäksi tutus- tumassa vuosittain lukuisia muiden oppi- laitosten luokkia ja kursseja.

Reaktorin hankinta ja sen avulla luotu ydintekniikan koulutus osoittautuivat oikea-aikaisiksi ja oikein mitoitetuiksi toimiksi, kun Suomessa 1970-luvulla käynnistettiin kaikkiaan neljä voimalai- tosprojektiä. Varsinkin Loviisan laitos- projekti ja samaan aikaan luotu reaktori- turvallisuuksialan viranomaisorganisaatio tarvitsivat runsaasti ydintekniikan am- mattilaisia. Tehtäviin rekrytoiduista huomattava osa oli hankkinut koulutuksensa FiR 1:llä. Tämän merkitykseltään tärkeimmän tehtävän lisäksi reaktorin ympä- rille luotiin suorituskykyinen aktivoi- nti-analysiryhmä, teollisuuden prosessitut- kimuksiin erikoistunut merkkiainetutki- musryhmä sekä isotooppilääketieteen tut- kimusryhmä.

Reaktoriin nojaava tutkimus- ja palvelutoiminta

FiR 1:n neutronivuo $1E13$ n/cm²/s yltää vain puoleen prosenttiin tehokkaimpien tutkimusreaktoreiden neutronivuosta. Pienen reaktorin käyttäjän on tarkoin harkittava, milloin työhön on syytä käyt- tää omaa reaktoria ja milloin kannattaa hakeutua yhteistyöhön tehokkaampien reaktoreiden kanssa. Vuosien myötä valin-

taa on tapahtunut ja monia alkuaikojen toimintoja lopetettu. Pienellä reaktorilla on kuitenkin mahdollista testata uusien ideoiden toimivuus, ja hakeutua yhteistyöhön suurempien reaktorien kanssa, kun kilpailukykyiseksi osoitettu idea halutaan valjastaa hyötykäyttöön. Tästä on maailmalla lukuisia esimerkkejä. Esimerkiksi Otaniemessä kehitettyä käänteistä lentoaikamenetelmää sovelletaan neutronidiffraktioon monivuotisen yhteistyön puitteissa Leningradin ydinfysiikan instituutissa ja jäännösjännitysten mittaamiseen Geesthactin tutkimuskeskuksessa.

FiR 1:n neutronivuo on täysin riittävä moniin käytännön tarkoituksiin, jotka perustuvat lyhytikäisiin aktiivisuuksiin. Neutroniaktiivointianalyysi on herkkä nuklidispesifinen menetelmä, jolla voidaan määrittää yli 50 eri alkuainetta. Otaniemen ryhmä on ollut varsin tuottelias, yhteensä yli 200 tieteellistä julkaisua. Erityisesti on panostettu laboratorioautomaatioon, jotta suuria näytemääriä pysyttäisiin tehokkaasti ja taloudellisesti käsittelemään. Työllä on ollut tärkeä merkitys Suomen geokemialliselle kartoitusprojektille ja parhaimmillaan käsiteltiin yli 30 000 näytettä vuodessa. Nykyään toiminta on supistumassa malminetsinnän vähenemisen ja uusien, massa-analytiikkaan soveltuvien menetelmien kehittämisen johdosta. Matriisiefektien vähäisyyden vuoksi aktiivointianalyysillä säilyi kuitenkin referenssiluonne ja sillä voi analysoida useita harvinaisia alkuaineita ja vaikeita näytteitä, joiden analysointi muilla menetelmillä on vieläkin vaikeaa.

Lyhytikäisten isotooppien avulla tehty merkkiainetutkimus antaa monissa tapauksissa korvaamatonta tietoa teollisuuden materiaali- ja prosessien toimivuudesta. Alan palvelutoiminnan joustavuuden kannalta mahdollisuus käyttää omaa reaktoria on ratkaisevan tärkeää ja sallii lisäksi aina kaikkein lyhytikäisimpien isotooppien valinnan ympäristön säteilykuormituksen minimoimiseksi. Isotooppigeneraattoreilla voidaan kapeilla käyttösektoreilla, kuten eräissä virtausmittauksissa, toimia vielä joustavammin, mutta reaktori mahdollistaa yleisesti optimaalisen merkkiainevalinnan kohteen mukaan. Reaktorilaboratorion merkkiaineryhmä on ollut näkyvästi esillä alan kansainvälisissä kokouksissa ja tietämyksen siirtämisessä alalle tulevien uusien ryhmien käyttöön osana IAEA:n toimintaa.

Isotooppilääketieteen käyttämät, reaktoreissa tuotetut radioisotoopit vaativat ta-

vallisesti vähintään keskisuurta, useita päiviä yhtäjaksoisesti käytettävää reaktoria. Suomen kaltaisen maan onkin ehdottomasti edullisempaa tuottaa tällaiset isotoopit ulkomailta kuin olisi rakentaa ja käyttää omaa tuotantokapasiteettia. Vain kaikkein lyhytikäisimpien, suuren aktiivisuusvaikutusalan tuotoreaktioon perustuvien radioisotooppien tuottamiseen kannattaa käyttää omaa reaktoria. Eräs tällainen isotooppi on dysprosium-165, jonka käyttö nivelreuman hoitoon on nopeasti yleistymässä. Hoitoaineen muodostaa FHMA, rautahydroksidikolloidi, johon dysprosium tarttuu. Nivelneesteeseen injektioituna aine kiinnittyy tulehtuneille kalvoille, jotka energialtaan sopivan tunkeutuva beetasäteily tuhoaa. Esiselvitysvaiheessa on FiR 1:n soveltuvuuden arviointi neutroniterapiaan, johon on viime aikoina kiinnitetty kasvavaa huomiota vaikeiden syöpätapausten hoidossa. Lisääntyneet odotukset johtuvat ennenkaikkea edistymisestä syöpäkudoksiin selektiivisesti hakeutuvien boorijohdannaisten synteesissä.

Reaktorin kunto

Tänään itse reaktori on teknisesti hyvässä kunnossa. Instrumentointi uudistettiin perusteellisesti v. 1982. Tutkimusreaktorin käyttökäyttö on turvallisuudesta tinkimättä paljon helpompi jatkaa tarvittaessa osa kerrallaan vaihtamalla kuin voimareaktorin, missä paineastian vaihtamistarve tavallisesti merkitsee laitoksen käyttöänsä päättymistä. Lähes 30 vuoden käyttöhistorian aikana Otaniemen reaktorilla käytökeskeytykseen on johtanut vain yksi reaktoritekniikan syy, polttoainesauvan suojakuorivaurio, ensimmäinen, selvä halkeama v. 1981 ja toinen, vaikeasti havaittava v. 1988. Edellisessä tapauksessa arviointiin, että merkittävin vapautunut fissiotuote oli jodi, jota pääsi reaktoritankin veteen kaikkiaan n. 60 mikro Ci. Määrä on samaa suuruusluokkaa kuin kilpirauhaskuvauksissa tutkimustarkoituksessa potilaalle annettu jodimäärä. Reaktorirakennus ei kuitenkaan vastaa nykyisiä suunnittelukriteerejä ja esimerkiksi ikkunoiden ja ovien tiiveyttä olisi parannettava, jotta poistosuodattimia ja ilmanvaihtoa ei tarvitsisi mitoittaa kohtuuttoman suuriksi tietyn, poikkeustilanteessa halutun alipaineen saavuttamiseksi. Reaktoria ajetaan yhdessä vuorossa keskimäärin 7 tuntia päivässä ja tällä käytöllä polttoainetta on varastossa yli kymmeneksi vuodeksi.

Reaktorin talous

Reaktorin käyttökustannukset ovat vuosittain n. 2.5 milj. mk. Arvio sisältää

FiR 1-reaktorin tekniset tiedot

tyyppi Triga Mark II
vesijäähdytteinen allasreaktori

teho 250 kW

pulssiteho 250 MW

pulssin kesto 30 ms

ylijäämäreaktiivisuus 4 \$ (3 %)

suurin neutronivuo
 $1 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$

polttoaine U + ZrH_x

uraanin väkevöintiaste 20%
²³⁵U

sydämen lataus 80 polttoaine-
elementtiä, joissa 15 kg U
(3 kg ²³⁵U)

säätösauvat 4 kpl, B₄C

säteilytystilat:

terminen neutronivuo n/cm²s

keskusputki 1×10^{13}

aktiivointiputki $4,2 \times 10^{12}$

putkipostit $4,2 \times 10^{12}$

säteilytysrengas $1,8 \times 10^{12}$

työpalkat välillisine lisineen, viranomaisvalvonnan, polttoaineen sekä muut aineet ja tarvikkeet. Lukuun ei sisälly ydinjätehuoltoa eikä merkittäviä muutostöitä. Uusi ydinenergiatalo muutti FiR 1 reaktorin aseman siten, että siihen alettiin soveltaa aikaisemmasta poiketen ydinjätehuollon varausmenettelyä. Koska käyttöhistoria on jo lähes 30 vuoden pituinen varautuminen päätettiin toteuttaa kerta-kaikkisena, ei vuosittain kartutettavina erinä. Tällöin ei myöskään tarvittu puuttuvan osan vakuutusjärjestelyjä. Käytetyn polttoaineen palauttamiskysymys on tällä hetkellä epäselvä, sillä Yhdysvallat on parhaillaan uudistamassa tähän asti noudattamaansa käytäntöä ottaa viiden vuoden välein tarkistettavaa maksua vastaan toimittamansa TRIGA-polttoaineen käytettynä takaisin. Tästä syystä VTT on solminut TVO:n kanssa sopimuksen, joka tarvittaessa mahdollistaa TRIGA-polttoaineen loppusijoittamisen TVO:n käytetyn polttoaineen mukana, edellyttäen, että sellainen toimeenpannaan Suomessa.

Kertakaikkinen varautumismäärä, joka sisältää myös käytöstäpoiston on tällä hetkellä n. 16 milj. mk. Ydinenergialaki on muutenkin lisännyt FiR reaktorin käyttökustannuksia. Sen nojalla v. 1990 alussa voimaan astunutta uutta käyttöluoppaa edelsi lupa-asiakirjojen perusteellinen remontti, m.m. luotiin laadunvarmistusjärjestelmä kattamaan tärkeimmät käyttöön liittyvät toiminnot. Kun reaktorin varaan rakentuvien palvelutoimintojen yhteinen liikevaihto on vain saman suuruinen kuin reaktorin vuotuiset käyttömenot, ei käyttökustannusten periminen täysimääräisenä palvelujen käyttäjiltä ole realistista. Pääosa reaktorin käyttökustannuksista joudutaankin maksamaan julkisin varoin. Budjettirahoitusta ei kuitenkaan ole onnistuttu kasvattamaan menojen kasvua vastaavasti. VTT on joutunut allokoimaan suoran budjettirahoituksen niukan kasvun vain kaikkein tärkeimpien, uusien teknologioiden kehittämiseen. FiR 1:n kannalta seurauksena on ollut usean vuoden ajan alijäämäinen talous, kun välttämättömät menot on joka tapauksessa jouduttu maksamaan.

Reaktorin tulevaisuus

Reaktorin käyttötarvetta ja merkitystä tulevien vuosien kehitykselle Suomessa on pohdittu VTT:llä, kauppa- ja teollisuusministeriössä sekä ydinenergianeuvottelukunnassa. Tällä hetkellä näyttää siltä, että tahtoa löytyy reaktorin käytön jatkamiseen ainakin kahdeksi vuodeksi eteenpäin. Käytön lopettaminen olisi huono signaali nyt, kun vaalien jälkeinen eduskunta ja hallitus joutuvat linjaamaan energiahuollon ratkaisut vuosikymmenen jälkipuoliskolle ja ottamaan kantaa myös viidennen ydinvoimalan rakentamiseen. Vaikka monia tutkimusreaktoreita maailmassa onkin lopetettu, Espanja on toistaiseksi ainoa ydinenergiamaa ja ainoa teollistunut maa, jolla ei enää ole käytössä ainoatakaan tutkimusreaktoria. Muissa maissa käyttöä jatkavien reaktoreiden peruskorjaukseen on investoitu merkittävästi. FiR 1:n käyttökin on aika ajoin otettava tarkastelun kohteeksi ja voitava vakuuttua siitä, että käytön jatkamiselle on riittävän painavat perusteet. Tällä kertaa näin näyttää olevan. Jotta niin olisi myös seuraavalla kerralla, meidän käyttäjien on kyettävä tarjoamaan riittävästi korkeatasoisia palveluksia kilpailukykyiseen hintaan. □

Professori Pekka Hiismäki on VTT:n reaktorilaboratorion johtaja, p. 90-456 6320.

AVOIN KIRJE KAUPPA- JA TEOLLISUUS-, OPETUS- SEKÄ SOSIAALI- JA TERVEYSMINISTEREILLE

Saatuaan tietää, että Suomen ainoan, Espoon Otaniemessä sijaitsevan tutkimusreaktorin käytön lopettamista harkitaan, Suomen Atomiteknillinen Seura r.y. (ATS) haluaa saattaa tietoonne seuraavaa.

Tutkimusreaktoreilla on yhä edelleen tärkeä rooli sekä teollistuneiden maiden että kehitysmaiden infrastruktuurissa riippumatta siitä, onko maalla omaa ydinenergiaohjelmaa vai ei. Tutkimusreaktori on myös tärkeä ydintekniikan keskeisten asioiden koulutuksessa. IAEA:n viime vuonna julkaiseman tilaston mukaan maailmassa oli käytössä yhteensä 325 tutkimusreaktoria kaikkiaan 54:ssä eri maassa. Tutkimusreaktoreiden tehot ja käyttötarkoitukset vaihtelevat suuresti. Otaniemen reaktori kuuluu pienimpiin ja käyttökustannuksiltaan alhaisimpaan teholuokkaan. Sillä on pystytty tyydyttämään vain osa Suomessa esiintyvistä käyttötarpeista. Tehokkaampaa reaktoria edellyttävät palvelut on hankittu järkevän kansainvälisen työnjaon pohjalta ulkomaisilta reaktoreilta.

Otaniemen reaktorin välittömät käyttökohteet löytyvät teollisuuden prosessitutkimuksista, isotooppilääketieteestä, neutroniaktiivointianalyseista sekä koulutuksesta. Ydintekniikan alalla on oma, toiminnan kaikinpuolista turvallisuutta korostava kulttuurinsa, jonka syväallinen omaksuminen ja sisäistäminen on aivan keskeisestä ydintekniikan menestykselliselle käytölle ja ongelmien ennaltaehkäisemiselle. Suomen ydinenergiaohjelman menestys on osaltaan pohjustettu juuri Otaniemen tutkimusreaktorilla annetulla koulutuksella ja ydintekniikan kulttuuriin perehdyttämisellä.

Ydinenergian rakentamisessa vallinnut pitkä tauko on vaikeuttanut alan koulutuksen suunnittelua, ja vaikeudet tulisivat edelleen lisääntymään, mikäli korkeakouluopiskelijoilta putoaisi mahdollisuus tustua lähellä omaa opiskeluympäristöään ydintekniikkaan ja sen erityiskulttuuriin. Reaktorin käytön lopettaminen poistaisi myös kakein lyhytikäisimmät reaktori-isotoopit sairaaloiden ja teollisuuden valikoimasta ja pakottaisi turvautumaan selvästi huonompiin vaihtoehtoihin.

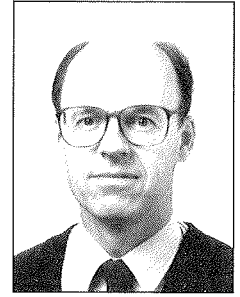
Suomen Atomiteknillinen Seura esittää, että valtiovalta tarkastelisi Otaniemen reaktorin käyttöä laajemmasta kuin ahtaan käyttötalouden näkökulmasta ja turvaisi reaktorin käytön jatkumisen 1990-luvulla.

Helsingissä 8. kesäkuuta 1990

Suomen Atomiteknillinen Seura r.y.

Ilkka Mikkola
Puheenjohtaja

Jussi Palmu
Sihteeri



Ydinpolttoainetutkimukset IVO:ssa

Loviisan voimalaitoksen ydinpolttoaine on ollut erilaisten tutkimusten kohteena jatkuvasti koko laitoksen tähänastisen käytön ajan. Lisäksi ydinpolttoaineen käyttäytymistä tutkitaan yksityiskohtaisesti erilaisissa koereaktoreissa.

Laitosta käynnistettäessä v. 1977 katsottiin, että polttoaineen ominaisuuksista ja erityisesti sen valmistuksen valvonnasta oli Suomessa liian vähän tietoa, jotta olisi voitu varmasti ennustaa polttoaineen hyväksyttävä käyttäytyminen kaikissa oletetuissa käyttö- ja onnettomuustilanteissa. Tästä syystä reaktorin teho rajoitettiin kolmen ensimmäisen käyttövuoden ajaksi 92 %:iin nimellisestä tehosta. Tänä aikana tehtiin IVO:n ja VTT:n yhteistyönä Loviisan polttoaineesta mittava kirjallisuustutkimuksiin ja analyysiin perustuva kokonaisselvitys, jonka perusteella päädyttiin siihen, että reaktorin teho voitiin turvallisesti korottaa 100 %:iin.

Kokonaisselvityksen perusteella katsottiin tarpeelliseksi suorittaa joukko toimenpiteitä, joilla polttoaineen turvallisuusmarginaaleihin liittyviä epävarmuuksia voitaisiin pienentää. Oleellisen osan näistä toimenpiteistä muodostivat säteilytetylle polttoaineelle tehtävät tutkimukset.

Polttoaineelle tehtävien tutkimusten tarkoituksena on varmentaa, että polttoaine käyttäytyy sekä normaaliolosuhteissa että oletetuissa onnettomuusolosuhteissa siten kuin sen on ennustettu käyttäytyvän. Tutkimustulosten avulla parannetaan myös polttoaineen käyttäytymistä kuvavien mallien tarkkuutta siten, että käyttäytyminen voidaan ennustaa mahdollisimman luotettavasti myös epätavallisissa olosuhteissa, joiden tutkiminen kokeellisesti on vaikeaa.

IVO:n tutkimustoiminta kohdistuu sekä suoraan Loviisassa käytettävään polttoaineeseen että tutkimusreaktoreissa koe-polttoaineella suoritettaviin koeohjelmiin.

Polttoaineen tutkimukset

Loviisan polttoaineen perustutkimukset
Kokonaisselvityksen johtopäätösten perusteella tehtiin 1980 luvun alussa päätökset yhden Loviisassa 34,7 MWd/kgU palamaan säteilytetyt polttoainepinon tutkimisesta Studsvik Ab:n kuumakammiossa Ruotsissa ja ydinpolttoaineen al-

lastutkimuslaitteiston hankkimisesta Loviisan voimalaitokselle.

Studsvikissa suoritetun kuumakammio-tutkimuksen tulokset vastasivat hyvin polttoainetoimittajan aikaisemmin raportoimia Loviisa-tyyppisen polttoaineen tutkimustuloksia. Polttoainepinno ja -sauvat olivat erinomaisessa kunnossa. Erityisesti voidaan mainita, että polttoainesauvojen suoja-kuorien oksidoituminen ja fysiokaasujen vapautuminen polttoainematriisista oli vähäistä.

Nykyään Loviisan säteilytetylle polttoaineelle tehtävät tutkimukset suoritetaan pääasiassa Loviisan voimalaitoksella IVO:n suunnittelemana ja hankkimalla ydinpolttoaineen tutkimuslaitteistolla. Laitteiston avulla voidaan polttoainepinnoille suorittaa monipuolisia dimensiomittauksia, purkaa niitä, irroittaa yksittäisiä polttoainesauvoja tutkittavaksi ja ottaa näytteitä rakennemateriaaleista. Gammamittauslaitteistolla voidaan polttoainesauvoja rikkomatta arvioida sauvan sisälle uraanidioksidimatriisista vapautuneiden fysiokaasujen määrä.

Korkeapalamatutkimukset

1980 luvun puolenvälin jälkeen ilmaantui Loviisassa tarve tehostaa reaktorien ja polttoaineen käyttöä johtuen v. 1980 toteutetusta reaktorisydäntien pienentämisestä paineastian neutroniannosnopeuden vähentämiseksi sekä laitosyksiköiden poikkeuksellisen hyvästä käytettävyydestä.

Ennen siirtymistä polttoaineen tehostamiseen käyttöön ja sen seurauksena korkeampiin palamiin, erityisesti kaikkein raskitimpien polttoainesauvojen osalta, suoritettiin joukko analyyskejä, joilla todettiin, että polttoaineen mekaaninen kestävyys on taattu myös uusissa olosuhteissa. Analyysien varmistamiseksi päätettiin säteilyttää koemielessä kaksi polttoainepinnoa normaalia suurempaan palamaan käyttämällä niitä normaalin kolmen vuoden sijasta neljä vuotta reaktorissa. Mainitut kaksi pinnoa sekä yksi suuripalaminen normaalit kolme vuotta säteilytetty polttoainepinno tutkittiin käytön jälkeen allastutkimuslaitteistolla Loviisassa. Loviisan allastutkimuslaitteiston mittausmenetelmien todentamiseksi ja yksityiskohtaisen tutkimustiedon saamiseksi lähetettiin kesällä 1988 vielä neljä polttoainesauvaa, jotka oli irroitettu mainituista kolmesta polttoainepinnoista tutkittaviksi Studsvik Ab:n kuumakammioihin Ruotsiin. Kuumakammio-tutkimusten tulokset valmistuivat vuoden 1989 lopussa. Tutkimustulokset vahvistivat analyysien perus-

teella tehdyt johtopäätökset siitä, että suunniteltu palaman nosto ei vaaranna polttoainesauvojen mekaanista kestävyyttä.

Vuotavien polttoainepinnojen tutkimukset

Loviisan voimalaitoksella on huhtikuuhun 1990 mennessä todettu yhteensä 16 vuotavaa polttoainepinnoa. Tämä vastaa n. 0,004 % kaikista polttoainesauvoista olettaen, että kukin vuotava pinno sisältää yhden vuotavan sauvan. Viottumisaste on samaa suuruusluokkaa kuin keskimäärin maailmassa.

Vuotavien pinnojen tutkiminen on tärkeää sen vuoksi, että näin voidaan saada tietoa viottumisen syistä ja parantaa polttoaineen käytön luotettavuutta mikäli syyksi havaitaan polttoaineen laadusta tai käytettävästä johtuva seikka.

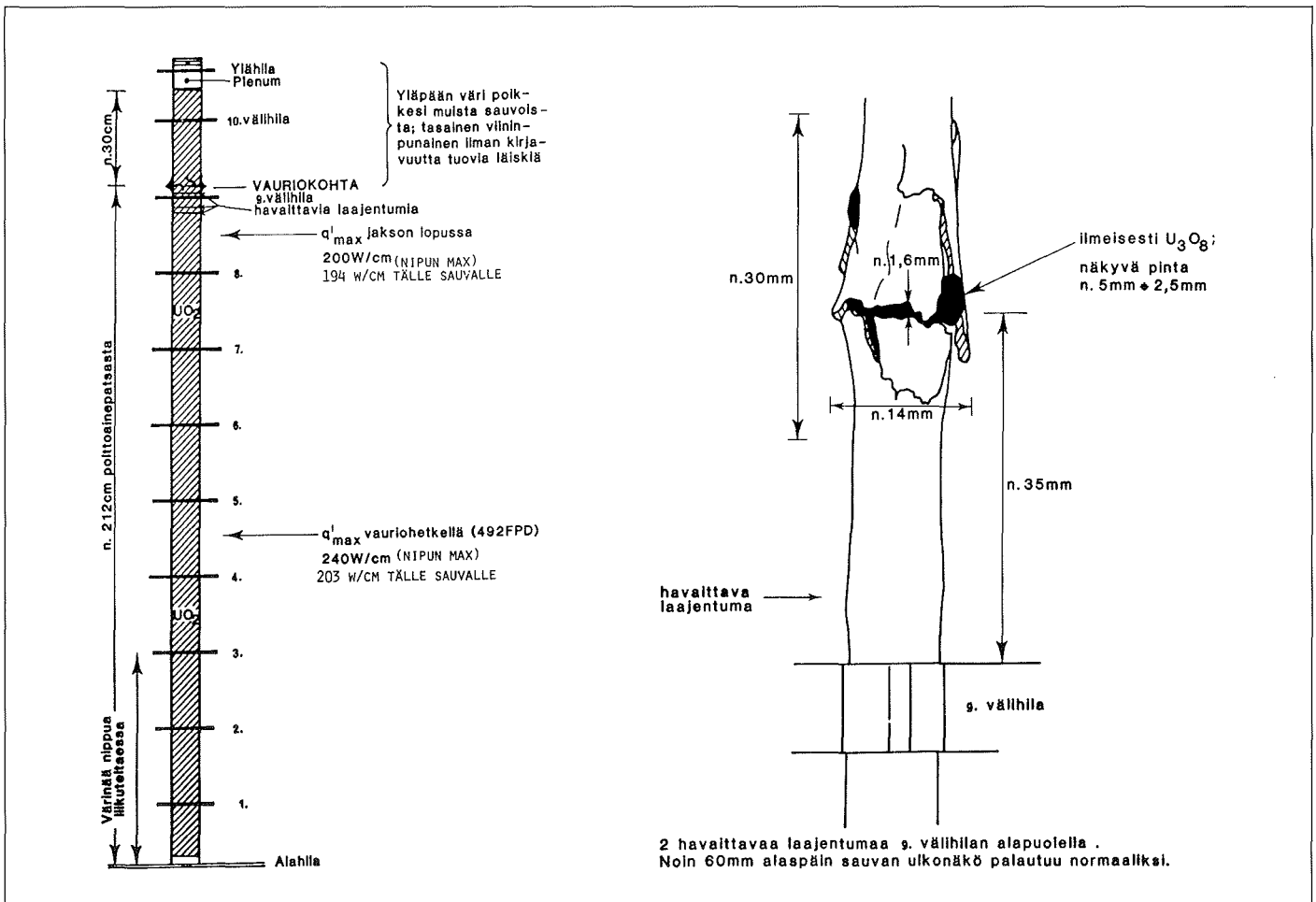
Ensimmäinen vuotavan polttoainepinon allastutkimus suoritettiin Loviisassa 1989. Vuotava pinno löydettiin visuaalisella tarkastuksella ja mahdollisista viottumisen syistä saatiin melko hyvä käsitys. Tutkimustulosten perusteella analysoitiin yhdessä polttoainevalmistajan kanssa pinnon kokoonpanoprosessia ja päätettiin, että kohtalaisella todennäköisyydellä viottumisen alkusyy on peräisin polttoainepinon kokoonpanovaiheesta. Valmistajasta sittemmin tehnyt prosessiin muutokset, joiden avulla vastaavat kokoonpanovirheet vältetään.

Huhtikuussa 1990 aloitetun toisen vuotavan pinnon tutkimuksen ensimmäiset tulokset viittaavat siihen, että vuoden alkusyy olisi tässäkin tapauksessa sama kokoonpanovirhe.

Suunnitelumuutosten seuranta-tutkimukset

Polttoaineen merkittävien suunnitelumuutosten jälkeen on tärkeää varmistaa myös reaktoripolttoaineelle suoritettavien tutkimuksien, että tehdyt muutokset ovat johtaneet toivottuun tulokseen. Loviisan polttoaineelle tällainen suunnitelumuutos otettiin käyttöön vuoden 1988 polttoainetoimituksissa, joissa polttoainepellettien valmistusmenetelmää muutettiin, pellettien päihin tehtiin viisteet ja polttoainesauvojen helium esipainetta nostettiin polttoainesauvojen suorituskyvyn nostamiseksi.

Ennen kokonaisen täydennyserän lataamista sijoitettiin v. 1987 Loviisa-2:n reaktoriin kaksi mainituin suunnitelumuutoksin valmistettua, etukäteen tarkoin mitat-

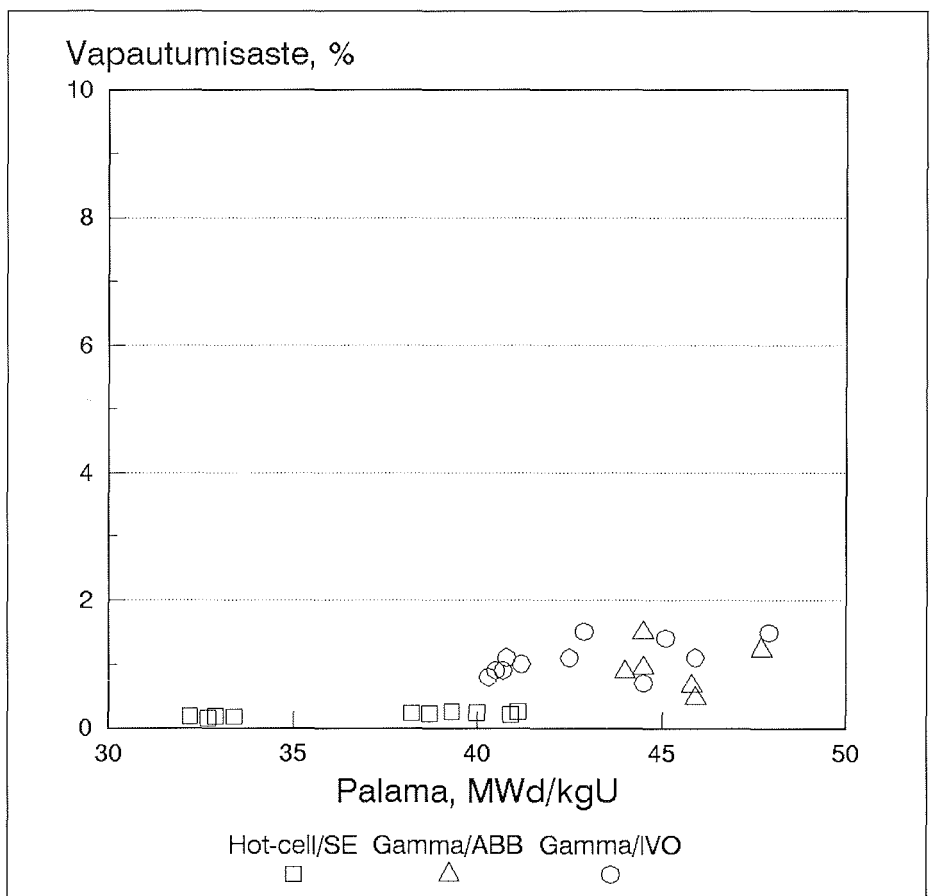


Loviisan polttoaineniipun 13614735 rikkoutunut sauva ja syntynyt vaurio.

tua polttoaineniippua. Näiden niippujen käyttäytymistä on seurattu vuosittaisen polttoaineen vaihtojen yhteydessä tehdyillä visuaali- ja mittatarkastuksilla. Toinen niipusta poistetaan reaktorista vuoden 1990 polttoaineen vaihdossa, toinen vuotta myöhemmin. Säteilytyksen jälkeen niiput tutkitaan Loviisan allastutkimuslaitteistolla.

Polttoainetutkimukset koereaktoreissa

Polttoaineen käyttäytyminen normaaliolosuhteissa (SOFIT-hanke)
 Polttoaineen käyttäytymistä tutkitaan yksityiskohtaisesti koereaktoreihin sijoitetuissa koeloopeissa. Tällä alueella on käynnissä mittava yhteistyöhanke Imatran Voima Oy:n ja Moskovassa sijaitsevan Kurtshatovin atomienergiainstituutin välillä. VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorio ja metallilaboratorio osallistuvat myös siihen merkittävällä panoksella. SOFITiksi nimetyssä hankkeessa tutkitaan polttoaineen käyttäytymistä instrumentoituja koepolttoainesauvoja käyttäen Kurtshatov-instituutin MR-reaktorissa Moskovassa. Tutkimusyhteistyö alkoi 80-luvun alussa. Sen ensimmäisessä vaiheessa on tutkittu polttoaineen käyttäytymisen perusilmiötä normaaleissa käyttöolosuhteissa suhteellisen pienillä palamilla. Valmisteluvaiheessa on panostettu paljon myös mittaustekniikan ja tietojenkeruun ja käsittelyjärjestelmän kehittämiseen.



Mittaustulokset Loviisan polttoaineen fissiokaasujen vapautumisesta.

Ensimmäinen koenippu säteilytettiin MR reaktorissa marraskuusta 1985 kesäkuuhun 1986. Tämän jälkeen on säteilytetty kaksi nippua ja tutkimusohjelman ensimmäiseen vaiheeseen on edellisten lisäksi suunniteltu vielä kahden koenipun säteilyttämistä ja tutkimista vuosina 1990...1992. Alunperin oli tavoitteena säteilyttää nippuja parhaimmillaan n. 20000 tunnin ajan, jotta palaman vaikutus polttoaineen käyttäytymiseen saataisiin selvemmin näkyväksi. Saatujen kokemusten perusteella näyttää kuitenkin ilmeiseltä, että instrumentit kestävät kovissa olosuhteissa (säteily, korkeat lämpötilat ja paine) korkeintaan 2000 tuntia, usein huomattavasti vähemmän. Tästä huolimatta voidaan tähän mennessä saatuja tuloksia pitää hyödyllisinä. Tuoreelle polttoaineelle saatujen tulosten avulla voidaan tiettyjä polttoaineen käyttäytymisen osailmiöitä saada näkyviin selkeämmin kuin myöhemmässä vaiheessa, jolloin suuremman palaman ja pitemmän säteilytysajan mukanaan tuomat uudet ilmiöt ja eri ilmiöiden väliset kytkennät peittävät yksittäisten tekijöiden vaikutuksia.

Ensimmäisten koenippujen perusteella voitiin todeta, että suomalaisten ja neuvostoliittolaisten käytössä olevat polttoaineen käyttäytymistä ennustavat ohjelmat antavat kohtuullisen hyvin mittaustulosten kanssa sopusoinnussa olevia tuloksia. Eräiden osamallien suhteen voitiin kuitenkin todeta merkittäviä eroja, mikä antaa aiheen ja mahdollisuuden kehittää ohjelmistoja entistä tarkemmaksi.

Erityisen ajankohtaista on kuitenkin tietää miten polttoaine käyttäytyy suurilla palamilla. Koska mittausräjäytysten kestävyyden ei tulla mahdolliseksi säteilyttää instrumentoitua polttoainetta tuoreesta suureen palamaan, on tutkimusohjelmaa päätetty laajentaa siten, että etukäteen hyvin mitattuja instrumentoitamattomia polttoainesauvoja säteilytetään ensin halluttuun palamaan asti. Tämän jälkeen sauvat instrumentoidaan ja suoritetaan varsinaisen koenäytteen säteilytys. Säteilytettävien polttoainesauvojen instrumentointi ei ole aivan yksinkertaista koska työ pitää tehdä kauko-ohjatusti säteilyltä suojaavissa kuumakammioissa. Tämän tutkimusvai-

heen valmistelut, laitteiden hankkiminen ja niiden käytön harjoittelu on suunniteltu tapahtuvaksi vuosina 1988...1992. IVO:n pääasiallinen materiaallinen osallistumispanos tähän koeohjelmaan on säteilytettävien polttoainesauvojen instrumentointilaitteisto. Laitteiston toimittajaksi on valittu UKAEA Iso-Britanniasta. Polttoainekokeet alkavat n. v. 1993.

Polttoaineen käyttäytymisen transientti- ja onnettomuusolosuhteissa (MARIA-hanke)

Polttoaineen käyttäytymistä oletetuissa onnettomuusolosuhteissa voidaan tutkia monella tavalla. VVER—tyyppisen polttoaineen onnettomuusikäytymistä on tutkittu kokeellisesti tähän asti polttoainesauvan eri komponenttien, suojakuoren ja polttoainetablettien osalta tai sitten koko polttoainesauvan osalta erittäin rajoitetuissa koeolosuhteissa. Näiden kokeellisten tutkimusten perusteella on siten analysoitu laskennallisesti polttoaineen kokonaisikäytymistä lasketuissa onnettomuusolosuhteissa.

V. 1978 solmittiin Neuvostoliiton atomienergian käytön valtionkomitean ja Puolan energiatalous- ja atomienergiaministeriön välillä sopimus mittavasta VVER-polttoaineen turvallisuustutkimuksesta. Työ tehdään Puolassa, Swierkin atomienergiainstituutin MARIA-reaktorissa. Tutkimusta varten reaktorille rakennetaan kiertopiiri, jolla pyritään simuloimaan transientti ja onnettomuusolosuhteita. Kiertopiirissä on määrä tehtä 80 erilaista koetta. Kokeet suoritetaan suurimaksi osaksi VVER-1000 polttoaineelle VVER-1000 reaktorin olosuhteissa. Noin neljäsosa kokeista on suunnattu Loviisan tyyppisen VVER-400 polttoaineen tutkimiseen.

V. 1985 Imatran Voima Oy sopi osallistumisestaan yllä mainittuun ohjelmaan kolmen VVER-440 polttoainekokeen osalta. Näissä kokeissa tutkitaan polttoaineen käyttäytymistä olosuhteissa, jotka voivat syntyä reaktorin jäähdytteenmenetysonnettomuudessa.

Kiertopiirien asentamisen edellyttämät rakennustyöt MARIA reaktorin reaktori-

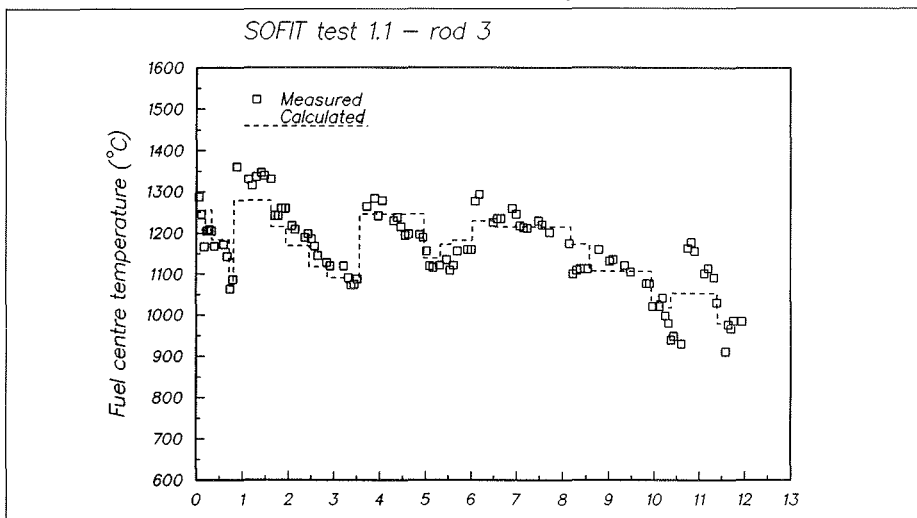
rakennuksessa saatiin pääosin valmiiksi kesällä 1988. Kiertopiirin asentaminen arvelaan saatavan päätökseen vuoden 1990 loppuun mennessä ja koekäyttö v. 1991. Ennen VVER-440 polttoainekokeita on tarkoitus suorittaa kolme VVER-1000 polttoainekoea, joten "suomalaiset" polttoainekokeet ajoittunevat n. vuosille 1993—1994.

MARIA-kokeiden onnistumisen varmistamiseksi on VTT:llä tehty IVO:n toimeksiannosta alustavia MARIA-kiertopiirin termohydraulisia analyyseja. Kokeellisia tutkimuksia on suoritettu Lappeenrannassa VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion ja Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun yhteistyönä. Korkeakoulun tiloihin on rakennettu termohydraulinen kiertopiiri, REWET-MARIA, jonka testiosa vastaa mahdollisimman hyvin MARIA-kiertopiirin testiosaa. Koepolttoainenippu on rakennettu 18 sähkölämmitteisestä "polttoainesauvasta". REWET-MARIA kiertopiirillä tehtävillä kokeilla pyritään identifioimaan testiosan käyttäytymiseen vaikuttavia oleellisia parametreja, jotta varsinaisissa MARIA-kokeissa saavutettaisiin mahdollisimman hyvin etukäteen tavoitellut olosuhteet.

Yhteenveto

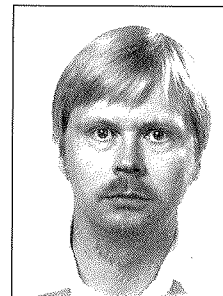
Loviisan polttoaineen turvallisen käytön varmistamiseksi on IVO:ssa suoritettu voimalaitoksen käytön alusta lähtien monipuolisia polttoainetutkimuksia. Loviisan säteilytettyä polttoainetta on tutkittu Studsvik Ab:n kuumakammioissa Ruotsissa ja 1980 luvun puolivälissä lähtien Loviisan voimalaitoksella sinne hankitulla allastutkimuslaitteistolla. Alkuaikoina tutkimusten tarkoituksena oli vähentää polttoainemateriaalien ja valmistuksen laadunvalvonnan riittämättömistä tuntemuksesta aiheutuneita suuria epävarmuuksia polttoaineen käyttäytymisen arvioinnissa. Viime aikoina tutkimukset ovat suuntautuneet polttoainevikojen syiden selvittämiseen ja suunnittelumuutosten ja palaman noston vaikutusten arviointiin.

Polttoaineen käyttäytymisen osailmiöiden selvittämiseksi ja käyttäytymisohjelmien todentamiseksi IVO tutkii yhteistyössä neuvostoliittolaisten Kurtshatov-instituutin kanssa instrumentoitujen VVER-440 koepolttoainesauvojen käyttäytymistä normaaleissa käyttöolosuhteissa MR-koereaktorissa Moskovassa. Polttoaineen käyttäytymistä onnettomuusolosuhteissa tutkitaan yhdessä neuvostoliittolaisten ja puolalaisten kanssa MARIA-reaktorissa, Puolassa. Tämän hankkeen kokeellinen vaihe alkaa n. v. 1993.



Esimerkki koepolttoainesauvan lasketusta ja mitatusta keskuslämpötilasta SOFIT kokeessa. Vaaka-akselilla on paikallinen palama, MWD/kgU.

DI Risto Teräsvirta on IVO:n ydinvoimatekniikan osaston pääsuunnittelija, p. 90-508 2473.



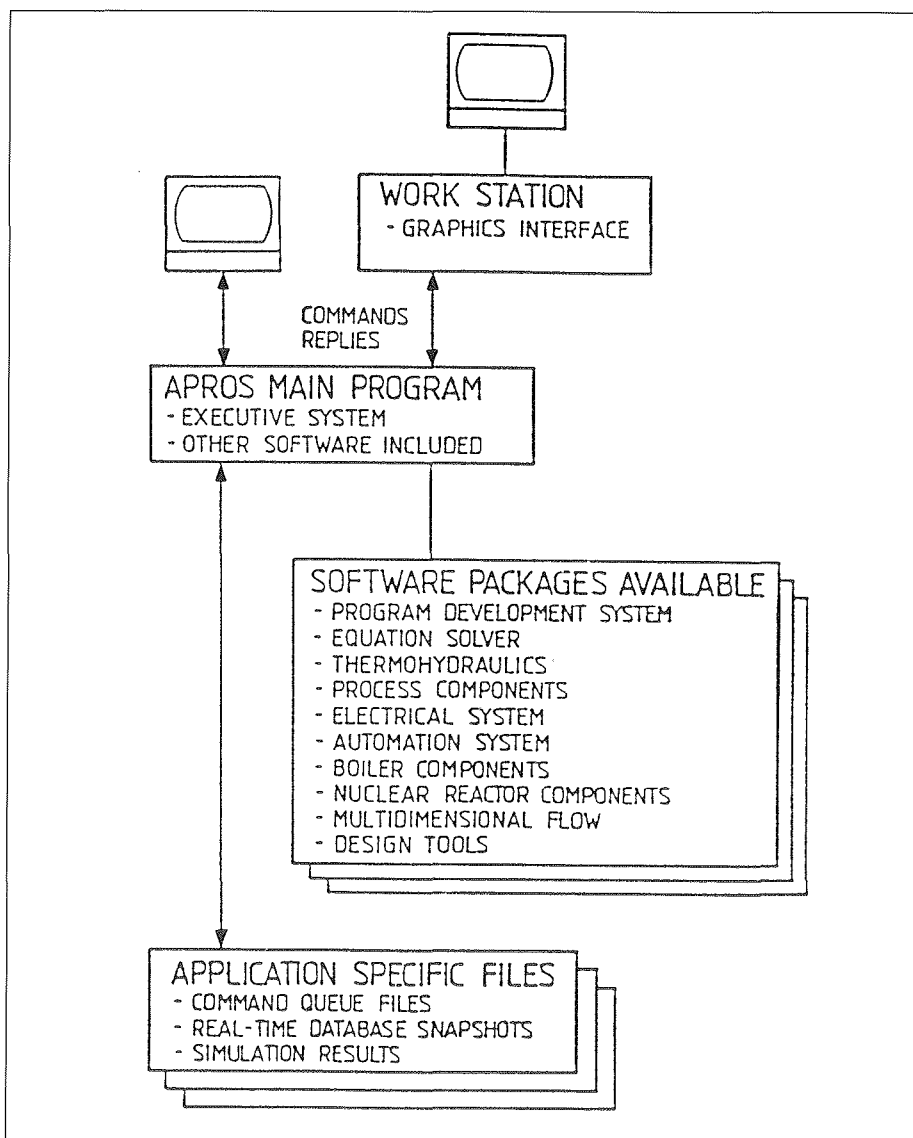
APROS-ohjelmisto voimalaitosten simulointiin

APROS-ohjelmisto on yleiskäyttöinen voimalaitosten simulointiin tarkoitettu prosessimallien kehitys- ja ajoympäristö. Ohjelmiston kehittämisessä on pyritty yhdistämään edistyneet laskentamallit helppokäyttöiseen käyttöliittymään. Ohjelmiston kehitys jatkuu, mutta sitä on jo sovellettu laajasti eri tyyppisten voimalaitosten laskentaan.

Imatran Voiman (IVO) ja Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) kesken käynnistettiin vuoden 1986 alussa kolmi-vuotinen yhteisprojekti, jonka tarkoituksena oli kehittää simuloituympäristö ja ratkaisualgoritmeja virtaus- ja lämmön-siirtoprosessien laskemiseksi. Kehityshankkeen tuloksena valmistui APROS-ohjelmisto (Advanced PROcess Simulator). APROS on yleiskäyttöinen ja helposti sovellettava lämpö- ja virtausteknisten prosessien simuloitumallien kehitys- ja ajoympäristö. APROS-ohjelmiston jatkok kehittäminen ja soveltaminen jatkuu vuoden 1989 alussa alkaneessa IVO:n ja VTT:n MPA-yhteisprojektissa (Modular Plant Analyser), jossa APROS-ohjelmistoon perustuen ja sen malleja edelleen kehittämällä rakennetaan Loviisan ydinvoimalaitokselle laitosanalyysointilaite. Lisäksi APROS-ohjelmien nopeutta pyritään parantamaan VTT:n RIVE-projektissa (Rinnakkais- ja vektorilaskenta). Tässä projektissa uusien tietokonearkkitehtuurien vektori- ja rinnakkaisprosessointipiirteitä käytetään hyödyksi APROS:n ohjelmointitekniikassa. HAPSI-projektissa APROSia sovelletaan turvevoimalaitoksen simulointiin.

APROSin yleisrakenne ja käyttö

APROS-ohjelmiston yleisrakenne on esitetty kuvassa 1. Sen pääosat ovat käyttöliittymä, simuloinnin ja tiedon hallintaohjelmat ja varsinaiset laskentaohjelmat. Simuloinnin hallinta tapahtuu komentotulkin avulla. Komentotulkin kautta käyttäjä syöttää simuloitavat tiedot, muuttaa tietoa ja kontrolloi simuloitua. Simulointitieto talletetaan ja organisoidaan reaaliaikaisen tietokantaohjelman avulla. Laskentaohjelmisto sisältää fysikaaliset simuloitumallit, yhtälöiden ratkaisijat ja ohjelman kehityksen apuvälineet. Päähuomio APROS:n kehitystyössä on kiin-



Kuva 1. APROS:n rakenne.

nitetty mallien määrittelyyn, simuloinnin toteutuksen ja tulosten havainnollistamisen helpouteen. Käyttäjän kannalta APROS-ohjelmisto on kolmitasoinen (kuva 2). Normaalisti käyttäjä työskentelee prosessikomponenttitasolla, mutta voi tarvittaessa käyttää myös laskentatasoa.

APROS-ympäristössä simuloitavan prosessimallin rakentaminen tapahtuu valitsemalla laajasta komponenttikirjastosta kuvattavan prosessin komponentit ja määrittelemällä niiden väliset kytkennät interaktiivisesti joko komentokieltä käyttäen tai graafisesti työaseman kuvaruudulla. Simuloitavia komponentteja määriteltäessä interaktiivinen järjestelmä kysyy komponenttien tiedot, minkä lisäksi

sille voidaan välittää tiedot halutusta laskentatarkkuudesta (aika- ja paikkadiskretoinnin tarkkuus) ja mallin kuvaustaso. Jos komponenttikirjastosta puuttuu haluttu komponentti (esim. tietyn tyyppinen lämmönvaihdin), voi käyttäjä mennä laskentatasolle ja määrittellä komponentin laskentatason moduleita käyttäen. Myös uusien fysikaalisten mallien ohjelmointi ja liittäminen APROS-ympäristöön on mahdollista kohtuullisella työpanoksella.

Kun simulaattorin käyttäjä on saanut määriteltä ja testattua sopivan osakokonaisuuden, voi hän helposti liittää osaprosessin simuloitavaan laajempaan kokonaisprosessiin. Osaprosesseja voidaan myös monistaa, joten esimerkiksi identti-

siä, rinnakkaisia osaprosesseja ei tarvitse erikseen määritellä.

APROSin ohjelmisto on tehty valmisohjelmistosta riippumattomaksi käyttäen FORTRAN-77 -ohjelmointikieltä. Ohjelmisto sisältää kaikkiaan noin 1400 erillistä aliohjelmia, joissa on yhteensä noin 140 000 ohjelmariiviä. Standardin mukaisen ohjelmointikielen käyttö mahdollistaa ohjelmiston helpon siirrettävyyden eri tietokoneisiin. Tällä hetkellä on saatavilla VAX/VMS- ja Alliant/Unix -versiot ohjelmista.

Prosessikomponenttiohjelmat

Prosessikomponenttiohjelmat muuttavat prosessikomponenteille vaadittavat tiedot laskentaohjelmien tarvitsemaan muotoon. Prosessikomponentit voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan käyttökohteen mukaan: yleisiin komponentteihin, konventionaalisen laitoksen komponentteihin ja ydinvoimalaitoskomponentteihin. Yleisiä komponentteja, joita voidaan käyttää kaikissa laitoksissa ovat lämmönvaihtimet, pumput, venttiilit, putket, säiliöt, turbiinilohkot, lauhdutin ja ns. kombinaatio. Kombinaatiokomponentin avulla voidaan liittää peräkkäin useita putkia, venttiilejä ja pumppuja. Sen tarkoituksena on yksinkertaistaa laskentatason kuvausta, koska kombinaatiota käytettäessä tarvitaan vähemmän laskentasoelmuja.

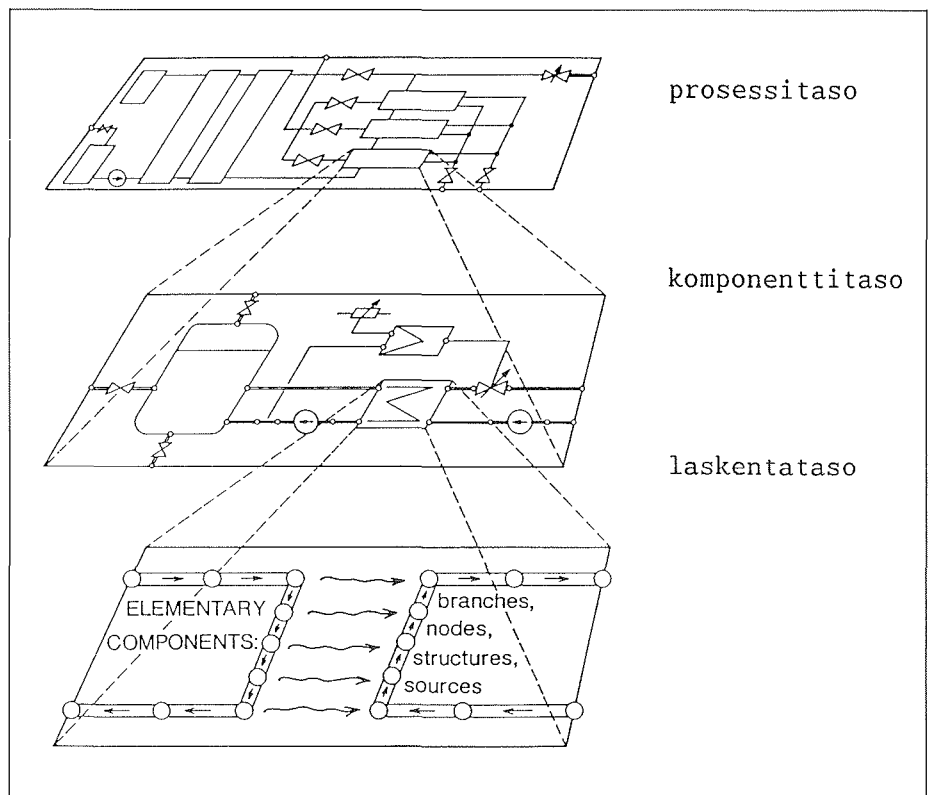
Konventionaalisen voimalaitoksen komponentteja ovat savukaasukanava, savukaasu/vesi -lämmönvaihtimet, ilman esilämmitin, ilmapuhallin, läppä, polttoaineen käsittelykomponentteja ja öljyjärjestelmä. Ydinvoimalaitoskomponentteja ovat eri fysikaalisen kuvaustason omaavat reaktorit ja paineistin.

Termohydrauliikka

Termohydrauliset laskenta-algoritmit perustuvat massan, energian ja liikemäärän säilymisen osittaisdifferentiaaliyhtälöihin. Termohydrauliikassa voidaan virtaus laskea joko yksifaasisena, homogeenisena kaksifaasivirtauksena tai erillisenä kaksifaasivirtauksena. Homogeenisessa kaksifaasivirtauksessa voidaan säiliössä olettaa faasien täydellinen erottuminen. Myös laminaariselle kolmidimensioiselle virtaukselle on olemassa laskenta-algoritmi. Virtauslaskenta voidaan liittää lämmönsiirtokorrelaatioiden avulla yksidimensioiseen kiinteän aineen lämmönjohtumisratkaisuun. Käyttäjä voi määritellä lämmönjohtumisen suorakulmaisessa, sylinteri- tai pallokoordinaatistossa.

Konsentraatoratkaisun avulla voidaan APROSissa simuloida veden seassa olevien aineiden pitoisuuksien leviämistä. Tällä hetkellä konsentraatoratkaisua on sovellettu boorin leviämisen simulointiin. Laskentatilavuudessa oletetaan boorin olevan homogeenisesti jakautuneena, mutta höyryn erottuessa vedestä oletetaan boorin jäävän vesifaasiin.

Suojarakennusmallia, jolla voidaan simuloida Loviisan jäälauhdutinsuojarakennusta, kehitetään parhaillaan. Oleellinen piirre suojarakennusmallissa on se, että



Kuva 2. APROSin määrittelytasot.

mallissa voidaan suojarakennus jakaa mielivaltaisesti osatilavuuksiin, osatilavuudet voivat olla yhteydessä mihin tahansa muihin osatilavuuksiin ja mihin tahansa osatilavuuteen voidaan liittää lämpörakenteita.

Reaktorimallit

Käyttäjä voi määritellä reaktorin neutroniikan laskettavan joko pistekinetiikkamallilla tai yksidimensioisella reaktorimallilla. Myöhemmin tullaan kehittämään myös 3-dimensioinen reaktorimalli kiehuvesireaktorisovelluksia varten. Pistekinetiikkamalli ratkaisee nopean neutronivuon ja käyttää kuutta viivästyntä ryhmää. Lisäksi malli laskee jodija ksenonkonsentraatioita.

Yksidimensioinen malli on muodostettu nopean ja termisen vuon diffuusioyhtälöistä. Myös tässä mallissa kuusi viivästyntä ryhmää otetaan huomioon. Reaktiivisuuskynnät säätösauvoista, boorista, polttoaineen lämpötilasta, jäädytteen tiheydestä ja aukko-osuudesta on otettu huomioon molemmilla malleilla.

Automaatiojärjestelmä

APROSin automaatiojärjestelmä voidaan jakaa kolmeen osaan: mittaukset, säätö- ja logiikkapiirit sekä laiteohjaimet. Mittausjärjestelmän tehtävänä on siirtää tarvittava informaatio prosessista säätö- ja logiikkapiireille. Säätö- ja logiikkajärjestelmä koostuu erilaisista peruskomponenteista, jotka käsittelevät niille tulevia signaaleja halutulla tavalla. Komponentit kytketään toisiinsa analogia- ja binäärisignaaleilla. Laiteohjaimet saavat signaalinsa suojaus- ja lukitusjärjestelmästä tai säätäjiltä.

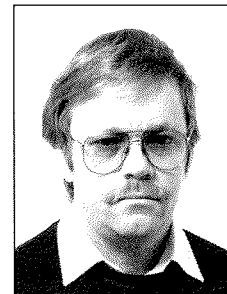
Soveltaminen

APROSin kehitystyön aikana ohjelmiston pääpiirteittäinen validointi tehtiin laskeamalla eräitä koelaitteistoilla suoritettuja kokeita.

Laajempina sovelluksina APROSille on rakennettu Haapaveden turvekäyttöisen voimalaitoksen simulointimalli ja Loviisan ydinvoimalaitoksen malli, jota edelleen kehitetään MPA-projektissa. Mallissa on tällä hetkellä 224 hydraulista laskentasoelmua ja 275 lämpörakennesoelmua. Loviisan mallia on testattu laskeamalla lukuisia transienteja ja tuloksia on verrattu laitosdataan, koulutuslaboratorion laskentatuloksiin ja SMATRA-ohjelmalla laskettuihin tuloksiin. Esimerkkeinä lasketuista transienteista mainittakoon reaktorin pikasulku, turbiinin pikasulku, syöttöveden menetys, pieni LOCA sekä ATWS-transientit säätösauvan ulosveto ja syöttöveden menetys. Tietokoneajan suhde simulointiaikaan oli 0,2 sekunnin aika-askellella n. 2,9.

APROS-ohjelmiston kehittämisessä on pyritty yhdistämään edistyneet laskentamallit todella helpokäyttöiseen käyttöliittymään. Vaikka sekä laskentamallien että käyttöliittymien kehitys jatkuu edelleen, voidaan APROSia jo menestyksekkäästi käyttää apuna eri tyyppisten voimalaitosten analysoinnissa. □

TkL Markku Hänninen on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion erikoistutkija, p. 90-456 6564.



PACTEL — termohydraulinen koelaitteisto

Loviisan ydinvoimalaitosten tyyppisten laitosten termohydraulista käyttäytymistä epänormaaleissa tilanteissa jäljittelevä PACTEL — Parallel Channel Test Loop — koelaitteisto on otettu käyttöön Lappeenrannassa. VTT:n ja Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun yhteistyönä rakentama laitteisto on VVER-440 -tyyppisiä reaktoreita kuvaavista koelaitteista maailman suurin ja monipuolisin. Laitteistolla etsitään erityisesti parhaita tapoja voimalaitoksen saattamiseksi normaaliin tilaan käyttöhäiriöiden jälkeen.

Termohydraulisilla koelaitteistoilla suoritettavilla kokeilla on keskeinen merkitys ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimuksessa. Suomessa VTT on tehnyt Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun kanssa yhteistyötä tällä alalla jo 15 vuotta. Tänä aikana on rakennettu useita koelaitteistoja, joista uusin, VVER-440 -tyyppistä Loviisan ydinvoimalaitosta kuvaava PACTEL-koelaitteisto otettiin käyttöön Lappeenrannassa 3.5.1990.

PACTEL-koelaitteistolla tehtävien kokeiden päämääränä on etsiä parhaita tapoja ydinvoimalaitoksen saattamiseksi normaaliin tilaan käyttöhäiriöiden jälkeen. Kokeiden ja niistä tehtävien tietokoneanalyysien avulla saadaan tietoa epänormaalien prosessitapahtumien aiheuttamista häiriöistä ja häiriöiden etenemisestä VVER-440 tyyppisissä ydinvoimalaitoksissa ottaen huomioon erityisesti näiden laitosten ominaispiirteet. Saatua tietoa käytetään hyväksi ydinvoimalaitosten tur-

PACTELin tekniset tiedot

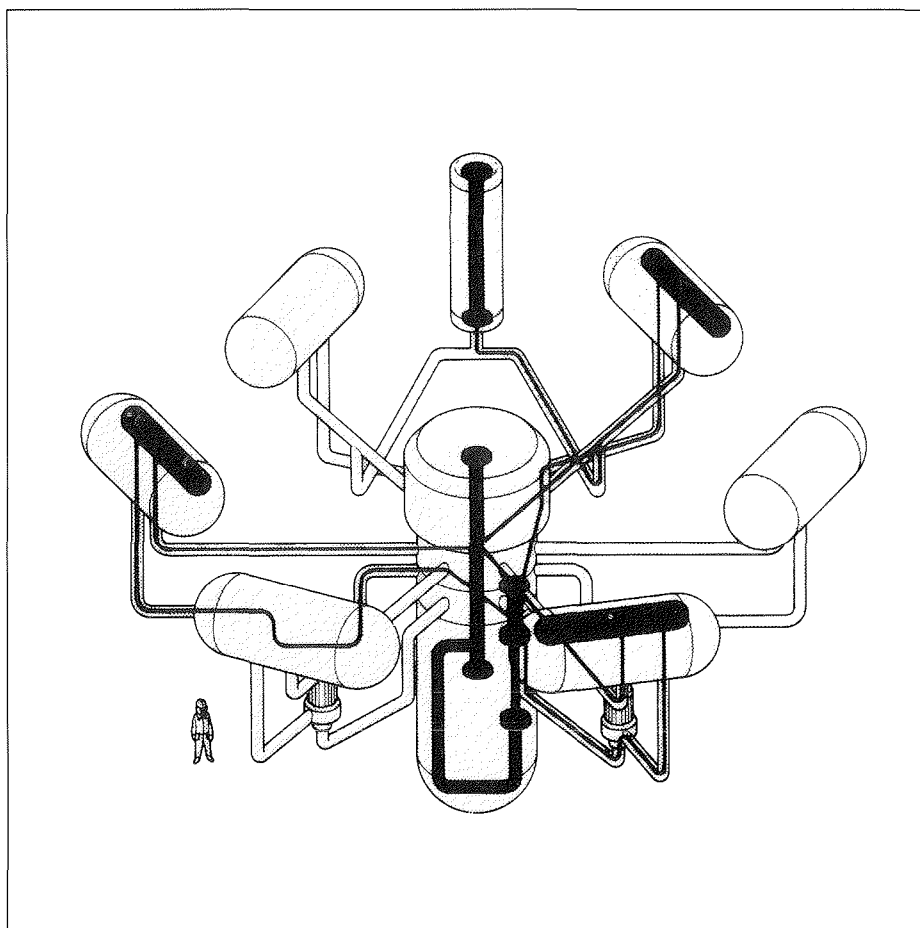
Referenssilaitos	VVER-440
Korkeusskaalaussuhde	1:1
Tilavuusskaalaussuhde	1:305
Primääripiirin suurin paine	80 bar
Sekundääripiirin suurin paine	46 bar
Jäähdytteen korkein lämpötila	295°C
Koesauvojen suojakuoren korkein lämpötila	1000°C
Suurin sydämen lämpöteho	1 MW

vajärjestelmiä kehitettäessä ja arvioitaessa, turvaohjeiden suunnittelussa sekä turvallisuuslaskuissa käytettävien tietokoneohjelmien kehittämisessä. Samoin selvitetään mahdollisuuksia käyttää laitteistoa käyttöhenkilöstön koulutukseen.

Kooltaan PACTEL on painevesireaktoreita kuvaavista koelaitteistoista kuudenneksi suurin maailmassa. Vastaavia laitteistoja kuin PACTEL on toistaiseksi vain Unkarissa sekä rakenteilla Neuvostoliitossa. Ne ovat kuitenkin huomattavasti pienempiä kuin PACTEL. Instrumentoinniltaan ja varsinkin tehon syöttötavaltaan sekä tiedonkeruultaan sekä säätöjärjestelmiltään PACTEL on hyvin nykyaikainen.

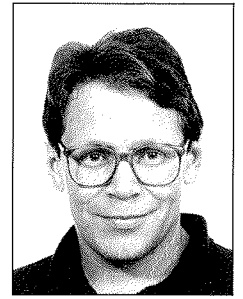
PACTELissa reaktorin sydän on kuvattu kolmella rinnakkaisella sauvanipulla, joissa on yhteensä 144 sähköllä lämmitettävää ydinpoltoainesauvasimulaattoria. Ulkomitoiltaan ja sijoitukseltaan koelaitteiston sauvat ovat samanlaisia kuin reaktorin polttoainesauvat.

Sydänsän lisäksi koelaitteistossa on kuvattu reaktorin alamenotila, primääripiirin kiertopiirit vesilukkoineen ja höyrystymiseen, paineistin ja kaikki hätäjäähdytysjärjestelmät. Laitteiston korkeudet vastaavat todellisen reaktorin kokoa, mutta tilavuudet ja virtauspoikkipinta-alat ovat skaalattu suhteella 1:305. Primääripiiriin liittyviä kiertopiirejä PACTELissa on kolme, joten yksi koelaitteiston kiertopiiri vastaa aina kahta Loviisan laitoksen kiertopiiriä. □



PACTEL-laitteisto ja todelliset Loviisan voimalaitoksen primäärikierron pääkomponentit sijoitettuna samaan kuvaan.

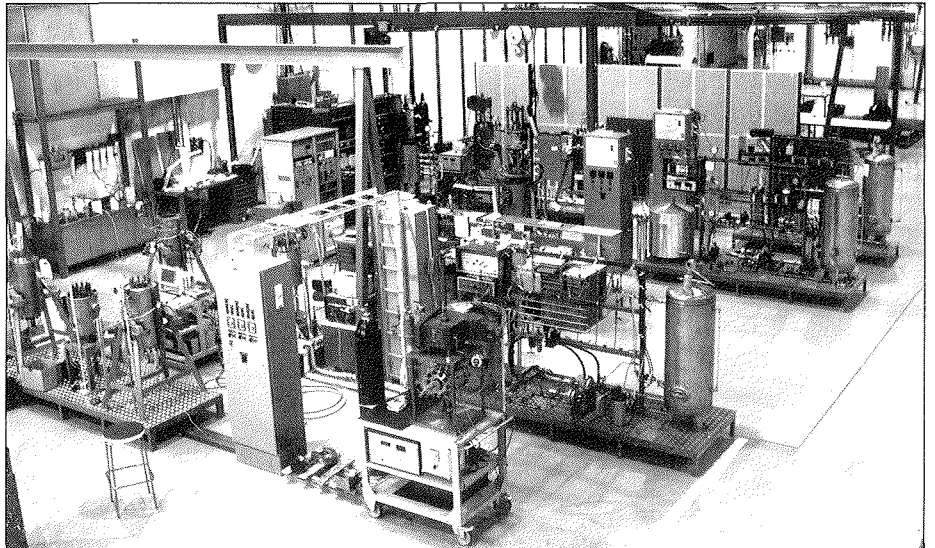
DI Timo Kervinen on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion erikoistutkija, p. 953-571 2370.



Ydinvoimalaitosmateriaalien ympäristön aiheuttamat murtumisilmiöt

*Ydinvoimalaitosten rakenteiden turvallisen ja luotettavan toiminnan perusta luodaan paljolti jo suunnitteluvaiheessa tehdyillä rakenne- ja materiaaliratkaisuilla. Suunnittelulla ei kuitenkaan voida taata rakenteiden turvallista toimintaa laitoksen koko käyttöäksi. Materiaalien ominaisuuksien muutokset käytön aikana on tunnettava ja rakenteiden kuntoa on jatkuvasti seurattava. Mikäli vikoja löytyy, on niiden koko, luonne ja sijainti voitava tarkasti selvittää. Vikojen merkityksen määrittämiseksi tarvitaan tietoa materiaalien lujuus- ja sitkeysominaisuuksista sekä vian kohdalla vaikuttavasta jännitystilasta. Vian sisältävän komponentin jäljellä olevan käyttöiän arvioimiseksi on voitava määrittää vian kasvunopeus. Mikäli vika joudutaan korjaamaan, on tunnettava korjaamisessa käytettävät menetelmät ja niiden vaikutukset materiaalien ominaisuuksiin ja virheettömyyteen. Ympäristön aiheuttamien murtumisilmiöiden kokeellinen tutkimus auttaa varautumaan voimalaitosten vanhetessa odotettavissa oleviin ongelmiin sekä mahdolliseen käyttöiän pidentämiseen lisäämällä erityisesti tietämystä väsymällä tai korroosiomekanismeilla kasvavien säröjen ja rakennemateriaalien vanhene-
misen merkityksestä.*

Ydinvoimalaitosten rakenteiden turvallisuuden tutkimus kattaa laajan alueen olottuen vesikemiasta lujuusteknisiin rakenneprosesseihin. Tutkimuksen tavoitteena on kehittää analyttisiä ja kokeellisia menetelmiä sekä tulosaineistoa Suomessa käytettävälle ydinvoimalaitosmateriaaleille painetta kantavien rakenteiden



Ydinvoimalaitosten rakennemateriaalien testausta varten kehitetyt autoklaavilaitteistot VTT:n metallilaboratoriossa. Vesipiireissä voidaan tarkasti simuloida sekä BWR- että PWR-olosuhteita (paine, lämpötila ja vesikemia).

rakenteellisen turvallisuuden ja luotettavuuden varmistamiseksi. Tutkimuksessa pyritään selvittämään luotettavasti rakennemateriaalien ominaisuudet ja rakenteiden käyttäytyminen todellisissa ydinvoimalaitosolosuhteissa.

Reaktorivesi voi aiheuttaa yhdessä mekaanisten ja termisten kuormitusten kanssa rakennemateriaaleissa vikojen ydintymistä ja kasvua. Alttiita tällaisille vioille ovat mm. ruostumattomasta teräksestä valmistetut putkistot ja reaktorin sisäosat. Kyseisten ilmiöiden mekanismeja ei ole vielä yksikäsitteisesti selvitetty, eikä särönkasvunopeuksia, esim. komponenttien elinikäanalyyseja varten, luotettavasti tunneta. Lisäksi laitojen vanhetessa esiintyy uusia ilmiöitä, joista esimerkkinä on säteilyn aiheuttama jännityskorroosio reaktorin sisäosissa.

Viallisten rakenteiden turvallinen käyttö edellyttää luotettavaa tietoa särönkasvusta, joka on riippuvainen materiaaliominaisuuksien lisäksi vian koosta, jännitystilasta ja ympäristöstä. Ympäristövaikutteisen särönkasvun arvioinnin ja murtumismekaanisen tarkastelun lopputuloksesta voidaan joutua uudelleen tarkastus-
tiheyksiin viallisten komponenttien kohdalla. Tutkimuksen tavoitteena on mitata kokeellisesti ympäristön aiheuttamien murtumisilmiöiden (jännityskorroosio, korroosioväsyminen) särönkasvunopeudet normaaleissa voimalaitosolosuhteissa ja määrittää transienttien vaikutukset särönkasvuun. Lisäksi selvitetään erilaisten ympäristöperäisten murtumisilmiöiden

mekanismeja, estämismahdollisuuksia sekä vaikutuksia eri komponenttien elinikään. Tutkimuksessa kehitetään vesikemian monitorointimenetelmiä ja tutkitaan myös rakennemateriaalien hapettumista ja dekontaminointia.

Huomattava osa tutkimuksesta tehdään kansainvälisissä yhteistyöhankkeissa, joihin osallistuvat lähes kaikki ydinenergiaa käyttävät maat mukaan lukien viime aikoina myös Neuvostoliitto ja muut Itä-Euroopan maat. Ympäristön aiheuttaman murtumisen tutkimusta paineastiateräksissä tehdään kansainvälisessä International Cyclic Crack Growth Rate Group (ICCGR) -yhteistyössä. Säteilyn aiheuttama jännityskorroosio reaktorin sisäosien ruostumattomissa teräksissä tutkitaan osallistumalla kansainvälisen International Cooperative Group on Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking (IASCC) -yhteistyöryhmän työskentelyyn. Nämä ryhmät kokoontuvat kerran vuodessa ja kokouksissa käydään lävitse tutkimuksen edistyminen ja tapahtuneet materiaaliuuriot eri maissa. Kokouksissa jaettava luottamuksellinen aineisto on saatavissa jäsenille, jotka esittävät omia tuloksiaan ja käyttökokemuksiaan.

Merkittävä osa Suomessa tehdyistä ympäristön aiheuttaman murtumisen tutkimuksista on kohdistunut Loviisan materiaaleihin, joista ei ole ollut käytettävissä neuvostoliitolaista tulosaineistoa säröjen ydintymiselle ja kasvulle. Myös ydinvoimalaitoskomponenteissa tapahtuvien aikasidonnaisten materiaaliominaisuuksien muutosten vaikutusta

murtumistodennäköisyyteen on selvitetty. Materiaalien murtumistodennäköisyyksiä erilaisissa ympäristö- ja kuormitusolosuhteissa verrataan käyttäen todennäköisyyksiin perustuvaa analysointiohjelmistoa, U.S. NRC:n luovuttama PRAISE (Piping Reliability Analysis Including Seismic Events) -ohjelmistoa. Ohjelmiston käyttö edellyttää materiaaleissa tapahtuvien muutosten ja näiden muutosten havaitsemisen luotettavuuden tuntemista. Ohjelmistoa on käytetty esim. TVO:n putkistojen jännityskorroosiosäröjen analysoinnissa.

Materiaalitutkimuksen edellytykset ja tuloksellisuus riippuvat paitsi koulutetuista asiantuntijoista myös olennaisesti laitevalmiuksista. Tärkeimpiä laitteita ovat väsyty- ja autoklaavilaitteistot, joiden

hankinta ja rakentaminen edellyttää omaa voimakasta suunnittelupanosta. Valmistetut laitteet ovat uusia tuotteita, jotka on voitu siirtää kotimaisen konepajateollisuuden hyödyksi. Tästä on hyvänä esimerkkinä VTT/Huber (autoklaavilaitteet) ja VTT/Predisys (vesikemian monitorointijärjestelmät) yhteistyö. Hankittua osaamista sovelletaan parhaillaan spin off -tyyppisesti syvänmerenolosuhteiden ja aggressiivisten prosessiolosuhteiden tutkimuksiin. □

Tkt Hannu Hänninen on VTT:n metallilaboratorion johtava tutkija, p. 90-4356 6798.

Matti Valo, Kim Wallin, VTT

Säteilyhaurastuminen

Säteilyhaurastumisella tarkoitetaan nopeiden neutronien aiheuttamaa paineastiateräksen haurastumista. Nykytietämyksen mukaan haurastuminen johtuu kuparin erkautumisesta. Säteilyn rooli on diffuusion kiihdyttäminen. Tosin teräksen fosforipitoisuuskin on tärkeä ilmiöön vaikuttava parametri. Koska paineastian haurastumista ei voida säädellä, on tällaisesta haurastumisesta johtuva murtumistodennäköisyyden kasvaminen vakavan huolen aihe. Paineastia on lisäksi niin suuri komponentti, että sen vaihtaminen on lähes mahdotonta.

Säteilyhaurastuminen on eräiden vanhojen painevesilaitosten ongelmana, joka voidaan välttää uusissa laitoksissa käyttämällä riittävän puhdasta terästä (P, Cu pitoisuudet pieniä) sekä välttämällä altistusta suurille neutroniannoksille.

Paineastian materiaaliominaisuuksien seuraaminen

Paineastian materiaalien mekaanisten ominaisuuksien muuttumista seurataan paineastian sisäpuolelle ns. säteilypositioihin jo rakennusvaiheessa sijoitetuilla, isku- ja vetokoesauvoilla, joita testataan määrääjain. Laitoskohtaisen seuranta-

aineiston tuottamisen kustantaa voimalaitos. Suomalaisten voimayhtiöiden säteilyhaurastumisen seurantakoesauvat on testattu VTT:n reaktorilaboratorion lyijyvuoratuissa kammioissa.

Loviisan voimalaitoksilla toteutettiin jo rakentamisvaiheessa kansainvälisesti katsoen hyvin laaja ja monipuolinen säteilyhaurastumisen seurantaohjelma.

Seurantaohjelman antamien materiaaliominaisuuksia koskevien tulosten käyttäminen turvallisuusanalyysissä

Reaktoripaineastian sisään säteilytyspositioon voidaan sijoittaa vain melko pieniä koesauvoja, säteilytysposition sisämitta on usein vain 25 mm. Turvallisuusanalyysissä tarvitaan kuitenkin tietoa paineastian seinämän paksuisen levyn käyttäytymisestä. Keskeisiä testaustulosten käyttökelpoisuuteen liittyviä tutkimuskohteita ovat senvuoksi:

- murtumismekaanisten säröillisten koesauvojen antamien mittaustulosten riippuvuus sauvakoosta
- yksinkertaisten Charpy-V-koesauvojen antamien mittaustulosten ja murtumismekaanisten parametrien välinen korrelaatio
- koetulosten tilastollisen käsittelyn hallinta mallintamalla lämpötilasta riippuen sitekeysparametrien funktionaalinen muoto, mittauspisteiden hajonta, hajonnan riippuvuus sauvakoosta jne.
- säteilyhaurastumista aiheuttavan neutroniannoksen mittaaminen ja paikasta riippuvan neutroniannoksen laskeminen

- säteilytyslämpötilan mittaaminen
- neutroniannosnopeuden vaikutus säteilyhaurastumiseen; valvontanäytteet ovat suuremmassa neutronivuossa kuin paineastia.

Yllä mainittuja kysymyksiä tutkitaan osallistumalla mm. Kauppa- ja teollisuusministeriön rahoituksella International Atomic Energy Agencyn organisoimaan "Optimizing of Reactor Pressure Vessel Surveillance Programmes and their Analyses, CRP 3" -tutkimusohjelmaan.

Todellisista paineestioista otetut näytteet

Paineastian todellinen tila saadaan varmimmin selville ottamalla näytteitä käytössä olleista reaktoripaineestioista. Valtion teknillinen tutkimuskeskus ja Imatran Voima Oy ovat mukana kahdessa merkittävässä tutkimushankkeessa. Novovoronezh-I -yksikkö on poistettu käytöstä ja siitä on irrotettu suurehkoja koekappaleita. Yksi hitsisaumasta irrotettu näyte, Ø 110×120 mm, on toimitettu tutkittavaksi VTT:n reaktorilaboratorioon. DDR:stä Greifswald I -yksikön paineestiasta on otettu neljä pienehköä näytepalaa, joiden tutkimuksessa VTT:n reaktorilaboratorio ja Imatran Voima Oy ovat kiinteästi mukana. Greifswald I -yksikkö on toivutushehketetty ja otettu tämän jälkeen takaisin voimantuotantoon. Näytepalojen tutkimukset valmistuvat kuluun vuoden aikana.

Säteilyhaurastumisen mekanismitutkimus

Fysiikan ilmiön tunteminen ja sen hallitseminen edellyttää aina mekanismin atomitaso tapahtumien tuntemista. Oletettu kuparin erkautuminen on saanut kokeellista vahvistusta vasta aivan viime vuosina lähinnä neutronien pienkulmasirontamittauksista ja atomikenttäionimikroskooppisista mittauksista. Pulmana on ollut kuparierkauman pieni koko (n. 1 nm). Haurastumismekanismiin riittävän tarkka tunteminen voisi olla suureksi avuksi suunniteltaessa paineastian käyttöiän pidentämistä muutaman kerran toistuvien paineastian kriittisten osien toivutushehketuksiin. On eräitä koetuloksia, jotka osoittavat paineestiamateriaalin haurastumisherkkyuden pienentyneen merkittävästi toivutushehketuskäsittelyn seurauksena. VTT osallistuu kansainvälisen IGRDM-ryhmän (International Group on Radiation Damage Mechanisms in Pressure Vessel Steels) toimintaan. Omia panoksiamme ovat positroniannihilaatiomittaukset, jotka tehdään yhteistyössä tällä alalla merkittävän aseman saaneen TKK:n fysiikan laboratorion kanssa. □

Tkt Matti Valo on VTT:n reaktorilaboratorion erikoistutkija, p. 90-456 6383.
Tkt Kim Wallin on VTT:n metallilaboratorion johtava tutkija, p. 90-4356 6870.

Reaktoripaineastiaterästen säteilyhaurastumisen tietopankki toteutettu

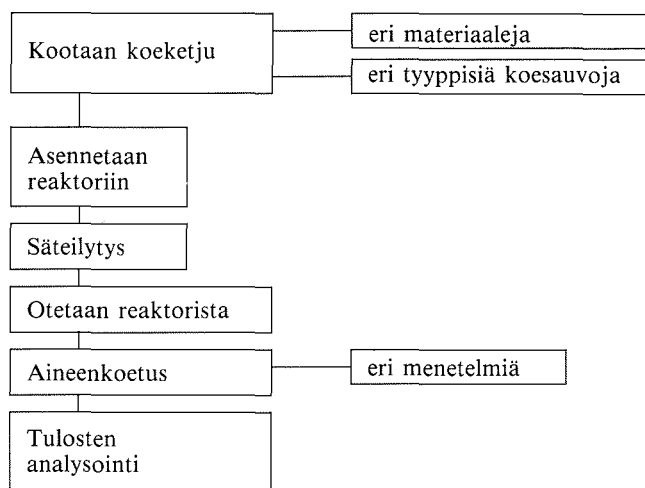
Ydinvoimalaitoksen reaktoripaineastia on käytön aikana voimakkaan neutronisäteilyn alainen. Neutronit saavat paineestiamateriaalissa aikaan muutoksia, joiden seurauksena materiaali haurastuu. Neutronisäteilyn aiheuttamaa haurastumista tutkitaan seurantaohjelmilla, joiden tuloksena on runsaasti tietoa. Tämän tiedon tehokkaaseen hallintaan ja analysointiin tarvitaan tietokoneita ja tiedonhallintajärjestelmiä. Imatran Voima Oy suorittaa laajaa seurantaohjelmaa, johon liittyen on laadittu tietopankki ja tiedonhallintasovellus.

Tietopankin laadinnassa on lähtökohtana toiminut seurantaohjelman rakennekaavio. Seurantaohjelmassa on näyte-eriä, jotka ovat samaa materiaalia kuin reaktoripaineastian sydänalueen materiaali. Näyte-erät sisältävät eri tyyppisiä koesauvoja, joille suoritetaan aineenkoetus eri menetelmillä sekä säteilyolosuhteiden määrittäminen. Aineenkoetustulosten perusteella suoritetaan analysointia, joista syntyy tuloksia. Lisäksi on tietoa reaktoreista, joissa säteilytykset suoritetaan, ja raporteista, joissa aineenkoetustulokset on esitetty. Eo. pohjalta tietopankin on pidettävä sisällään yksilöllistä tietoa ja usealle asialle yhteistä tietoa.

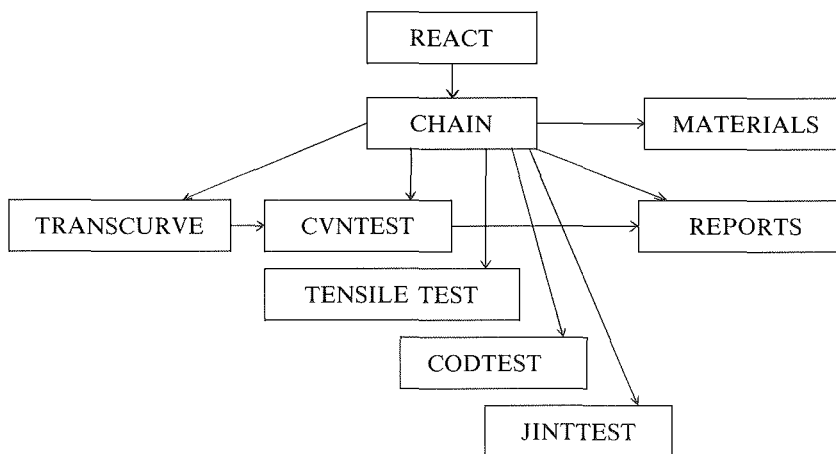
Tietopankin hallintaan kuuluvat menetelmät, joilla talletetaan, päivitetään ja haetaan tietoa. Tietojen luonne vaatii myös tehokkaan tietosuojauksen.

Tietopankin toteutus

Tietopankki on toteutettu relaatiotietokantana, joka vastaa seurantaohjelman rakennetta. Tiedot on jaettu tauluihin. Taulut sisältävät tietokenttiä, joihin varsinaiset tiedot talletetaan. Taulujen välille luodaan yhteyksiä (relaatioita), joiden avulla saadaan esille tietojen asiayhteys. Tietojen hallinnan kannalta relaatiotietokannan etu on siinä, että yksittäinen tieto esitetään vain kerran ja siihen voidaan viitata muualta tarvittaessa. Siten muistitila käytetään tehokkaasti ja tiedon päivitys hoidetaan yhtä tietokenttää käsittelemällä. Lisäksi tietopankki on laajennettavissa uusilla tauluilla ja taulut uusilla tietokentillä.



Säteilyhaurastumisen seurantaohjelman yksinkertaistettu lohkokaavio.



Seurantaohjelman tietokannan taulut ja olennaisimmat niiden väliset relaatiot.

Tietopankin hyödyntäminen

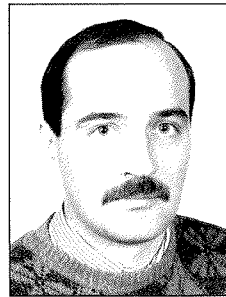
Tietopankin tarkoituksena on pitää keskitetysti sisällään seurantaohjelman aineenkoetustulokset ja analysointien tulokset. Tiedonhallintasovelluksella käsitellään tätä tietoa normaalin tietojen hallinnan ja analysoinnin muodossa. Pääasiallisena kohteena ovat iskukoe- ja J-integraalit, joiden avulla määritetään materiaalin transitiolämpötilat, kriittiset J-integraalit ja jännitysintensiteetit (J_{IC} , K_{IC}) sekä näiden neutronisäteilystä johtuvat siirtymät. Siirtymille etsitään funktio-
muotoisia esitystapoja sovitushjelmien avulla.

Tietopankista haetaan aineenkoetustulokset analysointiohjelmiin joko suoraan tai käsin syötettäväksi. Analysointien tulokset talletetaan tietopankkiin, josta ne ovat edelleen haettavissa jatkotutkimusta varten.

Kaikki tietopankin tiedot ovat raportoitavissa hallintakielen, lomakkeiden tulostuksen ja raporttikehittimen avulla. Tietopankki liittyy myös monenkeskiseen sopimukseen säteilyhaurastumisen tutkimuksen tietopankeista. Sopimuksen mukaan kansallisten tietopankkien ja keskustietopankin välillä vaihdetaan tietoja, jolloin analysointi tehostuu lähtötietojen variaatioiden lisääntyessä. □

DI Urpo Sarajärvi on tutkija Aachenin yliopistossa Länsi-Saksassa.

Pohjavesivirtausten mallinnus ydinjätteiden sijoituspaikkatutkimuksissa



Teollisuuden Voima Oy suorittaa parhaillaan kallioperätutkimuksia, joiden avulla selvitetään käytetyn polttoaineen loppusijoitusta Suomeen. Kallioperätutkimusten ohella on käynnissä kattava tutkimus- ja suunnittelutyö, jonka tarkoituksena on saattaa ajan tasalle aiemmin laaditut turvallisuusarviot ja tekniset suunnitelmat. Pohjavesitutkimukset ja pohjavesiolosuhteiden mallintaminen ovat keskeinen osa tutkimustyötä. Peruskallioon noin 500 metrin syvyyteen rakennetusta loppusijoitustilasta vapautuvat radionuklidit voivat kulkeutua biosfääriin vain pohjaveden mukana.

Kallioperätutkimuksia tehdään viidellä alueella. Tavoitteena on selvittää, vallitsevatko alueiden kallioperässä oletunkaltaiset, turvallisuuden kannalta riittävät olosuhteet. Keskeistä on saada käsitys virtaavan pohjaveden määrästä. Tällä on vaikutusta jätepakkauksen korroosioon sekä itse uraanioksidin liukenemiseen. Vuonna 1992 osa alueista karsitaan jatkotutkimuksista. Käytetyn polttoaineen loppusijoituspaikka valitaan vuonna 2000.

Tutkittavien alueiden keskinäistä arviointia ja karsintaa varten kallioperäolosuhteista tulisi saada mahdollisimman todentekoinen käsitys. Tästä syystä myös pohjavesimallintamisen tulee jäljitellä mahdollisimman hyvin todellisia, tällä hetkellä vallitsevia olosuhteita. Liian pessimististen oletusten käyttö johtaisi mahdollisten alueiden välisten erojen tasoittumiseen.

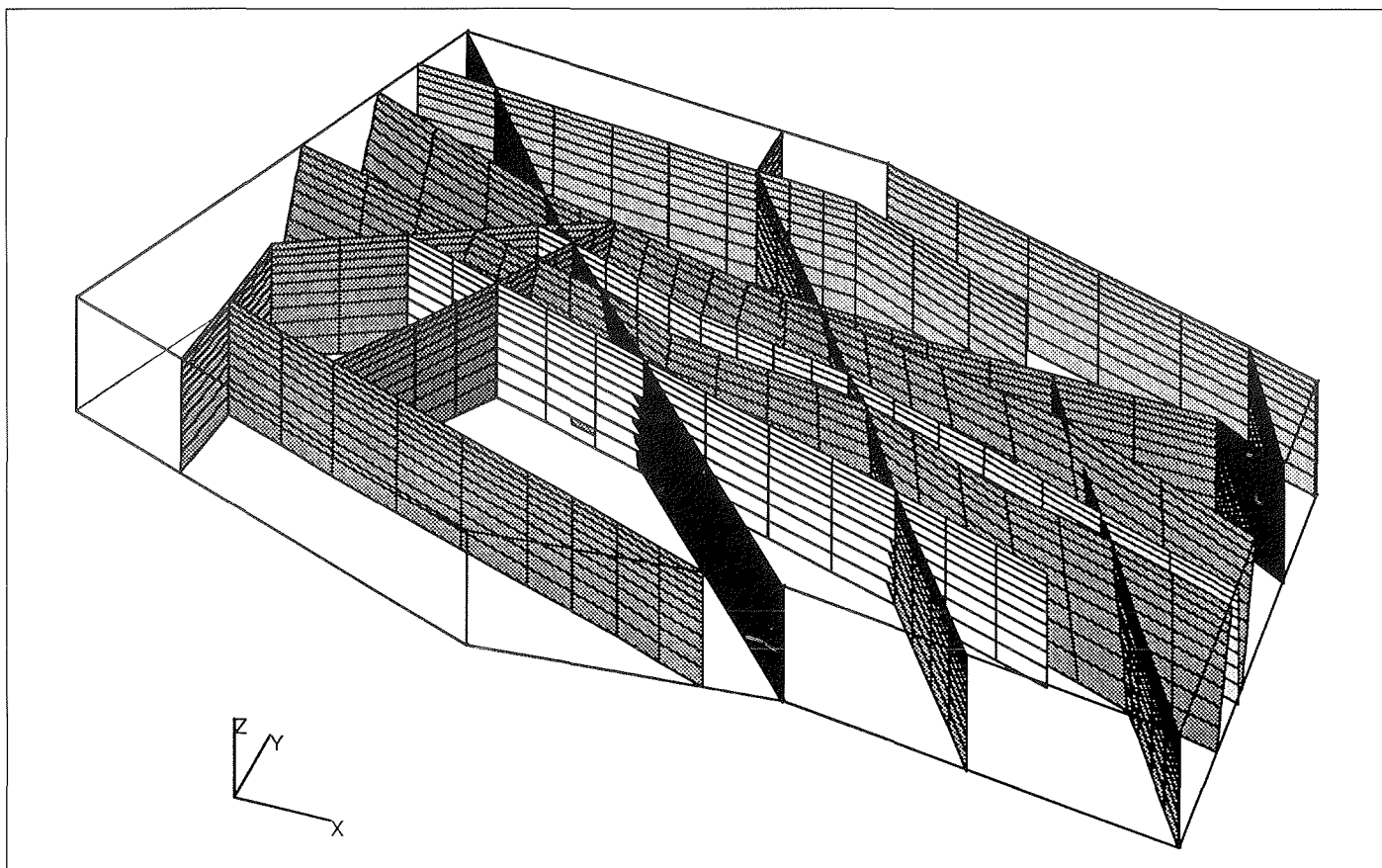
Turvallisuusselvitysten pohjavesianalyseissa kallioperän ominaisuuksia tarkastellaan hieman eri tavoittein kuin paikkatutkimuksissa. Realistisuus ei ole välttä-

mätöntä, vaan analyysi laaditaan tarkoituksellisesti haittoja yliarvioivaksi. Lisäksi kallioperän ominaisuuksia vaihdellaan ja selvitetään eri tekijöiden vaikutus pohjavesiolosuhteisiin. Turvallisuusanalyysin pohjavesilaskelmien tulokset ovat lähtöaineistona monille muille analyyseille.

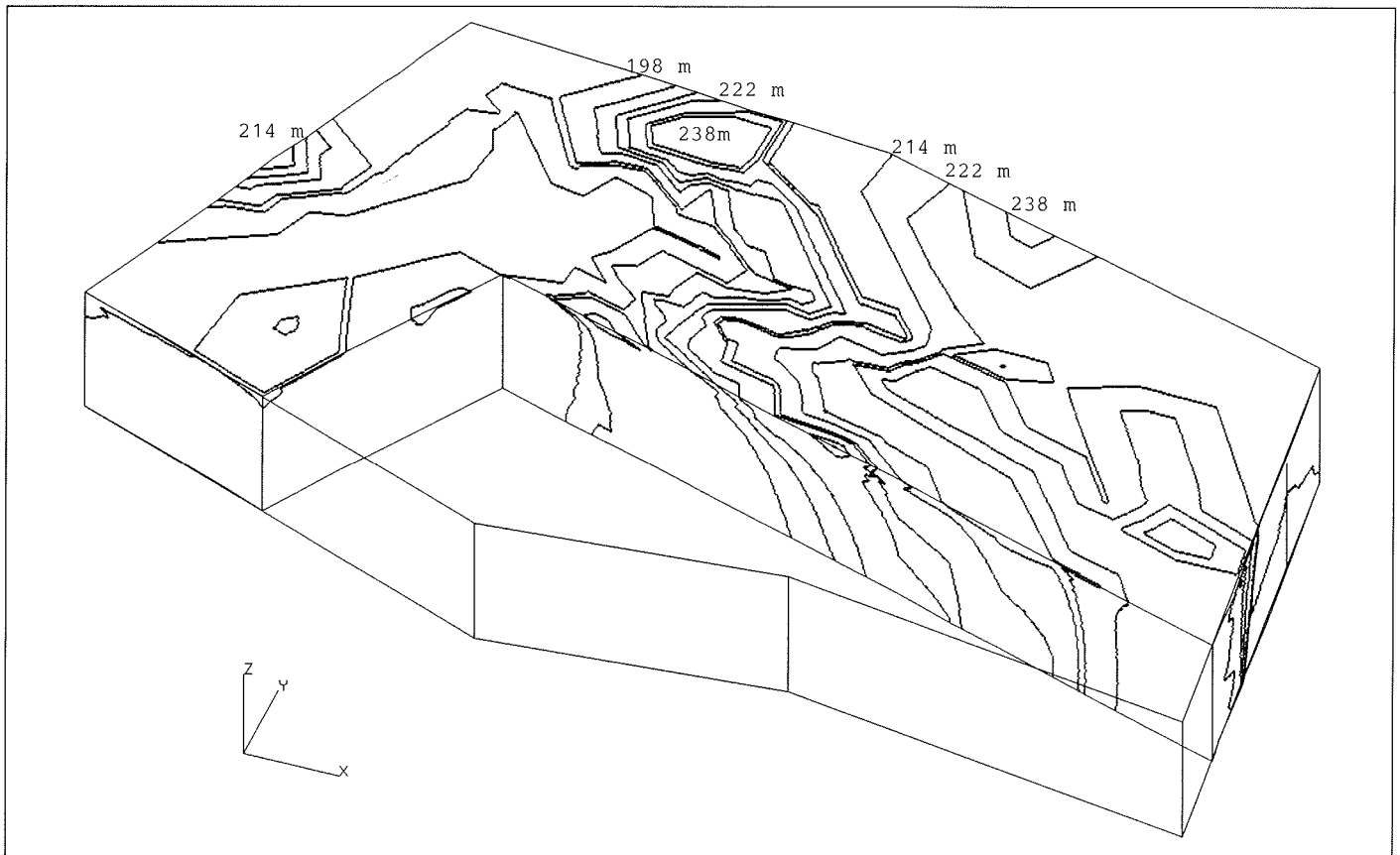
Pohjaveden virtauksen mallinnus

Rakoilleessa kalliossa, jollaista Suomenkin peruskallio on, pohjavesi virtaa rakoja pitkin. Virtaus aiheutuu lähinnä maanpinnan ja sitä myötäilevän pohjaveden korkeuden vaihtelusta. Hitaasti virtaavan pohjaveden kokonaisenergia on korkeusaseman mukaisen potentiaalienergian ja paineesta aiheutuvan energian summa. Kokonaisenergiaa massayksikköä kohti kutsutaan yleensä — hieman harhaanjohtavasti — (virtaus)potentiaaliksi.

Pohjavesivirtausten mallinnuksessa maaperää käsitellään jatkuvana huokoisena väliaineena. Samaa approksimaatiota sovelletaan yleensä myös rakoilleeseen kalli-



Hyrnsalmen Veitsivaaran kaukoaluemallin keskimääräistä kalliota paremmin vettäjohtavat vyöhykkeet ja niiden elementtijako.



Hyrnsalmen Veitsivaaran kaukoaluemallille ratkaistun virtauspotentiaalienten tasa-arvokäyrät.

oon. Suuria tilavuuksia tarkasteltaessa kalliolohkojen rakoiheen oletetaan käytettyvän kuten huokoinen väliaine.

Huokoisessa väliaineessa veden virtaus noudattaa kokemusperäistä Darcyn lakia. Sen mukaan virtaavan veden määrä on suoraan verrannollinen virtauspotentiaaligradienttiin. Verrannollisuuskerrointa kutsutaan vedenjohtavuudeksi. Rakoilleen kallion kaltaisella anisotropisella väliaineella vedenjohtavuus on 3×3 -tensori.

Pohjaveden virtauksen ratkaiseminen on analogista esimerkiksi sähkö- ja lämpötilakentän laskemisen kanssa. Käytännössä tarkasteltavien tilavuuksien geometrioiden monimutkaisuuden vuoksi tällaisia ongelmia kuvaavat Laplace- ja Poisson-yhtälöt voidaan ratkaista ainoastaan numeerisesti diskretisoimalla tarkasteltava tilavuus. Pohjavesivirtausten simulointiin käytetyt tietokonemallit perustuvatkin yleensä differenssi- tai elementtimenetelmään.

Tietokonemallit

Sijointipaikkatutkimusten pohjavesimallinnuksen tärkein työkalu on jatkuvan huokoisen väliaineen lähtökohtaan perustuva FEFLOW-ohjelmisto. FEFLOW on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratoriossa kehitetty, elementtimenetelmään perustuva pohjavesivirtausten kolmiulotteinen analysointiohjelmisto.

Pohjavesivirtausten analysointia varten tarkastelutilavuus jaetaan elementteihin. Keskimääräistä kalliota paremmin vettä johtavat rakenteet (rakoiluvyöhykkeet) kuvataan kaksiulotteisten elementtien

avulla. Elementeille annetaan kallioperän rakenteita kuvaavat ominaisuudet kuten vedenjohtavuustensori, varastokerroin, lämpötila ja tehokas huokoisuus. Reunaehtoina käytetään vakio potentiaalia ja reunan läpi virtaavaa veden määrää.

FEFLOW ratkaisee virtauspotentiaalinen elementtiverkon jokaisessa solmussa. Potentiaalienten avulla lasketaan edelleen virtaavan veden määrä, virtausnopeus ja virtausreitti.

Elementtiverkkojen laadinnassa, lähtötietojen tarkistamisessa ja laskentatulosten havainnollistamisessa käytetään kaupallista elementtimenetelmämallien esi- ja jälkikäsitteilyyn kehitettyä PATRAN-ohjelmistoa. Yksi- ja kaksiulotteisten elementtien lisäämistä varten VTT:n ydinvoimatekniikan laboratoriossa on kehitetty tehokas, työtä helpottava algoritmi.

Käytössä olevat laskentamallit eivät kaikissa tilanteissa kykene kuvaamaan kallioperän pohjavesivirtauksia suurella tarkkuudella. Malleja kehitetäänkin edelleen. Huokoisen väliaineen oletukseen perustuvan mallinnuksen osalta kehitystyö kohdistuu erityisesti mallien säätömenetelmiin ja parametrien vaihtelumahdollisuuksien lisäämiseen. Erityisesti pienehkön kallioilavuuden, esimerkiksi loppusijoitusalan lähialueen, tarkasteluihin kehitetään rakoverkkomalleja kansainvälisenä yhteistyönä Stripa-projektissa.

Mallinnuksen vaiheet

Sijointipaikkatutkimuksissa pohjavesiolosuhteiden mallintaminen ja arviointi on

monivaiheista. Ensimmäisessä vaiheessa laaditaan alustava pohjavesimalli ja sen avulla muodostetaan yleinen käsitys alueen olosuhteista. Malli perustuu kallioperätutkimusten pohjalta laadittuun rakennemalliin ja kairanreikien hydrologiseen mittausaineistoon.

Pohjavesimallin pinnalla reunaehtona käytetään pohjaveden korkeutta, joka voidaan luotettavasti arvioida mittaustulosten ja maanpinnan muotojen avulla. Muutaman neliökilometrin laajuisen tutkimusalueen pohjavesimallin muiden reunaehtojen selvittämiseksi tarkastellaan suurempaa kaukoaluetta. Kaukoaluemalli rajataan luonnollisiin reunaehtoihin, kuten vedenjakajiin ja merkittäviin vesistöihin. Kaukoaluemalli kattaa useita kymmeniä neliökilometrejä.

Jatkossa, kun pohjavesiolosuhteista on hankittu lisää mittaustietoa, pohjavesimallia tarkennetaan ja säädetään. Säätö suoritetaan sekä häiriintymättömän tilanteen että pumppauskokeiden mallinnuksen avulla. Vertailtavina suureina ovat sekä mallinnuksen lähtöarvot (vedenjohtavuudet ja reunaehdot) että lasketut suureet (virtauspotentiaalit ja suotauma kalliioon). Tarvittaessa muutetaan mallinnettavan alueen kokoa, reunaehtoja tai lähtöarvoja. □

FL Veikko Taivassalo on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion erikoistutkija, p. 90-648 931.
FM Timo Aikäs on TVO:n päägeologi, p. 90-605 022.

Palmutun uraaniesiintymä ydinjäteanalogiana

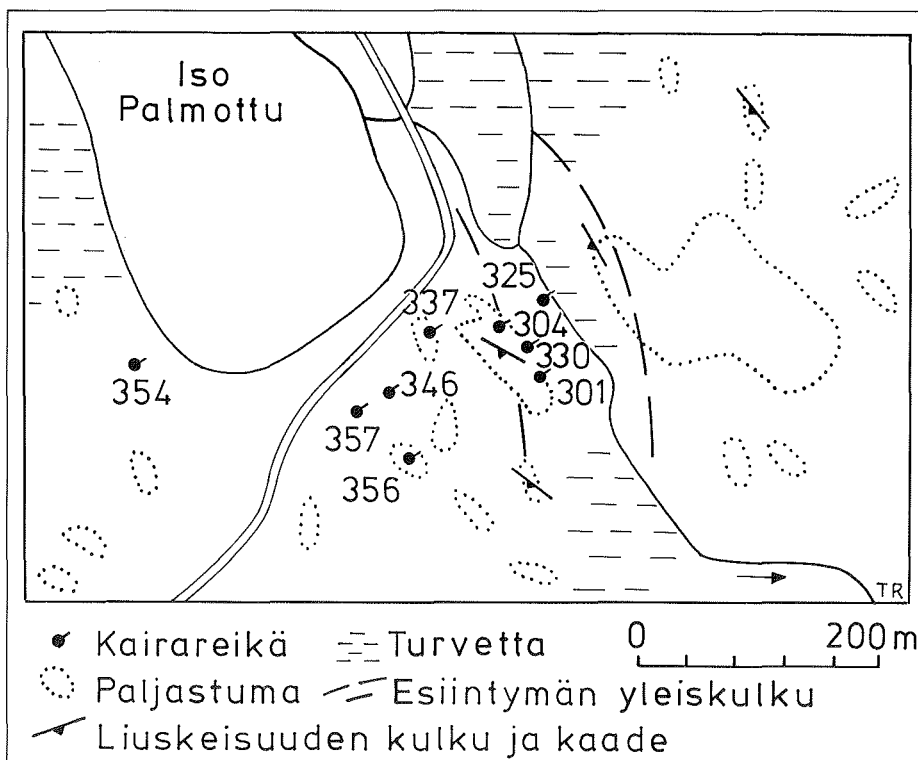
Uraaniesiintymissä tapahtuu luonnostaan radionuklidien (uraanin ja toriumin) kulkeutumista pitkin veden täyttämää rakoja sekä pidättymistä rako-pintojen mineraaleihin. Näitä ilmiöitä voidaan tarkastella malleina arvioitaessa ydinjätteen sijoitustilasta pitkän ajan kuluessa kallioperään mahdollisesti vapautuvien radionuklidien käyttäytymistä. Suomessa tutkitaan Nummi-Pusulan Palmottujärven U-esiintymää tällaisena analogiana.

Uraanista alkavassa luonnon radioaktiivisessa hajoamissarjassa on useiden alkuaineiden radionuklideja, jotka vastaavat käytetyssä ydinpolttoaineessa esiintyviä pitkäikäisiä radioaktiivisia aineita. Maailmalla on viime vuosina aloitettu useita laajoja kansainvälisiä hankkeita, joissa tutkitaan luonnon uraaniesiintymiä käytetyn polttoaineen pitkäaikaiskäyttämisen analogioina. Useimmat näistä hankkeista koskevat kuitenkin sellaisia geologisia ja ilmastollisia olosuhteita, jotka poikkeavat tuntuvasti Fennoskandian ja etenkin Suomen oloista.

Radionuklidien liikkumista ja pidättymistä mallinnetaan reaktioihin liittyvien termodynaamisten vakioiden avulla. Käytettävät lähtötiedot ovat tällöin usein yksinkertaisista systeemeistä, lähinnä laboratorio-olosuhteissa tehdyistä mittauksista peräisin. Luonnosta eri tekijöiden vuorovaikutukset tekevät tilanteen monimutkaisemmaksi. Uraaniesiintymä toimii näin myös luonnon laboratoriona, jossa toisaalta testataan olemassaolevan tiedon kelpoisuutta ja josta toisaalta saadaan myös uutta tietoa.

Suomessa vuonna 1987 aloitetun analogiatutkimuksen kohteeksi valittiin Nummi-Pusulan Palmotun alue, koska tästä pienestä U-Th-esiintymästä oli olemassa useita esiintymää leikkaavia kairausreihiä ja näihin liittyvä sydännäyteaineisto (kuva 1).

Palmutun analogiatutkimus kuuluu osana Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosaston rahoittamaan JYT-ohjelmaan (julkisrahoitteinen ydinjätetutkimus). Tehtävä työ käsittelee mineralogisia, radiokemiallisia ja hydrologisia havaintoja,



Kuva 1. Näytteenottoon käytettyjen kairareikien sijainti.

mittauksia, analyysyjä ja määrittäyksiä kivi- ja pohjavesinäytteistä, jotka on saatu kalliopaljastumista ja kairausrei'istä. Tutkimus on yhteistyötä, jonka pääosapuolet ovat Geologian tutkimuskeskus, Helsingin yliopiston radiokemian laitos ja Teknillisen korkeakoulun insinöörigeologian ja geofysiikan laboratorio.

Palmutun olosuhteet

Palmutun alueen pääkivilajit ovat sedimenttisyntyisiä kiilleliuskeita, kvartsimaa-sälpagneissejä ja pyrokseenipitoisia gneissejä. Migmatiitit ja paikoin ruhjeliuskeisuus ovat yleisiä. Liuskeiden joukossa on runsaasti erilaisia pegmatiittijuonia ja -pakuja. Korkeat uraanipitoisuudet liittyvät karkeisiin runsaasti biotiittia ja kvartssia sisältäviin pegmatiittijuoniin sekä graniittisissa kivissä esiintyviin hiertosaumoihin. Itse uraanirikastumissa havaitut mineraalit ovat uraniniitti (muuttumistuloksineen), monatsiitti, zirkoni ja apatiitti.

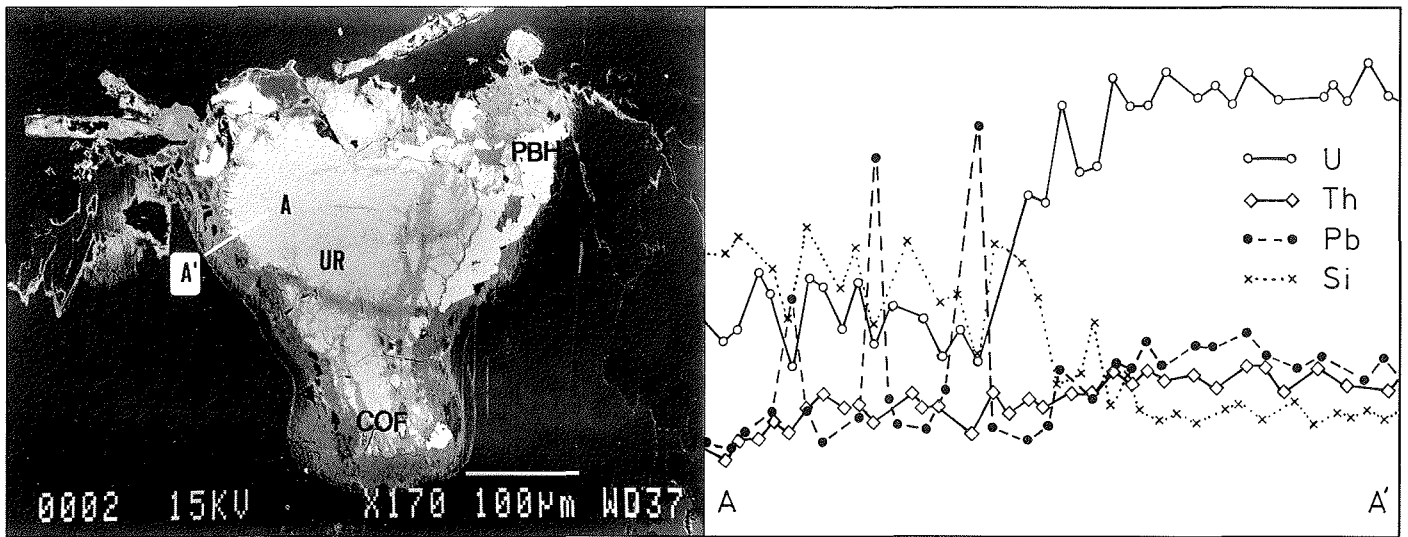
Uraniniittimineraalit ovat paljolti muuttuneet sekundaarisiksi uraanimineraaleiksi. Muuttuminen on alkanut rakeiden reunoilta ja se on toisinaan ollut niin perinpohjaista, että uraniniittista on jäljellä

enää jääniteitä sekundaarisen faasin seas- sa (kuva 2). Muuttuminen ei näytä olevan riippuvainen nykyisistä pohjavesiolo- suhteista, vaan sitä on havaittu sekä hapettavissa että pelkistävissä olosuhteissa.

Pohjavesitutkimukset

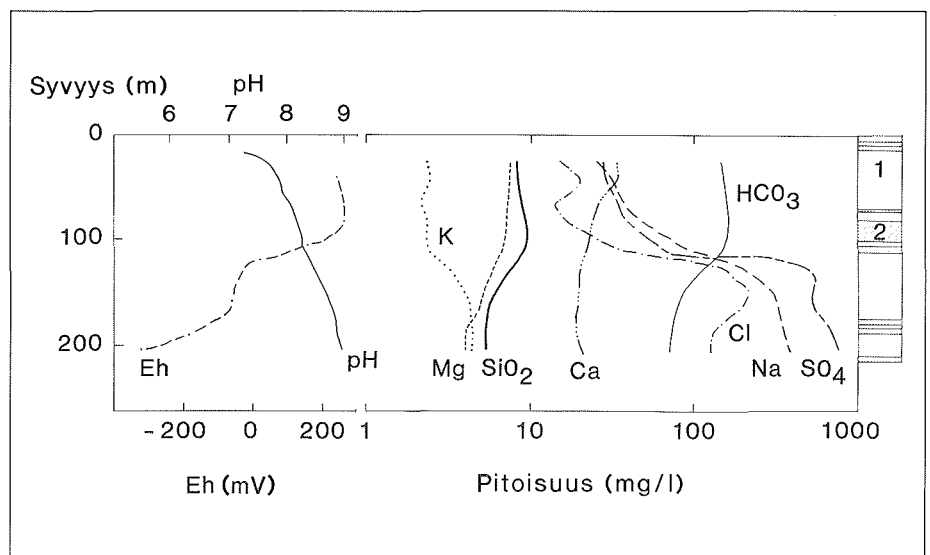
Useista tutkimusalueella olevista kairausrei'istä on otettu näytteet letkunäytteen- ottimella, jolla saadaan yhtenäinen vesipatsas koko kairausreiän vedestä. Näin saadaan yksinkertaisella tekniikalla selvitettyä kairausreiässä olevan veden koostumus ja sen muuttuminen syvyyden mukaan. Näytteenottoa on täydennetty käyttämällä tulppamenetelmää, jossa tutkittava kairausreiän osa eristetään kahdella paisutettavalla kumitulpalla.

Tulokset ovat osoittaneet, että riittävän pitkäaikainen tulppänäytteenotto on luotettavin tapa saada vesinäyte, joka myös Eh-arvoltaan ja happipitoisuudeltaan parhaiten vastaa tilannetta kalliopohjassa. Tällä on merkitystä erityisesti arvioitaessa hapetus-pelkistyspotentiaalin muutoksille herkkien radionuklidien käyttäytymistä pohjavesioloissa sekä selvitetäessä rakomineraalien ja kalliopohjaveden välisiä



Kuva 2. a) Elektronimikroskooppikuva muuttuneesta uraniniittirakeesta. UR = uraniniitti, PBH = lyijyhohde, COF = coffiniitti. b) U-, Th-, Pb- ja Si-pitoisuudet a-kuvaan merkityssä profiilissa A-A'.

vuorovaikutussuhteita. Pohjavesinäytteistä tehdyistä kemiallisista analyyseistä ilmenee, että alueen kallioperässä esiintyy eri vesityyppejä (kuva 3). Kallion yläosassa vesi on tyypillisesti makeaa ja suhteellisen hapettavaa, jolloin uraani esiintyy hapetusasteella +VI ja on liukoisessa muodossa. Suodatetun veden uraanipitoisuus saattaa olla yli 100 mg/l ja veden korkea tritiumpitoisuus on merkinä hyvistä yhteyksistä meteoriseen veden kiertoon. Toisaalta jo runsaan 100 metrin syvyydessä tavataan lievästi suolaista vettä, jonka alhaiset tritiumpitoisuudet ovat merkinä pitkää viipymästä ja pinnallisesta veden kierrosta eristetyistä olosuhteista. Syvemmillä myös hapetus-pelkistys-aste on alhaisempi, jolloin valtaosa uraanista on niukkaliukoisena hapetusasteella +IV. Valtaosa pohjaveden mukana kulkevasta uraanista on tällöin saostuneena tai hienon aineksen pinnalle adsorboituneena (kuva 4).



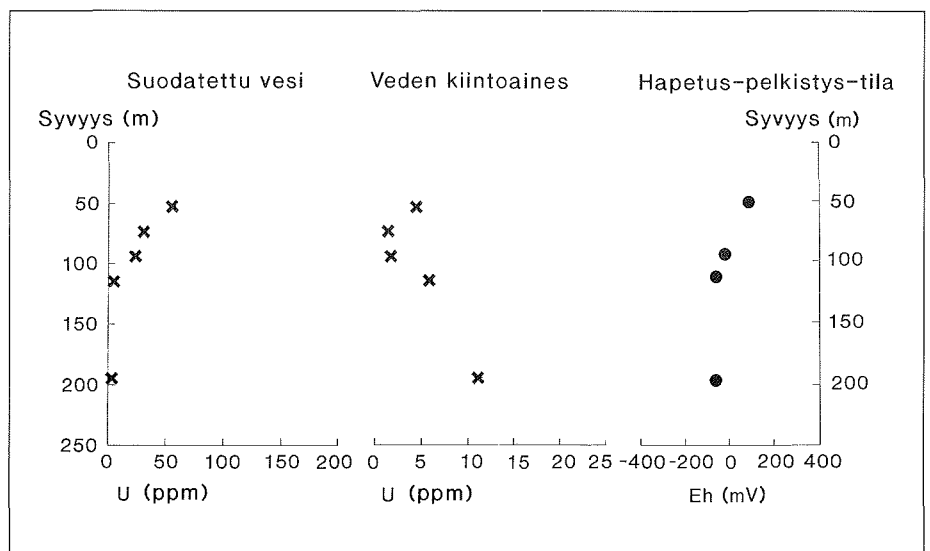
Kuva 3. Pohjaveden kemiallinen koostumus sekä pH- ja Eh-arvot kairausreiässä 346.

Tulppalaitteistolla voidaan myös mitata kallion vedenjohtavuutta sekä eri rako-työhykkeiden välisiä painekorkeuseroja. Näin saatua tietoa hyödynnetään paikallisten hydrologisten olosuhteiden, kallion mahdollisen rikkonaisuuden sekä saatu- jen vesinäytteiden edustavuuden arvioin- nissa.

Mobiloituneen uraanin sorptio rakopinnoille

Raoissa päämineraaleina esiintyvät kaoliiniitti, kalsiitti, illiitti ja kvartsi. Radionuklidien kiinnittymistä rakopinnoille ja siihen vaikuttaneita ilmiöitä ja mekanismeja selvitetään analysoimalla erikseen kiintoaineesta selektiivisellä uutolla erotetut faasit ja toisaalta käyttämällä hyväksi uraanin hajoamissarjan radioaktiivista tasapainotilaa.

Rakopinnoitteiden sisältämästä uraanista keskimäärin 90 % esiintyi suhteellisen löyhästi sitoutuneena (pinta-adsorptiolla, ioninvaihdolla ja keraosaostuksella), mikä osoittaa uraanin sorboituneen rakopinnoille. Loput uraanista vapautui vahvoilla mineraalihapoilla. Uraanin sorptiossa



Kuva 4. Uraanin pitoisuudet kallion raoista pumpatussa suodatetussa pohjavedessä ja kiintoainek- sessä sekä veden Eh-arvot.

merkittävin faasi oli kalsiumkarbonaatti (kalsiitti), johon sitoutui jopa 70 % rakomineraalien uraanista. Rakopinnoille muodostuvan kalsiitin vaikutus uraanin pidättymiseen on ilmeinen. Uraanin ja sen hajoamistuotteen toriumin suhde ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U} \leq 1$) kalsiitissa kertoo uraanin pitkästä yhtäjaksoisesta viipymästä siinä. Uraanin ja toriumin suhteesta laskemalla viipymiksi saatiin 80000— yli 300000 vuotta.

Analogiatulosten hyödyntäminen

Tutkimus on jo antanut monipuolista tietoa uraanin käyttäytymisestä ja ennen kaikkea pidättymisestä, johon vaikuttaneita ilmiöitä ja mekanismeja on voitu identifioida. Lisäksi uraanin pidättymiseen liittyvää aikaa on voitu arvioida kvantitatiivisesti.

Suomen pohjavesien erilaisten olosuhteiden yleispiirteisiin on Palmottu-tutkimus antanut ja tulee antamaan tarpeellista aineistoa. Radionuklidien käyttäytymisestä kallioperässä geologisen historian aikana on saatu tietoa, joka edelleen täydennettynä on nähtävä itse ydinjätteiden sijoitustilaratkaisujen suunnittelu- ja mitoituskriteereinä. Seuraavassa vaiheessa onkin mahdollisuuksia pyrkiä rakentamaan systeemianalyttistä radionuklidien liike- ja massataseinventariota, jossa primaarikiven, pohjaveden ja rakojen lisäksi on huomioitu myös yläpuoliset geologiset muodostumat turvekerrostumiseen. On toiveita, että tällaisen inventaarion tulokset jo voisivat antaa turvallisuusanalyysiä numeerista tietoa, joka olisi kerta-luokaltaan tarkempaa kuin tähänastiset arviot. □

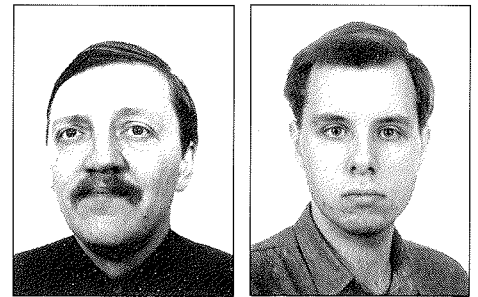
FT Heikki Niini on TKK:n taloudellisen geologian professori, p. 90-451 2720.

FK Lasse Ahonen on Geologian tutkimuskeskuksen tutkija, p. 90-4693 329.

FT Timo Jaakkola on Helsingin yliopiston radiokemian laitoksen (HYRL) professori, p. 90-191 7811. FK Riitta Suutarinen on HYRL:n tutkija, p. 90-191 7827.

Pentti Aarnio ja Timo Hakulinen, TKK

Tietämuspohjainen järjestelmä radionuklidien identifikaatioon



Täydellinen radionuklidien identifikaatio mitatun gamma-spektrin perusteella on verrattain vaikea ongelma, jonka suorittaminen edellyttää teki-jältään niin alaan liittyvien matemaattisten metodien hallintaa kuin myös huomattavaa kokemukseräistä asiantunte-musta. Järjestelmän, joka pyrkii gammaspektrin täydelliseen tunnistamiseen tulee kyetä yh-distämään luontevasti nämä vaatimukset.

Normaalisti tietokoneohjelma laaditaan siten, että kehitetään algoritmi, joka puetaan tietokoneen ymmärtämään muotoon käyttäen jotain korkean tason ohjelmointikieltä. Ohjelma ottaa tietoa syötteenä, käsittelee sitä ennalta määrättyssä järjestyksessä ja tulostaa sen pohjalta uutta tietoa.

Toinen lähestymistapa on pukea algoritmi säännöiksi, joiden suoritusjärjestystä ei ole ennalta määrätty. Järjestelmässä on yleinen algoritmi, nk. *päätelykone*, joka tutkii sääntöjen voimassaoloa suorituksen aikana. Päätelykone suorittaa tarpeen vaatiessa säännön määrittämisen toimenpiteet eli *laukaisee* säännön. Sen sijaan, että ohjelmoija määritteli sekventiaalisen algoritmin, hän määrittelee-

kin sääntöjen riippuvuuden järjestelmässä olevasta tiedosta, joka voi olla joko syötteenä annettua tietoa tai päätelyprosessin tuottamaa välitietoa. Ohjelmoija ei ennalta tiedä, missä järjestyksessä suoritus etenee, vaan koko prosessi on tiedon ohjaama.

Edelläkuvattu lähestymistapa sopii hyvin ongelmiin, joiden ratkaiseminen edellyttää ratkaisijaltaan kokemukseräistä eli *heuristista* tietämystä ongelmasta. Usein lisäksi ongelmaan ei joko tunneta hyvää algoritmia, tai sellaisen toteuttaminen on jostain syystä hankalaa. Järjestelmään ohjelmoidut säännöt edustavat usein kyseisen alan asiantuntijan tietämystä, mistä johtuen järjestelmää kutsutaan *asiantuntijajärjestelmäksi*. Sitä ohjelmointiteknikan haaraa, joka käsittelee asiantuntijajärjestelmiä kutsutaan *tietämystekniikaksi*.

Radionuklidien tunnistus

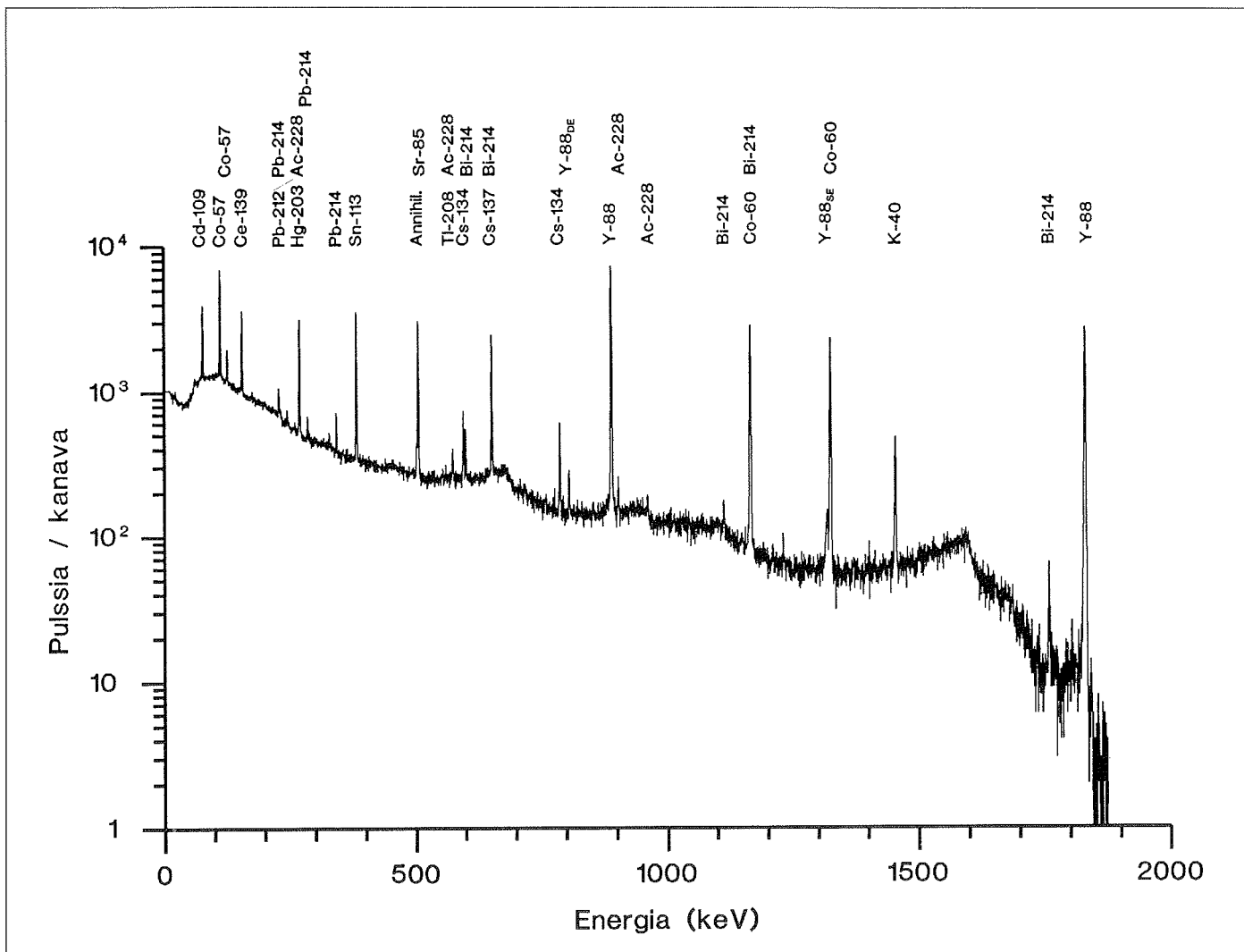
Kun on mitattu gammaspektri näytteestä, pyrkimyksenä on useimmiten selvittää mitä radionuklideja näytteessä on läsnä. Tunnistus aloitetaan suorittamalla spektrin kvantitatiivinen analyysi, ts. spektristä etsitään piikit ja määritetään niiden energiat, pinta-alat sekä virheet.

Seuraava askel on kvalitatiivinen tunnistus, jossa spektrin piikkejä verrataan eri radionuklidien tunnettuihin gammatransitioihin. Tämän vertailun perusteella tehdään alustava päätös siitä, onko nukliidi läsnä näytteessä vai ei. Päätökseen vai-

kuttavat myös mahdolliset tiedot näytteen alkuperästä, olomuodosta, iästä, kemiallisesta koostumuksesta jne. Asiantuntija kykenee jo tässä vaiheessa hylkäämään useita mahdollisia kandidaatteja sillä perusteella, että hän kokemukseen perustuen tietää, että kyseisen radionuklidin läsnäolo näytteessä on syystä tai toisesta epätodennäköistä.

Kvalitatiivisen tunnistuksen jälkeen laske-taan tavallisesti estimaatit näytteestä tunnistettujen eri nuklidien aktiivisuuksille. Tässä vaiheessa saatetaan vielä joutua korjaamaan arvioita näytteessä läsnä olevista nuklideista, jos matemaattinen analyysi antaa joidenkin nuklidien osalta ristiriitaisia tuloksia.

Yleensä radionuklidien tunnistuksen mekaaninen vaihe päättyy tähän. Asiantuntija voi kuitenkin saatujen tulosten pohjalta tehdä pidemmälle meneviä johtopäätöksiä näytteen historiasta. On usein mahdollista sanoa ovatko tutkittavassa näytteessä esiintyvät radionuklidit peräisin luonnosta vai onko ne tuotettu keinotekoisesti esim. kuusikymmenluvun atomipommikokeissa tai ydinreaktorissa. Edelleen voi olla mahdollista määrittää reaktorin tyyppi, koska näyte on viimeksi ollut kriittinen, onko näyte osa jotain onnettomuuspäästöä jne. Tällaisten päätelmien teko edellyttää kuitenkin huomattavaa asiantuntemusta, jota ei aina analyysiä tehtäessä ole käytettävissä. Lisäksi tilanne saattaa edellyttää nopeita päätöksiä jatkotoimenpiteistä, jolloin tulosten oikeellisuuden merkitys korostuu.



Yksinkertainen tunnistettu gammaspektri, jossa on nähtävissä 27 gammapiikkiä ja 16 radionuklidia.

Asiantuntijajärjestelmä SHAMAN

Kvantitatiivisen analyysin tekemiseen on saatavilla useita hyviä tietokoneohjelmia. Näistä yksi on TKK:n ydintekniikan laboratoriossa kehitetty MicroSAMPO, joka toimii IBM PC yhteensopivissa mikrotietokoneissa. Radionuklidien tunnistukseen ei sen sijaan ole juurikaan ollut saatavilla järjestelmiä, jotka kykenisivät spektrin täydelliseen tunnistukseen puhumattakaan, että ne tekisivät jatkopäätelmiä aiheeseen liittyen. Ongelma on luonteeltaan sellainen, että se saattaisi hyvinkin olla ratkaistavissa käyttäen lähestymistapaa, jossa kokemukseräiset säännöt yhdistyvät matemaattiseen analyysiin.

Ydintekniikan laboratoriossa on kahden vuoden ajan ollut käynnissä projekti, jonka tarkoituksena on ollut laatia asiantuntijajärjestelmä, jolla kyetään suorittamaan mahdollisimman täydellinen tunnistus mielivaltaiselle spektrille. Ensimmäisessä vaiheessa on laadittu asiantuntijajärjestelmän prototyyppi SHAMAN, jolla pyritään tunnistamaan näytteessä olevat radionuklidit ja laskemaan niiden aktiivisuudet. Järjestelmä on toteutettu IBM PS/2 mikrotietokoneella käyttäen GOLDWORKS nimistä LISP-pohjaista asi-

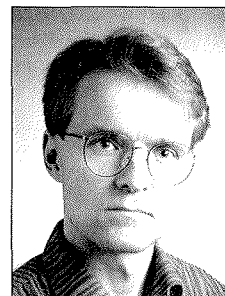
antuntijajärjestelmäkehittäjä ja C-kieltä. SHAMAN käyttää tunnistuksessa apunaan radionuklidikirjastoa, jossa on kaikkiaan 2055 eri radionuklidia sekä n. 48 000 gammatransitiota. Järjestelmään liittyy niin ikään LISP- ja C-kielillä kirjoitettu nuklidikirjastojen ylläpitojärjestelmä SEITA, jolla täydestä nuklidikirjastosta voidaan rakentaa alikirjastoja erilaisilla kriteereillä. Lisäksi SEITA toimii älykkäänä tietokantapalvelijana SHAMANin ja nuklidikirjaston välillä.

SHAMAN ottaa syötteenä MicroSAMPO-ohjelmalla suoritettujen kvantitatiivisen analyysin tulokset, joista käyvät ilmi spektristä löydettyjen gammapiikkien ominaisuudet. Lisäksi käyttäjä voi syöttää järjestelmään *a priori* tietoja näytteestä, kuten näytteen kemiallisen olemuodon, ohjeita siitä kuinka taustanuklideihin tulee suhtautua, jne. Soveltamalla joukkoa hyväksymis- ja hylkäämissääntöjä SHAMAN pyrkii löytämään parhaan mahdollisen kombinaation kandidaattinuklideista, jotka sopivat spektriin. Lopuksi järjestelmä laskee vielä estimaatit kandidaattinuklidien aktiivisuuksille sekä spektrin piikkien selityssuhteille.

Edelläkuvattu tunnistusprosessi on itse

asiassa verrattain selväpiirteinen ja matemaattisesti painottunut. Varsinaisten heurististen sääntöjen osuus rajoittuu lähinnä näytteen ominaisuuksiin perustuviin karstintasääntöihin. Toisessa vaiheessa SHAMAN-järjestelmää on tarkoitettu laajentaa siten, että järjestelmään ohjelmoitetaan enemmän kokemukseräisiä sääntöjä, joita käyttämällä voidaan muodostaa parempi kuva näytteen alkuperästä. □

TkL Pertti Aarnio on TKK:n ydintekniikan laboratorion laboratorioinsinööri, p. 90-451 3191.
DI Timo Hakulinen on TKK:n ydintekniikan laboratorion tutkija, p. 90-451 3205.



Vuosi Ranskassa vierailevana tutkijana

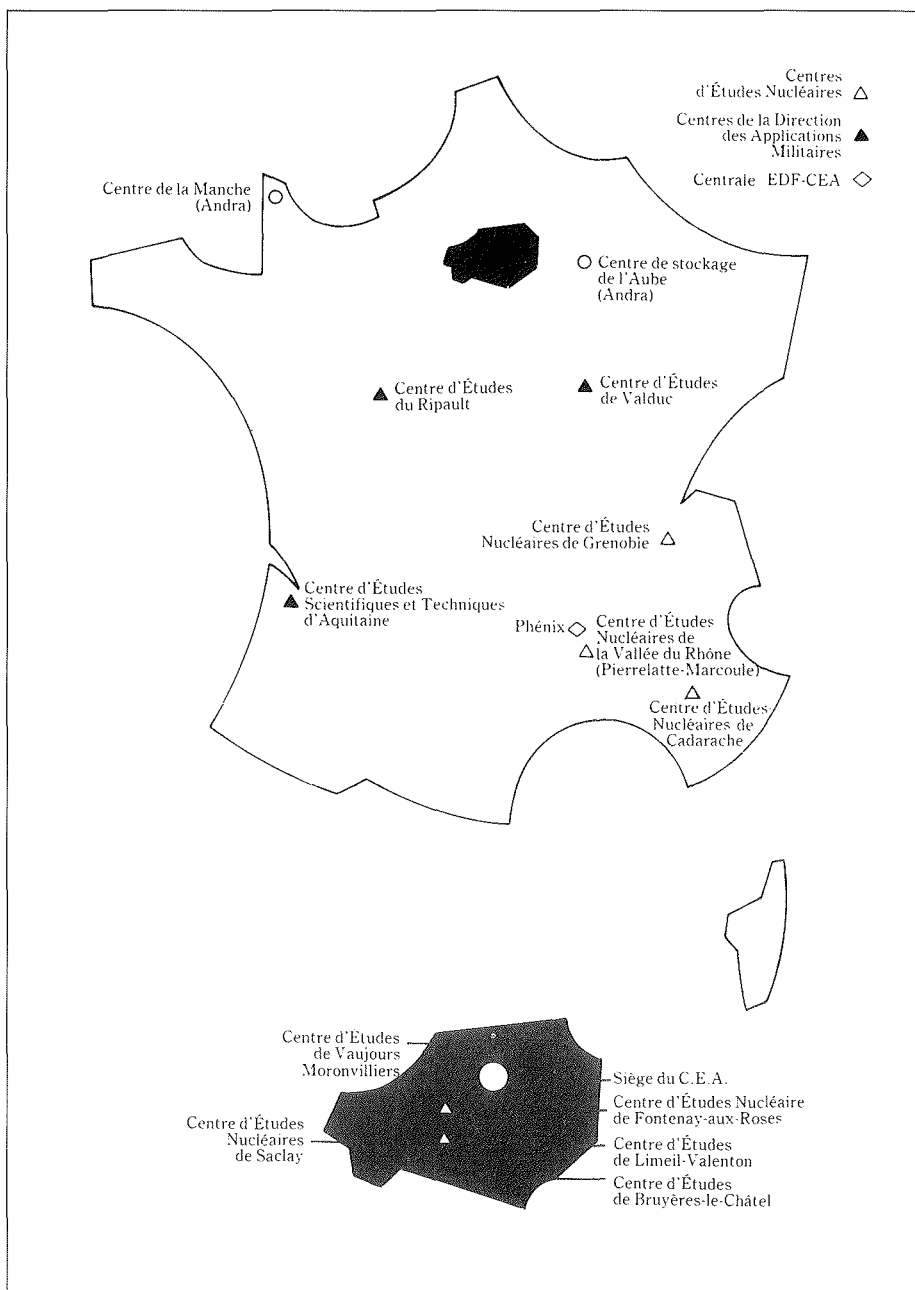
Ranskan ydinvoimatekniikan tutkimuksesta suurin osa tehdään CEA:n (Commissariat à l'Énergie Atomique) toimesta. Jonkin verran toimintaa on myös EDF:n (Electricité de France, valtiollinen voimayhtiö), Framatomen ja yliopistojen ja insinööriskoulujen organisoimana. CEA on valtion omistama tutkimukseen ja tuotekehitykseen keskittynyt yhtiö. Sillä on toimipaikkoja ympäri Ranskaa. Suurimmat keskuksat ovat Cadarachessa, Saclayssa ja Grenoblessa. Tutkimusalueena on kaikki mahdolliset vähänkin ydinvoimaan liittyvät asiat aina kasvien biologiaa ja materiaalien fysiikkaa myöten. Viime aikoina puolijohdetekniikka on noussut yhdeksi tärkeimmistä tutkimusalueista. Myös ydinvoiman sotilaallinen tutkimus tehdään täysin CEA:n voimin ja vähän yllättäen siitä myös mainitaan avoimesti kaikissa esitteissä ja tiedotteissa.

CEA:n politiikka on ollut tehdä kaikista mahdollisista tuotteista kaupallinen sovelletus. Tämä onkin omalta osaltaan johtanut siihen, että pääyhtiön ympärille on muodostunut laaja yhtiöryppäs. Yhtiöt, joissa CEA on osakkaana edustavat hyvin laajaa sektoria ydinpolttoainekierrosta aina tietotekniikkaan asti.

Ydintutkimuskeskus Grenoblessa

Grenoblessa sijaitsevassa keskuksessa (CENG, Centre d'Études Nucléaires de Grenoble) on töissä noin 2500 henkeä. Tutkimusta tehdään muun muassa tutkimusreaktoreiden ympärillä, materiaalfysiikassa ja termohydrauliikassa.

Itse työskentelin osastolla, jossa tehdään painevesireaktoreiden termohydrauliikkaan liittyvää tutkimusta. Siihen kuuluu neljä laboratoriota, joista kolmessa tehdään kokeellista tutkimusta ja yhdessä



CEA:n tutkimuskeskusten sijainti Ranskassa.

kehitetään CATHARE-tietokoneohjelmaa. Kokeellinen toiminta on jaettu siten, että perustutkimus, BETHSY-laitteistolla tehtävät kokeet ja muut termohydrauliset kokeet tapahtuvat omissa yksiköissä. Lisäksi osastoon kuuluu pieni ryhmä, joka tutkii rakettipolttoaineen (nestemäistä happea ja vetyä) käyttäytymistä.

Perustutkimus on keskittynyt kaksifaasivirtauksen tutkimiseen. Kokeissa käytetään yleensä ilma-vesi-seosta. Alkuvuodesta -90 siellä oli käynnissä muun muassa projektit, joissa kehitetään faasisen pintalan mittaustekniikkaa ja tutkitaan eri virtausmuotojen vaikutusta kriittiseen virtaukseen. Pääosa tutkimuksesta tehdään väitöskirjatöinä.

CATHARE-ohjelman kehitysryhmä on kooltaan noin 25—30 henkeä, joista ulkolaisia 5—8. Varsinaiseen ohjelman kehitystyöhön osallistuu kymmenisen henkeä loppujen tehdessä kelpoistuslaskuja, mihin myös ulkomaalaiset osallistuvat.

CATHARE-ohjelman nykytila

CATHARE-ohjelman kehitystyö aloitettiin vuonna 1979. Ensimmäinen versio julkaistiin -82 nimellä CATHARE1 V0. Tästä ohjelmasta julkaistiin viimeinen versio -87. Samaan aikaan aloitettiin CATHARE2:n kehittäminen. Olennainen ero näillä ohjelmilla on, että CATHARE2:lla voidaan toisiopiiri kuvata käyttäen samoja komponentteja kuin ensiöpiirikin.

CATHARE-ohjelman käyttäjäklubiin kuuluu seitsemän maata, Ranska, Japani, Italia, Kiina, Taiwan, Etelä-Korea ja Suomi. Ensi kesänä mukaan tulevat Neuvostoliitto, Unkari ja Espanja. Klubi koontuu kolme kertaa vuodessa, jolloin kaikki osallistujat kertovat tekemistään laskuista ja mahdollisista ongelmistaan. Ja tietenkin ohjelman kehittäjät kertovat tulevaisuuden näkymistä.

Suomessa CATHARE:n käyttäjiä ovat Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu (LTKK) ja VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorio. Ohjelma tullaan asentamaan VTKK:n CRAY-supertietokoneeseen ja LTKK:n VAX-tietokoneeseen. Asennettava versio on CATHARE2 V1.2 REV 5. Ohjelmaa saadaan käyttää ainoastaan akateemisiin tutkimuksiin sekä suomalais-ten voimalaitosten turvallisuuslaskuihin.

Omia kokemuksia

Aloitin työskentelyn Grenoblessa maaliskuussa -89. Alkuvaiheessa työni sisälsi kolme kuukauden pituisen opetteluajakson, jonka jälkeen laskin vesilukkokokeita (ECTHOR- ja IVO Loop Seal-laitteistoilla). Näiden laskujen tuloksista



Vuorikiipeilyä suomalaisittain Grenoblessa.

kirjoitin artikkelin johonkin kansainväliseen lehteen lähetettäväksi. Saamani tulokset vastasivat koetuloksia hyvin ja varsinkin verrattuna RELAP5/MOD2-ohjelmalla laskettuihin tuloksiin ne olivat erinomaisia. Viimeiset kuusi kuukautta painiskelin VVER-höyrysttimien ja PACTEL-laitteiston mallintamisen parissa. Työn tuloksena CATHARE-ohjelmalla pystytään laskemaan myös vaakasuoria höyrystimiä.

Ammatillisesti työskentely CATHARE-ryhmän kaltaisessa aktiivisessa tutkimusryhmässä oli todella antoisaa. Sain paljon ensi käden tietoa ohjelman rakenteesta ja sisällöstä, joka varmasti helpottaa CATHARE-ohjelman ja myös muiden ohjelmien käyttöä jatkossa. Otin osaa myös CATHARE-ohjelman fysikaalisia malleja käsittelevään luentosarjaan, jossa

esiteltiin perusasioiden lisäksi korrelaatioiden laatimisen periaatteita ja kuinka niitä muutellaan koetuloksia paremmin vastaaviksi.

Ulkomaisten kontaktien luominen oli helppoa, koska jo samassa ryhmässä työskenteli seitsemää eri kansallisuutta edustavia tutkijoita. CATHARE-ohjelman käyttäjäklubin kokoukset olivat myös hyviä tilaisuuksia tutustua uusiin ihmisiin. Käymissäni keskusteluissa tuli esille jatko-opiskeluista kiinnostuneille huomion arvoinen seikka, että muun muassa ISPRA:n ja CENG:hen on suomalaisillakin mahdollista päästä tekemään väitöskirjaa.

Asuinpaikkana Grenoble on erittäin miellyttävä, jos sattuu pitämään vuoristosta ja ulkoilusta. Itse kaupunki ei ole mitenkään ihmeellinen, se on muuten yksi Ranskan saastuneimmista kaupungeista. Mutta lähivuoristo tarjoaa ihanteelliset mahdollisuudet mitä moninaisimpiin harrastuksiin, kuten vuorikiipeilyyn, pyöräilyyn teillä ja maastossa, vaeltamiseen, riippuliiton, hiihtämiseen (jos vain olisi lunta), ja tietenkin lasketteluun. Uutena lajina on kovaa vauhtia tulossa hyppäminen kuminauhan varassa joltain korkealta sillalta.

Kaiken kaikkiaan työskentely Grenoblessa oli upea kokemus niin ammatillisesti kuin myös henkisesti. Suosittelen lämpimästi kaikille varsinkin nuorille tutkijoille hakeutumista ulkomaille saamaan oppia ja kokemusta. □

TkL Timo Haapalehto on LTKK:n energiatekniikan osaston laboratorio-insinööri, p. 953-571 2725.



Yleisnäkymä Grenoblen ydintutkimuskeskuksesta.

ENS:n seminaari "Women and Nuclear Energy"



*Naiset osallistuvat merkittävä-
lä panoksella ydinenergian rau-
hanomaiseen käyttöön. Tämän
pitäisi näkyä myös julkisuudes-
sa. ENS:n Informaatiokomitea
järjesti 26.—27.1.1990 semi-
naarin aiheesta "Women and
Nuclear Energy". Seminaari
pidettiin Asconassa, Sveitsissä.
Seminaarin osallistujat ja In-
formaatiokomitean jäsenet
pohtivat yhdessä, kuinka ydin-
tekniikan eri aloilla työskente-
levät naiset ENS:n jäsenmaissa
voisivat osallistua ydinvoimaa
koskevaan tiedottamiseen. Nai-
silla on yleensä negatiivisempi
asenne ydinvoimaan kuin mie-
hillä. Seminaarissa oli tarkoi-
tus etsiä keinoja ja kanavia
naisten mielenkiinnon herättä-
miseksi energia-asioihin, samal-
la kun energia-alan naiset voi-
sivat itse toimia luontevasti tie-
dottajina.*

Seminaarin puheenjohtajana toimi säteilyuojelupäällikkö Agneta Rising Ruotsista. Taustaselvityksen aiheesta oli laatinut tri Irene Aegerter Sveitsistä. Tilaisuuden avasi Informaatiokomitean puheenjohtaja Juhani Santaholma ja ENS:n tervehdyksen kokoukselle esitti ENS:n pääsihteer Peter Feuz.

Kutsu seminaariin oli välitetty kunkin maan kansallisen atomiteknillisen seuran kautta. Asconaan oli kerääntynyt yhteensä 20 osallistujaa seuraavista Euroopan maista: yksi Englannista, Sveitsistä sekä Hollannista, kaksi Saksan Liittotasaval-
lasta ja Suomesta olivat mukana Lena Hansson VTT:sta ja Käthe Sarparanta TVO:sta. Suurin osa naisista oli ammatil-
taan lakimiehiä, jotka edustivat Ranskan kansallisia ydinenergia-alan yhtiöitä lähinnä uraanikaupan ja ydinmateriaalien kuljetuksen alalta. Lisäksi oli voimalai-
tosten käyttöinsinöörejä ja säteilyuojeluvälvojiä, eri instituuttien tutkijoita sekä polttoaine- ja komponenttivalmistajien laadunvalvontahenkilöitä.

Seminaarin alustivat sveitsiläinen Irene Aegerter Verband Schweizerischer Elektrizitätswerkestä ja ruotsalainen Agneta

Rising Vattenfallista. Molemmissa maissa on jo parin vuoden ajan tehty organisoidusti energia-alan tiedotustyötä joka kohdistuu erityisesti naisiin. Sveitsissä on perustettu yhdistys "Frauen für Energie" (FFF), jonka jäsenmäärä on noin 500. FFF:ssä toimii aktiivisesti naispoliitikkoja ja -insinöörejä sekä muutama pr-henkilö. Tiedotustoiminta kattaa kaikki Sveitsin energiatuotantoalat. Yleisötilaisuuksien lisäksi eri kansalaisryhmille laaditaan A4-kokoisia tietoisuuksia energiatuotannon eri aiheista. Erityistä huomiota kiinnitetään tekstin selkeyteen ja yksinkertaisuuteen sekä käytetään esimerkkejä turvajärjestelmistä muunkin kuin ydinenergiatuotannon alalta.

Agneta Rising selvitti Vattenfallin vuonna 1987 alkuunpaneman projektin "Kvinnor och energi" tarkoituksena. Samoin kuin sveitsiläisessä projektissa, Ruotsissakin tiedotuksen päähuomio kiinnitetään energialähteiden taloudellisiin ja ympäristöllisiin vaikutuksiin. Projekti on organisoitu siten, että se jakautuu kymmeneen paikalliseen työryhmään, jotka järjestävät seminaareja, opintokäyntejä, näyttelyitä ja keskusteluja. Tiedotuksessa pyritään yhdistämään kolme eri osa-aluetta: tekni-
set, taloudelliset ja emotionaaliset näkökohdat. Lisäksi painotetaan naisten osuutta Ruotsin energiatarkeuksia koskevassa päätöksenteossa.

Alustusten jälkeen järjestettiin aivoriihi, jossa pohdittiin tämänkaltaisten tiedotusohjelmien tarpeellisuutta muissa ENS:n jäsenmaissa. Myös muun tiedotustoiminnan tarpeellisuutta kartoitettiin käsittelemällä mm. seuraavanlaisia kysymyksiä: mitä aukkoja nykyisessä tiedottamisessa on, kuinka saada tiedoksi se, että ydinvoima-alalla toimii tavallisia ihmisiä, onko mahdollista välttää manipuloinnin sävy tiedotuksessa, onko tiedotuksessa erityisiä kansallisia tarpeita, mitä kanavia erityisesti naisten tavoittamiseksi voisi käyttää jne.

Ryhmätyön tuloksista ei ollut aikaa laatia yhteenvetoa paikan päällä, mutta se toimitetaan osallistujille myöhemmin. Lyhyesti voisi todeta, että kaikkia ENS:n jäsenmaita koskevan yhteisen tiedotusohjelman organisoiminen ei tuntunut mahdolliselta. Tilanne ydinenergian kannalta eri maissa on hyvinkin toisistaan poikkeava. Seuraavaa esitetään kuitenkin joi-
tain esille tulleita, välittömästi toteutettavissa olevia toimenpide-ehdotuksia:

— perustaa NucNet for women (Nuclear Network on yksi ENS:n projekteista)

- laatia lyhyitä tietoisuuksia energiatuotannon aiheista
- laatia juttuja naistenlehtiin ydinenergia-alalla työskentelevistä kansasisarista
- keskustella lehdissä säteilystä ja sen geneettisistä vaikutuksista
- kartoittaa ja keskustella naisten yleisimmistä ydinenergiaan liittyvistä pelonaiheista
- lisätä sanomalehdistön asiantuntemusta ydinenergiasta
- lisätä peruskoulun opettajien tietoutta ydinenergiasta; heidän usein negatiivinen asenne heijastuu oppilaisiin
- kohdistaa tiedotuskampanjoita naisjärjestöille (Rotary, Zonta, Lions, ym.).

Suomalaisosallistujien mielestä erillisen, vain naisiin kohdistuvan tiedotusorganisaation luominen Suomessa ei tunnu houkuttelevalta. Sveitsissä kansanäänestysperinne ja Ruotsissa tulevaisuuden energiatuotantoa koskevat ratkaisut selittävät voimakkaan, erityisesti potentiaalisiiin naisäänestäjiin kohdistuvan kampanjoinnin.

Suomessa ydintekniikan alalla työskentelevien naisten aktivoiminen tiedotustoimintaan kävisi luontevasti ATS:n toiminnan puitteissa. Näinhän on jo itse asiassa käynytkin, sillä kymmenen "alan naista" ja ATS:n jäsentä otti osaa 19.—22.4.1990 Suomen Naisjärjestöjen Keskusliiton järjestämään tapahtumaan "On ilo olla nainen". Energiataloudellinen yhdistys ETY oli laatinut tapahtumaa varten energia-aiheisen multivisio-ohjelman. ATS:n naisjäsenet toimivat esityksessä koneenkäyttäjinä ja jakoivat samalla energia-alan tietoutta kävijöille. Tapahtuman jälkeen kartoitetaan kävijöiltä saatua palautetta ja pohditaan jatkotoimenpiteitä.

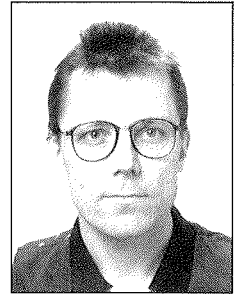
Kansainvälisellä tasolla toiminta jatkuu siten, että jäsenseuroissa analysoidaan kussakin maassa tarvittavat toimet. "Women and Nuclear Energy"-seminaariin osallistuneet kutsutaan myös seuraavaan ENS PIME '91 (Public Information Materials Exchange) kokoukseen, joka pidetään tammikuussa 1991 Annmeyer'ssä Ranskassa. Siellä selvitetään vuoden aikana saavutettuja tuloksia ja suunnitellaan tulevia toimia erityisesti "Women and Nuclear Energy"-istunnossa. □

DI Leena Hansson on VTT:n metallilaboratorion erikoistutkija, p. 90-4356 6860.
Ins. Käthe Sarparanta on TVO:n polttoaineinsinööri, p. 938-381 5509.

Jorma Aurela, Jussi Palmu

Sihteerin sana —

Laajaa pohjoismaista yhteistyötä suomalaisten johdolla



Leikkimielisesti voisimme nimetä ydinvoiman pohjoismaiksi sijainnin perusteella Kanadan, Ruotsin, Suomen ja Neuvostoliiton. On ehkä selvää, että jo fyysinen etäisyys karsii Kanadan hieman erilleen näistä neljästä. Muistaa tosin sopia, että ensimmäisessä ydinvoimakilpailussa Suomessa myös kanadalainen vaihtoehto oli mukana. Jäljelle jäävät kolme muodostavatkin sitten ryp-pään, jossa mukavasti keskimäisenä on Suomi.

Niinpä ATS on lähtenyt viimeisen vuoden aikana ennakkoluulottomasti kehittämään yhteistyötä Föreningen Kärnteknikin (FK) ja USSR Nuclear Society (USSR NS) kanssa. Edetty on molemmilla rintamilla ja pienenä taka-ajatuksena on ollut saattaa yhteistyökumppanit myös vilkkaampaan keskinäiseen yhteistyöhön. Näin onkin tapahtunut, sillä on todennäköistä, että ensi syksyn Neuvostoliiton ekskursiolla on mukana myös edustus FK:sta.

Motivaatio yhteistyölle on selvä. ”Ydinvoimayhteisö” voi hyvin vain silloin, kun sen kaikki — ja varsinkin heikot lenkit, joita saattaa löytyä kaikkialta — voivat hyvin. Täten kansainvälistä yhteistyötä voi pitää selviönä. Ja kun vielä ajattelee käynnissä olevaa kilpailua mahdollisesta viidennestä tehoreaktorista, ei liene ihme, että naapurimme ovat erityisen mielenkiinnon kohteena.

Itänaapurin sisarseuran kanssa sovittiin tulevan yhteistyön raameista helmikuussa Moskovassa käydyissä neuvotteluissa. Tämän mukaisesti seuraavien vuosien aikana on ohjelmassa useita yhteisiä hankkeita.

Neuvostoliittoon tehdään ekskursio ensi lokakuussa. Tämän lehden ilmestyessä ilmoittautuminen on jo käynnissä. Matkaohjelma on vaativa, mutta USSR NS on luvannut huolehtia järjestelyistä. Matkaa tehdään omalla bussilla, ja mukaan otetaan NL:n puolelta venäläisiä isäntiä.

Yhteistyötä on lähdetty toteuttamaan välittömästi. Huhtikuussa kävi Suomessa USSR NS:n ”välittämänä” esitelmöimässä NL:n terveysministeriöstä professori



Ruotsalaiset Loviisassa 4.5.90. ATS:n isäntinä toimivat Rainer Salomaa, Leif Blomqvist ja Jorma Aurela. IVO:n edustajana Björn Wahlström. Ruotsalaiset vieraat olivat erittäin tyytyväisiä matkaansa.



Neuvottelut käynnissä Kurchatov-instituutissa helmikuussa. Vasemmalta ATS:n puheenjohtaja Ilkka Mikkola, silloinen sihteeri Jorma Aurela ja USSR NS:n pääsihteeri, professori Andrei Gagarinski.

Agneta Rising:

ÖSTRA NYLANDS TIDNING

Ja-Tack, till kärnkraft "Avfallet är inget problem"

LOVISA. — Det är överhuvudtaget onödigt att tala om avfallet då man diskuterar kärnkraft. Avfallet är det absolut minsta problemet. — Det som fordrar stort tekniskt kunnande, och är mycket mera riskfyllt, är processen i ett kärnkraftverk under användning.

— Om man bad att få placera högradioaktivt avfall utanför min och mina barns ytterdörr, skulle jag tacka ja. Radionukliderna är stabila, och rör självmant inte på sig i nämnvärd grad, då de lagras. Riskerna då ämnena lagras är s.g.s. obefintliga.

Så här säger Agneta Rising, hälsofysicist och specialist i säkerhetsfaktorer runt radioaktiv strålning. Hon är anställd vid Ringhals kärnkraftverk i Sverige. Hon gästade kärnkraftverket i Lovisa senaste fredag tillsammans med *Föreningen Kärnteknik*, som består av svenska kärnteknikexperter.

Agneta Rising har många jäms i elden. Hon berättar att hon tidigare satt bakom sitt skrivbord på Ringhals, men att det efter katastrofen i Tjernobyli, blev vanligt att folk ställde de mest olika frågor om kärnkraft och strålning. Hon höll föredrag och informationsmöten i ämnet, och till slut blev det ett heldagsjobb att resa runt och informera. Hon blev också lärare för personalen på kärnkraftverket, och höll kurser om kärnkraftens farlighet, D.v.s. doser, risker, riskjämförelser.

Agneta är medlem i projektet "Kvinnor och Energi". Sveriges största energibolag, Vattenfall, finansierar projektet. Vattenfall står för 50% av energiproduktionen i Sverige. Hälften av energin erhålls med vattenkraft, den andra hälften med kärnkraft. In-



Radiofysiolog Agneta Rising.

dustrin använder 37% av den totala energin. Resten används av hushållen. — Kvinnorna står därför i nyckelposition då det gäller privathushållens energianvändning. Regeringens energiprogram strävar till att stegvis utveckla kärnkraften. Det är osäkert hur

Sverige skall erhålla sin energi i framtiden. Nu frågar man också kvinnorna vad de tycker, berättar Agneta Rising.

A Forts. sid. 2

Kult.hist.pärla i S-fors

Upplystheten

PÅ TISDAG OCH

HK:s Camping 1090

ENS:n tiedotustoiminnassa aktiivisesti mukana oleva Vattenfallin Agneta Rising antoi FK:n Loviisan vierailun yhteydessä haastattelun, joka julkaistiin loviisalaislehden etusivulla.

Kniznikov. Hän on erikoistunut Tshernobylin onnettomuuden seurausten lieventämiseen. Täällä Kniznikov sai hyvän vastaanoton myös suomalaisen median taholta.

Ruotsin seuran kanssa pohjustettiin yhteistyön tiivistämistä Tukholmassa viime marraskuussa (ks. ATS Ydintekniikka 4/89). Nyt toukokuussa ruotsalaisjoukkue Lennart Devellin vetämänä sitten vieraili Suomessa. He tutustuivat VTT:n metallilaboratorioon ja Loviisan voimalaitokseen sekä katselivat nähtävyyksiä Helsingissä, Porvoossa, Loviisassa ja Vantaalla (tiedekeskus Heureka). Lisäksi ABB Atomin Arto Hamberg piti esitelmän Ruotsin ydinvoimatilanteesta seuramme kokouksessa, jossa Juhani Santaholma luotasi Suomen tilanteen.

FK esitti käyntinsä aikana vierailukutsun; ATS voi lähettää ensi keväänä delegaationsa tutustumaan mm. Forsmarkin laitoksiin ja voimalaitosjätteiden loppusijoitustilaan sekä polttoainetehtäseen (ohjelma on vielä avoin). Näin voimme liittää "keskipitkän" ekskursion jälleen ohjelmaamme.

Alallamme korostuu maailman pienenus. Jos ydinvoimaloissa melkein missä tahansa sattuu jotain — yleensähan raportoivat tapahtumat ovat negatiivisia — näkyy se välittömästi myös muissa maissa. Tämän vuoksi on erittäin tärkeää, että opimme muiden maiden kokemuksista. Ja tällöin erityisesti niiden maiden asioista, jotka ovat meitä lähellä. Tämän vuoksi ATS:n tekemä työ täällä Pohjois-Euroopassa kannattaa varmasti. □

DI Jorma Aurela on Loviisan voimalaitoksen turvallisuusinsinööri, p. 915-550 576.

DI Jussi Palmu on IVO:n ympäristönsuojeluosaston projektipäällikkö ja ATS:n sihteeri, p. 90-508 4562.

Ytimekkäät

YDINJÄTEHUOLTORAHASTON TILINPÄÄTÖS VAHVISTETTU

Suomen uuden ydinenergialainsäädännön tullessa voimaan 1.3.1988 perustettiin kauppa- ja teollisuusministeriön alaisuuteen erillinen Valtion ydinjätehuoltora-
hasto. Sen tehtävänä on kerätä, säilyttää ja turvaavasti sijoittaa ne varat, jotka tulevaisuudessa tarvitaan ydinjätteistä huo-
lehtimiseksi.

Rahaston pääoma muodostuu ydinjäte-
huoltomaksuista ja rahaston voitosta, jo-
ka saadaan, kun rahaston sijoitustuotois-
ta vähennetään sen hallintokustannukset.
Ydinjätehuoltomaksuja ovat velvollisia
suorittamaan ne, joiden toiminnasta ai-
heutuu ydinjätteitä eli nykyisin Imatran
Voima Oy (IVO), Teollisuuden Voima
Oy (TVO) ja Valtion teknillinen tutki-
muskeskus (VTT), jonka käytössä on
FiR-1 -tutkimusreaktori. Näillä ns. jäte-
huoltovelvollisilla on halutessaan oikeus
lainata turvaavaa vakuutta vastaan enin-
tään 75 % siitä osuudesta, joka niillä
kulloinkin lasketaan rahastossa olevan
(rahasto-osuus). Valtiolla on oikeus laina-
ta samalla korolla se määrä, mikä jää
näin sijoittamatta.

Rahaston tilinpäätöksen osoittama voitto
lisätään jätehuoltovelvollisten rahasto-
osuuksiin siinä suhteessa kuin kunkin va-
roja on kalenterivuoden aikana ollut ra-
haston käytössä. Kauppa- ja teollisuusmi-
nisteriön 26.1.1990 vahvistaman vuoden
1989 tilinpäätöksen mukaan rahaston ta-
seen loppusumma 31.12.1989 oli runsaat
2059 miljoonaa markkaa. Tilivuoden
voitto oli hieman yli 180 miljoonaa
markkaa. Rahasto-osuudet ja vuoden
1990 rahastotavoitteet ovat (miljoonaa
markkaa).

Jätehuolto- velvollinen	Rahasto- osuus	Rahastotavoite 1990
IVO	432,5	498,6
TVO	1 621,9	1 752,4
VTT	5,3	16,0

Ydinjätehuoltoon varautuminen tuotettua
energiayksikköä kohti vuonna 1990 mak-
saa IVO:lle noin 0,7 p/kWh ja TVO:lle
noin 1,71 p/kWh.

YDINVASTUULAKI ASTUI VOIMAAN

Vuoden 1990 alusta lukien astui voimaan
atomivastuulain muutos, jolloin myös
lain nimi muutettiin ydinvastuulaiksi.

Dear Sirs,

This year we plan to issue the collected volume "NUCLEAR SCIENCE AND
ENGINEERING PROBLEMS" which is periodically published where the nuclear
engineering and technology problems will be covered, including:

- operating experience and nuclear reactor design problems;
- engineering problems in nuclear power plant safety;
- design and experimental investigations of severe accidents;
- methods and programs for numerical solution of mathematical physics problems;
- probabilistic safety analysis and NPP risk assessment;
- problems in development of improved safety reactors.

The collected volume is intended for engineers and technicians taking part in de-
velopment and operation of nuclear reactors.

We hope that the materials published in this volume will promote the exchange of
experience between the specialists that operate in this field.

If you are interested in buying such volumes you should inform us about it and point
out the number of copies you need by the address:

RESEARCH AND DEVELOPMENT INSTITUTE OF POWER ENGINEERING,
P.O.B.788, Moscow, USSR, 101000.

The collected volume's guiding price is 20 \$.

Request to transfer money to the current balance account N 67087318 of the USSR
Vnesheconombank (Moscow, Pushkinskaya Street, 4/2).

Information Department

TO: RESEARCH AND DEVELOPMENT INSTITUTE
OF POWER ENGINEERING, P.O.B.788,
Moscow, USSR, 101000

Date:

Title: NUCLEAR SCIENCE AND ENGINEERING PROBLEMS

Please send me copy/copies of the above title.

Payment of is enclosed.

NAME:

ADDRESS:

CITY: POSTAL CODE: COUNTRY:

Merkittävin muutos on vastuumäärien
korottaminen moninkertaisiksi aikaisem-
paan verrattuna. Sisällön osalta tehtiin li-
säksi joitakin teknisiä muutoksia.

Laitoksenhaltijan vastuumäärä nostettiin
100 miljoonaa erityisnosto-oikeuteen,
mikä vastaa noin 600 miljoonaa markkaa
ollen noin 13,5-kertainen aikaisempaan
verrattuna.

Valtion vastuumäärä tullaan lähitulevai-
suudessa nostamaan 175 miljoonaa

erityisnosto-oikeuteen eli 2,5-kertaiseksi.
Kolmannen vaiheen eli ns. Brysselin kor-
vausyhteisön vastuun enimmäismäärä
nostetaan samassa yhteydessä 300 miljoo-
naan erityisnosto-oikeuteen.

Erityisnosto-oikeus on kansainvälisen mak-
sujärjestelmän mukainen maksuyksikkö,
jonka arvo tällä hetkellä on noin 5,7 mk.

Tiedustelut: Hallitusneuvos Yrjö Sahra-
korpi, puh. (90) 160 5227.

TVO:N KOULUTUSKESKUS VIHITTIIN

Teollisuuden Voima Oy:n koulutuskeskuksen vihki maaliskuussa käyttöön säteilyturvakeskuksen pääjohtaja Antti Vuorinen simuloimalla uudella koulutus-simulaattorilla laitosyksikön tahdistamisen sähköverkkoon. Simulaattori on Olkiluodon laitosyksiköiden valvomoiden täysimittakaavainen, identtinen malli. Koulutuskeskuksen merkittävin osa on käyttöhenkilökunnan koulutussimulaattori, jonka on toimittanut yhdysvaltalainen Link Miles Simulation Corporation -yhtiö. Simulaattorin valvomolaitteiston on valmistanut ABB Strömberg Suomessa.

TVO:n oman henkilökunnan osuus simulaattoriprojektissa oli merkittävä. Yhtiön asiantuntijaryhmä työskenteli puolentoista vuoden ajan valmistajan luona Yhdysvalloissa, ja laitteiston lopputestaukseen osallistui kouluttajista ja vuorohenkilökunnasta muodostettu testausryhmä.

Koulutuskeskuksen kustannukset olivat kaikkiaan noin 75 Mmk, josta simulaattorilaitteiston ja ohjelmiston osuus on yli puolet. Viime vuosina yhtiössä on ollut koulutuspäiviä keskimäärin kahdeksan henkilöä kohti. Luku on kaksinkertainen Suomen teollisuuden keskiarvoon verrattuna. Henkilöä kohti laskettu keskimääräinen vuotuinen koulutuskustannus on noin 20 000 markkaa, mikä on viisinkertainen määrä verrattuna maamme teollisuuteen keskimäärin.

Osmo Kaipainen

TsHERNOBYL-EXPERTTI ATS:N VIERAANA

Tshernobylin onnettomuudesta on kulu-
nut neljä vuotta. Suurimmat onnetto-
muuden haitat ovat ihmisten mielissä ole-
vat pelot. ATS kutsui Suomeen esitelmä-
kiertueelle Neuvostoliiton terveysministe-
riön biofysiikan laboratorion säteilysuoje-
lukomission jäsenen Viktor Knizhnikovin
kertomaan onnettomuuden päästöjen ter-
veysvaikutuksista. Professori Knizhnikov
piti Suomessa luennot Helsingin ja Tam-
peren yliopistoissa sekä Åbo Akademis-
sa. Luentoja seurasi noin 200 asiasta
kiinnostunutta. Esitelmien pääviesti oli
se, että Tshernobyl sinänsä oli erittäin
vakava teollisuusonnettomuus, mutta sen
vaikutuksia on yliarvioitu.

Knizhnikovin mukaan vääristyneet käsi-
tykset ja olemassa olevan vaaran liioittelu
ovat juurtuneet ihmisiin, mikä johtui vi-
ranomaisten ja lääkäreiden tiedon salai-
lusta neljä vuotta sitten. "Väestö ei usko
objektiivisiin ja rauhoittaviin tietoihin,
vaan sensaatiomaisiin ja pelotteleviin uu-
tisiin. Tapahtuu myös sitä, että paikalliset
lääkärit panevat kaikki sairaudet säteily-
n syyksi."

MITÄ OVAT EY JA EURATOM?

Euroopan Yhteisö(t), EY (European Community, EC) on kolmen eurooppalaisen talousjärjestön (ECSC, EEC ja EURATOM) yhteinen organisaatio.

European Coal and Steel Community, ECSC perustettiin vuonna 1952 Ranskan aloitteesta yhteisen tuotanto- ja hintapolitiikan luomiseksi hiili- ja teräsalalla Länsi-Euroopassa. European Economic Community, EEC (Euroopan talousyhteisö) perustettiin vuonna 1958 edesauttamaan Euroopan taloudellista yhdentymistä. European Atomic Energy Community, EURATOM perustettiin myös vuonna 1958 edistämään ydinenergian rauhanomaista hyväksikäyttöä.

Vuonna 1967 voimaan astunut sopimus yhdisti järjestöjen päätöksentekoaikimet yhdeksi komissioksi ja neuvostoksi, EY syntyi. Nykyään jäsenmaita on 12: Belgia, Espanja, Hollanti, Irlanti, Iso-Britannia, Italia, Kreikka, Luxemburg, Portugali, Ranska, Saksan liittotasavalta ja Tanska.

EURATOM on suoraan EY:n alainen ja sen käyttö- ja tutkimusbudjetin suuruudesta päättää EY:n ministerineuvosto. Tutkimus- ja koulutusohjelmat rahoittaa EY. EURATOM:n jäseninä ovat kaikki EY-maat. Sen keskeiset tehtävät ovat:

- 1 Luoda edellytykset ydinenergiateollisuuden muodostumiselle ja kasvulle jäsenmaissa
- 2 Jäsenmaiden voimantuotantokapasiteetin ja niiden asukkaiden hyvinvoinnin nostaminen
- 3 Muiden maiden kanssa käytävän vaihdon lisääminen
- 4 Ydintutkimuksen kehittäminen
- 5 Turvallisuusstandardien luominen
- 6 Alan investointien helpottaminen
- 7 Ydinvoiman tuotannon kehitykselle tarpeellisten laitteiden kehittämisen kannustaminen
- 8 Erikoisvälineiden, -teknologian ja -materiaalien suurimittakaavaisen myynnin ja saatavuuden varmistaminen yhteismarkkinoiden alueella
- 9 Ydinalan investointiin tarvittavien varojen vapaan kierron ja asiantuntijoiden vapaan liikkumisen varmistaminen

Keskeisimmin tutkimus kuului alussa EURATOM:n piiriin. Sen tutkimuspolitiikkaa luotaessa päämääränä oli oma keskitetty tutkimustoiminta ydinvoiman rauhanomaisessa hyödyntämisessä. Tässä tarkoituksessa perustettiin myös oma tutkimuslaitos Joint Research Centre (JRC), jolla on toimintoja Isprassa (Italia), Karlsruheessa (SLT), Geelissä (Belgia) ja Pettenissa (Hollanti). JRC:n keskushallinto on Brysselissä. Edelleenkin EURATOM ylläpitää ja koordinoi tutkimusta näissä keskuksissa sekä toteuttaa EY:n ydinenergia-alan tutkimusohjelmat.



Professori Viktor Knizhnikovin mukaan Tshernobylin läheisyydessä tarvittaisiin vielä lisää evakuoiteja.

Heti onnettomuuden jälkeen evakuoitiin 116 000 ihmistä 186 asuinalueelta noin 30 kilometrin säteellä ydinvoimalasta. Evakuoitujen määrä on sittemmin noussut noin 160 000:een. Terveysriskien vuoksi vielä 80 000:n tulisi muuttaa ravinnon vuoksi puhtaille alueille.

"Kaikkialla laskeuma-alueella on rekisteröity miltei kaikkien sairauksien lisääntymistä." Sairastelun moninkertaistuminen ei kuitenkaan ole yhtä kuin sairastuvuuden lisääntyminen. Lääketieteellisen tehoseurannan vuoksi kaikenlaiset vaivat tulevat nyt entistä paremmin ilmi.

"Kun otetaan huomioon sosiaalisista ja psykologisista syistä evakuoitavat, jotka itse haluaisivat muuttaa myös lääketieteellisesti turvallisiksi varmistetuilta alueilta, evakuoitavien määrään on lisättävä 200 000 henkeä."

"Tarvitaan avointa informaatiota, jotta vältyttäisiin virheilä, kuten muutoilta terveydellisesti entistä huonompiin oloihin. Evakuoitavia ei tule suorittaa 'pikkutulesta suureen roihuun'."

Osmo Kaipainen

Lyhyesti maailmalta

Bulgaria pysäyttää toistaiseksi Belene 1 ja 2 VVER 1000 -yksiköiden rakentamisen. Syyksi ilmoitetaan ympäristön asukkaiden väitteet rakennuspohjan sopimattomuudesta. Seudun sähköntarve ja laitoskonseptin turvallisuus aiotaan myöskin selvittää.

Nucleonics Week, 22.2.1990

Euroopan ydinvoimanäyttämöltä poistuu jälleen kaasujäähdytteisiä veteraanireaktoreita. Iso-Britannian Hunterston A ja Ranskan Saint Laurent-A1 pysäytetään lopullisesti 1.4.1990. Saint Laurent-A1 tuli tunnetuksi sydänvaurioita aiheuttaneesta häiriöstä lokakuussa 1969. Yksiköt puretaan uvan vuosikymmenen seisotuksen jälkeen.

Nucleonics Week, 29.3.1990

IAEA:n uuden ydinturvallisuusviranomaisohjelman ensimmäinen kansallisia käytäntöjä käsittelevä kokous pidettiin joulukuussa 1989 Ruotsin, Iso-Britannian ja Neuvostoliiton kesken. Aiheina olivat mm. tarkastusmenettelyt, pakkokeinot ja tarkastajien pätevyys. Seuraava pienryhmäkokous on suunniteltu pidettäväksi DDR:n, Saksan liittotasavallan ja Alan-komaiden kesken.

IAEA Newsbriefs, tammi/helmikuu 1990

Ison-Britannian hallitus on huolestunut Sellafielldin jälleenkäsittelylaitoksen työntekijöiden lapsilla esiintyvistä leukemiasista, mutta ei tee johtopäätöksiä asiasta ennen lisätutkimuksia. Äskettäisen Southamptonin yliopiston tutkimuksen mukaan jälkeläisten leukemiariski nousi 5—8 kertaiseksi, kun isä oli saanut 0,1 sievertin kumulatiivisen säteilyannoksen. Riski oli kasvanut selvästi myös puoli vuotta ennen siirtämistä saadusta 0,01 sievertin annoksesta (Suomessa jälkimäinen raja ylittyy muutaman henkilön osalta ydinvoimalaitosten vuosihuolloissa putkistotöiden yhteydessä. Toim. huom.)

Nucleonics Week, 22.2.1990

Israel on luvannut palauttaa Norjalle 30 vuotta sitten ostamansa raskaan veden. Sitä tosin on jäljellä enää alkupe- räisestä 20 tonnista. Norja maksaa Israelille 2 miljoonaa dollaria palautuksesta. Norja vaati palautusta epäiltyään Israelin käyttävän vettä ydinaseen valmistamises- sa.

Nucleonics Week, 3.5.1990

Kanadassa on käytetty 275 miljoonaa dollaria ydinjätteen loppusijoitustutkimuksiin kymmenen vuoden aikana. Yli tuhat soveltuvaa paikkaa on löytynyt. Atomic Energy of Canada Ltd ei ole kuitenkaan saanut suurta yleisöä vakuuttu- neeksi korkeaksi-aktiivisen jätteen loppusijoituksen turvallisuudesta ja loppusijoituslaitoksen rakentamiseen päästäneen vasta ensi vuosisadalla.

Nuclear Fuel, 19.2.1990

Kandan Point Lepreau Candu - ydinvoimalaitoksella on paljastunut henkilöstöön kohdistunut sabotaasi. Puoli kahvikupillista radioaktiivista raskasta vettä oli joutunut turpiinihallin kahvihuoneen viiden gallonan juomavesijäähdytti- meen sillä seurauksella, että yksi työntekijä sai 200 mSv ja kolme muuta yli 50 mSv säteilyannoksen vettä juotuaan. Tapaus paljastui päivittäisen virtsanäyterutiinin kautta. Poliisi tutkii asiaa.

Nucleonics Week, 1.3.1990

Kanadan Point Lepreau -ydinvoimalaitoksen käyttömiestä syytetään raskaan veden laittamisesta kahvihuoneen juomavesisäiliöön. Daniel Manson, 32, pidätettiin yksitoista päivää tapauksen havaitsemisesta. Kahdeksan henkilöä ehti juoda saastunutta vettä. Mikäli Manson tuomitaan syyllisenä, on vankeusrangaistuksen pituus enintään 14 vuotta.

Nucleonics Week 15.3.1990

Neuvostoliitto on luvannut toimittaa kaksi VVER 440 -yksikköä Iranille, samoin kuin auttaa vaurioituneen Bushehr-reaktorin valmistamisessa, ilmoittaa uutistoimisto IRNA. Maiden välinen laajalainen sopimus allekirjoitettiin 6.3.1990. Iran toimittaa maakaasua Neuvostoliit- toon vastavuoroisesti.

Nucleonics Week 15.3.1990

Neuvostoliitto poistaa käytöstä kaksi vanhaa laitosyksikköä, ilmoittaa ydinvoiman ja teollisuuden turvallisuusvalvontakomitean varapuheenjohtaja Viktor Sidorenko. Belojarsk 2160 MW LWGR otettiin käyttöön vuonna 1969 ja pysäytettiin lokakuussa 1989. Novovoronesh 2336 MW VVER otettiin käyttöön vuonna 1970 ja pysäytettiin kuluvana vuonna. Yksiköiden turvallisuusparannukset tulisivat liian kalliiksi. Aiemmin on ilmoitettu Armenia 1 ja 2, Belojarsk 1 ja Novovoronesh 1 -yksiköiden käytöstäpoistosta.

Nucleonics Week, 22.3.1990

Namibian uraanivarat ovat 31.3.1990 it- senäistyneen valtion talouden tukijalka. Uraaniteollisuus tuottaa 17 % valtion tu- loista ja tarjoaa työtä 16 000 henkilölle.

Nuclear Fuel, 2.4.1990

Neuvostoliiton ydinvoima- ja teollisuus- ministeriö suunnittelee kaikkien VVER 1000 -yksiköiden höyrystymien uusintaa. Yli 40 000 tuntia käytetyt höyrystimet vaihdetaan kokonaan ja nuoremmat muutetaan vastaamaan uutta konstruktio- ta. Höyrystimissä on havaittu sekä suunnittelu- että valmistusvirheitä eivätkä ne kestäisi 30 vuoden käyttöä. Ruostu- mattomasta teräksestä olevien tuubien kiinnityskohdissa esiintyvä säröily on eräs vakavimmista ongelmista. VVER 1000 -yksiköiden energiakäyttökerroin keskiar- vo oli 69,3 % vuonna 1989.

Nucleonics Week, 19.4.1990

Neuvostoliiton ensimmäisen maanalaisen ydinvoimalaitoksen suunnitelmat valmistuvat vuonna 1994. Reaktorilaitos sijoite- taan 50—100 metrin syvyydelle kalliope- räan siilomuotoiseen tilaan. Turpiinilaitos tulee maan päälle. Kokonaislouhintatila- vuus VVER 1000 -tyypille olisi noin 340 000 m³. Myös VVER 500 ja kauko- lämpölaitos ovat mahdollisia. Reaktorisi- ilo toimisi myös loppusijoitustilana itse reaktorille sekä kertyneelle voimalaitos- jätteelle. Maanpäällisen turpiinilaitoksen yhteyteen voidaan louhia uusia reaktori- siiloja tarpeen mukaan.

Esitelmä 11.5.1990 Geologian tutkimus- keskuksessa, Melnokov, Kuolan tiedeaka- temia

Neuvostoliitto on tilannut Sveitsistä koe- laitteiston Tshernobylin onnettomuudessa kontaminoituneiden 5 ja 6 -yksiköiden rakenneterästen dekontaminointiin. Sveit- siläisten kehittämällä tetrafluoriboorihap- pomenetelmällä poistetaan teräs- tai beto- nimateriaalin pintaa 15 mikrometrin vah- vuudelta.

Nucleonics Week, 3.5.1990

Neuvostoliitossa on otettu käyttöön uusi RBMK-yksikkö ensimmäisen kerran Tshernobylin onnettomuuden jälkeen. Smolensk 3 950 MW saavutti kriittisyy- den tammikuussa 1990 ja sisaryksikkö Smolensk 4 käynnistetään vuoden loppuun mennessä.

Nuclear Engineering International, April 1990

Ranskan hallitus pysäyttää koeporaukset vuodeksi neljällä ehdolla olevalla korkeaktiivisen jätteen loppusijoituslaboratorioalueella. Aikaisän syynä on paikkakuntien väestön herääminen tilanteeseen ja huolestuminen tiedon puutteessa.

Nuclear Fuel, 19.2.1990

Ranskan monikansallinen Superphenix hyötöreaktori on ollut pysäytettyinä mahdollisen argon-kuplariskin selvittämiseksi. Superphenixin esityypillä Phenix-yksiköllä muodostui 30—50 litran argon-kupla sydänalueelle syksyllä 1989.

Nucleonics Week 8.3.1990

Romanian Cernovoda 1-6 670 MWe Candu -ydinvoimalaitoksen ensimmäinen yksikkö, jonka rakentaminen aloitettiin jo vuonna 1980, on nyt puoliksi valmis. Kakkosyksikkö on keskeneräisempi ja kolmos-, nelos- sekä viitosyksiköiden suojarakennukset on asennettu, mutta laitteistoa ei niihin ole vielä tilattu. Näillä näkymin Cernovoda 1 valmistuu vasta vuonna 1993.

Nuclear Engineering International, helmikuu 1990

Tshekkoslovakia on saanut luvan myydä länteen oman kulutuksensa yli jäävää uraania. Muutama kuukausi sitten maan suunnitelmassa oli vielä lopettaa uraanin louhinta kannattamattomana vakioasiakkaiden maksaman matalan hinnan vuoksi. Tshekkoslovakia on tehnyt uraanin markkinointisopimuksen Saksan liittotasavallan Interuranin kanssa.

Nuclear Fuel, 16.4.1990

USA:n Quad Cities 2 -yksikön reaktoripaineastian kannen sisäpuolisesta pinnoituksesta löydettyt säröt johtavat 19 General Electricin toimittaman BWR-yksikön tarkastuksiin seuraavissa vuosihuolloissa. Säröjen mahdollisina syinä pidetään hionnasta ja uudelleenpinnoituksesta aiheutuneita jännityksiä. Säröt esiintyvät ruostumattoman teräspinnoitteen matalahiili-sissä kohdissa. NRC:n mukaan säröt eivät edellytä yksiköiden välitöntä tarkastusta.

Nucleonics Week, 26.4.1990

USA:n energiaministeriö (DOE) suunnittelee vähän jäähtyneiden käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituskapseleiden käyttöä kuumentamaan Yucca-vuoren loppusijoitustilan kallioperää. Loppusijoitettujen kapseleiden korroosionopeus pieneni, koska kallio pysyisi kuivana.

Nuclear Fuel, 2.4.1990

USA:n ydinturvallisuusviranomaisen (NRC) paikallistarkastajan omakotitalo polttoon kostoksi työpaikanmenetyksestä Sequoahin ydinvoimalaitoksella Chattanoogaogassa Tennesseessä. Tuhopolttaja uhkaili tarkastajaa useilla soittoilla ja irroitti tämän autosta pyöränmutterit voimalaitoksen pysäköintialueella ennen palon syyttämistä. Voimayhtiö on luvannut palkkion syyllisen kiinnisaamiseksi.

Nucleonics Week, 26.4.1990

USA:n ydinturvallisuusviranomaisen (NRC) on ehdottanut neljälle voimayhtiölle 50 000 dollarin sakkoja. Huolintomien oli ollut Duke Power Company mm. hoitamalla huonosti fyysisiä turvajärjestelyjä. Laitokselle sisäänmenevillä ei ollut kunnollisia rintatunnuksia, vieraita saattoi kuljeskella tiloissa ilman saattajia, rikkiniäisiä ovia ja hälyttimiä ei ollut korjattu ja porteista oli samalla avainkortilla kulkenut useita henkilöitä.

Nuclear News, helmikuu 1990

USA:n ongelmallinen Turkey Point 1-4 -ydinvoimalaitos pysäytettiin yhdeksitoista kuukaudeksi kahden dieselgeneraattorin asentamiseksi ja turvajärjestelyjen parantamiseksi. Laitosyksiköt ovat 17 vuoden ajan tulleet toimeen kahdella yhteisellä dieselillä. NRC oli harkinnut laitokselle käyttökieltoa, mikäli se olisi jatkanut esiintymistään ongelmalaitoksena.

Nuclear Engineering International, helmikuu 1990

USA:n Three Mile Island 2 -onnettomuusyksikön reaktoripaineastian materiaalinäytteessä havaittu syvä halkeama on osoittautunut tarkemmissa tutkimuksissa virhetulkinnaksi. Kyseessä olikin ruostumattomasta teräksestä olevan pinnoitteen repeämä. Repeämästä on kuitenkin analysoitu vähäisiä merkkejä polttoaineen ja hiiliteräksen kontaktista.

Nucleonics Week, 1.3.1990

USA:n Vogtle 1 -yksiköllä tapahtui täydellinen sähkön menetys 20.3.1990 kuorma-auton kolhittua kytkinkentän laitteistoja. Voimalaitosalueelle julistettiin hätätila. Vogtle 1 oli tapahtuman sattua pysäytettyä vuosihuoltoon. Yksikön dieselgeneraattoreista toinen oli tällöin huollettavana ja toinen saatiin käyntiin vasta 35 minuutin kuluttua. Reaktorin jäähdytteen lämpötila ehti nousta 90°F:sta 136°F:iin. Sisaryksikkö Vogtle 2 meni pikasulkuun sähköverkon heilahduksen aiheuttamana.

Nucleonics Week, 22.3.1990

Ins. Pekka Lehtinen on säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosaston tarkastaja, p. 90-7082 385.

English abstracts

Special issue: Nuclear energy research

Editorial: More knowledge

Pekka Silvennoinen (page 1)

According to general opinion the risks of nuclear power are too high and the estimations of risks are too uncertain. These are the main reasons why uranium and plutonium have not achieved the position they deserve as energy sources. More research, knowledge and exploitation of results are needed in order to assure people of the safety of nuclear power.

The main research areas are nuclear safety and waste management. International cooperation and participation into international research programmes have an important role in the research work. The Finnish research scientists should not be a reserve for the possible continuation of our nuclear programme, but an active part of our present successful nuclear energy production.

Nordic Safety research aims at maintaining knowledge and harmonizing views

Franz Marcus (pages 2—3)

A fourth Nordic safety programme has just started. Apart from Finland it is only Sweden, out of the five Nordic countries, who has nuclear power plants. Why then is it of interest to maintain joint Nordic research on safety questions related to nuclear power?

After Chernobyl there has been a growing awareness of the need for a competent staff even in countries without own nuclear plants. All the Nordic countries are in some way surrounded by or in contact with nuclear installations at a certain distance. They must all be able to judge the safety, take necessary counter-measures, and be well informed, should news about unwanted events appear.

Such competence is also needed to satisfy the requirements of international and bilateral conventions which the individual Nordic countries have undersigned. These conventions deal with exchange of information and with mutual assistance related to nuclear accidents.

National nuclear energy research programmes

Pertti Salminen (pages 4—6)

The primary objective of the nuclear energy research funded by the public sources is to ensure that the decisions of

our energy policy and the supervision of nuclear power plant safety can be based on domestic expertise which is independent of the power companies. In the near future the main purpose of the research will be to support the reliable and safe operation of the present NPPs and the safety of nuclear waste final disposal.

In order to make the research policy supervision more effective and to improve the national coordination, most of the research work is organized within the framework of three national research programmes, which are:

- Structural safety of nuclear power plants (1990—1994)
- Operational safety of nuclear power plants (1990—1994)
- Nuclear waste management (1989—1993).

In 1990 the volume of these programmes is 77 man-years and 39 MFIM, whilst the total volume of publicly funded nuclear energy research is 102 man-years and 51 MFIM.

EC's nuclear energy research

Pertti Salminen (pages 7—9)

Nuclear energy research has traditionally been one of the key areas in the EC's R&D Framework programmes. In the third Framework programme (1990—1994) the volume of nuclear energy research is 657 MECU corresponding the share of almost 12% of the Framework programme's total budget. Altogether there will be 15 research programmes, two of which are concentrated in nuclear energy research. Those two programmes are "Nuclear fission safety" and "Controlled nuclear fusion".

For the time being the Finnish contribution to these programmes has been of minor extent. However, it is desirable and obvious that our cooperation with EC Member States concerning the nuclear energy research will increase remarkably within a few years.

Nuclear safety research — a prerequisite for the use of nuclear energy

Hannu Koponen (page 10)

To assure the safety of the nuclear power plants requires extensive research work. In a small country like Finland participation in wide international nuclear safety research programmes is a necessity.

However, the domestic research programme shall cover all the main safety issues, especially as regards the nuclear power plants in Finland. In this article, the nuclear safety research is discussed from the viewpoint of nuclear safety authority.

Imatran Voima's nuclear research — Cooperation in Finland and abroad

Hannu Kaikkonen (pages 11—12)

The total of Imatran Voima's R&D budget for the year 1990 is about FIM 190 million. Projects serving the nuclear energy technology and business account for nearly FIM 50 million. The nuclear research has two main areas, nearly equal in size: supporting the Loviisa NPS and preparing the next nuclear power plant in Finland. IVO's nuclear research consists mainly of cooperation with companies and research centres in Finland and abroad. (Company's own laboratories and engineering departments have for instance performed demanding model experiments.)

Research reactors

Pekka Hiismäki (pages 13—15)

World's research reactors are described. Now there are 329 research reactors in 54 countries in operation. The use of different reactors is depending on the size and type of reactor. Important research areas are materials research and research exploiting neutron beam. Also the use for production of radioisotopes and other radioproducts is dealt with. Finally, a vision to the possibilities of new reactor technology is given.

FiR 1 research reactor, served 28 years

Pekka Hiismäki (pages 15—17)

The first and only Finnish research reactor (250 kW) has been in operation for 28 years in Otaniemi, Espoo. The reactor has had an important role both in education and training of Finnish nuclear engineers and physicists and in research and service activities to the Finnish industry and hospitals. Technically the reactor is in good condition. Its annual expenses are 2,5 FIM. Now the future of the reactor is problematic because of the rising expenses and of the difficulties to find a prompt payer of these costs.

Nuclear fuel investigations in IVO

Risto Teräsvirta (pages 18—20)

The nuclear fuels for Loviisa NPP has been continuously subject of investigations since the plant started in 1977. In the beginning several fuel behaviour studies and analyses were needed because of insufficient knowledge about the fuel itself and especially about the quality assurance and quality control during the manufacturing. Special attention was paid to fuel behaviour during a large loss-of-coolant accident.

In the beginning of 80'ies a decision was made to examine one spent fuel assembly in Studsvik to verify, among other things, the assumptions made in previously mentioned studies. At the same time it was also decided to equip Loviisa NPP with a spent fuel inspection stand, which would allow disassembling, visual inspection, dimensional measurements and taking material samples of the fuel assemblies. The equipment was designed and constructed by IVO. Later on, an ABB-designed and -constructed fuel rod gamma measurement device was added to the equipment.

The purpose of the Loviisa fuel examinations has shifted from the earlier LOCA-studies towards fuel behaviour during normal operating conditions with increased burnup and linear loading. Examinations of leaking fuel assemblies have been started in 1989 to reveal and possibly eliminate reasons for fuel failures.

Detailed fuel behaviour experiments are being performed in co-operation with Kurchatov-institute in Moscow in Kurchatov-institute's test loop in MR-reactor. In these experiments the fuel behaviour in normal conditions is studied.

IVO is also participating a Soviet-Polish experimental program in MARIA-reactor, located in the town of Swierk, Poland. In these experiments the fuel behaviour during accident conditions will be studied. The "Finnish" experiments will take place approximately in 1993—1994.

APROS — program environment for simulation of power plant processes

Markku Hänninen (pages 21—22)

APROS is a general purpose simulation environment with a highly developed user interface and tools for model development. It has been developed jointly by Imatran Voima power company and Technical Research Centre of Finland (1986—1988). The development work continues in several projects including nuclear and conventional power plant simulation, model development and verification. The present article describes general features of APROS and its use. The process component, thermal-hydraulic and reactor models are discussed more closely. Examples of applications are presented.

PACTEL — thermal hydraulic experimental facility

Timo Kervinen (page 23)

A new experimental facility for investigation of thermal-hydraulics of nuclear power reactors has been taken for use at Lappeenranta. PACTEL — Parallel Channel Test Loop — has been built in cooperation with Technical Research Centre of Finland and Lappeenranta University of Technology. PACTEL is a full-height volumetrically scaled model of the VVER-440 PWR with three separate loops and 144 full length, electrically heated fuel rod simulators arranged in three parallel channels. The facility includes the primary system, the secondary side of steam generators, and emergency core cooling systems. The maximum operating pressure is 8 MPa, heating power 1 MW and volumetric scaling ratio 1:305. The facility will be used for searching the best ways for returning a nuclear power plant back to safe operating conditions after transients and accidents. The experimental results will also be used for developing the safety instructions of the power plants and verification of the computer codes.

Environment-sensitive cracking of reactor material

Hannu Hänninen (pages 24—25)

Environment-sensitive cracking of reactor materials has been a recurring problem in most of the reactors. The problem increases during ageing of the plants. Large part of the phenomenological and mechanistic work is performed as inter-

national co-operation in two major working groups: International Cyclic Crack Growth Rate Group (ICCGR) and Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking Group (IASCC). In Finland laboratory and in service test facilities have been designed and fabricated for proper material testing as well as for products of machine shop industry.

Radiation embrittlement

Matti Valo, Kim Wallin (page 25)

Radiation embrittlement is a term for the embrittlement of pressure vessel steels caused by fast neutrons. Because radiation embrittlement cannot be controlled the increasing probability of fracture caused by this kind of embrittlement is a serious problem. In the article, the phenomena of radiation embrittlement and the research into it are briefly described.

Surveillance data bank for radiation embrittlement

Urpo Sarajärvi (page 26)

Radiation embrittlement is being researched in follow up programs, which produce a lot of data of this phenomena. In order to use and analyze this data a sophisticated management and data bank system is developed.

Groundwater Flow Modelling in Site Characterization for a Spent Fuel Repository

Veikko Taivassalo, Timo Aikäs (pages 27—28)

Teollisuuden Voima Oy is currently performing preliminary site investigations in five areas to study their suitability for final disposal of spent nuclear fuel. In 1992 2—3 areas will be selected for detailed investigations. Modelling of groundwater flow is an important tool in the evaluation of the sites.

Groundwater flow modelling is carried out as an iterative procedure. In order to compare the sites pessimistic input values are avoided. More realistic modelling is achieved by calibrating flow models against field data.

The main tool for groundwater flow modelling is the 3-D finite element code FEFLOW developed at the Technical Research Centre of Finland. Calculated results include head distribution, flow rates, transit times and flow paths.

The Palmottu uranium deposit as a natural analogue of a nuclear waste repository

Heikki Niini, Lasse Ahonen, Timo Jaakkola, Riitta Suutarinen (pages 29—31)

Certain natural phenomena at the Palmottu U-Th deposit in southwestern Finland are being studied as natural analogues of the migration and sorption behaviour of those radionuclides that will be released in the natural environment from a future nuclear waste repository. The study comprises mineralogical, radiochemical, and hydrogeological observations, measurements, and analyses from rock outcrops and drill holes, including fracture coatings.

The chief minerals in the analysed fracture coatings were kaolinite, calcite, quartz, and illite. About 90% of the radionuclides were weakly bound in them. The bulk of Th and U was in calcite. The calculated ages of the fracture calcites were between 80,000 and over 300,000 years.

Groundwater samples were taken from the drill-hole water by means of a tube sampler. Representative samples from fracture zones were pumped with a double packer sampler, which allows the contemporaneous evaluation of the hydraulic properties of the rock mass.

In groundwater, the U concentrations decreased distinctly with depth. This regression is opposite to that of the U concentrations in both particulate matter, and the bedrock. In the oxidizing conditions of the upper 100—200 m of the bedrock uranium exists as soluble U(VI), whereas deeper down in the more reducing conditions the dominant valence state of U is the insoluble U(IV), which also adsorbs easily on small particles.

The observations and interpretations are expected to be used as criteria for the general planning and safety analyses of nuclear waste disposal in the Finnish bedrock.

Knowledge based system for identification of radionuclides

Pentti Aarnio, Timo Hakulinen (pages 31—32)

Full qualitative and quantitative identification of radionuclides in a sample is a problem, where exact mathematical anal-

ysis and the heuristic knowledge of an expert are combined. We present expert system SHAMAN, that aims to achieve this goal by using knowledge based methodologies as well as exact mathematical algorithms.

One year in France as a research fellow

Timo Haapalehto (pages 33—34)

A story where a research scientist describes his year in CEA (Commissariat à l'Energie Atomique) in Grenoble (CENG) as a research fellow.

He studied the CATHARE-program, which is suitable for calculations of the primary circuit of a nuclear power plant. In Lappeenranta Technical University they use CATHARE.

Haapalehto recommended young scientists to study a year for instance in France. The result can be a language, thesis and new experiences.

ENS Seminar "Women and Nuclear Energy"

Lena Hansson, Käthe Sarparanta (page 35)

The seminar "Women and Nuclear Energy, Ascona, Switzerland, January 26th — 27th 1990, was organized by ENS Information Committee. Agneta Rising from Swedish Vattenfall was the chairman of the meeting. The background paper was presented by Irene Aegerter from Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke. Twenty women representing seven ENS Member Societies participated in the seminar along with the members of the Information Committee.

Women working themselves in the nuclear field are the most credible promoters of the nuclear energy among other women. Thus the aim of the meeting was to find ways how to attract the interest of ordinary women to energy matters. Two case studies and the following brain storming session gave examples and ideas how to organize information projects directed especially to women.

In Finland activity in the framework of the Finnish Nuclear Society seems to be the most suitable way to proceed. During this year all the participants of the seminar analyze the situation at national level and plan how to continue information activities. The next move at the interna-

tional level is the ENS PIME '91 (Public Information Materials Exchange) meeting which takes place in January in Annecy, France. There the results are evaluated and the future activities planned in a special "Women and Nuclear Energy" session.

