

# ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA —

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry



2/2004 vol. 33

## Tässä numerossa

Pääkirjoitus	
Interaktiivista viestintää verkossa – Tshernobyl kiinnostaa edelleen .....	3
Editorial	
Interactive communication on the web – Chernobyl still interests .....	4
UUTISIA .....	5
In memoriam:	
Björn Wahlström .....	6
Miksi säteilyn käyttöä puolustavan asiantuntijan ja sitä vastustavan kansalaisen näkökannat eivät kohta? .....	7
Säteilyn mittaaminen ja kulkeutumisen mallintaminen sekä ympäristö- vaikutusten arviointi .....	12
Ydinkoekiellon valvontaa suomalaismenetelmillä .....	15
Uusia tuulia ilman radioaktiivisuusvalvonnassa .....	19
Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio .....	21
Suomalaiset selektiiviset ioninvaihtimet puhdistavat ydinjäteliuoksia maailmalla .....	24
ATS Young Generation Englannissa ...	27
WIN Global 2004 .....	30
PAKINA: Tästä on hyvä aloittaa .....	34
TAPAHTUMAKALENTERI ja seuran uudet jäsenet .....	35

# ATS

2/2004, vol. 33

## JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura –  
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

## ATS WWW

<http://www.ATS-FNS.fi>

## TOIMITUS

### PÄÄTOIMITTAJA

DI Kai Salminen  
Fortum Nuclear Services Oy  
PL 10, 00048 Fortum  
p. 010 453 3093  
[kai.salminen@fortum.com](mailto:kai.salminen@fortum.com)

### ERIKOISTOIMITTAJA

TkT Eija Karita Puska  
VTT Prosessit  
PL 1604, 02044 VTT  
p. (09) 456 5036  
[eija-karita.puska@vtt.fi](mailto:eija-karita.puska@vtt.fi)

### ERIKOISTOIMITTAJA

DI Päivi Maaranen  
Säteilyturvakeskus  
PL 14, 00881 Helsinki  
p. (09) 7598 8329  
[paivi.maaranen@stuk.fi](mailto:paivi.maaranen@stuk.fi)

### TOIMITUSSIHTEERI

Minna Rahkonen  
Fancy Media Ky  
Uusi Porvoontie 857  
01120 Västerskog  
p. 0400 508 088  
[fancymedia@saunalahti.fi](mailto:fancymedia@saunalahti.fi)

### ERIKOISTOIMITTAJA

TkL Jarmo Ala-Heikkilä  
Teknillinen Korkeakoulu  
PL 2200, 02015 TKK  
p. (09) 451 3204  
[jarmo.ala-heikkila@hut.fi](mailto:jarmo.ala-heikkila@hut.fi)

### ERIKOISTOIMITTAJA

DI Olli Nevander  
Teollisuuden Voima Oy  
27160 Olkiluoto  
p. (02) 8381 3220  
[olli.nevander@tvo.fi](mailto:olli.nevander@tvo.fi)

## JOHTOKUNTA

### PUHEENJOHTAJA

DI Antti Piirto  
TVO Nuclear Services Oy  
27160 Olkiluoto  
p. (02) 838 11  
[antti.piiro@tvo.fi](mailto:antti.piiro@tvo.fi)

### VARAPUHEENJOHTAJA

M.Sc. Lena Hansson-Lyyra  
VTT Tuotteet ja Tuotanto  
PL 1704, 02044 VTT  
p. (09) 456 6846  
[lena-hansson-lyyra@vtt.fi](mailto:lena-hansson-lyyra@vtt.fi)

### SIHTEERI

DI Minna Tuomainen  
VTT Prosessit  
PL 1604, 02044 VTT  
p. (09) 456 5787  
[minna.tuomainen@vtt.fi](mailto:minna.tuomainen@vtt.fi)

### RAHASTONHOITAJA

DI Hanna Virlander  
Teollisuuden Voima Oy  
27160 Olkiluoto  
[hanna.virlander@tvo.fi](mailto:hanna.virlander@tvo.fi)

### DI Harriet Kallio

Fortum Power and Heat Oy  
PL 100, 00048 Fortum  
p. 010 453 2463  
[harriet.kallio@fortum.com](mailto:harriet.kallio@fortum.com)

### TkT Risto Tarjanne

Lpr Teknillinen Yliopisto  
PL 20, 53851 Lappeenranta  
p. (05) 621 2776  
[risto.tarjanne@lut.fi](mailto:risto.tarjanne@lut.fi)

### Ronnie Olander

Säteilyturvakeskus  
PL 14, 00881 Helsinki  
p. (09) 7598 8668  
[ronnie.olander@stuk.fi](mailto:ronnie.olander@stuk.fi)

## MUU TOIMINTA

### YLEISSIHTEERI

Liisa Hinkula  
VTT Prosessit  
PL 1604, 02044 VTT  
p. (09) 456 5097  
[liisa.hinkula@vtt.fi](mailto:liisa.hinkula@vtt.fi)

### KANSAINVÄL. ASIOIDEN SIHT.

DI Petra Lundström  
Fortum Nuclear Services Oy  
PL 10, 00048 Fortum  
p. 010 453 5422  
[petra.lundstrom@fortum.com](mailto:petra.lundstrom@fortum.com)

### YOUNG GENERATION

DI Kai Salminen  
Fortum Nuclear Services Oy  
PL 10, 00048 Fortum  
p. 010 453 3093  
[kai.salminen@fortum.com](mailto:kai.salminen@fortum.com)

### ENERGIAKANAVA

TkT Eija Karita Puska  
VTT Prosessit  
PL 1604, 02044 VTT  
[eija-karita.puska@vtt.fi](mailto:eija-karita.puska@vtt.fi)

### EKSKURSIOSIHTEERIT

Tekn. yo Pekka Nuutinen  
Lpr teknillinen yliopisto  
[pekka.nuutinen@lut.fi](mailto:pekka.nuutinen@lut.fi)

Tekn. yo Anu Turtiainen  
Lpr teknillinen yliopisto  
[anu.turtiainen@lut.fi](mailto:anu.turtiainen@lut.fi)

## VUODEN 2004 TEEMAT

1/2004

Jäteasiat

2/2004

Säteily

3/2004

Olkiluoto 3, tekniikka ja  
lisäsähkön vaikutukset

4/2004

Ulkomaan ekskursiomatka

## ILMOITUSHINNAT

1/1 sivua 400 €

1/2 sivua 300 €

1/4 sivua 200 €

## TOIMITUKSEN OSOITE

ATS Ydintekniikka  
c/o Olli Nevander  
Teollisuuden Voima Oy  
27160 Olkiluoto  
p. (02) 8381 3220  
telefax (02) 8381 3209

Osoitteenmuutokset  
pyydetään ilmoittamaan  
Liisa Hinkulalle /  
VTT Prosessit  
telefax (09) 456 5000  
e-mail: [liisa.hinkula@vtt.fi](mailto:liisa.hinkula@vtt.fi)

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

ISSN-0356-0473



441 184  
Painotuote

Painotalo Miktör Ky



## Interaktiivista viestintää verkossa – Tshernobyl kiinnostaa edelleen

Säteilyturvakeskus perusti Tshernobylin vuosipäivänä 26.4.2004 www-sivuilleen vastauspalvelun, jonne yleisöä kannustettiin lähettämään säteilyyn liittyviä kysymyksiä. Vastauspalvelun ajaksi useat STUKin asiantuntijat olivat varanneet aikaansa yleisön kysymyksiin vastaamiseksi. Pääasiassa kysymyksiin oli varautunut vastaamaan viisi asiantuntijaa: valmiuspäällikkö **Hannele Aaltonen**, pääjohtaja **Jukka Laaksonen**, ylilääkäri **Wendla Paile**, erikoistutkija **Ritva Saxén** ja allekirjoittanut itse. Palvelu avattiin maanantaina 26.4 kolmeksi tunniksi, kello 12 -15 väliseksi ajaksi. Palvelua mainostettiin sen avautumista edeltävällä viikolla tiedotteella, josta esimerkiksi STT ja Helsingin Sanomat tekivät uutisen. Myös joihinkin luonnontieteisiin erikoistuneisiin kouluihin kerrottiin palvelusta etukäteen.

Monille STUKin asiantuntijoille tämä oli ensimmäinen kokemus "chatti-keskustelusta". Palvelun ollessa auki asiantuntijat ehtivät vastaamaan noin 60 kysymykseen. Kysymyksiä tuli tuplasti enemmän, mutta useat kysymykset käsitelivät samoja asioita. Niille kysyjille, joille ei vastattu palvelun ollessa auki, vastattiin myöhemmin henkilökohtaisesti lähettämällä heille tieto siitä, että palvelussa on heidän kysymystään vastaava tieto. Yksittäisiä kysymyksiä ohjattiin myös muille STUKin työntekijöille, yhteensä kysymyksiin vastasi 11 vastaajaa. Ns. roskaposteja tuli palveluun alle kymmenen.

Tshernobylin vuosipäivänä STUKin www-sivuilla kävi yli 1300 kävijää. Se on yhtä paljon kuin yleensä viikossa.

STUK vastaa -palstalle lähetetyt kysymykset koskivat monia aiheita. Erityisesti kysyttiin sitä, kuinka paljon cesiumipitoisia luonnontuotteita voi syödä, millaisia vaikutuksia Tshernobylin onnettomuudella oli ihmisten sairastavuuteen (erityisesti kilpirauhasen toimintaan) sekä sitä, miten Säteilyturvakeskus sai tiedon Tshernobylin onnettomuudesta. Onnettomuuden vuosipäivänä oltiin kiinnostuneita myös siitä, miten onnettomuus ylipäättään oli mahdollinen ja kuinka todennäköistä vastaavan onnettomuuden tapahtuminen on nykyään.

Samalla haluttiin tietää, kuinka laskeumatilanteeseen varautumista on parannettu. Kysyjien joukossa oli paljon nuoria, joilla ei ole omakohtaista muistikuvaa 18 vuotta sitten tapahtuneesta Tshernobylin onnettomuudesta.

Aiemmin STUK on Tshernobylin vuosipäivänä tehnyt useita tietopaketteja esimerkiksi uusista tutkimustuloksista, koska vuosipäivä säännöllisesti lisää kiinnostusta säteilyasioihin. Tänä vuonna STUK halusi vastata suoraan yksittäisiltä ihmisiltä tuleviin kysymyksiin. Idea haettiin esimerkiksi yksityisten organisaatioiden vuosikertomuksen julkistamisajankohdasta; monessa yrityksessä toimitusjohtaja vastaa joko yleisön tai henkilökuntansa kysymyksiin sähköisesti tuloksesta ja organisaatioista. Myös valtioneuvostolla on ollut vastaava palvelu.

STUKilla on www-sivuillaan ympäri vuoden palvelu, jonka kautta ihmiset voivat lähettää kysymyksiään Säteilyturvakeskukseen. Näitä kysymyksiä tulee vuosittain STUKiin noin parisataa. Heille vastataan kuitenkin henkilökohtaisesti. Tshernobylin vuosipäivänä avatussa palvelussa kysyjät näkivät reaaliajassa myös toisten tekemiä kysymyksiä ja niihin annettuja vastauksia. Kokeilu kannusti jatkamaan. Tietoa tarvitaan ja Internet tarjoaa uuden mahdollisuuden vuorovaikutteiseen ja avoimeen keskusteluun suoraan kansalaisten kanssa. ■

# Interactive communication on the web – Chernobyl still interests

On April 26, 2004, on the Chernobyl anniversary, Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) opened an interactive service on its web pages where the public was encouraged to send questions concerning radiation. Several experts at STUK were available during the real-time service. Principally, there were five experts standing by, ready to answer the questions of the public. The experts were: **Hannele Aaltonen**, Head of Emergency Preparedness; **Jukka Laaksonen**, Director General; **Wendla Paile**, Chief Medical Officer; **Ritva Saxén**, Senior Scientist and the undersigned. The interactive service was launched on Monday, April 26, 2004, and was open for three hours (12 - 15 o'clock). In the previous week STUK publicized the service with a press release. For example, STT (Finnish National News Agency) and Helsingin Sanomat, the biggest newspaper in Helsinki area and Finland, made a news story out of the subject. Also certain natural science oriented schools were notified about the service in advance.

For many STUK experts this was the first encounter with "chatting on the web". During the service the experts had time to respond to about 60 questions. There would have been questions double the amount but several dealt with same issues. Those questions that could not be answered during the interactive service were answered later by sending personally the questioner a message telling that a reply to his question could now be found on the web pages. Certain individual questions were also directed to other STUK employees. There were altogether 11 STUK experts answering the questions. Less than ten so-called spam messages were received.

There were over 1300 visitors on the STUK web pages on the Chernobyl anniversary which is as much as usually in one week.

The questions sent to the column called "STUK answers" concerned several issues. A few issues were felt specially interesting: it was asked how much you can eat natural products that contain cesium, what effects Chernobyl accident had on

people's health (especially concerning thyroid function), and how STUK got its first notice about the accident in Chernobyl. The Chernobyl anniversary also attracted a following on how the accident was altogether possible and what is the probability that a similar accident would happen today. It was also inquired how the preparedness for a fallout situation has been improved. There were a lot of young people among the active questioners that have no personal memory of the Chernobyl accident 18 years ago.

Earlier on the Chernobyl anniversary STUK has released several information compilations on, for example, recent research results, because the anniversary regularly has increased the interest in radiation issues. This year, 2004, STUK wanted to answer directly the questions of individual persons. The idea was adopted from, among others, certain private organisations and their release dates of annual reports. There the managing director often answers electronically the questions of the public or the firm's own employees on such topics as annual results and the organisation. Also the Council of State in Finland has applied a similar service.

STUK has a year-round web service through which people can send their questions to STUK. There are approximately 200 of these questions per year. All questioners are however answered personally. The interactive service that was opened on the Chernobyl anniversary this year also allowed people to see in real time the questions made by others and the answers to them. The successful experiment spurred to continue the service. Information is needed continuously and the internet offers a new way for interactive and open conversation directly with the citizens. ■

## ENS julkaisee taas

European Nuclear Society (ENS) on alkanut julkaisemaan verkossa ENS News -nimellä kulkevaa uutislehtistä. ENS News seuraa alan kehitystä neljästi vuodessa julkaistavassa verkkolehdessä, joka korvaa aikaisemmin paperilla ilmestyneen Nuclear Europe Worldscan -lehden.

Linkki verkkolehden sivuille löytyy ENS:n kotisivuilta osoitteesta [www.euronuclear.org](http://www.euronuclear.org).

## ATS:n internet-sivusto uudistetaan



ATS:n johtokunta on päättänyt uusia seuran internet-sivuston ([www.ats-fns.fi](http://www.ats-fns.fi)). Ulkonäön muuttamisen ja toimivuuden parantamisen lisäksi tarkoituksena on päivittää sivustolla oleva informaatio ajan tasalle. Sivustosta on tarkoitus tehdä entistä parempi tapa viestiä seuran toiminnasta jäsenistölle ja välittää tietoa ulkopuolisille tiedonhakijoille.

Johtokunta nimesi asiaa valmistelevan työryhmän vetäjäksi Kai Salmisen Fortum Nuclear Services Oy:stä ([kai.salminen@fortum.com](mailto:kai.salminen@fortum.com)), jolle voi lähettää ideoita sivujen uudistamiseen liittyen.

[www.ATS-FNS.fi](http://www.ATS-FNS.fi)



## Nuorten ydinvoimakongressi Suomeen 2006

International Youth Nuclear Congress (IYNC) järjestetään osin Suomessa kesällä 2006. Suomen ja Ruotsin esitys IYNC:n seuraavan konferenssin järjestämisestä Skandinaviassa voitti Torontossa pidetyssä IYNC:n kansallisten edustajien äänestyksessä Etelä-Afrikan äänin 21-9. Aikaisemmin Skandinavia voitti Kroatian Euroopan sisäisessä äänestyksessä.

IYNC on maailmanlaajuinen ydinvoima-alan nuorille tarkoitettu järjestö, johon useimpien maiden Young Generation -ryhmät kuuluvat. Torontossa toukokuun alussa järjestetty IYNC 2004 -konferenssi oli järjestyksessään kolmas. Konferenssiin oli saapunut 263 osallistujaa 35 maasta. Suomalaisia osallistujista oli 7. IYNC 2006 järjestetään yhteistyössä ATS Young Generationin ja Ruotsin Young Generationin kanssa.

Lisätietoja: [www.iync.org](http://www.iync.org).



*Suomen ja Ruotsin konferenssiedustajat taustanaan Toronton skyline.*

# IN MEMORIAM

## Björn Wahlström

s. 29.1.1946

k. 20.5.2004



**T**oukokuun lopussa saapui Loviisasta suruviesti; loviisalainen perheenisä, kirjailija ja Loviisan ydinvoimalan ensimmäinen säteilysuojelupäällikkö Björn "Nalle" Wahlström on kuollut. Hän kuoli Loviisan sairaalassa pitkällisen sairauden jälkeen.

Vuonna 1946 Kokkolassa syntynyt Wahlström oli myös ydinvoima-  
piireissä tunnettu ja pidetty ydinvoima-asiantuntija, kolumnisti sekä taitava tieteen popularisoija. Björn Wahlström opiskeli fysiikkaa, matematiikkaa, kemiaa ja astronomiaa Åbo Akademissa Turussa vuosina 1965 - 1979 ja valmistui filosofian maisteriksi vuonna 1970 ja filosofian lisensiaatiksi vuonna 1980. Vuosina 1970 - 1973 Wahlström toimi Teknillisessä korkeakoulussa opettajana, josta tehtävästä hän sai kutsun operaattoreiden kouluttajaksi Suomen ensimmäiselle ydinvoimalaitokselle Loviisaan, jossa hänen isänsä K.G.Wahlström toimi kaupunginjohtajana.

Vuonna 1977 Björn Wahlström nimitettiin Loviisan voimalaitoksen säteilysuojelupäälliköksi, jossa tehtävässä hän toimi 20 vuotta aina vuoteen 1997 saakka. Tuona vuonna Nalle halusi uusia haasteita ja ryhtyi ydinjätteen loppusijoitusta tutkineen Posiva Oy:n tutkimuskoordinaattoriksi Loviisaan. Vuonna 2000 Wahlström valittiin Loviisaan kaavailun energiakeskuksen johtajaksi. Hankkeen loputtua Nalle siirtyi vuonna 2001 Teollisuuden Voiman ydinvoimalahanketta valmistelleen Loviisan paikallistoimiston johtajaksi.

Björn Wahlström oli innokas tieteen ja ydinvoiman kansantajuistaja. Hän kirjoitti ja kustansi monia julkaisuja, joita käännettiin kuudelletoista kielelle aina USA:ta ja Aasiaa myöten. Vuonna 1986 ilmestynyt Villakoiran Ydin ja siitä tehdyt käännökset oli ehkä hänen kuuluisin ja laajimmin levinnyt kirjansa. Björn Wahlström oli myös kansainvälisesti tunnettu säteilyn ja ydinvoiman tuntija ja luennoitsija. Hänen humoristinen tyylinsä sekä piirroukset tekivät tieteestä helposti ymmärrettävää ja hauskaa sekä kannustivat monia maalikkoja perehtymään monimutkaisena pidettyyn ydinvoimateknologiaan, riskeihin ja säteilyyn. Nalle arvosti erityisesti älyllistä rehellisyyttä ja loogista argumentointia. Hänet tunnettiin taitavana ja idearikkaana mielipidekirjoittajana sekä kolumnistina Loviisan paikallislehdissä Östra Nylandissa ja Loviisan Sanomissa.

Vakavasta sairaudestaan huolimatta ja tietoisena pian lähestyvistä poismenostaan Nalle osallistui debatteihin ja lähetti kirjoituksiaan paikallislehdille vielä kuolinvuoteeltaan Loviisan sairaalasta, jonne hän oli hankkinut tietokoneyhteyden. Nalle oli verkossa ja mukana viimeiseen saakka.

Laaja ystäväpiiri tunsii Nallen ulospäin suuntautuneena, kaikkeen myönteisesti suhtautuvana ja avarakatseisena. Hänellä oli hymy ja myönteinen sana jokaiselle.

Björn Wahlström on poissa. Ystävien ja työtovereiden lisäksi Nallea jäävät lämmöllä kaipaamaan vaimo Kristina ja tytär Eva sekä pojat Torbjörn ja Jan.

*Arto Henriksson  
Anneli Nikula*

# Miksi säteilyn käyttöä puolustavan asiantuntijan ja sitä vastustavan kansalaisen NÄKÖKANNAT EIVÄT KOHTAA?

*Säteilyturvallisuudesta vastaavan johtajan keskeisiä tehtäviä on organisaationsa henkilökunnan kouluttaminen turvalliseen työskentelyyn. Tässä toimessa olen saanut kohdata ja yrittää oikoa mitä erilaisimpia uskomuksia – minkälaisella menestyksellä, en uskalla lähteä itse arvioimaan. Ja kun on kerran saanut säteilyasiantuntijan maineen, saa vastattavakseen ei vain oman työyhteisön-sä puitteissa syntyvät säteilyä, sen käyttöä ja sen käyttöön liittyviä vaaroja koskevat kyselyt, vaan myös organisaation ulkopuolelta tulevat. Lopuksi alkaa tulla kutsuja Lions-klubien, Marttojen ja seurakunnan kerhojen kokouksiin vastaamaan huolestuneiden kansalaisten joskus irrationaalisilta kuulostaviin kysymyksiin, ja saa huomata, ettei niissä ympyröissä selviä yksinomaan säteilyturvallisuusasioiden hyvällä hallinnalla ja opettajamentaliteetillä. Tässä olisivat viestintätaidot olleet arvossaan.*

**K**oetan seuraavassa tarkastella omien kokemuksieni pohjalta syitä, miksi asiantuntijan ja ns. suuren yleisön välinen viestintä on niin vaikeata.

## Kansalaisten heikko luonnontieteellinen yleissivistys

Läheskään kaikissa peruskouluissa ei ole luonnontieteellisen koulutuksen saaneita aineenopettajia ja fysiikan ja kemian ilmiöiden esittelyn laatu jää luokanopettajan harrastuksen varaan. Lukioissa ei ole vuosiin ollut kovin runsaasti fysiikan ja kemian pitkien kurssien lukijoita. Opiskelualoilla, joilla edellytetään eksaktien luonnontieteiden peruskoulutusta, on ajoittain jopa hakijapulaa. Syyksi on tarjottu, että niiden opiskelu vaatii enemmän työtä kuin humanistis-yhteiskunnallisten aineiden, eivätkä nämä ”kovat aineet” ole muutenkaan muodissa. Viime aikojen lehtikirjoittelussa on heijastunut jopa lääkärin uskomuksiin perustuvia asenteita. Kun luonnontieteellisen ajattelun perusteet ovat huterat, on ollut vaikeata löytää yhteistä kieltä. Kyseessä on

klassinen esimerkki C. P. Snown ”kahden kulttuurin” keskinäisestä viestintäongelmasta.

Toisaalta asiantuntijoiden käyttämä terminologia – jota vielä raskauttavat akronyymit ja muut lyhenteet – on vierasta ja vieraannuttavaa. Asiantuntijalle tuttu termi saattaa saada yleiskielessä pelottavan vivahteen: ajatellaan vaikka viranomaisohjeista löytyviä termejä odotettavissa oleva käyttöhäiriö tai oletettu onnettomuus. Pahin lienee kuitenkin saastuminen kontaminaation suomenoksena. Saastuminen vetää kylmät väreet pitkin selkää, ja kontaminaatio on arkikielelle tuntematon sana. – Haloo, termilautakunnat: tälle termille tarttis tehdä jotakin.

Todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin pioneerin Stanley Kaplanin kerrotaan pitäneen seinällään kahta teoreemaa:

**1. 50 % maailman ongelmista aiheuttavat ihmiset, jotka käyttävät samaa sanaa tarkoittaessaan eri asioita.**

Tästä ei liene parempaa esimerkkiä kuin jatkuvaa sekaannusta aiheuttava säteily – puhumattakaan hirvityksestä radioaktiivinen säteily – kun tarkoitetaan

kontaminaatiota, tai säteilytys toimintana ja suurena.

*Kun huomautin kansantajuuden kosmologian kirjan julkaisulle fyysikolle hänen käyttäneen hyi-hyi-termiä ”radioaktiivinen säteily”, sain vastaukseksi nenäkkään huomautuksen, ettei ihmisiä saa sekoittaa uusilla termeillä, kun lehdissä joka tapauksessa käytetään sanaa säteily kummassakin merkityksessä.*

**2. Toiset 50 % aiheuttavat ihmiset, jotka käyttävät eri sanoja tarkoittaessaan samaa asiaa.**

Tässä kohdassa säteilyturvallisuustyössä työskentelevät saavat kyllä mennä itseensä. Olen useasti harmitellut epäjohtonmukaisuutta, jolla termejä luodaan ja käytetään niin englannin- kuin suomenkielessä.

Fysiikan suurenimistandardia toimitaessamme totesimme, kuinka eri korkeakouluissa oli muodostunut oma terminologiamurteensa (Siltavuorella ”sieppaajat”, Otaniemessä ”kaappajat”). On termejä, jotka on muodostettu vastoin suomenkielen sanaoppia; joiltakin olennaisilta käsitteiltä puuttuu termi



jommassakummassa tai molemmissa kielissä: kuinka monta eri annosta alan terminologiaa tuntee? Lushbaugh laski niitä yli kuudenkymmenen! Kuinka monen suureen yksikkö on gray tai sievert? Suureet laatutekijä Q ja painotustekijä WR ovat muka laaduttomia? Suureesta annosekvivalentti tuli Kansainvälisen säteilysuojelukomission suositusta uusittaessa ekvivalenttiannos, ja annosekvivalentti sai uuden merkityksen. Onko ihme, jos jopa tavallinen säteilyturvallisuudesta vastaava johtaja menee sekaisin oman alansa suureiden kanssa, kadun miehestä ja naisesta puhumattakaan.

D. J. Strom ja C. W. Watson ehdottavat näiden täydennykseksi kolmannen teoreeman:

3. Merkittävän määrän maailman ongelmista aiheuttavat ihmiset, jotka käyttävät sanoja, joiden merkityksestä heillä ei ole aavistustakaan.

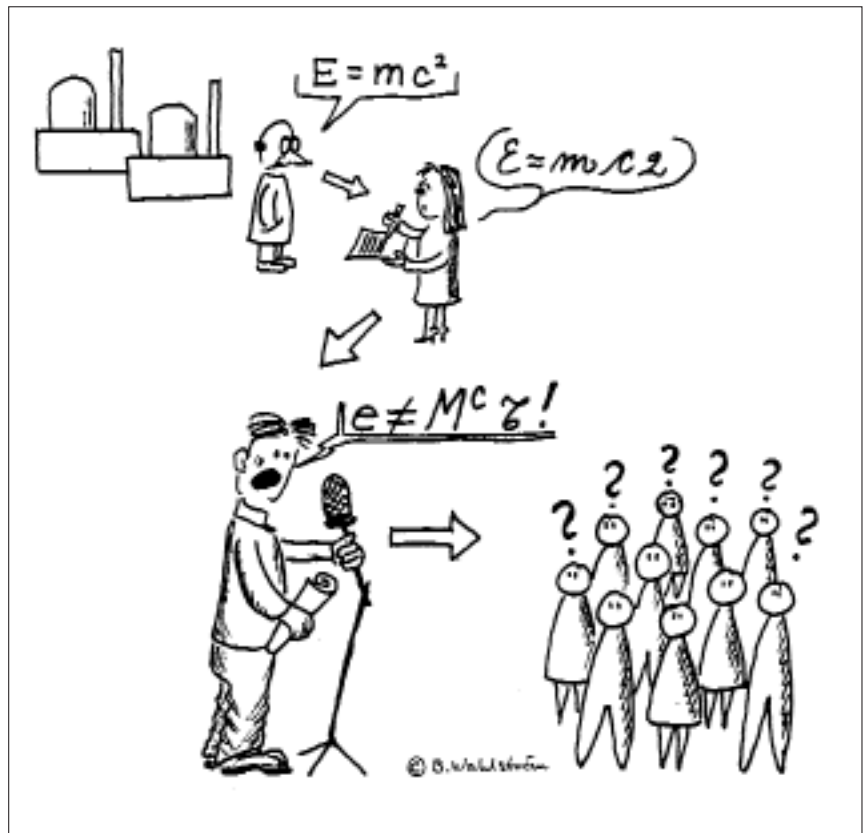
Tämä teoreema on syntynyt kuvaamaan suurta osaa median säteilyasioiden käsittelyä.

*Esitellessäni vasta käyttöönotettua tandemkiihdytintä median edustajille syksyllä 1982 mainitsin, että protonit saavat kiihdytysputkessa nopeuden, joka vastaa 15 prosenttia valon nopeudesta. Sama tieto oli myös jokaiselle toimittajalle annettu esitteessä.*

*Pari päivää myöhemmin soitti helsinkiläinen fyysiikan opettaja ja kysyi epävarmalla äänellä, oliko hän opettanut vanhaa tietoa, jonka mukaan valon nopeus on suurin mahdollinen nopeus. Ihmettelin, mihin tällainen kysymys pohjaa, ja sain vastauksen että iltapäivälehdessä kertomani oli tulkittu siten, että protonit saavuttavat 15-kertaisen valon nopeuden.*

*Soitin kyseisessä lehdessä siihen aikaan työskennelleelle veljelleni ja sain kuulla, että jutun kirjoittanut toimittaja ei kuulunut taloustoimittukseen, joten hänen ei tarvinnut tietää, mitä prosentti tarkoittaa...*

Onko ymmärtämisen pahin este säteilyilmiöiden stokastinen, sattumanvarainen, luonne? Säteilyasiantuntijoiden ja poliittisten päättäjien väliset ristiriitallanteet johtuvat yleensä siitä, että päät-



täjä haluaa saada yksikäsitteisen neuvon, eikä suostu ymmärtämään, ettei stokastisten ilmiöiden seurauksista ei voi sanoa mitään varmaa.

*Senaattori E. Muskie, kuunneltuaan aikansa senaatin kuultavaksi kutsuttujen asiantuntijoiden mielipiteitä ympäristön saastumisen vaikutuksista ("... on the one hand the evidence is ... , but on the other hand ... "), vaati saada kuultavaksi yksikäsitteisen tiedemiehen.*

### Tapa, jolla viestimet ovat omaksuneet tehtävänsä mielipiteenmuodostajina

Kuten olemme ydinvoiman lisärakentamisesta käydyssä prosessissa nähneet, alan asiantuntijat ovat kokeneet turhautuvansa yrittäessään saada päätöksentekijät ja yleisön ymmärtämään heidän näkökantojaan. Viestimet ja ydinenergian käytön vastustajat näyttävät olevan puutteellisista teknisistä tiedoista huolimatta vakuuttavampia (ks. edellisen jakson kolmatta teoreemaa).

Itä-Anglian yliopiston taloudellisen ja yhteiskunnallisen tutkimuksen keskuksessa (Centre for Economic and Social Research on the Global Environment), Britanniassa, tehty tutkimus osoitti, että perinteisten ympäristöriskien informaatiolähteiden – hallituksen, teollisuuden ja median – uskottavuus on pieni: 7,6 % uskoo hallituksen tiedottamiseen, 12,8 % yritysten ja 16 % viestinten tiedottamiseen. Sitävastoin ympäristöjärjestöjen sanomaan uskoi 80 %; yhtä suuri osuus oli ystävien ja perheen mielipiteellä.

(Käytän tässä tekstissä sanaa riski yleensä merkityksessä epäedullisen tapahtuman uhka.)

Mainion esimerkin tämän analyysin osuvuudesta antavat viranomaisten ja viestimien suhteet Tshernobylin onnettomuuden aikana. Tiedotusvastuu oli hajautettu: jokaisen Säteilyturvakeskuksen tutkijan oli tiedotettava omalta vastuualueeltaan, vaikka kenelläkään heistä ei ollut tiedotusalan koulutusta. Hallituksen tiedottamisesta vastaavan valtioneuvoston tiedotusyksikön virkailijat taas





eivät ymmärtäneet tutkijoiden kieltä. Viestimet vaistosivat heidän epävarmuutensa, eivätkä luottaneet siltäkään saamiinsa tietoihin.

Tilanteen ollessa kuumimmillaan saattoi todeta, kuinka eri lehdet tulkitisivat käsitettä lehdistön vastuu. Lehdistä, joita seurasin, vain Helsingin Sanomilla oli haluja ja rahkeita tulkita viranomaisien tiedotteita kansantajuisempaan muotoon. Yleensä viestimet liioittelivat säteilyn terveyshaittoja. Niissä esiintyivät vakuuttavimmin henkilöt, jotka tekivät omia päätelmiään joko tosiasioista piittaamatta spekuloiden tai tulkiten faktoja väärin, tavallisesti asiantuntemattomasti, joskus jopa ilmeisen tarkoitushakuisesti.

Sanomalehdet ja televisio käsittävät tehtäväkseen varoittaa, mutta ne eivät ole vastuussa varoituksista, jotka osoitautuvat vääriksi. Jopa asiat, joiden on määrä tehdä elämästämme turvallisempaa – esimerkiksi mammografiaseuranat – ovat tulleet osaksi ”uhkakulttuuria”. Niistä kerrotaan vain, kun on tehty

erehdyksiä tai sattunut onnettomuksia, joten niistäkin on tullut uusia huolestumisen aiheita. Yksittäisen ”asiantuntijan” varoitus uudesta uhkasta löytää helposti julkaisijansa, todisteiden vakuuttavuudesta viisi, ja kääntäen, jos joku haluaa julkaista hälyttävän uutisen, aina löytyy joku riittävän asiaa tuntevalta kuulostava vahvistamaan se.

YLEn TV-uutislähetysessä kuultua: ”... Näin siis Säteilyturvakeskuksen pääjohtaja, professori Vuorinen. Mutta nyt saamme kuulla, mitä sanoo asiantuntija, Helsingin yliopiston ympäristönsuojelun professori Pekka Nuorteva...”

Joukkoviestimen ongelmana on toisaalta, että se kohdistaa viestinsä joukolle, joka on iältään, sukupuoleltaan, koulutustasoltaan, ammatiltaan ja asuinpaikaltaan mitä heterogeenisin. Toisaalta viesti käy matkallaan kohteeseensa niin monen suodattimen läpi, että perille pääsevä sanoma voi olla täysin epäolennainen lähettäjänsä, vastaanottajansa tai molempien kannalta. Jokainen lenkki:

jutun laativa toimittaja, lehden taittaja ja otsikoija, radio- tai televisio-ohjelman koostaja, mahdollisesti toiseen viestiin lainaaja, muuntaa sanomaa omien tarpeittensa mukaan, ja lopuksi viestin vastaanottaja tulkitsee sen omasta kokemuspiiristään käsin.

”Nyt on kuulemma ruvettu säteilyttämään si-detarpeita! Tässä taas uusi esimerkki naisten alistamisesta! Onko meidän luovuttava terveyssi-teistä ja palattava käyttämään rättejä esiäitiem-me tapaan välttyäksemme säteilyltä?” Kommentti uutiseen, jonka mukaan Ilomantsissa aloitti toiminnan nyt jo lakkautettu sairaalatar-vikkeiden säteilytyslaitos.

Ihminen, jonka suhtautuminen säteily-asioihin on syvästi asenteellista, torjuu aktiivisesti tarjolla olevaa tietoa. Hän ottaa vastaan vain omia asenteitaan tukevaa ja vahvistavaa informaatiota. Moni ”ei halua kuulla puhuttavan mitään näistä asioista”.

Kun perinteiseen journalismiin on kuulunut kertoa totuus, nykyinen journalismin tietoteoria lähtee siitä, ettei ole totuuksia, tai ainakaan ei ole mahdollista määritellä, mikä on totuus (Peter Sandman, Rutgers University). Tässä tilanteessa on vain pyrittävä jonkinlaiseen tasapuoliseen esitykseen. Jokainen väite tasapainotetaan vastaväitteellä. Sandman totesi kuitenkin tutkimuksissaan, että vaikka pelottelujuttua pehmitetään rauhoittavilla kommentteilla, lukijan mieleen jää vain pelko, ei rauhoittelua. Näin näennäisesti tasapuolisesta tiedottamisesta on tullut de facto vinoutunutta. ”Yksimielisyys ei ole uutinen, ristiriitaisuus on.”

1800-luvun amerikkalainen filosofi C. S. Pierce kirjoitti: ”Once sham reasoning becomes commonplace, people come to look reasoning as merely decorative and will lose their conceptions of truth and of reason”. Näin on käynyt monen painostusryhmän tapauksessa. Heidän perustelunsa voivat näyttää vakuuttavilta, mutta lähempi tarkastelu osoittaa ne vain näennäisiksi.

On hyväksyttävä, että kadun miehen ja naisen kuvitellut (perceived) riskit ovat yhtä reaalisia kuin asiantuntijan tunnustamat todelliset (objective) riskit. Kuvitellut riskit ovat sanomalehti- ja televisiouutisten perusmateriaalia. Vaikka todellinen riski tai lisäys olemassa olevaan riskiin olisikin minimaalinen, sillä ei ole merkitystä, jos kuviteltu riski on suuri. Kuvitellut riskit ovat myös poliittinen tosiasia. Poliittista päätöksentekoa ohjaa enemmän niin sanottu yleinen mielipide – usein äänekkäin mielipide, jonka uskotaan olevan yleinen mielipide – kuin asiantuntemus. Harvassa tapauksessa päätöksentekijän koulutus ja kokemus riittää kaikkien asiakokonaisuuksien ymmärtämiseen, joista hänen on päätettävä. Tällöin tarve vakuuttaa kansalaiset siitä, että asiat ovat hallinnassa, saateen kokea tärkeämmäksi kuin päätöksen mielekkäisyys.

## Psykologiset tekijät

Yleisön pelot eivät vastaa kovinkaan hyvin asiantuntijaviranomaisten tekemiä arvioita. Siinä, missä asiantuntijaviranomainen keskittyy mittauksiin, valvontaan ja riskiarvioihin perustuvaan dataan, yleisö kiinnittää huomion lisäksi useisiin muihin kuin tieteellisiin tekijöihin. Näitä ”ulkotieteellisiä tekijöitä” voisi kuvailla kollektiivisesti vaikkapa riskien loukkaavuus- (outrage-) dimensioksi erotukseksi ammatti-ihmisten arvioimien riskien uhkadimensiosta. Viranomainen, joka ei anna riittävää painoa tekijöille, jotka yhteisö kokee tapojaan ja oikeuksiaan loukkavina, epäonnistuu varmasti viestinnässä yleisönsä kanssa. Se, että yhteisö vastustaa viranomaisen toimia, ei suinkaan tarkoita, etteivät ihmiset ymmärrä niitä ja niiden perusteluja; he katsovat niitä toiselta kannalta.

Tähän tulee heti lisätä, että nämä ”loukkaavuusdimensioon” kuuluvat uhkat ovat todellisia, eivätkä ymmärtämättömän yleisön kuvitelmia. Monet menestyksekkäistä ympäristönsuojelualoitteista ovat lähteneet liikkeelle juuri näi-

den ”loukkaavien tekijöiden” esille nostamisesta. Toisaalta ei ole harvinaista, että esimerkiksi ydinenergian tuotannon vastustuksen taakse kätkeytykin aivan muu yhteiskunnallinen tai taloudellinen huolenaihe.

*Kysyin panelikeskustelussa Vaihtoheito ydinvoimalle -liikkeen edustajalta, mihin hänen ydinenergian vastustuksensa perustuu. ”Minulla on kesämökki sillä alueella.”*

Tiedotustutkijat **R. H. Johnson and W. L. Petcovic** esittivät Health Physics Societyn vuosikokouksessa heinäkuussa 1988 tutkimuksensa säteilysuojeluasiantuntijain viestinnän uskottavuudesta Yhdysvalloissa ja Kanadassa.

He selvittivät 800 säteilysuojelualan ammattilaisen viestintäprofiilin: miten he hankkivat tietoa, miten tekivät päätöksiä, miten viestivät muiden ihmisten kanssa.

Tulos osoitti, että heidän tapansa viestiä tavoitti vain noin yhden prosentin väestöstä, lähinnä muita tiedemiehiä. Alan miesten ja naisten viestintä perustui pääasiassa loogiseen analyysiin, tieteellisiin lakeihin, totuuteen ja oikeudenmukaisuuteen, vähemmässä määrin vaihtoon, kekseliäisyyteen, teorioihin ja malleihin. Heidän mielestään uskottavuuden määräävät tekijät olivat tieteellinen pätevyys, koulutus, tieteellisten julkaisujen määrä, ammatillinen laillistuskirja, työkokemus ja tekninen tieto.

Yleisö sitävastoin määritteli uskottavuuden aivan toisin perustein: he kaipaivat inhimillistä, huolehtivaa, herkkää, avointa ihmistä, joka ymmärsi heidän huolestuneisuuttaan. 90 % uskottavuudesta määräytyi sen mukaan, kuinka lämpimästi, vilpittömästi ja eläytyvästi, empaattisesti, esiinnyimme, minkälaisen vaikutelman itsestämme annamme. Harvardin yliopistossa julkaistun tutkimuksen mukaan sanojen merkitys viestinnän onnistumisessa on vain 6-8 %; uskottavuus muodostuu lähes yksinomaan kehon viestinnästä, sanottakoon sitä sitten vaikka esittäjän karismaksi.

*”I don’t mind the facts. I am concerned!” Huolestunut fyysikko Euroopan fyysikkoseuran puheenjohtajalle ydinenergian tuotantoon liittyviä ongelmia koskevassa keskustelussa.*

Varmin tapa epäonnistua viestinnässä on olla epärehellinen. Tässäkin pätee **the truth, the whole truth and nothing but the truth**. Meilläkin esiintyy amerikkalaisen esikuvan mukaista henkeä: Älä usko virkamiestä: ellei hän suorastaan valehtele, ainakin hän peittelee. Tosi-asioissa on pysyttävä, asiaan vaikuttavat seikat on esitettävä, mitään lisäämättä, mitään poisjättämättä, olkoot ne sitten kyseisen tavoitteen kannalta positiivisia tai negatiivisia. Loppujen lopuksi niiden esittämistapa ratkaisee tuloksen. Kuuntelemalla yleisön kysymyksiä ja keskustelemalla sen kanssa pääsee varmemmin toivottuun tulokseen kuin luennoimalla.

*Kun Helsingin yliopiston biokemian laitos muutti Viikkiin, sen kellarikerrokseen, valtiotieteellisen tiedekunnan kirjaston alapuolelle, jäi entisen radiokemian laitoksen Co-60-säteilytyn. Tämä aiheutti kirjaston henkilökunnassa tava-tonta ahdistusta, lehtikirjoituksia ääriesimerkkinä ”Kymmenen vuoden kuluttua Suomessa ei ole yhtään sosiologia, kun kaikki ovat kuolleet säteilyyn”. Lopulta tapasimme kyseisessä tilassa kirjoittelijoiden kellokkaan kanssa. Esittelimme hänelle säteilytymen ja sen suojausrakenteet, tote-simme, että kyseisissä tiloissa oli toiminut kymmeniä vuosia työpaja ja vakuutimme, ettei yksikään sen työntekijöistä ollut kuollut syöpään. Lopuksi annoimme hänen itsensä vertailla tarkalla annosnopeusmittarilla säteilytasoja suoraan lähteen yläpuolella ympäristön säteilytasoon ja jätimme paikalle STUKin integroivan kokonaisannosmittarin joululoman ajaksi. Lopuksi pyysin häntä toimimaan meidän ja kirjaston henkilökunnan yhdysmiehenä ja vakuuttamaan työoverinsa siitä, ettei säteilytymen olemassaolosta ole heille vaaraa. Tähän hän suostui hieman epävarmana, osaako hän. Hän jopa keksi lieventävän asiahaaran: ”Tuossa yläpuolella ovat Leninin kootut teokset, eikä niitä juuri lainata.”*

## Maallikkojen kokemia erilaisia uhkatilanteita

B. Fischhoff, P. Slovic ja S. Lichtenstein tekivät uraauurtavaa työtä

1.

Uhkak on helpompi hyväksyä vapaaehtoisesti kuin pakon edessä. Ihmisiä suututtaa, jos heille ei anneta valinnan mahdollisuutta. Tällaisessa tilanteessa he rajoittavat huomionsa viranomaisten menettelyyn eivätkä itse aiheeseen, mikä päättyy lopulta riskin arvoimiseen merkittävästi suuremmaksi kuin se itse asiassa on.

2.

Riskit, jotka ovat yksilön omassa hallinnassa, hyväksytään helpommin kuin ne, joita viranomainen kontrolloi – aivan kuten jokainen tuntee olonsa turvallisemmaksi autossa ajajan kuin pelkääjän paikalla. Vastaavasti ihmiset tuntevat olonsa turvallisemmaksi sellaisten ympäristöuhkien suhteen, joissa he voivat itse tehdä jotakin, eivätkä vain luottaa hallituksen suojeleluun.

3.

Toiset riskit tunnustetaan "oikeudenmukaisiksi", toisia ei. Pakotettu riskinotto koetaan aina epäoikeudenmukaiseksi. Tämä selittää osaltaan, miksi yhteisö, joka on riippuvainen paikkakunnalla toimivasta teollisuudesta, ei pidä tämän aiheuttamaa ilman tai veden saastumista erityisenä uhkana. "Se on rahan haju." On jotenkin nurinkurista, mutta edellä sanotun valossa ymmärrettävää, että juuri yritys arvioida säteilylle alttiiksi joutumisesta koituvia haittoja ja tuoda ne julkisen keskustelun kohteeksi on ollut nostamassa esteitä säteilyn hyödyksikäytölle, vaikka samanaikaisesti monet ilmeisen vaaralliset mutta huomommin tunnetut tai äänekäämmin puolustetut työ- ja elinympäristössä vaikuttavat vaaratekijät hyväksytään keskustelutta. Säteilyturvakeskuksen entinen osastopäällikkö Olli Paakkola lausui Helsingin yliopiston laboratoriohenkilökunnan koulutustilaisuudessa: "Jos PVC olisi aikanaan otettu käyttöön sienipilven alla, siitä aiheutuvat ympäristöriskit olisi otettu vakavasti huomioon jo vuosia sitten."

4.

Luotettavan lähteen jakama riski-informaatio uskotaan helpommin kuin epäluotettavasta lähteestä peräisin oleva (lähteiden luotettavuudesta ks. edellä ollutta tilastoa).

5.

Riskejä, joita pidetään eettisesti arveluttavina, pidetään pahempina kuin ne todellisuudessa ovat. Ympäristön saastuttamista pidetään moraalisesti vääränä. USAn ympäristönsuojeluhallinnon (EPA) virkailija muisteli, kuinka jotkut hänen kuulijoistaan suhtautuivat hänen käyttämänsä termiin "hyväksyttävissä oleva päästö-

taso" aivan kuin hän olisi määritellyt "hyväksyttävissä olevan lapsenraiskaajien lukumäärän".

6.

Luonnosta aiheutuvat riskit hyväksytään helpommin kuin ihmisen toiminnan tuloksena olevat riskit; eihän edellisille mitään voi. Mitä siitä, jos asunnon hengitysilmassa onkin radonia, mutta sitä ei voi hyväksyä, että sitä on uraanikaivosjätteessä.

7.

Oudot riskit arvioidaan vaarallisemmiksi kuin tutut arkipäivän riskit.

Yhdysvaltalainen tutkija Bernard L. Cohen selvitti 1975, kuinka paljon (amerikkalainen) yhteiskunta oli valmis uhraamaan varoja onnettomuuksien ja sairauksien torjuntaan yhtä vältettyä kuolemantapausta kohti. Tutkimuksen kohteena olivat lääkinälliset seulontatutkimukset ja hoito-ohjelmat, auton ja liikenneväylien turvallisuutta lisäävät toimet, kehitysmaiden ruoka-apuohjelmat, ilman saasteiden valvonta, palosuojelu, teollisuuden työturvallisuus ja joukko toimia, joiden yhteydessä ihmisiä joutuu alttiiksi ionisoivalle säteilylle, kuten radonpitoisen pohjaveden käyttö juomavetenä ja erilaisten ydinlaitosten jätteiden käsittely. Tulokseksi saatiin lukuja, jotka vaihtelivat muutamasta tuhannesta dollarista satoihin miljooniin yhtä vältettyä kuolemantapausta kohti, siten, että mitä yleisempi kuolemansyy, sitä vähemmän ollaan valmiita uhraamaan. Ylivoimaisesti suurimmat summat oltiin valmiit käyttämään radioaktiivisten jätteiden oletettujen vaarojen torjuntaan.

Ylimoitetuista suojelutoimista voidaan kuitenkin joutua maksamaan sekä tarpeettoman suurina kustannuksina että esimerkiksi säteilyn käytön aiheuttamana välttelynä. Pääinvastoin, tämä saattaa vaarantaa ihmisten terveyden ja hyvinvoinnin.

8.

Riskit, jotka tuovat mieleen aikaisempia epämiellyttäviä tapahtumia, ovat vaikeasti hyväksyttävissä. Tästähän on säteilyturvallisusalalla runsaasti esimerkkejä, pahimpina Hiroshima, Three Mile Island ja Tshernobyl.

### Lisää aiheesta:

Caron Chess, Billie Jo Hance, and Peter M. Sandman: *Improving Dialogue with Communities. A Short Guide for Government Risk Communication. Division of Science and Research, New Jersey Department of Environmental Protection (1988)*

Nigel Hawkey: *Reporting risk: how the media do it. Nuclear Europe Worldscan 1-2 (1999)*

FL Olli J. Marttila  
Laboratorioinsinööri  
Fysiikan laitos  
Helsingin yliopisto  
olli.marttila@kolumbus.fi



# Säteilyn mittaaminen ja kulkeutumisen mallintaminen sekä ympäristövaikutusten arviointi

*VTT:ssä on monipuoliset tutkimusvalmiudet säteilyn kulkeutumisen, radioaktiivisten aineiden käyttäytymisen ja säteilyannosten ja ympäristöseurausten tutkimiseen sekä mallintamalla että kokeellisesti. Sovellusalueita ovat muun muassa reaktoripaineastian säteilyhaurastumisen analysointi, radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen ydinvoimalaitoksessa onnettomuuksien yhteydessä, ympäristöön vapautuvien radioaktiivisten aineiden määrien arviointi sekä päästöjen ilmakehässä ja muussa biosfäärissä tapahtuvan leviämisen ja aiheutuvan säteilyaltistuksen ja terveysvaikutusten laskennallinen arviointi. Ulkoisen säteilyn mittauksin ja näytteiden analysointiin perustuen voidaan tukea myös ydinsulkusopimuksen noudattamisen viranomaisvalvontaa.*

**R**adioaktiivisten aineiden käyttäytymisen sekä säteilyn leviämisen/vaimenemisen ja vaikutusten tunteminen ovat keskeisiä kysymyksiä ydinvoiman käytön ja ydinjätehuollon turvallisuudelle. Vaikka reaktorin pysäyttämisen jälkeen ydinhalkeamisten lämmöntuotto päättyy, polttoaineessa olevien aineiden radioaktiivinen hajoaminen jatkuu ja näin syntyvä jälkilämpö voi ylikuumentaa polttoainetta ja jopa johtaa sen sulamiseen ellei muodostuvaa lämpöä voida siirtää edelleen reaktorin jäähdytyskiertoon.

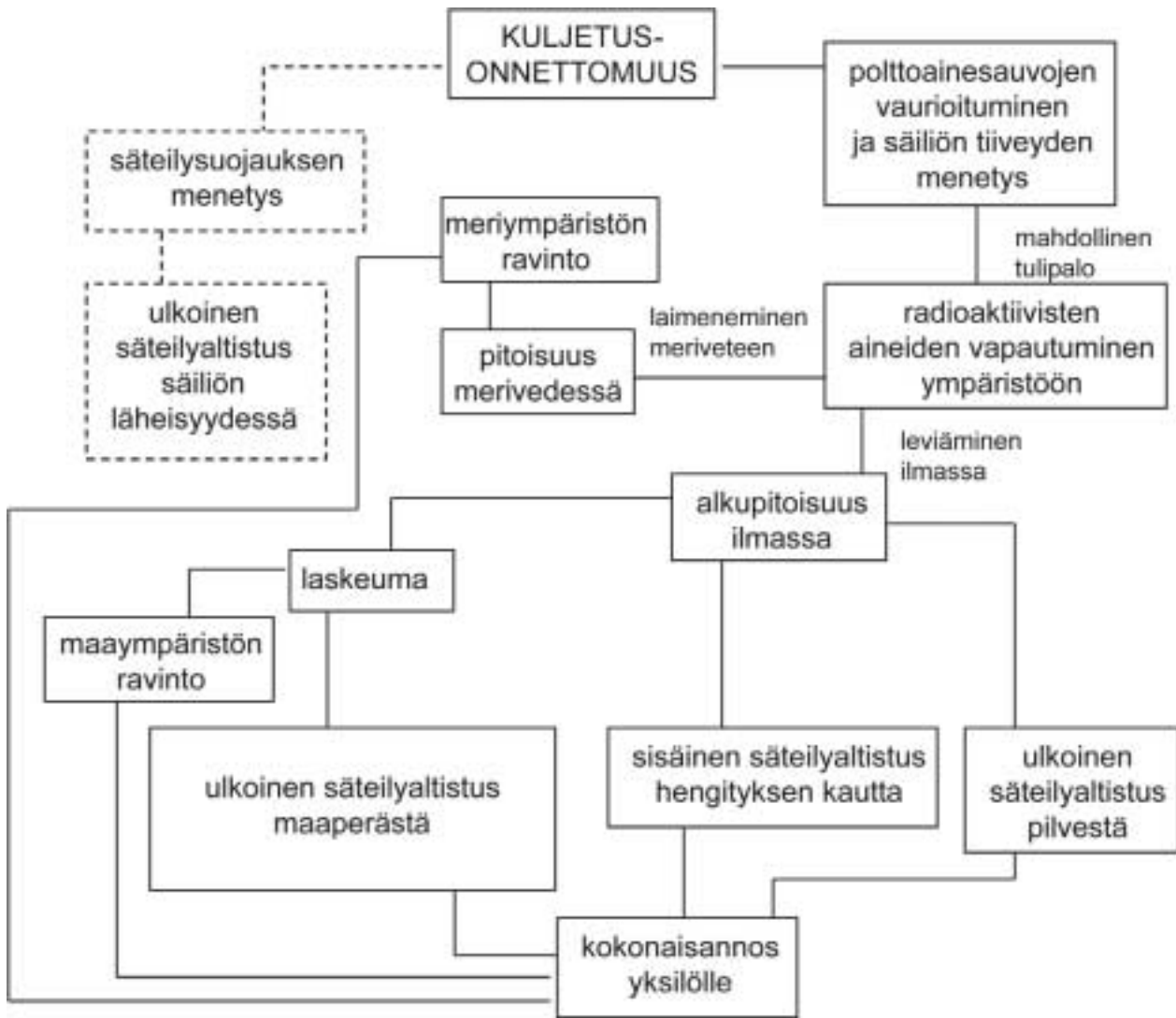
## Säteilyn vaikutus reaktorin ja ydinvoimalan materiaaleihin

Käyttöturvallisuudelle on tärkeää reaktorin painesäiliön säteilyannoksen ja aiheutuvien materiaalien lujuusominaisuuksien muuttumisen seuranta. Säteilyannoksen määrittämisessä käytetään hy-

väksi sekä näytemateriaalien gammasäteilymittauksia että neutronidosimetrisia malleja. Mittauksiin ja mallinnukseen nojautuen voidaan arvioida myös reaktoria ympäröivien betonirakenteiden aktivoitumista, millä on tärkeä merkitys arvioitaessa laitoksen purkujätteiden määrää ja aktiivisuutta. Neutronien ja muiden säteilylajien materiaaleissa kulkeutumista kuvaavaa VTT:llä kehitettyä mallia MultiTrans käytetään reaktorisovellusten ohella myös neutronien aiheuttaman säteilyannoksen arviointiin VTT:n tutkimusreaktorilla tehtävien aikovkasvainten hoitokokeiden tarpeisiin.

## Radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen jäähdytyspiireissä ja suojarakennuksessa

Reaktorin primääripiirin putkistojen pinnoille kertyvien aktivoituneiden korroosiotuotteiden määrän ja sen myötä käyt-



töhenkilökunnan huoltotöissä saamien säteilyannosten hallinta on riippuvainen jäähdytysveden kemiallisten olosuhteiden onnistuneesta hallinnasta. Hallintaa tukevat gammaspektrometriset mittaukset huoltoseisokkien aikana sekä radionuklidien käyttäytymistä primäärijäähdytyspiirissä kuvaavien mallien käyttö.

Radionuklidien, erityisesti jodin ja telluurin, käyttäytymistä vakavien onnettomuuksien olosuhteissa selvitetään kokeellisesti. Jodipäästöjen vähentämiseksi on Olkiluodon laitoksella käytössä VTT:n tutkimuksiin perustuva suojarakennuksen jäähdytyslaitaiden pH:n säätöjärjestelmä, jolla voidaan pidättää epäorgaanista jodia ja hillitä orgaanisen

jodin muodostumista. Jodin reagoiessa orgaanisten materiaalien kanssa syntyy metyylijodia, jonka pidättämistä suodattimilla tutkitaan kokeellisesti.

## Ydinjätteiden ja loppusijoituksen vapautumisesteiden ominaisuudet

Jätepakkausten inventaarien ainetta rikkomattomaan tarkastukseen gammasäteilymittauksin on kehitetty menetelmiä, joita on sovellettu kookkaisiin metallijätteitä sisältäviin pakkauksiin EU:n tutkimusprojektissa. Pohjoismaisessa tutkimusprojektissa mittausten menetelmiä sovellettiin metalliromujen mahdollisesti si-

sältämien radioaktiivisten aineiden mittaamiseen

Ydinjätteiden ja erityisesti runsasaktiivisen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden varmistamisessa teknisillä vapautumisesteillä on tärkeä merkitys. Näitä vapautumisesteitä ovat itse jätetuote eli  $UO_2$ -polttoainematriisi, rauta-kuparikapseli, bentoniitti-täyteaine ja lähialueen kallio-perä. Radioaktiivisten aineiden liukene- mista tai muuta vapautumista jätetuotteesta sekä kulkeutumista vapautumisesteiden läpi selvitetään laboratorioissa tehtävin kokein. Mittaukset edellyttävät sekä radiokemiallista näytteiden valmistelua että säteilymittauksia. Mittaustu-

loksia hyödynnetään eri osailmiöitä kuvaavien laskentamallien kelpoistamiseen.

## Radioaktiivisten aineiden leviäminen ympäristössä ja säteilyaltistuksen arviointi

Pelkästään päästömäärien perusteella ei voida arvioida päästöjen merkitystä ympäristöseurausten kannalta. Säteilyaltistuksen suuruuteen vaikuttaa monimutkainen ketju eri osailmiöitä. Ilmakehään vapautuvien radioaktiivisten aineiden aiheuttamien terveyshaittojen ja ympäristön pitkäaikaisen saastumisen arvioinnissa tarvitaan seuraavien osavaiheiden mallintamista:

- päästöjen lähde-termi eli päästömäärät, päästön alkuperä ja kesto sekä päästökorkeus on arvioitava

- päästöjen leviäminen ilmakehässä erilaisissa sääolosuhteissa ottaen huomioon tuulen nopeus ja suunta, sateen esiintyminen sekä säätilanteessa esiintyvä pysty- ja vaakasuuntainen turbulenssi (stabiilius), mistä määräytyy päästövan dispersio

- säteilyaltistuksen arviointi eri altitusreittien kautta eli ulkoinen annos päästöpilvestä, pilven sisältämien aineiden joutuminen kehon sisään hengityksen kautta, kuivan tai kostean laskeuman kautta maanpinnalle joutuneista radioaktiivisista aineista aiheutuva ulkoinen annos sekä laskeumasta elintarvikeketjujen kautta ihmiskehoon joutuvien aineiden aiheuttama sisäinen säteilyaltistus

- säteilyaltistuksen lopullista määrää arvioitaessa on otettava huomioon seuraavia lievittämään pyrkivien vastatoimenpiteiden vaikutus

- aiheutuvien terveysvaikutusten ja taloudellisten vahinkojen suuruuteen vaikuttaa oleellisesti tarkastellun ydinlaitoksen ympäristössä asuvan väestön ja elinkeinotoimintojen paikallinen jakautuma.

Laskeumasta eri elintarvikeketjujen kautta kertyvää säteilyannosta arvioitaessa on otettava huomioon varsin monimutkainen toisiinsa kytkeytyvien biosfää-

rin osa-alueiden yhdistelmä. Malleissa kuvataan eri osa-alueiden välillä tapahtuvia ainevirtoja. Lopputuloksina ovat ihmisten kehoon ravinnon mukana joutuvien radioaktiivisten aineiden määrä ja niistä aiheutuva säteilyaltistus. Radioekologisissa malleissa voidaan kuvata sekä maa- että vesiympäristöissä tai niiden yhdistelmissä tapahtuvaa kulkeutumista. VTT:ssä kehitetty biosfäärikulkeutumismalli (DETRA) on toimitettu myös Säteilyturvakeskuksen käyttöön.

VTT:ssä on kehitetty yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen kanssa useita laskentamalleja, joilla voidaan arvioida ilmakehään tapahtuvien päästöjen seurauksia. Kehitystyön ensimmäisenä tuloksena valmistui jo 1970-luvun puolivälissä ARANO-malli. Se on todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin (PSA) kolmannen vaiheen eli ympäristöseurausten arviointiin tarkoitettu laskentamalli, jonka lähtötietoina käytetään onnettomuustilanteiden aiheuttamien päästöjen suuruuksia ja todennäköisyyksiä sekä eri säätilanteiden esiintymisen tilastoja.

Seuraavana kehityssuuntana oli päästöjen kaukokulkeutumista kuvaavien leviämisen- ja annoslaskentamallien kehitys. Jo ennen Tshernobylin onnettomuutta kehitettiin TRADOS-malli, jota sovellettiin onnettomuudessa vapautuneiden päästöjen leviämisen ja annosten simulointiin jälkikäteen. Vuonna 2003 saatiin päätökseen uusimman leviämisen- ja annoslaskentamallin SILAM selainpohjainen käyttöliittymä. Kyseinen malli on sekä kehittäjien (VTT ja IL) että STUK:n käytössä. Käyttöliittymältään yksinkertaisempi, SILAM-mallin leviämisosan tuloksia hyödyntävä VALMA-malli on niinkään STUK:n käytössä.

## Ydinsulkuvalvontaa tukevat mittaukset

Väkevöidyn uraanin ja plutoniumin leviämistä luvattomiin käyttötarkoituksiin pyritään ehkäisemään IAEA:n ja Euratomin koordinoimana toteutettavalla ydinsulkuvalvonnalla. Sen käytännön toteut-

tamiseen tarvittavia mittausten menetelmiä on kehitetty VTT:ssä. Mittaukset voivat perustua ensinnäkin gammaspektrometrisin mittauksiin toteutettaviin polttoainemäärien kirjanpidon paikkansapitävyyden tarkistuksiin. VTT osallistuu yhdessä STUK:n ja HYRL:n kanssa osana kansainvälistä valvontalaboratorioiden verkostoa IAEA:n valvottavilta laitoksilta keräämien pyyhkäisyntytteiden analysoimiseen. Lisäksi laboratoriot osallistuvat salaisen toiminnan paljastamiseen tähtäävien aerosolien keräämiseen ja analysointiin perustuvien valvontamenetelmien kehittämiseen.

■

Tkt Seppo Vuori  
Tutkimuspäällikkö  
VTT Prosessit  
seppo.vuori@vtt.fi





# Ydinkoekiellon valvontaa suomalaismenetelmillä

*Määrätietoisia neuvotteluja kattavasta ydinkoekieltosopimuksesta CTBT:stä (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty) käytiin 1990-luvulla ja syyskuussa 1996 päästiin sellaiseen yksimielisyyteen, että sopimus voitiin antaa maailman johtajien allekirjoitettavaksi. Jo allekirjoituksia ennen ja kasvavalla innostuksella niiden jälkeen kehitettiin valvontamenetelmiä, joilla pahojen poikien kiinnisaaminen saadaan riittävän uskottavaksi. Uskottava valvonta on ehdoton edellytys sopimuksen voimaantumiselle, joskaan ei ainoa. Tässä artikkelissa kerromme CTBT-valvonnan tekniikasta ja nimenomaan sen säteilymittauskomponentista suomalaisesta tutkijanäkökulmasta. Esitetyt mielipiteet eivät välttämättä edusta Suomen virallista kantaa.*



*Näkemyks CTBT:n valvonnasta. Seismologisten, hydroakustisten, infraääni- ja radionuklidiasemien verkostot lähettävät mittaustietonsa analysoitaviksi kansainväliseen tietokeskukseen sekä halukkaiden sopimusosapuolten kansallisiin tietokeskuksiin.  
(<http://www.pidc.org/pidc/visionbox/vision.html>)*

**A**tomiajan alkamisesta lähtien on ponnisteltu aseteknologian leviämisen rajoittamiseksi. Ensimmäisenä pommikokeensa aloittaneet Yhdysvallat,

Neuvostoliitto ja Iso-Britannia solmivat v. 1963 osittaisen ydinkoekieltosopimuksen (PTBT), joka kielsi koeräjäytykset ilmakehässä, avaruudessa ja veden alla, mutta säilytti maanalaiset testit sallittuina.

1960-luvun aikana Ranska ja Kiina liittyivät ydinasekerhon jäseniksi. Myös muilla mailla, mm. Intialla ja Pakistanilla, on ollut käynnissä enemmän tai vähemmän julkisia ydinaseohjelmia. Vuonna 1968 neuvoteltu ydinsulkusopimus NPT (Non-Proliferation Treaty) pyrki hillitsemään huolestuttavasti leviävää ydinuhkaa.

## Kattava ydinkoekiello saatiin neuvoteltua

Neuvottelut kattavasta ydinkoekiellosta saivat vauhtia 1990-luvun alussa viiden

etabloituneen ydinasevallan johdolla. Poliittisen väännön lisäksi tarvittiin teknistä vääntöä, sillä kattava ydinkoekiello edellyttää uskottavia valvontamenetelmiä. Neuvotteluissa päädyttiin seuraavan neljän toisiaan täydentävän teknologian käyttöön: seismologinen valvonta maa-alueilla, hydroakustinen valvonta valtamerialla sekä infraäänivalvonta ja radionuklidivalvonta ilmakehässä. Lisäksi positiivisen havainnon tapauksessa sopimusvaltioilla on oikeus vaatia epäiltyä valtiota alistumaan paikanpäällä suoritettavaan tarkastukseen, jolloin voidaan varmasti todeta onko sopimusrikkomus tapahtunut. Näillä eväillä sopimus saatiin neuvoteltua allekirjoituskuntoon syyskuussa 1996.

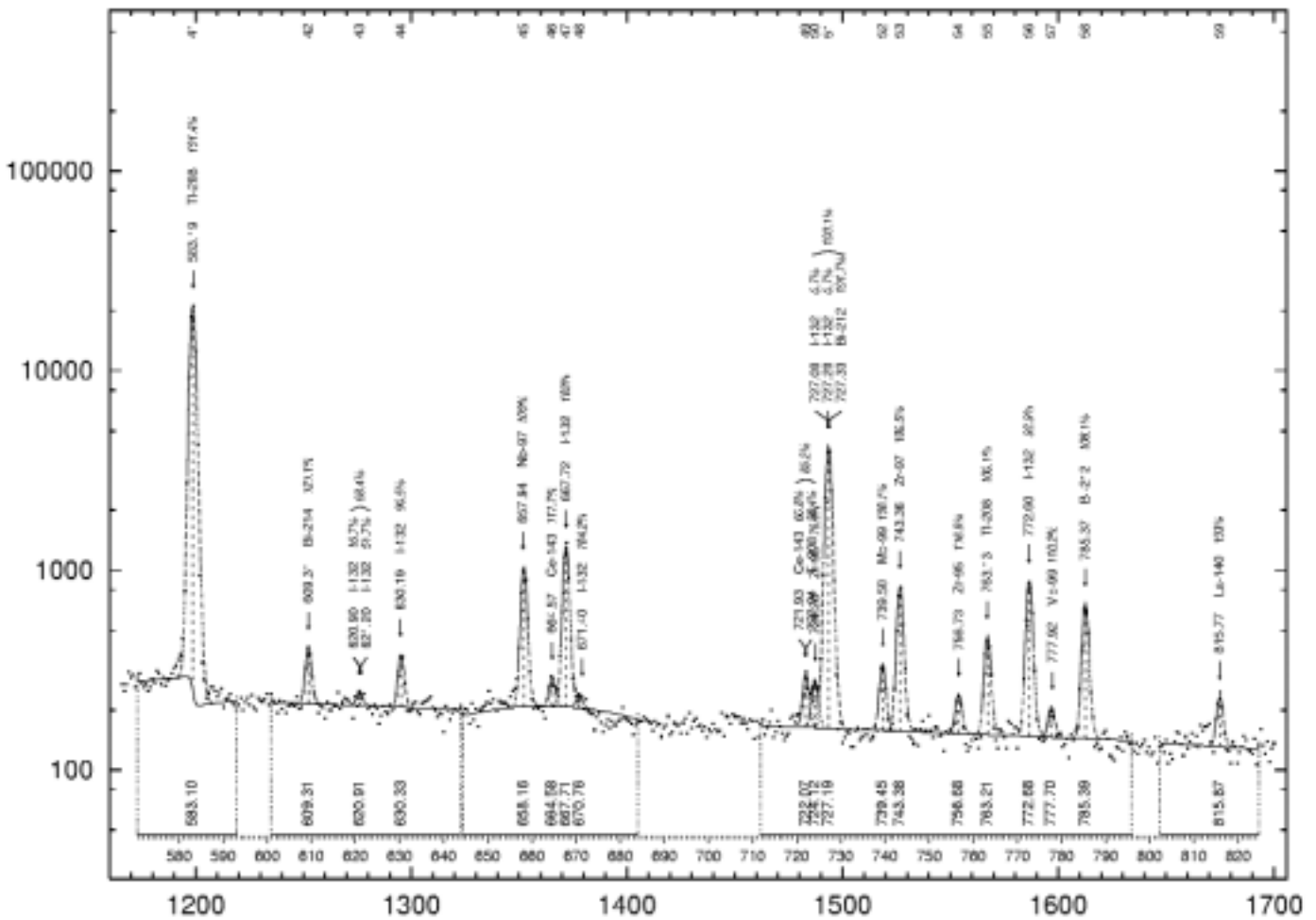
Vajaassa kahdeksassa vuodessa 171 valtiota on allekirjoittanut CTBT-sopimuksen ja 113 on ratifioinut sen. Tilanetta voi seurata YK:n alaisen valvontaorganisaatio CTBTO:n [www-sivuilta http://www.ctbto.org](http://www.ctbto.org). Sopimuksen voimaantulon edellytyksenä on, että sen ratifioivat 44 sopimuksessa listattua maata, joilla on todistetusti ydintekniikkaa hal-

lussaan. Tässä vaiheessa näistä maista 12 on edelleen mustalla listalla: Intia, Pakistan ja Pohjois-Korea eivät ole edes allekirjoittaneet sopimusta, ja mm. Yhdysvallat, Kiina ja Israel eivät ole sitä vielä ratifioineet.

Sopimuksen epävarmasta poliittisesta statuksesta huolimatta valmistelut valvontaverkon IMS:n (International Monitoring System) ja sen tuottamia mittaustuloksia analysoivan kansainvälisen tietokeskuksen IDC:n (International Data Centre) rakentamiseksi ovat olleet käynnissä vuodesta 1996 saakka. Valvontaverkoista seismisten asemien verkko on tässä vaiheessa kattavin, mutta muut ovat vielä vuosikausia työn alla. Kun verkosto saadaan aikanaan valmiiksi, se koostuu 170 seismisestä, 11 hydroakustisesta, 60 infraääni- ja 80 radionuklidiasemasta. Suomen alueella on yksi seisminen asema ja lisäksi STUK toimii radionuklidihavainto- ja varmistavana laboratoriona.

Radionuklidiverkosto voi vaikuttaa harvalta. Sen mitoitusperusteena on kuitenkin ollut, että missä tahansa tehty 1 ki-





Yksityiskohta ilmafiltterin gammaspektristä päästötilanteessa. Ulompi x-akseli esittää kanavaluvut, sisempi energiat keV:eissä. Jokaiselle piikille on esitetty Shamanin assosioima radionuklidi, sen gammaviivan energia ja prosenttiosuus piikistä.

lotonnia suurempi ydinräjäytys pystytään havaitsemaan kahden viikon sisällä jollakin verkon radionuklidiasemista. Asia on varmistettu tietokonesimulaatioilla.

## Radionuklidit = savuava ase

Keskitymme jatkossa radionuklidivalvontaan, joka on paitsi oma leipälajimme niin myös neljästä menetelmästä kahdessa mielessä erityisasemassa: ensinnäkin se valvoo samanaikaisesti maita, meriä ja ilmakehää ja toisekseen se kykenee antamaan peittämättömän sormenjäljen fissio- tai fuusioreaktioiden päästöistä. Useissa tapauksissa voidaan jopa erottaa ydinpommin päästöt ydinvoimalaitoksen

päästöstä, mutta esimerkiksi seisminen signaali voimakkaasta kemiallisesta räjähdyksestä on samanlainen kuin signaali ydinräjäytyksestä. Täten radionuklidisorven jälki on oleellinen kriteeri pääteltäessä onko ydinkoe tapahtunut.

Havaituista aktiivisuussuhteista laskeutuva ikäarvio ja ajassa taaksepäin suuntautuva kulkeumalasku paljastavat päästön todennäköisen aiheuttajan.

Radionuklidivalvonnassa käytetään kahta toisiaan täydentävää menetelmää: hiukkasten keräystä lasikuitusuodattimella ja kaasumaisten radionuklidien keräystä aktiivihiihtisuodattimella. Ensimmäinen menetelmä on käytössä kaikilla 80 asemalla, jälkimmäinen puolella niistä. Molempien menetelmien ensimmäise-

nä vaiheena on suuren ilmamäärän pumppaaminen suodatinmateriaalin läpi, hiukkaskeräimissä jopa 1000 m<sup>3</sup> tunnissa, ja viimeisenä vaiheena kerätyn näytteen gammaspektrin mittaaminen germanium-ilmalämpimellä. Osa kaasukeräimistä käyttää tosin toista menetelmää, beta-gamma-koinsidenssimittausta ja tuikeilmaisimia.

Näytteen keräyksen ja mittauksen välillä näytteen käsittely poikkeaa vaikeusasteeltaan hiukkaskeräimissä ja kaasukeräimissä. Kun hiukkaskeräimessä helpoimmillaan suodatin leikataan sopivaan määrään palasia, jotka robottikäsi siirtää päällekkäin mittaustastiaan, niin kaasunäyte vaatii huomattavan monimutkaista prosessointia, jotta fissiotuotteita edustavat xenon-

isotoopit saadaan eroteltua luonnon radon-isotoopeista.

Hiukkaskeräinten tekniikka on perinteisempää ja ne toimivatkin jo lähes 30 asemalla. Keräinasemien laatuvaatimukseksi on, että Ba-140:n havaitsemisraja on alle  $30 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ , mikä saavutetaan käyttämällä suurta ilmavirtausta ja nykyaikaista ilmaisinta.

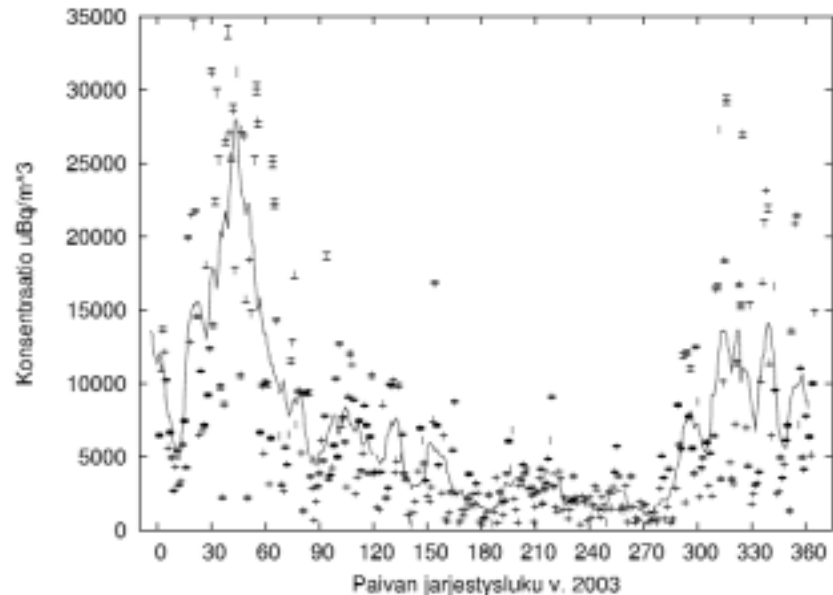
Alan osaamista on suomalaisella Senya Oy:llä (<http://www.senya.fi>), joka toimittaa huomattavan osan CTBT-valvontaverkon hiukkaskeräimistä. Sen sijaan kaasukeräinten osalta ollaan vasta tuotekehitysvaiheessa: useita vaihtoehtoisia ratkaisuja vertaillaan toisiinsa ja paras konsepti pyritään valitsemaan käyttöön.

## Analyysia putkessa

Hiukkaset mittavat tyypillisesti 13 gammaspektriä päivässä, kaasukeräimet hiukan vähemmän, mutta tämä tietää reilun tuhannen gammaspektrin päivittäistä analyysitarvetta siinä vaiheessa, kun valvontaverkosto on valmis. Niinpä automaattisten analyysimenetelmien kehittämisellä on ollut suuri painoarvo. Tavoitteena on saada mittaustulokset analyysiputken läpi siten, että ihmisen tarkasteltaviksi jäävät vain epäilyttävät tapaukset.

Epäilyttäviä tapauksia CTBT-mielessä ovat ne näytteet, joissa havaitaan fisio- tai aktivointituotteita. Normaali-lanteessa tällaisia havaintoja on harvoin, joka kymmenennessä spektrissä. Tämä johtuu enimmäkseen vanhojen laskeumien Cs-137:stä, ydinlaitosten ja sairaaloiden normaalipäästöistä (I-131 ja Tc-99M), puolittain luonnollisesta Na-24:stä sekä kalibrointilähteistä, joita joskus säilytetään turhan lähellä detektoria. Analyysiputki ei siis voi saada tarvittavan ihmistyön määrää nolleen, mutta huomattavaa säästöä on kuitenkin saavutettavissa.

Analyysiputkea radionuklidimittauksille alettiin kehittää Washington DC:n lähistöllä sijainneessa prototyyppi-



*Esimerkki Pb-212:n konsentraation kausivaihtelusta erällä CTBT-valvonta-asemalla v. 2003. Pisteillä on esitetty päivittäinen konsentraatio ( $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ) ja viivalla liukuva 10 päivän keskiarvo*

IDC:ssä vuonna 1995. Putken kehitys on jatkunut näihin päiviin asti ja se prosessoiki nykyisellään varsin luotettavasti IMS-verkon tuottaman radionukliditiedon. Erityisen paljon työtä on panostettu analyysitiedon tallentamiseksi relaatio-tietokantaan, josta voidaan hakea tietoa halutuilla kriteereillä vuosien ja jopa vuosikymmenien päästä.

## Suomalainen ulottuvuus

Hiukkaskeräinspektrien analyysista on Suomessa vankkaa osaamista: STUK on operoinut kansallista valvontaverkosta ja kehittänyt siihen liittyviä analyysimenetelmiä. Toisaalta Teknillisessä korkeakoulussa on jo vuosikymmenten ajan tutkittu gammaspektrien analyysimetodologiaa, minkä tutkimuksen tuloksena ovat syntyneet Sampo- ja Shaman-ohjelmistot. Suomalaista tietotaitoa on mm. Ulkoministeriön tuella viety prototyyppi-IDC:hen vuosina 1996-97, jolloin yksi kirjoittajista (JAH) integroi Shaman-ohjelmiston IDC-analyysiputkeen. Toinen kirjoittajista (TH) asensi Shamanin Wienissä sijaitsevaan varsinaiseen IDC:hen

vuonna 1998. Kytkeä on sittemminkin ylläpidetty IDC-analyysiohjelmiston päivitysten yhteydessä.

Prototyyppi-IDC:ssä tehdyn projektin loppuraportista käy selkeästi esille, että Shaman tuottaa amerikkalaista analyysiputkea luotettavampia tuloksia. Tästä huolimatta CTBTO on pysytellyt amerikkalaisen ohjelmiston käytössä perusanalyysissaan ja käyttää Shamania vain hankalimpien tapausten selvittämiseen.

Vuonna 1999 Suomi käynnisti kansallisen tietokeskuksen FiNDC:n, joka toimii itsenäisenä yksikkönä STUK:n tiloissa. FiNDC on keskittynyt radionuklidimittausten analyysiin, jota varten on rakennettu oma analyysiputkensa suomalaisista ohjelmistokomponenteista: spektrien piikkianalyysiin käytetään Sampo-perheen tuoreinta jäsentä UniSampoa ja radionuklidien tunnistukseen Shaman-asiantuntijajärjestelmää.

Sekä UniSampo ja Shaman ovat pitkälti konfiguroitavissa ja ohjelmien parametreja onkin optimoitu FiNDC:n kanssa yhteistyönä nimenomaan tähän sovellukseen sopiviksi. Tähän mennessä FiNDC:n analyysiputki on prosessoinut

200 000 spektriä ja muuta CTBT-viestiä. Analyysiputki on osoittanut toimivuutensa ja toisaalta joustavuutensa: ohjelmistopäivitykset ovat kehitysvaiheessa olleet tarpeen ja ne ovat hoituneet tyyppilisesti puolen tunnin putkikatkoilla.

Sivuhuomautuksena voidaan todeta, että vastaava analyysiputki voidaan rakentaa UniSampo- ja Shaman-ohjelmistoista myös muihin sovelluksiin, joissa käytetään gammaspektrometriaa näyteanalyysiin. Niissä on myös graafiset käyttöliittymät interaktiivista analyysia varten.

## Suomalaisilla tekniikka hallussa

FiNDC vertaili analyysiputkensa toimintaa IDC:n vastaavaan vuonna 2001. Vertailussa käytettiin noin 1500 spektrin joukkoa ja tulokset julkaistiin raportissa STUK-YTO-TR 180. Tiivistettynä voidaan todeta, että FiNDC:n analyyseissa spektreistä löytyy merkittävästi enemmän piikkejä, mikä on UniSampon kehittyneemmän piikinetsinnän ja -sovituksen ansiota, ja toisaalta FiNDC:n analyysiputki jättää merkittävästi pienemmän määrän piikkejä selittämättä, mikä johtuu Shamanin kehittyneemmästä nukliditunnistusmetodiikasta.

FiNDC-IDC-vertailussa käytetyssä spektrijoukossa FiNDC:n paremmuus käy ilmi seuraavista luvuista:

- IDC löysi keskimäärin 44,7 piikkiä per spektri ja selitti niistä 41,3 piikkiä. Selittämättä jäi 3,4 piikkiä per spektri.
- FiNDC löysi keskimäärin 48,9 piikkiä per spektri ja selitti niistä 46,9 piikkiä. Selittämättä jäi 2,0 piikkiä per spektri.

Ero ei välttämättä tunnu kovin suurelta, mutta kun päivittäin analysoidaan 1 000 spektriä, ero selittämättömien piikkien lukumäärässä nousee merkittäväksi, kun jokainen tunnistamaton piikki joudutaan jälkianalyysissä assosioimaan käsin. Lisäksi FiNDC:n löytämien lisäpiikkien joukossa saattaa olla valvonnan kannalta oleellisia piikkejä, joiden ha-

vaitseminen jää IDC:ssä analyysihenkilökunnan vastuulle.

Tuorein vertailu IDC:n ja FiNDC:n analyysiputkien välillä on tekeillä toukuussa 2004. Siinä molemmat osapuolet tarkistavat analyysiputkiensa tuloksia muitakin kuin luonnonnuklidien piikkejä sisältävien spektrien osalta. Alustavat tulokset osoittavat, että FiNDC tekee CTBT-valvonnan kannalta relevanttien nuklidien oikeita havaintoja noin 20 % enemmän kuin IDC. Kaikki näistä havainnoista selittyvät luonnollisilla syillä, kun ydinräjäytyksiä tai reaktorionnettomuuksia ei uskoaksemme ole mittaussyksyllä tapahtunut, mutta tästä voidaan suoraan päätellä analyysiputkien herkkyys ei-toivotussa tositilanteessa.

## Mitäs jos ydinkokeita ei tehdä?

Kallis valvontaverkosto voi joidenkin mielestä tuntua turhalta investoinnilta, jos se ei vuosikymmentenkään käytön aikana havaitse mitään CTBT-sopimuksen kieltämää aktiviteettia. On kuitenkin hyvä muistaa, että valvontaverkoston päärooli on sopimusrikkomusten ennaltaehkäisy ja sen voitaneen katsoa täytäneen tehtävänsä nimenomaan, jollei se ole loppujen lopuksi mitään havainnutkaan.

Valvontaverkoston sivutuotteena saadaan silloin, kun mitään ei havaita, kerättyä mielenkiintoista mittaustietoa myös muihin kuin CTBT-valvontatehtäviin. Maailman seismologit saavat IMS:n seismiset mittaustulokset käyttöönsä ja voivat niiden avulla kehittää maanjäristysmallejaan.

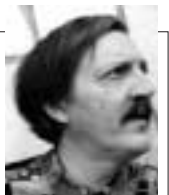
Radionuklidiasemien hiukkaskeräinten avulla puolestaan saadaan mitattua koko maapallon säteilytaustaa vuosikausien ajan. Esimerkiksi eri radionuklidien vuodenaikakäytöstä voidaan analysoida vuosien aikasarjoista. Niin ikään hiukkaskeräinten suodattimiin kertyy siitepölyä ja hyönteisiä. Biologit voivat aikaan tehdä yllättäviä löydöksiä arkistoiduista suodatinnäytteistä.

## Jatkoa seuraa

Työtä CTBT-sopimuksen ja siihen liittyvän valvontaverkoston luomiseksi on tehty pian kymmenen vuotta. Tämänhetkinen suurpoliittinen ilmapiiri ei ehkä tunnu antavan paljon toivoa siitä, että sopimus astuisi lähiaikoina voimaan. Kaikesta huolimatta työ niin CTBT:ssä kuin eri maiden kansallisissa laboratorioissakin jatkuu entistä tehokkaamman havainnointijärjestelmän kehittämiseksi.

Tämän artikkelin kirjoittajien pääasiallinen mielenkiinto kohdistuu tieteellisiin seikkoihin, kun taas CTBT:hen liittyvät poliittiset kiemurat ovat diplomaattien ja poliitikkojen heiniä. Uskallamme kuitenkin olla optimisteja sen suhteen, että maailmanpoliittisten suhdanteiden muuttuessa tulemme tulevaisuudessa näkemään kaikkien osapuolten ratifioiman CTBT-sopimuksen. Tällöin on tärkeää, että valvontaverkko on valmiina käytettävissä mahdollisimman luotettavana ja tehokkaana.

TkT Pertti Aarnio  
Yli-insinööri  
Teknillinen fysiikka  
- Energiatieteet  
Teknillinen korkeakoulu  
pertti.aarnio@hut.fi



TkL Jarmo Ala-Heikkilä  
Assistentti  
Teknillinen fysiikka  
- Energiatieteet  
Teknillinen korkeakoulu  
jarmo.ala-heikkila@hut.fi



TkL Timo Hakulinen  
Tutkija  
CERN  
Timo.Hakulinen@cern.ch



# Uusia tuulia ilman radioaktiivisuusvalvonnassa

Säteilyturvakeskus (STUK) kehittää jatkuvasti ilman radioaktiivisten aineiden valvontaa. Näytteiden mittausergeometria on vakioitu ja optimoitu. Näyte- ja analyysitiedot tallennetaan relaatiotietokantaan, joka on laitteistoriippumaton ja vapaasti saatavilla. Kentällä tehtäviin mittauksiin STUK rakentaa liikkuvaa laboratoriota sekä tutkii mittausten tekoa miehittämättömistä ilma-aluksista. Alfasäteilyä lähettävien aineiden nopeaan havainnointiin ilmasta on kehitteillä menetelmä, jossa vältetään perinteinen kemiallinen näytteenkäsittely.



Liikkuva laboratorio Sonni. Näytteenotto-putket ovat auton etuosassa.

Säteilyturvakeskus valvoo ulkoilman radioaktiivisten aineiden aktiivisuuspitoisuutta kahdeksalla paikakunnalla eri puolella Suomea. Keinotekoisia radioaktiivisia aineita havaitaan noin 10 kertaa vuodessa – Tsernobylin onnettomuudesta peräisin olevaa  $^{137}\text{Cs}$ :ää kuitenkin säännöllisesti. Tyypillinen havaittu aktiivisuuspitoisuus on erittäin pieni, noin 1 mBq kuutiometrissä ilmaa. Poikkeustilanteissa, kuten mahdollisissa vakavissa reaktorionnettomuuksissa, pitoisuuden seurannalla on merkittävä rooli suojelutoimenpiteitä suunniteltaessa. Valvonnan yksi tarkoitus onkin ylläpitää valmiutta poikkeustilanteiden varalta.

Valvonta-asetilla näyte kerätään erityisillä hiukkaskerääjillä, joissa ilmaa pumpataan kymmeniä tuhansia kuutio-

metrejä suodattimen lävitse. Normaalisti suodattimesta analysoidaan näytettä tuhoamattomin menetelmin gammasäteilyä lähettävät aineet, mutta myös alfa- ja beetasäteilyä lähettävät aineet voidaan tarvittaessa määrittää. Näytettä tuhoamattomasta käsittelystä on suuri etu mahdollisten jatkoanalyysien kannalta. Menetelmän etuna on myös helppo näytteen jako osanäytteisiin. Mittauslaitteiston tehokkuuskalibraatio tehdään luonnonnuklideja ( $^7\text{Be}$ , radonin tyttäret) sekä Monte Carlo -simulointeja käyttäen.

Näytteen käsittely- ja analyysiketjussa syntyvä tieto tallennetaan relaatiotietokantaan nimeltä Linssi (LINux System for Spectral Information) [1]. Tietokannan etuina ovat mm. tulosten hyvä jäljitettävyyys, tiedonvaihdon helpottuminen Lins-

siä käyttävien laboratorioiden välillä sekä suurten tietomäärien helppo hallinta. Tieto Linssin ja spektrianalyysiohjelmiston (tai toisen laboratorion) välillä kulkee ASCII-tiedostojen kautta. Täten lähes mikä tahansa analyysiohjelmisto saadaan Linssi-yhteensopivaksi.

Linssin ytimen muodostavat rajattu joukko näytteeseen ja sen analyysiin liittyviä tauluja sekä työkalut, joilla tietoa syötetään. Kukin käyttäjä voi tarpeen mukaan lisätä tauluja ja kehittää omia raportointi- ja hallintatyökalujaan. Kantavana ajatuksena on, että käyttäjien tuottamat yleishyödylliset työkalut dokumentoineen ovat koko Linssi-yhteisön saatavilla. Linssi on vapaasti saatavilla kaikille rekisteröityneille käyttäjille.

## Liikkuva mittauskalusto toimii kiinteän valvontaverkon lisänä

Onnettomuustilanteissa kiinteästi ja harvaan sijoitetut valvonta-asetat eivät anna tietoa riittävän suurella paikka- ja aikatarkkuudella. Tästä syystä tarvitaan liikkuvalla kalustolla tehtäviä mittauksia. STUKin rakenteilla oleva liikkuva laboratorio Sonni (Sophisticated ON-site Nuclide Identification) kykenee tekemään säteilymittauksia ja keräämään aerosolinäytteitä sekä liikkeellä että paikallaan. Mittaus- ja näytetiedot yhdessä GPS-paikkatiedon kanssa tallennetaan Sonnin



Säteilytiedustelulaitteisto sijoitetaan Ranger-tiedustelulennokin normaalin kameravarustuksen tilalle. Lennokin siipiväli on 5,7 m, matkalentonopeus noin 150 km/h ja lentoaika 6 h.

omaan Linssi-tietokantaan, josta tiedot voidaan siirtää eteenpäin jatkokäsittelyä varten käyttäen GPRS- tai satelliittiyhteyttä. Sonnin suunnittelussa on kiinnitetty erityistä huomiota työturvallisuuteen työskennellessä radioaktiivisessa pilvestä tai laskeuma-alueella.

Ilman radioaktiivisten aineiden aktiivisuuspitoisuuden määrittämiseksi Sonnissa on kaksi kiinteää näytteenottoputkea, "sarvea". Lisäksi käytössä on kannettavia akkukäyttöisiä hiukkaskerääjiä. Näyte kerätään muovikehykseen laminoitulle suodattimelle, joka laitetaan mitaukseen sellaisenaan. Analysoitavista aineista riippuen näyte voidaan kerätä joko lasikuitu- tai kalvosuodattimelle. Kalvosuodatinta käytettäessä ilman pienhiukkaset eivät tunkeudu suodattimen sisään, jolloin alfasäteilyä lähettävien aineiden määräytyminen on mahdollista suoraan suodattimelta.

Ympäristöstä tulevan gammasäteilyn mittaukseen Sonnissa on kolme NaI-ilmaisinta ja HPGe-ilmaisinta. Näyttemittauksille on oma HPGe-ilmaisinta. Lisäksi käytössä on tyhjiökammio ja puolijohdeilmaisinta alfasäteilyä lähettävien aineiden mittaukseen. Ulkoisen säteilyn annosnopeutta mitataan Geiger-ilmaisimella. Sonni monitoroi myös ympäristöolosuhteita kuten lämpötilaa ja sadetta.

## Säteilyn havainnointi lennokeista

Mittaukset radioaktiivisten aineiden saastuttamilla alueilla ovat ongelmallisia laitteiston saastumisen ja mittaushenkilökunnan säteilyannosten vuoksi. Ongelma voi-

daan saastumisen osalta kiertää osin ja annosten osalta täysin käyttämällä säteilyn havainnointiin ja radioaktiivisten aineiden näytteenottoon miehittämättömiä lentäviä mittausalustoja, lennokkeja.

Puolustusvoimien tiedustelulennokkia varten on kehitetty säteilymittauslaitteiston prototyyppi [2]. Laitteistoa voidaan käyttää radioaktiivisia aineita sisältävän pilven kartoitukseen ja näytteenottoon pilvestä, laskeumakartoitukseen sekä piste-lähteiden etsimiseen.

Ulkoisen säteilyn annosnopeutta havainnoidaan Geiger-ilmaisimella. NaI (TI)-tuikeilmaisinta sekä näytteenottoyksikön sisään sijoitettua CZT-puolijohdeilmaisinta käytetään radioaktiivisten aineiden tunnistamiseen. Näytteenottoyksikössä on sekä hiukkas- että kaasusuodatin. Laitteistokokonaisuuteen kuuluu myös kamera, GPS-paikannin sekä ympäristön tilaa mittaavia antureita. Mittaustiedot välitetään lennokista tosiaikaisesti Virveviranomaisverkkon kautta. Laitteistoa voidaan tarvittaessa käyttää muillakin alustoilla, kuten autossa.

## Haastavaa alfaspektroskopiaa

Esimerkiksi ydinmateriaalivaraston tulipalossa, terroritoiminnassa tai köyhdytetyn uraanin käytössä ilmaan saattaa vapautua suuriakin määriä uraania ja transuraaneja. Transuraanit ovat hengitettynä erittäin säteilymyrkyllisiä.

Monet transuraanit ovat erittäin heikkoja gammasäteilijöitä eikä niiden havainnointi ympäristöstä onnistu yksinomaan gammasäteilyn havainnointiin tarkoitettuilla laitteilla. Perinteisesti ympä-

ristönäytteiden transuraanianalysit pohjautuvatkin kemialliseen näytteenkäsittelyyn ja alfaspektroskopiaan. Kemiallisia menetelmiä käytetään alfasäteilyä lähettävien aineiden erotteluun sekä erittäin ohuiden näytteiden valmistamiseen, joissa alfasäteilyn absorptio on vähäistä. Onnettomuustilanteessa kentällä tehtävä kemiallinen näytteenkäsittely on kuitenkin hankalaa ja liian hidasta.

Hiukkassuodattimen suora alfaspektroskopia ilman kemiallista näytteenkäsittelyä nopeuttaa huomattavasti aktiivisuuspitoisuuden arviointia. Menetelmää voidaan parhaiten käyttää silloin, kun hiukkasten koko on enintään muutamia mikrometrejä [3]. Valtaosa ilman pienhiukkasista on kooltaan tätä pienempiä. Tavoitteena on, että  $^{239,240}\text{Pu}$ :n aktiivisuuspitoisuus 0,1 Bq kuutiometrissä ilmaa havaittaisiin tunnissa. Menetelmä otetaan käyttöön liikkuvassa laboratorioissa Sonnissa.

[1] Linssi-kotisivu  
<http://www.hut.fi/Units/AES/projects/radphys/linssi/index.htm>

[2] P. Smolander, K. Kurvinen, R. Pöllänen, M. Kettunen, J. Lyytinen: Real time radiation surveillance equipment for the unmanned aerial vehicle Ranger. In: K. Laihia (ed). NBC 2003 Symposium on Nuclear, Biological and Chemical Threats - A Crisis Management Challenge, 15-18 June 2003, Jyväskylä, Finland. University of Jyväskylä, Department of Chemistry, research report No. 98, 56-60 (2003).

[3] T. Siiskonen, R. Pöllänen, Applied Radiation and Isotopes 60, 947-953 (2004).

FT Roy Pöllänen  
 Erikoistutkija  
 Tutkimus ja  
 ympäristövalvonta  
 Säteilyturvakeskus  
 roy.pollanen@stuk.fi



FT Teemu Siiskonen  
 Tutkija  
 Tutkimus ja  
 ympäristövalvonta  
 Säteilyturvakeskus  
 teemu.siiskonen@stuk.fi



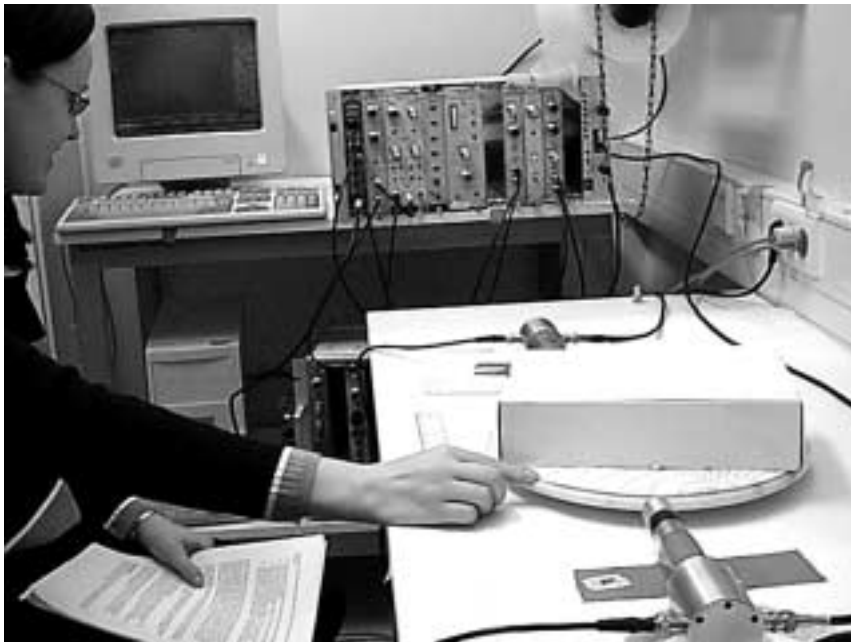


# Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio



*Helsingin yliopiston kemian laitoksen radiokemian laboratorio (HYRL) on Suomen yliopistoissa ainoa laaja-alaista radiokemian opetusta antava yksikkö. Se on myös maailmanlaajuisesti suurimpia yliopistollisia radiokemian laitoksia. Laboratorion perusti yli neljä vuosikymmentä sitten akateemikko **Jorma K. Miettinen**. Tuolloin, 1960-luvun alussa, tärkein tutkimustehtävä oli selvittää ilmakehässä tehtyjen ydinasekokeiden aiheuttaman laskeuman radioaktiivisten aineiden käyttäytymistä ympäristössä ja kulkeutumista ravintoketjuissa ihmisiin. Tärkein tutkittu ravintoketju oli jäkälästä poron kautta saamelaisiin kulkeva ketju, jossa tapahtui voimakasta radioaktiivisen cesiumin rikastumista. Tätä tutkimusta on jatkettu näihin päiviin asti: viimeksi kaksi vuotta sitten HYRL yhdessä Säteilyturvakeskuksen kanssa mittasi noin 150 saamelaisen kehon sisäiset radioaktiivisuuspiitoisuudet Ivalossa.*

*Kontrolloiduissa laboratorio-olosuhteissa tutkitaan veden virtausta jaradionuklidien kulkeutumista ja pidättymistä vaakasuuntaisessa luonnonraossa (0,9 m x 0,9 m) Kurun harmaagraniittiblokilla. Tavoitteena on selvittää tarkasti raon virtausominaisuudet ja ymmärtää pidättymistä aiheuttavien ilmiöiden (matriisidiffuusio, sorptio) vaikutukset ja kytkentä rakovirtaukseen ja rakokulkeutumiseen. Työtä tehdään yhteistyössä VTT/PRO:n kanssa. Kuvassa tutkija FT Pirkko Hölttä.*



Opiskelija Tiina Lipponen tekemässä "potilasmittausta"ydinspektrometria-kurssin PET-kameratyössä.

**R**adiokemian laboratorion antama opetus kattaa tärkeimmät radiokemian osa-alueet. Opetusta annetaan radioaktiivisuuden perusteista, säteilysuojelusta, radioaktiivisten aineiden kemiallisesta erottelusta ja mittaamisesta, radioaktiivisten merkkiaineiden käytöstä biotieteissä ja radiolääkeaineissa, ympäristön radioaktiivisuudesta, ydinpoltoainekierron kemiasta ja säteilykemiasta. Kurseja on kaiken kaikkiaan kaksitoista, joista seitsemässä on myös laboratorioharjoitustöitä. Kursien lisäksi opiskelijat tekevät maisterin tutkintoaan varten radiokemiassa myös kolmen kuukauden projektityön jossaakin laboratorion tutkimusryhmässä, pro gradu -tutkielman ja lopputentin. Vuosittain radiokemiasta valmistuu keskimäärin viisi maisteria. Laboratorio antaa opetusta myös muiden alojen opiskelijoille ja joillakin kursseilla on jopa 70 opiskelijaa. Viimeisen viiden vuoden aikana laboratorion valmistunut myös ennätysmäärä tohtoreita, 2-3 vuodessa. Valmistuvat maisterit ja tohtorit sijoittuvat moninaisesti tehtäviin: tutkijoiksi radiokemian laboratorioon, Säteilyturvakeskukseen, VTT:lle ja Turun PET-kes-

kukseen, asiantuntijoiksi ydinjätetehtäviin, ydinvoimalaitoksille ja radiolääkeaineiden valmistukseen ja käyttöön. Viimeisen kymmenen vuoden aikana kasvava joukko suomalaisia radiokemistejä on työllistynyt ulkomaille, mm. Kansainvälisen Atomienergiajärjestöön (IAEA) ja EU:n tutkimuslaitoksiin.

## Ydinjätetutkimus suurin tutkimusalue

Radiokemian laboratorion suurimmat tutkimusprojektit liittyvät ydinjätetutkimukseen. Laboratoriossa tehdään monipuolista tutkimusta radioaktiivisten aineiden kulkeutumisesta ja pidättymisestä kallioperässä käytetyn ydinpoltoaineen loppusijoituksen turvallisuuden selvittämiseksi. Tähän liittyen tutkitaan mm. kulkeutumista nykyolosuhteita vastaavissa olosuhteissa sekä jääkauden jälkeisten sulamisvesien mahdollista vaikutusta radioaktiivisten aineiden kulkeutumiseen loppusijoitustilasta. Laboratoriossa on kehitetty ainutlaatuinen kivien ja savien huokoisuuden ja huokosrakenteen määrittäminen, jossa huokokset täytetään radioaktiivisella hiilellä leimatulla muovilla ja huokoisuus sekä sen rakenne määritetään näytteessä olevan radioaktiivisuuden määrän ja jakautuman perusteella. Menetelmää on käytetty ydinjätteen loppusijoitushankkeiden yhteydessä monissa Euroopan maissa.

Toinen ydinjätteisiin liittyvä laaja tutkimusalue on ydinjäteliuosten puhdistaminen selektiivisillä epäorgaanisilla ioninvaihtimilla, mistä aiheesta on tässä lehdessä toinen artikkeli.

## Radiokemian laboratoriossa tuotettuja radiolääkeaineita käytetään ympäri Suomen

Radiokemian laboratorioon hankittiin 1990-luvun lopulla syklotroni, jolla tuotetaan lyhytikäisiä radioaktiivisia aineita, ennen kaikkea fluorin isotooppia  $^{18}\text{F}$ . Laboratorion tiloissa toimii myös radiolääkeaineyhtiö MAP Medical Technologies,



joka valmistaa  $^{18}\text{F}$ -leimattua sokerianalogia, FDG:tä, jota nyttemmin käytetään jo kahdeksassa suomalaisessa sairaalassa säännöllisesti erityisesti syöpäkuvantamisessa. Radiokemian laboratoriossa kehitetään myös uusia radiolääkkeitä yhteistyössä MAP:n, Helsingin yliopistollisen keskussairaalan ja Turun PET-keskuksen kanssa.

## Ympäristötutkimus edelleen voimissaan

1960-luvulla aloitetut radioaktiivisten aineiden ympäristötutkimukset Suomen Lapissa jatkuvat edelleen tavoitteenaan selvittää radioaktiivisten aineiden pitkäaikaiskäyttäytymistä metsäympäristössä. Radiokemian laboratoriossa tutkitaan myös Kuolan alueen raskasmetallisaastutuksen käyttäytymistä vesiympäristössä sekä osallistutaan IAEA:n järjestämään Kazakhanissa sijaitsevan entisen Semipalatinskin ydinkoealueen radiologiseen kartoitukseen. Lisäksi laboratorio on mukana Finnish Nuclear Verification (FINUVE) -ryhmässä yhdessä VTT:n ja STUK:n kanssa. FINUVE tarjoaa analyttisiä palveluja IAEA:lle mm. ilmoittamattomien ydintoimintojen havaitsemiseen ympäristönäytteistä.

## Elintarvikkeiden säteilytys havaitaan valosta

Radiokemian laboratoriossa on kehitetty menetelmä elintarvikkeiden säteilytyksen havaitsemiseksi. Siinä huuhdotaan esim. mausteiden pinnalta hienoa mineraalainesta. Mineraalista lähtee lämmitettäessä valoa, jota havaitaan termoluminesenssilaitteella. Mikäli elintarviketta on säteilytetty, on siinä oleva mineraalaines varastoinut kidehilaansa energiaa, joka purkautuu valona. Säteilytetyn mineraalin luminesenssin lämpötilajakautuma eroaa selvästi säteilyttämättömän aineen jakaumasta ja näin elintarvikkeen säteilytys voidaan luotettavasti havaita. Radiokemian laboratorio tekee Tullila-



*Radiokemian laboratorion kompakti 10 MeV:n protoni- / 5MeV:n deuteronikiihdytin. Vierellä yli-insinööri FT Kerttuli Helariutta joka vastaa syklotronin käytöstä.*

laboriolle toista sataa tällaista analyysiä vuodessa.

## Henkilökuntaa kaksikymmentäkolme

Radiokemian laboratoriossa työskentelee professorin lisäksi kaksi yliopistonlehtoria, yksi assistentti, kaksi laboratorioinsinööriä, sihteeri ja laboratorioteknikko. Näiden budjettirahoilla palkattujen lisäksi laboratoriossa on viisitoista tutkijaa ulkopuolisen rahoituksen turvin. Rahoituksen lähteitä ovat ydinvoimateollisuus, TEKES, Suomen Akatemia, Kauppa- ja teollisuusministeriö ja säätiöt. Ilman ulkopuolista rahoitusta tutkimustoiminta ei olisi lainkaan mahdollista, sillä budjettirahoitus kattaa vain virkahenkilökunnan palkat.

FT Jukka Lehto  
Professori  
Radiokemian laboratorio  
Helsingin yliopisto  
jukka.lehto@helsinki.fi



# Suomalaiset selektiiviset ioninvaihtimet puhdistavat ydinjäteliuoksia maailmalla

*Helsingin yliopiston kemian laitoksen radiokemian laboratorio (HYRL) ja Fortum Nuclear Services Oy (FNS) ovat kehittäneet yhdessä tuoteperheen erittäin tehokkaita epäorgaanisia ioninvaihtimia radioaktiivisten jäteliuosten puhdistukseen. Ioninvaihtimien tehokkuus perustuu niiden erittäin suureen selektiivisyyteen, mikä mahdollistaa kohderadionuklidien "täsmäerotuksen" ja tehokkaan konsentroidin erittäin pieneen tilavuuteen.*

**T**uoteperheen ensimmäinen jäsen, CsTreat®, otettiin ensi kerran käyttöön Loviisan voimalaitoksessa konsentroitujen haihdutinjätteiden puhdistukseen radiocesiumista vuonna 1991 ja menetelmästä on muodostunut Loviisassa rutiinitoimenpide. Tuoteperhe on sittemmin lisääntynyt radiostrontiumin erotukseen tarkoitetulla SrTreat®-vaihtimella sekä radiokoboltin ja muiden aktivoituneiden korroosiotuotenuklidien erotukseen tarkoitetulla CoTreat-vaihtimella.

Uusia vaihtimiin perustuvia ydinjäteliuosten puhdistussovelluksia on käynnistynyt tai käynnistymässä mm. Yhdysvalloissa, Iso-Britanniassa ja Unkarissa. Uusien ioninvaihtimien kehitystyö jatkuu Helsingin yliopistolla kemiallisesti entistä hankalampien liuosten puhdistukseen. Haasteena ovat mm. happamat ja paljon kalsiumia sisältävät liuokset sekä anionisten radionuklidien erotus.

## Radioaktiivisia nesteitä

Radioaktiivisia jäteliuoksia syntyy merkittäviä määriä ydinvoimalaitoksilla, ydinpolttoaineen jälleenkäsittelylaitoksilla, sotilaallisilla ydinlaitoksilla ja suurissa ydintutkimuskeskuksissa.

Ydinvoimalaitosten ydinjäteliuokset (lattiakaivovedet, pesulavedet, allasvedet) ovat normaalitilanteessa matala-aktiivisia ja tärkeimmät niiden sisältämät nuklidit ovat <sup>137</sup>Cs ja <sup>60</sup>Co. Lisäksi liuoksissa esiintyy lyhytikäisempiä aktivoituneita korroosiotuotteita kuten <sup>124,125</sup>Sb, <sup>110m</sup>Ag, <sup>54</sup>Mn, <sup>57</sup>Co ja <sup>51</sup>Cr. Joillain voimalaitoksilla jätevedet haihdutetaan ja syntyvien haihdutinjättekonsentraattien aktiivisuuskonsentraatiot ja suolapitoisuudet voivat olla korkeita. Yleisiä jätevesien käsittelymenetelmiä ovat ioninvaihto orgaanisilla hartseilla, haihdutusjätteiden betonointi, käänteisosoosi sekä flokkaus ja suodatus.

Ydinpolttoaineen jälleenkäsittelylaitosten jätevedet kattavat koko kirjon korkea-aktiivisista matala-aktiivisiin liuoksiin. Tärkeimpiä jätenuklideja liuoksissa ovat <sup>90</sup>Sr, <sup>99</sup>Tc, <sup>137</sup>Cs sekä erilaiset transuraanien (Pu, Am, Np, Cm) nuklidit. Korkea-aktiiviset liuokset jotka ovat yleensä typpihappona lasitetaan. Matala- ja keskiaktiivisten liuosten käsittelyyn käytetään saostusta, ultrasuodatusta tai ioninvaihtoa.

Sotilaallisissa laitoksissa ydinjäteliuokset ovat syntyneet ydinaseiden valmistuksessa ja prosessin alku on ollut kemialtaan samantapainen kuin kaupalli-

sisä jälleenkäsittelylaitoksissa. Korkea-aktiivisia happojäteliuoksia ei ole kuitenkaan lasitettu vaan ne on neutraloitu ja tämän tuloksena syntyneet konsentroidut suolaliuokset on varastoitu odottamaan jatkokäsittelyä.

Esimerkiksi USA:ssa on varastoituna yli 500 000 m<sup>3</sup> korkea-aktiivista jätettä säiliöissä Savannah Riverissä ja Hanfordissa. Korkean suolapitoisuuden takia liuosten suora lasittaminen ei ole mahdollista ja jättiprojekteja on alkamassa liuosten käsittelemiseksi ennen fissiotuotteiden lasitusta.

## Jätetilavuudet ongelma

Perinteiset ydinjätteiden kiinteytysmenetelmät (saostus, betonointi, ioninvaihto orgaanisilla hartseilla) tuottavat suuria määriä loppusijoitettavaa jätettä ja loppusijoituskustannukset jätetilavuutta kohti ovat kasvaneet maailmalla voimakkaasti. Jätetilavuuden pienentäminen on täten tullut yhä tärkeämmäksi tutkimusaiheeksi. Jätenuklidien konsentroidin erittäin selektiivisiin ioninvaihtimiin on saavutettu merkittävä tilavuuden pieneminen loppusijoitettaville jätteille, epäorgaanisia materiaaleja voidaan myös hyödyntää loppusijoitusmateriaaleina niiden hyvän säteilykestävyyden ja selektiivisyyden takia.

Ensimmäiset käyttöönotetut materiaalit olivat keinotekoisia ja luonnon zeoliitteja, mutta niiden heikko kemiallinen kestävyys ja suhteellisen alhainen selektiivisyys on rajannut käytösalueen matalasuolaisiin, neutraaleihin liuoksiin. Uusia erittäin selektiivisiä materiaaleja voidaan käyttää tehokkaasti jopa kyllästetyissä suolaliuoksissa. Näihin lukeutu-

vat HYRL:n ja FNS:n kehittämät ioninvaihtomateriaalit CsTreat (heksasyanoferraattipohjainen materiaali), SrTreat (alkalinen titaanioksidipohjainen materiaali) ja CoTreat (neutraali titaanioksidipohjainen materiaali).

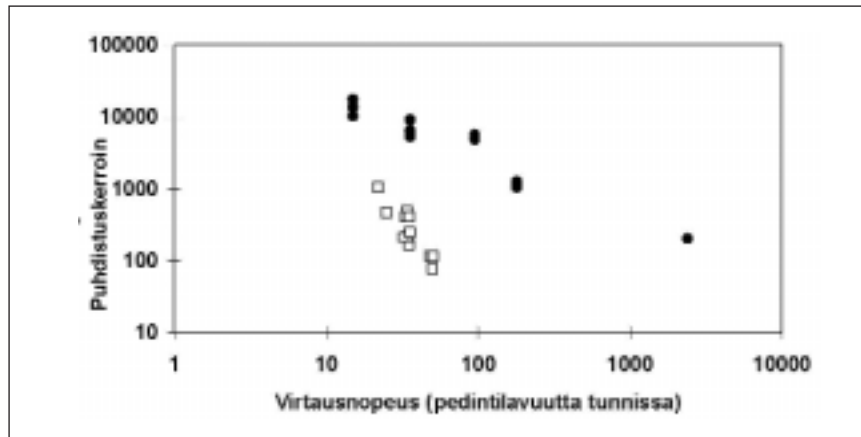
## Loviisa koekaniinina

Loviisan ydinvoimalaitoksella (VVER-440) aloitettiin haihdutinjätekonsentraattien (20 % NaNO<sub>3</sub>) puhdistus radiocesiumista vuonna 1991 käyttäen pieniä 8 litran kolonneja, jotka on pakattu raemaisella (0,3-0,85 mm) CsTreat-vaihtimella. Puhdistuskertoimet ovat olleet maksimissaan n. 30 000 ja kolonnit on vaihdettu tuoreisiin tekijän laskiessa alle arvon 1000. Haihdutinjätteitä on puhdistettu jo noin 1100 m<sup>3</sup> ja ne on voitu laskea puhdistuksen jälkeen mereen, millä on voitu välttää haihdutinjätteiden betonointi, joka olisi tuottanut yli 2000 m<sup>3</sup> betonoitua jätettä. Tämän sijaan on syntynyt vain noin 160 l käytettyä ioninvaihdinta, joka voidaan loppusijoittaa muuttaman kuutiometrin tilavuuteen.

Ensimmäinen CsTreatin ulkomainen sovellus oli Paldiskin (Viro) entisen neuvostoliittolaisen ydinsukellusvenekoulutuskeskuksen jätevesien puhdistus. Yhdellä 12 litran kolonnilla puhdistettiin 760 m<sup>3</sup> jätevesiä käyttäen liikuteltavaa konttiin rakennettua NURES-systeemiä. Vuosina 1996-97 NURES-systeemillä puhdistettiin Murmanskissa ydinjäätämurtaajien jäteliuoksia radiocesiumista (max. 1,1 MBq/l) ja strontiumista (max. 0,9 MBq/l) käyttäen 12 litran CsTreat- ja SrTreat-kolonneja. Puhdistustekijät olivat parhaimmillaan luokkaa 5000, ja järjestelmällä saatiin myös kohtalainen puhdistustekijä radiokoboltille.

## Kysyntää maailmalla

Vuosina 1997-2000 saatiin ensimmäiset kokemukset keskiaktiivisten jäteliuosten käsittelyssä Japanissa JAERI:n Tokaimuran laitoksella. Pienillä 0,8+0,8 litran yhdistetyillä CsTreat- ja SrTreat



Virtausnopeuden vaikutus puhdistuskertoimeen CsTreat-ioninvaihtimessa raemuodossa (0.85-0.30 mm □) ja pölymuodossa (< 0.15 mm •)

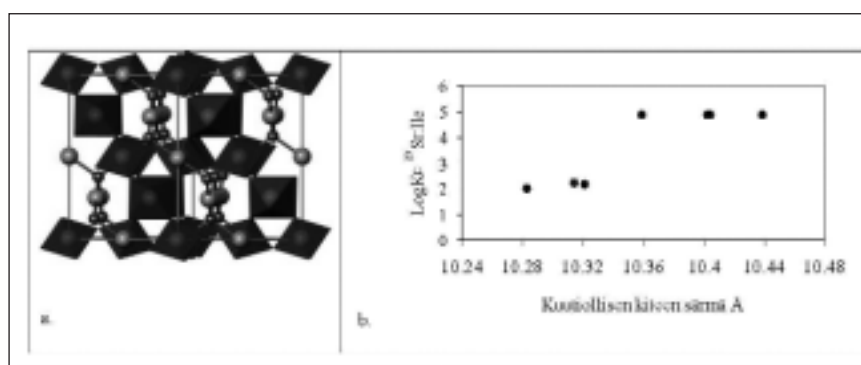
kolonneilla, jotka oli asennettu kuuma-kammioon, puhdistettiin ydinpolttoaineen jälleenkäsittelytutkimuksien yhteydessä syntyneitä vahvasti suolapitoista jäteliuosta, joka sisälsi n. 7 GBq/l <sup>137</sup>Cs:ia ja <sup>90</sup>Sr:ia. Kolonneihin ladattiin aktiivisuutta maksimissaan 7 TBq.

Callawayn voimalaitoksella (Missouri, USA) käytettiin ensi kertaa suurta CsTreat-petiä (250 l). Suurehko vaihdinmäärä johtui vaaditusta suuresta virtausmäärästä 80 l/min, ei ioninvaihtokapasiteetin riittäväydestä. Vuosina 1996-99 puhdistettiin yhteensä n. 3000 m<sup>3</sup> lattiakaivovesiä. Ongelmana ioninvaihtimen toiminnassa olivat rautasakat, joita muodostui petiin esisuodatukselta huolimatta ja jotka ajoittain tukkivat CsTreat-pedin ja aiheuttivat puhdistustekijän pienenemistä.

Suurehkoa CsTreat-petiä (85 l) käytettiin vuonna 2000 Yhdysvaltain energia-

ministeriön (USDOE) Savannah Riverin laitoksella demonstraatioprojektissa, jossa puhdistettiin vanhan ydinasereaktorin 105-R polttoaineallasvettä 4500 m<sup>3</sup>. Puhdistustekijä oli 30-100, eli alempi kuin useimmiten saavutetaan johtuen suurehkoista virtausnopeudesta. USDOE aikoo hyödyntää 105-R:ssä käytettyä CsTreat-petiä jatkossa muiden Savannah Riverissä sijaitsevien polttoainealtaiden puhdistukseen, sillä pedin ioninvaihtokapasiteettia jäi vielä runsaasti käyttämättä.

1990-luvulla saatiin runsaasti hyödyllistä kokemusta raemaisten ioninvaihtimien sovelluksista pienissä kolonneissa ja suurehkoina peteinä. Raemaisten materiaalien käyttö osoittautui optimaaliseksi sovelluksissa, joissa käsiteltävät liuosmäärät ovat suhteellisen pienet ja tarvittavat virtausnopeudet alhaiset. Johtuen ioninvaihtoreaktioiden hitaasta diffuusionopeudesta kiteisissä epäorgaa-



a) Pyrokloorin rakenne. b) Strontiumin jakaantumiskerroin K<sub>D</sub> eräässä pyrokloorirakenteessa kuutiollisen kidesärmän piteuden funktiona.

nisissa materiaaleissa, raemaisilla vaihtimilla saadaan hyvä puhdistustekijä (> 100) vain alhaisilla virtausnopeuksilla (< 50 pedintilavuutta tunnissa).

## Raemaiset vaihtimet

Paksin voimalaitokselle Unkarissa on kertynyt vuosien mittaan n. 3000 m<sup>3</sup> samankaltaisia haihdutinjäteliuoksia kuin mitä Loviisan voimalaitoksella syntyy. Vuonna 2002 rakennettu puhdistusjärjestelmä käyttää 12 litran CsTreat-kolonneja ja se sisältää boorin talteenoton. Puhdistusjärjestelmän koekäyttö aloitetaan todennäköisesti kesällä 2004.

## Jauhemaiden vaihtimien kehitys ja testaus

1990-luvun loppupuolella aloitettiin HYRL:ssä tutkimukset epäorgaanisten ioninvaihtimien kinetiikan parantamiseksi. Lähtökohtana oli raekoon pienentäminen, sillä teoreettisesti ioninvaihtoreaktion nopeus on kääntäen verrannollinen vaihdinpartikkelin halkaisijan neliöön partikkeli-diffuusion kontrolloimassa vaihtoreaktiossa. Tutkimuksia tehtiin käyttäen pölymäisiä ioninvaihtimia precoat-elementeissä ja tasosuodattimissa. Havaittiin, että pölymäisiä vaihtimia käytettäessä voitiin käyttää jopa 100-kertaisia virtausnopeuksia verrattuna raemaisiin vaihtimiin puhdistuskertoimen pysyessä hyvällä tai tyydyttävällä tasolla.

Sellafieldin jälleenkäsittelylaitoksella tehtiin vuonna 2002 ensimmäiset suuren mittakaavan testit pölymäisille epäorgaanisille ioninvaihtimille. Sovelluksena oli radiokobolttin poisto THORP-laitoksen polttoaineen vastaanottoaltaan vedestä. Veden <sup>60</sup>Co-pitoisuus nousee ajoittain korkealle tasolle (20 000 Bq/l) kun polttoaineen kuljetusastia avataan ja radiokobolttia liukenee veteen astian sisältämästä crudista. Pöly (10–20 kg) ajettiin olemassa olevalle Funda-suodattimelle (suodatusala 30 m<sup>3</sup>) ja allasvettä kierrätettiin suodattimen kautta jopa 40 000 m<sup>3</sup> ennen kuin ioninvaihtokapasiteetti ehtyi. Maksimi-

mipuhdistuskerroin <sup>60</sup>Co:lle oli n. 10, jolla saavutettiin merkittävä vähennys aktiivisuuspäästöihin mereen.

Pölymäisellä CoTreat-vaihtimella pakattujen suodattimien täyden mittakaavan testit alkoivat vuonna 2003 usealla ydinvoimalaitoksella USA:ssa. Parhaalla laitoksella, jossa puhdistusjärjestelmä sisältää 6 suodatinta (kussakin n. 2 kg ioninvaihtomateriaalia), on puhdistettu puolen vuoden aikana jo yli 700 000 litraa jätevetä radiokoboltista puhdistustekijän ollessa jatkuvasti luokkaa 1000. Merkkejä suodattimien ehtymisestä ei ole ollut vielä näkyvissä.

## Jatkokehitystä tarvitaan

Entistä tehokkaampien selektiivisten ioninvaihtomateriaalien kehitys jatkuu tiiviinä radiokemian laboratorioissa päämääränä vaikeissa kemiallisissa ympäristöissä toimivat ioninvaihtimet. Tällaisia vaikeita ympäristöjä ovat mm. erittäin happamat ja alkaliset jäteliuokset sekä runsaasti kalsiumia sisältävät jäteliuokset.

Kalsiumia on läsnä vaihtelevia määriä useimmissa jäteliuoksissa ja se kilpailee 2-arvoisena kationina yleensä voimakkaasti muiden useampi-arvoisten kationien (esim. radionuklidit <sup>60</sup>Co, <sup>90</sup>Sr, <sup>239</sup>Pu, <sup>241</sup>Am) ioninvaihdossa häiriten erotusprosessia. TEKES:in rahoittamassa tutkimusprojektissa on onnistuttu kehittämään useita uusia happoliuoksissa toimivia ja kalsiumia sietäviä ioninvaihtomateriaaleja, joiden jatkokehitys on käynnissä suomalaisyritysten kanssa.

Uutena kehityshankkeena on juuri käynnistynyt MONMAT-hanke (monitoiminnalliset anionien erotusmateriaalit), jossa eräänä päämääränä on oksoanioneina esiintyville radionuklideille (esim. per- teknetiatti, rutenaatti, antimonaatti) selektiivisten materiaalien tutkimus. Jälleenkäsittelylaitosten (esim. Sellafield) jätteissä esiintyvän teknetiumin osalta hankkeessa on jo saatu erittäin lupaavia tuloksia ja kokeita on käynnissä voimalaitosvesissä yleisesti esiintyvän <sup>124</sup>Sb:n erottamiseksi.

Materiaalien kehitystyötä tuetaan ioninvaihton perustutkimuksella, jossa selvitetään materiaalien rakenteen ja kemiallisten ominaisuuksien vaikutusta selektiivisyyteen. Tässä tutkimuksessa keskeisellä sijalla ovat kiteiset, nanohuokoiset sekametallioksidit, jotka voivat toimia kiderakenteensa ansioista "ioniseuloina".

Esimerkiksi pyrokloorirakenteen omaavissa sekametallioksidoissa on havaittu selkeitä trendejä materiaalien happamuuden, kidehuokoskoon ja kiteisyyden välillä. Pyrokloorirakenteen happamuutta ja huokoskokoja voidaan säätää muuttamalla eri metallien (esim. Ti ja Sb) osuutta rakenteessa ja tätä kautta saadaan aikaan suuria muutoksia selektiivisyydessä.

## Jätettä syntyy aina

Maailmalla tulee syntymään ydinjätteitä eri laitosten käytön yhteydessä vielä vuosikymmenien ajan vaikka uusia ydinvoimaloita tai muita laitoksia ei enää rakennettaisikaan. Laitoksien käytöstäpoistossa tulee myös syntymään runsaasti nestemäisiä jätteitä.

Tässä tilanteessa uusille tehokkaille radionuklidien erotusmenetelmille on selkeä tarve etenkin kun matala-aktiivisen jätteen loppusijoituskustannukset kasvavat voimakkaasti ja rajat radionuklidien ympäristöpäästöille pienenevät. Tarve on entistä suurempi, jos uusia ydinvoimaloita aletaan rakentaa tulevaisuudessa laajemmin.



FT Risto Harjula  
Dosentti  
Radiokemian laboratorio  
Helsingin yliopisto  
risto.harjula@helsinki.fi



FT Jukka Lehto  
Professori  
Radiokemian laboratorio  
Helsingin yliopisto  
jukka.lehto@helsinki.fi



# ATS Young Generation Englannissa



*Tämän kevään ATS YG:n järjestämä ekskursio suuntautui Länsi-Englantiin 14.-18.04.2004. Matkaohjelmassa oli Urencon uraanirikastamo (Capenhurst), BNFL:n polttoainetehdas (Springfields), Sellafieldin ydinjätekierrätyslaitos ja Manchesterin teknillinen museo.*

Englannista löytyy erittäin paljon ydinalan vierailukohteita, mutta matkaa suunniteltaessa pyrittiin siihen, että ajomatkat jäisivät lyhyiksi ja vierailuihin jäisi enemmän aikaa. Myös maisemat olivat varsin kauniita, varsinkin Sellafieldiä ympäröivässä Lake Districtissä.

Ekskursioon oli houkuteltu paljon opiskelijoita mukaan ja keski-ikä jäi huomattavasti alle kolmenkymmenen. Kaiken kaikkiaan mukana oli 22 henkilöä ja eri ydinvoima-alan toimijat olivat hyvin edustettuina. Seuraavassa vierailukohteiden esittelyt ja tunnelmia ekskursion osallistuneiden kokemina.

## Urenco – polttoainekierron alkupäässä

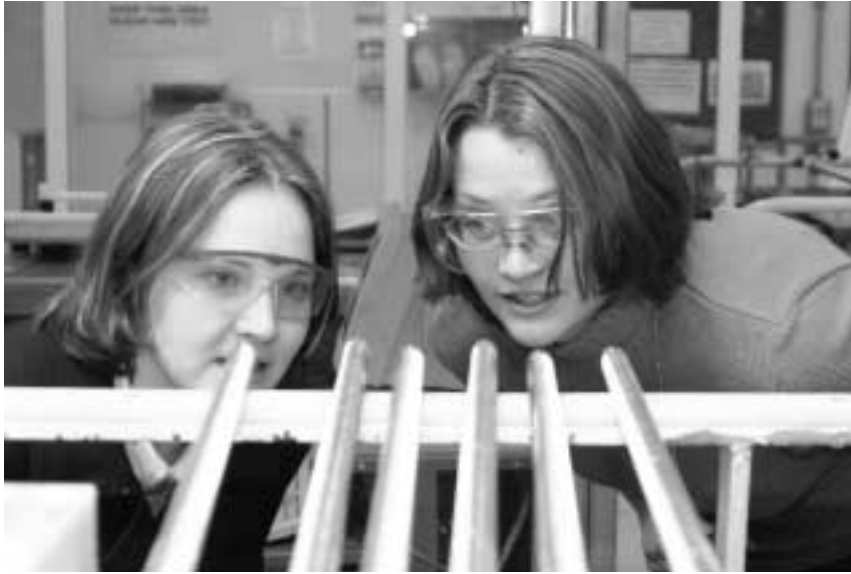
Opintomatkan ensimmäisenä vierailukohteenä oli Urencon uraanirikastuslaitos Capenhurstissa, joka sijaitsee lähellä Chesteriä Luoteis-Englannissa. Capenhurstissa toiminta aloitettiin 1967. Silloin uraani rikastettiin kaasudiffuusiolla. Diffuusiolaitos suljettiin 1982 ja korvattiin kokonaan kaasu-sentrifugeilla koska niiden käyttökustannukset ovat alhaisempia.

Tänä päivänä Capenhurstissa on käytössä kolme sentrifugilaitosta, jotka työllistävät 500 ihmistä. Capenhurstissa käytettävät sentrifugit ovat Urencon ke-

hittämiä, ja tämän takia tarkat teknilliset tiedot ovat salaisia.

Uraani tuodaan laitokselle uraanihexafluoridi-muodossa,  $UF_6$ .  $UF_6$  on kiinteä aine huoneenlämmössä, mutta siirtyy kaasumuotoon n. 60 °C lämmössä. Kaasumuodossa aine johdetaan sentrifugiin, jossa pyörimisliikkeen johdosta painavampi U-238 työntyy ulospäin enemmän kuin U-235. Sentrifugissa pidetään lisäksi yllä lämpötilagradientti pystysuunnassa, mikä aiheuttaa virtauksen ylöspäin seinien lähellä ja alaspäin keskellä, eli U-235:n osuus kasvaa sentrifugin alaosassa. Rikastettu  $UF_6$  johdetaan ulos putken alaosasta ja muu materiaali yläosasta.





Sentrifugi koostuu tyhjiötilasta, jonka sisällä sylinterimäinen roottori pyörii kahden miltei kitkattoman laakerin varassa. Uusimmat näistä sentrifugeista ovat n. 4 metrin korkuisia ja halkaisijaltaan n. 0,2 metriä. Yhden sentrifugin aiheuttama rikastus on suhteellisen pieni, mutta kun sentrifugit kytketään sarjaan että rinnakkain saavutetaan haluttu rikastus. Capenhurstissa on useita sentrifugiketjuja eli kaskadeja rinnakkain.

Homogeenisen rikastamisen saavuttamiseksi säiliöt lämmitetään pari tuntia erillisessä varastotilassa. Jokaisesta säiliöstä otetaan homogenisoinnin jälkeen kolme näytettä, yksi analysoidaan paikalla, yksi lähetetään asiakkaalle ja yksi varastoidaan. Jokainen laitokselle tuleva ja laitokselta lähtevä säiliö punnitaan tarkasti uraanivirran seuraamiseksi.

Tullessamme Capenhurstiin turvallisuustoimenpiteet olivat tarkat. Meiltä esimerkiksi takavarikoitiin kaikki mahdolliset kameralaitteet sekä tarkistettiin henkilöllisyystodistukset huolella. Valittavasti puolentoista tunnin mittainen kiertokävely laitoksella kohdistui enemmänkin varastotilaan kuin itse sentrifugilaitokseen.

## Sellafield

Englannin ekskursioiden viimeinen kohde oli Sellafieldin alue, jossa tutustuimme

polttoaineen jälleenkäsittelyyn BNFL:n jälleenkäsittelylaitoksella sekä maailman ensimmäiseen ydinvoimalaitoksen, Calder Hallin, reaktoreihin. Alueella on josakin vaiheessa toiminut yhteensä seitsemän reaktoria, joista enää yksi on toiminnassa. Sellafieldin alue on kehittynyt erääksi Euroopan suurimmista kaupallisista ydinlaitoksista.

Sellafieldin jälleenkäsittelylaitos sijaitsee Irlanninmeren rannalla, lähellä Whitehaven kaupunkia. Sellafieldiin matkustimme Springfieldistä luonnonkauniin Keswickin kaupungin kautta. Vierailukohteina olivat oksidipolttoaineen jälleenkäsittelylaitos THORP, Calder Hallin voimalaitos ja ydinjätteen käsittelylaitos CAVE.

## Tausta ydinaseohjelmassa

Sellafieldin historia juontaa juurensa 40-luvun lopulle ja 50-luvun alkuun, kun maa aloitti sotilaallisen ydinohjelman. Tätä tarkoitusta varten Windscaleen rakennettiin reaktoreita, jotka tuottivat plutoniumia ja joitakin muita materiaaleja pommiohjelmaa varten. Windscaleen Pile No. 1 oli brittien ensimmäinen suuren mittakaavan sotilaallinen reaktori, jonka polttoaineena käytettiin luonnonuraa, hidasteena grafiittia ja jäähdytteenä ilmaa. Laitoksella tapahtui vuonna 1957 tulipalo, joka johtui gra-

fiittihidasteen voimakkaasta kuumentumisesta Wigner-energian takia. Grafiittihidasteen palaminen johti radioaktiivisten aineiden päästöön. Vuonna 1957 vaurioituneen reaktorin sisarreaktorit on jo purettu, ja Pile No. 1:n purkutyöt on tarkoitus aloittaa lähiaikoina.

Myös Magnox-reaktorien polttoaineen jälleenkäsittelylaitos on lähiaikoina käytöstä poistettavien listalla, sillä Calder Hallissa toiminut viimeinen reaktori on nyt jo suljettu ja metallista polttoainetta käyttäviä reaktoreita ei ole enää toiminnassa. Tällä hetkellä Britanniassa käytössä olevat reaktorit ovat kaasujäähdytteisiä tai kevytvesireaktoreita, jotka käyttävät oksidipolttoainetta. Sellafieldissä käsitellään myös muualta Euroopasta ja Japanista peräsin olevaa oksidipolttoainetta.

## Calder Hall – maailman ensimmäinen

Sellafieldillä on ollut merkittävä rooli brittiläisessä ydinasetehtailussa, mutta jo 50-luvun alussa brittiläiset fyysikot saivat ajatuksen tehoreaktorin rakentamisesta samalle alueelle. 1956 käynnistynyt Calder Hall 1 on maailman ensimmäisen varsinaisen voimalaitosreaktorin. Samalla alueella on toiminut kolme muutakin reaktoria, joista viimeinen suljettiin käytöstäpoistoa varten viime vuonna sen toimittua luotettavasti yli 40 vuotta.

Calder Hallin reaktorit ovat ensimmäisen sukupolven Magnox-tyyppisiä laitoksia, joissa hidasteena on grafiitti ja jäähdytteenä hiilidioksidi. Polttoaineena on alunperin käytetty magnesiumsuoja-kuoriin pakattua luonnonuraanimetallia. Laitokset on poistettu käytöstä vuoden 2003 aikana ja viimeiseksi käytöstä poistetun reaktorin aktiivinen jälkilämmönpoisto on vielä käynnissä. Hiilidioksidilla on vettä huonommat lämmönsiirto-ominaisuudet, joten luonnonkierrolle siirtyminen on hitaampaa kuin vesijäähdytteisissä reaktoreissa. Calder Hallin laitoksella on neljä 60 MWe:n ydinkäyttö-



jotka ovat tuottaneet sähkön lisäksi prosessilämpöä jälleenkäsittelylaitokselle.

Laitoksen lämmönsiirtimet ovat varsin mielenkiintoisesti reaktorihallin ulkopuolella taivasalla. Itse reaktorihalli vaikutti kevytrakenteiselta verrattuna nykyaikaisiin kevytvesilaitoksiin, mutta reaktorin betoninen paineastia toimii kuulemma suojarakennuksen tavoin. Myös jälkilämmönpoiston varajärjestelmät olivat kevyen oloiset verrattuna kevytvesilaitosten vastaaviin järjestelmiin. Toisaalta on muistettava, että laitoksen lämpöteho on vain kymmenesosa Olkiluodon nykyisistä laitoksista.

Laitoksen nykyinen johtaja vakuutti rakenteen olevan robusti ja että käyttöhäiriöitä tai radioaktiivisten aineiden päästöjä ei ole esiintynyt koko käyttöhistorian aikana. Hyvään käyttöhistoriaan on ollut osaltaan vaikuttamassa hyvin eheytensä pitäneet polttoaineen suoja-kuoret.

Laitos poikkeaa myös sekundääripiirinsä osalta siinä mielessä nykyisistä laitoista, että turbiinit ovat ns. radiaali-turbiineja, joissa höyryn sisäänvirtaus on kohtisuoraan akselia vastaan, kun taas nykyisin käytetään lähes yksinomaan aksiaaliturbiineja. Vaikka laitos on näkömatkan päässä merestä, on lauhdutukseen käytetty lauhdutustorneja. Tämä johtuu laitoksen vanhasta iästä, sillä 50-luvun alussa oli tapana rakentaa jäähdy-

tystornit eikä muuta vaihtoehtoa edes ajateltu.

## THORP – käytetyn polttoaineen jälleenkäsittelylaitos

BNFL:n vuonna 1992 Sellafieldiin valmistunut käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelylaitos THORP (Thermal Oxide Reprocessing Plant) aloitti toimintansa pitkän suunnittelun ja valmistelun jälkeen koeluontoisesti vuonna 1994 ja sai toimiluvan 1997. Polttoaineen jäl-

leenkäsittely laitoksella saattaa kuitenkin loppua jo vuonna 2010 nykyisten sopimusten päättyessä.

Käytetyn polttoaineen jälleenkäsittelyn tavoitteena on vähentää paitsi uraanin louhinnan, myös käytetyn polttoaineen varastoinnin tarvetta. Lisäksi laitoksella valmistettava MOX-polttoaine (Mixed Oxide Fuel) hyödyntää myös ydinreakteoreissa syntyvän plutoniumin. MOX-polttoaine on koostumukseltaan 95 % uraania ja 5 % plutoniumia ja sitä voidaan käyttää kevytvesireaktoreissa osana polttoaineesta.

Jälleenkäsittelyn huonona puolena ovat prosessissa syntyvät vaikeasti hallittavat kaasumaiset ja nestemäiset jätteet (esimerkkinä paljon huomiota saaneet teknetium-99 päästöt Irlanninmereen), erotetun plutoniumin soveltuminen ydin-ase materiaaliksi ja ainakin tällä hetkellä toiminnan heikko taloudellinen kannattavuus uuden polttoaineen valmistukseen ja käyttöön verrattuna.

### Osallistajat:

- Timo Kontio (Fortum)
- Niklas Fjällström (Studsvik)
- Satu Siltanen (FNS)
- Jaakko Leppänen (VTT)
- Tomi Nurminen (TVO)
- Kari Kuusisto (Ydinenergianuoret)
- Marjaana Vainio-Mattila (TVO)
- Antti Kallio (TVO)
- Anders Skjäl (ÅA)
- Nikolai Kaihovirta (ÅA)
- Johanna Grönqvist (ÅA)
- Mathias Nyman (ÅA)
- Fredrik Jansson (ÅA)
- Anu Turtiainen (LUT)
- Jaakko Nurmela (LUT)
- Janne Vahero (LUT)
- Jussi Koukkuluoma (LUT)
- Pekka Nuutinen (LUT)

*Artikkelin kirjoittajina toimivat matkanjohtaja Kim Dahlbacka sekä matkalle osallistuneet Lappeenrannan teknillisen yliopiston ja Åbo Akademin opiskelijat.*





# WIN Global 2004 kokouksen kuulumisia

*Ydinalan naisten kansainvälisen järjestön WIN Globalin vuosikokous järjestettiin tänä vuonna Japanissa. Varsinainen kokous pidettiin Tokiossa ja kokoukseen kuului lisäksi vierailu Kashiwazaki-Kariwan voimalaitoksella ja retki Hiroshimaan.*

**K**okoukseen osallistui 56 ulkomaista WIN-jäsentä ja noin 130 japanilaista. WIN Global kokoukset alkavat perinteisesti Boardin ja Executive -komitean kokouksella, jossa päätetään alustavasti varsinaiselle vuosi-

kokoukselle esittävistä valinnoista, kuten uuden puheenjohtajan valinta ja mahdollinen WIN Award -palkinnon saaja. Kokous päättyi suosittamaan uudeksi WIN Globalin puheenjohtajaksi **Junko Ogawa** Japanista edellisen puheenjohtajan



*WIN Globalin uusi puheenjohtaja Junko Ogawa ja entinen puheenjohtaja Annick Carnino.*

WIN Global 2005 järjestetään Tsekinmaassa Cesky Krumlovissa, todennäköisesti huhtikuun 2005 alussa ja vuoden 2006 WIN Global kokous Kanadassa.

**Annick Carninon** toimittua virassa sääntöjen sallimat kaksi kaksivuotiskautta. Vuosikokous valitsi suosituksen mukaisesti Junkon yksimielisesti uudeksi WIN Globalin puheenjohtajaksi.

Junko Ogawa on toiminut WIN-kuvioissa pitkään ja oli ennen valintaansa WIN-Japanin puheenjohtaja. Ammatillisesti Junkolla on pitkä ura ydinvoimalan tiedottajana ja nykyinen titteli on Executive Communicator (Deputy General Manager) Japan Atomic Power Companyssa.

Erityisesti kaikki aasialaiset osanottajat ilmaisivat tyytyväisyytensä puheenjohtajuuden siirtymisestä ensimmäistä kertaa Aasiaan, vaikka monissa asioissa etenkin japanilaisilla ja korealaisilla onkin omat "Ruotsi-Suomi -reviiriottelunsa".

Vuosikokouksessa ei jaettu WIN Award- palkintoa, koska Boardin ja Executiveen etukäteen yksimielisesti hyväksymä ehdokas oli kieltäytynyt viime hetkessä, ja aika uuden ehdokkaan valinnalle ennen kokousta jäi liian lyhyeksi.

## Maaraportit

Japanissa palattiin muutaman vuoden tauon jälkeen perinteeseen, jossa kunkin maan ns. maaraportti esitettiin suullises-

ti. Kunkin esityksen aika oli rajattu kymmeneen minuuttiin ja sekä puheenjohtajat että esittäjät noudattivat aikataulua ja vajaan kolmen tunnin aikana ehdittiin kuulla kaikkiaan 18 maaraporttia (Australia, Brasilia, Kanada, Tsekki, Suomi, Ranska, Indonesia, Japani, Korea, Pakistan, Filippiinit, Slovakia, Espanja, Ruotsi, Sveitsi, Taiwan, USA ja Vietnam).

Raportit käsittelivät sekä ko. maiden tilannetta ydinenergian ja säteilyn käytön suhteen että maiden WIN-toimintaa. Aktiivia WIN-maita ovat tällä hetkellä Euroopassa Ranska, Sveitsi, Suomi, Ruotsi, Tsekki ja Slovakia. USA:n WIN toimii myös erittäin aktiivisesti 1300 jäsenensä voimin. Aasian puolella aktiivisia WIN-maita ovat Japani, Korea ja Taiwan, joissa kaikissa on varsinaisten ydinalalla toimivien maiden jäsenten lisäksi useiden tuhansien jäsenten laajuisia ydinenergiasta kiinnostuneiden naisten verkostoja.

WINin tämänhetkinen jäsenmäärä on noin 20 000, josta luokkaa 3000 alan ammattilaisia ja loput erilaisten verkostojen jäseniä.

Aasian mailla on erilaisia yhteistyöverkostoja, ja ilmeisesti näiden kautta paikalle oli saatu edustajat Aust-raliasa, Filippiineiltä, Indonesiasta, Pakistanista ja Vietnamista. Nämä maat eivät

yleensä ole olleet edustettuina muualla pidetyissä WIN-kokouksissa, ja siksi heidän maaraporttinsa olivat erityisen kiinnostavaa kuultavaa.

## Kokouksen muu ohjelma

Varsinainen isäntien järjestämä kokousohjelma oli tiivis ja runsas ja japanilaisella täsmällisyydellä ja huolellisuudella toteutettu. Ainut haittapuoli oli, että useimmat esitelmät pidettiin japaniksi, mutta simultaanikäänнос englanniksi toimi yllättävän hyvin.

Esitelmissä käsiteltiin Japanin energiapolitiikan käännekohtaa, Sukupuolten tasa-arvo-ohjelmaa Japanissa, julkisen keskustelun edistämistä ydinturvallisuusasioista, robottien käyttöä ydinvoimateollisuudessa ja vedyn tuotantoa ydinenergian avulla.

Kokousohjelmaan sisältyi lisäksi runsaasti erilaisia avaus- kohteliaisuus ja kiitospuheenvuoroja.

Kokoukseen oli mahdutettu myös kolme rinnakkaisistuntoa, joiden vetäjät ja esiintyjät oli kutsuttu eri maista. Istunnot käsittelivät Aasian ydinteollisuuden kehitystä, jätehuoltoa, Japanin ja Taiwanin ABWR-projekteja ja kommunikaatiota.



Foorumin panelistit Seichi Kanise (Japani), Byung-Joo Min (KAERI, Korea), Anneli Nikula (TVO, Suomi) ja Junko Ogawa (WIN).



*Annick Carnino ja Junko Ogawa laskivat WINGlobalin seppeleen Hiroshiman rauhanpuistossa atomipommien uhrien muistomerkillle.*

## Kansalaisforum

Uutena piirteenä kokouksessa oli Keidanren-hallissa järjestetty avoin kansalaisforum, johon osallistui noin 450 henkeä. Näistä järjestäjien mukaan noin 80 oli voimalaitospaikkakunnilta mukaan kutsuttuja tavallisia kansalaisia, luokkaa 240 oli ilmoittautunut mukaan omatoimisesti ja loput olivat WIN-kokouksen osanottajia tai kokousta sponsoroineiden yritysten edustajia.

Kansalaisforum oli paneeli, jossa panelistit esittivät valmistellut puheenvuoronsa, juontaja kysyi eri aiheista valitsemiltaan panelisteilta ja lopussa muutama läsnäolija pääsi esittämään oman kysymyksensä tai kommenttinsa. Merkille pantavaa oli, että vaikka yleisössä molemmat sukupuolet olivat suhteellisen tasapuolisesti edustettuina, olivat kaikki viisi kysyjää/kommentoijaa naisia. Varsinaista paneeliin osallistujien keskinäistä keskustelua saatikka väittelyä ei käyty.

Paneelin juontajana toimi komissaari **Noriko Kimoto** Japanin ydinenergiakomissiosta ja siihen osallistuivat Annick Carnino, **Ellen C. Ginsberg** NEI:stä USAsta, lehtimies ja Japanissa ilmeisesti

varsin tunnettu mediavaikuttaja **Dr. Seichi Kanise**, **Dr. Byung-Joo Min** KAERIsta Koreasta, **Anneli Nikula** TVOsta Suomesta ja Junko Ogawa.

Paneeli, kuten muutkin tapahtumat, oli japanin/englanninkielinen simulaanitulkkauksella. Paneeli, kuten kokouksen muutkin tapahtumat, pääsi paikallisiin sanomalehtiin. On vaikea tietää, mikä oli japanilaisen yleisön vaikutelma, mutta WIN-jäsenten keskuudessa erityisesti Anneli Nikula ja Annick Carnino saivat kehuja selkeästä esiintymisestään.

## Kashiwazaki-Kariwan voimalaitos ja operaattoreiden koulutuskeskus

Kashiwazaki-Kariwa on seitsemän kiehuvesireaktoriyksikkönsä myötä eräs maailman suurimmista ydinvoimalaitoksista. Laitoksen vuosituotto on 60 TWh. Viisi yksiköistä on ns. vanhoja BWR-laitoksia, kukin teholtaan 1100 MWe ja kaksi viimeistä, yksiköt 6 ja 7 ABWR-laitoksia, kumpikin teholtaan 1356 MWe.

Vierailimme yksiköllä 7. Japanilaiseen tapaan käytiin poseeraamassa sydä-

men keskipisteen päällä olevan säteilymittarin vieressä, ja vierailtiin turbiinitalissa ja laitoksen valvomon katselu-parvekkeella yksisuuntaisen lasin takana. Valvomon osalta mielenkiintoinen ja esiteltäväksi tarkoitettu asia olivat suurikoiset valvontanäytöt. Esittelijät eivät kuitenkaan osanneet vastata, kuinka konseptin lisensointi oli toteutettu ja oliko siinä ollut vaikeuksia. Esiteltäväksi tarkoitettujen asioiden osalta mielenkiintoamme herätti kannettavien tietokoneiden runsas määrä valvomossa. Kysyttäessä kerrottiin, että koneiden tarkoitus oli, että operaattorit voivat kirjoittaa tarvittavia raportteja silloin kun heillä ei ole muita tehtäviä. Kysymyksiin mahdollisista virusriskeistä tai mahdollisesta hälytysten huomiotta jäämisestä kannettavalla työskenneltäessä emme saaneet selkeitä vastauksia.

Kashiwazaki-Kariwassa on myös operaattoreiden koulutuskeskus, jossa on täysimittakaavaiset simulaattorit sekä vanhan että uudentyypisille laitoksille. Voimalaitos sijaitsee noin 220 kilometrin päässä Tokiosta Japaninmeren rannalla. Laitospaikalla osa yksiköistä on Kashiwazakin kaupungin ja osa Kariwan

kylän alueella, josta voimalaitoksen mutkikas nimi. Voimalaitosten tuottama sähkö menee Tokion alueella ja kattaa noin 20 % alueen sähköntarpeesta.

## Hiroshima

Hiroshimassa vierailimme vuonna 1947 perustetussa japanilais-yhdysvaltalaisessa Radiation Effects Research Foundation tutkimuslaitoksessa. Laitoksella on laboratoriot Hiroshimassa ja Nagasakisissa ja se tekee poikkeittieteellistä tutkimusta kliinisen lääketieteen, epidemiologian, tilastotieteen, genetiikan ja molekyylibiologian alalla. Henkilökuntaa laitoksessa on noin 280.

Saimme varsin yksityiskohtaista esitelmämateriaalia tutkimuksesta ja kalvokopiot useammasta esityksestä. Tieteellisyydessään esitelmät menivät ainakin eiasiantuntijan kannalta suurelta osin liian syvälle. Tieteellisiä yksityiskohtia kiinnostavampana seikkana mainittakoon, että lähes puolet atomipommin eloon jääneistä uhreista (survivors) on yhä elossa, mukaan lukien 90 % lapsista, jotka tuolloin olivat alle kymmenvuotiaita.

Vierailimme myös vaikuttavassa ja hiljentävässä Hiroshiman rauhanmuseossa ja sen yhteydessä olevassa rauhanpuistossa, jossa olevalle atomipommin uhrien muistomerkillä WINin uusi ja entinen puheenjohtaja laskivat WIN Globalin seppelen.

Vierailimme myös Unescon maailmanperintökohteisiin kuuluvassa Miyajiman temppelissä. Niin hirosimalaiset WIN-jäsenet kuin illallisemme isäntänä toiminut paikallisen energiayhtiön johtaja, joka kertoi itsekin kuuluvansa atomipommin uhreihin, halusivat korostaa Hiroshimaa elävänä ja elämäniloisena kaupunkina. Tämän elämänilon ilmentymä oli paikallinen alun perin kalastajien ja maanviljelijöiden Yassa-tanssi, johon emäntämme näyttivät mallia ja saivat koko yleisön mukaansa.



*Hiroshimassa paikallisen energiayhtiön rouvat näyttivät tanssin mallia...  
... ja pian koko kansainvälinen WIN-joukko tempautui mukaan.*



Tkt Eija Karita Puska  
ATS-Energiakanavan pj.  
VTT Prosessit  
eija-karita.puska@vtt.fi





# Tästä on hyvä aloittaa

**O**lkiluoto 3 -laitoshankkeen historia kirjoitetaan varmasti aikoinaan. Koska sen julkaisemiseen voi kulua kotvasen aikaa, ATS Ydintekniikassa on tarkoitus valottaa hankkeen tapahtumia jo nyt suorastaan on-line, kun kaikki on vielä hyvässä muistissa. Lupauduin laatimaan ensimmäisen muistelmakatkelman, joka ei kuitenkaan rajoitu omiin tietoihini. Otan nimittäin vauhtia 1980-luvun alusta, jotta kuva olisi riittävän kattava.

Vuonna 1982 IVO ja TVO tekivät sopimuksen yhteistyöstä suurvoiman rakentamisesta työnimellä ITY-Projekti. Vuonna 1986 hanke sai yhtiömuodon, kun Perusvoima Oy perustettiin. Samalla jätettiin ensimmäinen periaatepäätöshakemus – valitettavasti kuitenkin varsin onnettomien tähtien alla, juuri ennen Tshernobylin onnettomuutta. Ilmeisistä syistä hanke jäädytettiin. Valmistelutyö ei kuitenkaan loppunut, vaan eri laitosvaihtoehtojen soveltuvuusselvitykset jatkuivat 1980-luvun loppuvuosina.

Toinen PAP-hakemus jätettiin 17.5.1991 juuri muodostetun Esko Ahon hallituksen käsiteltäväksi. Heti tässä vaiheessa silloinen menettely poikkesi FIN5/OL3-hankkeesta. Tarjouspyynnöt lähetettiin laitostoimittajille välittömästi PAP-hakemuksen jättämisen jälkeen, odottamatta valtiovallan päätöstä. Tarjouskyselyt olivat myös teknisiltä osiltaan osittain laitostyyppikohtaisia perustuen tehtyihin soveltuvuusselvityksiin. Tarjouksia pyysivät yhteistyössä IVO, TVO ja PEVO verraten lyhyellä toimitusajalla, 28.10.1991. PWR-laitoksen rakentaisi ja omistaisi IVO Loviisassa ja BWR-laitoksen TVO Olkiluodossa. Hanke oli tarkoitus toteuttaa IVO:n ja TVO:n yhteistyönä niin, että toinen yhtiö osallistuu puolella omistavan yhtiön hankkeeseen ja saa vastaavasti puolet laitostyösköillä toimitettavasta sähköstä.

Tarjousten käsittelyn ja sopimusneuvottelujen valmisteluun jäi aikaa alle puoli vuotta, mitä vielä lyhensi kesälomakausi. Urakasta selvittiin silti kohtuullisen hyvin, ja hankintaorganisaatio oli toimintavalmiina lokakuun lopussa. Vertailu- ja hankintaorganisaation operatiivista toimintaa koordinoi laitoshallinnan johtoryhmä. Vertailuryhmiä oli viisi: sopimusvertailuryhmä, taloudellinen vertailuryhmä, teknillinen vertailuryhmä, toteutuksen vertailuryhmä sekä ydinpolttoaine- ja ydinjätevertailuryhmä. Kullakin hankevaihtoehdolla oli oma vetäjä. Toimintaa säädeltiin hankintakäsikirjan avulla. Ryh-

missä oli jäseniä puolisansataa, tasapuolisesti IVOsta ja TVO:sta sekä tietysti PEVOn edustajat. Toiminnan johto tapahtui luonnollisesti PEVOn, IVO:n ja TVO:n hallintoelimissä.

Tarjoukset saatiin pyydettyinä päivänä ABB Atomilta (1170 ja 1350 MWe BWR), Atomenergoexportilta (1040 MWe PWR) ja Nuclear Power Internationalilta (1110 ja 1380 MWe, kumpikin sekä BWR että PWR). GEC Alsthom antoi lisäksi tarjouksen turpiinilaitoksesta NPI-PWR-vaihtoehtoon. Tarjouskilpailu oli käytännössä suljettu, ja saadut tarjoukset julkaistiin edellä mainitulla tavalla. Hankinta-aikataulu oli erittäin kunnianhimoinen: vertailuryhmien tuli laatia väliraportit kuukauden kuluessa ja loppuraportit tammikuun 1992 loppuun mennessä, jolloin valintapäätös olisi ollut mahdollista tehdä helmikuun loppuun mennessä.

Voimayhtiöt päättävät, mutta valtiovalta säätää. Hallituksen aikataulu ei alkuunkaan noudattanut voimayhtiöiden kaavailuja. Hallitus laati kansallisen energiastrategian huhtikuussa 1992, mutta kuittasi ydinvoimahankkeen parilla epämääräisen kannanoton sisältävällä rivillä. Ideana oli, että eduskunta ensin hyväksyy energiastrategian, minkä jälkeen hallitus tekee periaatepäätöksen ydinvoimahankkeesta ja antaa sen eduskunnalle. Näin tapahtuikin, mutta aivan odottamattomien kiemuroiden kautta. Eduskunta hyväksyi nimittäin 3.11.1992 äänin 98 - 76 nykyisen pääministerin aloitteesta ponnin, jonka mukaan ydinenergia ei sisälly Suomen lähiajan energiastrategiaan. Ponsipäätös ei kuitenkaan keskeyttänyt periaatepäätöksen valmistelua, ja hallitus hyväksyi PAP:n 25.2.1993 – pääministerin vastustaessa vähemmistössä. Siivumennen sanoen tasavallan presidenttikään ei tuolloin kannattanut uutta ydinvoimalaitosta.

Tarjousvertailu alkoi siis kovalla kiireellä heti lokakuun 1991 lopussa. Kymmeniä neuvotteluja järjestettiin kunkin laitostoimittajan kanssa, huomattava määrä erilaisia vertailuraportteja laadittiin ja lukuisia laskelmia tehtiin. Alkuperäistä aikataulua noudatettiin suunnilleen vuodenvaihteeseen, jolloin annettiin kuukauden lisäaika loppuraporttien laatimiselle. Lisäaikoja tuli tämän jälkeen useita, ja laitostoimittajille saatiin toistuvasti selitellä Suomen energiapolitiittisia kuvioita. Tarjouksillekin oli pyydettyä lisäaikaa, minkä kaikki tarjoajat toki myönsivät. Ponsiäänestyksen jälkeen hanke saatettiin niin sanottuun valmiustilaan, sillä millään osapuolella ei ollut

haluja tuhлата resursseja ennen kuin nähdään, hyväksyykö eduskunta todella ydinvoiman lisärakentamisen. Vertailun loppuraportit viimeisteltiin ja arkistoitiin joulukuussa 1992 ja vertailuryhmät päättivät toimintansa, vaikkakin eräitä keskeneräisiä selvityksiä jatkettiin.

Kuolinisku hankkeelle tuli 24.9.1993, jolloin eduskunta kumosi hallituksen periaatepäätöksen äänin 107 – 90 (yksi edustaja oli sairaana ja yksi myöhästyi napin painalluksesta). Kohtalon ivaa vai ei, sama määrä edustajia hyväksyi uuden periaatepäätöksen vajaat yhdeksän vuotta myöhemmin. Välitila päättyi ja hanke ajettiin alas. Ajatusta uudesta ydinvoimalaitosyksiköstä ei kuitenkaan haudattu, vaan toiminta pidettiin hiilloksella. Tätä demonstroi IVO:n ja TVO:n välillä solmittu periaatesopimus, jonka nojalla IVO seurasi edelleen PWR-laitosvaihtoehtojen ja TVO BWR-laitosvaihtoehtojen kehittämishankkeita. Tavoitteena oli käynnistää uusi hanke, jos sille tulevaisuudessa syntyy realistisia edellytyksiä. Kaikki tiedämme, että edellytykset syntyivät ja hanke käynnistyi.

Uskon, että siemenet uuden hankkeen onnistumiselle kylvettiin 1990-luvun alkuvuosina. Ensiksikin tuli aivan selväksi, ettei tarjouspyyntöä tule jättää, ennen kuin eduskunta on hyväksynyt periaatepäätöksen. PAP:n valmistelu ja pohjustus niin poliittisten päättäjien kuin suuren yleisönkin piirissä tapahtui pitkälti uudella tavalla. Vakiintuneet yhteydet laitostomittajiin olivat oleellisen tärkeitä uutta hanketta valmisteltaessa. Samoin oli suurta hyötyä siitä työstä, joka oli tehty tarjouskyselyä laadittaessa, tarjousvertailua suunniteltaessa ja tarjouksia käsiteltäessä. Vanha aineisto oli edelleen käytettävissä referenssinä, vanhoja menetelmiä voitiin soveltaa, ja mikä tärkeintä, vanhat henkilöt – vanhemmat niin kokemuksensa kuin ikänsäkin puolesta – olivat mukana uudessa hankkeessa. Vielä muistettiin, mikä edellisessä yrityksessä oli opiksi otettavaa ja mitä tuli välttää. Tasapuolisuuden vuoksi on loopuski todettava, että pelkät entiset eväät ja entiset yrittäjät eivät toki olisi riittäneet FIN5/OL3-hankkeen luotsaamiseksi toimitussopimukseen 18.12.2003.

## TAPAHTUMAKALENTERI

### Jäsenkokous 30.8. / Tieteiden talo, Helsinki

Aiheena ydinjätehuolto.

Antti Piirto, TVO Nuclear Services (antti.piiro@tvo.fi)

### Young Generationin syysseminaari 10.9.

/ Hotelli Vuoranta, Helsinki

Ydinvoiman tulevaisuus Euroopassa.

Kai Salminen, Fortum Nuclear Services

(kai.salminen@fortum.com)

### Säteilevät naiset -seminaari 15.9.

/ Säätytalo, Helsinki

Eija Karita Puska, VTT Prosessit

(eija-karita.puska@vtt.fi)

### Ulkomaanekskursio 23.10.-1.11.

/ Etelä-Afrikka

Kutsu jäsenpostissa, viim. ilmoittautumispäivä 31.8.

Pekka Nuutinen, Teollisuuden Voima

(pekka.nuutinen@lut.fi)

### ATS:n syysseminaari 17.11.

/ Hotelli Lord, Helsinki

EPR-tekniikka ja päästökauppa.

Minna Tuomainen, VTT Prosessit

(minna.tuomainen@vtt.fi)

## UUDET JÄSENET

### Nuoret jäsenet

Tuomo Sevón

VTT Prosessit

Kaisa Lappeteläinen

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Suomen Atomiteknillisessä Seurassa oli 7.6.2004 pidetyn johtokunnan kokouksen jälkeen 601 varsinaista jäsentä ja 37 nuorta jäsentä eli opiskelijaa. Kunniajäseniä oli 10 ja kannatusjäseniä 23.

Seuran jäseneksi pääsee johtokunnan hyväksymällä hakemuksella. Hakemukseen tarvitaan kahden jäsenen suositus. ATS:n jäsenhakemus internetissä: <http://www.vtt.fi/ats-fns/hakemus.rtf>.

SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA —

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry



## **Kannatusjäsenet:**

Alstom Finland Oy  
Fintact Oy  
Fortum Oyj  
Kemira Oy, Energia  
Mercantile-KSB Oy Ab  
Oivavoima Oy  
Patria Finavitec Oy  
Platom Oy  
Pohjolan Voima Oy  
Posiva Oy  
PRG-Tech Oy  
PrizzTech Oy  
Rados Technology Oy  
Saanio & Riekkola Oy  
Siemens Osakeyhtiö  
Soffco Oy Ab  
Pohjoismainen Ydinvakuutuspooli  
Teollisuuden Voima Oy  
TVO Nuclear Services Oy  
VTT Prosessit  
VTT Tuotteet ja tuotanto  
YIT Installaatiot

## **ATS internetissä:**

<http://www.ATS-FNS.fi>