

# ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA —

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry



4/2007 vol. 36

## Tässä numerossa

### PÄÄKIRJOITUS:

Renessanssin suunta ja suuruus ..... 3

### EDITORIAL:

Nuclear renaissance  
– extent and direction? ..... 4

Uutisia ..... 5

Antero Tamminen  
ydinasioista kuultuna ..... 6

Tulevaisuuden ydinpolttoainekierrot 10

Neutrondosimetri-  
forskning vid VTT ..... 13

PWR PACTEL -koelaitosprojekti:  
uusin "lappeenrantalaismissio" ..... 16

Ydinalan kansallinen koulutus arvioitu  
– parannettu painos YK5 käynnissä ..... 18

### EKSKURSIO

Balkanin niemimaalla  
Romaniassa ja Bulgariassa ..... 20

FCN PITESTI,  
CANDU -reaktorien polttoaineen  
valmistusta Romaniassa ..... 22

Ydintutkimuskeskus INRE ..... 24

Kozloduy – tuttua tekniikkaa  
vieraassa paikassa ..... 26

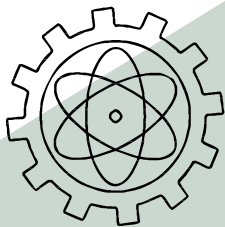
Belene –  
kun poliittinen riski toteutuu ..... 28

ATS syysseminaari 2007 ..... 32

### KOLUMNI:

Balkanin värikkäät ydinhelmet ..... 34

Tapahtumakalenteri  
ja seuran uudet jäsenet ..... 35



# ATS

4/2007, vol. 36

## VUODEN 2008 TEEMAT

### 1/2008

Käyttötoiminta  
ja turvallisuus

### 2/2008

Kansainvälinen  
yhteistyö

### 3/2008

Uudet laitoshankkeet  
ja YVAt

### 4/2008

Syysseminaari, ekskursion

## ILMOITUSHINNAT

1/1 sivua 700 €

1/2 sivua 500 €

1/4 sivua 300 €

## TOIMITUKSEN OSOITE

ATS Ydintekniikka  
c/o Kai Salminen  
Fennovoima Oy  
Salmisaarenaukio 1  
00180 Helsinki  
Puhelin 0207 579 210  
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  
Fennovoima Oy  
paatoimittaja@ats-fns.fi

### Toimitussihteeri / Subeditor

Minna Rahkonen  
p. 0400 508 088  
fancymedia@saunalahti.fi

### Erikoistoimittajat /

#### Members of the Editorial Staff

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

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

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

### 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

## Renessanssin suunta ja suuruus

“**YDINVOIMAN RENESSANSI**” alkaa olla jo enemmän tai vähemmän vakiintunut termi paitsi ammattilaisten keskuudessa niin myös yleisemmässä tiedonvälityksessä. Renessanssihan tarkoittaa uudelleensyntymistä. Tunnetusti uudelleensynnytyksen tuskat levisivät taiteissa 1300-luvun lopulta alkaen Italiasta muuhun Eurooppaan ja lopulta Skandinaviaankin. Nyt suunta on toinen; ainakin jos puhutaan ydinvoiman uudisrakentamisesta. Muutenhan italialaiset ovat kyllä kovaa vauhtia retkeilleet Eurooppaa ristiin rastiin ja hankkineet olemassa olevaa ydinvoimaa niin idempää Slovakiasta kuin lännempää Espanjastakin. Risti-retkeily jatkunee edelleen muualla Euroopassa. Takajatuksena lienee rapautuneen kompetenssin kasvataminen ja varsinaisen renessanssin ulottaminen jossain vaiheessa kotimaahan Italiaankin.

**ATS:N TÄMÄNVUOTINEN** ulkomaanekskursio suuntautui yhteen Itä-Euroopan renessanssipesäkkeeseen: Romaniaan ja Bulgariaan. Romaniassa alkupe- räistä vierailuohjelmaamme jouduttiin rukkaamaan renessanssin ehdoilla, kun Cernavoda 2:n 655 MW:n CANDU-6 reaktori vihittiin kaupalliseen käyttöön vierailuamme seuraavalla viikolla, 5. lokakuuta. Cernavodan sijasta vierailimme Romanian omalla Candu-polttoainetehtaalla Pitestissä, jossa käsityö oli vielä kunnias- sa: Jokainen polttoainepelletti laitettiin polttoainesauvaan käsin! Cernavodaan sovelletaan – Irwiniä lainatakseni – “kun on alkuun päästy niin antaa mennä vaan”-periaatetta, eli 3. ja 4. yksiköt on tarkoitus rakentaa yhtä jalkaa lähitulevaisuudessa, kunhan investoijien kanssa on päästy sopimukseen. Italialaisten lisäksi viisi muutakin eurooppalaista yhtiötä on ilmaissut kiinnostuksensa. Alkuperäisiin Ceausescun aikaisiin suunnitelmiin kuuluu vielä viideskin yksikkö.

**BULGARIASSA VIERAILIMME** luonnollisesti Kozloduyin laitoksella, jossa jo neljä yksikköä kuudesta on suljettu. VVER-440-tyypin 3. ja 4. yksiköt suljettiin 31.12.2006 ehtona Bulgarian EU-jäsenyydelle. Laitok-

sella ei alasajojen aiheuttamasta kiukusta ollut vielä täysin päästy yli. Joissain puheenvuoroissa eli vielä jopa heikko toivo sen suhteen, että “järki voittaa” ja 3. ja 4. yksiköt otetaan vielä jonain päivänä uudestaan käyttöön. Renessanssimieliala heräsi vasta, kun Tona- van rannalla kuuntelimme Belene-projektin kuulumi- sia: Belenen ydinvoimalaitoksen tekninen suunnittelu valmistui jo 1987. Hanke pantiin kuitenkin jäihin 1990, ja päätös loppuun saattamisesta tehtiin vasta 2002. Beleneen on nyt rakenteilla kaksi VVER-1000-reaktoriyksikköä. Renessansista kielivät myös suunnitel- mat Sofiassa sijaitsevan IRT-2000-tutkimusreaktorin käynnistämisestä uudelleen pitkän levon jälkeen, mm. boorineutronikaappaushoitosten antamiseksi.

Itäeurooppalainen renessanssijattelu ei rajoitu vain Romaniaan ja Bulgariaan. Venäjällä on seitsemän reaktorin rakennustyöt aloitettu ja lukuisia muita on suunnitteilla. Rakenteilla ovat mm. maailman ensimmäiset kelluvat ydinvoimalaitosyksiköt: Severodvinsk 1&2 (2x30MWe). Slovakiassa on Mochovce 3- ja 4-yk- siköiden loppuun rakentamisesta päätetty ja muis- takin suunnitelmista keskusteltu. Unkarissa keskus- tellaan Paksin ja Sloveniassa Krskon laitoksen käyt- töän pidentämisestä. Lisäksi Sloveniassa on otettu keskusteluihin myös Krsko 2. Puolassa keskustellaan sekä osallistumisesta Baltian maiden yhteishankkee- seen että ensimmäisestä omasta reaktorista Puolaan. Suunnitelmat ovat suuria Euroopassa - muusta maail- masta nyt puhumattakaan.

**ENSIMMÄISESTÄ YDINVOIMAN** tuotantoon raken- nettavasta reaktoristaan vuoteen 2020 mennessä haaveilevien maiden lista on pitkä. Olen nähnyt ainakin 31 maan listauksen, johon mahtuvat mm. Aust- ralia, Egypti, Georgia, Indonesia, Israel, Latvia, Male- sia, Namibia, Nigeria, Thaimaa, Turkki, Valko-Venäjä, Vietnam, Viro jne., jne. Muutosvoimat ovat suuret ja vauhti kova - ainakin paperilla ja keskusteluissa. Jos nämä suunnitelmat siirtyvät käytäntöön, niin miten- hän tämä homma hallitaan?

## Nuclear renaissance – extent and direction?

“**NUCLEAR RENAISSANCE**” has become, to a greater or lesser extent, an established term among the professions and in the media. Renaissance means rebirth or revival. It is also common knowledge that the birthing pains of the original Renaissance began in the arts at the end of the 1300 century in Italy and little by little spread across the rest of Europe to reach Scandinavia in the end. Now the direction is reversed – at least if we are talking about new constructions in the nuclear industry. In fact, the Italians have rapidly criss-crossed Europe and acquired existing nuclear power from as far east as Slovakia and as far west as Spain. This “crusade” will continue elsewhere in Europe. Their ulterior motive is probably the need to revive neglected competence and to bring home the ongoing nuclear renaissance to Italy at some stage.

In 2007, the Finnish Nuclear Society’s annual excursion headed to one of Eastern Europe’s renaissance hot spots: Romania and Bulgaria. In Romania, the original itinerary had to be rescheduled to fit with the evolving renaissance, as the new 655 MW CANDU 6 reactor was inaugurated into commercial use at the Cernavoda 2 plant during the week following our trip, on 5 October. Instead of Cernavoda, we visited Romania’s own Candu fuel plant in Pitești, where some essential work is still done by hand: each fuel pellet is manually inserted into the fuel rod! Cernavoda applies – to quote Irwin, a famous Finnish singer – the “once-you-get-started-just-let-go” principle. In other words, the aim is to build simultaneously the 3rd and 4th units in the near future, once an agreement has been reached with investors. In addition to the Italian parties, five other European companies have expressed their interest. The original plans from the Ceausescu period include the building of a 5th unit, too.

In Bulgaria, we visited the Kozloduy plant, where four out of six units were closed. The VVER-440 type 3 and 4 units were shut down on 31 December 2006 as a condition of Bulgaria’s EU member-

ship. People at the plant have yet to fully recover from the anger caused by the decommissioning. In some statements, there was a faint hope that “reason would prevail” and that the units 3 and 4 would be restarted in the future. We also sensed renaissance when we heard about the latest developments in the Belene project along the Danube River: the technical plan for the Belene nuclear plant was completed already in 1987. However, the project was mothballed in 1990, and the final decision to complete the project was made as late as 2002. Two VVER-1000 reactor units are currently under construction at Belene. The recommissioning of the IRT-2000 research reactor in Sofia after a long break also adds to the renaissance. The reactor is planned to be used, among other things, to provide boron neutron capture therapy.

In Eastern Europe, the renaissance is not only limited to Romania and Bulgaria. Russia has initiated the construction of seven new reactors and many more are in the planning stage. This includes the world’s first floating nuclear power plant units: Severodvinsk 1&2 (2x30MWe). In Slovakia, the final construction of the Mochovce 3 and 4 units has been decided on, while other plans are under discussion. There is also talk about extending the operating life of the Paks NPP in Hungary and the Krsko NPP in Slovenia. Additionally, building of Krsko 2 is under consideration. In Poland, the discussion centres on participation in a joint Baltic project and the construction of the nation’s first reactor. There are great plans afoot in Europe – not to mention the rest of the world.

In fact, there is a long list of nations dreaming to build their first reactor for nuclear power production by 2020. I have seen a list of 31 countries, which include Australia, Egypt, Georgia, Indonesia, Israel, Latvia, Malaysia, Namibia, Nigeria, Thailand, Turkey, Belarus, Vietnam, and Estonia. The forces of change are great and the pace of development fast – at least on paper and in conversation. If these plans are seen through, how will the challenge ahead be met?

# UUTISIA



## Jussi Helske sai arvostetun WANO-ydinvoimapalkinnon

**LOVIISAN VOIMALAITOKSEN** entiselle johtajalle Jussi Helskeelle on myönnetty arvostettu WANO (World Association of Nuclear Operators) -ydinvoimapalkinto. Helske toimi Fortumin Loviisan voimalaitoksen johtajana vuosina 1982–1999, jonka jälkeen hän siirtyi Imatran Voima Oy:n pääkonttoriin. Ennen eläkkeelle jäämistään vuonna 2004 Helske toimi johtajana Fortumin ydinvoimatuotannossa.

**WANO-PALKINNON MYÖNTÄMISEN** perusteina pidettiin Helskeen vahvaa johtajuutta ja sitoutumista korkean ydin-

turvallisuuden saavuttamiseen Loviisan voimalaitoksella. Palkinnon myöntämiseen vaikutti myös hänen merkittävä panoksensa VVER-440-laitoksien turvallisuusparannuksiin sekä hänen aktiivinen roolinsa WANO:n Moskovan keskuksen perustamisessa ja kehittämisessä. WANO:n raadin mukaan Helske on toiminnallaan ollut lujittamassa kansainvälistä yhteistyötä sekä edesauttamassa kokemusten ja tiedon vaihtoa eri valtioiden ydinvoimalaitosten kesken.

*Lisätietoja: Anne Muhonen, Fortum*

## Suomen Akatemia tukee ydinalan tutkimusta SusEn-ohjelmassa

**SUOMEN AKATEMIA** käynnistää nelivuotisen kestävän energian SusEn-tutkimusohjelman vuoden 2008 alussa ja se julkaisi päätöksensä ohjelmaan hyväksytyistä projekteista 20.11.2007. Niiden joukossa on **Riitta Kyrki-Rajamäen**, **Liisa Heikinheimon** ja **Rainer Salomaan** johtaman LTY-VTT-TKK-konsortion NUCNET-hanke, jossa pureudutaan uuden sukupolven ydinreaktorien turvallisuuskuittisiin ominaisuuksiin.

**AKATEMIA MYÖNSI** neljännen sukupolven reaktoritutkimukseen yhteensä 1,1 miljoonan euron rahoituksen neljän vuoden aikana, mikä merkitsee noin 6 henkilötyövuoden panostusta per kalenterivuosi. Kokonaisuudessaan Akatemian SusEn-ohjelman volyymi on 9,5 miljoonaa euroa.

**RAINER SALOMAA** toteaa: "NUCNET-hankkeesta saadaan IV sukupolven reaktoritutkimuksen tukijalka Suomessa. Samal-

la se antaa mahdollisuuden entisestään tiivistää tutkimus- ja koulutusyhteistyötä osallistuvien organisaatioiden välillä."

SusEn-haussa oli mukana myös muita ydintekniikkaan liittyviä projekteja, jotka esiteltiin ydinalan tutkijoille 25.10.2007 pidetyssä GEN4FIN-seminaarissa VTT:n päärakennuksessa. Vaikka niille ei SusEn-ohjelman kautta saatu rahoitusta, on toivottavaa että myös nämä hankkeet saadaan etenemään. Niissä on tarkoitus selvittää materiaalien säteilyvaurioita, fissiotuottoja nopeilla neutroneilla sekä polttoaineen jälleenkäsittelyn kemiallisia menetelmiä, jotka kaikki ovat tärkeitä näkökohtia uuden sukupolven reaktoreiden kannalta. Akatemian tekemää NUCNET-rahoituspäätöstä voidaan joka tapauksessa pitää merkittävänä päänavauksena.

*Lisätietoja: [www.aka.fi](http://www.aka.fi), hakusana SusEn*

## Uusia EPR hankkeita käynnistymässä

**RANSKALAINEN VOIMAYHTIÖ** EdF ilmoitti 4.12.2007 Flamanvillen EPR -laitoksen rakentamisen alkaneen aikataulun mukaisesti.

EdF:n mukaan reaktorista tulee Arevan 1650 MW(e) painevesireaktorin referenssi. Laitoksen suunniteltu käyttöönotto tapahtuu vuonna 2012.

**MUUTAMAA PÄIVÄÄ** aikaisemmin Areva ilmoitti saaneensa Kiinasta kaikkien aikojen suurimman tilauksen, arvoltaan 8 miljardia Euroa. Osana kauppaa Guangdong Nuclear Power Company (CGNPC) tilasi kaksi EPR -tyyppistä painevesireaktoria. Reaktorit rakennetaan uudelle laitospaikalle Taishaniin Guangdongin provinssiin noin 150 km Hongkongista länteen.



Uraani Instituutin väkeä vierailulla Loviisan ydinvoimalaitoksella 10.5.1990. Antero Tamminen keskustelemassa Urencon tri Brian Kehoen kanssa, Tammisen toisella puolella Nukemin tri Horst Keese ja kaksi isäntäväkeä kuuluva.

## Antero Tamminen:

# Loviisasta alkoi Suomen menestystie ydinvoiman maailmankartalle

*Istumme Loviisan ydinvoimalaitoksen teknisen ryhmän pitkäaikaisen päällikön, eläkkeelle vuonna 2003 siirtyneen Antero Tammisen omakotitalossa Loviisan Itäisellä Harju-tiellä. Ikkunasta avautuvat upeat Loviisanlahden maisemat ja siellä jossain on myös lahden ainoa vedenalainen kivi, jonka kuningas Kustaa IV Adolf löysi karauttamalla laivansa sille. Kivi sai osuvasti nimen Kuninkaan kivi. Tuota kertoi "kurssit käynyt harrastajaturistio-pas", tuolloin Loviisan laitoksen turvallisuusinsinööri Jorma Aurela, seilatessamme millen-iumina hänen veneessään kiven ohi. Kustaa -kuningas epäonnistui ulkopoliitikassaankin, mikä Ruotsinpyhtään ja Pyhtään välisellä valtakuntien rajalla näkyi mm. niin, että hän maalautti koko rajasillan Ruotsin sinikeltaisin värein, siis myös jo valkosinipunaisen Ve-näjän siltapuoliskon siten silloin lähes provosoiden Venäjän sodanjulistukseen Ruotsille. Se Suomen historiasta kuitenkin tällä erää, alkakaamme parituntinen keskustelu Antero Tammisen opiskelu- ja työuran vaiheista.*

## Ensosta insinööriksi opiskelemaan

*Mistä alettaisiin? No, mistä olet kotoisin?*

”Joskus, kun on kysytty mistä olen kotoisin, olen sanonut ”etten mistään”, vanhempani kun asuivat ennen sotaa Ensos-  
sa ja syntymässä kävin Viipurissa. Ensosta alkoi evakko ja muutimme Helsinkiin, sieltä Kajaaniin ja lopuksi Imatralle, josta oikeimmin voin sanoa olevani kotoisin, kävinhän lopun keskikoulua ja lukion siellä. Kirjoitin ylioppilaaksi Imatran yhteislyseosta v. 1957. Pyrin sitten teknillisen korkeakoulun (TKK) teknillisen fysiikan osastolle. Kriteerinä oli että sinne oli mahdollisimman vaikeaa päästä. Siitä se lähti. Aloitellessamme opintojamme Hietalahdentorin varrella meillä oli paljon Sputnik-ilmion aikaan saamia laskuharjoituksia. Muistan tuon syksyn erityisesti aikana, jolloin laskimme satelliittien tarvitsemia kiihtyvyyksiä ja ratoja.”

*Kenelle teit diplomityösi? Entä siitä eteenpäin, jatkoitko korkeakouluopintojasi?*

”Tein sen **Jauholla** ydinfyysikasta v. 1963. Työssä oli erikoista, että se oli yhteinen kurssitoverini **Pekka Hiismäen** kanssa, josta sittemmin tuli tohtori ja professori VTT:ssä. Kahden miehen yhteiselle työle ei ollut esikuvaa, sille että yksi esitti asian yhden ja toinen toisen puolen. Armeijan käytyäni aloitin jatko-opintoni Atomiennergianeuvottelukunnan tutkija-assistenttina **Teuvo Kohosen** tutkimusryhmässä ja positronien elinikämittauksia koskeva lisensiaattityöni Jauholla valmistui v. 1967. Seuraavana vuonna reaktorilaboratorio siirrettiin VTT:hen, jossa olin v. 1973 asti. Katson kuuluvani viimeiseen ilman tietokoneohjelmoinnin osaamista valmistuneeseen opiskelijasukupolveen. Valmistuessani diplomi-insinööriksi korkeakoulun tietokonekapasiteetti oli epäilemättä vain surkea murto-osa siitä mitä itse kullakin on tällä hetkellä kirjoituspöydällä.”

## Loviisaan atomisähköä tekemään

*Milloin menit Imatran Voiman (IVO) palvelukseen?*

”Siirryin IVO:oon v. 1973. Tapasin sattumalta Otaniemen KOP:n aulassa IVO:oon

jo palkatun **Anders Palmgrenin**, joka sanoi että ”kuule, nyt olisi tällainen homma, siinä olisi tätä ja tätä ja tätä. Ja sitten pitäisi vielä hoitaa tätä ja tätä ja tätä, vaikka eihän sitä kukaan voi hoitaa.” Ja sitten Anders sanoi, että ”ota sinä se homma!” En heti sanonut, että ”juu, kyllä se minulle käy”, vaan jatkossa sitten keskustelimme lisää työn sisällöstä. Ja pitiähän asiasta sopia perheiden kanssa. Tuolla tiellä sitten olin lopun työelämäni, olkoonkin etten koskaan hakenut sitä työtä.”

*Mikä tehtävä Palmgrenilla oli silloin IVO:ssa?*

”IVO:ssa oli käyttöosasto, johon hänet oli palkattu tulevan Loviisan voimalaitoksen päälliköksi tehtäväänään perustaa laitoksen käyttöorganisaatio. Palmgren haali väkeä osin lehti-ilmoituksilla ja osin kutsuamalla. Käyttöorganisaatioon tuli käyttöryhmä, kunnossapitoryhmä, tekninen ryhmä ja konttoriryhmä. Jokaisessa ryhmässä oli päällikkö, minusta tuli teknisen ryhmän päällikkö. Olin siinä tehtävässä vuodesta 1973 v. 2001 loppuun asti.”

*Mitä asioita teknisen ryhmän tehtäväkenttään kuului?*

”Turvallisuus, laadunvarmistus, reaktorifysiikka, polttoaineen käsittely, säteily-suojelu, kemia, myöhemmin koulutusryhmä, eli suurin piirtein laitoksen kaikki ydinvoimaspesifiset asiat. Aivan alussa myös automaatio ja instrumenttikunnossapito kuuluivat tekniseen ryhmään, samoin kuin myöhemminkin prosessitietokoneet, mutta eivät hallinnon tietojärjestelmät. En ole koskaan kuvitellut hallitsevani tietokonetta ”tietoteknisesti” vaan mielumminkin ”administrattorina!”

”On ollut kiinnostavaa seurata tietotekniikan kehitystä ja sitä miten se vaikuttaa työskentelytapoihin ja myös kulttuuriin. Olen ollut havaitsevinani sellaisen ongelman, että vanhat kulttuurit eivät poistu, vaan syntyy vanhan ja uuden kerrostumaa. Ruutuvihko ja lyijykynä ovat yhä käypää tavaraa mutta on hallittava monia muitakin taitoja. Ideoiden hakuun vanhat käytännöt ovat edelleen käyttökelpoisia. Kaikkihan tieto kuitenkin vanhenee joskus, ei ole haitaksi jos hoitaa jotain uutta asiaa van-

halla kaavalla, kunhan vain on riittävän varovainen uusien utojen asioiden suhteen. Jos jotain asiaa ei osaa, se on annettava niiden hoidettavaksi jotka sen osaavat. Silloin asia toimii.”

”V. 2001 loppuun organisaatorakenne oli suhteellisen stabiili, kaikki edellä luetellut alat kuuluivat tehtäviini. Sitten v. 2002 alussa laitoksella toteutettiin organisaationmuutos, jossa meitä vanhempia siirrettiin fokuksesta vähän sivuun. Olin voimalaitoksen apulaispäällikkö vajaat kaksi vuotta, lopun ajan työuraani. Voi tietysti sanoa että on aika tyhmää olla samassa hommassa melkein 30 vuotta. Perustelin asioita itselleni että on parasta tehdä sitä mitä osaa eikä miettiä mitä voisi tehdä. Työtä oli koko ajan vaikka kuinka paljon, se oli mielenkiintoista ja aika itsenäistäkin.”

## Loviisan laitoksen erityisominaisuuksista

”Alussa tein IVO:ssa atomiprojektin töitä kuuluen kuitenkin käyttöorganisaatioon. Kävimme 70 -luvun puolivälissä Novo Voroneshissa opettelemassa ydinvoimalaitoksen käyttöä. Olimme siellä muutamia jaksoja, vuoro-operaattorit pitempäänkin. V. 1977 alussa kun Loviisan laitosta ruvettiin ottamaan käyttöön, käyttöönlähtötapa oli sellainen, että valvomossa oli sekä venäläinen että suomalainen miehistö. Katson työmmme alkaneen oikeasti siitä kun laitos luovutettiin käyttöorganisaatiolle. Täytyy myöntää alussa herättäneen hämmästyttää että venäläinen laitos saatiin sillä lailla hyvin pyörimään, kuin mitä se sitten lähti. Myöskin ainakin minä muistan ihmetelleeni sitä, että meillä ei suomalaisten pääkiertopumppujenkaan kanssa ollut alussa mitään vaikeuksia.”

**Daniel Jäfs** kertoi, että jos pääkiertopumppujen suhteen tuli ongelmia, niin tarvittiin vain puhelinsoitto ja ½ - 2 tunnin päästä vastuhenkilö ehti paikalle selvittämään ongelmaa.

”Suunnittelijoiden saaminen tarvittaessa nopeasti paikalle oli alkuvaiheen vahva asia. Ja venäläisiä päällikkötason insinöörejä oli paikalla vielä vuoden ajan. Oli



Valmius/pelastuspalveluharjoitus Loviisan voimalaitoksella 28.11.2001. Etualalla Antero Tamminen, kartan äärellä Ari Haimi ja taaempänä Markku Tiitinen. (Kuva Seija Niinimäki.)

alussa "takaiskujakin", mm. venäläisissä takaiskuventtiileissä oli korjaamista, oli aika ikäviäkin vuotoja. Varsinainen pettymys oli, kun v. 1980 todettiin, että venäläisten hausrasmurtumalaskut eivät pidä paikkaansa." *Eli huomattiin että paineastian ikä ilman erityistoimia tulisi jäämään lyhyeksi?*

"Lo2:n muutokset tehtiin jo ennen käyttöönottoa ja Lo1:n sydäntä pienennettiin syksyllä 1980. Kakkosreaktori oli jo ladattu mutta käyttöönottoa siirrettiin kuukausia kunnes höyrystimien kollektoreista löydetty hitsausvialt oli korjattu. Vastaavat tarkastukset ja korjaukset tehtiin Lo1:llä pitkäksi venyneessä v. 1980 vuosihuollossa. Muutoinhan vaakahöyrystimet ovat toimineet hämmästyttävän hyvin. Täällä, muualhan niitä on jouduttu kokonaankin vaihtamaan."

"Loviisan laitoksen suunnittelussa on erikoispiirteitä, mm. siinä on tehon yksikköä kohden tavattoman paljon betonia ja rautaa. Primääri- että sekundääripuolella on runsaasti vesivolyymejä, mikä tekee laitoksen käyttäytymisen kohtuullisen rau-

halliseksi. Paineistin on ehkä mitoitettu vähän pieneksi. Kahden turbiinin laitos ja venäläisten perusteellinen lämmön talteenoton suunnittelu tekee systeemin tavattoman monimutkaiseksi. Syöttövesisäiliöitä on kaksi, kun joistain laitoksista ne on jätetty kokonaan pois, lähinnä säästösyistä. Kuusi höyrystintä primääripuolella merkitsee suuria vesivolyymeja. Vaakahöyrystimillä on hyviä ominaisuuksia. On niillä tietysti ikäviäkin ominaisuuksia joita on sitten yritetty eri tavoin väistää. Mutta kaiken kaikkiaan on vaikea kuvitella, että joku olisi rohjennut 35 vuotta sitten sanoa, että tämä näinkin hyvin onnistuu."

*Aivan. Ja nyt voidaan kai sanoa, että juuri sen takia onnistuttiin, että venäläisillä on sittenkin ollut varsin paljon ymmärrystä takana?*

"Ainoa mitä voi sanoa, on että heidän konepajavalmistuksessaan on ollut erilaisista puutetta. Mutta perusfysiikka on toiminut. Muistan yhden venäläisen ydinvoimapäällikön, jonka mielestä operaattoreidenkin pitää olla huippuun asti koulutettuja ydin- ja reaktorifysiikassa. Se siis poikkeaa selvästi länsimaisesta ajattelutavasta, jossa operaattorit käyttävät laitosta ohjeiden mukaan eikä heidän tarvitse olla akateemisesti koulutettuja. Operaattoreilla on siis hyvä reaktorifysiikan osaamistaso Venäjällä mutta kuten Tsernobylin onnettomuuskinkin osoittaa, organisaation toiminnassa on muuta puutetta mikä ei korkeakoulutuksella välttämättä korjaannu."

*Eräs Loviisan laitoksen passiivisen turvallisuuden sovellus on paineastian pohjan ulkopuolinen tulvittaminen. Mistä saitte idean, minulle sen lanseerasi Harri Tuomisto? Oleellista paineastian pohjan tulvituksessa on, että pohjan alapuolinen jäähdytyskapasiteetti on niin valtava että Loviisan laitos on ainoa, jossa paineastian pohja ei sula puhki vakavassa onnettomuudessa.*

"Idea on varmasti lähtöisin jäälahduttimesta, mutta kenen idea se oli, sitä en tiedä. Tuomisto teetti Saksassa aihepiirin kokeitakin. Jäälahduttimessa on niin valtava määrä vettä, että sitä on ilman muuta osattava käyttää hyväksi. Tarvitaan vaativat

## Assosiaatiosanaleikki

- Loviisa?  
"Kotipaikka."
- Fennovoima?  
"Uusi yrittäjä."
- Fortum?  
"Johtava energiayhtiö."
- Strategia?  
"Tasajakotaktiikkaa."
- Rekkajonot?  
"Byrokratian kummajainen."
- Omakotitalo?  
"Kunnossapitokohde."
- Eläkkeellä olo?  
"Taitolaji."
- Vanhat kirjat?  
"Tärkeitä."
- Divari?  
"Aarreaitta."
- Vapaa-ajan harrastus?  
"Kalastus."



laskut sydänsulan käyttäytymisestä paineastian sisällä osoittamaan konvektion olevan riittävää. Ja paljon muutakin tärkeää systeemissä tapahtuu. Se on yksi Loviisan laitoksen erikoispiirteitä. Jos mennään taas fysiikkaan, niin Westinghouselta on mielestäni ollut suuri termodynaaminen kömmähdys, että jään sublimoitumista jäälauhduttimessa ei oltu ollenkaan otettu huomioon. Jään häviämistä jäälauhduttimessa tulikin sitten kunnossapidon kohde, koska jäätä tuli joka vuosi lisätä sublimoitumisprosessin vuoksi.”

*Kerro tuosta kunnossapitoprosessista!*

”Jäälauhduttimessa on lämpötilaeroja ja siitä johtuen ilmavirtauksia. Jäätä höyrystyy jääkoreista ja huurtuu aina sinne missä on kylmintä. Jäälauhdutinta on jäädytettävä, mikä tehdään paneeleilla. Paneeleille kertyvän jään vuoksi niiden jäähdysteho huononee ja niitä pitää aika ajoin sulattaa, jolloin jäätä häviää. Siksi jäälauhduttimeen on joka vuosihuollossa lisättävä jäätä. Alun perin jäälauhdutin oli konstruktioltaan sellainen että jään lisääminen sinne oli melkein mahdotonta. Westinghousella ei tuota tultu koskaan ajatelleeksi, sillä se vain suunniteltiin laitoksia, ei käyttänyt niitä. Vuosien varrella olemme oppineet tekemään jäälauhduttimen täytön, mutta vaikeaa tuo työ edelleen on. Se tosiasia vain korostuu, että termodynamiikka on tolkkottoman vaikea ala.”

## Wanosta ja sen tarkastustoiminnasta

*Käydäänkö läpi vähän kansainvälistä toimintaa, Wanoa?*

”World Association of Nuclear Operators ja sen kolme keskusta, Moskova, Pariisi ja Atlanta perustettiin Tsernobylin onnettomuuden jälkeen. Ydinvoimayhtiöt liittyivät keskuksista johonkin, amerikkalaiset ja japanilaiset Atlantaan, eurooppalaiset Pariisiin ja Itä-Euroopan laitokset Moskovan keskukseen. Suomessa tehtiin se ratkaisu että venäläisiä reaktoreita käyttävä IVO liittyi Moskovan ja Olkiluoto Pariisin keskukseen. Yhteinen koordinoitumisto on Lontoossa. Wanossa ryhdyttiin neuvomaan ydinvoimalaitosyhtiöitä ja -operaattorei-

ta paljolti Atlantassa olleen Inpon käytäntöjä soveltaen, perustettiin palveluutoja kuten raportointi ja erilaisten ongelmien yhteenvedot ja hyvät käytännöt, jne. Itsekin olin mukana Wanon toiminnassa. Moskovan keskus koulutti minusta peer review -päällikön ja olin tarkastusryhmän vetäjänä Venäjällä ja Slovakiassa. Peer review on IAEA:n OSART -tarkastusten kaltainen, joskin siinä on yritetty tarkastella vähän eri näkökulmaa. Se on ollut opettavaista mukana olijoille ja niille joihin tarkastus on kohdistunut.”

*Muistan OSART:in yhteydessä joskus puhutun että se on laitokselle vähän noloa.*

”Ei se niin ole. Mutta kohdelaitokselle on vaivaa kääntää aineistoa englanniksi. Itselläni on hyvin positiivisia kokemuksia peer review -prosesseista, sekä kohteena olemisesta että tarkastustoiminnasta. Jo ennen Wanoa pyrimme monellakin tavoin yhteistyöhön kanssamme samanlaisten laitosten kanssa, pidimme seminaareja ja kävimme eri laitoksissa. Wano on kuitenkin saanut aikaan, että asiaan on tullut yhteistä innostusta ja myös tiedetään kuka milläkin asialla on.”

*Kauanko peer review kestää, kuka sen kustantaa ja mitä kaikkea siihen kuuluu?*

”Se kestää kolme viikkoa mutta sitä valmistellaan puolisen vuotta. Voimayhtiöt maksavat keskukselle tietyn jäsenmaksun ja tarkastuksia toteutetaan noilla rahoilla. Peer review -prosessissa on kymmenkunta tarkastusaluetta, reaktoriteknikka, paloturvallisuus, säteilysuojelu, ym. Sitten on tietty hyvää laatutasoa edustava kuvaus siitä, mitä kaikkea pitäisi löytää ja löytyä ja tarkastuksessa käydään sitten läpi, että ”onko tätä ja tätä olemassa, onko tehty tätä ja onko tätä raportoitu?” Tarkastustoiminta kohdistuu lähinnä käyttöorganisaation toimintaan, tarkastetaan mm. mille syvyydelle koulutus ulottuu. Laitosominaisuuksia ei siis pyritä arvostelemaan vaan ne ovat paikallisen viranomaisen ja laitosityhtiön välinen asia. Jos jollakulla ei jotain varajärjestelmää ole, niin sillä ei sitä sitten ole. Lopuraportissa on lueteltu hyvät esimerkit ja asiat sekä erilaiset haasteet ja kehityskoh-

teet. Kehityskohteista esitetään, mikä on havainto ja mikä kansainvälinen käytäntö.”

## Suomi, ydinvoiman edelläkävijämaako?

*Voisiko Suomen sanoa olevan nykyisin ydinvoiman edelläkävijämaa, ”osaamisen ketjun sillanrakentaja tulevaisuuteen”?*

”Kyllä tällaiselle ajatukselle perusteita on. En jaksaa ymmärtää että on teknillisesti korkealla tasolla olevia kulttuureita kuten esimerkiksi Saksa, jossa ei kuitenkaan osata tehdä yhtään järkevää ydinvoimapäätöstä. Mikä voisi olla syy siihen? Minua murehduttaa erityisesti, että siellä missä olisi erinomaiset tekniset edellytykset käyttää luotettavasti ydinvoimaa, se jää käyttämättä. Sen sijaan ydinvoimaa syntyy siellä, missä sille ei ole samoja edellytyksiä. Tulevan sukupolven täytyy kuitenkin ratkaista kuinka öljyriippuvuudesta ponnistetaan eroon. Öljyhän ei enää halpene.”

*Prof. Jorma Routti käyttää esitelmässään ilmaisuja, ”ettei pitäisi polttaa polttoainetta vaan tietoa”. Tulis tuottaa tietoa jonka avulla luodaan uusia teknologioita, tekniikoita ja systeemejä. Näillä sitten tuotetaan energiaa. Suomi pitää yllä prosessia että ydinvoimalaitosten rakentamisen tietotaito ei kokonaan katkea. Aika viime tingassa vaan tuo Suomessakin tapahtui.*

”Niinpä, mutta hyvä kun tapahtui. Opetan näin eläkeläisenä YK-koulutusohjelmassa. Sitäkin kohtaan kohdistettu kiinnostus osoittaa että oli todella viimeisiä hetkiä saada se pystyyn.”

*Mitä aihepiiriä opetat, miten koulutusohjelman toiminta on organisoitu?*

”Opetusaihepiiriini koskee pientä osaa turvallisuuskulttuuria, operaattorien, laitoksen ym. turvallisuutta tukevaa toimintatapaa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LTY) pitää ”paperit kasassa”, toimintaa koordinoi prof. **Riitta Kyrki-Rajamäki**. STUK, voimayhtiöt ja muut tahot antavat luennoitsijoita. Koulutusohjelma on osoittautunut erittäin tärkeäksi ja hyödylliseksi kokemuksen ja tiedon siirtämisessä ydinenergia-alan vanhemmalta toimijapolvelta nuoremmalle.” ■

# Tulevaisuuden ydinpolttoainekierrot

*Artikkeli on lyhennelmä ATS:n syysseminaarissa 26.10.2007 pidetystä esitelmästä. Esitelmä on lyhentämättömänä ja viitteineen luettavissa ATS:n kotisivuilla osoitteessa [http://www.ats-fns.fi/archive/esitys\\_anttila\\_teksti.pdf](http://www.ats-fns.fi/archive/esitys_anttila_teksti.pdf) ja siihen liittyvät kalvot osoitteessa [http://www.ats-fns.fi/archive/esitys\\_anttila.pdf](http://www.ats-fns.fi/archive/esitys_anttila.pdf).*

**M**ahdollisten ydinpolttoainekierrojen määrää rajoittaa lähinnä asiaa miettivän mielikuvitus. Nykyisissä ydinreaktoreissa käytetään pääosin avointa kiertoa, jossa uraanipolttoainetta säteilytetään reaktorisydämessä ja varastoidaan tämän jälkeen odottamaan geologista loppusijoitusta. Kirjon toisessa päässä on täysin suljettu kierto, jossa käytetty polttoaine jälleenkäsitellään ja ainakin kaikkia aktinideja kierrätetään jatkuvasti (nopeissa) reaktoreissa.

Näiden ääri vaihtoehtojen väliin voidaan rakentaa enemmän tai vähemmän suljettuja kiertoja, joista nykyisin on käytössä plutoniumin kertakierrätys ns. sekaoxidipolttoaineena kevytvesireaktoreissa. Jälleenkäsittelyssä käytetty polttoaine voidaan periaatteessa jakaa useisiin alkuaineryhmiin ja valita kullekin paras jatkokäsittelytapa.

Tulevaisuudessa valittavissa voi olla kaksi erotusprosessia: nykyisissä jälleenkäsittelylaitoksissa käytettävä hydrometallurginen menetelmä ja ns. pyrokemiallinen tekniikka.

Polttoainekierto vaihtoehtojen määrää lisää myös se, että valittavissa on useita erilaisia reaktori- ja polttoainetyyppejä. Reaktorien säteilyolosuhteita voidaan muokata polttoainekierron tarpeiden mukaan, ja käyttöön voidaan valita esim. oksidi-, metalli-, nitridi- ja karbidipolttoaine. Ydinpolttoainekierron raaka-aineeksi on

tarjolla kaksi alkuainetta, uraani ja torium, joista jälkimmäistä voidaan tosin käyttää tehokkaasti vain, jos käytetty polttoaine jälleenkäsitellään.

Vaikka ydinpolttoainekiertojen valikoima on siis lähes rajaton, on varsin selvää, että vaihtoehtoista vain muutama voidaan käytettävissä olevin voimavarojen kehittää kaupalliseen toimintaan sopiviksi.

## Ydinpolttoainekierroille asetetut vaatimukset

Ydinpolttoainekierroilta edellytetään ainakin (GIF 2002):

- turvallisuutta, luotettavuutta ja taloudellisuutta,
- mahdollisimman vähäisiä kasvihuonekaasujen päästöjä,
- luonnonvarojen (= uraanin ja mahdollisesti toriumin) mahdollisimman tehokasta hyödyntämistä,
- mahdollisimman vähäistä ydinjätteen tuottoa ja
- mahdollisimman hyvää kykyä estää ydinaseiden leviämistä ja ydinterrorismia.

Ydinpolttoainekierron turvallisuuden, luotettavuuden ja taloudellisuuden näkökulmasta siinä käytettävät reaktorit ovat ratkaisevan tärkeä tekijä. Nykyisten ydinreaktorien ja niitä tukevien polttoainekierto laitosten kasvihuonekaasupäästöt tuotettua energiayksikköä kohti ovat erittäin alhaiset eikä tilanne juurikaan muutu, jos

siirrytään kehittyneisiin kiertoihin. Uusilla polttoainekierroilla voidaan tehostaa merkittävästi luonnonvarojen hyväksikäyttöä ja vaikuttaa myös kertyvän korkea-aktiivisen ydinjätteen määrään.

Toisaalta niiden käyttöönotto, kuten ydinenergian rauhanomaisen hyväksikäytön merkittävä laajentaminen ylipäänsä, edellyttää, että toimia ydinaseiden leviämisen ja ydinterrorismin estämiseksi tehostetaan entisestään.

Erytyisesti kehittyneiden jälleenkäsittelytekniikoiden luotettava toiminta teollisessa mittakaavassa ja hyväksyttävissä olevin kustannuksin on vielä todistamatta.

## Luonnonvarojen tehokas hyödyntäminen

Luonnonvarojen hyödyntämisen näkökulmasta nykyiset termiset reaktorit ovat tehotomia, koska ne käyttävät hyväkseen lähinnä vain fissiilejä nuklideja (U-233, U-235, Pu-239 ja Pu-241). Luonnonuraanista 0,71 prosenttia on fissiiliä U-235-isotooppia. Pääosa uraanista ja luonnonuraanin kokonaisuudessaan koostuu ns. fertiileistä nuklideista, joista neutronikaappauksen ja sitä seuraavien radioaktiivisten hajoamisen tuloksena syntyy fissiilejä nuklideja.

Yhdysvaltain ydinaseen kehittäneen Manhattan-projektin tutkijat loivat tästä lähtökohdasta 40-luvun lopulla ns. hyötöreaktori-konseptin, joka tuottaisi enemmän (fissiiliä) polttoainetta kuin kuluttai-

si. Idean testaamiseksi rakennettiin Idahoon Experimental Breeder Reactor I (EBR-I), josta joulukuussa 1951 tuli ensimmäinen sähköä julkiseen käyttöön tuottanut ydinreaktori.

Useasta eri syystä nopeista hyötöreaktoreista ei kuitenkaan tullut reaktoriteknikan tiennäyttäjää, vaan kevytvesireaktorit ottivat 50-luvulla johtavan roolin, minkä ne myös tulevat säilyttämään ainakin lähivuosikymmeninä. Yksi merkittävä tekijä oli uraanivarojen osoittautuminen alkuoletuksia paljon suuremmiksi. Uraanin saataavuus ja hinta ratkaisevat myös tulevaisuudessa, millä aikataululla kehittyneitä reaktoreita ja polttoainekiertoja mahdollisesti otetaan käyttöön.

Viimeisimmässä OECD:n ydinenergiajärjestön (NEA) ja Kansainvälisen atomienergiajärjestön (IAEA) julkaisemassa selvityksessä ("Red Book") vuonna 2005 tunnetut (identified) ja todennäköiset (inferred) uraanivarat, joiden tuotantokustannus olisi alle 130 \$/kgU, arvioitiin noin 4,7 miljonnaksi tonniksi.

Melko todennäköisesti löydettäviä (undiscovered), vastaavan kustannustason esiintymiä uskottiin olevan noin 10 miljoonaa tonnia. Ydinreaktoreita on nyt toiminnassa noin 440 ja niiden yhteinen kapasiteetti on noin 370 GWe. Niiden vuotuinen luonnonuraanitarve on hieman yli 67 000 tonnia.

Tunnetut ja todennäköiset uraanivarat riittäisivät siis ylläpitämään nykyisen suuruisia kapasiteettia 70 - 200 vuotta. Ne mahdollistavat myös kevytvesireaktorien määrän maltillisen lisäämisen. Sähköteholetaan 1000 MW:n laitos kuluttaa vuodessa noin 24 tonnia väkevöityä uraania, jonka valmistamiseen tarvitaan 150 - 200 tonnia luonnonuraania.

Jos reaktorin käyttöikä on 60 vuotta, sen uraanitarve on yhteensä 9 000 - 12 000 tonnia luonnonuraania. Nykyinen kapasiteetti voidaan siis hyvinkin kolmin- tai linkertaistaa.

Uraania tiedetään lisäksi olevan erilaisissa fosforiesiintymissä noin 22 miljoonaa tonnia, josta osa voi olla hyödynnettävissä

teknisesti ja taloudellisesti hyväksyttävien kustannuksin. Määrällisesti eniten uraania on merivedessä, mutta koska sen pitoisuus on pieni (0,003 ppm), tämän uraani-lähteen hyödyntäminen avoimen polttoainekierron tarpeisiin ei liene taloudellisesti perusteltua. Uraanivarojen riittävyttä arvioitaessa pitää tietysti varautua myös siihen, ettei kaikkia esiintymiä voida hyödyntää esimerkiksi ympäristösyistä.

Uraanesiintymiä on monissa maissa, ja uraania tuotetaan useissa paikoissa ympäri maailmaa. Kuitenkin vuoden 2005 Red Bookin mukaan yli 40 prosenttia uraanivaroista on kahdessa valtiossa, Australiasa ja Kazakstanissa, ja jotkut hajatieidot viittaavat siihen, että uusissa arvioissa niiden osuus voi olla entisestään suurentunut. Kummassakaan maassa ydinvoimaa ei käytetä energian tuottamiseen.

Vastaavasti johtavista ydinvoimavaltioista esimerkiksi Japani ja Ranska ovat lähes kokonaan tuontiuraanin varassa. Tilanne ole juurikaan parempi Kiinassa ja Intiassa, joiden tavoitteena on lisätä merkittävästi ja nopeasti ydinreaktorien määrää. Intian virallisen tavoitteena on korvata uraani toriumilla ydinreaktoriensa pääasiallisena raaka-aineena seuraavien 20 - 30 vuoden aikana.

Japanin, Kiinan ja Ranskan lähtökohtana on taas ottaa käyttöön nopeita reaktoreita ja sulkea uraaniin perustuva polttoainekierto mahdollisimman tehokkaasti viimeistään vuodesta 2050 alkaen.

Lyhyellä aikavälillä luonnonuraanin saatavuus pyritään turvaamaan solmimal-

la asiasta valtioiden välisiä sopimuksia ja hankkimalla osuuksia toimivista tai avattavista uraankaivoksista.

## Korkea-aktiivisen ydinjätteen määrän vähentäminen

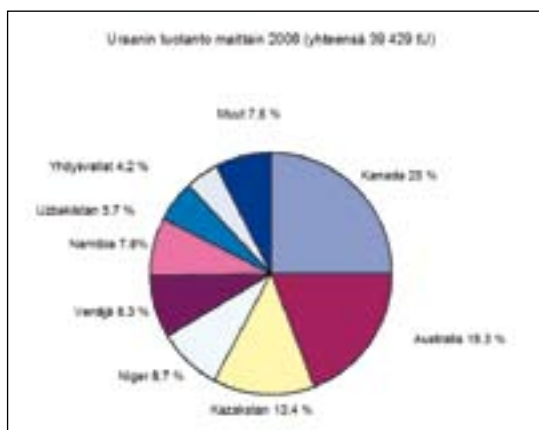
Avointa polttoainekiertoa noudattavassa termisessä reaktorissa voidaan luonnonuraanin kulutusta tuotettua energiayksikköä kohti vähentää vain rajoitetusti. Ainoa keino vähentää merkittävästi geologista loppusijoitusta edellyttävän korkea-aktiivisen ydinjätteen määrää on siirtyä käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyyn ja ainakin kaikkien aktinidien mahdollisimman täydelliseen kierrättämiseen nopeissa reaktoreissa.

Jos lisäksi tavoitteeksi asetetaan geologisen loppusijoitustilan tehokas käyttö, korkea-aktiivisesta, lähes täysin fissiotuotteista koostuvasta ydinjätteestä pitää erottaa myös strontium ja cesium, jotka aluksi tuottavat valtaosan jälkilämmöstä. Niille on kehitettävä oma loppusijoituskonseptinsa. Kaikkien aktinidien jatkuva kierrättäminen edellyttää todennäköisesti uudentyyppisiä polttoaineratkaisuja ja tehokasta erotus- ja transmutaatiotekniikkaa. Johtavat ydinenergiavaltiot ja myös Euroopan unioni ovat viimeisten 15 - 20 vuoden aikana käyttäneet merkittävästi voimavaroja alan tutkimus- ja kehitystoimintaan.

Erotustekniikalla (partitioning) tarkoitetaan jälleenkäsittelymenetelmää, jossa käytetty polttoaine jaetaan valitun polttoainekierron ja loppusijoitusratkaisun mukaisesti alkuaineryhmiin. Nykyisissä kauppal-

lisissa jälleenkäsittelylaitoksissa käytetystä polttoaineesta erotetaan yleensä vain uraani ja plutonium.

Fissiotuotteet ja ns. sivuaktinidit (neptunium, amerikum ja curium) muodostavat korkea-aktiivisen jätevirran. Kehittyneessä erotustekniikassa voidaan tavoitella viiden edellä mainitun aktinidin erottamista omaksi ryhmäkseen. Fissiotuotteis-



ta erillisiin tuotevirtoihin halutaan lisäksi sekä cesium ja strontium että teknetium. Tällaisessa hydrometallurgisessa prosessissa myös jodi ja krypton kerätään talteen kaasuihin.

Kehittyneet erotustekniikat on saatu toimimaan laboratorio-olosuhteissa, mutta ei vielä kaikissa suhteissa riittävän hyvin. Niiden kehittäminen teollisen mittakaavan laitoksiin sopiviksi onkin vasta aluillaan. Lisäksi ei ole varmaa, että hydrometallurgiset menetelmät soveltuisivat tulevaisuuden reaktoreiden korkeapalamaisten polttoaineiden käsittelyyn. Osa tutkituista organisisista yhdisteistä ei ehkä kestä riittävän hyvin säteilyä. Siksi viime vuosina on tutkittu myös pyrokemiallisia erotusmenetelmiä.

Nukliditransmutaatio on mahdollista kaikissa reaktorityypeissä, mutta tavoitteenoleva kaikkien aktinidien polttaminen vain nopeissa reaktoreissa. Tehokas nopea transmutaatiolaitoksen sydän voi olla joko kriittinen tai alikriittinen. Jälkimmäisessä tapauksessa neutronivuon taso pidetään yllä ulkoisen lähteen avulla.

Eniten tutkittu alikriittinen vaihtoehto on kiihdytinavusteinen reaktori (Accelerator-driven System, ADS). Siinä kiihdyttimestä tuleva protonisuihku suunnataan sopivaan kohtioon, josta spallaatioreaktiossa syntyvät neutronit kulkeutuvat kohtiota ympäröivään reaktorisydämeen. Tasapainotilassa kriittinen ja alikriittinen transmutaatiolaitos polttavat yhtä tehokkaasti aktinideja, mutta joissakin tilanteissa ADS voi olla parempi vaihtoehto kuin kriittinen reaktori, koska siinä haluttu tehotaso voidaan pitää yllä kiihdyttimen hiukkasvirtaa säätämällä.

Polttoaineen erotus- ja jälleenkäsittelytekniikoita kehitettäessä on otettava huomioon myös ydinpolttoainekiertojen proliferaation vastustuskyky.

Ydinenergian rauhanomaisen hyväksikäytön alusta alkaen on pyritty luomaan järjestelyjä, joilla voitaisiin estää ydinaseiden leviäminen rauhanomaisen ydinpolttoainekierron seurauksena. IAEA:n safe-guards-järjestelmä lienee tästä tunnetuin esimerkki.

## Tulevaisuuden polttoainekiertojen tutkimus- ja kehitystyö

Yhdysvallat muutti tämän vuosikymmenen alussa suhtautumistaan kehittyneisiin reaktoreihin ja polttoainekiertoihin, mistä ensimmäinen merkki oli lähinnä erotustekniikkaan keskittyneen kansallisen Advanced Fuel Cycle Initiative (AFCI) –ohjelman käynnistäminen. Yhdysvaltain aloitteesta perustettiin asiaa edistämään myös kansainvälinen yhteistyöelin, Generation IV International Forum (GIF).

Samanaikaisesti IAEA käynnisti Venäjän ehdotuksesta International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO) -tutkimusohjelman. Nykyisin tärkeimmät ydinenergiavaltiot ovat mukana kummassakin ohjelmassa.

GIF:n merkittävin saavutus tähän mennessä on ollut kuuden reaktorikonseptin valinta jatkotyön kohteeksi (GIF 2002). Sen jälkeen edistyminen on ollut varsin hidasta ja toistaiseksi on saatu käynnistettyä vain yksi tutkimusprojekti, jonka kohteena on natriumjähdytteisen nopean reaktorin (SFR) polttoaine. INPRO aloitti toisen vaiheen kesällä 2006 ja siinä on meneillään 14 tutkimusprojektiä.

GIF-yhteistyötä voi vaikeuttaa Ranskan ja Yhdysvaltain presidenttien erikseen vuoden 2006 alussa esittämä tavoite saada neljännen sukupolven demonstraatiolaitos käyttöön nopeutetusti, vuosina 2020 - 2025. Asetettu aikataulu tarkoittaa, että kyseeseen tulee vain natriumjähdytteinen nopea reaktori. Tällä hetkellä Japani, Ranska ja Yhdysvallat näyttävätkin tiivistävän SFR-yhteistyötään.

Kehittyneiden reaktorien ja polttoainekiertojen tutkimus- ja kehitystyöhön on viime vuosina entistä selkeämmin kytketty ydinaseiden leviämisen estäminen.

Siinä suhteessa ehkä tärkein ja eniten huomiota osakseen saanut aloite on presidentti Bushin vuoden 2006 alussa käynnistämä Global Nuclear Energy Partnership (GNEP). GNEP:n kansalliseen osuuteen kuuluu kolmen polttoainekiertoalaitoksen (nopean polttoreaktorin prototyypin, teollisen jälleenkäsittelylaitoksen ja t&k-laitok-

sen) rakentaminen seuraavan 15 vuoden aikana. Kymmenen Yhdysvaltain energiaministeriön alaisen kansallisen laboratorion tutkijat ovat laatineet varsin yksityiskohtaisen ohjelman (GNEP 2007), mutta kongressi ja monet asiantuntijat tuntevat epäilevän hanketta.

## Johtopäätökset

Tunnetut ja todennäköisesti löydettävät uraanivarat antavat mahdollisuuden lisätä kevytvesireaktoreihin ja avoimeen polttoainekiertoan perustuvaa tuotantokapasiteettia ainakin kolmin- tai jopa nelinkertaiseksi nykyiseen verrattuna. Todennäköisesti ainakin vuoteen 2050 saakka ydinenergian käytön lisääminen voi perustua pelkästään nykyisen kaltaisiin ratkaisuihin. Tosin Intia saattaa turvautua merkittävässä määrin toriumiin reaktoriensa polttoaineena jo aiemminkin.

Plutoniumin käyttö kevytvesireaktoreissa ei lisääntynyt merkittävästi ainakaan lähitulevaisuudessa. Suuri osa käytetystä polttoaineesta varastoidaan odottamaan ratkaisua tulevaisuuden polttoainekierrosta. Muutama maa aloittaa kuitenkin käytetyn polttoaineen geologisen loppusijoituksen ja ehkä joku maa osoittaa käytännössä, että korkea-aktiivista jälleenkäsittelyjätettäkin voidaan sijoittaa maaperään turvallisesti.

Nopeiden reaktorien ja suljetun ydinpolttoainekierron teknisen ja taloudellisen toteutettavuuden osoittamiseen on aikaa ehkä nelisen vuosikymmentä. Riittävän nopea edistyminen vaatii johtavilta ydinenergiailmailta paitsi merkittävää kansallista panostusta, myös laajaa kansainvälistä yhteistyötä.

Tutkimus- ja kehitystyö on keskitettävä vain muutamaan perusratkaisuun, mutta samalla on pidettävä huolta siitä, että tarjolla on korvaavia vaihtoehtoja.

*Erikoistutkija Markku Anttila  
VTT, energia ja metsäteollisuus,  
ydinenergia  
markku.anttila@vtt.fi*



Skribenten utför reaktorbrusmätningar på FiR 1 reaktorn ca. 1964 med analogi-räknemaskinen PACIT och anslutna instrument.

## Neutronsosimetriforskning vid VTT

*Neutronsosimetri syftar till att bestämma större neutronflöden och doser. VTT har bedrivit forskning på detta område främst för materialtestningsprogram för Lovisa kärnkraftverk. Nya metoder har utvecklats av dosimetrigruppen under tre decennier.*

**N**eutronsosimetri syftar till att bestämma större neutronflöden och doser i kärnreaktorer och neutronemitterande apparater. Speciellt snabba neutroner ( $> 0,5$  MeV) förskjuter atomerna i materialen och orsakar dislokationer. Stora doser förspredar därför konstruktionsmaterialen med stora ekonomiska och säkerhetstekniska konsekvenser för tryckkärlen i de mera kompakta tryckvattenreaktorerna.

Reaktor-, sedermera fysiklaboratoriets (i Otnäs) neutronsosimetriforskning och service var främst en del av materialtestningsprogram för kärnkraftverk. Vidare utforskades och mättes specifika aktiviteten hos använt bränsle, interna material och efter start av borneutronkapningsprojektet (BNCT) neutronsosimeterna vid terapeutiska bestrålningar av hjärn- och nacktumörer. Aktivitetsmätningar utnyttjades också för verifiering av datorprogram.

Uppskattningen av materialförsprödningen för kärnkraftverk innehåller flera faser:

1) Mekaniska hållfasthetstester och semiempiriska neutronsosbestämningar utföres för högaktiva stålprover från testkedjor för accelererad bestrålning av stålprover utanför reaktorhärden. Utgående från dessa bestäms därefter sambandet mellan neutronsosimeterna och materialförsprödningen.

2) Neutronsosimeterna för tryckkärlet bestäms. Tryckkärlets doser baseras normalt på beräkningar som tidigare kunde verifieras endast genom aktivitetsmätningar vid materialkedjorna utanför härden och osäkerheten i tryckkärlets neutronsosimeterna var i börjeskedet upp till tiotals procent. Dosimetrigruppen kunde avsevärt förbättra noggrannheten bl.a. genom förslag och direkt mätning av neutronsosimeterna hos prover tagna från tryckkärlet i Lovisa kärnkraftverk (kk).



3) Tryckkärlens försprödning uppskattas därefter utgående från den estimerade dos-försprödningssambandet och neutron-dosestimater för tryckkärlet.

## Dosimetri i Lovisa

Den sovjetiska leverantören för Lovisa kk hade installerat två materialkedjor i varje hexagonalt hörn utanför härden för accelererad bestrålning av stålprover. Installerade aktiveringsdetektorer, foliedosimetrar (Fe, Nb, Cu, Co) var avsedda för dosmätningar och kontroll av neutronspektrumformerna och termiska flödet (Co).

Neutrondosimetrin i kärnkraftverk baseras allmänt på neutroninducerad aktivitet i installerade aktiveringsdetektorer, t.ex. på reaktionen Fe-54(n,p)Mn-54. De kallas också tröskeldetektorer, då reaktionstvårsnittet har en kraftig stegring uppåt i MeV regionen, ca. 2,8 MeV för Fe-54 reaktionen.

De inducerade absoluta aktiviteterna uppmättes och utnyttjas tillsammans med nukleära och driftsdata för neutrondosbestämningar. Reaktioner med olika tröskelenergi ger också en möjlighet att kontrollera de beräknade neutronspektrumformerna, som också krävs vid neutrondosbestämningarna.

Provkedjor med dosimetrar kan installeras och tagas ut endast vid de årliga servicestopp. Detta och de nukleära egenskaperna begränsar de användbara dosimetermaterialen. När provkedjor togs ut installerade Imatran Voima Oy (IVO, numera Fortum) nya materialkedjor, som genom dosimetrigruppens försorg också försågs med några nya typer av dosimetrar.

Provbitarnas kapslar var fästa sinsemellan med länkar och kunde azimutalt rotera i en relativt stor radiell flödesgradient. I VTT bestämdes neutrondoserna därför för alla enskilda provers testsnitt jämte de azimutala och axiala flödesfördelningarna.

## Nya metoder och förbättrad noggrannhet

Neutrondosimetrin, inklusive planeringen av nya neutrondosimetrar för materialked-

or i Lovisa kk överfördes till underutvecklad 1978 vid start av Lovisa 1. Till det nya neutrondosimetriarbetet hörde att betjäna utomstående kunder, främst IVO. Tio-tals forskningsrapporter har levererats till inhemska och utländska beställare. Forsknings- och utvecklingsarbete startades också för att reducera de i början stora osäkerheterna i dosestimaterna och utveckla lämpliga mätmetoder.

Förutom neutrondosimetri sysslade reaktormättekniska sektionen också med mera allmän reaktormätteknik och andra projekt och omfattade för det mesta ett par forskare (sedan 1980 TL Tom Serén). Sektionen hade tidvis behörig hjälp av kunniga radiokemister, FK **Hari Karnani**, FK **Kari Uusheimo**, FD **Erkki Häsänen** och FM **Tommi Kekki**.

Till de nyttiga forskningsresultaten hörde:

- Förslag och tillämpning av den banbrytande metoden att taga fräsprover (Lo1 1980, Lo2 1986) direkt från tryckkärlens inre yta, vilket ledde till mycket förbättrad noggrannhet i dosestimaterna.

- Ett framgångsrikt forsknings- och utvecklingsarbete utfördes främst på den viktiga niobium dosimetrin baserad på reaktionen Nb-93(n,n')Nb-93m. Med en lång halveringstid (16,1 år), låg tröskelenergi (ca. 0,5 MeV) och ett reaktionstvårsnitt som liknar förskjutningstvårsnittet (dpa) för stål är reaktionen mycket lämplig.

Ur kärndatasynpunkt och pga. små mikroprogram prover är reaktionen den bästa. Men mättekniken var i början relativt outvecklad och visade sig vara krävande. Reaktorlaboratoriet utvecklade bl.a. den nya metoden att utnyttja Nb i tryckkärlens inre korrosionsskydd (ca. 1 % i VVER-440) och undersökning av Nb orenheter i olika tryckkärlsmaterial i ppm-skala.

Före mass- och aktivitetsmätningar måste stålproverna renas. Krävande kemiska reningsmetoder med kromatografi utvecklades och tillämpades. Olika mass- och två aktivitetsmätningmetoder, röntgen och vätskeskintillorteknik LSC, undersöktes och utvecklades. Resultaten ledde till

förbättrade dosestimater och noggrannare neutronspektra.

- På dosimetrigruppens initiativ bestrålades en dosimeterrigg utanför Lovisa 1 kk tryckkärlet 1985-86 och med unika resultat.

- Genom en standardisering av resultatet vid provkedjorna och tryckkärlen bl.a. till samma reaktioner och basdata kunde de stora systemastiska, korrelerade, felen i dosestimaterna också kraftigt reduceras.

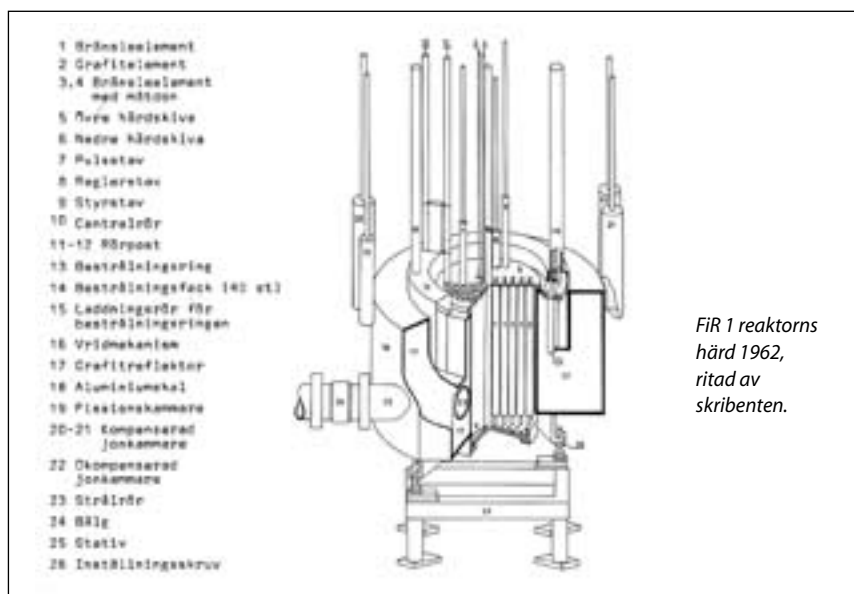
- En mera avancerad teori baserad på uppmätta och beräknade specifika aktiviteter började tillämpas i början på 1990-talet. Den utnyttjade bl.a. det i VTTs kärnkrafttekniska laboratorium av TL Frej Wasastjerna utvecklade PREVIEW datorprogrammet.

- Reaktorlaboratoriet utnyttjade främst materialkedjornas provkapslar, små prover tagna från provbitarna (Sharp, RCT, tensile test) och senare installerade speciella Fe-dosimeterplattor för absoluta detaljerade platsberoende dosbestämningar baserad på reaktionerna Fe-54(n,p)Mn-54 och Fe-58(n,g)Fe-59 för termiska flödet.

- De av IVO installerade nya provkedjorna försågs också med tilläggsdosimetrar (bl.a. Ni, Ti, U-238, Np-237, Th-232) för spektrumkontroll och forskningsarbete. De viktigaste dosimetermaterialen var nog Fe och Nb, delvis för att de ingick i konstruktionsmaterialen. Fissionsdosimetrarna med stort responsområde innehöll i början orenheter, kräver dessutom inkapsling och Cd-skydd mot termiska neutroner och blir obekvämt stora. Med tiden publicerades internationellt noggrannare nukleära data för olika dosimetermaterial.

- Mätmetoder, apparater och behöriga datorprogram utvecklades. I laboratoriet upprättades senare bl.a. avancerade mätutrustningar med kalibrerade gammaspaktrometrar baserade på högresolutions halvledardetektorer och i laboratoriet utvecklade automatiska provbytare.

Kretskort för flerkanalanalyser installerades i vanliga bordsdatorer. En superkänslig induktivt kopplad plasma masspektrometer (ICP-MS) anskaffades till la-



FiR 1 reaktorns  
hård 1962,  
ritad av  
skribenten.

laboratoriet och kunde utnyttjas för massbestämningar av Nb. Röntgenteknik med låg effektivitet och senare vätskeskintillatorteknik (LSC) med 100 procents effektivitet användes för Nb-93m aktivetsmätningar. Anskaffandet av den första bordsdatorn till gruppen 1984 gjorde arbetet mera effektivt.

- På Imatran Voimas initiativ togs 1986 också fräsprover och senare små provbitar från tryckkärlens yttre sida.

- Dosestimater bestämdes också för andra interna reaktormaterial utgående från mätning av olika specifika aktiviteter.

- 250 kW FiR 1 användes för forsknings syften och reaktorns neutronflöden i olika positioner mättes med aktiveringsdetektorer bl.a. för BNCT-projektet.

- Tiotals vetenskapliga dosimetriforskningsrapporter har publicerats bl.a. vid ett antal bi- eller triannuala ASTM-EURATOM neutrondosimetrikonferenser. Tiotals konfidentiella dosimetrirapporter har levererats till inhemska och utländska beställare.

VVER-reaktorernas dosimetri behandlades vid ett flertal årliga möten i Dresden och Prag i Working Group for Reactor Dosimetry (WGRD-WWER). Ett antal utländska gästforskare besökte och arbetade i laboratoriet. Dosimetrigruppen deltog i några internationella och bilaterala arbetsgrupper och projekt.

## Förbättrade neutrondosestimater

På basen av forskningsresultaten och bättre nukleära data kunde noggrannheten i neutrondosestimaterna mycket förbättras. De tidigare beräknade neutronspektrumformerna i Lovisa kk kunde också justeras.

1992-93 genomfördes en omfattande revidering av alla tidigare neutrondosestimater för Lovisa kk vilket troligen ledde de noggrannaste och mest avancerade neutrondosestimaterna för provkedjor och tryckkärlsmaterial i då existerande tryckvattenreaktorer. En förbättrad noggrannhet bidrar till att förlänga den uppskattade livslängden för ett reaktortryckkärl.

Förutom dosestimater (>0,5 MeV och >1 MeV) levererades också atomförskjutningsestimater, dpa (displacement per atom) för provkedjornas stålprover och för tryckkärl utgående från absoluta neutronspektra anpassade att sammanfalla med tröskelflödet (>2,8 MeV) för Fe-54(n,p)Mn-54 reaktionen och ett internationellt uppskattat dpa-tvärnsnitt för stål.

Antalet förskjutningar per atom, dpa, som är ett alternativt mått på neutrondosens kan uppgå till flera procent. Cirka 20 procent, motsvarande en dos större än  $10^{20}$  n/cm<sup>2</sup> är uppenbart en kritisk dos av snabba neutroner (>1 MeV) på berörda ståltyper.

Imatran Voima (IVO) startade också ett program för 1-, 2- och 3-steps bestrålningar av stålprover i Lovisa kk med mellanliggande värmebehandlingar. Då provkapslarna inte öppnades under värmebehandlingen mellan bestrålningarna krävde detta nya och mera svårhanterliga neutrondosimetrimetoder.

Värmebehandlingen var avsedd att minska de neutroninducerade spänningarna och dislokationerna och återföra materialet till nära ursprungligt tillstånd och därmed förlänga tryckkärlens brukstid. Lo1 tryckkärl värmebehandlades 1996.

## Internationellt samarbete

I början på 1990-talet involverades dosimetrigruppen i ett stort ryskt-franskt (EdF) samarbetsprojekt för multipelbestrålning av stålprover med mellanliggande värmebehandlingar.

1995 startades deltagande i ett internationellt projekt för utvärderingen av KORPUS materialbestrålningsanläggningen vid sidan av 6 MW RBT-6 reaktorn i Dimitrograd, Ryssland. Projektet gagnar också dosestimeringar och materialstudier för Lovisa kk. Ett antal ideer och projektförslag kunde eller hann ej förverkligas pga. bristande finansiering, resursbrist och under teknads pensionering 1995.

Efter pensioneringen 1995 deltog min långvariga arbetskollega TL **Tom Serén** och FM **Tommi Kekki** i ett av EU finansierat samarbetsprojekt (RETROSPEC) med Holland (NRG) och Belgien (SCK-CEN) för testning och verifiering av tidigare Nb-dosimetrimetoder, som utvecklats i VTT. Målsättningen var att upprätta en "Code of Practice", ett slags standard för neutrondosimetri baserad på Nb i olika reaktorstrukturer. TL Tom Serén och TL **Iiro Auterinen** har under de senaste åren utfört neutrondosmätningar på BNCT-anläggningar i ett flertal länder.

TD Bruno Bärs  
Pensionerad specialforskare  
Reaktor-, fysiklaboratoriet, VTT

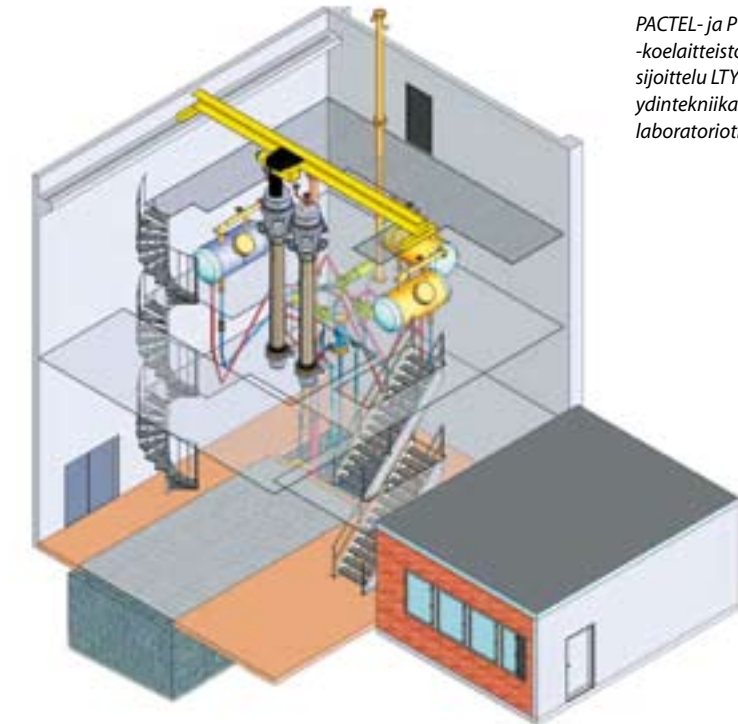
# PWR PACTEL -koelaitteistoprojekti: uusin ”lappenrantalaismissio”

Lappenrannan teknillinen yliopisto (LTY) on Suomessa tällä hetkellä ainoa taho, jossa tehdään ydinreaktoreiden kokeellista lämpö- ja virtausmekanista tutkimusta. LTY:ssä on kokeellista tutkimusta tehty jo yli 30 vuoden ajan käyttäen laaja-alaisesti koelaitteistojen rakentamista ja käyttöä. Rakennettujen koelaitteistojen kirjo on laaja yksinkertaisia erillisilmioitä mallintavista koelaitteistoista aina suureen integroituun, kokonaista ydinvoimalaitoksen primääripiiriä kuvaavaan koelaitteistoon.

Lappenrantaan rakennetut koelaitteistot perustuvat tapauskohtaisesti sekä kotimaassa rakenteilla oleviin ja jo toimiviin laitystyyppisiin ja systeemiin että muualla toimiviin tai suunnitteluasteella oleviin laitysratkaisuihin ja niiden ominaispiirteisiin. Tutkimuskokemusta on kertynyt esimerkiksi jäädytteen luonnonkiertotilanteista, oletetuista putkirikoista aiheutuvista tapahtumaketjuista, boorihapon käyttäytymisestä, lämpötilakerrostumisesta lauhdutuslaitteissa, CCFL-ilmiöstä, hätäjäähdystilanteista, onnettomuustilanteiden hallinnasta ja lauhduttomien kaasujen vaikutuksesta lämmönsiirtoon höyrystimissä. Tähän päivään mennessä LTY:ssä on tehty ydintekniikkaan liittyviä kokeita kaiken kaikkiaan noin 900.

## PACTEL ja PWR PACTEL – ”siamilaiset kaksoiset”

Suurin LTY:ssä rakennettu koelaitteisto on 1990 valmistunut PACTEL, Parallel Channel Test Loop. Se rakennettiin simuloimaan venäläisen VVER-440 tyyppin voimalaitosta, referenssilaitoksena ”kotoinen” Loviisan voimalaitos. PACTEL mallintaa Loviisan reaktorin primääripiiriä järjestelmineen tilavuusmittakaavassa 1:305 ja korkeussuunnassa 1:1 ollen maailman suurin VVER-440 -koelaitteisto. PACTEL-koelaitteistoa on hyö-



PACTEL- ja PWR PACTEL -koelaitteistojen sijoittelu LTY:n ydintekniikan laboratoriotilassa.

dynnetty monissa muissakin yhteyksissä. Koelaitteistoa voi kohtuullisesti muokata maltillisilla kustannuksilla kulloisenkin tutkimustilanteen vaatimalle tasolle ja käyttää tarpeen mukaan osaa tai koko koelaitteistoa. Osin tähän joustavuuteen perustuu myös avautunut tilaisuus uusimman PWR PACTEL -koelaitteiston suunnitteluun, rakentamiseen ja käyttöön.

PWR PACTEL -koelaitteisto on suunniteltu käytettäväksi länsimaisten painevesilaitosten (PWR) turvallisuustutkimuksissa. Koelaitteiston rakenteen perustana on alkuperäinen PACTEL-koelaitteisto: PWR PACTEL -koelaitteistossa sydänosa, paineistin ja hätäjäähdytysjärjestelmät ovat PACTEL-koelaitteiston kanssa yhteiset. Sen sijaan molempien koelaitteistojen kiertopiirit sekä höyrystimet ovat kummankin laitysteistolle omansa. ”Siamilaiskaksikon” yhteiselo on suunniteltu toimivan siten, että vain kulloinkin tarpeellinen osa koelait-

teistosta otetaan käyttöön toiminnalliseksi osaksi. Näin ollen myös alkuperäisen PACTEL-koelaitteiston kiertopiirit ja vaakahöyrystimet jätetään laboratoriossa paikoilleen käyttövalmiiksi mahdollisia tulevia käyttötarpeita silmällä pitäen. LTY:n koearsenaliin saadaan näin tärkeä uudenlainen ulottuvuus toista sovellusta kuitenkin samalla menettämättä.

## PWR PACTEL EPR-tyyppisen painevesireaktorin malliksi

PWR PACTEL -koelaitteisto on siis muokattu versio PACTEL-koelaitteistosta. PWR PACTEL -koelaitteiston merkittävä erityispiirre on kokonaan uusi kiertopiiri- ja höyrystinrakenne. Koelaitteistokokonaisuus koostuu paineastiasta, paineistimesta, kahdesta primäärikiertopiiristä pystyhöyrystimiseen sekä hätäjäähdytysjärjestelmistä. Koelaitteiston reaktorisydäntä simuloivan osan maksimiteho on 1 MW. Paineiden



maksimiarvot primääri- ja sekundääripuolella ovat 80 bar ja 50 bar vastaavien lämpötilojen ollessa 300 °C ja 260 °C.

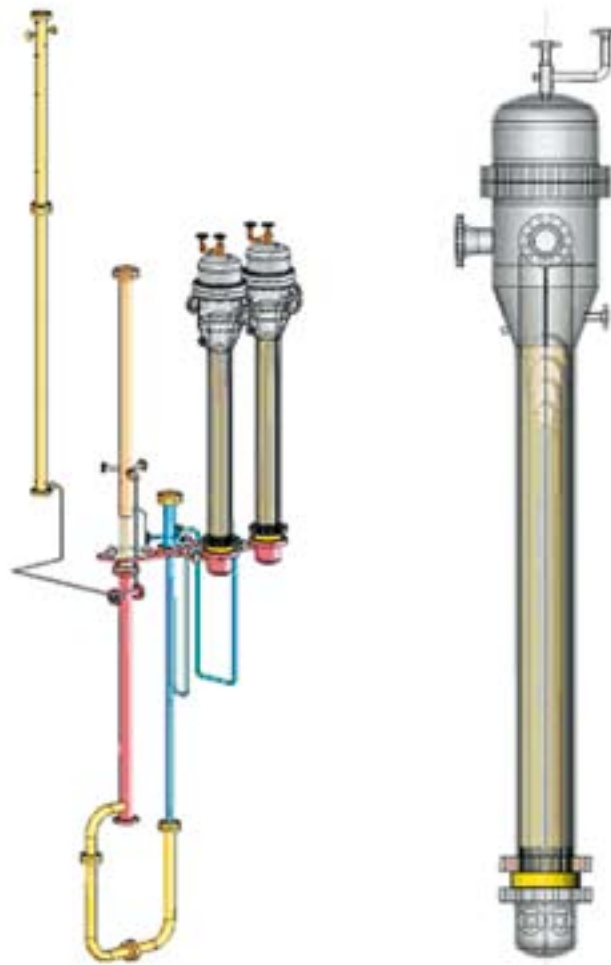
Koelaitteiston suunnittelun lähtökohta on länsimaisen painevesilaitoksen ja erityisesti pystyhöyrystimen käyttäytymisen tutkimus. Suunnittelussa onkin panostettu juuri pystyhöyrystimen ja primäärikiertopiirin tarkempaan simulointiin. Koelaitteistoon rakennettaviin kokonaan uusiin kiertopiireihin liitetään uudet pystyhöyrystimet. Kiertopiirit simuloivat kumpikin yhtä täyden mittakaavan kiertopiiriä. PWR PACTEL -koelaitteiston kiertopiirikapasiteetti skaalautuu mm. vastaamaan puolta EPR-tyyppisen reaktorin kiertopiirikapasiteetista.

Koelaitteiston höyrystinkonstruktiossa U-putkityyppinen lämmönsiirtoverkko rakennetaan kolmiohilaan ja U-putkien kokonaismäärä kummassakin höyrystimessä on 51 kappaletta. Höyrystintilavuus skaalautuu täyden mittakaavan vastaavaan suhteessa 1:400. Höyrystimen sekundääripuolelta löytyvät erillinen alasmenotilaosio, syöttövesijärjestelmä sekä yläosan höyrytilavuus ja höyrylinja säätöjärjestelmineen. Molempien kiertopiirien kylmiin haaroihin rakennetaan vesilukot.

Kiertopiirien sekä pystyhöyrystimien lämpötila- ja paine-eromittauspisteitä asennetaan lähes 250 mahdollista jäähdytteen käyttäytymisen tarkan analysoinnin. Näiden lisäksi PWR PACTEL -koelaitteistossa mitataan myös alkuperäisen PACTEL-koelaitteiston mittaajajärjestelmän mukaisia jäähdytteen ja pintojen lämpötiloja, paineita ja paine-eroja useissa muissa aktiivisissa laitteistokokonaisuuden osissa. Koetilanteessa laitteistoa tarkkaillaan ja ohjataan prosessinohjaussysteemillä ja kokeiden mittaustiedot tallentuvat tiedostoihin tiedonkeruulaitteistojen ja ohjelmistojen avulla.

## Miksi PWR PACTEL?

Yksi tärkeä syy PWR PACTEL -projektin syntymiselle on kansallinen tarve lisätä tuntevista länsimaisten painevesireaktorien ja erityisesti pystyhöyrystimien käyttäytymisestä. Lisäksi kokeellinen tutkimus tukee



*PWR PACTEL -koelaitteisto ja siihen asennettava pystyhöyrystin.*

asiantuntijoiden koulutustarpeita samaan aikaan kun uusi EPR-tyyppinen painevesilaitos valmistuu Olkiluotoon. Näin koulutuksellinen näkökohta on merkittävässä asemassa projektin "moottorina". Projekti palvelee myös yleisesti kokeellisen toiminnan jatkumisen ja "tieto-taidon" säilymisen sekä koelaitteistojen ylläpidon ja modernisoinnin turvaamisessa.

Tulevista kokeista saatavasta koetulosten sarjasta saadaan runsaasti analysointimateriaalia. Projektin aikana kertyvä koetulostietokanta tukee erilaisten ohjelmistojen kelpoistustyötä ja kehittämistä. Tällaisia ohjelmistoja käytetään mm. laitosmittakaavassa oletettujen häiriö- ja onnettomuustilanteiden tutkimuksessa.

## Missä mennään tällä hetkellä

PWR PACTEL -koelaitteiston yksityiskohdainen suunnitteluvaihe on loppusuoralla ja laitteiston rakentaminen on aloitettu. Koelaitteisto valmistuu vuoden 2008 alku- puoliskolla. Laitteiston valmistuttua järjes-

telmien testauksen ja esikokeiden jälkeen laitteistolla suoritetaan ns. karakterisoivia kokeita esimerkiksi laitteistokonstruktio paine- ja lämpöhäviöiden määrittämiseksi. Koelaitteiston "sisäänajokoesarjan" jälkeen siirrytään varsinaiseen koeohjelmaan, mikä tulee sisältämään kokeita, joissa tutkitaan mm. jälkilämpötehotilanteen tapahtumia sekä mahdollisia EPR-tyyppisen laitoksen onnettomuudenhallintamenetelmiä. Tulevia kokeita ja niiden analysointia varten koelaitteistokonstruktioista on kehitetty ja kehitetään simulointimalleja termohydrauliikkaohjelmistoilla.

Tällä hetkellä PWR PACTEL -projekti etenee kansallisella tasolla lähinnä TEKES-rahoitteen projektin kautta. Tarkoituksena on hakea projektille lisäpotkua myös kansainvälisten kanavien kautta

*DI Virpi Kouhia  
tutkija  
Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
virpi.kouhia@lut.fi*

# Ydinalan kansallinen koulutus arvioitu – parannettu painos YK5 käynnissä

*Ydinturvallisuusalan tietämyksen säilyttämiseksi on kaksi haastetta: käynnissä oleva sukupolven vaihdos sekä ydinvoiman lisärakentaminen. Näihin haasteisiin vastattiin käynnistämällä ydinalan kansallinen koulutus eli YK-kurssi vuonna 2003. Neljännen toteutuksen jälkeen toiminta arvioitiin ja tänä syksynä käynnistyneellä YK5-kurssilla on pyritty ottamaan tämän arvioinnin suositukset huomioon.*

**Y**dinturvallisuusalan kansallisen koulutuksen tarve havaittiin vuonna 2002. STUK:n **Jukka Laaksonen** ja **Ilari Aro** kutsuivat kokoon alan kaikki toimijat 18.10.2002 ja tuossa kokouksessa päätettiin järjestää ammatillista koulutusta yhteisvoimin, koska koulutustarve koski koko alaa. Mukaan lähtivät aakkosjärjestyksessä Fortum, KTM, LTY, Posiva, STUK, TKK, TVO ja VTT.

Ensimmäinen YK-kurssi käynnistettiin syksyllä 2003 ja se oli kuuden luentoviikon mittainen. Myöhemmillä kursseilla ohjelma tiivistettiin 5 viikkoon.

YK1-kurssin ohjelma vastasi varsin tarkkaan IAEA:n ydinturvallisuuskurssia, jonka koulutusmateriaalia käytettiin pohjana mutta jota alusta alkaen muokattiin vahvasti suomalaisiin olosuhteisiin sopivaksi.

## Jo 200 henkeä kurssitettu

YK-kurssit on järjestetty siten, että kurssiviikot ovat yksitellen noin kuukauden välein loka-maaliskuun aikana. Kurssien järjestämisestä on päätetty yksi kerrallaan, mutta koska kysyntä on jatkunut tasaisena, kursseja on pidetty vuosittain. Jokaisella tähän asti järjestetyllä kurssilla on ollut vähän yli 50 osallistujaa, joten kaikkiaan YK-kurssin käyneitä on tässä vaiheessa reilut 200 henkeä.

Kurssien järjestely on tehty osuuskunta-periaatteella eli jokainen osallistujia lähettävä organisaatio huolehtii oman osuutensa luennoista. Osallistumismaksuja ei ole kerätty, mutta jonkin verran on tarvittu työmäärän tasoittavaa rahaliikennettä. Kurssin hallinnointia on hoitanut Lappeenrannan teknillinen yliopisto, jonka ydintek-

niikan professori **Riitta Kyrki-Rajamäki** on kurssin "rehtori".

Neljännen YK-kurssin aikana heräsi tarve arvioida kurssien hyödyllisyys: miten ne ovat vastanneet alan eri organisaatioiden tarvetta ja kurssitettujen odotuksia?

Samalla kaivattiin suosituksia koulutuksen kehittämiseksi. Kolmihenken arviointiryhmän puheenjohtajana toimi **Antti Vuorinen**, STUK:n emeritus-pääjohtaja, ja sen jäsenet olivat **Ami Rastas**, TVO:n emeritus-varatoimitusjohtaja, sekä **Satu Katajala**, Fortumin Loviisan voimalaitoksen turvallisuusyksikön päällikkö. Sihteerinä toimi kehityspäällikkö **Kaisa Koskinen** STUK:n ydinvoimalaitosten valvontaosastolta.

## Arviointiryhmä löysi parannettavaa

Arviointiryhmä kävi läpi YK1-YK4-kurssien sisällöt ja aikataulut, suunnitteluryhmän kokousmuistiot sekä muun vastaavan materiaalin. Kurssien aikana kerätyt opiskelijapalautteet olivat myös käytettävissä. Lisäksi arviointiryhmä keräsi palautetta omilla kyselykaavakkeillaan henkilöiltä, jotka edustivat osallistuvien organisaatioiden päättäjiä, luennoitsijoita ja kursseille osallistuneita.

Selvitystyön perusteella arviointiryhmä antoi joitakin suosituksia kurssien jatkokehittämiseksi. Kurssin järjestäminen työviikon mittaisissa jaksoissa on osoittautunut ongelmalliseksi kurssilaisille, joten suositukseksi oli jakaa kurssi viikkoa lyhempiin jaksoihin. Tämä onnistuu ainakin osittain päällekkäisyyksien karsimisella.

Luentomateriaali, joka on jaettu kurssilaisille, on koostunut luentokalvoista ja kirjallisista luentomonisteista, joista jälkim-



mäiset ovat päivityksen tarpeessa. Tähän on osasyynä se, että luentomonisteet ovat englanninkielisiä. Arviointiryhmä suositti suomen kielen sallimista, koska se helpottaa päivitystyötä ainakin joidenkin luentojen osalta.

Opettajien asiantuntemusta on pidetty hyvänä, mutta opetustaidoissa on ollut joidenkin osalta toivomisen varaa. Luennoitsijoiden pedagogisten taitojen kehittäminen on yksi potentiaalinen kehityskohde, samoin opetustilanteiden vuorovaikutteisuuden lisääminen.

Toisaalta arviointiryhmä näki myös tarvetta luennoitsijoiden määrän vähentämiselle. Tämä nähtiin keinona vähentää luentojen päällekkäisyyksiä, mutta samalla voitaisiin valikoida pedagogisesti parhaat luennoitsijat kursseille.

## Sivistystyö jatkuu paremmalla fokuksella

Arvioinnin yleistuomiona oli kuitenkin, että kurssit ovat hyvin täyttäneet alunperin

asetetut tavoitteet. Tämän kurssin tapaiselle koulutukselle näyttää olevan jatkossakin tarvetta ja kaikki kyselyyn vastanneet osapuolet toivoivat sen jatkamista.

Omakustannusperiaatetta suositeltiin käytettäväksi jatkossakin, jolloin tehokkuus on parhaimmillaan ja budjetti pysyy mahdollisimman pienenä.

Arvioinnin suosituksia on jo otettu huomioon 23.10.2007 alkaneen YK5-kurssin järjestelyissä.

Esimerkiksi luennot on jaettu kuudelle viikolle, joiden pituus on 2-4 työpäivää ja luentojen päällekkäisyyksiä on pyritty karsimaan.

Ydinturvallisuustiedon säilyttämistyö jatkuu siis hyväksi havaitulla konseptilla, jota on entistä paremmin fokusoitu vastaamaan tarpeita.

Vaikka alunperin ajatuksissa ollut viennituetta ei kurssista saatanakaan, niin kotimaassa ydinala on korkea-aktiivista, mikä pitää kysynnän korkealla.

*"YK-kursseilla osallistujilla on tilaisuus tutustua muiden organisaatioiden kurssilaisiin ja kokeneisiin asiantuntijoihin.  
Kuva kurssin luennolta  
Säteilyturvakeskuksen auditoriosta.*

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



# EKSKURSIO



## Osallistujat

- Kari Forsberg,  
Loviisan voimalaitos
- Tommi Henttonen, FNS
- Tiina Hämäläinen, TVO
- Harriet Kallio, Fortum P&H
- Pauli Kopiloff, STUK
- Harry Lamroth, FNS
- Reijo Pesonen,  
Loviisan voimalaitos
- Tuomas Puustinen, FNS
- Petri Seppälä, FNS
- Mikko Tausa, TVO
- Kristiina Turtiainen, TVO
- Pekka Vilo, TVO

## ATS Balkanin niemimaalla Romaniassa ja Bulgariassa

*12 seuran jäsentä tutustuivat ydintekniikkaan Balkanin niemimaalla syyskuun lopussa järjestetyllä ekskursionilla. Romaniassa ryhmä sai katsastaa läheltä CANDU-reaktoreiden polttoaineen valmistumista Nuclear Electron polttoainetehtaalla. Bulgarian ydintekniikan osaaminen tuli tutuksi ydintekniikan tutkimuskeskuksen (INRNE) ja Kozloduyn voimalaitoksen vierailuilla.*



**E**nergian ja sähkönkulutuksen kasvaessa Romaniassa 1980-luvulla kommunismin aikakauden viimeinen hallitsija Nicolae Ceausescu paatti, että maahan oli saatava ydinvoimalaitos. Reaktorityypin valinnassa Ceausescu päätyi kanadalaiseen CANDU-reaktoriin pysyäkseen riippumattomana silloisesta Neuvostoliitosta.

Romania pyrki heti mahdollisimman omavaraiseksi ydinvoiman osalta. Nykyisiin niin uraanintuotanto ja polttoaineen valmistus kuin CANDU-reaktoreissa tarvittavan raskaan veden tuotanto hoidetaan kotimaassa omin voimin.

Ekskursion ajankohtana Cernavodassa vietettiin kiireistä aikaa. Ykkösyksikön revisio ja kakkösyksikön käyttöönotto pitivät koko voimalaitoksen henkilökunnan päivät työntäyteisinä ja tekivät vierailun voimalai-

tokselle mahdottomaksi. Tämän vuoksi tekninen vierailu suuntautui Nuclear Elektion polttoainetehtaalle Pitestiin. Polttoainetehtaalla valmistetaan kaikki Cernavodassa käytettävä polttoaine.

## Historiaa, taruja ja kulttuuria

Kävellessä Bukarestissa kommunistijohtajan Ceausescun kädenjäljen huomaa edelleen näkyvän katukuvassa.

Vaikuttavin kokonaisuus on Pariisin Champs-Elysees'ta pidempi puistokatu, joka päättyy valtavan suureen ja mahtavaan nykyisin parlamenttirakennuksena toimivaan Kansan taloon (Casa Poporului). Osia kaupungista ja erityisesti vanhan kaupungin alue olivat mm. EU:n rahoituksella tehtävän peruskorjauksen alla. Näiden loistoa pääsee ihastelemaan vasta tulevaisuudessa.

Irlantilaisen Bram Stokerin kirjoista tunnetun Draculan kotilinna sijaitsee Transylvanian eteläosassa. Linna on avoinna vierailijoille ja ryhmämme paasikin tutustumaan pieniin, erilaisia legendaarisia tarinoita omaaviin huoneisiin, pimeisiin ja kapeisiin porraskäytäviin sekä kauniiseen sisäpihaan. Itse linnan isäntä kylläkin pyssytteli visusti piilossa kaukaisilta matkailailta.

Vuoden alusta EU:n jäseneksi liittyneen Romanian viinituotanto ei ole maailmalla vielä kovinkaan tunnettua.

Isäntämme johdolla pääsimme vierailemaan paikallisella viinitilalla, jossa valkko- ja punaviinien lisäksi valmistetaan myös kuohuviinejä. Ehkä EU:n myötä romanialaiset viinit löytävät tiensä myös suomalais-ten laseihin.

## EU sulki Kozloduyn VVER-440:t

Suomen ohella myös Bulgariassa uuden ydinvoimalaitoksen lisensointi on ajankohtainen aihe Belenen voimalaitoksen ollessa suunnitteluvaiheessa.

Maan toisella ydinvoimalaitospaikkakunnalla Kozloduysissa eletään pettymyk-

sen aikoja, kun EU-jäsenyyden myötä poliittisella päätöksellä neljä alueen kuudesta reaktorissa on pysäytetty. Alueella elätellään vielä toivoa 3 ja 4 yksiköiden uudelleen käynnistämisestä.

Sofiassa sijaitsee ydintekniikan tutkimuskeskus Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy. Instituutin koereaktoria ollaan parhaillaan modernisoimassa. Modernisointiprojektin jälkeen tavoitteena on aloittaa Otaniemessäkin tehtävät BNC-hoidot (boron neutron capture therapy, BNCT).

Instituutin kanssa samoissa tiloissa toimii Bulgarian atomitekniillinen seura. Ryhmämme pääsi tapaamaan isäntämaan seuran ja viranomaisen edustajia pienimuotoisessa seminaaritilaisuudessa.

## Bulgarian vuoristossa

Sofian eteläpuolella olevalla vuoristoisella alueella sijaitsee lukuisia luostareita. 12 matkalaista vieraili Rila-vuorilla 1147 metrin korkeudessa sijaitsevassa Rilan luostarissa. Vuoristoon syntyneitä polkuja pitkin voi patikoida luostarilta toiselle ja ihastella upeita maisemia ja kaunista luontoa. Luostarit tarjoavat paikan hiljentymiseen ja alkeellista majoitusta.

Opettavaisella ja onnistuneella ekskursiolla pääsimme tutustumaan uusien jäsenmaidemme ydintekniikkaan, kulttuuriin, ympäristöön ja ihmisiin.

Antoisan ja mielenkiintoisen matkan järjestelyiden erinomaisesta toteuttamisesta haluan lämpimästi kiittää Romanian Nuclear Elektion **Andrei Goiceaa**, Bulgarian YG-puheenjohtajaa **Biser Petrovia** sekä Kaleva Travelin **Seppo Hartikaista**.

DI Kristiina Turtiainen  
Käyttölupainsinööri  
OL3-projekti  
Teollisuuden Voima Oy  
kristiina.turtiainen@tvo.fi



# FCN PITESTI

## – CANDU-reaktorien polttoaineen valmistusta Romaniassa

*Ekskursion ensimmäisenä vierailukohteena oli SA NUCLEARELECTRICA SN:n FCN Pitestin polttoainetehtas. Tehdas tuottaa kaiken Cernavodan CANDU-reaktorien tarvitseman polttoaineen, ja se on kokenut vuosien mittaan monia uudistuksia. Viimeisimpänä haasteena on ollut tuotannon kaksinkertaistaminen Cernavoda 2 laitossyksikön käynnistyessä.*

**E**kskursion toisen päivän ohjelmassa oli tutustuminen CANDU-reaktorien polttoainetuotantoon Pitestin polttoainetehtaalla. FCN Pitestin polttoainetehtas sijaitsee parin tunnin automatkan päässä Bukarestista luoteeseen. Matkamme suuntautui siis kohti vuoristoa. Pitestin alueella on muutakin Romanialle tärkeää teollisuutta, Dacian autotehdas sijaitsee lähellä polttoainetehdasta.

Vierailumme polttoainetehtaalla alkoi ystävällisen vastaanoton jälkeen CANDU 6 polttoaineen yksityiskohtaisella esittelyllä. Samalla isäntämme kertoi meille polttoainetehtaan toiminnasta ja kehitymisestä vuosien saatossa. Tämän jälkeen oli ohjelmassa tutustuminen itse polttoainetehtaaseen ja pääsimme näkemään, kuinka CANDU 6 polttoainepiput todellisuudessa kootaan. Ihmeteltävää ja kysymyksiä riitti, poikkeaaahan polttoaine melkoisesti meille tutuista kevytvesireaktorien polttoainepiipusta.

### Luonnonuraania polttoainepiipussa

FCN Pitestin polttoainetehtas on aloittanut CANDU polttoaineen valmistuksen vuonna 1980. 1990-luvun alkupuolella tehdas on lisensoitu CANDU 6 -polttoaineen tuotantoon, joka on alkanut vuonna 1994. Polttoainetehtaaseen on tehty laajat investoinnit 2000-luvun alussa tuotannon kasvattamiseksi, ja tänä päivänä tehdas tuottaa noin 10 000 CANDU 6 -polttoainepiippua vuodessa. Tämä määrä riittää kat-

tamaan Cernavoda 1- ja juuri käynnistyneen Cernavoda 2- ydinvoimalaitossyöksiköiden tarpeet. Työntekijöitä tehtaalla on noin 400.

Polttoaineena CANDU-reaktoreissa käytetään luonnonuraania. Tämä uraani polttoainepiippuihin tuotetaan Romaniassa, kaikki muu tarvittava materiaali, kuten putket ja päätykappaleet, tuodaan muun muassa Kanadasta ja Ranskasta.

CANDU 6 -polttoainepiipussa on 37 polttoainesauvaa, jotka on koottu ympyrähiilaan. Yhdessä polttoainepiipussa on viittä erityyppistä polttoainesauvaa, joilla kaikilla on määrätty sijaintinsa polttoainepiipussa. Jokaisella sauvalla on oma koodinsa, ja näin ne voidaan identifioida tarkasti. Sauvat kootaan polttoainepiipuksi päätykappaleiden ja erityisten välitukien avulla. Valmis polttoainepiippu on hieman vajaa puoli metriä pitkä.



Kuva 1. CANDU polttoaine-elementti

Polttoainepellettien määrä sauvassa voi hieman vaihdella. Päätypellettien koko voi poiketa sauvan keskiosan pellettien koosta, ja tästä johtuen yhdessä sauvassa on joko 37 tai 38 polttoainetablettia. Valmis polttoainepiippu painaa hieman yli kaksikymmentä kiloa, josta noin 90 % koostuu varsinaisen polttoaineen eli uraanin painosta.

Candu-reaktorin polttoaine-elementin rakenne voidaan nähdä kuvassa 1. Polttoaine-elementti muodostuu polttoainesauvoista (1), polttoainesauvojen välisistä tukipaloista (2), polttoainesauvojen päädyistä (3) ja polttoainesauvat toisiinsa liittävästä päätylevyistä (4). Rakenne on siis melko yksinkertainen ja osia suhteellisen vähän. Kaikkien osien materiaali on polttoainetabletteja lukuun ottamatta zirkoniumseos (Zircaloy-4).

### Polttoaine-elementin valmistuksen vaiheet

Laitoskierroksen aikana pääsimme tutustumaan polttoainepiipun valmistusvaiheisiin hyvinkin yksityiskohtaisesti. Polttoainesauvassa olevat tukipalat (kuvassa numero 2) leikataan irti zirkoniumnauhasta. Tukipalat esikiinnitetään polttoainesauvaan (kuvassa numero 1) vastushitsaamalla.

Polttoainesauvat asetellaan lasiseen sylinterimäiseen astiaan rei'itettyjen kuparivöiden läpi siten, että esikiinnitetetyt tukipalat ovat kuparivöiden kohdalla. Astia vakuumoidaan ja kuparivöyt kuumennetaan hehkuviksi induktiokuumentamalla, jolloin

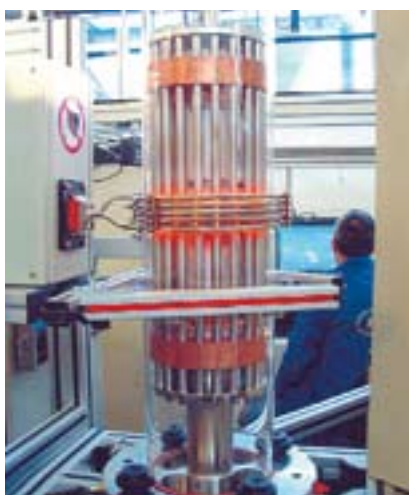


ATS-ekskursioryhmä polttoainetehtaan portilla.

tapahtuu tukipalojen lopullinen kiinnittyminen polttoainesauvan pintaan. Tukipalojen lopullista kiinnittämistä polttoainesauvaan vakuumissa lasisylinterissä esitetään kuvassa 2.

Polttoainesauvan sisäpinta pinnoitetaan grafiittipinnoitteella, jolla on kaksi tärkeää tehtävää. Ensiksikin tämä grafiittipinnoite toimii moderaattorina (hidastimena) käytettäessä polttoainennippua reaktorissa ja sen lisäksi se mahdollistaa valmistusvaiheessa polttoainepellettien helpomman pakkaamisen polttoainesauvan sisälle. Grafiittipinnoitukseen liittyy sauvan lämpökäsittely.

Ennen sauvan päätyjen (kuvassa numero 3) liittämistä sauvaan hitsaamalla tulee polttoainesauvan päästä poistaa oksidikerros, jotta voidaan varmistua sauvan ja sauvan päätyjen hyvästä liittymisestä. Polttoainesauva täytetään polttoainepelleteillä, ja päädyt liitetään sauvaan hitsaamalla. Sauvoista kasataan polttoaine-elementti liittämällä sauvat toisiinsa polttoaine-



Kuva 2. Polttoainesauvojen tukipalojen lopullinen kiinnittäminen polttoainesauvan pintaan.

mentin päässä olevan päätylevyn (kuvassa numero 4) avulla.

Sauvojen tukipalojen sijainti toisiinsa nähden tarkastetaan suurentavan optisen laitteen avulla. Lisäksi tietyin väliajoin

tehdään rikkovaa aineenkoetusta paloittelemalla valmis polttoainesauva hitsausliitosten laadun seuraamiseksi ja varmistamiseksi. Valmiit polttoainenniput pakataan puihin kuljetuslaatikoihin toimitettavaksi Cernavodan ydinvoimalaitokselle. Polttoainenniput pakataan 12 nipun kerroksiksi ja yhdessä kuljetuslaatikossa on kolme kerrosta.

## Tulevaisuuden haasteita

Ennen matkamme jatkumista saimme tilaisuuden kiittää isäntiämme vierailusta ja ennen kaikkea kierroksesta polttoainetehtaalla. FCN Pitestin polttoainetehdas vaikuttaa siistiltä ja sen prosessit hyvin organisoiduilta ja valvotuilta.

Tehdas tulee tulevaisuudessa koettamaan uusia haasteita suunniteltujen Cernavodan lisäyksikköjen myötä. Näiden käynnistyessä olisi edessä koko tehtaan tuotannon kaksinkertaistaminen, joka tuo mukanaan uusia haasteita.

DI Tiina Hämäläinen  
Reaktorifysikko  
Teollisuuden Voima Oy  
Polttoaineen käytönsuunnittelu  
tiina.hamalainen@tvo.fi



DI Mikko Tausa  
Prosessi-insinööri  
Teollisuuden Voima Oy  
Konetekniikan toimisto  
mikko.tausa@tvo.fi

Insinööri Pekka Vilo  
Vuoropäällikkö  
Teollisuuden Voima Oy,  
OL1 käynnissäpito  
pekka.vilo@tvo.fi



# Ydintutkimuskeskus INRE

*Matkan toisena kohteena saavuimme Bulgarian Sofiassa sijaitsevaan tiedeakatemian ydintutkimuskeskukseen (INRE, Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy). Kahden matkapäivän jälkeen takana oli Bukarestin kaupunkikierrros, Pitestin polttoainetehdas sekä vierailut viinitilalla ja Draculan linnassa, unohtamatta illallisia juustoalkupaloineen, veret seisauttavine lihapäaruokineen ja loistavine viineineen.*

INRE:n vierailun ohjelmassa oli kiertokäynti Bulgarian ainoalla tutkimusreaktorilla sekä tapaaminen ja keskustelut ajankohtaisista aiheista.

## Tutkimusreaktorin matka rakentamisesta nykypäivään

Tutkimusreaktorin, tyypiltään IRT-2000, rakentaminen alkoi vuonna 1956. Reaktorin tekniikka on venäläistä käsialaa ja teholtaan se on nimensä mukaisesti 2000 kW. Reaktori toimii termisillä neutroneilla, moderaattorina ja jäähdytteenä käytetään tislattua vettä. Sydän sijaitsee syvällä vesialtaan pohjalla ja se koostuu 48 alumiinisesta polttoainesauvasta, joissa kussakin on 15-16 polttoainetablettia. Reaktori käynnistettiin ensimmäisen kerran syyskuun 18. päivänä vuonna 1961, ja virallisia avajaisia juhlittiin marraskuun 9. päivänä samana vuonna. Rakentamisen aikana tiedemiehet ja insinöörit koulutettiin reaktorin käyttöön Kurchatov-instituutissa Moskovassa.

Reaktorin teho oli alun perin 500 kW. Tehoa korotettiin seuraavasti: vuonna 1961 1000 kW:in, vuonna 1965 1500 kW:in ja viimein vuonna 1970 2000 kW:in, joka on reaktorin alkuperäinen suunnitteluteho.

Tsernobylin tuhoisan onnettomuuden jälkeen turvallisuusvaatimuksia kiristettiin ympäri maailmaa ja heinäkuun 13. päivänä vuonna 1989 Bulgarian viranomainen määräsi reaktorin suljettavaksi.

Tutkimusreaktorilla on ollut tärkeä rooli kokemuksen lisäämisessä ja tietotaidon laajentamisessa Bulgarian ydinvoimaosajille siirryttäessä tutkimusreaktorin käytöstä varsinaiseen energiantuotantoon Kozloduyn ydinvoimalaitoksella. Kozloduyn laitoksen reaktorisydämien, sekä VVER-440 että VVER-1000, neutronifysiikka on kehitetty pitkälti tutkimusreaktorin avulla.

Vuosien 1986 ja 1988 välisenä aikana tehoa oli tarkoitus nostaa asteittain 5 MW:in. Hanke kuitenkin kaatui jatkuvaan raha-



pulaan, osaavan henkilökunnan puutteen ja Tsernobylin onnettomuuteen.

## Modernisointihanke – nyky-aikaiseksi tutkimusreaktoriksi

Vuonna 1999 ydintutkimuskeskus (INRNE) ehdotti ohjelmaa, jossa oli useita vaihtoehtoja alkuperäisen IRT-2000 tutkimusreaktorin käytölle tulevaisuudessa. Seurauksena aloitettiin vuonna 2001 modernisointihanke, jonka tarkoituksena on muuttaa reaktori matalatehoiseksi (200 kW) tutkimusreaktoriksi.

Vierailuumme mennessä oli uusittu mm. laboratoriotilat, ja uudet henkilömonitointi odottivat asentamista. Uusitusta laboratorion löytyi mm. kaksi gammaspektroskopia, aerosolianalysaattori ja pitkä liuta muita laitteita. Modernisoinnin on tarkoitus valmistua vuonna 2009.

Uusi reaktori käyttää polttoaineenaan rikastusteeltaan alle 20 % U-235:tä. Vanhan reaktorin Tsekkoslovakiassa valmistetun polttoaineen rikastusaste oli jopa 36 %. Reaktoriin on tarkoitus rakentaa mm. seuraavat tutkimuskanavat eri käyttötarkoituksia varten:

- kaksi pystysuoraa kanavaa polttoaineen keskelle tuottamaan nopeita neutroneita ( $3 \cdot 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>s)
- kaksi pystysuoraa kanavaa beryllium-elementteihin tuottamaan termisiä neutroneita ( $8 \cdot 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>s).
- seitsemän vaakasuoraa kanavaa alumiinisen paineastian ulkopuolelle: nopea neutronivuo  $6 \cdot 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>s, terminen vuo  $5 \cdot 10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>s.
- kuusi pystysuoraa kanavaa alumiinisen paineastian ulkopuolelle: nopea neutronivuo  $2 \cdot 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>s, terminen vuo  $7 \cdot 10^{10}$  n/cm<sup>2</sup>s.
- yksi BNCT - hoitokanava (Boron Neutron Capture Therapy), jonka epiterminen neutronivuo on  $9 \cdot 10^9$  n/cm<sup>2</sup>s.

Radiokemian laboratoriossa, joka sijaitsee lähes suoraan reaktorisydämen alapuolella, on neljä kauko-ohjattavalla manipulaattorilla varustettua kuumakammio-

ta, jotka on yhdistetty toisiinsa siirtokäytävällä. Tämä mahdollistaa korkea-aktiivisten näytteiden käsittelyn.

## Tutkimussovellukset

Tutkimusreaktorin keskeisimmät tutkimusalueet ovat: neutroniaktiivointianalyysit, isotooppien tuotanto, piitransmutaatiot (transistoreissa ja tyristoreissa käytettävien puhtaiden piikiteiden muokkaaminen neutronivuolla), neutroniradiografia, säteilylähteiden valmistus, metrologia ja boorineutronisädehoito (BNCT). Muita tutkimusalueita ovat mm:

- reaktorifysiikan analyysit
- reaktoripaineastian materiaalien säteilyhaurastumistutkimukset
- polttoaineanalyysit
- digitaalisen laitteiston kehittäminen, jolla hallitaan neutronivuota ja sydämen alikriittisyyttä latausjakson aikana.

Tarkemmin mainittakoon materiaalitutkimukset, joka on aihealueena lähimpänä matkalla mukana olleiden työtä. Säteilüttämällä metallikappaleita saadaan aikaan erilaisia virheitä hilarakenteeseen. Tutkimustietoa reaktoripaineastian teräksen haurastumisesta voidaan hyödyntää mm. paineastian elinikäselämissä. Sopivalla intensiteetillä lähetetyt neutronit tunkeutuvat syvälle materiaaliin ja antavat tietoa pinnanlaadun lisäksi myös materiaalin sisäisistä virheistä. Esimerkiksi Kozloduyn ydinvoimalaitosten reaktoripainesäiliöiden elinikäennusteet on tehty INRNE:ssä tehtyjen tutkimusten perusteella.

## Koulutusta ja kansainvälistä yhteistyötä

Tutkimusreaktori on näytellyt merkittävää osaa Kozloduyn ydinvoimalaitoksen henkilökunnan koulutuksessa sekä tieteellisessä perustutkimuksessa. Laitoksen kahden

ensimmäisen yksikön käyttöhenkilökunta koulutettiin lähes kokonaan tutkimusreaktorin avulla vuosien 1970 - 1973 aikana.

Tutkimuslaitoksen johtavat asiantuntijat luennoivat Sofian teknillisellä yliopistolla. Lisäksi henkilökunta toimii läheisessä yhteistyössä eri maiden vastaavien organisaatioiden kanssa, esimerkkinä VTT:n BNCT-tutkimus. Modernisointihanke on IAEA:n ja EU PHARE -ohjelman tuema. Läheisintä yhteistyötä tutkimuslaitos tekee venäjän kanssa, joka toimittaa tutkimusreaktorin ydinpolttoaineen ja huolehtii käytetyn polttoaineen käsittelystä. Polttoaineen vaihdon matalarikasteisempaan vaihtoehtoon rahoittaa USA:n energiaministeriö.

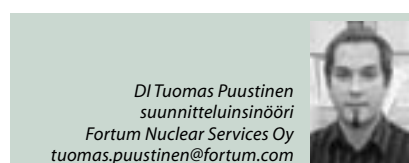
## Keskustelua ja luentoja ajankohtaisista aiheista

Tutustumiskierroksen jälkeen siirryimme kahvitarjoiluun ja ajankohtaisten kysymysten pariin tutkimuskeskuksen kokoustilaan. ATS:n pj. **Harriet Kallio** luennoi yleisesti ydinenergian tilanteesta Suomessa ja erityisesti OL3-projektista. ATS:n vpj. **Harry Lamroth** piti oman esityksensä ydinvoimalan suomalaisesta koulutusikästä sekä uuden laitoksen lisensiointiprosessista Suomessa.

Lisäksi kuulimme paikallisen viranomaisen edustajan mielenkiintoisen esityksen koskien lisensiointikäytäntöä Bulgariassa sekä yleisesti INRNE:n toiminnasta ja tutkimuskohteista.

Luentojen jälkeen isännille luovutettiin perinteiseen tapaan ATS:n viiri, joka tuntuu olevan aina yhtä mieleinen lahja.

*Taas oli yksi ekskursionpäivä takana ja seuraavana päivänä edessä vierailu Kozloduyn ydinvoimalaitokselle.*





# Kozloduy – tuttua tekniikkaa vieraassa paikassa

*ATS:n ekskursionmatkan viimeisenä virallisena vierailukohteena oli Pohjois-Bulgariassa sijaitseva Kozloduyn ydinvoimalaitos. Voimalaitos sijaitsee Tonavan rannalla lähellä Romanian rajaa työllistäen 5000 - 6000 henkilöä.*

**H**otellilla meitä noutamassa oli voimalaitoksen ajoneuvo kuljettajineen. Vaikka matka kilometreisissä ei ollut kuin 150 km, niin aikaa kului kolmisen tuntia ottaen huomioon Bulgarian tiestön vaillinainen kunto. Toisaalta jossain vaiheessa matkan aikana tuntui siltä, että kuljettajamme pyrki omalla "räväkällä" ajollaan ottamaan aikaa kiinni.

Koska tämän artikkelin kirjoittajille turvallisuuskokemus ja -koulutus on suoje-

puolelta, palosuojelusta, työsuojelusta ja vartiinnista, niin vääjäämättä vierailukohteessa mielenkiinto kohdistuu näihin seikkoihin. Tämän johdosta tämän artikkelin näkökohdat painottuvat juuri näihin suojeleuseikkoihin.

Saapuessamme voimalaitoksen portille, joka sijaitsi n. kilometrin päässä voimalaitoksesta, ryhmämme jäsenet virittivät kameroitaan kuvauskuntoon. Ulkona selvisi, että kuvaus onkin kielletty. Pitkien neuvot-



Aina iloinen ryhmämme  
Kozlodyun voimalaitoksen portilla.

telujen jälkeen saimme luvan ottaa ryhmäkuvan voimalaitoksen kyltin läheisyydessä. Kuvausluvan antoi itse voimalaitospäällikkö.

## Osa yksiköistä suljettu

Vierailukeskukselle saapuessamme, meitä oli vastassa pääisäntämme Ruscho Yankov (Chief Expert), joka kertoi meille hieman voimalaitoksen syntyhistoriaa. Vuonna 1969 Bulgariassa tehtiin päätös Kozlodyun voimalaitoksen rakentamisesta. Syynä tähän oli muun muassa sähkön puute.

Voimalaitoksen yksiköt 1-4 (VVER 440) otettiin käyttöön vuosina 1974, 1975, 1980 ja 1982. Yksiköt 5 ja 6 (VVER 1000) käynnistyivät vuosina 1987 ja 1992. Tällä hetkellä yksiköt 1-4 eivät ole toiminnassa. Ykkös- ja kakkosyksikkö ajettiin alas vuonna 2002 ja kolmos- ja nelosyksikkö 2006 vuoden lopulla. Sen sijaan yksiköt 5 ja 6 olivat täydellä teholla.

Yankovin mukaan syyt pysäyttämiseen olivat poliittiset, vaikka insinöörien mukaan yksiköillä olisi ollut käyttöikä vielä kymmenisen vuotta. Yankov ei halunnut enempää kommentoida poliittista päätöstä. Kozlodyun väellä on selvästi halu käynnistää alas ajettuja yksiköitä uudelleen.

Yankovin mukaan, että yksiköt 3 ja 4 ovat pitkälti samankaltaisia kuin Loviisan voimalaitosyksiköt. Merkittävimpänä erona on Kozlodyun yksiköiltä puuttuva kaasutii- vis suojarakennus.

## Tutustuminen voimalaitoksen järjestelyihin

Yankovin mielenkiintoisen luennon jälkeen ryhmämme jaettiin kahtia. Kumpikin ryhmä sai seurakseen oppaan ja kaksi muuta herrasmiestä (Security?). Kohteemme olivat yksiköiden 2, 3 ja 5 päävalvomot, yksiköiden 1 ja 2 yhteinen reaktorihalli (lasin takaa) sekä yksikön 5 turpiinisali.

Matka vierailukeskukselta laitosalueelle taittui voimalaitoksen ajoneuvoin. Laitosalueen portilla ns. sulkualueella ajoneuvomme tarkastettiin ylimalkaisesti, minkäänlaista henkilöön kohdistuvaa tarkastusta ei tehty. Jos tässä vaiheessa olisi tullut mieleen lähteä ajamaan väkivalloin sisään, niin matka olisi päättynyt metrin päässä olevaan järeään ajoesteeseen.

## Päävalvomossa

Meidän ryhmämme ensimmäinen tutustumiskohde laitosalueella oli kakkosyksikön päävalvomo. Siellä eräs isännistämme kertoi yksiköiden toiminnasta, mm. miehityksestä ja ylipäätään valvomon ja voimalaitoksen tekniikasta. Oma havaintomme oli, että valvomon miehitys poikkesi hieman Loviisan vastaavasta.

Ymmärryksemme mukaan reaktorin rakenne oli lähes Loviisan vastaavien kaltainen. Valvomo tutustumisen jälkeen siirryimme muutaman porraskelman pääs-

sä olevalle reaktorihallin katseluparvekkeelle! Ohuen ikkunan läpi taivastellesamme reaktoritekniikan ihmeellisyyksiä havaitsimme todellakin, ettei reaktorirakennuksessa ollut minkäänlaista terässuo- jakuorta.

Tämän jälkeen siirryimme neljän eri yksikön yhteisen turpiinihallin kautta kolmosyksikön päävalvomoon. Matkalla silmämme eivät tavoittaneet minkäänlaista sammutusjärjestelmää ja kaikki turpiinit ja syöttövesisäiliöt olivat samassa palo-osas- tossa toisin kuin Loviisassa.

Kolmosyksikön valvomossa havaitsimme, että valvomon ylipaineistaminen, esim. onnettomuustilanteessa, on erittäin haas- tavaa. Havaintomme perustuu siihen, että valvomon ulkoseinä koostui tavallisista avattavista ikkunoista, joista yksi oli vierai- luhetkellä auki. Avoimen ikkuna ääressä oli mukava vilvoitella kierroksen lomassa.

## Vihdoinkin käyvä laitos

Nyt oli aika siirtyä ajoneuvoon ja suunnata keula kohti VVER 1000:sta eli viitosy- sikköä. Kävelimme turpiinisalin kautta yksikön päävalvomoon. Yksikön ainoaan tur- piiniin tutustuessamme silmiimme osui sammutusjärjestelmä! Tämä sammutusjär- jestelmä suojasi salin kattorakenteita. Tur- piiniin öljyjärjestelmissä emme havainneet minkäänlaisia sammutusjärjestelmiä. Pää- valvomo vaikutti olosuhteisiin nähden mo- dernilta.

Laitosvierailun, kiitossanojen ja standar- din luovutuksen jälkeen siirryimme Koz- lodyun keskustaan hotelliin isännän tar- joamalle lounaalle. Isännän toimiessa op- paana ajoimme vielä lounaan jälkeen tu- tustumaan Tonavan rannalla sijaitseval- le muistomerkillä, jonka jälkeen lähdimme matkustamaan kohti Sofiaa.

Reijo Pesonen  
Fortum, Loviisan voimalaitos  
Turvallisuussuunnittelija  
Suojeluyksikkö  
reijo.pesonen@fortum.com

BBA, Security Management  
Kari Forsberg  
Fortum, Loviisan voimalaitos  
Työturvallisuusinsinööri  
Turvallisuusyksikkö  
kari.forsberg@fortum.com

# Belene – kun poliittinen riski toteutuu



Belenen laitospaikka Bulgarian pohjoisosassa. Kuva yhdistetty lähteistä Google Maps ja Wikitravel.

*Bulgariassa rakennettiin kovalla tahdilla 1980-luvun lopussa uutta laitospaikkaa VVER1000-painevesireaktoreille. Rakentaminen keskeytyi vuonna 1990 Neuvostoliiton romahduksen yhteydessä. Tämä on ekskursioraportti uudelleen käynnistetyistä Belenen laitosprojektista, jota ekskursioryhmä ei käynyt paikan päällä katsomassa.*



**K**uten 1970-luvun Suomessa, myös Bulgarian maaperällä keskusteltiin samoihin aikoihin kiivaasti ydinvoiman rakentamisesta. Bulgarian ydinvoimateollisuus polkaistiin käyntiin Kozloduyin laitoshankkeilla – seuraavaa laitospaikkaa haettiin kuitenkin jo Kozloduyin ensimmäisiä yksiköitä rakennettaessa.

Laitospaikkakunnaksi oli tarjolla aluksi 25 ehdokasta, joista kolme paikkaa otettiin tarkempaan tutkintaan. Näistä kolmesta Belene karsiutui jatkoon suotuisten olosuhteiden ansiosta; Belene oli seismisesti verrattain vakaalla maaperällä ja jäähdytysvettä oli tarjolla runsaasti viereisestä vuolaasta Tonavan virrasta. Belene sijaitsee Tonavan alavirrassa Kozloduyin voimalaitokselta katsottuna.

Bulgarian ja Romanian välinen raja kulkee suurimmalta osin pitkin Tonavan jokiuomaa. Kuitenkin Belenen kohdalla Tonavan keskellä on joen suurin saari, Persinin saari, joka kuuluu kokonaisuudessaan Bulgarianille. Saari mahdollistaa Belenen laitospaikkaköiden sijoittamisen aivan joen varrelle, tarjoten riittävän 7,5 kilometrin etäisyyden naapurimaahan Romaniaan.

## Suuret suunnitelmat

Belenen laitospaikka hyväksyttiin Bulgarian toiseksi laitospaikkakunnaksi vuonna 1981. Samana vuonna aloitettiin alustavat laitospaikan valmistelutyöt, laitoksen tukitoimintojen rakentaminen sekä tarkempi tekninen suunnittelu.

Laitoskonseptiksi valittiin Neuvostoliiton VVER-1000/N320 -standardikonsepti, eli sähkötehoaltaan tuhannen megawatin painevesilaitos. Laitospaikalle suunniteltiin alun perin neljää ydinvoimalaitosyksikköä, kuitenkin varauduttiin jopa kuuden yksikön rakentamiseen.

Neuvostoliiton Atomenegroproekt Kiev ja Bulgarian Energoproekt Sofia saivat laitospaikkaköiden perussuunnittelun riittävän pitkälle vuonna 1987 tehden mahdolliseksi kahden laitospaikkaköiden rakennustöiden aloittamisen. Rakennustyöt olivat kiivaimmillaan vuosina 1988–1990. Projektin kaik-

ki rakennustyöt keskeytettiin vuonna 1990 taloudellisten vaikeuksien takia.

Ensimmäisen laitospaikkaköiden rakennustöistä saatiin vuoteen 1990 mennessä valmiiksi 40 prosenttia ja arviolta 80 prosenttia kaikista komponenteista ja laitteista toimitettiin laitospaikalle. Laitospaikalle ehdittiin tuoda pääkomponenteista ainakin reaktori, höyrystyn (ainakin 1 kappale), turbiini ja päämuuntajia.

## Turvallisuus länsimaisella tasolla

IAEA lähetti kaksi eri asiantuntijaryhmää arvioimaan Belenen projektin etenemistä vuonna 1990, vain hieman ennen tietoa rakennustöiden keskeyttämisestä. Ensimmäinen ryhmä suoritti "esi-OSART" (Operational Safety Review Team) tarkastuksen keskittyen rakennustöiden sujuvuuteen.

Rakennustöiden osalta projektitoiminta ja -johtaminen todettiin toimivaksi kokonaisuudeksi. Merkittävimmät suositukset koskivat tarvetta laadunvarmistusjärjestelmälle. Jälkimmäinen IAEA:n tarkastus koski laitospaikkaköiden turvallisuusratkaisuja.

Asiantuntijat kävivät läpi reaktorisuunnittelun yksityiskohdat, turvallisuusjärjestelmien suunnitteluperusteet ja turvallisuusanalyysit. Lopputuloksena asiantuntijat totesivat laitospaikkaköiden olevan turvallisuusominaisuuksiltaan silloisten länsimaisten painevesilaitosten tasolla.

## Uusi startti 2000-luvulla

Vuonna 2000 Belenen rakennusprojekti heräsi uudelleen henkiin asiantuntijoiden aloittaessa uudet selvitykset laitospaikkaköiden lisensoitavuudesta. Laitospaikalle tehtiin vuosien 2003 ja 2004 aikana ympäristövaikutusten arviointi (YVA) länsimaiseen tapaan, joka liitettiin osaksi rakennuslupa-hakemusta.

Bulgarian hallitus vahvisti rakennusprojektiin käynnistymisen vuonna 2004. Uudelleen käynnistetty laitospaikkaköiden rakennusprojekti sai myönteisen periaatepäätöksen Bulgarian ministerineuvostolta huhtikuussa 2004. Periaatepäätös koski yhteensä 2000 MW:n säh-



Belenen ensimmäisen yksikön rakennustyömaa. Kuvan lähde: [www.belene-npp.com](http://www.belene-npp.com)

kötuotannon rakentamista Beleneen, eli käytännössä kahta 1000 MW:n laitospaikkaköä.

Bulgarian ympäristöministeriö hyväksyi ympäristövaikutusten arvioinnin joulukuussa 2004. YVA:n hyväksyminen aiheutti suuren vastarinnan ydinvoima- ja ympäristöaktivistien joukossa, ja vastustajien vetoamukset alkoivat hidastaa julkista käsittelyä.

## Tilanne kärjistyy

Tappouhkaukset sävyttivät ydinvoimalahankkeen etenemistä, kun pitkän linjan Belenen ydinvoimalahankkeen vastustaja Albena Simeonova vastaanotti tappouhkauksia joulukuussa 2004. Hän sai henkilökohtaiset henkivartijat pari kuukautta myöhemmin epäonnistuneen murhayrityksen jälkeen. YVA:sta tehdyt valitukset ja vetoamukset ovat edelleen oikeuskäsittelyssä aiheuttaen pieniä harmaita pilviä Belenen laitospaikkaköiden rakentamiseksi.

Viranomaiset hyväksyivät Belenen uuden laitospaikkaköiden sijoituspaikaksi virallises- ti joulukuussa 2006. Sitä edelsi viranomaisen tekemä 16 kuukautta kestänyt tiukka hakemusdokumentaation tarkastus- ja arviointiprosessi.

Luvanhaltijana projektissa toimii Bulgarian valtion omistama sähköyhtiö NEK, Natsionalna Elektricheska Kompania. Yhtiö omistaa ja hallinnoi Bulgarian sähkönsiirron 14 480 kilometrin mittaista kantaverkkoa, jonka lisäksi sillä on 31 omaa vesivoimalaa yhteiskapasiteetiltaan 2563 MW. Yhtiöllä on noin 6 500 työntekijää.





Suojarakennuksen seinäraudoituselementti miltei 20 vuoden takaa.  
Kuvan lähde: [www.belene-npp.com](http://www.belene-npp.com)

## Atomstroyeksport ja Areva toimittajina

NEK käynnisti tarjouskilpailun kahden VVER1000-laitosyksikön suunnittelusta, toimittamisesta ja käyttöönotosta vuonna 2005. Tarjouspyyntö tehtiin "avaimet käteen" tyyppisenä hyödyntäen EUR-asiakirjan (European Utility Requirements) rakennetta ja sisältöä.

Esikarsinnan jälkeen jäljellä tarjouskilvassa mukana olivat Venäjän Atomstroyexport ja Skodan johtama konsortio. Kahden laitosyksikön toimittajaksi valittiin venäläinen Atomstroyexport heidän VVER1000 AES92 -konseptillaan. Valittuun konseptiin kuuluu Arevan toimittama automaatio-suunnittelu.

Valintaan vaikutti venäläisten lupaama 60 vuoden käyttöikä verrattuna Skodan tarjoamaan 40 vuoden käyttöikään. Lisäksi venäläisten tarjous oli noin miljardi euroa halvempi.

Venäläisten kanssa tehtyyn kauppaan kuuluu osaltaan 80-luvulla laitospaikalle toimitettujen laitteiden mahdollinen uusiokäyttö ja uuteen laitokseen sopimattomien komponenttien palautus tai myynti Venäjälle. Kaksi laitosyksikköä sisältävän hankkeen kokonaiskustannusarvio on tässä vaiheessa noin 4 miljardia euroa (2000 euroa/kWe).

## Yhteistyökumppanit haussa

NEK on etsinyt strategisia yhteistyökumppaneita projektilleen tämän vuoden aikana. Lopullinen omistus pohja tulee ole-

maan vähintään 51 prosenttisesti valtion energiayhtiön NEK:in hallussa, ja 49 prosentin loppuosaan haetaan parhaillaan kumppania.

Viisi eurooppalaista energijättiä on jättänyt tarjouksensa laitosprojektiin osallistumisesta, yhtiöt ovat saksalaiset E.ON ja RWE, tšekkiläinen CEZ, Italian Enel ja Belgian Electrabel.

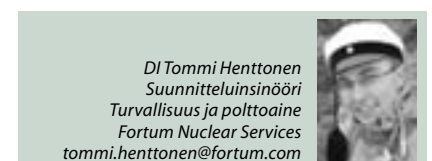
NEK otti viralliset kumppanuustarjoukset vastaan lokakuun puolellisessa. NEK aikoo ilmoittaa valittavan strategisen yhteistyökumppanin jatkoneuvottelujen jälkeen tämän vuoden loppuun mennessä. Belenen laitosprojektista odotetaan ensimmäistä laitosyksikköä EU:n sisällä kahteenkymmeneen vuoteen, joka hakisi Euroopan komission Euratom-lainaa.

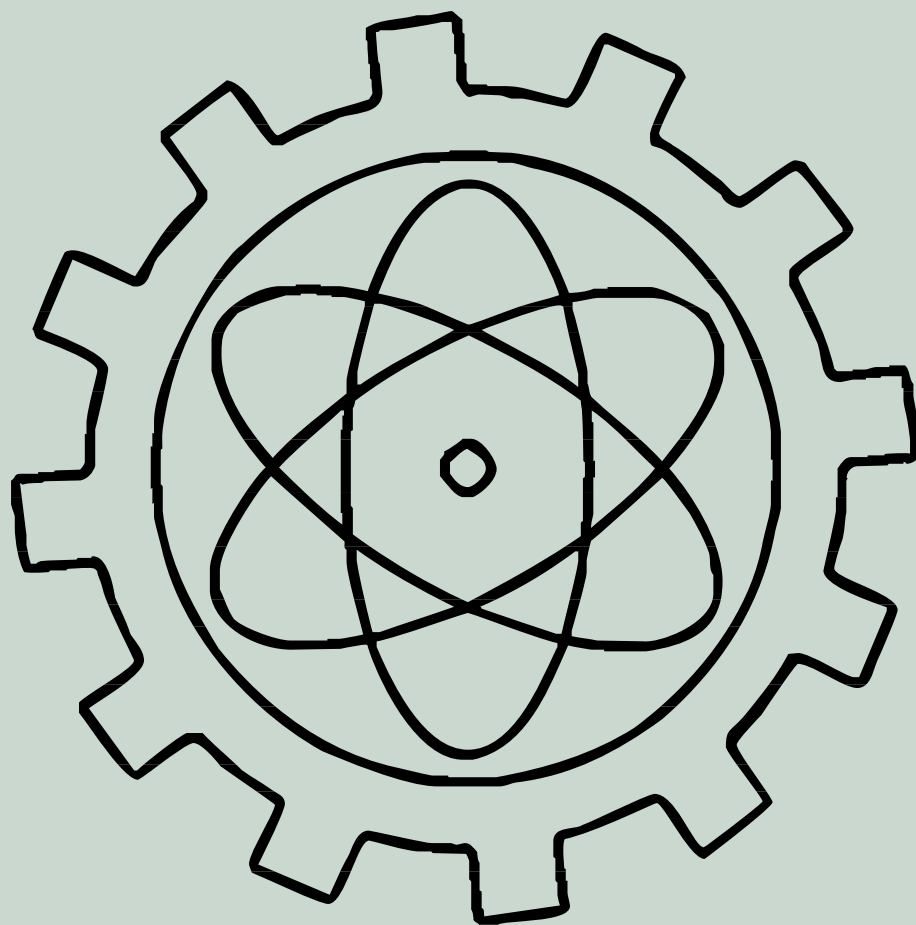
## Hanke suosittu Bulgariassa

Toukokuussa 2007 laitosprojekti sai viranomaisilta luvan aloittaa yksityiskohtaisemman suunnittelun. Rakennustöihin on tarkoitus päästä ensi vuoden puolella. Laitosprojekti nauttii Bulgarian kansan suurta suosiota - Bulgarian säteilyturvakeskuksen NRA:n mukaan 80 % kansasta hyväksyy uuden ydinvoimalaitoskompleksin rakentamisen Beleneen.

NEK:in tiedotteiden mukaan ensimmäisen laitosyksikön rakennustyöt aloitetaan ensi vuonna, ja töiden arvioidaan valmistuvan vuonna 2014. Toinen yksikkö valmistui si vuoden myöhemmin, eli vuonna 2015.

Lisätietoja: <http://www.belene-npp.com/>





*Suomen Atomiteknillinen  
yhdistys ATS ry toivottaa  
ATS Ydintekniikka -lehden lukijoille  
HYVÄÄ UUTTA VUOTTA 2008*

*Liity jäseneksi  
Tervetuloa joukkoon!*

*Objekt sivulla 35*

Juha Poikolainen

## ATS Syysseminaari 2007

**S**uomen Atomiteknillisen Seuran syysseminaari järjestettiin 26. marraskuuta perinteiseen tapaan Vanhalla Polilla Helsingissä, joka on nykyisin viralliselta nimeltään Palace Hotelli Linna. Paikalle oli ilmoittautunut allekirjoittaneen iloksi lähes 150 henkeä. Paikka alkoi käydä hieman pieneksi tuolle väkijoukolle ja varsinkin tarjoilun saaminen sujuvaksi salissa alkoi tuottaa ongelmia. Tilaisuudessa oli mukana kivasti alalle tulleita nuoria ihmisiä ja tietysti vanhan kaartin edustajia kaikista alalla toimijoista. Monelle vanhemmalle tilaisuus on jo perinteeksi muodostunut paikka tavata vanhoja tuttuja.

Seminaari suuntautui aiheiltaan hieman luotaamaan ydinenergian tulevaisuuden vaihtoehtoisia polttoaineita ja nykyisten polttoaineiden käytön mahdollista tehostamista. Lisäksi käsiteltiin ydinmateriaalivalvonnan haasteita, sekä kuultiin lyhyt tietoisuus alalle tulleesta uudesta toimijasta ja heidän näkemyksistään tulevaisuudesta.



Seuran puheenjohtaja Harriet Kallio avasi syysseminaarin.

### Toriumko tulevaisuuden polttoaine?

Lähempään tarkasteluun otettiin erityisesti torium, jota maapallon kuoressa näyttää olevan huomattavasti suurempia määriä kuin esimerkiksi uraania. Toriumin määrät ovat samaa luokkaa kuin vaikkapa lyijyesiintymät.

Vaihtoehtoisia käyttötapoja toriumin osalta valotti esitelmässään Kungliga Tekniska Högskolanin apulaisprofessori **Janne Wallenius**, joka piti seikkaperäisen luennon aineen hyvistä ja huonoista puolista ydinvoimatuotannossa. Suurimmiksi plussiksi nousivat esiin toriumin riittävyys, uraania korkeampi sulamispiste ja parempi lämmönjohtavuus sekä lyhyempi myrkyllisyysaika ja mahdollisuus hyötämiseen termisen spektrin alueella.

Huonompina asioina toriumkierrossa ovat vanhojen laitosten sopimattomuus toriumpolttoaineen jälleenkäsittelyyn, koska toriumoksidi on liukenematon. Toriumin hyödyntämiseen olennaisesti liittyvällä uraani 233:lla on myös pitkä puoliintumisaika, joka kasvattaa varastointiaikaa. Kevytvesireaktorien geometriassa toriumpolttoaineella on lisäksi positiivinen aukko-osuuskerroin, joka hankaloittaa käyttöä huomattavasti.

Lisäksi asekelpoista uraania voidaan valmistaa termisellä spektrillä torium 232:sta. Toriumia tullaan tulevaisuudessa luultavasti käyttämään sellaisissa maissa, joilla on suuret toriumesiintymät sekä maissa jotka ovat muuten valmiit hyväksyttämään suuremmat polttoainekustannukset.

### Tulevaisuuden ydinpolttoainekierrot

Toisena esitelmänä kuultiin VTT:n erikoistutkija **Markku Anttilan** esitelmä tulevaisuuden ydinpolttoainekierroista. Markun esityksessä käytiin kattavasti läpi eri mahdollisuudet uraanin tehokkaaseen hyödyntämiseen.

Nopein tapa kasvattaa ydinpolttoaineen hyödynnettävyyttä on jatkaa reaktorifysiikan ja virtaustekniikan optimointia sekä polttoaineen poistopalaman kasvattamista.

Muista esitellyistä mahdollisuuksista muutama vaihtoehto mahdollisesti tulee kehittämään taloudellisesti hyödynnettävälle tasolle ajan kuluessa. Vaihtoehtoja korkea-aktiivisen ydinjätteen vä-





hentämiseen ovat erilaiset jälleenkäsittely- ja transmutaatiotekniikat.

Lisäksi Markku käsitteli ydinpolttoainekiertojen proliferaation vastustuskykyä ja fyysistä suojelua ja esitteli ydinpolttoainekiertojen tutkimusta ja kehitystä sekä antoi katsauksen nopeiden reaktoreiden tilanteeseen nykyhetkellä.

## Safeguards

Ydinmateriaalin valvonnan nykyhetkeä ja tulevaisuutta sekä hieman historiaa valotti **Tero Varjoranta** Säteilytyrvakeskuksesta.

Safeguardsia ajatellessa kannattaa muistaa, että Suomen ydinenergia riippuu täysin ulkomaisesta teknologiasta laitosten ja niiden varaosien sekä polttoainehuollon osalta. Hyvin toimiva kansallinen Safeguards-järjestelmä oli, on ja tulee olemaan yksi perusehdoista, jotta tätä teknologiaa Suomeen tullaan saamaan.

Safeguardsilla pyritään varmistamaan, että rauhanomaista ydinteknologiaa ei siirry räjähteisiin tai muihin tuntemattomiin tarkoituksiin. Ydinmateriaalin valvonta keskittyi aikaisemmin lähes puhtaasti

vain kirjanpidollisiin lukuihin, jolta jäi huomaamatta lähes kaikki joka jätettiin tarkoituksella ilmoittamatta valvojille. Tämä valvonta ajautui kriisiin 90-luvulla salaisten ydinohjelmien paljastuttua.

Järjestelmää kehitettiin tällöin huomamaan myös salaiset ohjelmat ja tietotaidon kehitys.

Tulevaisuudessa järjestelmä tulee ottaamaan yhä enemmän huomioon eri maiden välisiä riskejä ja kohdistaa tarkastuksia suuremman riskipitoisuuden kohteisiin.

Ydinmateriaalivalvonnan toimintaympäristö tuntuu muuttuvan hyvin nopeasti nykyhetkellä. Ydinenergian käyttö laajenee, kun tulee lisää laitoksia, uusia maita sekä toimijoita, mikä johtaa tavaroiden suurempaan liikkumiseen. Ydinmateriaalien, -laitosten ja osajien määrät kasvavat jatkuvasti, mikä tekee valvonnasta yhä haastavampaa.

## Uusi ydinvoimatoimija Suomeen

Viimeisenä tietoisena kuultiin toimitusjohtaja **Tapio Saarenpään** esitelmä Fen-

novoimasta ja sen käynnistämästä laitos-hankkeesta.

Yhtiön tavoitteena on rakentaa uusi ydinvoimala uudelle laitospaikalle, jolloin sähkömarkkinoille saataisiin lisää kilpailua ja vähennettäisiin tuontisähkön tarvetta. Yhtiön valmisteluvaiheen projekti tähtää ensisijaisesti eduskunnan vahvistamaan myönteiseen periaatepäätöshakemukseen. Aivan samalla tavalla kuin muillakin alalla toimivien yhtiöiden valmisteluvaiheet.

Perinteiseen tapaan esitelmien jälkeen osallistujille tarjottiin iltapalaa vapaamuotoisen keskustelun yhteydessä. Tilaisuuden tarjoiluista voidaan kiittää kaikkia nykyisiä alalla toimivia voimayhtiöitä.

*ATS toivottaa uuden toimijan tervetulleeksi mukaan toimintaan ja sen tukemiseen.*

Juha Poikolainen  
Reaktoriturvallisuusinsinööri  
Teollisuuden Voima Oy  
juha.poikolainen@tvo.fi



## Balkanin värikkäät ydinhelmet

**A**TS:n tämän vuoden vierailun kohteena olivat uudet EU:n ydinvoimaiset jäsenmaat Bulgaria ja Romania. Bulgaria sai aikanaan Berliinin konferenssissa 1878 Venäjän tuella itsenäisen ja vakaan aseman. Samassa yhteydessä Romanian lahjoitettiin itsenäisyys. Näin nämä valtiot irtosivat turkkilaisten, osmanien vallan alta osaksi Eurooppaa. Samalla tavoin ne vuonna 2007 palasivat eurooppalaisille juurilleen liittyessään Euroopan Unioniin.

Liittyessään ne toivat ranskalaisen viinikulttuurin kyllästämmälle Euroopan suurliittovaltiolle uusia itäisiä ja slaavilaisia kulttuurivärejä. Bulgarian laadultaan runsaat ja myös nimiltään omaleimaiset viinit ovat kovia kilpailijoita Ranskan ja Italian kuluville viinikulttuureille. Kyllä kelpaa tarjota bulgariaista punaviiniä, ”Halla”, maanviljelijöiden pohjoisen tuen neuvotteluissa Brysselissä tai punaviiniä ”No-mans-land” feministien vuosijuhlissa missä tahansa EU-maassa.

Ei siis ole yllättävää, että Balkanin jäsenmaat omaavat myös omaleimaisen, muusta Euroopasta erottuvan ydinvoimakulttuurin. Romanian CANDU-ratkaisut sekä bulgariaisten käyvät VVER-reaktorit ja venäläiseen suunnitteluun nojaava Belene-hanke luovat hyvän vastapainon itsetietoiselle, mutta välillä syvällä suossa tarpovalle ranskalaiselle insinööritaidolle.

Beleneen on tarkoitus rakentaa kaksi uutta VVER-reaktoria Bulgarian kahden nykyisen vastaavan tueksi. Uusien laitosten rakennushankkeeseen halutaan monen muun VVER-omistajan tavoin ottaa mallia Loviisasta ja suomalaisesta viranomaistyöstä. Suomalaiset ydinvoiman käyttölinjaukset ja toimintatavat kirotaan Euroopan liittovaltion ytimesä monella virallisella kielellä ja niitä pilkataan liian pikkutarkoiksi. Balkanilla ne toimivat hyvänä mallina ja esimerkkinä asioiden osaavasta hoidosta. Toivottavasti suomalainen esikuva ei töppää ja petä heidän uskoaan!

Meillä suomalaisilla on yleensä tapana aliarvioida omaa historiaamme ja liittää sen ylpeyden aiheet naapurimaidemme historiaan. Ydintekniikan historiassa meillä on nyt hyvä tilaisuus kehua toi-

miamme. Me aloitimme uuden ydintekniikan tulemisen Euroopassa. Meidän hankkeemme mursi padon ja ohjasi ydinvoiman rakentamisen virran nykyiseen uomaansa. Meidän hankkeemme asettaa uuden standarditason ja perussuunnittelukriteerit ydinvoimalaitosten turvallisuudelle.

**BULGARIAILAISTA HUUMORIA** kuvastaa seuraava tarina: Kaupparatsu tulee kotiin ja romahtaa nukkumaan viehättävän vaimonsa viereen. Hetken nukkuttuaan hän herää eikä puolinukuksissa tunnista vaimonsa vastavalkaistua tukkaa yhteisen vuoteen tyynyllä. Niinpä hän ottaa tuoilta kiireesti housunsa, kaivaa esiin lompakkonsa ja sieltä kahdensadan setelin. Hän kurottua setelin toisen puolen yöpöydälle, tönäisee nukkuvaa blondia ja sanoo: ”Neitiseni, sinun on aika lähteä kotiin!” Blondattu vaimo herää puolinukuksissa, nousee pukemaan, huomaa setelin, sieppaa sen tottuneesti ja heittää normaalin viidenkympin vaihtorahan tilalle!”

Suomen ja Romanian tarinat yhdistyivät monen kansan historiaa ja miljoonia ihmiskohtaloita ohjaavassa käännekohtassa elokuun lopulla 1944. Tuolloin Suomen ja Romanian kansakunnat vaihtoivat hallituksensa ja esittivät Neuvostoliitolle omat aselepotarjouksensa. Myös maidemme väestötappiot olivat toisessa maailmansodassa samaa luokkaa – noin 2,5 prosenttia väestöstä. Sodan jälkeen kuningaskunnasta tasavallaksi muuntunut Romania joutui Suomen tavoin vahvasti Neuvostoliiton etupiiriin. Suurvallan paineen Suomea heikommin kestänyt Romania sai omaleimaisen kommunistisen diktatuurin, joka pyrki myös oman teollisuuden ja myös ydinvoiman kehittämiseen maan rikkaiden luonnonvarojen varassa.

**ROMANIAN CERNAVODAN** laitos rakennettiin aikanaan Kanadan ja Romanian hallitusten välillä tehdyllä suurellisella sopimuksella. Myös käyttäjien ydinjoukko sai koulutuksensa Kanadassa, jonne osa heistä on viime vuosina myös muuttanut moninkertaisen palkan houkuttelemana. Nyt Romanianla on valmiina ja käynnissä kaksi alkuperäisestä viidestä yksiköstä, mutta tarkoitus on rakentaa valmiik-

si vielä kaksi yksikköä lisää. Myös tässä vuonna 2009 käynnistyvässä hankkeessa on mukana viisi ulkomaista energiayhtiötä, Romanian kansallisen energiayhtiön kumppaneina. Aikanaan Romanian perusteena raskasvesitekniikan valinnalle oli mahdollisuus käyttää maan omaa luonnonvaraansa ilman kallista isotooppiväkevöintiä. Oma vaikutuksensa valintaan saattoi olla myös diktaattorin taka-ajatuksilla omasta ydinaseesta. Nykyään valinta vaikuttaa vain kaukoviisaalta. Ydinvoimansa tuella Romanian luonnonvaroista rikas ja demokraattian ituja iltapalaksi syövilta uusmiljardööreiltä välttynyt maa omaa hyvän tulevaisuuden, osana uudistuvaa Eurooppaa.

**LOPPUTARINANI KERTOO** kahden suomalaisen naispuolisen liike-elämän johdossa olevan vierailusta sellaiseen paikkaan, jotka Suomessa ovat laittomia. Rouvat päättivät siis vierailulla raskaan työviikon jälkeen huvittelupaikassa. Suuren hotellimaisen talon aulassa he kyselivät paikan systeemiä. Yrmeä ovimies kertoi heille, että :”Rouvat voivat katsella miehekästä tarjontaa kerros kerroksella, mutta aina kun menee ylöspäin ei voidulla enää takaisin ja kovan kysynnän vuoksi myöhemmillä käynneillä talossa täytyy aina käyttää vain valitsemaansa kerrosta. Valikoima on kuitenkin tähän asti kaikille riittänyt.”

Naiset läksivät ylöspäin. Ensimmäisessä kerroksen kyltissä luki, että sen kerroksen miehet ovat lempeitä, ystävällisiä ja pitävät lastenhoidosta, mutta he ovat surkeita rakastajia. Pilkkallisesti hymähtäen naiset kiirehtivät portaisiin. Seuraavan kerroksen esittely kuului:”Tämän kerroksen miehet ovat komeita kuin kreikkalaisten jumalat, upeavartaloisia ja loistavia rakastajia, mutta epäkohteliaita ja tylyjä naisille.”

Hiukan mietittyään naiset jatkoivat seuraavaan kerrokseen. Siellä luki:”Tämän kerroksen miehet ovat komeita, hyvävartaloisia ja loistavia rakastajia sekä älykkeitä, hauskoja ja aina kohteliaita naisille.”

Loistavaa totesivat naiset, mutta päättivät jatkaa seuraavaan kerrokseen, jossa oli varmaan vielä parempaa tarjolla. Hiljaisessa kerroksessa soi rauhallinen musiikki ja kyltissä luki:”Tässä kerroksessa ei ole ollenkaan miehiä. Kerros rakennettiin vain osoittamaan, että mikään ei koskaan riitä saamaan naisia tyytyväisiksi.”

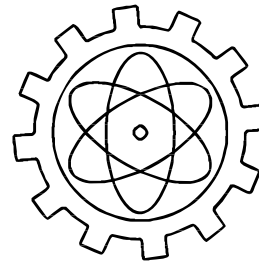
# TAPAHTUMAKALENTERI

**Seuran vuosikokous 14.2.2008**

**Tieteiden talo, Helsinki**

Lisätietoja: Juha Poikolainen  
sihteeri@ats-fns.fi

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



## UUDET JÄSENET

### Varsinaiset jäsenet

- Janne Wahlman, Teollisuuden Voima
- Pekka Vilo, Teollisuuden Voima
- Mikko Tausa, Teollisuuden Voima
- Topi Tahvonen, Fortum Nuclear Services
- Sami Hautakangas, Fortum Power and Heat
- Juho Vierimaa, Teknillinen korkeakoulu
- Kari Mäkelä, Fortum Power and Heat

### Nuoret jäsenet

- Pekka Urhonen, Teknillinen korkeakoulu
- Riitta Palo, Teknillinen korkeakoulu
- Minttu Hietamäki, Teknillinen korkeakoulu
- Henri Nevalainen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
- Antti Rautakallio, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
- Antti Paajanen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
- Mikko Heinonen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
- Simo Sihvola, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Suomen Atomiteknillisessä Seurassa oli 15.12.2007 pidetyn johtokunnan kokouksen jälkeen 559 varsinaista jäsentä ja 32 nuorta jäsentä eli opiskelijaa. Kunniajäseniä oli 12 ja kannatusjäseniä 17.

Seuran jäseneksi pääse johtokunnan hyväksymällä hakemuksella. Hakemukseen tarvitaan kahden jäsenen suositus.

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

SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA —

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry



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

## **Kannatusjäsenet**

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

## **ATS internetissä:**

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