

# ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA —

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry



2/2007 vol. 36

## Tässä numerossa

### PÄÄKIRJOITUS:

Muutakin kuin kuumaa vettä ..... 3

### EDITORIAL:

Beyond hot water production ..... 4

Uutisia ..... 5

Jorma K. Miettinen  
ydinasioista kuultuna ..... 6

Jyväskylän yliopiston kiihdytyslaboratorio  
– yli 30 vuotta ydinfysiikkaa ..... 10

Radioaktiiviset merkkiaineet  
prosessiteollisuuden mittauksissa ..... 12

Sisäilman radonpitoisuus  
ja torjuntatoimet ..... 15

JHR MTR  
– Uusi koereaktori Eurooppaan ..... 17

ATS tutustui  
Norjan ydintekniikkaan ..... 20

Young Generation  
Ukrainassa 11.-15.4.2007 ..... 22

Tshernobyl-museo  
täynnä symboliikkaa ..... 25

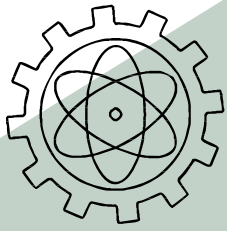
Pikakatsaus Tshernobylin nykypäivään 26

Diplomityöt ..... 28

### KOLUMNI:

Säteily käyttöön tai tutkimukseen ..... 30

Tapahtumakalenteri  
ja seuran uudet jäsenet ..... 31



# ATS

2/2007, vol. 36

## VUODEN 2007 TEEMAT

### 1/2007

Energiamarkkinat  
ja talous

### 2/2007

Ei-energiatuotannon  
ydintekniikka

### 3/2007

Suomen ydintekniikan  
historia

### 4/2007

Syysseminaari, ekskursion

## ILMOITUSHINNAT

1/1 sivua 700 €

1/2 sivua 500 €

1/4 sivua 300 €

## TOIMITUKSEN OSOITE

ATS Ydintekniikka  
c/o Kai Salminen  
Fortum Oyj  
PL 1, 00048 Fortum  
p. 010 453 3093  
telefax 010 453 3403  
toimitus@ats-fns.fi

ISSN-0356-0473

Painotalo Miktor Ky



441 194  
Painotuote

## JULKAISIJA / PUBLISHER

Suomen Atomiteknillinen Seura –  
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

## ATS WWW

www.ats-fns.fi

## Toimitus / Editorial Staff

### Päätoimittaja / Chief Editor

DI Kai Salminen  
Fortum Oyj  
paatoimittaja@ats-fns.fi

### Toimitussihteeri / Subeditor

Minna Rahkonen  
Fancy Media Ky  
p. 0400 508 088  
fancymedia@saunalahti.fi

### Erikoistoimittajat / Members of the Editorial Staff

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

DI Riku Mattila  
Säteilyturvakeskus  
riku.mattila@stuk.fi

FM Johanna Hansen  
Posiva  
johanna.hansen@posiva.fi

DI Eveliina Takasuo  
VTT  
eveliina.takasuo@vtt.fi

TKT Jari Tuunanen  
Teollisuuden Voima  
jari.tuunanen@tvo.fi

### Haastattelutoimittaja / Journalist reporter

DI Klaus Kilpi  
klaus.kilpi@welho.com

## Johtokunta / Board

### Puheenjohtaja / Chairperson

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

### Varapuheenjohtaja / Vice-chairperson

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

### Sihteeri / Secretary of the Board

DI Juha Poikolainen  
Teollisuuden Voima  
sihteeri@ats-fns.fi

**Rahastonhoitaja / Treasurer**  
FM, tekn. yo Anna-Maria Länsimies  
Energiateollisuus ry  
anna-maria.lansimies@energia.fi

### Jäsenet / Other Members of the Board

FM Johanna Hansen  
Posiva  
johanna.hansen@posiva.fi

DI Yrjö Hytönen  
Säteilyturvakeskus  
yrjo.hytonen@stuk.fi

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

## Toimihenkilöt / Officials

### Jäsenrekisteri / Membership Register

Liisa Hinkula  
Fujitsu-Siemens  
p. 020 722 5097  
liisa.hinkula@fi.fujitsu.com

### Kv. asioiden sihteeri / Secretary of International Affairs

DI Satu Siltanen  
Fortum Nuclear Services  
satu.siltanen@fortum.com

### Energiakanava / Energy Channel

TKT Karin Rantamäki  
VTT  
karin.rantamaki@vtt.fi

### Young Generation

TKT Jaakko Leppänen  
VTT  
jaakko.leppanen@vtt.fi

### Ekskursios sihteeri / Excursion Secretary

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

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

ATS Ydintekniikka on neljä kertaa vuodessa ilmestyvä lehti, jossa esitellään ydintekniikan tapahtumia,  
hankkeita ja ilmiöitä numeroittain vaihtuvan teeman ympäriltä. Lehti postitetaan seuran jäsenille. Jä-  
seneksi pääsee johtokunnan hyväksymällä hakemuksella. ATS:n jäsenhakemus löytyy internetistä pdf-  
muodossa: <http://www.ats-fns.fi/info/jasenhakemus.pdf>.

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

## PÄÄKIRJOITUS

## Muutakin kuin kuumaa vettä

**Y**dinreaktioiden määrällä mitaten rauhanomainen energiantuotanto on ydintekniikan ykkössovellus.

**MAAILMAN SIVIILYDINREAKTORIEN** jäähdytysveden lämmittämiseksi halkaistaan vuosittain yli 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 uraani- ja 500 000 000 000 000 000 000 000 000 plutoniumatomien ydintä, kokonaispainoltaan noin 500 tonnia. Maailmassa atomeita halkomalla tuotetun sähköön kokonaisarvo on kahden sentin kilowattituntihinnalla laskien noin 70 miljardia euroa eli puolet Suomen BKT:sta ja samaa suuruusluokkaa maailman matkapuhelinteollisuuden liikevaihdon kanssa.

**SUOMESSA ATOMISÄHKÖÄ** tuotetaan vuosittain liki sadalla eurolla kansalaista kohti eli yli kymmenkertaisesti esimerkiksi ylinopeussakkoihin verrattuna ja noin puolet Alkon vähittäismyynnin arvosta.

**SUURUUDEN KAUNEUDEN** ja piirien pienuuden luoissa voi helposti samaistaa koko ydintekniikan ydinvoiman tuotantoon. Tällöin jää huomaamatta, että 300 suomalaista – laskennalliselta arvoltaan kotimaisen ydinsähkön tuotannon verran – kuolee vuosittain toiseen ydintekniikan sovellukseen, radonin aiheuttamaan keuhkosyöpään. Tai että lääketieteen varjoainetutkimuksilla pelastetaan moninkertainen määrä ihmisiä kuolemasta sydän- ja verisuonitauteihin. Tai että ydintekniikan parissa tehdään



merkittävää perustutkimusta, joka parantaa ymmärrystämme siitä, miten maailmankaikkeus toimii ja minkälaisia aineita Jumala sitä luodessaan käytti.

**ATOMITEKNILLISEN SEURAN** jäsenistöstä valtaosa toimii ydinenergian tuotannon parissa. Tämä näkyy myös lehdessämme, joka kunnianhimoisesta nimestään huolimatta harvemmin käsittelee hiekkalaatikkomme ulkopuolista maailmaa.

**TÄSSÄ NUMEROSSA** tehdään poikkeus, joka toivotavasti ei vahvista sääntöä.

EDITORIAL

# Beyond hot water production

Counting by the number of nuclear reactions, peaceful atomic energy is the number one application of nuclear technology.

**MORE THAN** 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 uranium and 500 000 000 000 000 000 000 000 000 plutonium nuclei, weighing more than 500 t, are split annually in order to heat the cooling water of the world's civilian nuclear reactors. The value of energy generated in the world by splitting atoms, evaluated at 2 c per kWh, is of the order of 70 billion euro, more than half of the Finnish GDP and in par with the volume of world cellular phone industry.

**IN FINLAND,** atomic energy is generated annually with almost 100 euro per capita, many times the money put by citizens e.g. on speeding fines and about 50 % of the value of alcohol products sold through the official channel.

**THE CHARM** of large numbers may easily lead one to identify the entire field of nuclear technology with production of nuclear energy. This causes one to neglect the fact that 300 Finns – their estimated financial value being comparable to the domestic nuclear electricity production – perish each year due to another application of nuclear technology, namely the lung cancer caused by radon. Or the fact that radioisotopic studies save as many from dying in heart and artery diseases. Or the fact that important basic research is being done within nuclear techno-

logy, increasing our understanding of the ways of the nature and of the substances God was using while creating the Universe.

**MAJORITY OF** the members of the Finnish Nuclear Society are employed within production of nuclear energy. This is apparent in our journal which, in spite of its ambitious name, seldom looks outside the boundaries of our small world.

**THIS ISSUE** makes an exception, which hopefully will not make a rule. ■

# UUTISIA

## Turvallisuustodisteista – perusteellisesti

**VUOJOEN KARTANOLLA** järjestettiin keväällä 2007 Posivan Safety Case -työn tueksi kuuden päivän mittainen Safety Case Workshop. Ensimmäistä kertaa toteutettu koulutus rakennettiin OECD/NEA:n IGSC työryhmässä tuotetun Safety Case -viitekehityksen pohjalta. Koulutukseen saatiin luennoitsijoiksi Posivan omien asiantuntijoiden lisäksi tunnettuja kansainvälisiä osaajia muista ydinjätehuolto-organisaatioista sekä kotimaisilta yhteistyökumppaneilta.

**KANSAINVÄLISTÄ NÄKÖKULMAA** toivat **Piet Zuidema** Nagra:lta Sveitsistä ja **Ann Dierckx** ONDRAF/NIRAS:ilta Belgiasta. VLJ-luolien turvallisuusanalyysiin tarjosi perehdytyksen Fortum Nuclear Services:sta **Tapani Eurajoki** ja ilmastomuutoskeskusteluun johdatti **Tuomo Kauranne** Arbonaut Oy:stä muutaman esimerkin koulutuksen luennoitsijoista mainitaksemme. Parikymmentä kurssilaista Posivalta ja Posivan konsulteilta pitivät koulutusta haastavana, mutta antoisana.



*Piet Zuidema perehdyttää Safety Case -metodologian historiaan. (Kuva: Ville Rautajoki, Tmi Rautamedia).*

■  
*Marjatta Palmu  
Posiva Oy*

## ATS:n keväinen jäsen-tilaisuus Vuojolla

**MAALISKUUSSA ATS** järjesti jäsenistölleen popcornin tuoksuisen illan Vuojoen kartanolla. Illan ohjelman käynnisti **Pia Oeschin**, Energia-teollisuus Ry:stä, alustus ilmastomuutoksesta energiasektorin näkökulmasta.

Tämän jälkeen Vuojoen Auditorio Bassi muuntui elokuvateatteriksi ja valkokankaalta nähtiin Epämiellyttävä totuus, joka on **Davis Guggenheimin** ohjaama elokuva ilmastomuutoksesta **Al Goren** malliin. Ja elokuvan vaikuttavuutta pohdittiin sitten vielä iltapalan merkeissä kartanon puolella. Osallistujia oli vajaat kolmekymmentä noin kymmenestä yrityksestä, kaukaisimpien ollessa Ruotsista Oskarshaminista.

## ATS:n sääntöjen modernisointi

**SUOMEN ATOMITEKNILLISEN** seuran säännöt ovat tulleet siihen ikään, että niiden modernisointi on tarpeen. Uudistuneet säännöt esitellään jäsenistölle syksyllä 2007 syyskokouksessa ja keväällä 2008 vuosikokouksessa. Vasta tämän jälkeen ne astuvat voimaan. Yhdistyksen toimintaan muutos ei vaikuta, vaan lähinnä kysymyksessä on sääntöjen sanamuotojen selkeytys.

## Painovirhe ATS:n numerossa 1/2007

**EDELLISEEN NUMEROON** oli eksynyt painovirhe **Esko Tusan** ja **Jari Tuunanen** artikkeliin. Tässä sivun 16 taulukko uudelleen selkeämpänä:

<b>Kustannukset [milj. euroa]</b>	<b>toteutuneet 1977–2006</b>	<b>tulevat 2007-2013</b>
Voimalaitoksen käytöstäpoisto		240
Voimalaitosjäte (käsittely, loppusijoitus)	33	30
Kaikki yhteensä	33	270



*Prof. Jorma K. Miettinen pitämässä eläkkeelle lähtijäisluentoaan 30.1.1987 radiokemian laitoksella, kuvassa etualalla vasemmalta Helsingin yliopiston rehtori / kansleri Nils Oker-Blom ja luonnontieteen tiedekunnan dekaani prof. Antti Siivola.*

**Jorma K. Miettinen:**

# Biokemisti A.I.Virtanen oli ydinenergia-alan käyntiinpäntäjä Suomessa

*Olen tullut akateemikko Jorma K. Miettisen ja hänen vaimonsa Eevan kotiin Viikin Tilanhoitaja-kaarelle tekemään haastattelua tästä meille ATS:läisille kovin tutusta keskusteleavasta tutkijasta. Kerron että ideana on keskustella haastateltavan eri elämäntaiheissa tärkeällä sijalla olleista asioista. Arvelen yhdeksi sellaiseksi hänen toimintaansa Pugwash -tiedemiehet ydinaseriisunnan puolesta -järjestössä. Näin olikin mutta sitä ennenkin oli jo ehtinyt tapahtua paljon. Oli kouluaika ja erityisen voimakkaana kokemuksena sodan viisi vuotta, oli opiskelu orgaanikoksi ja 15 vuotta biokemistinä "nobelprofessori" A. I. Virtasen Biokemian laitoksella. Tämä vaihe muuttui vähitellen kolmen vuosikymmenen elämäntaiheeksi Radiokemian laitoksen (HYRL) perustajana ja professorina. Olen pikku hiljaa alkurupattelun aikana saanut uuden diginauhurin ja vanhan C-kasettinauhurin päälle ja olo on jo kuin Ruotsin entisellä valtiovarainministeri Gunnar Strängillä, on yön lisäksi myös henkselit, siis turvallinen. Haastattelu voi alkaa.*

## Tanakasti helsinkiläinen

*Mennäänkö ensin noihin sota edeltäneisiin vaiheisiin, mistä olette kotoisin?*

”Minä olen Helsingistä, isä oli kuopiolainen ja monta sukupolvea taakse päin esi-isät ovat Kuopiosta. Isä oli sähköinsinööriä Keskusosuusliike Hankkijassa. Viisi ensimmäistä vuotta asuin keskuskivon tienhaaraa vastapäätä Hämeentiellä, entisellä Itäisellä Viertotiellä. Ne olivat oikein ihania lapsuusajan vuosia kuin olisi elänyt pikkukaupungissa. Sieltä muutin Tapanilaan, jossa asuin Talvisotaan asti.”

*Kävittekö myös Tapanilan koulua?*

”Aloitin koulunkäynnin suoraan Tapanilan kansakoulun alakoulun toiselta luokalta ja yläkoulun ensimmäisen luokan jälkeen, kaksi vuotta muita nuorempana ja erityisesti pienempänä, minut jo lähetettiin oppikouluun. Kävin sitten Oulunkylän yhteiskoulua, kuljin sinne junalla. Talvisodan puhjettua tuli kutsu Hyrylään ja edelleen RUK:hon Niinisaloon. Sillä armeijan tiellä olin sitten monta vuotta, joskaan talvisotaan en RUK:sta vielä ehtinyt. Sodan aikaan 1943 menin 22-vuotiaana naimisiin luokkatoverini kanssa. Valmistuttuani aloitin Virtasella ja muutimme Köydenpunojankadulle, Valion ja Biokemian laitoksen lähelle. Ensimmäisen oman asuntoni ostin v. 1958 Cygnaeuksenkatu 8:sta Töölöstä. Tämä Viikin asunto on nyt ollut kotimme vuodesta 2000 lähtien.”

## A. I. Virtasen työtoverina

*Miten tulitte menneeksi töihin A. I. Virtasen johtamaan Biokemian laitokseen?*

”Virtanen sai Nobelin palkinnon v.1945. Valmistuin v.1948 orgaanikoksi kun Virtanen soitti professorilleni **Toivoselle**, että hän tarvitsee hyvän orgaanikon. Toivonen sanoi minulle, että ”sanoin niille herroille siellä Kalevankadun päässä, että kyllä minulla täällä yksi hyvä on, mutta en raaskisi luovuttaa.” Virtanen oli lukenut graduni josta olin saanut korkean arvostuksen, minkä vuoksi oli erityisesti muistanut minut. Hän oli sanonut Toivoselle, että ”juu, hänet minä haluan.””

*Nykyään ei kovin yleisesti tiedetä A. I. Virtasen Akatemian esimiehenä aloittaneen ydinenergia-alan organisoinnin Suomessa. Hänen johtamansa komitea mietti, mitä ydinenergia-alalla pitäisi tehdä ja päätti että sen organisointi pitäisi käynnistää.*

”Luulen Virtasen pikkuisen ajatelleen itseään puheenjohtajaksi Atomienenergia-neuvottelukuntaan (AEN) mutta onneksi hän taipui. Minäkin suositin **Erkki Laurila** ja Laurilasta puheenjohtaja sitten tuli. Virtasen tulo tuohon tehtävään olisi ollut virhe, koska Virtanen ei ollut kylliksi alan spesialisti. Minä olin hänen spesiaalisuutensa siihen suuntaan ja selostin hänelle kaikki ne asiat.”

*Olen ymmärtänyt Laurilan loistavimman avun olleen hänen kykynsä tulla erinomai-*

*sesti toimeen kaikkien päättäjien kanssa. Hän organisoij ja järjesti asiat.*

”Laurila oli yleistekniikkamies, hyvin etevä ja kypsä. Hän suositti sitten Jauhoa TKK:n professoriksi ja minua Yliopiston professoriksi.”

## Eri kemoista

*Olette orgaanikko, biokemisti ja radiokemisti, siis mikä?*

”Valmistuin v. 1948 orgaanikoksi prof. Toivosella ja väittelin tohtoriksi biokemiasa prof. A. I. Virtasella. Vuodesta 1961 lähtien olin ”omassa” HYRL:ssä.”

*Orgaaninen kemia kyllä, mutta mikä muuttaa orgaanisen kemian biokemiaksi?*

”Biokemiaa ovat ne orgaanisen kemian yhdisteet jotka toimivat elävissä soluissa. Elämän kemia on biokemiaa. Vain se mikä niiden solujen entsymaattisilla reaktioilla voi syntyä ja toimia on biokemiaa.”

”Biokemiassa etyylialkoholi on tärkeä hapetusreaktioissa syntyvä yhdiste mutta on se orgaanisenkin kemian yhdiste. Eli monet yhdisteet ovat kumpaakin jos ne vaan tuotetaan elävillä soluilla.”

*Kun energia -alalla puhutaan biopolttoaineesta, niin miten biokemia liittyy siihen?*

”Biopolttoaineet synnytetään biokemiallisesta materiaalista ja usein biokemiallisin keinoin, vaikkapa esim. etanoli, jota tehdään autojen polttoaineeksi.”



Lounaspalaverissa ”työmaalla” Radiokemian laitoksella 1960-luvun lopulla, vasemmalta dos. Erkki Häsänen, radiokemian 2. prof. Timo Jaakkola, laboratorions. Timo Autio, prof. Jorma K. Miettinen ja prof. Taisto Raunemaa, naisia ei ole voitu tunnistaa.



*Muovipuun valmistusta radiokemian laitoksella 1960-luvun lopulla, kuvassa oikealla prof. Jorma K. Miettinen ja laboratorioinsinööri Timo Autio.*

*Biopolttoaineen tislaukseen menee joskus energiaa melkein yhtä paljon kuin mitä se tuottaa. Sellainen on vähän kuin taskusta toiseen panisi.*

*"Sitä tehdään usein melko roskasta, maatalousjätteestä, oljesta tai muusta. Puusta tulisi paremmin mutta se on usein kallista materiaalia ellei se ole ihan jätepuuta. Saattaa olla että hakkuujäte metsästä sopii paremmin biopolttoaineiden tekoon kuin miksikään varsinaiseksi puuaineksi. Pahviahhan hakkuujätteestä on tähän asti tehty mutta kyllä siitä etanoliakin syntyy joskaan ei kauhean hyvällä saaliilla."*

## Radiokemian laitoksesta

*HYRL:n kaikki vaiheet suunnittelusta eläkkeelle lähtöönne v. 1986 asti, n. 30 vuoden ajan, on pääelämäntyönne. Mitä tarvetta laitos tuli tyydyttämään, miksi se syntyi?*

*"Se tuli toteuttamaan erityisesti suojaantumista ydinlaskeumalta. Silloin vuonna 1955 alkoi huikea ydinasekilpa jossa toista tuhatta ydinasetta koeräjäytettiin USA:n ja Neuvostoliiton räjäytysalueilla. Meitä lähinnä oli Novaja Zemlja. Laskeuma kiersi ympäri maailmaa mutta sitä tuli paljon Lappiin, jossa minä olin sitä porukan ja mittausauton kanssa vastaanottamassa.*

*Englannista ja muualtakin lensi reporttereita seuraamaan tilannetta. Pelättiin todella ydinsodan voivan syttyä, jolloin saattaisi tulla tappavia laskeumia. Japanissa kuoli yhdessä pommiräjäytyksessä 120 000 ihmistä."*

*Voisiko sitä luonnehtia eräänlaiseksi "palokuntahommaksi", joten alettiin valmistella radiokemian opetuksen käynnistystä Yliopistolla, alan professuuria kun ei vielä ollut?*

*"Se oli "palokuntahomma", puhtaasti väestönsuojelutyötä. Professuuria ei vielä ollut. HYRL oli minun aloitteestani ja Virtasen ja Laurilan suostumuksesta perustettu, joten siinä oli kyllä "oma lehmä ojassa". Jo v. 1950 olin aloittanut radioisotooppien käytön kun niitä alkoi saada Englannista, kehitin menetelmiä siitä lähtien. Kiertelin monta vuotta Eurooppaa ja USA:ta ja tutkin miten radiokemian opetus ja tutkimus oikein pitäisi järjestää. Tein ehdotuksen joka on alusta pitäen v. 1961 toiminut erinomaisesti. On kolme osastoa: radioaktiivisten jätevesien käsittely, plutoniumin ja muiden alfa-aktiivisten aineiden käsittely, kolmantena ryhmä "muut". Ensin HYRL toimi Yliopiston nurkalla kemian laitoksessa ja vuodesta 1964 uudisrakennuksessa Unioninkatu 35:ssä Metsätaloa vastapäätä. Nykyisiin tiloihinsa Kumpulaan A. I. Virtasen aukiolle HYRL muutti v. 1986 eläkkeelle jäämiseni aikaan. Laitos on yhä rakenteeltaan hyvä, minun jälkeeni siinä on ollut jo neljä professoria."*

*Meillä STUK on tarkka ja vaativa viranomaisen. Tarkastaessaan ja valvoessaan STUK toimii konkreettisemmin paikan päällä, esim. SKI Ruotsissa valvoo liikaa vain "kirjoituspöydän takaa". Suomalainen käytäntö kyllä lisää turvallisuutta.*

*"Meidän STUK:imme on toiminut hyvin, Vuorinen pani sen hyvälle mallille ja jatkokin on ollut hyvä. HYRL:n ja STUK:n välillä on*

*ollut hirveän hyvä yhteistyö, meidän olemme tavallaan kilpailijoita. Aloitimme ympäristövalvonnan Lapissa ja muualla noin v. 1960 ja jatkoimme sitä käytännössä ainoana vuoteen 1965. Salimäki johti SFL:ä ihan lääketieteellisen laitoksen hengessä niin, ettei hän tehnyt ollenkaan ympäristövalvontaa. Mutta kun meidän oppilaamme kuten **Anneli Salo** ja **Tua Rahola** sitten valmistuivat, niin Säteilyfysiikan laitos (SFL) otti heidät. Ja sitten se alkoi hoitaa ympäristövalvontaa, mikä sille itse asiassa kuuluukin."*

*Onko yhteistyö HYRL:n ja STUK:n välillä edelleen hyvää?*

*"Jatkuvasti näyttää olevan yhteistyötä. Eikä ole mitään kitkerää kiistaa. On hirveän tärkeää ettei sellaista ole. Tutkijat ovat vanhoja tuttuja, ystäviä keskenään. On hyvät välit, samoissa tieteellisissä seuroissa ollaan. Minä iloitsin tavattomasti siitä, kun minun oppilaani kelpasivat STUK:een ja meillä oli hyvä yhteistyö, oli yhteisiä tutkimuksia ja projekteja Lapissa."*

*HYRL:ssähän on kehitetty mm. ioninvaihtomenetelmä, jonka IVO sitten otti käyttöön ja teki siitä kaupallisen vientituotteen. Mikä sen toimintaperiaate on?*

*"HYRL keskittyy paljon juuri jätteiden käsittelyn menetelmiin ja metodeihin. Ioninvaihtomenetelmässä radionuklidit saadaan talteen ja päästään jätetilavuudessa esimerkiksi 20 kuutiometristä ehkä 20 litraan. Näin siksi koska se muu, joka päästetään ioninvaihtajien läpi on vettä. Päästään erittäin konsentroituineisiin tuotteisiin ja loppu voidaan konsentroida vaikkapa kiinteäksi."*

*Tällä hetkellä ydinvoima on Suomessa selkeässä myötätuulessa, viidettä laitosta rakennetaan ja uusia hankkeita ollaan käynnistämässä.*

*"Ne kauhukuvat, joita ydinvoimasta tehdään, eivät välttämättä ole oikeita. Tsernobylin on ainut vakava onnettomuus, joka on sattunut. Yhdysvaltojen Harrisburgissa ei kukaan vahingoittunut, ympäristövaikutuksia ei ollut paitsi että vähän jodia pääsi karkuun. Mutta Tsernobylin laskeuman vaikutuksista on paljon liioittelua, sillä kaikkein pienimmillä säteilyillä ei tule kuolemantapauksia, korrelaatio ei lähde lineaarisesti nolasta vaan luotettavimmat tutkimukset*





Radiokemian laitoksen henkilökunta 1972. Eturivissä vasemmalta Helena Ikonen, Aila Häkkinen, Jorma K. Miettinen, Maria Bysick, ja Tua Rahola. Keskirivissä Timo Autio, Anja Elomaa, Lisa Saares, Kristiina Rissanen, ja Pentti Kauranen. Takarivissä Juhani Hakkarainen, Jorma Aaltonen, Michael Tillander, Esko Karttunen ja Toivo Myllyaho.

viittaavat S-viivaan. Lapsia on valitettavasti kuollut kilpirauhassyöpään varmasti kymmeniä ellei satoja. Mutta esitetyjä massiivisia kuolleisuuslukuja käytetään vain rauhanomaisen ydinvoiman vastustamiseen. Meillä Suomessa kyetään ydinvoimaa tuottamaan ja jätteetkin säilömään turvallisesti.”

## IAEA:n nykymerkityksestä

*Kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA, Tähän olitte siinäkin vahvasti mukana.*

”Kävin siellä kokouksissa melko säännöllisesti professorina ollessani. Laurila oli Suomen edustaja hallituksessa, mutta minä kävin erityiskokouksissa. Oppilaani **Olli Heinonen**, väitteli tohtoriksi 1960 –luvulla, meni IAEA:han töihin ja jäi sille tielle. On nyt korkeassa virassa IAEA:n apulaispääjohtajana.”

*Tämän päivän näkökulmasta IAEA:n rooli on hiukan hämartyntynyt. Lehdistä voidaan lukea IAEA:n olevan mukana Iranin ja Pohjois-Korean asioiden käsittelyssä, mutta muuten ei järjestöstä oikein tiedetä. Mikä IAEA:n rooli nykyään oikeastaan on?*

”Kai paljolti sama kuin ennenkin, hyvin tärkeä. Se valvoo meilläkin HYRL:n kellarissa olevaa plutoniumia, käy parin vuoden välein katsomassa että se on tallessa. Ja järjestää aika hyviä tieteellisiä konferensseja, useimmat niistä Wienissä.”

## Pugwashista -tiedemiehet ydinaseriisunnan puolesta

*Voitaisiinko puhua hieman Pugwashista, se kun on minulle varsin outo alue? Eli synty-*

*kö se tiedemiesten piirissä sotaa ja ydinasetta vastaan?*

”V. 1956 **Einstein** kirjoitti **Scott Russellile** Lontooseen että ydinasevarustelu pitäisi saada loppumaan. He kirjoittivat yhteisen kirjelmän, Einstein – Scott Russel – manifestin. Siinä suurvaltoja kehoitettiin loppettamaan koko ihmiskunnalle vaarallinen aseitten tuotanto ja ennen kaikkea niiden ilmatilassa räjäyttely. Vähitellen kokeet siirtyivätkin maan alle ja laskeumat vähenivät. Manifestin seurauksena pidettiin Pugwash (tarkoittaa intiaaniheimoa) -järjestön perustava kokous USA:n Newfoundlandissa erään monimiljonäärin huvilalla v. 1957. Sinne tulivat Einstein, Russel ja muut, puolalainen prof. Rollblott oli sihteerinä.”

”V. 1959 minusta tuli Maanpuolustuksen tieteellisen neuvottelukunnan puheen-

johtaja. Osallistuin silloin toiseen Pugwash -kokoukseen Wisconsinissa ja pidin siellä esitelmän. Sipri, Stockholm International Peace Research Institute, pyysi minua ottamaan järjestääkseni kansainvälisen ydinaseriisuntakonferenssin. Menin asiassa siten presidentti **Kekkosen** puheille ja hän antoi Königstedtin kartanon käyttöömme. Kutsuimme parikymmentä huippuasiantuntijaa Suomeen ja kokous oli onnistunut. Sen jälkeen sitten ehdotin Pugwash -toimikunnan perustamista Suomeen. Se on Tieteellisten seurain jäsenoimikunta, jäseniä noin 125, aktiiveja parikymmentä. Olemme pitäneet kaksi kansainvälistä Pugwash -konferenssiakin Lahdessa.”

*Ja Pugwash on siis edelleenkin ajankohtainen?*

”On, koska monet valtiot, yhdeksän ydinasevaltiota ja sellaiseksi pyrkivät kuten esim. Iran, suunnittelevat kaiken aikaa uusia ydinaseita. Pugwash tekee aina kriittisiin tilanteisiin lausumia. Syyskuussa Italian Barissa olevassa kokouksessa asialistalla on ydinaseriisunnan uudelleen käyntiin saaminen, USA:han erosi YK:n alaisen Geneve -toimikunnan toiminnasta ja ydinaseriisunnasta alettuaan käyttää uusia ydinaseita, risteilyohjuksia ja muita. Venäjä ja Kiina kehittävät torjuntaohjuksia ja muita järjestelmiä. Pugwash on puhtaasti tiedemiesten liitto, siinä on jäsenenä 2500 tiedemiestä. Periaatteena on toimia einsteinilaisessa hengessä – tärkeintä on muistaa ihmällisyys, kaikki muu on turhaa – se ei politikoi ja siinä on myös onnistuttu.”

## Assosiaatiosanaleikki

- Pugwash?  
”Ydinaseriisunta.”
- A. I. Virtanen?  
”Biokemian isä.”
- Akateemikko?  
”Olen jäävi sanomaan (naurua).”
- Viikki?  
”Ihana, luontoa lähellä oleva asuinlähiö, tiedekeskuskin.”
- Ydinenergia?  
”Radioaktiivisuus.”
- Tiedekeskus?  
”Tutkimus, sen kansantajuistaminen.”

# Jyväskylän yliopiston kiihdytinlaboratorio – yli 30 vuotta ydinfysiikkaa

*Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen (JYFL) perustajista useimmat olivat ydinfysikoita ja he tiesivät, että atomin ytimien kokeellinen tutkimus ilman kunnan työkalua, kiihdytintä, on näpertelyä. Professori Kanteleen arvovaltaa tarvittiin, jotta ns. minisyklotronin hankkimiseen tarvittavat 1,7 miljoonaa markkaa saatiin noin vuonna 1970.*

**Y**liopistomaailmassa kilpailu resursseista oli silloinkin kova ja kateelisiä riitti. Toimitusvaikeuksien jälkeen, vihdoinkin vuoden 1973 lopulla minisyklotroni ( $K = 20$ ) oli jotakuinkin vastaanottokunnossa ja sen vaatimat tilatkin olivat jo odottaneet Nisulankadulla, vanhan fysiikan laitoksen kellarissa.

Ionisuihkujen saaminen huonosti toimivasta kiihdyttimestä sekä suihkuputkilinjojen suunnittelu ja rakentaminen oli parasta mahdollista alan koulutusta, puhumattakaan erilaisten säteilyilmäisimien ja spekrometrien suunnittelusta ja rakentamisesta. Omia ideoita tarvittiin kansainvälisen tason saavuttamiseksi.

## Uusi kiihdytinlaboratorio uudelle kampukselle

Kahdeksankymmentäluvun lopulla alettiin uutta luonnontieteiden kampusta rakentaa Jyväsjärven toisella rannalla sijaitsevalle Ylistörinteelle. Oli luonnollista, että uusiin tiloihin oli saatava uusia moderneja laitteita. Suomen yliopistomaailmassa ei ollut eikä ole vielääkään virallista väylää kalliiden tutkimuslaitteiden rahoittamiseksi.

Jyväskylän yliopiston ehdotus uuden syklotronin hankkimiseksi JYFL:iin vietiin suoraan opetusministeriöön vuonna 1982. Noin 50 miljoonan markan ehdotuksena

se oli ennenkuulumaton. Monien vaiheiden jälkeen, vihdoinkin vuoden 1987 budjetissa hankkeeseen osoitettiin 30,5 miljoonaa markkaa. Se oli Suomen kallein yksittäinen tutkimuslaittehankinta, ja on sitä ilmeisesti vieläkin.

Uuden syklotronin ( $K = 130$ ) ja sen ionilähteen suunnittelu eteni rivakasti JYFL:n oman kiihdytinryhmän toimesta. Hankinnat tehtiin ja kiihdytinrakennuskin valmistui aikataulussa. Vanhasta minisyklotronista tehtiin uuden suihkuputkilinjaston jakomagneetti. Ensimmäiset ionisuihkut saatiin käyttöön vuonna 1992.

Varsinainen tutkimushallikin valmistui ja sen luolien ja suihkulinjojen rakentamisessa kunnostautuivat uuden sukupolven dream-tiimit vanhojen eksperttien johdolla. Tärkeää hankkeen käynnistämiseksi oli Suomen Akatemian ja Jyväskylän yliopiston välinen tutkimussopimus, joka sisälsi tutkijanvirkojen lisäksi myös merkittävän tutkimusrahoituksen.

## Kansainvälinen yhteistyö oleellista

Syklotroni ionilähteineen on osoittautunut erittäin luotettavaksi kiihdytinratkaisuksi. Jo vuonna 1996 saavutettiin vuosittainen 6000 tunnin käyttöaste. Nimenomaan itse-rakennettujen ECR (Electron Cyclotron Re-

sonance) – ionilähteiden tarjoaman laajan suihkuvalikoiman ja rohkean tutkimuslaitekehitystyön ansiosta JYFL:n kiihdytinlaboratorio on nyt yksi johtavista stabiilien suihkujen laboratorioista maailmassa. Vierailuvia tutkijoita on vuosittain yli 200.

Toisin kuin useimmat vastaavan kokoiset laboratoriot, JYFL:n kiihdytinlaboratorio on osa yliopiston laitosta. Siksi opiskelijoiden ja nuorten tutkijoiden työpanos tutkimuksen toteutuksessa ja laitteiden asennuksessa on korvaamaton. Vastaavasti laboratorio toimii ihanteellisena kokeellisen fysiikan koulutuspaikkana. Kaikki nämä seikat yhdessä joustavan organisaation kanssa herättivät ulkomaisten kollegojen huomion.

Kansainväliseen eturintamaan pääsemisen edellytyksenä on ollut tiivis kansainvälinen yhteistyö mittaustieteiden kehittämisessä. Brittien johdolla ulkomaisten laiteinvestointien osuus ylittää jo syklotronin arvon.

Korkean kansainvälisen tason saavuttaminen edellyttää myös aktiivista osallistumista koko Euroopan ydinfysiikan tutkimuksen koordinointiin ja tulevaisuuden hankkeiden suunnitteluun. Vuodesta 1996 lähtien JYFL:n kiihdytinlaboratorio on toiminut yhtenä tutkijoita vastaanottavana laatulaboratoriona EU:n neljännessä, vii-



Jyväskylän syklotronista saadaan ECR-ionilähteiden avulla erilaisia ionisuihkuja protoneista ksenoniin. Suihkun maksimienergia  $E = K(q^2/A)$  MeV, missä  $K = 130$ ,  $q$  kiihdytettävän ionin varausaste ja  $A$  massaluku.

dennessä ja kuudennessa puiteohjelmassa. Tähän toimintaan liittyy useita yhteiseurooppalaisia laitekehityshankkeita, joita JYFL myös koordinoi. Laboratorio on toiminut myös EU:n Marie Curie -ohjelman koulutusyksikkönä.

Jyväskylän kiihdytinlaboratorio on malliesimerkki jatkuvasti kehittyvästä suuresta tutkimusinfrastruktuurista ja osaamiskeskuksesta. Sen historia osoittaa kuinka suuri laitehankinta voi johtaa Suomen tiedemaailmassa ainutlaatuisen kansainväliseen yhteistyöhön.

## Ydinastrofysiikkaa ja superraskaita alkuaineita

JYFL:n kokeellisen ja teoreettisen ydinfysiikan tutkimus yhdessä kiihdytinpohjaisen fysiikan sovellusten kanssa muodostaa vuosina 2006–2011 uuden SA:n rahoittaman Ydin- ja Kiihdytinfyysiikan Huippututkimusyksikön.

Yksikön muodostavat JYFL:n kahdeksan tutkimusryhmää.

Ydinfysiikan perustutkimusta tekevät ryhmät hakevat vastausta kysymyksiin alkuaineiden synnystä maailmankaikkeudessa, kuinka monesta nukleonista ydin voi rakentua, miten nukleonien välinen voima riippuu protoni-neutroni-suhteesta ja miten ytimen kollektiiviset ominai-

suudet liittyvät yksittäisten nukleonien liikkeeseen.

JYFL:ssä kehitettyä ns. IGISOL-massaerointia, ioniloukkuja ja laserlaitteistoja käytetään protoni-indusoidun fission avulla tuotettujen lyhytikäisten neutronirikkaiden isotooppien eristämiseen niiden ominaisuuksien tutkimiseksi. Laitteiston avulla on tuotettu kymmeniä uusia isotooppeja ja mitattu yli sadan ytimen massat 10 keV tarkkuudella.

Tällainen tieto on oleellista ydinastrofysiikan kehittämisen kannalta. Tähtien elinkaaren alku- ja loppuvaiheiden ymmärtämiseen liittyy myös ko. laitteistolla äskettäin tehty  $^{12}\text{C}$ -ytimen viritystilojen tutkimus, jonka tulokset julkaistiin arvostetussa Nature-lehdessä (Nature 433(2005) 418).

Fuusioimalla syklotronista saatavia raskasionisuihkujen isotooppeja stabiilien lyijyalueen kohtioisotooppien kanssa voidaan tuottaa superraskaita alkuaineita. JYFL:ssä suunnitellun kaasutäyteen rekyylinerottimen ja yhteiseurooppalaisen 43:n Ge-BGO-ilmaisimen muodostaman erittäin tehokkaan yhdistelmäspektrometrin avulla on muiden muassa pystytty havaitsemaan gammasäteitä, jotka antavat tietoa äärimmäisen epätodennäköisen  $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb}$ -fuusiohöyrystysreaktion

kautta syntyneen 254-Nobelium-ytimen rakenteesta (Nature 442 (2006) 896).

## Ionisuihkujen käyttö sovelluksissa

Osana huippututkimusyksikköä JYFL:n kiihdytinlaboratorion kokeellinen sovelta-va tutkimus kehittää uusia, tehokkaampia menetelmiä ionisuihkujen tuottamiseksi sekä etsii uusia ionisuihkusovelluksia ja rakentaa laitteita teollisuuden ja tutkimuksen käyttöön.

JYFL:n kiihdyttimen suihkuja käytetään yhä enenevässä määrin erilaisissa materiaalien muokkaukseen ja testaukseen liit-



Jyväskylän kiihdytinlaboratoriossa noin puolet tutkimushenkilökunnasta on opiskelijoita. Kuvassa opiskelijajoukko testaa 43 Ge- ja BGO-ilmaisimen muodostamaa ilmaisinpalloa.



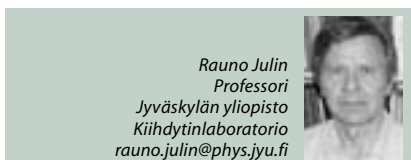
Jyväskylän kiihdytinlaboratorio on yksi ESA:n virallisista testilaboratorioista. Satelliiteissa käytettävien elektroniikkakomponenttien säteilykestävyyttä testataan syklotronista saatavilla keveiden ja raskaiden suihkujen cocktaililla.

tyvissä sovelluksissa. Euroopan Avaruusjärjestö ESA:n kanssa tehdyn sopimuksen mukaan JYFL:n kiihdytinlaboratorio toimii ESA:n virallisena avaruuskomponenttien testauslaboratoriona. Kaupallisesta toiminnasta tärkeimmän osan muodostaa MAP Medical Technologies -yrityksen kautta Suomen sairaaloihin viikottain toimitettavan  $^{123}\text{I}$ -radioisotoopin tuotanto  $^{124}\text{Xe}(p,2n)^{123}\text{I}$ -reaktion avulla.

## Lisää kiihdyttimiä

Vuoden 2006 lopulla JYFL:n kiihdytinlaboratorion materiaalitutkimuksen ryhmä sai käyttöönsä Helsingin VTT:n osastolta JYFL:iin siirretyn 1,7 MV:n pelletron-tandemkiihdyttimen. Tästä kiihdyttimestä saatavia matalaenergisiä protoni- ja alfa-hiukkas-suihkuja käytetään materiaalitutkimuksessa. Niiden avulla tuotetaan myös rakenteita, joita käytetään nanoteknologiassa ja solututkimuksessa.

JYFLin kiihdytinlaboratorio saa entisen Neuvostoliiton velan osittaisena velkakonversiona (arvo 5,9 MUUSD asennuksineen) uuden kahdella suihkulinjalla varustetun kevytionisyklotronin ( $K = 30$ ). Toimitus tapahtuu vuonna 2009. Uutta syklotronia tullaan käyttämään protonisuihkuja tarvitsevaan perustutkimukseen ja erityisesti lääkeaineisotoppien tuottoon. Sen käyttöönotto mahdollistaa myös nykyisen ison syklotronin tehokkaamman huollon ja siitä saatavien raskasionisuihkujen kehitystyön.



Rauno Julin  
Professori  
Jyväskylän yliopisto  
Kiihdytinlaboratorio  
rauno.julin@phys.jyu.fi

## Risto Kuoppamäki



Teollisuuden jätevedet virtaavat usein avokanavissa, missä myös niiden virtausmittaus toteutetaan. Mittalaitteina käytetään mm. mittapatoja.

**R**adioaktiivisia merkkiaineita käytetään teollisuuden prosessimittauksissa samaan tapaan kuin niitä käytetään lääke- ja kasvitieteessä. Mittakaava on kuitenkin tuntuvasti isompi, mistä johtuen käytetyt aktiivisuudetkin ovat isompia. Mittausten tavoitteena on tavallisesti selvittää, miten eri faasien virtaukset prosessissa tapahtuvat.

Prosessiteollisuuden merkkiaineet ovat pääsääntöisesti gamma-aktiivisia isotooppeja, jotta ne kyettäisiin havaitsemaan suoraan putkien ja prosessilaitteiden seinämiensä läpi ilman näytteenottoa. Merkkiaineet on pääsääntöisesti valmistettu tutkimusreaktoreissa stabiileista isotoopeista ( $n, \text{gamma}$ )-reaktiolla. Tavallisimmat merkkiaineet ovat  $^{82}\text{Br}$ ,  $^{24}\text{Na}$  ja  $^{140}\text{La}$  sellaisina yhdisteinä tai sellaiseen materiaaliin kiinnitettynä, että merkkiaineisotoppi seuraa tutkimuksen kohteena olevaa faasia. Edellä mainittujen isotooppien puoliintumisaikat ovat välillä 15–40 tuntia, mikä on tavallisesti riittävä mittauksen toteutuksen kannalta, mutta on kuitenkin säteilysuojelun kannalta lyhyt.

Säteilyilmaisimina käytetään  $\text{NaI}$ -tuikeilmaisimia. Lyijykollimaattoreilla parannetaan mittausten signaali-tausta-suhdetta.

## Merkkiainemittausten historia Suomessa

Eri puolilla maailmaa alettiin 1950- ja 1960-luvuilla innokkaasti tutkia radioaktiivisten merkkiaineiden teollisuussovelluksia. Suomessa tämä tutkimus tapahtui Reaktorilaboratoriossa, missä sitä tehtiin aluksi TKK:n, sittemmin VTT:n alaisuudessa.

Alkuvaiheen suuri hankaluus oli suuren mittausedatamäärän tallennus ja käsittely. Kannettavat tietokoneet toivat 1980-luvun alussa ratkaisun tähän ongelmaan ja loivat edellytykset kaupallisten mittausspalveluiden kehittymiselle. Merkittävimäksi palveluksi kehittyi teollisuuden virtausmittausten kenttäkalibrointi, mitä VTT:llä lähdettiin voimaperäisesti kehittämään.

Keskeinen menetelmä oli ja on edelleen ns. kulkuaikamenetelmä. Siinä virtauksen referenssiarvo määritetään syöttämällä mitattavaan putkivirtaukseen merkkiainepulssi ja mittaamalla pulssin kulku-



# Radioaktiiviset merkkiaineet prosessiteollisuuden mittauksissa

*Radioaktiivisten merkkiaineiden avulla voidaan selvittää eri faasien virtausta teollisuusprosesseissa. Suomessa merkkiainetekniikan teollisuussovelluksia on tutkittu ja kaupallistettu jo pitkään. Tekniikan tärkein sovelluskohde tällä hetkellä on virtausmittausten kenttäkalibroinnit, joita tarvitaan muun muassa ympäristöpäästöjen luotettavaan mittaamiseen sekä tuotantoprosessien energiaefektiivisyyden todentamiseen.*

nopeus kahden säteilynilmaisimen välillä. Radioaktiivisen merkkiaineen lähteeksi kehitettiin VTT:llä  $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$  -generaattori, mikä mahdollisti kalibroijan omavaraisuuden radioaktiivisen merkkiaineen suhteen. Generaattorista saatavan  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ :n puoliintumisaika on vain 2,5 minuuttia. Se riittää kuitenkin virtauksen referenssiarvon määrittämiseen putkissa tapahtuville virtauksille, joita teollisuuden virtaukset pääasiassa ovat.

## Kaupallinen toiminta

Merkkiainetekniikkaan perustuva kaupallinen toiminta Suomessa alkoi vuonna 1986, jolloin VTT:n piiristä syntyi Indmeas Oy. Indmeasilla oli VTT:sta lähtiessään hallussaan melko pitkälle kehitetty virtausmittausten kenttäkalibrointitekniikka; vain markkinat puuttuivat. Kenttäkalibroinnit olivat teollisuudelle tuolloin täysin uusi asia.

Yleisesti oli vallalla virtausmittarivalmistajien luoma käsitys, että virtausmittarit näyttävät asennuspaikoissaan aina oikein, koska valmistaja on ne kalibrointilaboratoriossaan kalibroinut. Teollisuuden piiris-

sä kyllä monet salaa epäilivät tätä totuutta, koska prosessien ainetaseet vain harvoin täsmäsivät. Indmeasin toiminnan alkuvuotia värittivät oppiriidat siitä, mikä on oikea virtausarvo. Kiistat vähenivät merkittävästi, kun Indmeas vuonna 1994 hankki kenttäkalibroinneilleen akkreditoinnin. Akkreditointi tarkoittaa pätevyyden toteamista ja sen myöntää akkreditointiviranomaisen huolellisen mittausteknisen tarkastuksen perusteella.

Akkreditoinnin jälkeen monet mittarivalmistajat taipuivat myöntämään, että heidän akkreditoitujen laboratorionsa saama kalibrointitulos ei välttämättä päde mittarin lopullisessa asennuspaikassa. Kaiken kaikkiaan mittarivalmistajille ja myös mittareita käyttävälle teollisuudelle on ollut yllätys, kuinka paljon mittarin asennuspaikaolosuhteet sekä myöskin mittarin asennus ja viritys vaikuttavat virtausmittarin näyttämään.

Indmeas on toimintansa alusta lähtien kenttäkalibroinut myös teollisuuden jätevesivirtausten avokanavamittauksia. Teollisuuden ympäristövaatimusten tiukentu-

essa avokanavamittausten kalibrointien kysyntä on vähitellen kasvanut ja nykyisin Indmeas tekee niitä säännöllisesti esim. lähes jokaiselle paperi- ja sellutehtaalle Suomessa.

Ruotsin viranomaisten vaatimustaso on vesistö päästöjen määrittämisen tarkkuudelle Suomea matalampi, joten siellä avokanavamittausten kalibrointeja tehdään vähemmän. Avokanavamittausten kenttäkalibrointi tapahtuu ns. laimennusmenetelmällä. Siinä merkkiaineliuosta syötetään virtaukseen vakionopeudella tyypillisesti 15–20 minuuttia. Avokanavavirtauksen referenssiarvo saadaan merkkiaineen syötön nopeuden ja säteilymittauksin näytteistä määritetyn laimennussuhteen osamääränä. Laimennusmittaus vaatii pitkäikäisemmän merkkiaineen kuin  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ . Indmeas laajensi akkreditointiaan vuonna 2006 kattamaan myös laimennusmenetelmällä tehtävät kenttäkalibroinnit.

## Prosessitutkimukset

Indmeas on virtausmittausten kenttäkalibrointien ohella tehnyt koko ajan myös



Mittauslaitteistoa asennetaan virtausmittauksen kalibrointia varten.

prosessiteollisuuden merkkiainetutkimuksia.

Suurin osa tutkimuksista on kohdistunut sellu- ja paperiteollisuuden prosessien virtausteknisten ominaisuuksien ja niiden parannusmahdollisuuksien selvittämiseen.

Niiden puitteissa on käyty perusteellisesti läpi koko tuotantoprosessi sellutehtaan hakevaraston laaduntasausominaisuuksien selvittämisestä täyteaineiden jakautumiseen paperirainan pituus- ja poikkisuunnassa.



Säteilyilmäisimia keittimen seinämällä.

Prosessitutkimukset ovat olleet asiakkaille pääsääntöisesti erittäin hyödyllisiä. Indmeasin työntekijöille ne ovat olleet projektiluontoisuudessaan samalla kertaa sekä virkistäviä että haasteellisia. Kertaluonteisuudesta ja suuresta räätälöintias- teesta johtuen niiden tuotteistaminen on kuitenkin ollut vaikeaa ja markkinointi sen vuoksi työlästä. Liiketaloudellinen merkitys Indmeasille onkin tämän vuoksi jäänyt ainakin toistaiseksi vähäiseksi verrattuna kenttäkalibrointeihin.

### Tulevaisuuden näkymät

Virtausmittausten kenttäkalibroinnit ovat markkinapotentiaaliltaan ehdottomasti merkittävin merkkiainetekniikan sovel- lusalue tällä hetkellä. Kenttäkalibrointien tarve maailmalla nopeasti kasva- maan. Moottorina kysynnän kasvattami- ssa toimivat viranomaiset. Selkein esi- merkki on hiilidioksidin päästökauppa. Toi- mijakohtaiset hiilidioksidipäästöt on luo- tettavasti todennettava, koska niillä käy- dään kauppaa. EU -tasolla valmistellaan parhaillaan tiukkoja vaatimuksia tuotan- toprosessin energiaefektiivisyydelle. Vaa- timusten mukaisuutta ei voida osoittaa ilman energiavirtojen luotettavia mittauksia.

Indmeas työllistää tällä hetkellä runsaat 20 henkilöä, millä kapasiteetilla se pys- tyy kattamaan vain osan Suomen ja Ruot- sin tämänhetkisestä potentiaalisesta ka- librointitarpeesta. Kapasiteettia on tarkoi- tus kasvattaa lähivuosien aikana reippaa- seen tahtiin.

Mualla maailmassa virtausmittausten kenttäkalibroinnit ovat vielä jokseenkin tuntematon asia. Indmeas on tietävästi ainoa yritys, jonka kenttäkalibroinnit ovat akkreditoituja. Tämä tilanne tuskin tulee säilymään kauan.

TkL Risto Kuoppamäki  
Toimitusjohtaja  
Indmeas Oy  
risto.kuoppamaki@indmeas.com



# Sisäilman radonpitoisuus ja torjuntatoimet

*Maaperän radonpitoisen ilman virtaukset sisätiloihin ovat merkittävien sisäilman radonpitoisuuden syy Suomessa. Maaperässä oleva uraani ja radium kasvattavat maaperän huokosilman radonpitoisuutta.*

**L**aajan yhteiseurooppalaisen tutkimuksen perusteella radon aiheuttaa Suomessa 300 keuhkosyöpätaapausta vuosittain (Darby ym. 2005). Tupakointi on ylivoimaisesti merkittävin syy. Radonin aiheuttama syöpäriski on suurempi tupakoivalle henkilölle kuin tupakoimattomalle.

Radon ja tupakointi vahvistavat toistensa haitallista vaikutusta. EU-tutkimuksen mukaan vuosikymmenien altistus jo 600 Bq/m<sup>3</sup> pitoisuudessa lisää sekä tupakoitsijan että ei-tupakoivan riskin kaksinkertaiseksi.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen ja Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisesti:

Asunnon huoneilman radonpitoisuus ei saisi ylittää arvoa 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Uusi asunto tulee suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuus ei ylitä arvoa 200 Bq/m<sup>3</sup>.

## Sisäilman radonpitoisuudet Suomessa

Radonpitoisuus maaperän huokosilmassa on hyvin suuri, tavallisesti 30 000–100 000 Bq/m<sup>3</sup>. Jo pienetkin virtaukset voivat kas-

vattaa sisäilman radonpitoisuuden yli sallittujen rajojen.

Radonpitoisuudet suomalaisissa asunnoissa ovat maailman korkeimpia. Valtakunnallisen otantatutkimuksen mukaan radonpitoisuuden 200 Bq/m<sup>3</sup> ylittäviä asuntoja arvioidaan olevan Suomessa 225 000 ja korjausrajan 400 Bq/m<sup>3</sup> ylittäviä 66 000. Valtakunnallinen keskiarvo on yli 100 Bq/m<sup>3</sup>. Itä-Uusimaa, Kymenlaakso, Häme ja Pirkanmaa muodostavat yhtenäisen korkean radonpitoisuuden alueen. Radonpitoisuudet ovat suurimpia alueilla, joilla kohonnut uraanipitoisuus ja soraharjut esiintyvät samanaikaisesti.

Kaikkein korkeimman radonpitoisuuden asuinalueet sijaitsevat harjuilla, esimerkiksi Lahden seudulla ja Tampereella. Kerrostaloissa pitoisuusylytyksiä on lähes yksinomaan alimman kerroksen asunnoissa, joiden lattialaatta on suorassa kosketuksessa maaperään.

## Perustustapa ja radon

Perustustapa vaikuttaa merkittävästi radonpitoisuuteen. Maaperän radonpitoisen ilman virtaus perustuksen rakojen ja rakenteiden läpi on merkittävin syy kohonneisiin

radonpitoisuuksiin Suomessa. Sekä alkupe räismaa että paikalle tuodut täyttö- ja sala ojasorat tai murskeet vaikuttavat radonvirtauksiin. Radonpitoisuudet ovat korkeimpia maanvaraisella laattalla varustetuissa taloissa, uusissa taloissa tyypillisesti 100–400 Bq/m<sup>3</sup>. Kellari- ja rinnetaloissa maata vasten olevat kevytsoraharkoista tehdyt seinärakenteet muodostavat merkittävän vuotoreitin.

Radonpitoisuus on selvästi korkeampi 1980-luvulla ja sen jälkeen rakennetuissa taloissa kuin vanhemmissa. Tämä selittyy suurelta osalta rakentamistavan muuttumisella. Maanvarainen laatta on korvanut aikaisemmin yleisesti käytetyn ryömintätälaisen perustuksen. 1970-luvun jälkeen maanvarainen laatta ja rinnetalot, joissa laatan lisäksi on maanvastaisia seinä, ovat tulleet lähes yksinomaiseksi ratkaisuksi. Nämä vallitsevat ratkaisut kuuluvat korkean radonpitoisuuden perustuksiin kun taas aikaisemmin käytettiin alhaisen radonpitoisuuden perustuksia.

## Ilmanvaihto ja radon

Hyvä ilmanvaihto alentaa sisäilman epäpuhtauksien määrää. Kylmässä ilmastos-

*Radonpitoisuuden enimmäisarvojen ylitykset suomalaisissa asunnoissa vuosina 1990-1991 suoritettun valtakunnallisen otantatutkimuksen perusteella*

Talotyyppi	Keskiarvo Bq/m <sup>3</sup>	>200 Bq/m <sup>3</sup> % (lkm)	>400 Bq/m <sup>3</sup> % (lkm)	>800 Bq/m <sup>3</sup> % (lkm)
Pientalot	145	17,9 (209 000)	5,0 (59 000)	1,4 (16 000)
Kerrostalot	80	1,6 (16 000)	0,8 (7 000)	0,3 (3 000)
Kaikki asunnot	120	12,3 (225 000)	3,6 (66 000)	1,0 (19 000)

### Radonkorjausmenetelmillä saavutettuja alenemia

Korjausmenetelmä	Tyypillinen pitoisuuden alenema, %
Radonimuri	60-90
Radonkaivo	80-90
Ilmanvaihtotekniset toimet	20-50
Vuotojen tiivistäminen	20-60
Useita menetelmiä	30-80

samme lämpötilaero ulko- ja sisäilman välillä aiheuttaa paine-eron, joka laittaa maaperän radonpitoisen ilman liikkeelle perustusten alta sisätiloihin. Nykyaikainen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä ei kasvata tätä alipainetta merkittävästi. Tällaisissa asunnoissa alipaineisuus on tyypillisesti 2–5 Pa. Pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto on ongelmallinen radonin kannalta. Se kasvattaa asunnon alipaineisuutta, vaikkakin samalla myös lisää ilmanvaihtoa. Tyypilliset alipaineisuustasot ovat 4–10 Pa. Alipaineisuus vaikuttaa suoraan radonpitoisuuksia kasvattavasti ja vaikeuttaa myös radonkorjauksia.

## Radonkorjaukset

Avainkysymys radonkorjausten onnistumisessa on maaperästä ilmavirtauksen mukana asuntoon kulkeutuvan radonmäärän pienentäminen. Tehokkaimpia ovatkin menetelmät, joilla vaikutetaan suoraan näihin virtauksiin.

Radonimuri on tehokkain menetelmä, jotka sopii useimpiin kohteisiin. Imurilla tehdään laatan alle alipaine, joka vähentää ilman virtausta maaperästä asuntoon, pysäyttäen sen onnistuneessa korjauksessa kokonaan. Imuri myös laimentaa ”tuuletamalla” maaperän ilman radonpitoisuutta. Ympäristöministeriö on julkaissut laadukkaan oppaan radonimurin toteutuksesta (Ympäristöministeriö 1996). Yllä oleva taulukko kuvaa eri menetelmillä saatuja tuloksia (Arvela 1995).

Ilmanvaihdon tehostamisella ja uuden ilmanvaihtojärjestelmän asennuksella on harvoin saavutettu yli 50 % pitoisuusalenemia.

Parhaat tulokset on saavutettu koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon asennuksella kohteissa, joissa ilmanvaihto lähtötilanteessa on ollut puutteellista. Vuotoireittien tiivistämisellä on myös mahdollista alentaa radonpitoisuutta. Hyvät tulokset ovat kuitenkin harvinaisia, koska kaikkien vuotojen tiivistäminen on usein erittäin vaativa ja mahdollisesti kalliskin toimenpide.

Keskimääräinen radonpitoisuuden alenema Suomessa toteutetuissa korjauksissa on noin 1000 Bq/m<sup>3</sup>. Vastaava radonaltistuksen pieneneminen on todella merkittävä, 15 mSv vuodessa.

Radonkorjauksia on toteutettu STUKin käytössä olevien tietojen perusteella 1500-2000 asunnossa. Tähänastisilla mittauksilla on löydetty noin joka seitsemäs yhteensä noin 70 000 asunnosta, joissa korjausraja 400 Bq/m<sup>3</sup> ylittyy. Kaikkien ylitysten korjaaminen tason 200 Bq/m<sup>3</sup> alapuolella vähentäisi kollektiivista altistusta 19 %.

## Radonturvallinen rakentaminen

Radonkorjausten rinnalla radonturvallisten perustus käyttö uudisrakentamisessa on avainkysymys rakennuskantamme sisäilman radonpitoisuuden alentamiseksi. Radontorjunta uudisrakentamisen yhteydessä on halvempaa kuin radonkorjaaminen.

Perustustavan valinnalla voidaan merkittävästi vaikuttaa asunnon radonpitoisuuteen. Hyvin suunnitellulla ja toteutetulla perustusratkaisulla puurakenteisissa pientaloissa, radonpitoisuus jää alle 100 Bq/m<sup>3</sup> tasolla. Jos seinärakenteet ovat betonis-

ta, on pitoisuus keskimäärin jonkin verran korkeampi.

Radonturvallisia valintoja ovat seuraavat:

- tuulettuva alapohja, tiiveys ja tuuletus laadukkaasti hoidettu
- yhtenäinen saumaton maanvarainen laatta
- normaali maanvarainen laatta, joka tiivistetään ohjeiden mukaisesti ja varustetaan radonputkistolla.

Keskeiset ohjeet radonturvallisen perustuksen toteutuksesta on julkaistu vuonna 2003 RT-ohjekortissa (Rakennustieto 2003). Ohje keskittyy maanvaraisen laatan toteutukseen, koska se on kaikkein ongelmallisimien. Keskeisiä toimenpiteitä ovat sokkelin ja laatan tiivistäminen sekä laatan alle asennettava radonputkisto.

Kunnat, uusien asuntojen ostajat ja rakennuttajat ovat alkaneet vaatia radonturvallisten ratkaisujen käyttöä uudisrakentamisessa.

Säteilyturvakeskuksella on käynnissä tutkimus, jolla selvitetään opasaineiston toimivuutta ja radonturvallisella rakentamisella saavutettuja tuloksia.

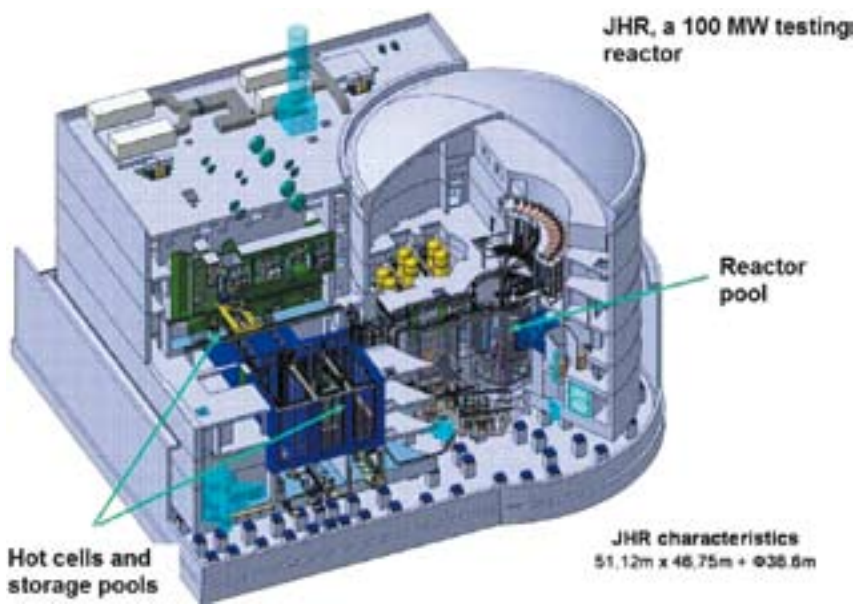
Jo saadut tulokset osoittavat, että huolella suoritettuna tiivistystyöllä on saavutettu alhaisia radonpitoisuuksia.

Mikäli tiivistämistyö on laiminlyöty tai tehty puutteellisesti, radonimurin aktivoiminen alentaa normaalisti merkittävästi radonpitoisuutta. Jos lattialaatan alla olevat täyttömaat ovat erittäin karkeita ja ilmaa läpäiseviä ja asunto samanaikaisesti alipaineinen, radonimurin toiminnassa on myös havaittu puutteita. Imuri pystyy tehokkaasti alentamaan radonpitoisuutta vain suurilla ilmavirroilla, jotka saattavat aiheuttaa kylmähaittoja. Saadut kokemukset korostavat huolellisen tiivistämistyön tärkeyttä.

Hannu Arvela  
Sisäilman radonpitoisuus  
ja torjuntatoimet  
Säteilyturvakeskus - STUK  
hannu.arvela@stuk.fi







JHR MTR -reaktorin yleiskuva, sekä reaktori-sydämen (Reactor pool) ja kuumakammioiden (Hot cells) sekä polttoaineen varastointialtaiden (Storage pools) sijainti.

# JHR MTR

## – Uusi koereaktori Eurooppaan

Eurooppalaiset koereaktorit ovat toimineet oleellisena osana kehitettäessä ja ratkaistaessa ydinvoimatekniikkaan liittyviä kysymyksiä jo yli 40 vuoden ajan. Nyt käytössä olevat koereaktorit eivät kuitenkaan kata enää tulevien vuosikymmenten tarpeita suureksi osaksi ikääntymisen mutta myös teknisen vanhenemisen takia. Tätä tarvetta varten on ranskalainen CEA lähtenyt suunnittelemaan uutta koereaktoria Jules Horowitz Material Testing Reactor, JHR MTR, joka on saanut nimensä ranskalaiselta ydinfysiikan uranuurtajalta.

**S**uunnittelu ja rakentaminen on tarkoitus tehdä eurooppalaisena yhteistyönä, jota varten on maaliskuussa 2007 sovittu projektiin osallistuvasta konsortiosta. Valmiuksia kehitetään erityisesti kokeellisen polttoainetutkimuksen tarpeisiin toteutettavaksi myöhemmin Eurooppalaisena ja kansainvälisenä yhteistyönä tai teollisuuden hankkeina. Merkittävämpien nykyisten eurooppalaisten koereaktorien yhteenveto on esitetty oheisessa taulukossa.

JHR MTR -hanke on julkistettu maaliskuussa 2007 Cadarachessa, jossa myös reaktorin sijoituspaikka tulee olemaan. Koereaktori on teholtaan 100 MWe ja sen tekniset valmiudet erityyppisten olosuhteiden luomiseen ja kokeiden suorittamiseen

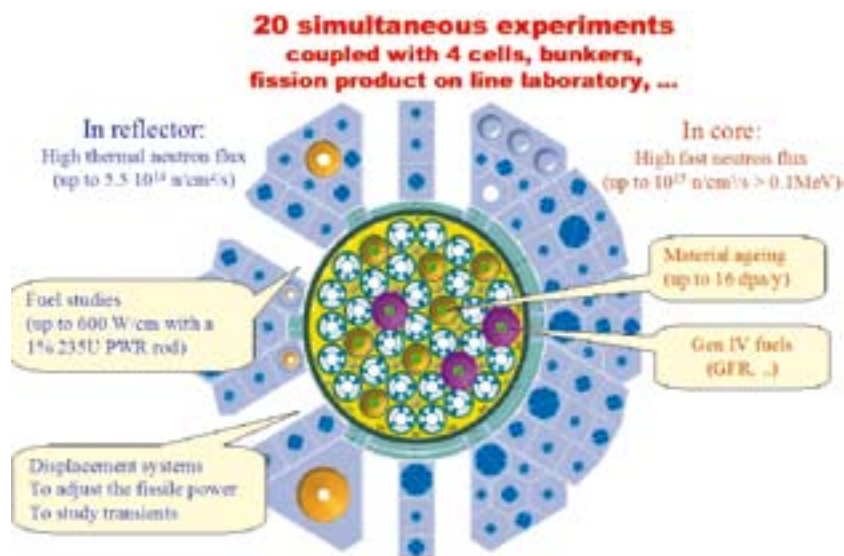
tulevat olemaan laajat ja joustavat. Tavoitteena on palvella nykyisiä II-sukupolven reaktoreita ja samalla rakentaa valmiudet III- ja tulevan IV-sukupolven (nk. GEN-IV) reaktorien tarpeisiin. Reaktori on suunnitel-

tu siten, että käytettävissä olevalla suurella neutronivuolla voidaan kokeissa saada aikaan kaksinkertainen säteilyannos tutkittavaan materiaaliin nykyisiin koereaktoreihin verrattuna. Lisäksi suunnittelus-

*Luettelo merkittävimmistä eurooppalaisista käytössä olevista koereaktoreista (\* suljettu 2001 ja 2005; \*\* poistetaan käytöstä ensi vuosikymmenen alusta).*

Maa	Reaktori	Käyttöönotto	Teho (MWth)
Tsekki	LVR15	1957	10
Tanska	DR3*	1959	10
Norja	Halden	1960	19
Ruotsi	R2*	1960	50
Hollanti	HFR** ?	1961	45
Belgia	BR2	1961	100
Ranska	OSIRIS**	1966	70





*JHR -reaktorin polttoainekokeiden kaaviokuva. Tutkimuspaikkoja on reaktorin lisäksi myös bunkerialueella, jossa etäisyttä reaktorista voidaan säätää.*

sa otetaan huomioon instrumentoinnin ja monitoroinnin vaatimukset. Näin kokeista saadaan mahdollisimman paljon tietoa mallinnuksen tarpeisiin ja erilaisten reaktorityyppien olosuhteet pystytään tuottamaan, hallitsemaan ja monitoroimaan (paine, lämpötila, neutronivuo, jäähdytteen kemia jne).

Tavoitteena on palvella myös tulevia nopeita reaktoreita, joko kaasui- tai natriumjäähdytteisinä tai muina Gen-IV konseptien kautta kehitettyinä versioina. Tutkimusreaktorin käyttövaatimuksissa on otettava huomioon myös erilaiset ohjelmat, teollisten koesarjojen ja tutkimusohjelmien kautta tulevat erilaiset vaatimukset kokeiden suorittamiselle. Yleiskuva koereaktorista on esitetty kuvassa sivulla 17.

## JHR -reaktorin ominaisuudet ja rakenne

JHR -reaktori on sijoitettu pieneen paineistetttuun vesijäähdytettävään altaaseen (hal- kaisija n. 740 mm ja polttoainesauvojen aktiivinen korkeus 600 mm). Reaktorisydäntä kiertää vedestä ja Be-elementeistä tehty heijastinalue. Näytteiden säteilytys voidaan tehdä joko sydämessä (joko polttoai- neessa tai polttoaineen tilalla) tai heijastin- alueella. Tällä saavutetaan maksimissaan 16 dpa/vuosi annos sisäosamateriaaleille (260 täyttä käyttövuotta / vuosi). Yhtäaikaisia kokeita voi olla käynnissä sydämessä ja reflektorialueella noin 20.

Reaktoripiiri on kokonaan reaktoriraken- nuksen sisällä, joka on jaettu kahteen vyö- hykkeeseen - ensimmäisessä on primääri- piiri ja jäähdytysjärjestelmä. Toiseen vyöhyk- keeseen on sijoitettu reaktorikokeita varten tarvittavat apulaitteet (n. 10 erilaista kierto- piiriä järjestelmineen, gammaskannauslait- teet, fissiotuotteiden analysointi jne).

Kuumakammioita sekä näytteiden vaa- tima käsittelyä ja säilytysaltaat ovat reaktori- tilan viereisessä osassa rakennusta. Kuu- makammion on oltava korkeimman turval- lisuusluokan eli A-luokan tila, sillä tavoit- teena on tehdä polttoainekokeita ja erityi- sesti turvallisuuteen liittyviä kokeita. Kolme säilytysallasta on varattu käytettyä poltto- ainetta varten, sekä erilaisten koelaitteiden käsittelyä ja siirtoa varten.

Reaktoriin on tavoitteena luoda laajat kokeelliset valmiudet erityisesti:

Nykyisten ja tulevien laitojen (Gen-II & -III) käytön ja materiaalien vanhenemisen sekä laitojen eliniänhallinnan tarpeisiin,

Gen-III reaktori- evoluution tukemi- seen (koko vuosisadan ajaksi) erityises- ti käytön parantamiseen ja polttoainekier- ron kehitykseen,

Polttoaineiden ja turvallisuuden paran- tamiseen erityisesti (Gen-II & -III) haettaes- sa ratkaisuja taloudelliseen käyttöön (pa- laman ja käyttösyklin nosto UOX ja MOX polttoaineille).

Polttoaineen karakterisointiin erilaisissa käyttö- tai onnettomuustilanteissa:

- Polttoaineen karakterisointiin korkean lämpötilan reaktoreissa (HTR)
- Innovatiivisten materiaalien ja poltto- aineiden kehitykseen ja karakterisoin- tiin Gen- IV systeemeille eri ympäristöis- sä (VHTR, GFR, SCWR tai Pb-tai Na-jäähdy- tys jne).

## JHR MTR:n suunnittelu ja rakentaminen

Koereaktorin rakentaminen on aikataulu- tettu seuraavasti:

- Määrittelyvaihe ja sen vaatima suun- nittelu 2003-2005 (arvio tehdystä työmää- rästä on 100 htv/vuosi)
- Kehitysvaihe 2006-2007
- Rakennusvaihe 2008-2013
- Julkinen hyväksyntä saatu 2005 (ilman vaikeuksia),
- Alustava turvallisuus selvitys toimitettu viranomaisille helmikuussa 2006
- Rakennuslupahakemus jätetty helmi- kuussa 2007
- Käyttöönotto alkaa 2014

Kehitysvaihe jatkuu koko rakentamisen ajan, sillä varsinaisen reaktorirakennuksen- ja toiminnon suunnittelun ja luvituksen jäl- keen voidaan tehdä kokeellisten toiminto- jen yksityiskohtaiset suunnitelmat ja rat- kaisut. Projekti on siten hyvin haastava ja luotu joustavaksi, jotta vuoropuhelu teol- listen toimittajien, käyttäjän (CEA) ja pro- jektiin osallistuvien tutkimusyhteisöjen vä- lillä saataisiin toimimaan.

Reaktorihankkeen rakentamista ja tulevaa käyttöä varten on maaliskuussa 2007 tehty yhteistyösopimus, jonka allekirjoittajina ovat hankkeesta päävastuun kantava CEA sekä Areva ja EDF Ranskasta sekä CIEMAT Espan- jasta, JRC Belgiasta, NRI Tsekeistä, SCK-CEN Belgiasta ja VTT Suomesta. Kuvassa 3 sopi- muksen allekirjoittaneiden osapuolten edus- tajat ovat kokoontuneina lehdistötilaisuus- teen. Kokonaiskustannukset on arvioitu 500 Me (2005 kustannustason mukaan) suurui- seksi 2006-2014. In-kind -sopimuksen teh- neet tutkimusosapuolet ovat sitoutuneet tyypillisesti 2-6 % osuuteen tästä. Vastaavasti osuus antaa oikeuden osallistua tuleviin yh- teisprojekteihin tai käyttää reaktorin käyttö- aikaa omiin kokeisiin.

Konsortion lisäksi on käynnistetty Euratomin FP6 ohjelmassa MTR I3 hanke (2006 - 2009), joka tukee merkittävästi koevalmiuksien kehitystä koereaktoriin. Hankkeeseen osallistuu 18 eri partneria kattavaan kaikki ydinvoimaa Euroopassa tuottavat maat. Lisäksi tullaan hakemaan yhteisprojekteja erillisistä aiheista sekä FP7 ja FP8 ohjelmista.

Tässä vaiheessa allekirjoitettu JHR konsortio-sopimus velvoittaa osallistumaan rakennuskustannuksiin joko suoraan rahallisesti tai toimittamalla sovittuja in-kind tyyppisiä ratkaisuja tai laitteita. Suomesta hankkeeseen osallistuva VTT on alustavasti sitoutunut toimittamaan ratkaisuja neljään tekniseen järjestelmään, joissa kaikissa tehdään merkittävää kehitystyötä, joka samanaikaisesti tuottaa uusia valmiuksia myös VTT:lle ja muille kansallisille hankkeisiin osallistuville tahoille:

Järjestelmä 1 – Kuumakammion NDE kehitys: keskittyy erityisesti ultraääni- (vaiheistettu) ja radiografiatekniikoiden kehitykseen, mikro-NDE:n käytettävyyden selvittämiseen ja eri tekniikoiden vaatimien käsittelyjärjestelmien kehittämiseen. Tekniikoiden demonstrointi ja kvalifiointi tulee olemaan merkittävä osa työstä, joka tehdään yhteistyössä CEA:n tiimin kanssa.

Järjestelmä 2 – Vedenalainen  $\gamma$ -spektrometria: keskittyy erityisesti sekä reaktoriaaltaassa että polttoainealtaassa toimivan spektrometrian kehitykseen ja niihin tarvittavien käsittely- ja siirtojärjestelmien kehitykseen. Laitteet myös demonstroidaan ja mm. läpiviennit sydämeen edellyttävä tiivistä yhteistyötä CEA:n tiimin kanssa.

Järjestelmä 3 – Raskas- ja etäkäsittely: tavoitetta ollaan muotoilemassa siten, että järjestelmä hyödyttäisi erityisesti kahta ensimmäistä systeemiä. Kehitystyössä tullaan hyödyntämään VTT:n RoVir -keskukseen osaamista ja valmiuksia. Työ on jo käynnistetty CEA:n suunnitteluohjelmiston käyttöönotolla yhteistyössä CEA:n tiimin kanssa.

Järjestelmä 4 - Materiaalitestauspiirit koekelliseen korroosiotutkimukseen (PWR, BWR) käsittävät vesipiirien, paineastioiden ja instrumentoinnin suunnittelun, demonstroinnin ja toteutuksen yhteistyössä CEA:n



JHR -konsortiosopimuksen allekirjoitustilaisuudessa järjestettiin lehdistötilaisuus, jossa olivat mukana sopimustahojen edustajat ja Ranskan kauppa- ja teollisuusministeri **F. Loos** sekä CEA:n pääjohtaja **A. Bugat** (neljäs ja viides oikealta).

tiimin kanssa erityisesti reaktorisydämen alueelle tarvittavien komponenttien osalta.

Järjestelmien vaatima tekninen kuvaus ja suunnittelu on käynnistetty tammi-kuussa 2007 VTT:n omana projektina. Tavoitteena on vuoden aikana saada yksilöityä kunkin osan tavoitteet ensimmäiselle ns. kehitysvaiheelle, jolloin työ voidaan projektisoida ja toteuttaa T&K-hankkeena tai erillisinä hankkeina. T&K-vaiheen jälkeen seuraa systeemien pilotointi ja verifiointi ja viimeisenä tapahtuu varsinainen teknologioiden vieminen reaktoriin. Kaikissa vaiheissa tullaan tekemään mahdollisimman laajaa yhteistyötä. Eri järjestelmiin on mahdollista osallistua VTT:n ohella kehitystyöhön ja toimittamiseen (laitetoimitukset pilotointi ja käyttöönotto vaiheessa) "toimittajana". Toinen mahdollisuus osallistua hankkeeseen on osallistua "hyödyntäjänä", jolloin hyöty tulee joko kehitystyössä saavutettavasta osaamisesta ja teknologiasta ja/tai reaktorin käyttöönoton myötä tulevan käyttöajan hyödyntämisestä. Rahoittajiksi hankkeisiin toivotaan toimittajia, hyödyntäjiä kuin julkisten rahoittajienkin edustajia, kuten Tekes tai Euratom.

## Yhteenveto


JHR MTR -koereaktorihankkeen tavoitteena on rakentaa ja ottaa käyttöön 100 MWe reaktori Ranskassa Cadarachessa 2014. Laitos tulee palvelemaan niin nykyisten kuin Gen-III ja -IV reaktoreiden tulevia tutkimuk-

seen ja käyttöön liittyviä tarpeita. Hankkeesta on allekirjoitettu konsortiosopimus maaliskuussa 2007 kahdeksan eurooppalaisen osapuolen kesken. Allekirjoittajana Suomesta oli VTT. VTT:n osallistuminen hankkeen toteutukseen tapahtuu neljän teknologiajärjestelmän kehittämisen ja sopimuksissa määritellyn toteuttamisen kautta in-kind kontribuutiona. Tämän toteuttamiseksi tullaan perustamaan T&K-hanke, jonka avulla kehitetään myös kansallista osaamista ja valmiuksia.

## Viitteet

- D. Iracane et al. Generation IV systems R&D needs and research reactor policy. IAEA technical committee meeting on "Research reactor support needed for innovative nuclear power reactors and fuel cycles", Vienna, Austria, November 20-22, 2006.*
- D. Iracane. The JHR, a New Materials Testing Reactor in Europe. Proc. Int. Symp. on Research Reactor and Neutron Science, 10<sup>th</sup> Anniversary of HANARO, Daejeon, Korea, April 2005.*
- A. Ballagny "Main technical options of the JHR Project to achieve high flux performances and a high safety level" IGORR 9 – Sydney, March 2003*
- A. Ballagny et al., "The JHR, a European MTR with extended experimental capabilities"; IGORR 9 Sydney, March 2003*
- F. Carre, "Fast Reactors R&D Strategy in France for a Sustainable Energy Supply and Reduction of Environmental Burdens", JAIF International Symposium – Tokyo, March 24, 2005*
- D. Iracane, D. Parrot, "Irradiation of fuels and materials in the JHR, the 6th European JHR Co-ordination Action (JHR-CA)", 9th International Topical Meeting on Research Reactor Fuel Management, ENS, RRFM 2005.*

TkT Liisa Heikinheimo  
Teknologiapäällikkö  
Materiaalien käytettävyyden ja elinikän VTT  
liisa.heikinheimo@vtt.fi





Valvomokehitystyötä Haldenissa tutkimusympäristössä, jossa testataan operaattoreiden havainnointitapoja ja käyttäytymistä.

# ATS tutustui Norjan ydintekniikkaan

*Kesäkuun alussa, 7.-9. päivä järjestetty ATS:n lähialueen opintomatka suuntautui Norjaan. Norjalaisen energiatutkimuslaitoksen IFEnisännöimiin tutkimusreaktoreihin Haldenissa ja Kjellerissä sekä tekniikkamuseoon tutustui 14 seuran jäsentä.*

**Ö**ljy- ja maakaasuesiintymiensä sekä vesivoimansa ansiosta Norja on todellinen energian suurvalta. 1970-luvulla valitun poliittisen linjan mukaisesti ydinvoimaa ei kuitenkaan ole maahan rakennettu.

Norja oli maailman viides maa, jonne rakennettiin ydinreaktori. Edelle ennättivät vain Yhdysvallat ja Neuvostoliitto sekä britit ja kanadalaiset. Ensimmäinen pohjoismainen reaktori oli 350 kW:n JEEP (Joint European Experimental Pile) ja vuosi oli 1951. Reaktori rakennettiin Kjelleriin, ja sen

käytöstä vastasi vuonna 1947 perustettu IFA (Institut for Atomenergi).

## Öljyn löytäminen muutti energiapolitiikkaa

Norjalaisten mielenkiinto suuntautui Pohjanmeren öljykenttien löytämisen jälkeen fossiilisten energialähteiden hyödyntämiseen, jolloin instituutin nimi vaihtui vuonna 1980 IFEksi (Institut for Energiteknikk).

Ydintekniikan tutkimukset ja sovellukset kattavat noin puolet instituutin toiminnasta: IFEn ydintekninen osaaminen jakautuu Haldentehtäviin kokeellisiin tutkimuksiin ja Kjellerissä tehtävään soveltavaan työhön. Instituutin vuotuinen liikevaihto on noin 90 miljoonaa dollaria ja se työllistää noin 540 henkilöä.

Verrattaessa näitä vaikkapa VTT:n vuoden 2006 lukuihin, on IFEn liikevaihto samaa luokkaa kuin VTT:n valtiolta saama perusrahoitus, ja henkilöstöä on vain viidennes VTT:n henkilöstöstä. Kovin suuresta organisaatiosta ei siis ole kyse.

## Reaktori keskellä kaupunkia

Ensimmäinen matkakohteemme oli Etelä-Norjassa lähellä Ruotsin rajaa sijaitseva Haldenin tutkimusreaktori. Laitosta pitää yllä IFE, joka saa rahoitusta Norjan valtiolta ja OECD:lta. Lämpötehoa reaktorilla on 20 MW, ja se menee höyrynä kadun toisella puolella olevalle puunjalostuslaitokselle.

Ydinreaktorin sijainti 27 000 asukkaana kaupungin keskustassa edellyttää, että valmiustoiminta otetaan tosissaan. Reaktorin suojarakennusta ympäröi kymmenien metrien paksuinen kallio. Ratkaisu on ympäristön kannalta hyvä, mutta henkilöturvallisuudessa on jouduttu hakemaan erikoisia ratkaisuja. Reaktorialueella oli tehty paikallisia pelastautumiskammioita, koska alueelta oli ainoastaan yksi ulosmenotie.

Päätös Haldenin reaktorista tehtiin vuonna 1954, ja kriittisyyden se saavutti ensimmäisen kerran 1958. Laitos hakee uutta käyttöä seuraavalle 10-vuotisjaksolle. Kesällä 2007 vaihdetaan toinen vaakahöyryrystimistä, ja myöhemmin kansainvälinen



atomienergiajärjestö IAEA tekee reaktorille turvallisuustarkastuksen.

## Polttoainetutkimuksen keskus

Haldenin reaktoriin voidaan ladata erityyppisiä kaupallisissa voimalaitoksissa käytettäviä polttoaineita ja tutkia vaikkapa korotetun palaman tai korrosion vaikutuksia.. Reaktori voi simuloida sekä kiehtus- että painevesilaitosta.

Primääripiiriin jäähdytteenä virtaa neutroneja tehokkaasti hidastava raskas vesi, jonka litrahinta on kunnioitettavat 250 euroa. Eli sen minkä polttoainetaloudessa voittaa, niin veden mukana häviää.

Kun tanskalainen Risøkin reaktori on ajonsa ajanut, niin Haldenin tutkimusreaktorille riittää tutkimusaiheita ja myös rahoitusta. Suomella on perinteisesti ollut merkittävä rooli Halden-projektissa, ja monet suomalaiset tutkijat ovatkin tehneet tutkimustyötä Haldenissa.

## Valvomosuunnittelua virtuaalitodellisuudessa

Haldenin toinen päättökumusalue liittyy valvomoautomaatioon. Siinä on kaksi päähaaraa: uusien valvomotekniikoiden soveltuvuus ja inhimillisen toiminnan luotettavuus todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin kannalta.

Haldenin simulaattori kuvaa joko Ringhals 2:n tai Oskarshamn/Forsmark 3:n mu-

kaista voimalaitosta. Loviisan malli ei ole enää käytössä, mutta kolme Loviisasta eläkkeelle jäänyttä operaattoria osallistuu edelleen konsultointiryhmän kokouksiin.

Ryhmämme sai ihailia uusia sovelluksia valvomon suurkuvanäytöltä. Erikoisuutena oli numeerisen esityksen korvaaminen kuvainnollisilla symboleilla. Esimerkiksi pumpun toimintaa voitiin havainnollistaa kuvan väreillä, koolla ja paikalla. Haittapuolena on tietysti se, että kun tällä tapaa yksittäiselle näytölle mahtuu entistä vähemmän informaatiota, niin tarvittavien näyttöjen määrä kasvaa oleellisesti. Mutta ehkäpä tähänkin löytyy joku tietokoneavusteinen "karttalehdenkääntäjä" kuten autojen GPS:ään.

Tutkimuskohteena IFE:llä on myös tietokoneohjelmien kelpoistamiseen liittyvät hankkeet automaatiouudistusten yhteydessä. Ohjelmoitavan tekniikan luotettavuus on haasteellista ja sen hyväksyttäminen voimalaitoskäyttöön voi olla aikaa vievää ja vaativaa.

## Täydennetty todellisuus avaa silmät

Jos valvomoautomaation suunnittelussa lähinnä mielikuvitus oli rajana, niin virtuaalitodellisuuden (virtual reality) tai täydennetyt todellisuuden (augmented reality) tutkimuksessa tätäkään rajoitetta ei ole. Virtuaalimaailmassa on mahdollista kulkea voimalaitoksen uumenissa varoen erivärisien varjojen kuvaamia säteilytasoja tai sitten vaikkapa harjoitella korjaustoimintaa oikeannäköisten komponenttien kanssa.

Täydennettyä todellisuutta saattoi katsella erityisten silmälasien, kiikareiden tai kameran välityksellä. Kun Oslon rautatieaseman ja merenrannan väliin suunniteltiin 10-kerroksisia taloja, niin näiden vaikutukseen paikan päällä demonstroitiin täydennettyä todellisuutta hyväksikäyttäen. Niinpä kaupunginisät komensivat suunnittelijat piirtämään matalampia taloja. Yhteenvetona voidaankin esittää seuraava epäyhtälö: 1000 words << picture << virtual reality << augmented reality.

## Kjeller Oslon kupeessa

Kjellerissä sijaitsee valtaosa IFEn toimitiloista ja toinen Norjan nykyisistä kahdesta tutkimusreaktorista, JEEP:n perillinen JEEP II. Kjellerin tutkimuskeskus sijaitsee Lilleströmin lähellä, noin puolen tunnin ajomatkan päässä Oslosta koilliseen.

Haldeninkin reaktoriin verrattuna JEEP II on pieni, nimelliseltä lämpöteholtaan vain 2 MW. Lämpö ei mene hukkaan Kjellerissä: sitä käytetään IFEn tilojen lämmittämiseen.

Jäähdytteenä ja moderaattorina toimii norjalaiseen tapaan raskas vesi. Reaktorin sydän on heksagonaalinen, korkeudeltaan 90 cm ja sen 19 polttoaine-elementissä on yhteensä 253 kg 3,5-prosenttiseksi väkevöityä uraanidioksidia.

## Pumppuvuoto pelästytti

JEEP II on ehkä jäänyt joillekin mieleen syksyllä 2006 uutisoidusta rekombinaatiopiiriin pumppuvuodosta, joka johti hetkelliseen aktiivisuustasojen kohoamiseen suojarakennuksessa. Päästöt jäivät reilusti alle viranomaisen asettamien rajojen. Tapaus sai silti suurta huomiota Norjassa.

Reaktorifysiikkajaoksen päällikkö Sverre Hval ja isotooppilaboratorion päällikkö Brit Farstad kertoivat JEEP II -reaktorin hyvin monipuolisista käyttökohteista. Sen tuottamia neutroneita käytetään teollisuuden tarvitsemien säteilylähteiden valmistamiseen, neutroniaktiivointianalyysiin, radioaktiivisten isotooppien tuottamiseen ja neutronidiffraktioon perustuvaan materiaalien rakennetutkimukseen.

## Neutronidopingia puolijohteille

IFEn kannalta taloudellisesti merkittävä reaktorin käyttökohte on puolijohteiden seostaminen. Perinteisesti puolijohteita valmistetaan esimerkiksi höyrystämällä piikiekkojen pinnalle ohuita kalvoja. Näin saaduissa puolijohteissa halutut epäpuhtausatomit, esimerkiksi fosfori eivät kuitenkaan jakaudu materiaaliin riittävän tasaisesti vaativampien vahvavirtasovellusten kannalta.



ATS:n ryhmä isäntien kanssa Kjellerin pienreaktorin edustalla.

Parempiin tuloksiin päästään transmutaatiomenetelmällä, jossa puhdasta piiharkkoa pommitetaan neutroneilla (neutron transmutation doping, NTD). Piistä noin kolme prosenttia on isotooppia  $^{30}\text{Si}$ . Nämä atomit ovat jakautuneet materiaaliin suhteellisen tasaisesti. Neutronipommituksella  $^{30}\text{Si}$ -atomit saadaan muutettua fosforiatomeiksi ( $^{31}\text{P}$ ) in situ. IFEn osuus alan maailmanmarkkinoista on nykyisin noin kymmenen prosenttia.

### Suomi ydinvoiman supervaltana

Kjellerissä isännät olivat erittäin otettuja siitä, että "Suomen kaltaisen ydinvoiman supervallan" ja alan tiennäyttäjän edustajat vierailivat pienessä Norjassa. Lounaan päätteeksi seuran johtokunnan varapu-

heenjohtaja **Harry Lamroth** luovutti IFEn edustajille ATS:n viirin ja toivotti heidät tervetulleeksi vastavierailulle Suomeen.

Ekskursiomme viimeinen päivä vietettiin vieraillemalla Norjan teknillisessä museossa. Näyttelyiden teemana on energia, teollisuus, viestintä, luonnontieteet sekä lääketiede.

Valtavien öljy- ja kaasuvarojen löydöt Norjan mannerlaatasta ovat mullistaneet lyhyessä ajassa koko Norjan talouden ja luoneet hyvinvoinnin perustan pitkälle tulevaisuuteen.

Kehitys porauslaitteistojen, logistiikan ja tuotantovolyymien kasvussa on ollut todella huikaisevaa. Öljyteollisuuden teknologista kehitystä on alettu soveltaa myös muille elämän aloille.

Ettei keltanokkamatkanjärjestäjiltä olisi matkalle lähteminen luonnistunut liian helposti, tuli kolmen ihmisen selvittyä turvatarkastuksista läpi tieto, että koneemme Riikaan ei lähdekään. Lentokentällä meille kaikille tuli tutuksi kuulutus "Solja, Nilsson, Leppänen... ottakaa yhteyttä portille 26B." Koska emme olleet turvatarkastuksesta menneet läpi, oli meidän hiukan hankala portille päästä.

SAS:n tiskillä alkoi palvelu olla kärttyisää, kun 24 meistä kiihuhti tiedustelemaan uusia lippujaan. Saimme liput Finnairin koneeseen, mutta vain 22 koko porukasta mahtui tälle lennolle ja loput viisi matkustivat Varsovan kautta Kiovaan ja olivat ennen pääporukkaa perillä. Suurin osa ryhmästä meni suunnitelmien mukaan Riian kautta Kiovaan.

### Ukrainalaista vieraanvaraisuutta

Kiovan lentokentällä meitä oli vastassa vierailun paikallinen isäntämme **Denys** ja hänen kaverinsa **Maria**. Kun koko joukkomme oli täyttänyt tarpeeksi lappuja ja selvinnyt passintarkastuksesta, matkamme kohti Lybid-hotellia pääsi alkamaan. Busimatalla Maria kertoi nähtävyyksistä ja Kiovan historiasta.

Illaksi Denys oli järjestänyt meille illallisen paikallisessa bisnesravintolassa. Ilta oli rentoa tutustumista toisiimme, ukrainalaiseen ruokaan, perinnetanssiin ja -musiikkiin.

### Koereaktoreja ja kiihdyttimiä

Ukrainan ekskursion ensimmäinen päivä aloitettiin vierailulla paikalliseen ydintutkimusinstituuttiin. Kiovaan sijaitseva Institute for Nuclear Research (INR) of the National Academy of Sciences of Ukraine (NASU) perustettiin vuonna 1970 yhdistämällä useita NASU:n ydinfysiikan ja -tekniikan tutkimusyksiköitä. Nykyisin instituutissa työskentelee yhteensä noin 780 henkilöä 27 eri osastolla. Hieman yli puolet henkilöstöstä on teknisiä tutkijoita, tohtoreita tai jatko-opiskelijoita.

Vierailu aloitettiin instituutin johtajan Ivan Vishnevskyn kertomuksella laitoksen

#### Osallistujat:

- ❑ Ann-Sofie Björklöf, Platom Oy
- ❑ Ari Haimi, Loviisan voimalaitos
- ❑ Jani Halinen, Fortum Nuclear Services
- ❑ Henrik Jokineva, Fortum Nuclear Services
- ❑ Harri Kiiski, Platom Oy
- ❑ Harry Lamroth, Fortum Nuclear Services
- ❑ Aimo Latostenmaa, Teollisuuden Voima Oy
- ❑ Petri Luostarinen, Loviisan voimalaitos
- ❑ Eino Metsämäki, Loviisan voimalaitos
- ❑ Ronnie Olander, Säteilyturvakeskus
- ❑ Tuomas Puustinen, Fortum Nuclear Services
- ❑ Simo Sipari, Loviisan voimalaitos
- ❑ Klaus Sjöblom, Loviisan voimalaitos
- ❑ Kristiina Turtiainen, Teollisuuden Voima Oy



*Ekskursion osallistujat Ukrainan ydintutkimusinstituutin edessä.*

# Young Generation Ukrainassa 11.-15.4.2007

*Keskiviikkona 11. huhtikuuta monien kuukausien valmistelu vihdoin palkittiin, kun 27 hengen seurueemme lähti kohti Ukrainaa ja Kiova. Aamu lentokentällä oli vilkas, mutta kaikki löysivät toisensa ja matka pääsi onnellisesti alkamaan jonottamalla (jonottaa matkalla kyllä saikin).*

historiasta ja nykyisestä toiminnasta. Laitoksen päätutkimusalueet ovat ydinfysiikka, ydinenergia, materiaali- ja säteilyfysiikka, plasmafysiikka sekä säteilyekologia ja -biologia. Teoreettisen tutkimuksen lisäksi instituutissa tehdään kokeellista toimintaa neljällä eri laitteistolla; kolmella hiukkaskiihdyttimellä ja tutkimusreaktorilla.

Laitoksen kaksi isokroonista syklotronia, U-240 ja U-120, pystyvät kiihdyttämään protoneja, deuteroneja ja raskaampia ioneja. Jälkimmäisellä voidaan lisäksi tuottaa vety- ja hiiliatomisuihkuja. Kolmas hiukkaskiihdytin on 10 megavoltin sähköstaattinen tandem-kiihdytin, ja se saatiin toimintaan vuonna 1996. Laitteella pystytään kiihdyttämään protoneja, deuteroneja ja alfahiukkasia, sekä laajalla massa-alueella raskaampia ioneja.

Koereaktori WWR-M on termiseltä teholtaan 10 MW:n allastyypinen kevytvesireaktori, joka on varustettu beryllium-heijastimella. Reaktori käyttää 36 % väkevyitä polttoainetta, ja sen keskimääräinen neut-

ronivuo on  $10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>s. Tutkimusta varten reaktoriin on rakennettu 27 pystysuuntaista ja 10 vaakatasoista instrumentointikanavaa.

## Neutronivuon muokkaus erityisosaamisena

Päivän toisen esityksen piti Ydinenergia-tutkimusalueen alaisuudessa toimivan neutronifysiikan osaston johtaja Olena Gritzay. Osaston toiminta jakautuu laskennalliseen ja kokeelliseen neutronifysiikkaan. Erityisenä osaamisalueena voidaan pitää neutronisuodatintekniikkaa, josta osastolla on yli 30 vuoden kokemus.

Tekniikka perustuu WWR-M reaktorin tuottaman neutronivuon energiaspektrin muokkaamiseen erityisiä suodatinmateriaaleja käyttäen.

Sopivilla materiaalivalinnoilla on mahdollista tuottaa kapeita voimakkaita vuo-  
piikkejä, joiden aikaansaaminen muilla tekniikoilla on vaikeaa, erityisesti kiloelektro-  
nivolttien energia-alueella.

Tekniikan haasteellisuudesta kertoo jostain se, että suodattimien materiaalipak-  
suudet saattavat olla jopa kahden metrin  
suuruusluokkaa.

Monet materiaalit koostuvat yksittäisistä isotoopeista, joiden saatavuus tässä mit-  
takaavassa on äärimmäisen hankalaa ja  
hinta korkea. Neutronilähteen käyttökoh-  
teita ovat esimerkiksi vaikutusalamittauk-  
set, materiaalitutkimus sekä lääketieteelli-  
set sovellukset, kuten Otaniemen Triga-re-  
aktorillakin tehtävä boorineutronikaap-  
pausterapia (BNCT).

## Piikkilankaa lahjaksi

Esitysten jälkeen oli aika siirtyä tutkimusre-  
aktorille pienen kävelymatkan päähän vie-  
railukeskuksesta. Portti aukeni aikaa vie-  
vän passintarkastustoimenpiteen jälkeen,  
ja sen aikana ehdimme ihastella amerikka-  
laisten lahjoitusta turvallisuuden hyväksi:  
kaksinkertaista metallista piikkilangoitet-  
tua aitaa. Neuvostoaikainen kivinen vasti-  
ne seiso ulompana hylätyn oloisena.



Kristiina Turtiainen, Pasi Kelokaski ja Taija Solja sillittämässä kissaa, joka toi hyvää onnea.

Reaktoria pääsimme katsomaan reaktorihallin yläosassa olevalta parvekkeelta. Useimpien huomio taisi kiinnittyä lähinnä tilan varastomaisuuteen ja epäsiisteyteen, ainakin verrattuna Otaniemen reaktoriin. Tutustuimme myös valvomotiilaan, joka sen sijaan oli huomattavan moderni ja siisti. Vierailuhetkellä reaktori ei ollut toiminnassa, sillä vierailumme ajoittui useiden kuukausien pituiselle huolto- ja modernisointijaksolle.

## Seminaari simultaanitulkkauksella

Iltapäivän ohjelmaan kuului seminaarityyppinen tapaaminen paikallisten ydintekniikka-alan organisaatioiden kanssa. ATS YG:n puheenjohtaja Jaakko Leppänen esitti lyhyen katsauksen ydinteollisuuden ja -tutkimuksen historiaan, nykytilaan ja tulevaisuuteen Suomessa.

Ohjelmaan merkityn 20 minuutin esityksen aikataulua sotki simultaanitulkkaus, josta ei ollut varoitettu esityksen pitäjää etukäteen. Seminaarin lopuksi esittäjät osallistuivat keskusteluun Suomen ja Ukrainan ydintekniikka-alan tulevaisuudesta, ongelmista sekä maiden välisen yhteistyön kehittämisestä.

Perjantaina heti aamusta lähdimme kohti Tshernobylin aluetta. Aamulla kaik-

ki olivat jännittyneinä linja-autossa odotamassa mitä päivä tuo tullessaan. Päivä olikin oikein onnistunut ja kaikki tuntuivat olevan tyytyväisiä ajaessamme takaisin Kiovaan.

Tshernobyl-vierailusta on erillinen juttu tässä lehdessä (seuraava sivu).

## Kaunis Kiova

Lauantaina aamupäivällä vierailimme Tshernobyl-museossa. Lauantai-iltapäiväksi oli suunniteltu nähtävyyseri. Opas kierrätti meitä bussilla sekä jalkaisin ympäri Kiovan historiallisia paikkoja.

Päällimmäisenä kierroksesta jäi mieleen kaupungin lukemattomat toistan toistaan upeammat kirkot.

Kaupunkikuvassa näkyi myös paljon neuvostovallan aikaisia symboleja ja pat-saita.

Valitettavasti Kiova ei ehtinyt näkemään kierroksella kuin pintaraapaisun sillä, jos oikein haluaisi kaupunkiin tutustua, saisi nähtävyyksiin ja historiaan paremmin tutustumalla vierähtämään varmasti pitkän tovin.

Matkan viimeisenä aamuna isäntämme Denys johdatti meidät kävellen ostoskadulle, jossa katukauppiat möivät jos jonkinlaista tavaraa, aina maalauksista maastuskoihin.

Suomalaisittain ehkä oudointa oli, että kaupungin pääkatu, kahdeksan ajorataa käsittävä pääväylä, oli osittain suljettu, jotta ihmiset pystyisivät viikonloppuisin liikkumaan kaupungissa paremmin. Unohtumaton kokemus, sillä harvoin sitä pääsee kävelemään keskellä moottoritietä muistuttavaa ajoväylää.

## Vallankumousväsymystä

Ennen matkaa Suomeen kantautui eri tiedotusvälineiden kautta uutisia Kiovan poliittisesta kaaoksesta ja suurista mielenosoituksista. Pahimmillaan ennustettiin uutta vallankumousta nyt oranssin sijasta sinisissä väreissä. Nämä uutiset saivat ainakin meidät matkanjärjestäjät jonkin verran hermostuneiksi.

Sunnuntain kävelyllä kuitenkin saatoimme itse omin silmin todistaa kuinka väärän kuvan tilanteesta voikaan mediasta saada. Isäntämme valistikin meitä, että tilanne on nyt aivan toinen kuin oranssin vallankumouksen aikana – ihmiset haluavat vakautta, ja ovat kyllästyneitä vallankumouksiin.

Matkamuistot ja tuliaisot ostettuamme palasimme hotellille, josta linja-auto vei meidät sovitusti lentokentälle.

Paluumatka sujui jouhevammin ilman mitään suurempia ongelmia ja saavuimme Helsinkiin ajallaan. Ekskursiosta jäi mukana olleille varmasti monia asioita unohtumattomasti mieleen.

Päällimmäisenä seikkana ehkä se, että elämä jatkuu Ukrainassa normaalisti myös tuhoisan ydinonnettomuuden jälkeen. ■

Artikkelin laatimiseen ovat osallistuneet ekskursion osallistujat. Artikkelin ovat toimittaneet matkan vetäjät Taija Solja ja Arto Ylönen.

Tekn.yo. Taija Solja  
Turvallisuusinsinööri  
Ydinturvallisuus  
Fortum Power and Heat  
taija.solja@fortum.com



Tekn.yo. Arto Ylönen  
Tutkimusapulainen  
Ydinturvallisuuden tutk.yksikkö  
Lappeenrannan teknillinen  
yliopisto  
arto.ylonen@lut.fi





**M**useoon astuvan vieraan ottaa vastaan omenapuu, joka symboloi tulevia sukupolvia. Siisään johtavassa portaikossa riippuu kyltit 200 kylän ja kaupungin nimestä jotka jäivät onnettomuuden vaikutuspiiriin. Ulospäin tultaessa kylttien kääntöpuolella oli punaisella yliviivatut paikkakuntien nimet kertomassa siitä, että niitä ei enää ole Ukrainan kartalla.

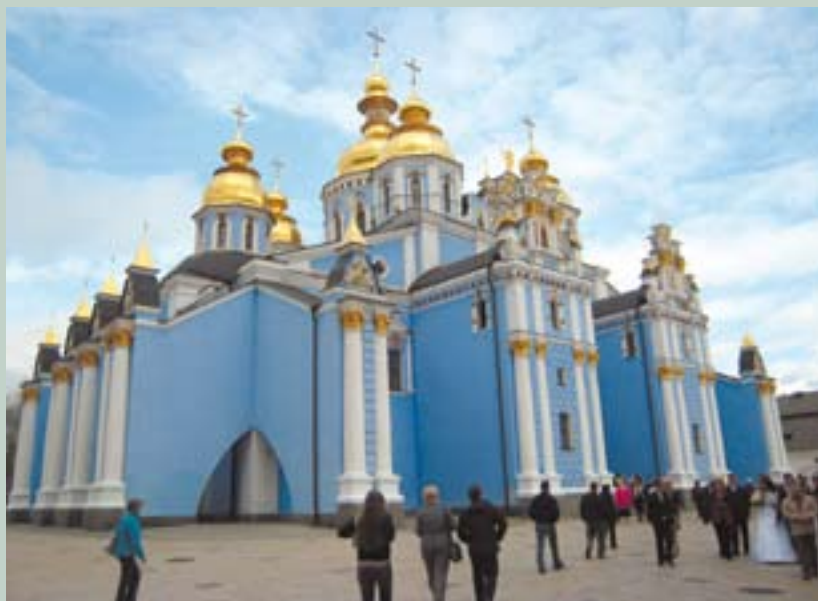
Museon sisällä seinät oli peitetty sadoilla valokuvilla ja julisteilla, jotka kertovat tarinoita ihmisistä, joiden elämään onnettomuus tavalla tai toisella on vaikuttanut. Lasivitrineissä oli näytteillä sotilas-pukuja ja virkamerkkejä, käsinkirjoitettuja vuoropäiväkirjoja, lehtileikkeitä eri puolilta maailmaa sekä pelastustöihin onnettomuusyönä osallistuneiden palomiesten kuvat. Niiden henkilöiden, jotka kuolivat onnettomuusyönä ja lähiviikkoina, kuvat oli merkitty säteilyvaaramerkillä.

### Biologiset robotit

Onnettomuusviikonloppuna läheinen Pripjatin kaupunki oli valmistautumassa tuleviin vappupäivän juhallisuksiin. Tiedon puutteen vuoksi onnettomuutta seuraavana päivänä elettiin kaupungissa vielä suhteellisen normaalia elämää. Käynnissä oli muun muassa seitsemät hääjuhlat.

Vasta sotilaiden ja pelastusviranomaisien alkaessa virrata kaupunkiin lauantai-iltapäivänä, ihmiset alkoivat hahmottaa mitä oli tapahtunut. Seuraavien kahden päivän aikana 47 000 asukkaan viihtyisästä kaupungista tuli vain muistojen ja toteutumattomien haaveiden täyttämä auti-kaupunki.

Onnettomuuden jälkien korjaustyöt olivat raskaita ja vaarallisia. Korkeiden säteilytasojen takia kauko-ohjatut robotit eivät toimineet kunnolla, vaan ne jouduttiin korvaamaan "biologisilla roboteilla", sotilailta. Reaktorirakennuksen raivaustöihin osallistui lähiviikkoina yhteensä kymmeniätuhansia sotilaita. Tarinan mukaan vastineena muutaman minu-



## Tshernobyl-museo on täynnä symboliikkaa

tin työskentelystä reaktorirakennuksella he saivat vapautuksen lopusta asepalveluksestaan.

### Tunteita herättävä näyttely

Kierroksen päättyessä viimeisenä näyttelypaikkana oli suuri huone, Muistojen temppele, jonka sisustus oli rakennettu RBMK-laitoksen reaktorihallin tapaiseksi. Huoneen keskellä oleva alttari on aseteltu reaktorisydäntä luonnollisessa koossaan kuvaavan levyn päälle. Alttarin sydämenä oli lasten suosikkileluilla täytetty puuvene. Itse alttari oli rakennettu Tshernobyliä ympäröivistä kirkoista kerätyistä tavaroista. Esillä oli myös kirkoista ainoana varastelulta ja tuhoamiselta säilynyt ikoni.



Museolla ei ollut paljoakaan tekemistä tieteen tai tekniikan kanssa, valtaosa näytteillä olleista esineistä liittyi ihmisten traagisiin kohtaloihin. Museota ei ollut täytetty teknisillä yksityiskohdilla RBMK-laitoksista tai onnettomuuden kulusta tai tietokoneanimaatioilla voimalaitosprosessista. Mieleenpainuvassa esityksessä näkyi maisema, jossa käynnissä olevat voimalaitoksen neljä reaktoriyksikköä taustallaan rakenteilla olevat yksiköt jäivät pimenevän illan peittoon, kunnes maiseman yöllä valaisi tulipalon hehku.

Traagisista näytteillepanoista huolimatta museosta ei jäänyt mielikuvaa ydinvoiman voimakkaasta vastustuksesta eikä vihasta. Taidokkaasti rakennetun näyttelyn ja opaskierroksen pääpaino näytti olevan inhimillisten virheiden pahimmissa mahdollisissa seurauksissa sekä ihmisten toiminnassa valtavan henkisen paineen alla.

Yleisö pääsee myötälämään ihmisten ilon ja ylpeyden laitoksen rakennusvaiheessa sekä kotikyltien ja -kaupunkien hylkäämisestä johtuvan surun. Ydinvoima-alalla työskentelevä olisi kaivannut hieman teknisempää lähestymistapaa ja myös katsausta laitoksen ja ympäristön nykytilanteeseen. ■

# Pikakatsaus Tshernobylin nykypäivään

On perjantai ja 13. päivä huhtikuuta 2007.  
Onnettomuudesta on kulunut 21 vuotta.

**M**atka Kiovasta Tshernobyliin kestää pari tuntia. Onnettomuus-alueetta ympäröi kaksi suljettua vyöhykettä. Ulomman, niin sanotun 30 km:n vyöhykkeen sisällä on myös Tshernobylin kaupunki, jossa asuu vieläkin tuhansia ihmisiä.

Suuri osa asukkaista on laitoksen työntekijöitä, joita on edelleen 3 700. He asuvat 15 päivää vuoroin täällä ja vuoroin muissa lähiseudun kaupungeissa.

Ensimmäisenä merkinä ydinvoimalaitoksesta näemme kaksi keskeneräistä jäädytystornia, joiden oli tarkoitus palvella viidettä ja kuudetta yksikköä. Viitos- ja kuutosyksiköiden murheellisen näköinen rakennustyömaa muistuttaa, kuinka kaikki kehitys äkisti loppui alueella onnettomuuden jälkeen.

## Käytetylle polttoaineelle kuivavarasto

Laitosalueen välittömään läheisyyteen on rakenteilla käytetyn polttoaineen säilytyslaitos 2 (ISF-2), joka edeltäjästään poiketen on ns. kuivavarasto. Tshernobylin käytetty polttoaine on toistaiseksi välivarastoituna jäähdytysaltaissa, joko laitoksilla tai säilytyslaitos 1:ssä (ISF-1).

Projektivastaava kertoo, että ISF-2:n toteutus tilattiin alun perin ”avaimet käteen”-toimituksena Framatome-konsortiolta. ISF-2 projekti joutui vastatuuleen jo suunnitteluvaiheessa, kun lisensioinnissa havaittuja puutteita ei ollut otettu riittävästi huomioon, ISF-2:n loppuunsaattaminen on nyt annettu amerikkalaiselle Holtecille.

ISF-2:n on arvioitu valmistuvan aikaisintaan vuonna 2010, jonka jälkeen se voi vas-

taanottaa käytettyä polttoainetta ISF-1:ltä ja vanhan varaston käytöstäpoisto voidaan aloittaa. ISF-2:n valmistumisen viivästymisen takia ISF-1:n käyttöä on jouduttu pidentämään ja polttoaine-elementtejä pakkaamaan uudestaan.

## Annosnopeushuippu sarkofagia ohittaessa

Bussin lähdettyä uudelleen liikkeelle saamekin nähdä pian ensimmäisen silmäyksen reissun pääkohteesta, ChNPP:n 4-yksiköstä. Yksikkö on pohjoisin nelikosta, jotka muodostavat yhden pitkän rakennuksen.

Onnettomuuden jälkeen rakennettu sarkofagi näkyy selkeästi arpena muuten linjakkaan rakennuksen päässä. Muistutukseksi onnettomuudesta säteilymittari piippaa varsin ahkeraan. Jatkamme kuitenkin matkaa kohti Pripjatiä.

## Kaupunkisotaa aavekaupungissa

Matkaa laitoksilta Pripjatiin on vain reilu kaksi kilometriä. Näkymä on rauhallinen, toisin kuin 21 vuotta sitten, jolloin Pripjat oli vielä eläväinen 47 000 asukkaan kaupunki. Bussin pysähdyttyä kaupungin kulttuurikeskuksen pihalle pääsemme jaloittelemaan.

Aukio rajoittuu hotelliin, kulttuurikeskukseen, ravintolaan sekä kerrostaloon, jonka kattoa komistaa komea entisestä suuruudesta muistuttava Neuvostoliiton vaakuna.

Kuuleman mukaan Air-Soft-pelaajat koontuvat tässä kulttuurikeskuksen pihassa. Ei ihme, sillä täällä tunnelmaa varmasti riittää kaupunkisotaleikkeihin.

## Pysy poissa pensaasta

Tshernobylin alueen evakuoitulla vyöhykkeellä, kontaminaatiota voi olla teiden ulkopuolella huomattavasti enemmän kuin kaduilla. Todellisista ”hot spoteista” meidät ja muut turistit pidetään kuitenkin kaukana. Pripjatissakin pyritään kulkemaan asfaltoituja katuja pitkin, joilta kontaminaatio on pääosin pesty pois ja sade huuhtanut maaperään.

Rakennukset ovat kuitenkin hyväkuntoisia, joskin neuvostonharmaita. Betoniarkkitehtuuri on vieläkin voimissaan kaupungin alueella. Asuntoihin sisään ei saa mennä, mutta pääosa tavaroista on ilmeisesti edelleen tallella. Arvokkaimmat esineet armeija on poistanut ryöstelyhalujen hillitsemiseksi. Noin vuosi onnettomuuden jälkeen asukkaiden annettiin käydä hakemassa valokuvia ja muita rakkaimpia tavaroitaan. Käytännössä niitä ei kai juurikaan saatu vietyä, koska kontaminaatiota oli liikaa.

## Sarkofagi valmis

Vierailukeskuksessa näemme hienosti tehdyn pienoismallin reaktorirakennuksen sisuksen nykytilanteesta, ja esittelyn jo tehdyistä ja suunnitelluista toimista reaktorin luoman uhkan minimoimiseksi.

Onnettomuuden jälkeen tuhoutuneen reaktorirakennuksen päälle rakennettiin 206 vuorokaudessa suoja reaktorirakennuksen pystyyn jääneitä osia tukena käyttäen. Suojan toivotaan kestävän vielä noin 15 vuotta, mutta tiivis se ei ole ollut koskaan. Raoista sataa jatkuvasti sisään.

Alun perin jähmettynyt sydänsula oli niin kovaa, että näytteitä ammuttiin irti Ka-



lashnikovilla. Nyt kosteuden aiheuttama rapautuminen ja siitä seuraava pöly ovat suuri ongelma. Sarkofagin sisällä on arvioitu olevan 200 tonnia polttoainetta sisältävää materiaalia, josta 5 tonnia pölynä.

Sarkofagi on rakennettu vaurioituneen reaktorirakennuksen varaan. Esimerkiksi koko kattoa kannattelevat massiiviset tukipalkit lepäävät toisesta päästään onnettomuudessa kallistuneen reaktorirakennuksen seinän päällä. Koko sarkofagin luhistumisen ehkäisemiseksi reaktorirakennuksen ulkopuolelle on nyt rakennettu massiivinen tukirakennelma, joka ottaa osan kattorakenteen painosta itselleen.

Sarkofagin kunnossapito, sen kestävyysparantaminen ja polttoainetta sisältävien materiaalien poistamisen valmistelu ovat tärkeimmät alueella tehtävät työt tällä hetkellä. Romahtamisen ehkäisemiseksi tehdyt työt saatiin ukrainalaisin voimin päätökseen joulukuussa 2006.

## Tiivis suoja 15 vuodessa

Nykyisen suojarakennelman lisäksi reaktorirakennusta peittämään on suunniteltu rakennettavaksi uusi tiivis suoja, jonka suojissa voimalaitos yritetään purkaa loppusijoittamista varten seuraavan 100 vuoden aikana. Myös integroituun monitorointiin panostetaan. Toistaiseksi näytteenotot ja mittaukset joudutaan pääasiassa suorittamaan menemällä paikan päälle.

Uusi suojarakennus muistuttaa ulkomuodoltaan valtavaa kaarihallia, korkeuden ollessa 108 ja leveyden 257 metriä. Tarjouskierron rakennusurakasta on juuri me-

neillään. Kaari rakennetaan säteilysuojelluisista syistä pienen matkan päässä onnettomuusreaktorista, ja työnnetään sitten kiskoja pitkin sarkofagin päälle.

## Jätteitä siellä täällä

Matka jatkuu kuoppaista soratietä pitkin kohti matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituspaikan ("Vector") rakennustyömaata, muutaman kilometrin päähän voimalaitoksista.

Tshernobylin alueella on laitosten normaalityönsä ja onnettomuuden jäljiltä varastoituna valtavat määrät radioaktiivista jätettä - n. 2,8 milj. m<sup>3</sup>, ja lisäksi on luvasa muun muassa neljän laitoksen käytöstäpoistosta. Jäte on ripoteltuna ympäri aluetta, laitosten jäterakennuksissa ja -tankeissa, virallisemmilla varastoalueilla ja sadoissa vähemmän virallisissa kasoissa siellä täällä. Voimalaitoksen lähimaaston teitä ajeltaessa näkyy kumpuja ja säteilyvaaramerkkejä. Näihin kumpuihin on peitetty kontaminoitunutta maa-ainesta.

## Hankalia rakennusprojekteja

Jäteasiassa on vihdoin ryhdytty toimiin. Nestemäisen jätteen käsittelylaitos on lähes valmis ja kiinteän jätteen käsittelylaitosta rakennetaan voimalaitosten läheisyyteen. Jätteiden loppusijoitusta kaavailaan Vector-alueelle.

Lyhytikäinen jäte loppusijoitetaan 56 maanpäälliseen loppusijoitustilaan. Ensimmäisen rakentaminen on jo loppusuoralla. Kyseinen rakennus on valtava n. 300 m pitkä betonikaukalo, jonka seinät ovat 40 cm paksut. Jätetätön jälkeen kaukalo kaivetaan ja peitetään maalla ja valvotaan 300 vuotta, jonka jälkeen aktiivisuuden pitäisi olla merkityksetön. Pääasiassa jätteen käsittely ja pakkaaminen tullaankin suorittamaan laitosalueella.

Pitkäikäisen jätteen varastot ovat vielä täysin suunnittelematta. Esittelijänä toiminut (Vector-alueen rakennustöistä vastaavan) NUKEMin edustaja kommentoikin toimintaympäristön Ukrainassa olevan sangen haasteellinen – jopa silloin, kun maan parlamenttia ei ole juuri hajotettu.

Kiipeämme takaisin bussiin ja körötellemme kärrypolkuja takaisin pääväylälle. Joku väittää nähneensä villisian. Hevosia ainakin näkyy, nekin ovat kuulemma viljelejä. Tshernobylyssä elämä jatkuu, kaikesta huolimatta.

### Lähteet:

Jutun tiedot pääasiassa esittelijöiltä kuultua, muutama fakta tarkastettu mm. esitteistä "Nuclear and Radiation Safety in Ukraine, Annual Report 2005" (netissäkin) ja "Shelter Implementation Plan". Esitteet saatavissa ekskulla mukana olleilta.

### Paikka

Bussissa matkalla Kiovasta Tshernobyliin  
 ISF-2:n luona bussin ulkopuolella  
 Bussissa hieman onnettomuusyksiköstä pohjoiseen  
 Pripjatin keskusaikio bussin vieressä  
 Pripjat, keskusaikiolla syvennys  
 Vierailukeskuksen piha, n. 150 m sarkofagista  
 Bussissa matkalla Vector-työmaalle tienvierustan  
 jätekasoja ohittaessa

### Annosnopeus

0,09 µSv/h  
 1 µSv/h  
 16 µSv/h  
 0,25-1,6 µSv/h.  
 14 µSv/h  
 2,3 µSv/h  
 17 µSv/h(?)

*Ekskursioryhmän mittaamia säteilytasoja Tshernobylin lähistöllä (liikuumme ainoastaan parhaiten puhdistetuilla alueilla).*

Antti Ketolainen

## Primääri-sekundäärivuodon tunnistaminen aktiivisuusmittauksin Loviisan ydinvoimalaitoksella

**P**ainevesilaitoksissa (PWR) ominaisaktiivisuudet primäärijäähdytteessä ovat monta kertaluokkaa suuremmat kuin sekundääripiirissä. Voimalaitoksesta ympäristöön tapahtuvien päästöjen rajoittamiseen tähtäävät järjestelmät on keskitetty primääripiirin aktiivisuuden hallintaan. Primääripiirin ja sekundääripiirin välinen rajapinta on niin tiivis, että sekundääripiirissä on vain vähän aktiivisuuden hallintaan tarkoitettuja järjestelmiä.

Normaalitoiminnan aikana sekundääripiiristä pääsee aktiivisuutta ympäristöön höyrytimen uloslaskun, pumppujen tiiviste-ejektorien ja lauhduttimessa olevien ejektorien kautta. Loviisan voimalaitoksella alle 0,5 kg/s:n primääri-sekundäärivuodot hoidetaan laitoksen normaalien käyttöohjeiden avulla. Tätä suuremmissa vuodoissa otetaan häiriötilannetunnistusohjeen mukaisesti käyttöön häiriönselvitysohje I3. Tärkeä pienen primääri-sekundäärivuodon tunnistamismekanismi on sekundääripiirin aktiivisuusmittaukset.

Diplomityössä tutkittiin Loviisan voimalaitoksen primääri- ja sekundääripiirin aktiivisuusmittausten kykyä tunnistaa pienet primääri-sekundäärivuodot. Tarkasteltavat primääri-sekundäärivuotojen suuruudet valittiin laitoksen hätätilanne- ja häiriönselvitysohjeiden mukaisesti. Vuodon vaikutuksia arvioitiin erilaisilla primäärijäähdytteen ominaisaktiivisuuksilla. Ominaisaktiivisuudet primääripiirissä määritettiin nuklidikohtaisesti erilaisille polttoainevuototapauksille.

Työssä huomioitiin myös transienteissa mahdollisesti esiintyvä spiking-ilmiö. Spiking-ilmiöllä tarkoitetaan primäärijäähdytteen fissiotuoteaktiivisuuden tilapäistä nousua transientin seurauksena, kun reaktorin sydämessä on vuotavia polttoainesauvoja.

Tällaisissa tapauksissa on vaara, että laitoksen turvallisuusteknisten käyttöehtojen (TTKE) vielä sallima alle 2 kg/h vuoto tunnistettaisiin virheellisesti I3-ohjeen käyttöä edellyttäväksi primääri-sekundäärivuodoksi.

Vuodon tarkempaa tunnistamista varten työssä laskettiin tarkasteltaville mittareille kalibrointikertoimet. Primääri-sekundäärivuoto mallinnettiin APROS-simulointiohjelmalla laitoksen eri käyttötiloissa ja kahdella eri vuotokoolla. Varsinaisen aktiivisuuslaskenta suoritettiin SEKUN-ohjelmalla. Työssä tätä aktiivisuus- ja päästölaskentaohjelmaa muokattiin ohjelmoimalla siihen tarkasteltavat aktiivisuusmittaukset sekä primääripiirin puhdistus ja ulospuhallus.

Laskelmien tuloksena saatiin arviot kunkin tarkasteltavana olleen aktiivisuusmittauksen soveltuvuudesta primääri-sekundäärivuodon tunnistamiseen erilaisissa polttoainevuototapauksissa ja reaktorin eri tehotasolla. Häiriönselvitysohje I3:n käyttöönottoa edellyttävät vuotokoot määritettiin aktiivisuusmittausten havaitseman perusteella.

Erityisesti kuumavalmiustilassa tapauksissa, joissa reaktorisydämessä oletetaan olevan tiiveytensä menettäneitä polttoainesauvoja, spikingin vaikutus jäähdytteiden aktiivisuuspitaisuuksiin ja mittaustuloksiin oli merkittävä. Niiltä osin, kuin tulokset käsittelevät ohjeissa vuodon tunnistamiseen käytettyjä aktiivisuusrajoja, tulokset osoittivat aktiivisuusrajat oikeiksi.

Diplomityön laskennassa käytettiin kahta eri vuotokokoa. Työn esimerkkitapauksia suurempienkin primääri-sekundäärivuotojen mallintaminen onnistuu työssä käsiteltävien tapauksien tavoin SEKUN-ohjelmalla. Diplomityössä parannetun primääripiirin kuvauksen ja ohjelmaan mallinnettujen aktiivisuusmittausten ansiosta SEKUN-ohjelmalla on jatkossa myös entistä parempi analysoida aktiivisuus- ja päästötasoja primääri-sekundäärivuototapauksissa.

DI Antti Ketolainen  
Fortum Nuclear Services Oy  
antti.ketolainen@fortum.com

Timo Ikonen

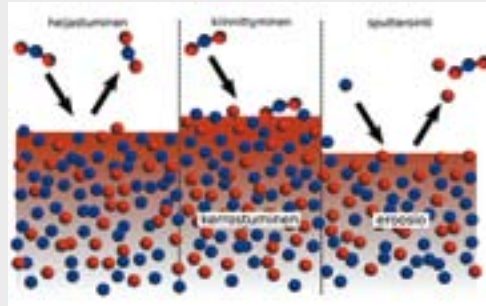
# Molekyylidynaaminen pintamalli fuusioplasmojen epäpuhtaussimuloinneille

**F**uusioenergian suurimmat haasteet liittyvät polttoaineena käytetyn vetyplasman ja sitä ympäröivän tyhjiökammion seinämien välisiin vuorovaikutuksiin. Plasman aikaansaama pintaerosio, materiaalien kulkeutuminen ja vedyn ja epäpuhtauksien kerrostuminen seinämille muuttavat sekä pintojen rakennetta että ominaisuuksia, millä saattaa olla arvaamattomia seurauksia.

Eri alkuaineiden sekoituessa keskenään tuloksena voi olla yhdisteitä, joiden ominaisuudet poikkeavat suuresti alkuperäisten materiaalien ominaisuuksista. Näiden sekamateriaalien syntymekanismi on osittain tuntematon, eikä niiden kaikkia ominaisuuksia tunneta. On kuitenkin lähes varmaa, että ITERin kaltaisessa fuusioreaktorissa berylliumin, volframin ja hiilen yhdisteitä muodostuu merkittäviä määriä ja että niiden vaikutus laitteen toimintaan ja käyttöön on erittäin suuri.

Fuusioreaktorissa syntyvien materiaalien tutkimiseksi kahden simulointikoodin – Saksassa kehitetyn ERO:n ja Helsingin yliopistossa kehitetyn HPCARCAS:n – yhteenliittäminen on aloitettu. Yhdistetyllä koodilla voidaan simuloida plasma-seinämävuorovaikutuksia kahdessa eri mittakaavassa: toisaalta atomitason kemiallisina vuorovaikutuksina, toisaalta makroskooppisina ilmiöinä.

Ilmiöiden tarkka atomitason mallintaminen perustuu molekyylidynamiikkaan, jonka avulla pystytään määrittämään yksittäisten atomien käyttäytyminen simuloinnin aikana. Makroskooppisten pintojen mallintaminen näin tarkasti ei kuitenkaan ole mahdollista nykyisillä tietokoneilla. Tästä syystä molekyylidynamiikkakoodi HPCARCAS onkin kytkettävä ERO-koodiin, joka pystyy kuvaamaan seinämästä irtoavien atomien kulkeutumista plasmassa suuremmissa mittakaavassa, mutta heikommalla tarkkuudella. Tällä tavalla voidaan mallintaa useiden senttimetrin kokoisia pintoja luopumatta kuitenkaan vuorovaikutusten tarkasta kemiallisesta kuvaamisesta.



*Plasman ja fuusioreaktorin ensiseinämän välisiä vuorovaikutuksia atomitasolla kuvattuna. Molekyylidynaamisessa pintamallissa vuorovaikutuksia mallinnetaan tarkastelemalla seinämän ohutta pintakerrosta ja plasmaa yksittäisten atomien tarkkuudella ja ottamalla huomioon mm. eri aineiden kemialliset ominaisuudet, hiukkasten lämpötila ja liike-energia.*

Diplomityön puitteissa ERO-koodille on luotu molekyylidynaaminen vuorovaikutusmalli, johon kuuluvat numeeriset pinta-alkiot on tehty simuloimalla amorfisia hiilivetyrakenteita HPCARCAS-koodilla. Pintojen luomismenetelmää on kehitetty, minkä ansiosta niiden tekemiseen kuluva aika on pudonnut murto-osaan alkuperäisestä. Pintojen lisäksi on luotu plasmaa ja sen epäpuhtauksia kuvaavia hiilivetyammuksia, ja näiden vuorovaikutuksia seinämän kanssa on alustavasti simuloitu.

Koodien yhdistäminen viimeistellään lähitulevaisuudessa. Tiedossa on useita tutkimuskohteita, joihin yhdistettyä koodia voidaan käyttää. Yhdisteiden muodostumisen lisäksi esimerkiksi hiilivetyjen kemialliseen eroosioon ja kerrostumiseen seinämille liittyy useita avoimia kysymyksiä, joiden selvittämiseen ERO molekyylidynaamisella pintamallilla varustettuna on erinomainen työkalu.

DI Timo Ikonen  
Tutkija  
Teknillinen fysiikka - Energiateet  
Teknillinen korkeakoulu  
timo.ikonen@tkk.fi

# DIPLOMITTYÖ

## Säteily käyttöön ja tutkimukseen

**T**erveyskylpylöiden ohella on säteilyä ja aineen radioaktiivisuutta käytetty hyödyksi jo vuosikymmeniä. Joulukuussa 1953 USA:n presidentti Eisenhower piti kuuluisan ”Atoms for Peace” puheensa YK:ssa ja nosti myös ydintekniikan rauhanomaisen käytön keskustelun kohteeksi. Heti perään vuonna 1954 USA:n laivasto rakensi ensimmäisen ydinsukellusveneen (USS Nautilus). Avaruudessa voimalähteenä on jo vuosia käytetty isotooppiparistoa, joka perustuu plutoniumin hajoamisessa syntyvän lämmön hyödyntämiseen termosähköisenä jännitteenä. Tällaisia paristoja käytettiin jo Apollo-kuulenoilla, joten plutoniumkammoisen kannattaa olla tarkkana – koskaan ei tiedä mitä avaruusromua tai vaalta tipahtaa.

**YDINAINOITA SOVELLETAAN** nykypäivänä moneen tarkoitukseen. Vaikka leivän paahto ydinreaktorissa on turhan kallista voi tutkimusreaktoria käyttää teollisuuden ja lääketieteen tarvitsemien isotooppien tuotantoon. Säteilviä aineita käytetään teollisuudessa merkkiaineena ja materiaalien tarkastuksissa. Lääketieteellisissä tutkimuksissa ja hoidoissa säteilyä käytetään ihmisten hyödyksi. Hyödyn ohella tämäkin säteily aiheuttaa myös haittaa, koska säteilyannos lisää riskiä sairastua syöpään. Säteilyn hyötykäytön aiheuttamasta säteilyannoksesta suurin osa saadaan käytettäessä säteilyä terveydenhuollossa. Käytettävien laitteiden tarkka merkintä on tarpeen, jotta vältytään radioaktiivisten aineiden aiheuttamilta onnettomuuksilta.

**ENGLANNISSA SATTUNUT** maan ulkopuolelta tuodun radioaktiivisen poloniumin aiheuttama kuolemantapaus taas osoitti tarpeen mitata erilaisten kuljijoiden taskuissa kulkevaa säteilyä kansainvälisillä lentokentillä ja rajanylityspaikoilla. Säteilyn havaitseminen ilman mittareita on vaikeaa, mutta elämä on taas värikkäämpää, jos ei niin sanotusti ”säteile” liian paljon. Tätä osoittaa esimerkiksi uusi loistava ydinasekeksintö! Enää ei turhaan tarvitse perustaa laajoja ydinasiohjelmiä, joissa kalliit huippufysiikot ja uraanin väkevöintilinjat huhkivat vuosikausia ydin-

aseen kimpussa saadakseen aikaan muutaman kilotonnin räjähteen. Tshernobylin vuosipäivänä TV1:n Tshernobyl-dokumentti kertoi meille totuuden: otetaan reilusti uraanin ja grafiitin seosta ja heitetään se vesilammikkoon – näin syntyy usean megatonnin ydinräjähdys. Tehokkaassa seoksessa riittää voimalaitostasoinen alle 5%:in U-235-pitoisuuteen väkevöity ja vuosia reaktorissa käytetty uraani. Nyt kaikki tulevat terroristit, entiset ruudinkeksijät ja nykyiset toimittajat ydinasiosuunnitelmia tekemään!

**VIIME AIKONA** olemme saaneet lukea läntisen naapurimaamme ydinvoimakulttuurin rapautumisesta, kun nuoriso on lähtenyt opiskelemaan seksikkäämpiä ja yksinkertaisempia aiheita. Mutta turvallisuuskulttuuri on siellä taas kehittymässä, kun vain saadaan opetettua työntekijöille miten ydinvoimalaitos toimii. Naapurimme ydinvoimalaitoksella tehtiin puhalluskokeita ja erään työntekijän kohdalla todettiin alkometrin viisarin heilahtavan. Promilleluku oli kuitenkin lähes olematon ja siitä seurasi vain huomautus. Korjaamon vuoron esimies, Karlsson, kirjasi kuitenkin puhallustestin tuloksen pöytäkirjaan: ”Svenssonin todettiin olleen työpaikalla juovuksissa.” Svensson pyysi esimiestään poistamaan kommentin, koska mittarin olematon lukema ei olisi millään muulla työpaikalla aiheuttanut ongelmia. Karlsson totesi vain, että viralliseen pöytäkirjaan hyväksytyä ei voi enää poistaa. Seuraavassa kuussa esimies joutui työhön tullessaan puhaltamaan ja mittari näytti tietenkin nolaa. Oli aiemmin huomautuksen saaneen Svenssonin vuoro olla sihteerinä. Niinpä pöytäkirjassa luki: ”Tänään Karlsson oli puhallustestin mukaan selvänä.”

**YDINVOIMALAITOSRAKENTAMINEN ON** kokemassa uutta heräämistä: Britannian ydinvoimateollisuus ja nykyinen hallitus suunnittelevat ydinvoiman lisärakentamista 2010-luvulla, Baltian maat ja Puola suunnittelevat ensi vuosikymmenelle ydinvoimahanketta, Kiina rakentaa kymmeniä uusia ydinvoimalaitoksia ja kasvattaa ydinvoiman osuuden 4 prosenttiin sähköntuotannosta vuoteen 2020 mennessä.

sä. Tänä vuonna Kiinassa saadaan käyttöön maan kymmenes ja yhdestoista yksikkö, Tianwan-1 ja 2. Venäjä on ilmoittanut rakentavansa 40 uutta yksikköä seuraavan 25 vuoden aikana. Venäjän sisäisten hankkeiden uskottavuus on kyseenalaista, mutta sillä on aiesopimukset ydinvoimalaitostöimituksista Intiaan ja Bulgariaan. Vahvoja aikeita rakentaa ydinvoimaa on siis ilmassa jo näin keväällä.

**USEIMPIEN YMPÄRISTÖTIEOTOISTEN** ihmisten hahtuminen kasvihuoneilmion vaikutuksiin on tietenkin ydinvoiman suosion taustalla. Aihetta tukeva entisen USA:n presidenttiehdokkaan Al Goren elokuva "Epämiellyttävä totuus" pitäisi mielestäni saada pakolliseksi kouluissa esitettäväksi materiaaliksi. Elokuva ennustaa todellisten kuudensadantuhannen vuoden tilastojen perusteella pelottavan voimakasta hiilidioksiditason ja lämpötilan nousua jo lähivuosikymmenille. Suomalaisille se tietää lämpimiä intiaanikesiä! Kasvihuoneilmioita ehkäiseviä ydinvoimaloita voi käyttää myös kuten Japanissa, jossa suolanpoistolaitokset saavat käyttöenergiansa ydinreaktoreista. Samanlaista suolanpoistoa suunnitellaan myös Intiassa, Kiinassa ja Venäjällä.

**KOSKA YHÄ** useampi ydinvoima-asiantuntija on nainen – loppuun tarina nykynaisista: Olipa kerran kaunis, itsenäinen ja yksinäinen suomalaisnainen, joka päätti lähteä romanttiselle matkalle Välimeren eteläpuolelle. Matkallaan hän tapasi sammakon lammitolla. Sammakko sanoi neidolle: "Vuosisatoja sitten olin komea prinssi, kunnes paha noita taikoi minut. Olen odottanut kaltaistasi kaunista neitoa. Suutele minua ja muutun takaisin prinssiksi ja silloin voimme mennä naimisiin. Muutamme linnaan äitini luokse ja sinä voit valmistaa minulle ruokaa, pestä pyykkini, hoitaa lapsiamme ja muistella onnellista päivää, jolloin pelastit minut." – Sinä iltana suomalaistyttö paisoi illalliseksi itse hankittuja sammakonreisiä. Tarinan opetus: Hyvät pakaralihakset ja sovinistiset asenteet ovat vaarallinen yhdistelmä miehelle.

Olli Nevander  
Teollisuuden Voima Oy

## TAPAHTUMAKALENTERI

### YG:n kesätapahtuma 15.8.2007, Loviisa

YG:lle ja alan kesäharjoittelijoille suunnattu tilaisuus  
Kutsu sähköpostilla, ilmoittautuminen YG-yhteys henkilöille  
Lisätietoja: Jaakko Leppänen (jaakko.leppanen@vtt.fi)

### Säteilevät Naiset -seminaari syyskuussa, Säätytalo, Helsinki

"Ilmasto muuttuu – arkipäivän muutokset", kutsuseminaari  
Lisätietoja: Karin Rantamäki (karin.rantamaki@vtt.fi)

### Ulkomaan ekskursio viikolla 39, Bulgaria ja Romania

Kutsu jäsenpostissa. Lisätietoja: Kristiina Turtiainen (kristiina.turtiainen@tvo.fi)

### YG:n seminaari 5.10.2006, Olkiluoto

"Ydinvoima ja yhteiskunta"  
Lisätietoja: Jaakko Leppänen (jaakko.leppanen@vtt.fi)

### Syysseminaari 26.10.2007, Helsinki

Aiheina safeguards-asiat ja tulevaisuuden polttoainekierrot  
Kutsu jäsenpostissa. Lisätietoja: Juha Poikolainen (juha.poikolainen@tvo.fi)

### Jäsenkokous viikolla 48, paikka avoin

Aiheena ionisoimattoman säteilyn käyttö ja terveysvaikutukset  
Kutsu jäsenpostissa. Lisätietoja: Yrjö Hytönen, (yrjo.hytonen@stuk.fi)

Lisätietoja kaikista ATS:n tapahtumista löytyy internetistä: [www.ats-fns.fi](http://www.ats-fns.fi)

## UUDET JÄSENET

### Varsinaiset jäsenet

- Matti Aho, Teollisuuden Voima
- Ann-Sofie Björklöf, Platom
- Keijo Haapala, Posiva
- Sanna Helin, Teollisuuden Voima
- Henrik Jokineva, Fortum Power and Heat
- Pentti Kantanen, Teollisuuden Voima
- Petteri Kolehmainen, Teollisuuden Voima
- Kari Koskinen, Posiva
- Maria Laakso, Teollisuuden Voima
- Anne Lehtinen, Posiva
- Mia Nikula, Teollisuuden Voima
- Auli Olenius, Posiva
- Tommi Purho, Fortum Nuclear Services
- Miikka Ritalaw, Fortum Power and Heat
- Antti Saarinen, Teollisuuden Voima
- Pertti Simola, Teollisuuden Voima
- Simo Sipari, Fortum Power and Heat
- Seppo Tolvanen, Fortum Power and Heat
- Anssi-Petteri Uutela, Teollisuuden Voima
- Minna Viitanen, Pöyry Infra Oy

### Nuoret jäsenet

- Seppo Koivuranta, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
- Ilkka-Christian Ropponen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Suomen Atomiteknillisessä Seurassa oli 13.6.2007 pidetyn johtokunnan kokouksen jälkeen 445 varsinaista jäsentä ja 42 nuorta jäsentä eli opiskelijaa. Kunniajäseniä oli 12 ja kannatusjäseniä 17.

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

SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA —

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry



Palautus  
**Suomen Atomiteknillinen Seura**  
c/o VTT (Lämpömiehenkuja 3A)  
PL 1000  
02044 VTT

## **Kannatusjäsenet**

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

## **ATS internetissä:**

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