

# ATS

## YDINTEKNIikka

SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA -

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry



4/98, vol. 27

### Tässä numerossa:

Saarivaltakunnan ydin-  
tekniikkaa koluttiin kattavasti 3

#### RESUMÉ:

Old and new traditions and  
technologies in British  
nuclear activities 4

Ydinenergia Britanniassa 5

Ydinjäte kiertää Sellafieldissä  
...osittain 8

Calder Hall -  
ydinajan auringonnousu 11

Heysham 2 13

BNFL Springfields  
Fuel Division 16

Urenco Group 19

Fuusiotutkimus Culhamissa 21

Harwell International  
Business Centre 23

Painevesilaitos  
Sizewell B Leistonissa 26

Säteilevät naiset seminaari 28

Frederic Joliotin  
reaktorifysiikan kesäkoulu 31

YG-seminaari 32

ATS:n syysseminaari 33

Kolumni:  
*Ydin ja osaaminen -  
ydinosaaminen?* 34

# ATS

4/1998, vol. 27

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura –  
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

## TOIMITUS

Päätoimittaja  
DI Jorma Aurela  
Imatran Voima Oy  
PL 23, 07901 Loviisa  
p. (019) 550 3070  
jorma.aurela@ivo.fi

Erikoistoimittaja  
TkL Eija Karita Puska  
VTT Energia  
PL 1604, 02044 VTT  
p. (09) 456 5036  
eija-karita.puska@vtt.fi

Erikoistoimittaja  
DI Arto Isolankila  
Säteilyturvakeskus  
PL 14, 00881 Helsinki  
p. (09) 7598 8314  
arto.isolankila@stuk.fi

Erikoistoimittaja  
DI Olli Nevander  
IVO Power Engineering Oy  
01019 IVO  
p. (09) 8561 2613  
olli.nevander@ivo.fi

Erikoistoimittaja  
TkL Eero Patrakka  
Teollisuuden Voima Oy  
27160 Olkiluoto  
p. (02) 8381 3300  
eero.patrakka@tvo.tvo.elisa.fi

Toimitussihteeri  
Minna Rahkonen  
Fancy Media Ky  
Mannerheimintie 8, 9. krs.  
00100 Helsinki  
p. (09) 612 7464  
fancymedia@clarinet.fi

Erikoistoimittaja  
Milja Walsh  
Energia-alan Keskusliitto ry.  
PL 21, 00131 Helsinki  
p. (09) 6861 6608  
milja.walsh@finergy.fi

## JOHTOKUNTA

Puheenjohtaja  
Tkt Seppo Vuori  
VTT Energia  
PL 1604, 02044 VTT  
p. (09) 456 5067  
seppo.vuori@vtt.fi

Varapuheenjohtaja  
FK Anneli Nikula  
FINERGY  
PL 21, 00131 Helsinki  
p. (09) 6861 6222  
anneli.nikula@finergy.fi

FK Elina Martikka  
Säteilyturvakeskus  
PL 14, 00881 Helsinki  
p. (09) 7598 8373  
elina.martikka@stuk.fi

Rahastonhoitaja  
TKL Juhani Vihavainen  
Lappeenrannan Teknillinen  
Korkeakoulu  
PL 20, 53851 Lappeenranta  
p. (05) 621 2781  
juhani.vihavainen@lut.fi

DI Tapio Saarenpää  
Teollisuuden Voima Oy  
27160 Olkiluoto  
p. (02) 8381 4312  
tapio.saarenpaa@tvo.tvo.elisa.fi

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

DI Olli Nevander  
IVO Power Engineering Oy  
01019 IVO  
p. (09) 8561 2613  
olli.nevander@ivo.fi

## TOIMIHENKILÖT

Kansainväl. asioiden siht.  
DI Jussi Palmu  
Posiva Oy  
Mikonkatu 15 A  
p. (09) 2280 3750  
jussi.palmu@posiva.fi

Ekskursios sihteeri  
DI Herkko Plit  
IVO Power Engineering Oy  
01019 IVO  
p. (09) 8561 2644  
herkko.plit@ivo.fi

## VUODEN 1999 TEEMAT

1/99  
Tutkimus ja turvallisuus

2/99  
Ympäristövaikutusten  
arviointi

3/99  
Nuoret ja ydinvoima

4/99  
Ekskursio Kiinaan

## ILMOITUSHINNAT

1/1 sivua 2.000 mk  
1/2 sivua 1.400 mk  
1/4 sivua 1.000 mk

## TOIMITUKSEN OSOITE

ATS Ydintekniikka  
c/o Jorma Aurela  
Imatran Voima Oy  
Loviisan voimalaitos  
PL 23  
07901 Loviisa  
p. (019) 550 3070 (suora)  
telefax (019) 550 4435

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

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

ISSN-0356-0473



# Saarivaltakunnan ydintekniikkaa koluttiin kattavasti

*ATS:n tämänvuotisilla ulkomaan opintomatkalla kartoitettiin ydinvoimatilannetta Britanniassa, jonne seuran perinteinen syyskursio tällä kertaa suuntautui. Tänäkin vuonna voitiin opintomatkalla kohdata useita polttoainekierron vaiheita. Kohteisiin kuului käynti sekä Britannian ensimmäisessä ydinvoimalassa Calder Hall:ssa että uusinta voimalalinjaa edustavassa Sizewell B:llä. Myös uuden ydintekniikan eli fuusiotutkimuksen eurooppalaisesta huipputekniikasta saatiin edustava yleiskuva. Kylmän sodan ajan alkuvaiheen ydintekniikan näyttämöiltä Windscalestä (nykyään Sellafield) ja Harwellista saatiin kuvauksia monilta lähes koko ydintekniikan brittiläisen historian kokeneilta seniorioppailta.*

Tänä syksynä seuran perinteisellä ulkomaan opintomatkalla tutustuttiin yhteen perinteiseen ydinvoimatekniikan mahtimaahan. Aikanaan Britannian omavaraisesti kehittämää ydintekniikkaa harkittiin vakavasti myös Suomeen rakennettavien ydinvoimaloiden yhtenä laitosvaihtoehtona. Meille tarjottua mallia eli SGHWR:ää ei sitten valittu Englanninkaan perusvaihtoehdoksi, vaan päädyttiin rakentamaan laajaan ja korkeatasoiseen omaan osaamiseen nojautuvia kaasujäähdytteisiä ja grafiittihidasteisia laitoksia - Magnox ja AGR. Näitäkin on useita variaatioita, mikä aikanaan huomattavasti pitkitti laitosten rakennusvaihetta. Sittenkin on Britanniassa rakennettu nopeiden reaktorien sekä kaasua - että natriumjäähdytteisiin ratkaisuihin perustuvia prototyyppilaitoksia. Uusinta ydinvoimaa edustaa amerikkalaisella lissensillä rakennettu painevesilaitos, Sizewell B. Näin jälkiviisautena voisi todeta, että britit ovat tuhlanneet tasokkaat asiantuntijaresurssinsa liialliseen hajanaisuuteen. Keskittymällä hyvissä ajoihin vain yhteen hyvin valittuun perusmalliin olisi voitu päätyä yhtä hyvään saavutukseen kuin esimerkiksi Ranskassa.

Laitosten ydinpolttoainekierto on toiminut koko ajan menestyksekkäästi ja Britannia on ollut polttoaineen jalostuspalveluissa täysin omavarainen ja kyennyt myös vientitoimintaan. Jopa Loviisan laitoksella on nyt käytössä koe-erä BNFL:n toimittama VVER-polttoainetta. Käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyssä Britannia on ollut maailman johtavia maita. Vaihdetuun sekä nimeään Windscalesta Sellafieldiksi että uudenaikaistamalla päästöjen hallintatekniikkaa on BNFL vakiinnutta-

nut asemansa jälleenkäsittelypalvelujen tarjoajana sekä Eurooppaan että aina Japaniin asti.

Alhaisaktiivisimpien radioaktiivisten jätteiden maahanhautaukseen perustuva loppusijoituspaikka on ollut jo pitkään käytössä. Viime vuonna keskiaktiivisten pitkäikäisten ydinjätteiden loppusijoituspaikka kohtasi pahan takaiskun, kun Sellafieldin alueelle ei myönnetty tutkimusten aloituslupaa. Tarkoitukseen infrastruktuurinsakin puolesta sopivalla alueella olisi tehty yksityiskohtaisia sijoituspaikkatutkimuksia syvälle kalliooperään louhittavasta tutkimuskuilusta käsin. Yhtenä luvan eväämisen perusteena on mainittu geologisen tiedon puutteellisuus, vaikka saman tiedon hankkiminen olisi ollut rakennettavaksi ehdotetun kalliotutkimuslaboratorion alkuvaiheen päättehtävä. Kiinteitettyjen runsasaktiivisten jälleenkäsittelyjätteiden loppusijoituspaikan etsiminen oli jo muutamia vuosia aiemmin päätetty siirtää kauas tulevaisuuteen. Sinänsä lasitetun jätteen maanpäällinen pitkäaikainen väli-varastointi voidaan toteuttaa hyvin turvallisesti, joten suuren yleisön ja päättäjien mielipiteen muuttumisesta loppusijoitukselle suopeaksi on vielä toivoa.

Opintomatkallamme tutustuimme myös ydintekniikan ajallisiin ääripäihin. Ydintekniikan ensimmäisten vuosien sotilaallista toimintaa tukeneita reaktoreita ollaan purkamassa niin perusteellisesti, että Britannian lukuisat lamppaatkin voivat rauhassa käyskennellä niiden entisillä sijoituspaikoilla. Toisaalta aivan lähimaisemissa Culhamin fuusiotutkimuskeskuksessa tutkitaan voimaperäisesti kaukaisen tulevaisuuden fuusiovoimalaratkaisujen tiellä olevia teknisiä ongelmia.

*TKT Seppo Vuori on Suomen Atomiteknillisen Seuran puheenjohtaja ja johtava tutkija VTT Energiassa, p. (09) 456 5067.*

## Old and new traditions and technologies in British nuclear activities

*A long-term tradition of the Finnish Nuclear Society is an annual excursion to countries employing nuclear power for electricity production. In autumn 1998 a study tour was directed to the United Kingdom. This tour comprised the traditional annual event to refresh our knowledge on the achievements of the nuclear power programmes in other countries. This time many of the sites and activities were not so familiar to us based on the every day work experience. During the trip the older generation members of our excursion team reminded that during the early years of the Finnish nuclear power history an earlier British reactor design, i.e. the SGHWR, was seriously considered as one possible alternative for the first Finnish power reactor. Since these early years both countries have followed their own routes for reactor types. The broad UK experience and competence on nuclear technology has allowed the demonstration of several different designs.*

**T**he excursion programme provided a comprehensive view on many stages of the nuclear fuel cycle: isotope enrichment, fuel fabrication, power production by Magnox-, AGR- and PWR-reactors, waste management and decommissioning as well as the top-level research efforts for nuclear fusion technology at the JET-facility in Culham. Besides covering a broad spectrum of different technologies, an interesting feature was also to have the possibility to see and hear both about the early days of nuclear development efforts in the UK as well as the present status of nuclear power technology.

Our experiences during the trip confirm the importance of maintaining previous contacts and making new relationships among the nuclear professionals in different countries to provide better possibilities to share experiences and initiate new joint activities.

The one week's study tour commenced on October 11th and with a flight from Helsinki via Copenhagen to Manchester we were transferred from the foggy and rainy autumn to the exceptionally sunny weather of UK. A wide historical perspective to energy technology was provided to us while visiting on the first day of our tour to the technical museum of Manchester with its large collection of old steam engines of different size categories. The professional part of the tour was commenced on Monday, October 12th. The study tour comprised the following visits in the United Kingdom:

- the BNFL activities in Sellafield; the Calder Hall Magnox-reactor and nuclear waste management,
- the Heysham 2 nuclear power plant of the AGR type,
- fuel fabrication at the Springfields facility,
- uranium enrichment at the URENCO Capenhurst,
- the Joint European Torus (JET) and other nuclear fusion energy experimental facilities at Culham,
- decommissioning studies and historical research reactors at the UKAEA Harwell site and
- Sizewell B nuclear power plant of PWR type.

**Seppo Vuori**  
**President of the Finnish Nuclear Society**



# Ydinenergia Britanniasa



*Sähkömarkkinoiden avautumisen myötä myös osa Iso-Britannian ydinvoimalaitoksista yksityistettiin. Yhtiöt ovat tuotannon tehostamisen myötä onnistuneesti pienentäneet tuotantokustannuksiaan ja siten pärjänneet hyvin kiristyneillä markkinoilla. Britannian 35 käytössä olevan ydinvoimalaitosyksikön yhteensä laskettu tuotanto vastaa noin 28 %:a maan sähköntuotannosta. Energiantuotannon lisäksi maassa on edustettuna lähes kaikki polttoainekierron eri vaiheet uraanin rikastuksesta käytetyn polttoaineen jälleenkäsittelyyn.*

**I**so-Britannian (mukaan lukien Pohjois-Irlanti) omat energiavarat ovat suuremmat kuin millään muulla EU-maalla, ja se onkin energian suhteen omavarainen. Maalla on suuret hiili-, öljy- ja kaasuvarat, ainoastaan uraani tuodaan ulkomailta. Aikaisemmista etsinnöistä huolimatta Britannia ei ole löytynyt kaupallisesti hyödynnettäviä uraanivaroja, ja vuonna 1983 kotimaiset kaivaukset pysäytettiin.

Hiilellä on pitkään ollut Britannian energiantuotannossa johtava asema, maan hiiliteollisuudella onkin ylivoimaisesti EU:n alueen alhaisimmat tuotantokustannukset. Vielä vuosikymmenen alussa 70 % Englannin ja Walesin sähköstä tuotettiin hiilellä. Kaasun käyttö on kuitenkin huomattavasti lisännyt osuuttaan sähköntuotannossa lähinnä hiilen kustannuksella. Hiilen osuus on enää runsas 30 %, ja kaasun osuuden arvelaan ylittävän hiilen mahdollisesti jo vuosituhtanen vaihteessa. Maan hallitus puuttui kuitenkin viime loppuvuodesta peliin pysäyttämällä 28 uuden kaasuvoimalaitoksen rakentamisen. Hallitus yrittää houkutelaa voimantuottajia hiilen käyttöön ja miettii keinoja, joilla brittiläiselle hiilelle voitaisiin taata pysyvät markkinat. Toisaalta brittien keskimääräiset CO<sub>2</sub>-ominaispäästöt tuotettua sähköenergiayksikköä kohti ovat jo nyt

noin kaksinkertaiset Suomeen verrattuna, eikä EU:n sisäisen taakanjaon mukainen 10 % päästövähennys vuoteen 2010 mennessä lupaa kovin hyvää hiiliteollisuudelle.

## Sähkömarkkinat

Britannian nykyinen hallitus luottaa markkinavoimiin turvatakseen riittävän energian tarjonnan kohtuullisilla kustannuksilla. Britannia aloittikin ensimmäisenä Euroopassa sähkömarkkinoiden avaamisen vuonna 1990. Markkinat on kuitenkin avattu melko rauhallisessa tahdissa, ja pienkuluttajat ovat tulleet kilpailun piiriin vasta tänä vuonna. Avaaminen saatettaneen loppuun ensi vuoden kesään mennessä.

Markkinoiden avauduttua energiateollisuus on kokenut suuria "muodonmuutoksia" lähinnä kun valtion omistamista tuotantolaitoksista on muodostettu yksityisiä yhtiöitä. Asiakkaiden sähköstä maksamat hinnat ovat pudonneet kaikilla sektoreilla tuotannon tehostamisesta johtuvien alentuneiden kustannusten vuoksi.

Markkinoiden avautumisen myötä myös maan ydinvoimateollisuus uudelleenjärjestettiin maaliskuussa 1996, kun British Energy (BE) yksityistettiin ja Nuclear Electric Ltd:stä ja Scottish Nuclear Ltd:stä muodos-

tettiin sille kaksi tytäryhtiötä. BE on nyt maan suurin sähköntuottaja yli 20 %:n osuudellaan. BE:ssä, kuten kahdessa muusakin suuressa sähköntuottajassa (National Power ja PowerGen), valtio on kuitenkin vielä valtaomistaja, ja yksityisten omistusosuus on rajoitettu 15 %:iin. Magnoxit jäivät BNFL:n tytäryhtiöinä edelleen valtion omistukseen. Yhtiöittäminen saataneen valmiiksi ensi vuoden loppuun mennessä.

## Britannian ydinvoimaohjelman historiaa

Ydinenergian hyödyntämisen historia alkoi Britanniassa 40-luvun puolivälissä, kun Harwelliin perustettiin ydinenergian tutkimuskeskus, jonka tarkoituksena oli palvella niin siviilipuolen kuin sotateollisuudenkin tarpeita. Ensimmäinen kooreaktori valmistui vuonna 1947 (GLEEP, Graphite Low-Energy Experimental Pile) tuottamaan lähinnä plutoniumia ydinaseteollisuuden tarpeisiin.

Reaktorityypin kehittämisellä oli ratkaiseva vaikutus Britannian koko tulevalle ydinvoimateollisuudelle. Koska reaktorin valmistumisella oli kiire, suunniteltiin reaktori, joka toimisi luonnonuraanilla ja moderaattorina toimisi grafiitti, jota oli runsaasti saatavilla. Näin syntyi pohja tuleville Magnoxille ja AGR:ille. Ensimmäinen reaktori GLEEP suljettiin 43 käyttövuoden jälkeen vasta vuonna 1990, ja on tietävästi maailman pisimpään toiminut reaktori.

Reaktorikehitys 40-luvun lopulla ja 50-luvulla johti Magnox'tien rakentamiseen, ja ensimmäiset Magnox'it, edelleen käytössä olevat Calder Hall 1-4, kytkettiin valtakunnan verkkoon vuosina 1956-59. Britannian ydinenergiasta vastaava viranomaistaho selventämään perustettiin vuonna 1954 UKAEA (UK Atomic Energy Authority) vastaamaan maan ydinenergiatutkimuksesta, fissiilin materiaalin ja ydinaseiden valmistuksesta sekä ydinenergian rauhanomaisesta kehittämisestä. Uuden viranomaisen alaisuudessa Britannian ydinenergiaohjelma kasvoi voimakkaasti 50- ja 60-luvuilla, jolloin aloitettiin yhteensä 39 reaktorin rakennus.

1970-luvulla otettiin käyttöön ensimmäiset AGR-reaktorit. Yhteensä AGR'iä rakennettiin 15, joista 14 on edelleen käytössä. Maan uusimman reaktorin kohdalla Britannia astui reaktoriteknikassa uusille urille.

Sizewell B valmistui vuonna 1995, ja on Britannian ensimmäinen kevytvesireaktori.

## Ydinenergian nykytila

Britanniassa käytössä olevia yksiköitä on tällä hetkellä 15 paikkakunnalla 35, joista 20 on Magnox-tyyppisiä, 14 AGR:iä ja 1 PWR. Ydinenergian kokonaiskapasiteetti oli vuonna 1997 13 130 MW ja kokonaistuotanto runsas 89 TWh, joka kattoi noin 28 % maan sähköntuotannosta. Ydinvoiman osuuden ei oleteta lähivuosina kasvavan, kun uusia laitoksia ei ole rakenteilla eikä edes suunnitteilla. BE ilmoitti heti yksityistämisenä jälkeen, että se peruuttaa uudet

kotimaiset PWR-suunnitelmansa vedoten alhaisista sähkön myyntihinnoista johtuvaan kaupalliseen kannattamattomuuteen. Se onkin suunnannut toimintaansa mm. USA:han, jossa sillä on uuden yhtiön AmerGen'in kautta tavoitteena ostaa ja operoida amerikkalaisia ydinvoimalaitoksia. Tänä syksynä se onkin jo allekirjoittanut Yhdysvaltojen kautta aikain ensimmäisen ydinvoimalaitoksen ostosopimuksen (Three Mile Island-1).

Britannian laitosten keskimääräinen käyttökerroin on varsinkin 90-luvulla selvästi parantunut, erityisesti AGR:in lyhentyneiden vuosihoitojen sekä uuden PWR:n käyttöönoton ansiosta. Vuonna 1997 käyttö-

	MWe	Tyyppi	Kaupalliseen käyttöön	Kumulatiivinen käyttökerroin, %
<b>British Energy</b>				
Dungeness B1	630	AGR	04/85	30,9
Dungeness B2	630	AGR	01/88	31,9
Hartlepool 1	660	AGR	01/84	45,5
Hartlepool 2	660	AGR	/85	50,8
Heysham 1-1	600	AGR	01/84	49,1
Heysham 1-2	600	AGR	/85	53,6
Heysham 2-1	690	AGR	09/88	65,1
Heysham 2-2	690	AGR	/89	66,4
Hinkley Point B1	660	AGR	10/78	64,9
Hinkley Point B2	660	AGR	09/76	60,6
Hunterston B1	660	AGR	02/76	62,0
Hunterston B2	660	AGR	03/77	61,6
Sizewell B	1258	PWR	02/95	70,1
Torness 1	682	AGR	05/88	65,0
Torness 2	682	AGR	04/89	67,3
<b>BNFL/Magnox Electric</b>				
Bradwell 1	129	Magnox	07/62	57,8
Bradwell 2	129	Magnox	11/62	61,9
Calder Hall 1	61	Magnox	/56	
Calder Hall 2	61	Magnox	/57	
Calder Hall 3	61	Magnox	/58	
Calder Hall 4	61	Magnox	/59	
Chapelcross 1	60	Magnox	/59	
Chapelcross 2	60	Magnox	/60	
Chapelcross 3	60	Magnox	/60	
Chapelcross 4	60	Magnox	/59	
Dungeness A1	228	Magnox	10/65	58,7
Dungeness A2	228	Magnox	12/65	60,2
Hinkley Point A1	249	Magnox	02/65	71,3
Hinkley Point A2	249	Magnox	05/65	72,7
Oldbury 1	225	Magnox	01/68	57,8
Oldbury 2	225	Magnox	04/68	59,8
Sizewell A1	250	Magnox	03/66	58,0
Sizewell A2	250	Magnox	09/66	55,3
Wylfa 1	570	Magnox	11/71	58,1
Wylfa 2	570	Magnox	01/72	56,1

Lähde: Nuclear Engineering International (April 1998, p. 35)





Joukko ATS:n jäseniä teki lokakuussa ekskursiomatkan Englantiin..

kertoimien keskiarvo oli 70,6 %: AGR:illä 77% ja Magnoxilla 63 %. Myös Magnoxilla keskitytään käyttökustannusten alentamiseen, minkä lisäksi toimintaa laajennetaan mm. laitosten käytöstäpoistomarkkinoilla sekä koti- että ulkomailla. Kaikki Magnoxit ovat nyt saaneet käyttöluvut vähintään 30 ikävuoteen, ja vanhimmitte laitoksille, Calder Hall, käyttö lupa on juuri uusittu 50 ikävuoteen asti.

Laitosten käytöstäpoiston suhteen UKAEA tähtää yleisesti ottaen pitkäkköön (30-40 vuotta) "jäähdyttelyyn" ennen laitoksen täydellistä purkua, kuitenkin niin, että purun ensimmäinen vaihe, eli polttoaineen poisto reaktorista suoritetaan heti reaktorin sammuttamisen jälkeen. Suljettuja ja purkamisessa eri asteella olevia laitoksia Britanniassa on 11, joista 6 on Magnox. 1 koehyötöreaktori (Dounreay) ja loput pienitehoisia muita koereaktoreita. Reaktoreista ensimmäinen suljettiin 1976 ja viimeisin 1994.

## Polttoainehuolto

Britanniassa on ydinenergian tuotannon lisäksi myös uraanin rikastustoimintaa, polttoaineen valmistusta ja polttoaineen jälleenkäsittelyä. Uraanin hankinta ja rikastus osuutensa valtion omistama BNFL on perinteisesti huolehtinut laitosten muusta polttoainehuollosta. Ydinalan yksityistämisen jälkeen yhtiöt luopuivat kansainvälisestä uraaninlouhintatoiminnasta ja ostavat uraaninsa lähinnä pitkäaikaisilla sopimuksilla ympäri maailmaa.

Uraani rikastetaan joko kotimaassa (Urenco, Capenhurst) tai Venäjällä. Capenhurstin laitos aloitti rikastustoiminnan 1967, aluksi kaasudifфуusiolaitteilla tuottamaan korkealle väkevöityä uraania sotateollisuuden tarpeisiin. Vuonna 1976 valmistui ensimmäinen sentrifugilaitos ja uuden kolmannen sentrifugilaitoksen oletetaan olevan valmis 1999. Urencon kapasiteetti on noin 35 miljoonaa erotustyöyksikköä (SWU) vuodessa, mikä vastaa noin 50-60 % maail-

man koko kapasiteetista. Urenco myös toimittaa noin 20 % Suomen tarvitsemasta rikastusvolyyminä.

Lähes kaikki polttoaineen valmistus tapahtuu kotimaassa (BNFL). BNFL:n (aikaisemmin UKAEA:n) Springfieldsin polttoainetehtaan aloitti ensimmäisenä maailmassa polttoaineenvalmistuksen vuonna 1945, ja aluksi sekin keskittyi palvelemaan sotateollisuutta. Nykyään Springfieldsissä valmistetaan polttoaine-elementtejä useisiin eri tyyppisiin reaktoreihin (mm. Magnox, AGR, LWR) ympäri maailman. Tämän vuoden syyskuussa ladattiin Loviisaan ensimmäiset ei-venäläiset polttoaineput. 5 BNFL:n toimittamaa koenippua. Ne olivat samalla ensimmäiset Venäjän ulkopuolella valmistetut käyttöön otetut VVER-polttoaineput.

Springfieldsissä valmistetaan nykyään uraanipolttoainetta myös jälleenkäsittelystä polttoaineesta. Oxide Fuels Complex (OFC) aloitti toimintansa vuonna 1996. OFC valmistaa mm. AGR- ja LWR-polttoainetta sekä tuoreesta että jälleenkäsittelystä uraanista.

## Jätehuolto

Britannian vähä- ja keskiaktiivisen jätteen turvallisen loppusijoittamisen käytännön järjestelyt hoitaa BNFL, mutta lain mukaan lopullisessa vastuussa on ydinvoimayhtiöt niiden yhdessä omistaman vuonna 1982 perustetun yhtiön Nirex'in (Nuclear Industry Radioactive Waste Executive) kautta. Nirexin toiminnan rahoittavat yhtiöt jätemäärien muodostumisen suhteessa.

Myös valtio on rahoituksessa mukana ja osallistuu siten myös Nirexin hallintoon.

Hallituksen vuoden 1995 ydinjätehuolto-ohjelman mukaan Britannian vähä- ja keskiaktiivinen jäte tulee loppusijoittaa syvään geologiseen varastoon. Vuosien paikatutkimusten jälkeen Nirex esitti valtiolle kalliolaboratorion rakentamista Sellafieldin lähistöllä sijaitsevalle Longlands Farm'ille. Paikallinen valtuusto kuitenkin äänesti vuonna 1994 hakemusta vastaan, ja viime vuonna myös Britannian ympäristöministeriö hylkäsi hakemuksen.

Toistaiseksi Britannian kiinteä voimalaitosjäte ja jälleenkäsittelystä syntynyt vähäaktiivinen jäte loppusijoitetaan maahanhauausmenettelyä käyttäen Sellafieldin lähellä sijaitsevaan Drigg'iin. Drigg'iin sijoitetaan



Britannian käytössä olevat ydinvoimalaitokset.

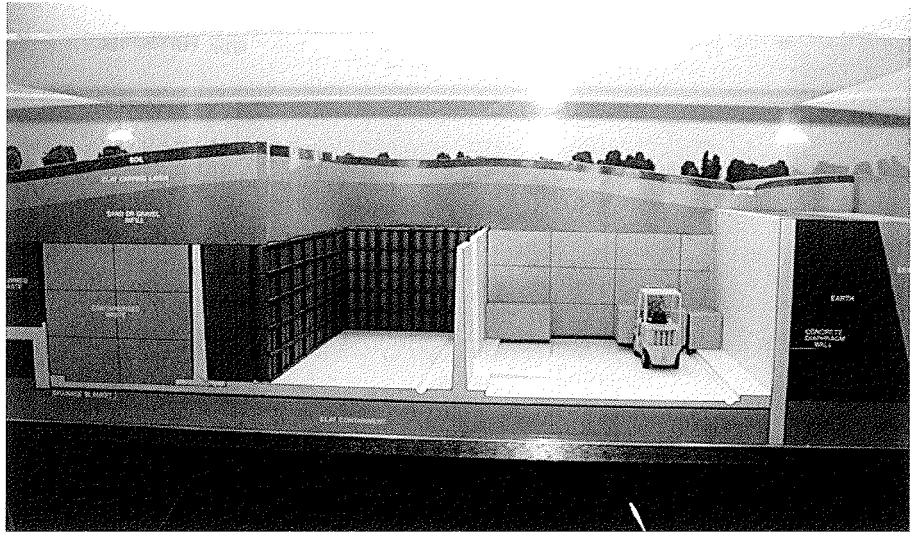
# Ydinjäte kiertää Sellafieldissä

myös mm. sairaaloiden ja tutkimuslaitosten vähä-aktiivinen jäte. Drigg'issä on viime vuosina tehty laajoja uudistustöitä, ja sen nykyisen kapasiteetin oletetaan riittävän pitkälle ensi vuosituhanalle.

Keskiaktiivinen jäte valetaan betoniin ja varastoidaan väliaikaisesti terästankkeihin Sellafieldissä. Lopullisesti tankit toisin kuin jo Drigg'iin varastoidut vähä-aktiiviset jätteet tullaan sijoittamaan syvään geologiseen tilaan, kunhan sopiva loppusijoituspaikka löytyy.

Hallituksen ohjelman mukaisesti ydinjätteen tuottaja päättää itse jälleenkäsitellä jätettä käytetty polttoaine vai käytetäänkö suoraa loppusijoitusta. Tällä hetkellä suurin osa Britanniassa tuotetusta käytetystä polttoaineesta käsitellään BNFL:n jälleenkäsittelylaitoksessa Sellafieldissä. Kaikkien Magnoxien ja noin puolien AGR-laitosten käytetyn polttoaineen jälleenkäsittelystä on sovittu. Näillä näkymin Sizewellin runsas-aktiivinen jäte välivarastoidaan laitosalueella ennen suoraa loppusijoitusta. Myös UKAEA:n Downreay'ssa jälleenkäsitellään lähinnä MTR-reaktoreiden (Materials Testing Reactor) käytettyä polttoainetta.

Sellafieldissä sijaitsevat mm. Magnox-jälleenkäsittelylaitos, vuonna 1997 lopullisen käyttö lupansa saanut Thorp-laitos, joka käsittelee sekä kotimaista että ulkomaista AGR- ja PWR-polttoainetta, ja käyttö lupaa odottava Mixed Oxide Fuel Plant, jossa valmistetaan jälleenkäsittelystä uraanista ja plutoniumista MOX-polttoainetta. Alueella on jo vuodesta 1993 asti toiminut "demo" MOX-laitos, joka on toimittanut polttoainetta ainakin Sveitsiin ja Saksaan. Jälleenkäsittelyssä syntynyt runsas-aktiivinen jäte lasitetaan ja joko välivarastoidaan paikan päällä (kotimainen) tai palautetaan asiakkaalle (ulkomaiset). Runsaasaktiivisen jätteen loppusijoituspaikan valintaprosessi on lykätty tuonnemmaksi kauas tulevaisuuteen ja tulee ajankohtaiseksi vasta, kun keskiaktiivisen jätteen loppusijoitus on pystytty hoitamaan.



Pienoismalli Driggin matala-aktiivisen jätteen loppusijoitustilasta, jonka syvyys on 8 metriä.

*Suomalaisessa uraanipolttoainekierrossa käytetty ydinpolttoaine päätyy välivarastoinnin kautta suoraan loppusijoitukseen. Joissakin maissa ydinjätehuollon strategiaan kuuluu kierrätys eli jälleenkäsittelyn kautta käytetyn ydinpolttoaineen käyttökelpoinen osa hyödynnetään uudelleen energiantuotannossa.*

**E**uroopassa ydinjätettä jälleenkäsittävät Ranska, Iso-Britannia ja Venäjä. Suuren yleisön mielissä jälleenkäsittelyn tunnetuin nimi lienee Iso-Britannian luoteisosassa, Cumbrian jylhän järviylängön laitamilla, Irlannin meren rannalla sijaitseva Sellafield. Sieltä löytyy myös Euroopan ydinvoiman vanhin perinne. Vuonna 1956 kuningatar Elisabeth vihki käyttöön maanosan ensimmäisen kaupallisen reaktorin juuri Sellafieldissä, ja siellä toimii Calder Hallin ykkösreaktori edelleenkin.

## Suuret mittasuhteet

Ydinjätteen jälleenkäsittelyn mittasuhteet paljastuvat kertaheitolla bussin kiertäessä Sellafieldin tehdasalueella. Ilman opasta lukuisten jätteenkäsittelykompleksien kortteihin eksyisi helposti. Sellafieldin 400 hehtaarin (4 km<sup>2</sup>) laitosalue on kymmenkertainen meillä suunnitellun loppusijoitusalueen kokoon verrattuna.

Ydinpolttoaineen jälleenkäsittely alkoi Sellafieldissä vuonna 1964, jolloin toiminta keskittyi magnox -reaktoreiden polttoaineen jälleenkäsittelyyn. Vuonna 1994 toimintansa aloittanut kolmas ja uusi jälleenkäsittely-yksikkö THORP (Thermal Oxide Reprocessing Plant) pystyy käsittelemään magnox-reaktoreiden lisäksi kevytvesireaktoreiden polttoainetta. Jälleenkäsittely-yksikön tavoitteena on käsitellä ensi vuonna 900 tonnia ja seuraavan kymmenen vuoden aikana yhteensä 7000 tonnia käytettyä ydin-

DI Milja Walsh  
työskentelee Energia-  
alan Keskusliitossa,  
Finergyssä.  
Puh. (09) 686 16608,  
milja.walsh@finergy.fi





## ...osittain

polttoainetta. Määrä on kymmenkertainen verrattuna vastaavana jaksona Suomessa syntyvään käytettyyn ydinpolttoaineeseen.

### Polttoaine paloiksi

Sellafieldiin eri puolilta maailmaa tuleva käytetty ydinpolttoaine poistetaan kuljetussäiliöistä polttoaineen käsittelylaitoksen vesialtaassa. Kehittyneiden kaasujäähdytteisten reaktorien (AGR-reaktori) polttoaineput siirretään vesialtaassa terästynnyreihin ja kuljetetaan sen jälkeen THORPin vesialtaisiin välivarastoitavaksi. Kevytvesireaktoreiden polttoaine siirretään suoraan vesialtaaseen ilman tynnyröintiä. Välivarastosta polttoaine siirretään aikanaan syöttöaltaaseen, josta polttoaineput kuljetetaan hissillä leikkauskoneelle, joka pätkii polttoaineput viiden senttimetrin paloihin. Palat ohjataan laskukourua pitkin ruostumattomasta teräksestä tehtyihin, kuumaa typpihappoa sisältäviin astioihin. Polttoaine liukenee happoon ja jäljelle jäävät nipun metalliset osat erotetaan liuoneesta polttoaineesta sentrifugilla. Polttoainepun kappaleet lähetetään kapselointilaitokselle, missä ne sementoidaan teräskankeihin varastointia varten.

### Polttoaine-erottelu

Typpihappoon liennut uraani, plutonium ja fissiojäte erotetaan toisistaan monivaiheisen ja monimutkaisen kemiallisen käsittelyn kautta. Uraani ja plutonium erotetaan fissiojätteestä lisäämällä parafiinipohjaista liuotinta polttoaineseokseen. Uraani ja plutonium liukenevat happoa kevyempään parafiiniin fissiojätteen jäädessä happoon. Jätettä sisältävä typpihappo viedään lasitettavaksi omaan tehdasyksikköön (vitrification plant).

Polttoainekäsittelyn seuraavassa vaiheessa plutonium erotetaan uraanista vettä hyväksikäyttäen. Plutonium siirtyy veteen uraanin jäädessä happoon. Erottelun jälkeen uraania sisältävä liuos väkevöidään monivaiheisessa haihdutusprosessissa. Jauheeksi uraani saadaan suihkuttamalla väkevöity neste kuumennuskammioon. Lopputuloksena saatu uraanitrioksidi ( $UO_3$ ) pakataan terästynnyreihin varastointia varten. Plutoniumin monivaiheisen jatkokäsittelyn lopputuote on plutoniumoksidi ( $PUO_2$ ), joka varastoidaan kolmisenäisiin teräskankeihin.



Sellafieldin vierailukeskuksen pääsisäänkäynti.

### Lopputuloksena polttoainesekoitetta

Uraanitrioksidista ja plutoniumoksidista saadaan sekoitettua polttoainetta (MOX, mixed oxide fuel), jota voidaan käyttää ydinreaktoreissa. Toistaiseksi MOX-polttoainetta on valmistettu lähinnä koeluonteisesti, sillä kaupalliseen tuotantoon rakennettu Sellafieldin MOX-polttoainetehdas odottaa vielä käyttöä. Kun tehdas toimii, sen vuosituotannoksi on arvioitu suurimmillaan 120 tonnia MOXia, mikä määränä ylittää Suomessa vuodessa syntyvän käytetyn ydinpolttoaineen määrän.

### Jälleenkäsittely maksaa ja puhdistusprosessit ovat kalliita

Ydinjätehuollon strategiavalintana ja välivaiheena jälleenkäsittely edellyttää voimakasta ja pitkälle tulevaisuuteen ulottuvaa sitoutumista ydinenergiaan ja -teknologiaan. Monimutkaiset kemialliset erottelu- ja puhdistusprosessit asettavat jälleenkäsittelyn hyväksynnälle toisenlaiset vaatimukset kuin esimerkiksi ydinvoimalan rakentaminen. Jälleenkäsittelyn ympäristövaikutuksia seurataan niin yleisön kuin viranomaisen taholta poikkeuksellisen tarkalla silmällä.

Käsittelyprosessien yhteydessä syntyy huomattavia määriä uutta loppusijoitettavaa matala- ja keskiaktiivista ja pitkäikäistä radioaktiivista jätettä. Fissiotuotteiden erotte-

lussa käytettävät liuottimet muuttuvat prosessissa radioaktiivisiksi ja niiden puhdistaminen vaatii oman tekniikkansa. Myös vesiallasvarastoinnissa käytettävä vesi on puhdistettava radioaktiivisista hiukkasista. Nestemäisen jätteen käsittelyä varten Sellafieldissä on viisi puhdistuslaitosta käsittävää kokonaisuus, SIXEP (Site Ion Exchange Effluent Plant), jossa fissiotuotteiden erottaminen tapahtuu ionivaihtimien avulla.

Sellafieldin laitossyöksiköt omistava BNFL (British Nuclear Fuel Limited.) on investoinut SIXEPin puhdistustekniikkaan yli 6 miljardia markkaa.

### Jälleenkäsittely ei poista loppusijoituksen tarvetta

Jälleenkäsittelyssä käyttökelpoisesta polttoaineesta erotettava fissiojäte on korkeaaktiivista ja sen lasitus vaatii oman tehdasprosessinsa. Paloiteltujen polttoainepipujen metalliosat ovat puolestaan keskiaktiivista jätettä, joka betonoidaan terästynnyreihin.

Keski-aktiiviseen jätteeseen kuuluvat myös puhdistusprosessissa aktivoituneet välineet sekä jäteliete. Korkea- ja keskiaktiivinen jäte muodostaa 99.9 % käytetyn polttoaineen aktiivisuudesta, mutta tilavuudeltaan suurin jäteosuus - 80 -90 % - muodostuu matala-aktiivisesta jätteestä (vaatteet, käsi- neet, pakkausmateriaalit ym). Nämä kaikki jätelajit on tavalla tai toisella loppusijoitettava.



Sellafieldin vierailukeskuksessa voi tutustua mm. kokoonpuristettuihin matala-aktiivisen jätteen tynnyreihin (kuvassa vasemmalla).

## Jäte palautuu alkuperämaahan

Ydinjätteen synnyinmaan vastuu ei poistu jätteen viennillä Sellafieldiin. Vuodesta 1976 Yhdistynyt kuningaskunta on varannut oikeuden palauttaa jäte alkuperämaahan. Sittemmin säännöksiä on tarkennettu siten, että jätteen synnyinmaahan voidaan palauttaa myös jälleenkäsittelyssä syntyvän keski- ja matala-aktiivisen jätteen radioaktiivisuutta vastaava ekvivalenttimäärä runsasaktiivista jätettä. Näin tilavuudeltaan suurempi radioaktiivinen jäte vaihdetaan korkeaktiivisen "jätetiivisteseen".

## Vähäaktiivinen jäte puristetaan ja loppusijoitetaan Driggiin

Vähäaktiivinen kiinteä jäte pilkkotaan tarvittaessa paloiksi. Jäte pakataan joko kuutiometrin laatikoihin tai 200 litran tynnyreihin, jotka puristetaan tilantarpeen minimoimiseksi. Puristetut "kiekot" pakataan terässäiliöihin ja tyhjä tila betonoidaan ennen kannen sulkemista. Koko em. prosessi tapahtuu kauko-ohjattuna suojatuissa tiloissa, koska osa tynnyreistä on niin vanhoja, ettei niiden sisältöä tarkkaan tunneta.

Pakatut terässäiliöt kuljetetaan 6 kilometriä Sellafieldin eteläpuolella sijaitsevaan Driggin vähäaktiivisen jätteen loppusijoitustilaan. Driggin ensimmäinen saveen kaivettu osa otettiin käyttöön vuonna 1959 ja se on jo peitetty kivi- ja maamassoilla sekä maisemoitu istutuksin.

Vanhan osan viereen kaivettu nykyinen betonirakenteinen loppusijoitustila salaojineen ja seurantajärjestelmineen otettiin käyttöön vuonna 1988. Driggiin on tähän mennessä loppusijoitettu n. 800 000 m<sup>3</sup> jätettä. Kun kaikki tilat lopullisesti suljetaan, peitetään nykyiset peitekerrokset uudella tiiviillä savikerroksella. Tämän on tarkoitus varmistaa biosfääristä eristäminen niin kauan, kuin se on tarpeellista.

## Päästöjä seurataan

Viranomaiset ovat asettaneet nuklidikohtaiset rajat Sellafieldista ympäristöön aiheutuille päästöille. Päästöjen radioaktiivisuutta seurataan ja sen lisäksi näytteitä otetaan vuosittain ympäristön kaloista, äyriäisistä, simpukoista, leivistä, vihanneksista, lihasta ym. Sellafieldissä työskentelevän säteilyannos - alle 2mSv vuodessa - on pienempi kuin Cumbrian alueen väestön luonnosta saama taustasäteilyn määrä (2,3 mSv). Suomessa keskimääräinen luonnon taustasäteilystä aiheutuva annos on noin 3 mSv/v.

## Menneisyys ja hyväksyttävyyys

Ydinteknologia herättää tunnetusti voimakkaita tunteita ja jakaa ihmisten mielipiteitä. Iso-Britanniassa asian hyväksyttävyyttä ei tee yhtään helpommaksi se, että ydintekniikan kehittämiseen ovat alusta lähtien liittyneet sotilaalliset sovellukset. Toisen maailmansodan jälkeen ydinreaktion tieteellisen tekninen tietämys oli Yhdysvalloissa, eikä se jakanut salaisuuksiaan muiden liittoutuneiden kanssa. Entinen imperiumi olikin pakotettu panostamaan omaan kehitystyöhön

ydinreaktion hallitsemiseksi. Nyt ovat ajat muuttuneet, mutta purkuvaiheessa olevat plutoniumreaktoreiden tornit muistuttavat Sellafieldissa edelleenkin kylmän sodan vuosista.

## Sellafieldin Heureka kiinnostaa

ATS:n ekskursiolla ehdimme pikaisesti tutustumaan omistajayhtiön alueella mainostamaan Sellafieldin vierailukeskuksen. Käynti osoitti, että vierailukeskuksen kannattaa tulla kauempaakin. Nimittäin näkemistä Sellafieldin vierailukeskuksessa riittää kuin Vantaan Heurekaa, jota tämä brittiläinen keskus olemukseltaan ensimmäisenä muistuttaa. Oleellinen ero lienee ainakin siinä, että Heureka maksaa, mutta Sellafield on ilmainen. Eipä siis ihme, että lokakuuena maanantaipäivänä Sellafieldissä käy melkoinen kuhina: lapset hakeutuvat tietokonepölyä ääreen, vanhemmat tutustuvat ydinjätteen käsittelyyn eri vaiheisiin ja satunnainen matkailija yrittää varttitunnissa ahtaa itseensä valotaulujen, videoiden, nukke-kabaree-esitysten ym. tarjoamaa ydinjätetiätoutta. Erityisesti näyttely tuntuu houkuttelevan paikalle vanhempia, jotka alaluokkalaisten lastensa kanssa viettävät syyspäivää tässä jälleenkäsittelyn puuhamaassa.

Ehkäpä samalla vierailijalle selviää mitä eroa on alfa-, beta-, ja gammasäteilyllä ja miksi plutoniumin säteily pysähtyy paperiarkkiin.

DI Antti Ikonen toimii Posiva Oy:ssä laatu-  
insinöörinä sekä  
koordinoi luonto-  
vaikutusten arviointia.  
Puh. (09) 22803736,  
antti.ikonen@posiva.fi



Timo Seppälä on  
koulutukseltaan maa-  
talous-metsätieteiden  
kandidaatti ja toimii  
Posiva Oy:ssä  
tiedottajana.  
Puh. (09) 22803763,  
timo.seppala@posiva.fi





ATS-viirin luovutus Calder Hallin entisille insinööreille.

ATS:n Englannin ekskursion oikeutetusti ja loogisesti ensimmäinen laitoskohde Calder Hall teki vaikutuksen historiallaan. Maailman ensimmäiset kaupalliset ydinreaktorit seisovat paikallaan tuottaen yhä jatkuvasti sähköä. Calder Hallin aikakone vei ekskursioryhmän 42 vuotta ajassa taaksepäin aivan ydinajan auringonnoussuun.

## Calder Hall - ydinajan auringonnoussu

Herätys toiseen päivään tapahtui viimeistään majapaikkamme The United Kingdom Atomic Energy Authorityn (UKAEA) koulutuskeskuksen pihalla. UKAEA kouluttaa kaikki maan ydinlaitoksia vartioivat poliisit Whitehavenissa. Uudet mies- ja naiskokelaat suorittivat parkkipaikalla sulkeisharjoituksia aamulla. Kokelaiden marssiminen vaikutti yhtävaikealta kuin Suomen ilmavoimien kersantin tottuminen vasemman puoleiseen liikenteeseen viikon aikana.

### Maineikas muinaisjäänne

Ekskursion ensimmäinen laitoskohde oli tarunhohtoinen Sellafield. Maailman laajimpiin kuuluva ydinkeskittymä (400 ha) herätti ansaittua kunnioitusta linja-autossamme. Kamerujen räpse muistuttikin aplodeja. Aplodit ja huokaukset jatkuivat linja-auton pysähtyttyäkin Sellafieldin vierailukeskuksen pihalla. Vierailukeskus oli kaikessa komeudessaan kuin ydinalan Disneyworld.

Sisälläryhmäämme odottivat oppaamme kaksi herrasmiestä- ydinalan todellisia veteraaneja. Molemmat miehet olivat työskennelleet insinööreinä vuosikymmeniä Sellafieldissä (ent. Windscale). He tunsivat Calder Hallin laitoksen alkutaipaleen hyvin. Miehet olivat olleet eläkkeellä jo vuosia.

mutta silloin tällöin he tulevat takaisin työpaikalleen ylpeinä esittelemään töittensä tuloksia. Tämä jos mikä kertoo näiden pioneerien sitoutumisesta alansa. Ryhmällemme saattoi syntyä heti oikean suuntainen käsitys siitä, minkälaisia historiallisia muinaisjäänneitä tulisimme näkemään laitoskierroksen aikana.

### Ensimmäinen kaupallinen ydinreaktori

Ydinteknologia valjastettiin sodan jälkeen kiireesti sotilaalliseen käyttöön. Vasta 50-luvulla ehdittiin ydinsähkö ottaa mukaan tyydyttämään suurta energiantarvetta. Ison-Britannian hallitus oli tuohon aikaan huolissaan alueen hiilipulasta ja kaivostyöläisten voimakkaista ammattiliitoista. Windscalen ydinkeitaassa aloitettiin vuonna 1953 neljän reaktorin rakennustyöt. Rakennusaikana työllistettiin yli 1500 henkilöä. Tällä hetkellä Calder Hall työllistää noin 380 henkilöä. Reaktorit olivat maailman ensimmäisiä kaupallisia ydinreaktoreita. Virallisesti Calder Hallin reaktorit suunniteltiin kuitenkin sotilaallisia tarkoituksia varten.

Ensimmäinen reaktori Calder Hall 1 valmistui vuonna 1956. Loput kolme reaktoria käynnistettiin seuraavina peräkkäisinä vuosina. Kuningatar Elizabeth II kytki

virallisesti ensimmäisen reaktorin tuottamaan sähköä 17.10.1956. Huhu kertoo, että kuningattaren painaessa "insinöörinappia" olisi henkilökunta väentänyt tehomittarin neulan ylös potentiometrissä. Oppaamme vain totesivat huhuun, että ydinreaktoria ei todellakaan voi käynnistää napin painalluksella.

Calder Hallin laitos täyttää tänä vuonna 42 vuotta. Laitoksen omistaa British Nuclear Fuels plc. Tekniikkaa on parannettu vuosien varrella siten, että reaktoreilla on vielä ainakin kahdeksan ajovuotta jäljellä 50-vuotiaiksi asti. Laitos tuottaa nykyään modernisointien ansiosta noin neljä kertaa enemmän sähköä kuin ensimmäisinä vuosinaan. Kun reaktorit tulevaisuudessa pysäytetään, seisovat ne suunnitelmien mukaan paikallaan museoina ainakin vuoteen 2050 asti.

### Laitoskierros

Vierailukeskuksessa meille jaettiin rintaan vierailukortit ja päähän kypärät. Oppaitten alustusten jälkeen nousimme linja-autoon, ja ensimmäiseksi suuntasimme kierroksemme kohti Calder Hallin neljää reaktoria. Valokuvaaminen oli ankarasti kielletty laitosaidan sisäpuolella, minkä poliisin tiukka kierros varmisti automme sisällä.

Linja-auto kiemurteli jyhkeiden lauhtustornien lomassa pysähtyäkseen kakkosreaktorilta turpiinille menevien höyryputkien alle. Meren läheisyys ja jäähdystornit olivat aluksi ristiriidassa keskenään. Selityksen torneille antoi kansallinen turvallisuus. Reaktorit kykenivät tuottamaan asemateriaalia, eikä ulkopuolisten tunkeutujien haluttu pääsevän merestä jäähdystyksen putkea pitkin laitokselle. Suolainen merivesi on myös altis aiheuttamaan ongelmia putkistoille.

Kypärät oli pidettävä tiukasti päässä aina ulkoillassa. Sisätiloissa ei niillä ollut ilmeisesti suurempaa työsuojelullista merkitystä. Leimauduimme laitoksen portista sisälle, ja tässä vaiheessa huomasimme, että henkilöllisyyksiämme ei ollut kukaan kyseenalaistanut. Seisoimme hetken hellyttävän pienen reaktorirakennuksen edessä. Jokainen ryhmämme jäsen varmasti suoritti mielessään pienen kumarruksen laitoksen ovelta osoittaen syvää kunnioitusta.

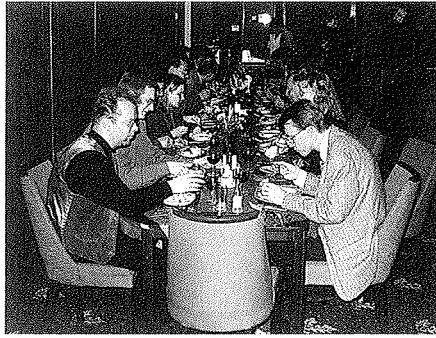
Reaktorirakennuksen kulmiin oli sijoitettu neljä eri väreä maalattua höyrystintä. Höyrystimet paistattelivat päivää avoimina ulkoillassa. Oppaidemme mukaan ulkona avoimesti seisovat höyrystimet ilman biologista suojaa ovat ongelma. Sadat pienet ja isommat putket höyrystimien ympärillä kertoivat omaa kieltään vanhojen pioneerireaktorien monimutkaisuudesta.

## Calderin tekniikka

Calder Hallin reaktorit ovat Magnox-tyyppisiä grafiittihidasteisia reaktoreita (GCR = gas-cooled reactor). Polttoaineena käytetään luonnonuraania, joka on ladattu magnesiumseoksesta (Magnox) valmistettuihin putkiin.

Grafiittisydämen koko on 9 x 7 metriä, jossa on noin 10 000 polttoaine-elementtiä. Jäähdytteenä käytetään hiilidioksidikaasua (CO<sub>2</sub>), jonka paine reaktoripiirissä on 6.9 bar ja lämpötila on höyrystimille mennessä 350°C. Jäähdytteen lämpötila laskee 155°C:een palatessaan reaktoriin. Reaktorirakennuksen ulkopuolella olevat höyrystimet luovuttavat jäähdytteen sitoman energian höyrylle, joka johdetaan putkia pitkin reaktorirakennuksen vieressä olevalle 50-luvun turpiinille.

Jokainen reaktori pystyy tuottamaan sähköverkkoon noin 50 MW sähköä omakäyttötehon ollessa noin 10 MW. Osa sähköstä kuluu Sellafieldin alueen toimintoihin,



Vierailijat illallisella Whitehavenissa.

mutta riittää myös ympäröivän seudun asutuksen ja teollisuuden tarpeisiin.

Kaasujäähdytystä pidettiin aikanaan vesijäähdytystä parempana. Jos vesi olisi jostakin syystä höyrystynyt, polttoaine-elementit olisivat jääneet ilman riittävää jäähdystä. Tämä ilmiö ei voi tapahtua kaasulle, sillä sen olomuoto pysyy ennallaan lämpötilasta riippumatta.

Reaktoreiden vuotuiset käyttökertoimet ovat keskimäärin 85%. Talvikuukausien aikana käyttökerroin on 99%, jolloin sähkön tarve on suurimmillaan. Vuosihuolto on 4 - 6 viikkoa. Vuosihuolto kestää kuusi viikkoa, jos polttoaineelle tehdään runsaasti reaktorin sisäisiä siirtoja.

## Turvallisuus

Matkamme aikana saimme usein vaikutelman, että turvallisuuskulttuureissa on Suomen ja Iso-Britannian välillä melkoisia eroavaisuuksia. Korkeasta iästään huolimatta Calder Hallin laitokset toimivat edelleen luotettavasti. Kuitenkin 42-vuotias laitos alkaa kärsiä jo lieviä vanhuuden oireita. Viimeisin pieni radioaktiivisen rikin vuoto havaittiin tämän vuoden alussa. Poikkeavasta tilanteesta johtuneita pikasulkuja ei tapahdu kovin usein. Viimeisin pikasulku tapahtui viisi vuotta sitten.

Ennakoituja, hallittuja pikasulkuja tehdään useammin.

## Valvomo ja instrumentointi

Laitoskierroksen lopuksi ryhmä poikkesi pikkuruisessa valvomossa. Valvomossa työskentelee yksi operaattori 1 - 2 tuntia kerrallaan. Valvomon layout ja instrumentointi olivat pääosin 42 vuoden takaista suunnittelua. Tärkeimmät hälytykset ja mitaukset olivat selvästi näkyvillä valvomon seinustan kaappeihin asennettuna. Operaattorin tuoilta kaikkia instrumentteja ei voinut nähdä, koska hänen paikkansa oli kor-

keiden pulpettien ympäröimänä. Tietokoneita oli näkyvissä kolme kappaletta, joista yhtä käytettiin prosessin valvontaan.

Polttoainevuodon havaitsemiseksi on käytössä alkuperäinen automaattinen kaasuanalysaattorijärjestelmä. Reaktori on jaettu neljään lohkoon, joita jokaista varten on oma erillinen analysaattorijärjestelmänsä. Muutama vuosi sitten oli ryhmä laitoksen suunnittelijoita vieraillut Calder Hallissa. Heidän suurin kysymyksensä oli kohdistunut juuri kaasuanalysaattorijärjestelmään:

"Vieläkö tämä järjestelmä toimii alkupe- räisessä muodossaan?"

Usko siihen, että suomalaisten ydinvoimalaitosten valvomot ovat erittäin uudenlaisia ja toimivia, vahvistui entisestään. Valvomojen tekniikka ja ergonomia ovat kehittyneet huimin askelin vuosien saatossa, vaikka sitä ei aina paikan päällä pysty pitämään mielessä.

## Lopuksi

Calder Hallin alkuvuosina tehtiin mittava määrä kokeellista työtä, joka on auttanut uudempien reaktorien ja polttoaineen kehityksessä. Calder Hallin laitokset olivat ekskursion luonnollinen jatkokohde Manchesterin Tekniselle museolle. Erotuksena oli vain se, että Calder Hall teki yhä sitä, miksi se oli alunperin rakennettukin.

Laitokselta oli mukava lähteä jatkamaan ekskursiota ainakin yksi varma tieto mukana: Tämän kauemmas historiaan ei kaupallisella ydinalalla voi enää mennä.

DI Matti Kaunisto,  
tietokoneinsinööri,  
prosessi- ja sydän-  
valvontaohjelmistot.  
Puh. (02)83811,  
matti.kaunisto@  
tvo.tvo.elisa.fi



DI Juha Miikkulainen  
automaatioinsinööri,  
valvomon kehitys-  
projektin koordinaattori.  
Puh. (02)83811,  
juha.miikkulainen@  
tvo.tvo.elisa.fi



# HEYSHAM 2 (Advanced Gas-cooled Reactor)



*Lancashiren rannikolla lähellä Lancasterin kaupunkia sijaitseva Heysham 2 ydinvoimalaitos oli kolmannen ekskursiopäivän avauskohde. Heysham 2 on British Energyn omistama toisen sukupolven AGR (Advanced Gas-cooled Reactor)-laitos. Se on tänä vuonna juhlinut 10-vuotissyntymäpäiväänsä.*

**E**kskursion kolmas työntäyteinen päivä alkoi tiikusateen merkeissä kello kahdeksan. Ajoimme läpi lammaslaumojen kohti Heysham 2 voimalaitosta, joka sijaitsee Lancashiren rannikolla noin 8 km Lancasterin kaupungista länteen.

Perillä saimme yllättävän käskyn tyhjentää linja-auto tavaroistamme, koska anivarhain heränneen ja meitä noutamaan saapuneen bussikuskin työkomennus päättyi voimalaitoksen pihalle. Olimme yllättäen ilman bussia ja kuskia. Evakuoimme matkalaukkumme Heyshamin 2:n vierailukeskukseen kypärävarastoon odottamaan uutta ajoneuvoa ja aloitimme tutustumisen voimalaitokseen hieman aikataulusta myöhässä. Laitosesittelyä varten varatussa kokoushuoneessa meidät vastaanotti erittäin ystävällinen erikoisprojektipäällikkö John Edwards. Vierailu alkoi tyypillisesti kahvitarjoilulla, jonka jälkeen John Edwards esitteli Heysham 2 voimalaitoksen omistavan yhtiön eli British Energyn (BE).

BE omistaa kahdeksan ydinvoimalaitosta, joista seitsemän on AGR-laitosta ja yksi

moderni PWR-laitos (Sizewell B). Nämä voimalaitokset vastaavat noin 20 % koko Iso-Britannian sähköntuotannosta. Laitosten käyttökustannukset ovat pienentyneet merkittävästi viime vuosien aikana ja vastaavasti käyttökertoimet parantuneet. Huono käytettävyys on ollut aikaisemmin varsinkin AGR-laitosten ongelmana.

Edwards korosti erityisesti yhtiön arvotuksia: voimalaitosten turvallisuuden takaaminen on ensisijaisen tärkeää yhtiölle, lisäksi yhtiössä painotetaan mm. avoimuutta (peer reviews), ammatillista ja henkilökohtaista rehellisyyttä sekä kehityksen kautta saavutettavaa tulosta. Näiden arvojen toteutumisen kautta pyritään laitospohjaisesti hyvään tulokseen ja laitosten häiriöttömään käyttöön.

Kuulimme kattavat esitykset tutustumiskohteestamme Heysham 2 voimalaitoksesta John Edwardsin sekä AGR-laitoksen teknikasta Mike Fennan esittäminä, joista pääkohdat on esitetty myöhemmin. Myös laitoksen johtaja John Calnan piipahti paikalla ja piti pienen tervetuliaispuheen. Lopuksi



meille kerrottiin radioaktiivisten jätteiden käsittelystä sekä esiteltiin laitosta laitoskierroksen merkeissä.

## Voimalaitostietoutta

Englantilaiset ovat kehittäneet toisen sukupolven AGR-reaktorityypin kaasujäähdytystä Magnox-reaktorista. Hidastimena AGR-reaktorissa käytetään grafiittia ja jäähdytteenä hiilidioksidia. Grafiittihidastin koostuu grafiittitiilistä, joissa on kanavat polttoainetta, säätösauvoja ja paineistettua CO<sub>2</sub>-jäähdytettä varten. Paineastia on esijännitetystä betonista valmistettu, useita metrejä paksu ja toimii myös biologisena suojana. Paineastian sisällä ovat mm. reaktorin sydän, höyrykattilat ja kaasunkiertäytyspumput. Reaktorin suoritusparametreja on parannettu luopumalla luonnonuraanin käytöstä ja siirtymällä vähän väkevöidyn UO<sub>2</sub>:n käyttöön polttoaineena uraanimetallin sijasta, jolloin suojaakuumateriaaliksi on voitu valita ruostumaton teräs.

Heysham 2 voimalaitos koostuu kahdesta AGR-reaktorista, joista kumpikin on sähkötehoaltaan 660 MW sekä lämpötehoaltaan 1625 MW. Voimalaitos on otettu käyttöön vuonna 1988. Reaktorin sydän muodostuu grafiittihidastinsylinteristä, jossa on 332 polttoainekanavaa. Kussakin polttoainekanavassa on 8 polttoaine-elementtiä ja edelleen polttoaine-elementit muodostuvat 36 polttoainesauvan nipusta. Yhdessä polttoainesauvassa on 66 pellettiä. CO<sub>2</sub>-jäähdytetäkierrätetään kaasunkiertäytyspumpuilla

keskimäärin 40 bar paineessa. Jäähdytteen virtaus on 3900 kg/s. Hiilidioksidijäähdytteen sitoutunut lämpö muutetaan höyryksi neljässä höyrykattilassa, joista ulos tulevan tulistetun höyryn paine on n.170 bar ja lämpötila 540°C.

Laitoksen suunnittelussa on pyritty todennäköispuhujaisiin menetelmin arvioitua riskin minimointiin. Siten termit diversiteetti, redundanssi ja erottelu ovat laitokselle ominaisia. Esimerkkinä diversiteetistä voidaan mainita laitoksen pikasulkujärjestelmät. Heysham 2 reaktorien primäärinen pikasulkujärjestelmä koostuu 89 säätösauvasta sekä ajolaitteista, jotka on sijoitettu reaktorin yläosaan. Pikasulkujärjestelmän vikaantumisen varalle on rakennettu kaksi ns. sekundääristä pikasulkujärjestelmää. Primäärinen pikasulkujärjestelmän vikaantua sydämen nopea sammuminen saadaan aikaan siten, että 163 sydämen välikanavaa täytetään nopeasti tyypellä sydämen alaosasta. Hitaampi sydämen sammutus saadaan aikaan boorijärjestelmän avulla, mikäli sydämeen ei saada riittävästi säätösauvoja ja samalla tyypin paine on liian alhainen.

Heysham 2 voimalaitoksen käyttökertoimet ovat parantuneet huomattavasti laitoksen käyttöänsä aikana. Jaksolla 1997/98 käyttökerroin oli 82 %. Laitoksella on pyritty siirtymään kahden vuoden vuosihuoltojaksoista kolmen vuoden jaksoihin. John Edwards mainitsi vieraillessa muutama vuosi sitten Olkiluodossa tutustumassa Olkiluodon laitosten vuosihuoltokäytäntöön. Hän kertoi, että suurin ero Heyshamin ja Ol-

kiluodon laitosten vuosihuoltojen välillä oli silloin Olkiluodon vuosihuoltojen mittava ennakkosuunnittelu ja henkilökunnan kontrolloitu toiminta seisokin aikana, joista myös Heyshamissa sittemmin on otettu mallia. Muutama vuosi sitten alle 30 päivän seisokkia pidettiin mahdottomuutena, mutta mm. järkevän ennakkosuunnittelun ansiosta vuonna 1995 seisokki pituudeksi saatiin 35 päivää ja 1997 jopa 26 päivää. Seisokit ovat pääasiassa huoltoseisokeita, koska polttoaineen lataus ei vaadi reaktorin sammuttamista. Heysham 2 voimalaitoksen tavoitteena on tuottaa sähköä 10 TWh vuodessa.

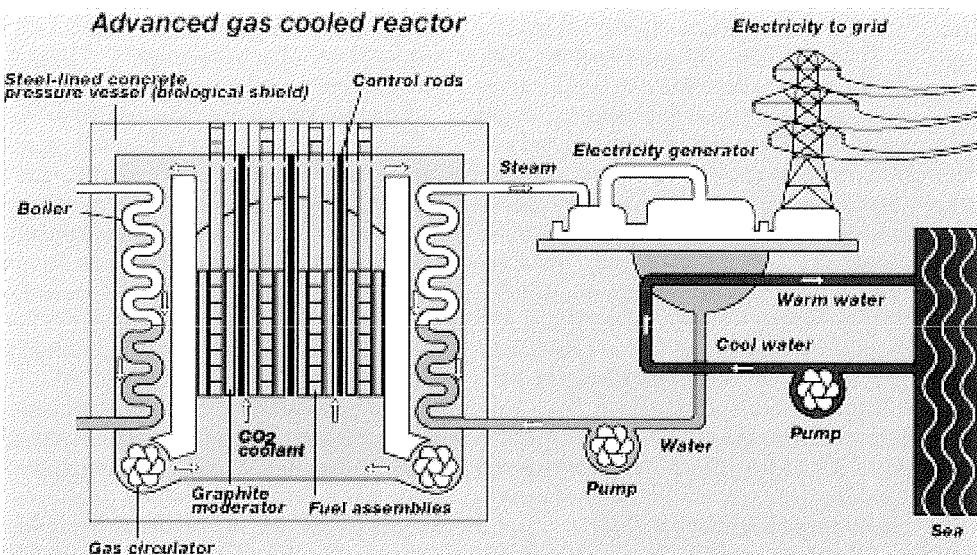
## Ympäristöstä ja jätteistä

Heysham 2:lla on panostettu radioaktiivisten jätteiden määrän vähentämiseen. Tätä varten perustettiin vuonna 1994 erityinen työryhmä, "Radioactive Waste Management Team". Erityisesti ryhmä panosti kiinteiden matala-aktiivisten jätteiden määrän vähentämiseen. Yleinen lähestymistapa kaasua- ja nestemäisten matala-aktiivisten jätteiden käsittelyssä on suodattaa, laimentaa ja päästää ne ympäristöön. Kiinteät jätteet, kuten ioninvaihtomassat, suodattimet ja muu voimalaitosjäte, puristetaan tynnyreihin, lähetetään Driggisiin Cumbriaan ja haudataan maahan. Keskiaktiivinen jäte kerätään ja varastoidaan laitospaikalle. Laitosten tehoajan aikana suurin osa radioaktiivisesta jätteestä syntyy säteilytetystä polttoaineesta. Käytetty polttoaine kuljetetaan kuljetuspulloissa Sellafieldiin jälleenkäsittelyä varten.

Ympäristötietoisuudesta kertoo myös se, että Heysham 2 ydinvoimalaitokselle on myönnetty ISO 14001 sertifikaatti. Mainitsemisen arvoinen asia on myös laitoksen alaiset säteilyannokset. Vuoden 1997 keskimääräinen säteilyannos työntekijää kohti (0,17 mSv) oli maailman ydinvoimalaitosten alhaisin. Korkein yksittäinen annos sinä vuonna oli 1,55 mSv.

## Laitoskierros

Laitoskierrosta varten meidät jaettiin kolmeen ryhmään. Ensimmäisenä tutustumiskohteena oli laitoksen upouusi simulaattori, joka oli otettu käyttöön huhtikuussa 1998. Näimme myös vuosihuoltoryhmää varten



Advanced Gas-cooled Reactor AGR.



rakennetut tilat sekä uuden koulutuskeskuk-  
sen.

Simulaattorilta jatkoimme turbiinihalliin. Turbogeneraattorisetti muodostuu yhdestä korkeapaine-, yhdestä keskipaine- ja kahdesta matalapaineturbiinista sekä generaattorista. Setin pyörimisnopeus on 3000 kierrosta minuutissa. Lauhdutin on ns. kertakulkuinen lauhdutin. Täydellä teholla merivesivirtaus lauhduttimen läpi on noin 1500 m<sup>3</sup> minuutissa. Turbiinihöyryllä ja merivedellä ei ole suoraan kosketusta toisiinsa vaan höyrykattiloiden ja lauhduttimen välillä vesi kiertää suljetussa piirissä.

Näimme ilmanpoistimen, jonka tehtävänä on poistaa ilmaa suljetun välipiirin vedestä ja toimia samalla myös syöttöveden esilämmittimenä. 4-vaiheinen matalapaineinen syöttöveden esilämmitys yhdessä ilmanpoistimen kanssa antaa syöttöveden loppuliseksi lämpötilaksi ennen höyrykattiloi-  
ta 158 °C.

Poikkesimme keskusrakennuksessa, jossa näimme latauskoneen, jonka paino on yli 1300 tonnia. Latauskone on molemmille reaktoreille yhteinen ja se on suunniteltu käsittelemään sekä polttoainetta että säätösauvoja. Reaktorista poistettua, käytettyä polttoainetta säilytetään ja jäähdytetään ensin 56 päivää paineistetuissa tiiviissä putkissa ja sen jälkeen 100 päivää tynnyreissä jäähdytysaltaissa. Käytetty polttoaine kuljetaan kuljetuspulloissa Sellafieldiin jälleenkäsittelyä varten.

Tutustuimme lasi-ikkunan takaa laitoksen valvomoon. Samaan tilaan oli rakennet-



*Ekskursiolaiset tutustumassa Heysham 2:n polttoaineniippuun.*

tu identiset valvomopulpetit molemmille yksiköille. Tämän jälkeen tutustuminen Heysham 2 voimalaitokseen alkoi olla loppusuoralla. Kun meidät ja muistiinpanovälineemme oli ulosmitattu laitoksesta onnistuneesti säteilymittareilla, siirryimme takaisin neuvotteluhuoneeseen ja oli loppusanojen aika.

Molemmat osapuolet vaikuttivat tyytyväisiltä vierailuun ja meitä ilahdutti erityisesti se, että tunsimme olleemme tervetulleita ja että isännät olivat panostaneet vierailuun. Kun ATS:n viiri oli vaihtanut omista-

jaa, siirryimme tarkastamaan kuljetustilanteemme.

Meitä noutamaan oli saapunut pienehkö linja-auto ja matka seuraavalle paikkakunnalle Chesteriin sujuikin matkalaukkumessä matkustaen. Mutta tiivis tunnelma oli kaikesta huolimatta erinomainen !

### Heysham 2 voimalaitoksen virstanpylväitä ja saavutuksia

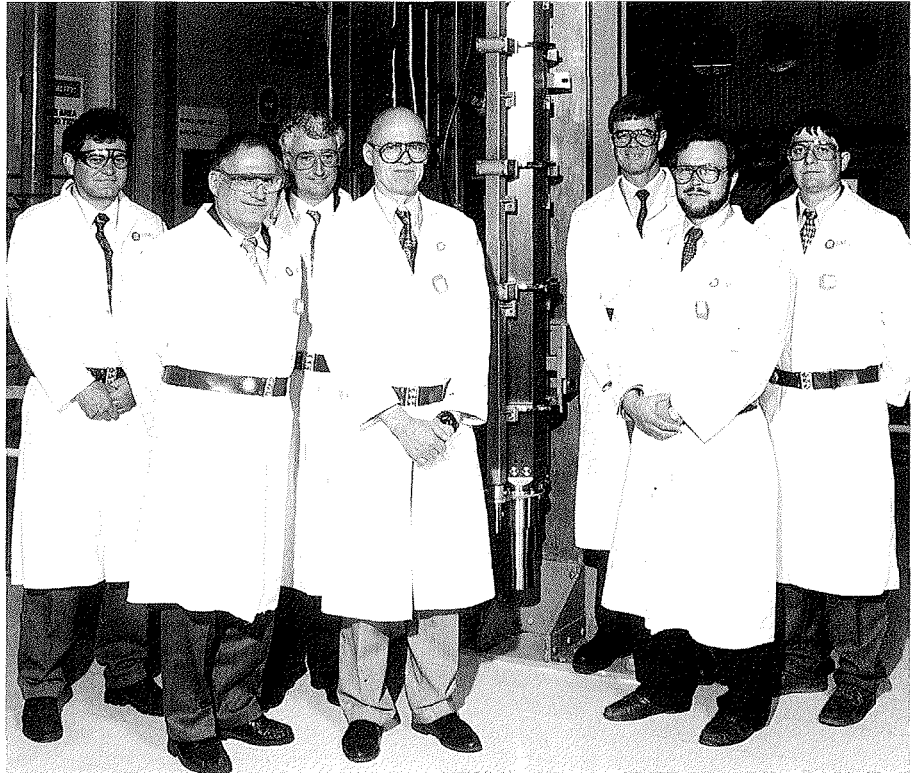
- \*1979 alustavat työt Heysham 2:n laitospaikalla aloitettiin
- \*1980 Heysham 2 voimalaitoksen rakennustyöt aloitettiin
- \*1988 maailmanennätys Heysham 2:lle: lyhin laitoksen käyttöönottoaihe, täyteen suunnittelutehoon 44 päivässä
- \*12.7.1988 ensimmäinen yksikkö (yksikkö 7) tuottaa sähköä valtakunnan verkkoon
- \*11.11.1988 toinen yksikkö (yksikkö 8) tuottaa sähköä valtakunnan verkkoon
- \*1991 Heysham Power Stations saa "PA Golden Leaf Award"-palkinnon erinomaisista ympäristöllisistä saavutuksista
- \*Maaliskuu 1992, Heysham 2 tuottaa 1 terawattitunnin viidessä viikossa, mikä on ainutlaatuista Englannin laitoksille
- \*Marraskuu 1992, Heysham 2 tuottaa 1380 MW, joka korkein teho, jota Englannin laitoksilla on koskaan tuotettu
- \*Syyskuu 1994, yksikkö 7 tuottaa sähköä yhtäjaksoisesti 331 päivää
- \*Lataus reaktorin ollessa tehoajolla - elokuu 1994-helmikuu 1996
- \*Lyhin AGR-laitosten lakisäätöinen seisokki < 36 päivää 1994/96
- \*Pisin AGR-laitosten yhtäjaksoinen käyttö 331 päivää
- \*Syyskuu 1995, käyttökerroin 98,5% kolmanneksi paras maailmassa
- \*1996/97 laitos tuottaa 3 % koko valtakunnan sähköntarpeesta

DI Marjo Mustonen  
toimii Teollisuuden  
Voima Oy:n turvali-  
suusinsinöörinä.  
Puh. (02) 83813223,  
Marjo.Mustonen@  
tvo.tvo.elisa.fi



# BNFL Springfields Fuel Division

*Ydinenergiatuotannossa British Nuclear Fuels Limited (BNFL) kattaa lähes koko polttoainekierron Springfielдин polttoainetehtaasta ja vanhojen Magnox - reaktoreiden käytöstä aina Sellafieldin käytetyn polttoaineen käsittelyyn. BNFL:n toimintaan liittyy myös uraanipolttoaineen omistus ja hallinnointi sekä oma engineering-toiminta. Vierailun kohde, BNFL Oxide Fuel Complex (OFC), on yksi maailman harvoista laitoksista, joissa ydinvoimalaitoksien polttoaine valmistetaan. Laitos on moderni, pitkälle automatisoitu kompleks, valmistunut v. 1996, ja kykenee tuottamaan polttoainetta englantilaisiin Magnox ja AGR voimalaitoksiin samoin kuin maailman LWR laitoksiin. Sekä BNFL:n OFC - tuotantolaitoksen ja URENCON uraanirikastamon yhteisiä piirteitä olivat uudet modernit tuotantolaitokset, joiden uudella teknologialla pyrittiin markkinoiden valtaamiseen vanhemmilta, vakiintuneimmilta tuottajilta ja toimittajilta. Viimeisin laajenemiskohde polttoainealalla on VVER polttoaineen toimitussopimukset IVOn ja Paksin kanssa. Maaliskuussa 1996 Imatran Voima Oy ja unkarilainen Paksin ydinvoimalaitos allekirjoittivat BNFL:n kanssa sopimuksen VVER-440 polttoainepuun suunnittelusta, lisensoimisesta ja viiden ensipurin toimittamisesta Loviisan reaktoriin. Nämä viisi nippua valmistuivat kesäkuussa 1998 ja vuosihuoltoisokissa ne ladattiin Loviisa-2:n reaktorisydämeen.*



*IVOn edustajat tarkastuskäynnillä Springfielдин tehtaalla.*

**S**pringfielдин tuotantolaitos sijoittuu polttoainekierrossa uraanin rikastuksen ja ydinvoimalaitoksen väliin. Tuotantoteknisesti laitos sisältää osin kemiallisia prosesseja sekä perinteisempää metalliteknistä ja kokoonpanotoimintaa. Laitos jakautuu selvästi kahteen osaan, alkupään uraaniheksafluoridin ja -dioksidin käsittelyyn, sekä loppupään polttoaine-elementtien kokoonpanovaiheeseen. Tarvittaessa kokoonpanolinja pystyy mukautumaan erilaisten polttoainetyypin valmistukseen, sikäli kun AGR- ja LWR-tuotantojen kysyntäsuhteet muuttuisivat nykyisestä. LWR-osuus tällä hetkellä on kuitenkin vain 8 % koko kapasiteetista ja on siten ilmeinen laajenemisaue laajempien markkinoidensa vuoksi. Teknisesti eri polttoaineiden tuotantolinjat poikkeavat toisistaan; LWR-polttoaine-elementti koostuu sileistä polttoainesauvoista, yksinkertaisista metallirakenteista, jotka pitävät sauvan koossa ja liittyvät voimalaitoksen reaktorisydämen rakenteisiin sekä virtaus-tekniisistä osista jotka ohjaavat jäädytteen virtausta reaktorin läpi. AGR- ja Magnox-polttoaineet poikkeavat sekä materiaaleiltaan ja rakenteeltaan merkittävästi tästä.

## Polttoaine-prosessi

Laitos saa raaka-aineensa, uraaniheksafluoridin ( $UF_6$ ), tynnyreinä, joista materiaali siirretään kaasumaisena suoraan valmistusprosessiin. Laitos prosessoi useita tuhansia tonneja uraania vuodessa. Kriittisyysongelmien ja  $UF_6$ -materiaalin ja veden reaktioherkkyyden takia kaasutukseen tarvittavat autoklaavit lämmitetään sähköllä käyttäen ilmaa väliaineena eikä höyryllä, joten uraaniheksafluoridin ja vesihöyryn kosketukset vuodon sattuessa vältetään.  $UF_6$  prosessoidaan uraanidioksidiksi ( $UO_2$ ) uunissa, josta ruuvikuljetin siirtää materiaalin sekoittimeen. Sekoittimessa materiaalin rikastusastetta voidaan muuttaa sekoittamalla rikkaampaa (tai köyhempää) uraanidioksidia halutun rikastuksen aikaansaamiseksi. Uraanioksiditynnyrit varastoidaan edelleen automaattivarastoon, josta jatkossa mikä tahansa erä voidaan hakea uudelleen sekoittukseen tai edelleen tuotantoon.

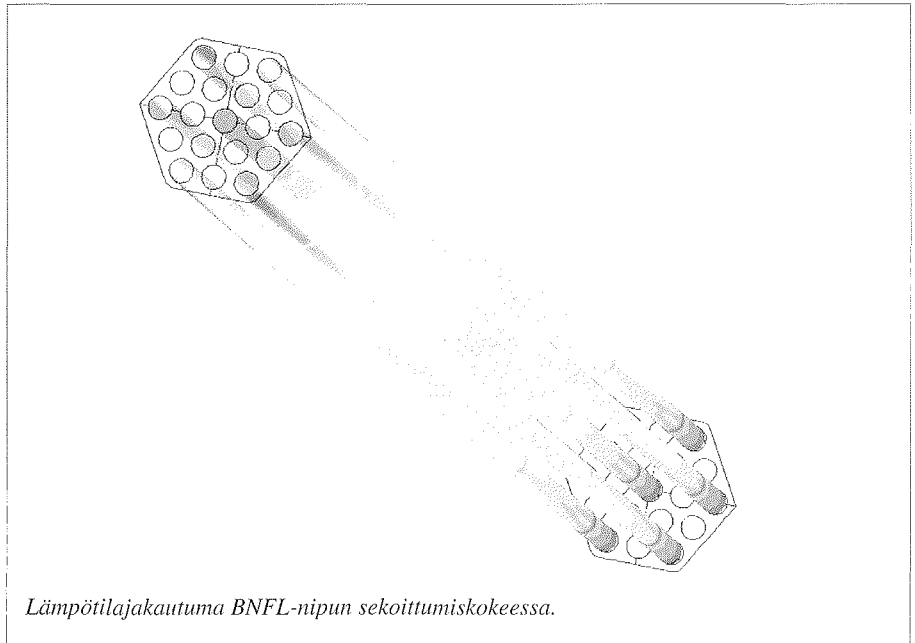
Polttoainesauvan sisällä olevat uraanipelletit puristetaan uraanidioksidista eräänlaisessa revolveripuristimessa, joka pyöriessään täyttää muotin uraanidioksidilla ja puristaa sen pelletiksi. Robotit noukkivat pel-

letit tarjottimille, jotka siirretään edelleen polttouuniin, jossa pellettien pinta sintrataan. Uunin yhteydessä on suuri puskurivarasto, jonka keskellä robotit huiskivat kuin jonglöörit siirrellen tarjottimia varastouuneihin ja ulos uuneista, kunnes tuotannon loppupää pystyy nielemään sintratut pelletit. Revolveripuristimen muotilla määrätään myös pelletin muoto. Esimerkiksi AGR-pelletin keskellä on reikä, kun taas tavallisessa LWR-polttoaineessa pelletti on umpinainen. Puristimen kapasiteetti on suuri, vuodessa laitos tuottaa yli 33 miljoonaa pellettiä polttoaineen tuotantoon.

Uunista pelletit siirtyvät hiottavaksi ja tarkastettaviksi. Siirto ja lajittelu on järjestetty eräänlaisilla täryttimillä, joissa pelletit kulkeutuvat suuntaan, jonka määrää täryttimen kaukalon pinnassa olevan maton kuitujen suunta. Menetelmä on hienovarainen, eikä vahingoita pellettien pintoja. Hionnassa poistetaan pellettien pinnasta mahdolliset puristusjäysteet, parannetaan pellettien geometriaa, jotta ne voidaan pujottaa sauvan sisälle ja osaan AGR-polttoainepellettejä hiotaan poikittainen ura. Näitä urapellettejä käytetään pellettien asemointiin putken sisällä, ja vain joka neljännessä pelletissä on tällainen ura. Pelletit myös tarkastetaan ja mitataan, mm. tiheys mitataan punnitsemalla pelletit vedessä. Koko tämä osuus on tarkkaan eristetty ulkomaailmasta ja automatisoitu, manuaalisia toimenpiteitä varten mahdollisiin työpisteisiin on sijoitettu "glove box":eja, joiden avulla rajoitettuja toimenpiteitä voidaan tehdä rikkomatta eristetyn alueen rajapintaa. Tämä uraanin käsittelyprosessin eristäminen tarjoaa BNFL:lle mahdollisuuden kierrättää uraania Sellafiel-din polttoaineen jälleenkäsittelystä takaisin polttoaineen valmistukseen ja tietysti myös pienentää työntekijöiden säteilyaltistusta. Varsinaisia työntekijöitä kierroksen aikana näkyi vain muutama, polttoainetehtaan työntekijöiden pääasiallinen velvollisuus on ilmeisesti vain valvomon näyttöjen tuijottelu. Koko tehdasta pyöritetään viidessä vuorossa, joissa yhdessä vuorossa väkeä on noin 20 henkilöä.

## Elementtien valmistus

Prosessoinnin jälkeen linjat jakautuvat sen mukaisesti, tehdäänkö AGR -vai LWR-polttoainetta. AGR-polttoainesauvat kootaan si-



Lämpötilajakautuma BNFL-nipun sekoittumiskokeessa.

joittaen uritetut polttoainepelletit sauvoihin aina neljän pelletin välein. AGR-polttoaine sisältää vain yhden väkevöintiasteen uraani-dioksidiä. Kokoonpanolinjalla puristetuista grafiittikuorista ja rivotetuista polttoainesauvoista valmistetaan sylinterimäisiä noin metrin pituisia elementtejä, joihin palavat gadolinium-myrkyt sijoitetaan elementin runkoon. Näitä AGR-polttoainetta käyttäviä laitoksia on vain Britanniassa, joten BNFL samalla hallitsee monopolina koko markkina-aluetta. Tällä alueella työntekijöitä oli selvästi enemmän, tosin automaatiikka hoitelle edelleenkin suurimman osan töistä.

LWR-polttoainelinja on edellistä vastaava. sauvojen toinen pää hitsataan, pelletit sijoitetaan automaattisesti sauvojen sisälle ja toinenkin pää hitsataan umpeen. Sauvojen hitsisaumat kuvataan röntgenillä. Sauvat koeponnistetaan vuotojen havaitsemiseksi ja varsinaiset elementit kootaan jigien avulla sauvoista ja elementin rungon puolivalmisteista. Valmiit elementit merkitään laserilla hapen avulla, jotta saavutetaan riittävä kontrasti harmaata metallia vasten. Tämä osa laitoksesta on samankaltainen kuin ABBn vastaava Västeråsissa, ilmeisesti tuotantoinsinöörien ajatukset ympäri maailmaa kulkevat samoilla raiteilla.

## BNFL:n VVER-polttoainekehitys

Maaliskuussa 1996 Imatran Voima Oy ja unkarilainen Paksin ydinvoimalaitos allekirjoittivat BNFL:n kanssa sopimuksen

VVER-440 polttoainepipun suunnittelusta. lisensoimisesta ja viiden ensinipun toimitamisesta Loviisan reaktoriin. Nämä viisi nippua toimitettiin Loviisan YVL:lle heinäkuussa 1998 ja ne ladattiin Loviisa-2:n reaktorisydämeen tämän vuoden revisiossa.

Ennen sopimuksen syntymistä BNFL oli voittanut tarjouskilpailun, johon osallistivat johtavat länsimaiset LWR-polttoainevalmistajat. Tehty sopimus sisälsi suunnittelu- ja lisensointiaineiston toimittamisen IVOlle ja Paksille sekä viiden ensinipun toimittamisen Loviisaan. Sopimuksen myötä BNFL on nyt toinen kvalifioitu VVER-440 polttoaineen valmistaja maailmassa. Kun lisäksi Westinghouse on valmistanut VVER-1000 polttoainetta Temelinin voimalaitokselle Tshekissä, ja kun BNFL on toinen Westinghousen ydinteknisten osien pääostajista, niin BNFL:n hallinnassa on sekä VVER-440 että -1000 polttoaineen valmistus Venäjän ulkopuolella. Kilpailutilanteessa BNFL lukee edukseen polttoaineen toimituksen luotettavuuden ja polttoaineen laadun. Käyttäjille uudesta tilanteesta on sekä strategista hyötyä Venäjän taloudellisen ja poliittisen epävarmuuden takia että taloudellista hyötyä kilpailutilanteen synnyttyä.

Projektin aikana BNFL kehitti täysin uuden VVER-440 polttoaineen, joka nimettiin NOVA-E3:ksi (New Optimised VVER Assembly Enhanced). Polttoaineen kehitystyö on pitänyt sisällään useita vaiheita suunnitteluparametrien optimoimiseksi. Polttoaineen käyttäytymistä reaktoriolosuhteissa on



*Viirin luovutus IVO - PAKS sopimuksen vastuulliselle, Dave Coucillille.*

tutkittu termohydraulisilla kokeilla. Lisäksi on tehty mekaanisia kokeita, joilla on tutkittu polttoaineen kestävyyttä niin normaalitoiminnassa reaktorissa kuin myös kuljetuksen ja käsittelyn aikana. Kokeiden ohessa on suoritettu myös laajaa analyysityötä. Kehitystyö on ollut samalla perustana uuden polttoaineen ensinippujen lisensoimiselle. Säteilyturvakeskus hyväksyi syyskuussa 1998 uuden polttoainetyypin lataamisen Loviisa-2 reaktoriin.

Termohydrauliset kokeet suoritettiin Columbian yliopistossa New Yorkissa HTRF-laitteistolla, joka on suunniteltu lämmönsiirtoilmiöiden tutkimista varten. Kokeissa tutkittiin polttoainepinon painehäviöitä, kriittistä lämpövuota, alikanavasekoittumista, virtauksen stabiilisuutta usealla eri kokeella varioimalla parametrejä, ja lisäksi tehtiin 1000 tunnin virtauskoe. Tulokset täyttivät BNFL:n ja asiakkaan hyväksymiskriteerit.

Englantilainen yritys Bodycote Materials Testing Ltd suoritti kaikki mekaaniset kokeet, joilla haluttiin varmistaa, että polttoaine kestää kuljetuksen ja käsittelyn sekä varsinaisen käytön aikana tulevat rasitukset. Useat eri yksityiskohdat testattiin erikseen. Mm. tukihilan jäykkyyttä testattiin maanjäristys- ja onnettomuustilanteita vastaavissa olosuhteissa. Yleisesti ottaen testattiin jäykkyyttä, lujuutta ja värähtelyjä. Värähtelykokeita tehtiin polttoainepinulle ja -sauvalle sekä ilmassa että vedessä. Koetuloksien perusteella komponentteihin kohdistuvat jännitykset ja muodonmuutokset olivat hyväksyttävissä.

Kaikista uudessa polttoaineessa käytettävistä materiaaleista on jo aikaisempaa koke-

musta kevytvesireaktoriolosuhteissa. Suoja-kuoren materiaalina käytetään Zircaloy-4:ää, joka on testattu perusteellisesti yli 400 °C:een lämpötilassa hyväksyttävien tuloksin. Yksi merkittävä tekijä suojakuoren vaurioitumisen kannalta on sen oksidoituminen. BNFL on arvioinut tehtyjen kokeiden perusteella, että VVER-laitosten primääri-vesikemia aiheuttaa vähemmän suojakuoren oksidointia kuin länsimaisissa painevesireaktoreissa, missä Zircaloy-4:ää on käytetty menestyksekkäästi jo useita vuosia.

Polttoaineen suunnittelukriteerit valittiin siten, että ne täyttivät Suomen YVL-ohjeiden lisäksi BNFL:n omat. IVO:n ja Paksin kanssa tehdyn sopimuksen ja USAn viranomaisten vaatimukset. Kriteerien täyttyminen varmistettiin edellä kuvatuilla menetelmillä ja analysoimalla tietokoneohjelmilla. BNFL käytti pääasiassa VIPRE, CASMO-HEXBU ja KARATE ohjelmia reaktorisydämen tasapainotilan ja transientti-tilanteiden analysoinnissa. Polttoainesauvan ja pinon suunnittelussa käytettiin tietokoneohjelmia ANSYS, DYNA3D ja ENIGMA-B.

Muiden analyysien lisäksi tehtiin kuumakanavan turvallisuusanalyysijä, jotka suoritti englantilainen konsulttifirma NNC. Kolme erilaista transienttia laskettiin. Ensimmäinen oli suuri jäädytysmenetys onnettomuus, joka analysoitiin NNC:n NLOCB-koodilla. Toinen oli säätösauvan sinkoutuminen ja kolmas säätösauvaryhmän ulosveto ilman reaktorin pikasulkua. Kussakin tapauksessa reunaehdot saatiin IVO Power Engineeringin Loviisan modernisointianalyysistä. Kaikki kuumakanavan analyysit täyttivät hyväksymiskriteerit.

Koska Loviisan ja Paksin voimalaitokset poikkeavat toisistaan toiminnaltaan ja turvallisuuskriteereiltään, niin niille ei voitu käyttää täysin samanlaista polttoainetta. Loviisalle koko sydämen laskelmat suoritettiin HEXBU-3D ohjelmalla ensinippuja varten. Paksia varten vastaavat laskut tehtiin KARATE-ohjelmalla. Ensinippujen väkevöintiaste on valittu siten, että niiden lämpöteho ei poikkeaisi samaan aikaan reaktorissa pääasiassa olevasta venäläisestä polttoaineesta. Jakson alun mittauksien perusteella tämä on onnistunut myös käytännössä. Mikäli ensinippujen säteilytys Loviisassa sujuu odotusten mukaisesti on BNFL varteentotettava kilpailija tulevia polttoainehankintoja harkittaessa.

Kaiken kaikkiaan, laitos tarjosi siistin ulkokuvan tehokkaasta ja modernista laitoksesta, jonka tulevaisuuden voi sanoa olevan valoisa. mikäli LWR-polttoainemarkkinoiden valtaaminen onnistuu. Myös ympäristöasioihin oli kiinnitetty huomiota; laitoksen ilmastonin päästöjä ulkopuoliseen ympäristöön tarkkaillaan keräämällä valumavedet koko tehdasalueelta yhteiseen viemäristöön, jonka päästöarvoja seurataan jatkuvasti. Uloslähtiessä päässä soi sisätiloissa jatkuvasti kaikuva kriittisyyshälyttimen mekaaninen vaakkuminen. Ääni kuuluu, kun asiat ovat kunnossa, joten siihen on syytä tottua. Kuulemma viikon oleskelu riittää; toivottavasti.

*DI Seppo Tarkiainen  
on IVO PE:n  
suunnitteluinsinööri.  
Puh. (09) 8561 2460,  
seppo.tarkiainen@  
ivo.fi*

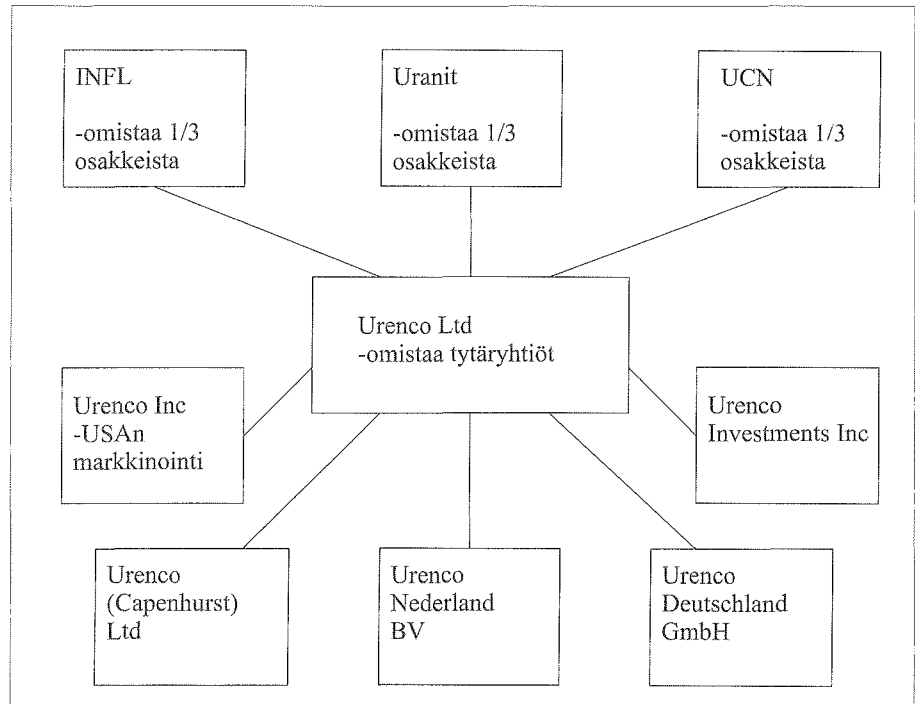


*DI Herkko Plit toimii  
IVO PE:n suunnitteluinsinöörinä ja ATS:n  
ekskursiosihteerinä.  
Puh. (09) 8561 2644,  
herkko.plit@ivo.fi*



# Urenco Group

*Urenco Ltd on maailman neljänneksi suurin uraanin väkeväntipalvelujen tuottaja ja myyjä. Vierailukohteemme oli Capenhurstissa, Chesterin lähellä sijaitseva, modernia sentrifugitekniikkaa käyttävä väkeväntilaitos, jossa tutustuimme Urencon historiaan ja kävimme eri sukupolvia edustavissa sentrifugilaitoksissa.*



Urenco Groupin rakenne

Urencon historia alkaa 4.3.1970, jolloin Hollannin, Saksan ja Yhdistyneen Kuningaskunnan hallitukset kirjoittivat sopimuksen yhteistyöstä kaasusentrifugimenetelmän tutkimisessa ja hyödyntämisessä väkeväntipalvelujen valmistuksessa. Sopimus tehtiin Almellossa, Hollanissa.

Urenco Group tarjoaa nykyisin uraanin väkeväntipalveluja maailmanlaajuisesti voimalaitosoperaattoreille. Pääkonttori on Marlowssa Englannissa. Tuotantolaitokset, joissa Urenco käyttää ainoastaan sentrifugitekniikkaa, sijaitsevat Almellossa Hollanissa, Grönaussa Saksassa ja Capenhurstissa Englannissa. Lisäksi Saksan Jülichissä on tutkimuslaitos, jossa tutkitaan kehittyneitä sentrifugeja.

Urenco Groupin muodostaa kolme yri-tystä, INFL, Uranit ja UCN, jotka omistavat tasaosuuksin Urenco Ltd:n. Urenco Ltd on kolmen väkeväntilaitoksen (Urenco (Capenhurst) Ltd, Urenco Deutschland GmbH ja Urenco Nederland BV) omistaja. Se omistaa myös yhtiöt Urenco Inc ja Urenco Investments Inc, joiden toimialaan liittyvät markkinointi, sopimukset ja hallinnointi sekä holding-toiminta. Urenco Inc toimii Yhdysvalloissa Washingtonissa ja hoitaa erityisesti Yhdysvaltojen markkinointia.

## Urencon asema markkinoilla

Tällä hetkellä maailman väkeväntipalvelujen kysyntä on n. 35 000 000 SWU (Separative Work Unit). Pitkällä tähtäimellä tässä ei ole odotettavissa suuria muutoksia ja jälleenkäsitellyn uraanin määrän odotetaan pysyvän pienenä. Väkeväntipalvelujen markkinat jakautuvat alueittain siten, että USAn osuus on 32%, Euroopan 31%, Venäjän ja entisten IVY maiden 18%, Aasian 18% ja muulle maailmalle jää 1%.

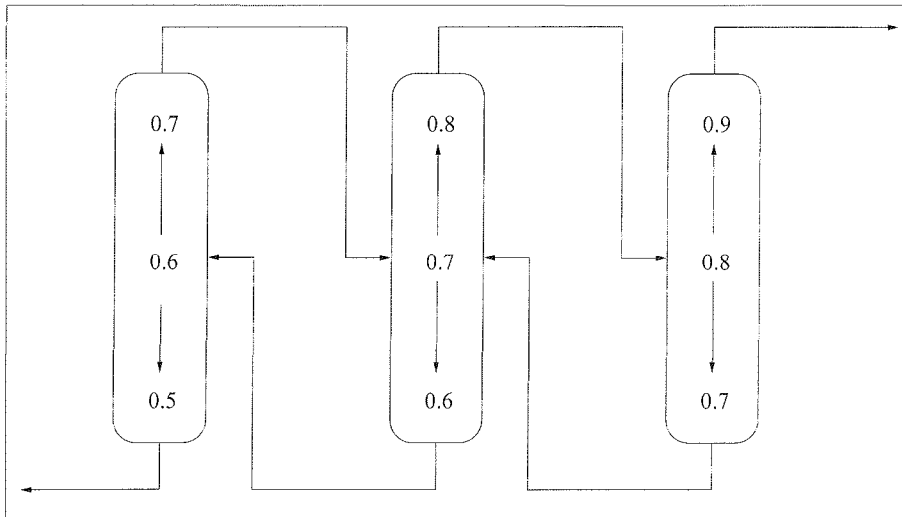
Urenco on alansa neljänneksi suurin yhtiö markkinaosuudellaan ja samoin neljänneksi suurin tuotantokapasiteetiltaan. Sillä on nykyisin koko kapasiteetti käytössä ja uutta kapasiteettia ei asenneta, ellei saada uusia sopimuksia. Urencon markkinaosuus on 11% ja vuosituotanto oli vuonna 1997 reilut 3500 tSW (1000kg of Separative Work= 1000 Separative Work Unit). Suomeen Urenco toimittaa tänä vuonna n.60 tSW.

## Urenco (Capenhurst) Ltd

Ekskursiollamme vierailimme Urencon Englannin laitoksella, joka sijaitsee Capenhurstissa muutaman kilometrin päässä Chesterin kaupungista. Aloitimme yri-tyssittelyllä, jossa käytiin läpi Capenhurstin alueen historia ja erityisesti Urencon historia alueella. Saimme myös katsauksen väkeväntipalvelujen markkinatilanteesta ja Urencon käyttämän kaasusentrifugimenetelmän esittelyyn. Sen jälkeen kävimme kahdessa laitoksessa, E22:ssa ja E23:ssa, joista E23 edustaa viimeisintä teknologiaa.

Ensimmäinen kaupallinen sentrifugilaitos Capenhurstissa avattiin 1976. Tämä laitos tunnetaan nimellä E21 ja se oli toiminnassa menestyksekkäästi vuoteen 1991 asti, jolloin se suljettiin. Seuraava laitos, E22, avattiin 1982. Laitokseen lisättiin kapasiteettia asteittain vuoteen 1992 asti. Kolmas laitos on A3, joka otettiin käyttöön 1995. Neljäs laitos (E23) on jo käynnissä, mutta kapasiteettia on vara vielä lisätä, kuten laitoskierroksella saimme havaita.

Capenhurstin alueella on pitkä historia ja toiminta on alkanut sotatoukokuun tarpeista. Toisen maailmansodan aikana alueella oli ammustehdas. Kylmän sodan aikana alueella alettiin väkeväntipalvelujen valmistukseen. Tällöin väkeväntipalvelu-työntekijät käyttivät diffuusiotekniikkaa ja 50-luvulla diffuusiolaitos Capenhurstissa oli aikansa suurin rakennus Euroopassa. 60-luvulla siirryttiin korkeaväkeväntipalvelujen valmistukseen matalaväkeväntipalvelujen voimalaitosurain valmistukseen. Vuodesta 67 vuoteen 82



Väkevöintikaskadin periaate

BNFL:n diffuusiolaitos tarjosi väkevöintipalveluja Britannian ydinvoimaloille. Diffuusiolaitos suljettiin, koska Urencon 70-luvulla kehittämä sentrifugimenetelmä oli taloudellisesti ylivoimainen. BNFL omistaa edelleen osan alueesta.

Capenhurstissa toimii myös Urenco Projects Department, joka vastaa laitoisten suunnittelusta ja urakoinnista Urencon kaikissa suurissa laitosprojekteissa. Suunnittelu- ja toteutuspalvelujen lisäksi Projects Department tekee myös kustannusarviointia ja tarjoaa laitojen käytöstä poistoon liittyviä palveluja. Capenhurst on koko ajan myös yhteistyössä Jülichin tutkimuslaitoksen kanssa. Capenhurstissa tehtävään tutkimukseen kuuluu väkevöintilaitosten monitorointi ja prosessin optimointi, materiaalien kehitys ja testaus, matalan inertian ohjaus- ja hallintajärjestelmien kehittäminen, kehittyneiden komposiittiprototyyppien testaus, lujuus- ja lämpöanalyysit, rootoridynamiikka, osien ja laitteiden kieputustestit sekä laitteiden seisminen testaus. Lisäksi Capenhurstissa on materiaalilaboratorio, jossa uraaniheksafluoridia voidaan tutkia kansainvälisesti hyväksytyillä menetelmillä. Laboratorio tekee radiokemiallisia analyysejä käytöstä poistoon ja ympäristösäädöksiin liittyen. Kaasukromatologiaa ja massaspektrometriaa käytetään kehitysprojekteissa.

## Väkevöinti prosessi

Urenco käyttää uraanin väkevöintiin sentrifugimenetelmää, jossa kevyemmät U-235-atomit erotetaan raskaammista U-238- atomeista keskipakovoiman avulla nopeasti pyörivissä rummuissa. Koska yhdessä sentrifugissa isotooppien pitoisuudet muuttuvat vain vähän, useita laitteita kytketään ns. kaskadiksi kuvan 2 mukaisesti. Tarvittavien sentrifugien määrä riippuu niiden erotuskyvystä ja kapasiteetista, jota voidaan kasvattaa esim. rummun pituutta lisäämällä. Luonnonuraanin (0.7% U-235) väkevöinti neliprocenttiseksi vaatii noin kymmenen väkevöintiporrasta, ja riittävän kapasiteetin saamiseksi kussakin portaassa on muutamasta kymmenestä muutama sataan sentrifugia rinnakkain. Yhteensä kaskadissa on siis laitteista riippuen n. 500-5000 sentrifugiyksikköä.

Vanhimmassa Capenhurstin laitoksista, E22:ssa, on yhteensä 32 kaskadia, joista vanhimmat ovat pyörineet jo toistakymmentä vuotta. Uudemmissa laitoksissa, E23:ssa ja A3:ssa, kaskadeita on yhteensä 14. Laitokset on rakennettu niin, että kapasiteettia voidaan tarvittaessa lisätä pienillä investoinneilla rakentamalla uusia kaskadeita vanhojen jatkoksi: esimerkiksi E23:en on tarkoitus rakentaa vielä viisitoista lisäkaskadia. Sentrifugit mitoitetaan kestävämpään vähintään kymmenen vuoden yhtäjaksoiseen käyttöön - suuren pyörimisnopeuden (n. 100000 rpm) vuoksi ne eivät kestä toistuvia alasarjoja ja käynnistyksiä. Kun vaurioituneiden sentrifugien määrä nousee liian suureksi, kaskadi puretaan ja poistetaan käytöstä.

Sentrifugitekniikalla päästään huomattavasti parempaan energiategokkuuteen kuin perinteisellä kaasudiffuusioon perustuvalla menetelmällä: Urenco Capenhurstin sähköntarve erotustyyöksikköä kohti on n. 50 kWh/SWU eli muutama prosentti tavallisen kaasudiffuusiolaitoksen sähköntarpeesta. Nykyisten sentrifugien kapasiteetti on noin

kaksikymmenkertainen 1980-luvun alun malleihin verrattuna. Ulospäin kehitys näkyy lähinnä laitteiden korkeuden lisääntymisenä: vanhimmat E22:n sentrifugit ovat noin metrin pituisia ja uusimmat E23:ssa nähdyt yli kolmetrisiä. Rummut on uusimmissa malleissa tehty hiilikuidusta ja niiden paino on muutaman kilogramman luokkaa. Laitteiden teknisistä yksityiskohdista ei ole tietoa saatavissa.

Raaka-aine (luonnonuraani) tulee väkevöintilaitokselle BNFL:n Springfieldsin polttoainetehtaalta uraaniheksafluoridina tarkoitusta varten suunnitelluissa n. 12 tonnin vetoisissa säiliöissä. Kaasuuntunut UF<sub>6</sub> johdetaan kaskadiin 0.01 barin paineisena, ja lopputuotteet - väkevöity (product) ja köyhdytetty (tails) uraani - jäädytetään lopuksi takaisin kiinteään olomuotoon. Köyhdytetty (n. 0.3% U-235) uraani varastoidaan kuljetussäiliöissä laitosalueelle odottamaan jatkokäsittelyä tai loppusijoitusta.

Köyhdytetyn uraanin käsittelyn kannattavuus riippuu uraanin maailmanmarkkinahinnasta ja laitoksen kapasiteetti-tilanteesta. Osa toimitetaan Venäjälle ns. tails upgrading-käsittelyyn, jossa köyhdytetty uraani väkevöidään luonnonuraanin tasolle n. 0.7%:in ja tuodaan takaisin Capenhurstiin raaka-aineksi. Pienemmän kysynnän aikana köyhdytettyä uraania voidaan väkevöidä myös Englannissa. Köyhdytetyn uraanin loppusijoituksesta ei ole toistaiseksi suunnitelmia; yhtenä vaihtoehtona pidetään sen muuttamista uraanidioksidiksi ja loppusijoittamista kaivoksiin.

fil.yo Milja Eskola  
tutkimusharjoittelija  
VTT Energialla.  
Puh.(09) 456 5019,  
milja.eskola@vtt.fi

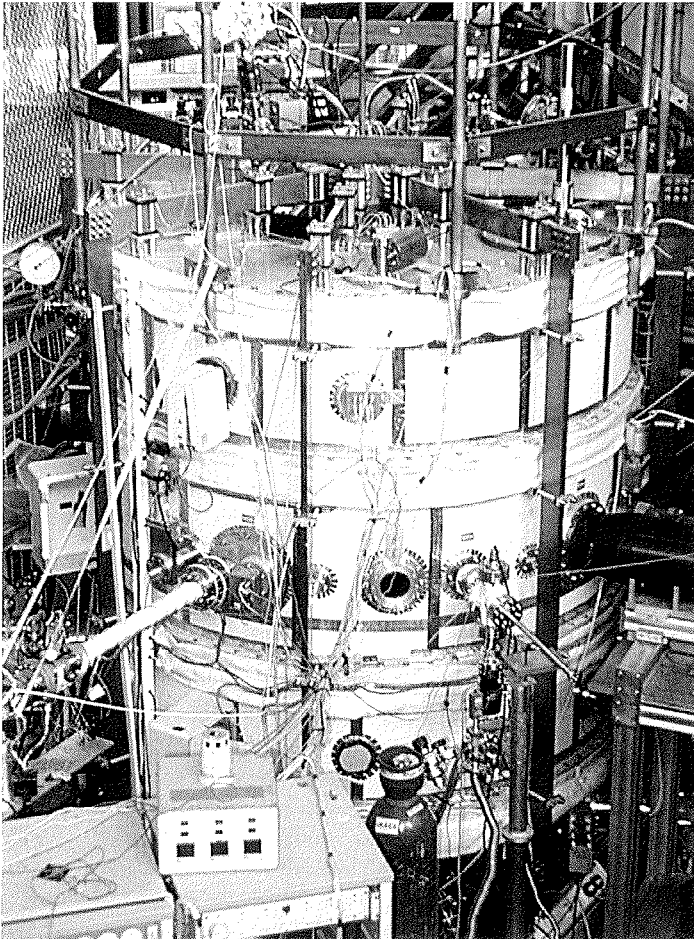


tekn. yo Riku Mattila  
tutkimusharjoittelija ja  
diplomityöntekijä  
VTT Energialla  
Puh. (09) 456 5025,  
riku.mattila@vtt.fi





# Fuusiotutkimus Culhamissa



*ATS:n Englannin excursiolla yhtenä vierailukohteenamme oli Culham'in fuusiotutkimuskeskus, jossa toimii 200 hengen UKAEA Fusion-tutkimusryhmä pienen mittakaavan fuusioreaktorien kanssa ja kansainvälinen noin 350 hengen tutkimusryhmä yhteiseurooppalaisen JET-reaktorin (Joint European Torus) kanssa. JET on maailman suurin fuusioreaktori, jota on käytetty Culham'issa vuodesta 1983 alkaen.*

*Kuvassa käytöstä jo poistunut START-fuusiokone.*

temmin toroidaalisiin. Keskeisimmät ongelmat fuusiotutkimuksessa ovat olleet plasman kuumennustekniikka, energian koossapito, kammion tiiveys ja materiaalien epäpuhtaudet. Pääsääntöisesti fuusiokoneiden koko on kasvanut sukupolvi sukupolvelta.

Nykyisellään suurin fuusiokone on juuri Culhamissa sijaitseva kansainvälinen tutkimusreaktori JET. Fuusiotutkimuksen seuraava askel JET'in jälkeen on suunnitelmien mukaan kansainvälisenä projektina toteutettava ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), joka on karkeasti ottaen noin 2,5 kertaa JET'in kokoinen. Vertailun vuoksi mainittakoon, että ITER-konseptissa plasmakammion korkeus on noin 20 m ja fuusioteho 1500 MW. Alunperin ITER-suunnitelma sai tuulta siipiensä alle Reagan-Gorbatshev-huippukokouksessa noin 12 vuotta sitten, kun kylmän sodan jälkimaininkien selvittämiseksi päätettiin aloittaa mittavia kansainvälisiä yhteishankkeita, joissa entiset viholliset, itä ja länsi, olisivat molemmat osallisena. Tämän laitteiston rakennushanke on ollut tarkoitus aloittaa jokuinkin vuosituhannen vaihteessa. Nykyinen tilanne näyttää kuitenkin siltä, ettei rahoitusta näin mittavaan laitteistoon järjesty, sillä Yhdysvallat on siirtynyt hiukan etää-

## Enemmän energiaa

mälle tokamak-tutkimuksesta ja puuhailee puolustusvaroin inertiaalifuusion kanssa. Isäntiemme näkemyksen mukaan Yhdysvallat eivät ilmeisesti tahdo täysin luopua ydinaseteknologiastaan, vaan ylläpitävät sitä juuri inertiaalifuusiotutkimuksen muodossa. Tämän poisjäännin seurauksena onkin suunniteltu ITER-Light -reaktoria, joka olisi sekä fyysiseltä että taloudelliselta mittakaavaltaan noin puolet alunperin suunnitellusta ITER:istä.

Fuusio-ohjelmassa seuraava suunniteltu vaihe ITER'in jälkeen on DEMO (demonstration fusion power plant), jonka on tarkoitus jo tuottaa enemmän energiaa kuin kuluttaa sitä. Isäntiemme mukaan nykyhetkestä on noin 40 vuoden matka siihen, kun tällainen laitos saataisiin käyntiin. Tämän jälkeen tähtäimessä onkin jo laitos, joka tuottaa fuusioenergiaa taloudellisesti kannattavasti. Culhamissa UKAEA Fusionilla on ollut useita fuusiokoneita. START (Small Tight Aspect Ratio Tokamak) on jo nyttemmin käytöstä poistettu fuusiokone, jolla ajettiin ensimmäiset plasmapurkaukset vuonna 1991. START:issa plasman muoto oli laitteen nimenkin mukaisesti jokseenkin erilainen kuin täysin toridaalisissa fuusiokoneissa. Plasman "keskusreikä" tällaisessa kokoonpanossa on reilusti pienempi kuin esimerkiksi JET:issä. Tämän geometrian tarkoituksena oli pienentää tarvittavan magneettikentän voimakkuutta. START:illa saavutettiin maailmanennätys (-arvo (40%) maaliskuussa 1998. Tämä arvo mittaa plasman paineen suhdetta magneettiseen pai-

**M**atkamme viidentenä päivänä saavuinme heti aamusta Culhamiin, jossa UKAEA Fusionin PR-päällikkö Christopher Carpenter otti meidät vastaan. Culhamiin on keskittynyt Englannin fuusiotutkimus. Alue on jakautunut kahteen osaan, UKAEA Fusion-tutkimusalueeseen ja JET-tutkimuskeskukseen. UKAEA Fusion-tutkimuksessa työskentelee vakituisesti noin 120 henkeä sekä noin 80 henkeä vierailijoina ja urakoitsijoina. Tämän lisäksi noin 200 henkeä työskentelee UKAEA:n nimissä JET-hankeen kanssa. JET (Joint European Torus) työllistää alueella yhteiseurooppalaisena hankkeena suuren kansainvälisen ryhmän, kaikkiaan noin 350 henkeä, joista noin 150 on Iso-Britannian ulkopuolelta.

## Tutkimustyötä jo 60-luvulta

Culhamin fuusiotutkimus aloitettiin jo 1960-luvulla. Tutkimuksen alkuvaiheessa keskityttiin lineaarisiin fuusiolaitteisiin, sit-



JET:in valvomo.

neeseen ja sitä voidaan pitää eräänlaisena hyötysuhdetekijänä.

MAST (Mega Amp Spherical Tokamak) on UKAEA Fusionin uusin fuusiokone, jolla ajattaneen ensimmäiset plasmapurkaukset kuluvan vuoden lopussa. Vierailumme kuluessa kone oli vielä rakennusvaiheessa. Toinen tällä hetkellä käytössä olevista UKAEA:n fuusiokoneista on COMPASS-D, joka on magneettiselta geometrialtaan JET:iä vastaava, mutta pienempi tutkimusreaktori. COMPASS-D:n isosäde on noin 0,56 m. Sillä on suoritettu plasmapurkauksia vuodesta 1989 alkaen ja sillä on erittäin suuri rooli Euroopan Unionin fuusiotutkimusohjelmassa. UKAEA Fusionin Culhamin tutkimusohjelma toimii pääosin julkisrahoitteisesti. UK Department of Trade and Industry:n osuus on noin 75% ja loput 25% rahoituksesta tulee Euratomilta.

## Maaailman laajamittaisin fuusiotutkimushanke

JET (Joint European Torus) on maailman laajamittaisin fuusiotutkimushanke, jonka avulla tutkitaan plasmafysiikkaa ja fuusioteknologiaa. Laitteen isosäde on jopa 3 metriä, korkeus 13 metriä ja massa 4000 tonnia. JET:illä suoritetaan deuterium-tri-

tium-fuusiokokeita, joissa plasman lämpötila nostetaan jopa 450 miljoonaan Celsiusasteeseen. Noin vuosi sitten, lokakuussa 1997, JET:illä saavutettiin maailmanennätys fuusiotehossa ja -energiassa. 30 MW kuumennusteholla saatiin ulos 16,1 MW tehoäkki noin 1 sekunnin ajan. Tämän purkauksen aikana tuotettiin energiaa 21,7 MJ. Näin lähelle break-even -tilannetta ei fuusiokoneilla ole aikaisemmin maailmassa päästy.

Koetahti JET-tutkimuksessa on melko tiheä, päivittäin sillä suoritetaan noin 20-25 plasmapurkausta. Karkeasti arvioiden siis purkauksia ajetaan hiukan alle puolen tunnin välein. Yhden purkauksen tuottamiseen JET kuluttaa noin 200 MW sähkötehoa puolen minuutin ajan. Tämä aiheuttaa luonnollisesti jonkin verran vastakaikua lähialueen asukkaiden taholta, varsinkin jos televisiosta tulee samanaikaisesti jalkapallo-ottelu...

JET-tutkimusohjelman mukaisesti divertorien kokoonpano vaihdettiin alkuvuodesta 1998. Edellämäinituissa koehurjasteluissa divertorit olivat kuitenkin aktivoituneet voimakkaasti neutronisäteilytyksessä, joten muutostyö jouduttiin kokonaisuudessaan suorittamaan robotiikan avulla. Mascot-manipulaattorin avulla vaihdettiin kaikki diver-

torilevyt. Tämä muutostyö vaati erittäin tarkkaa ja sofistikoitunutta robotiikkaa, jotta riittävä tarkkuus saavutettiin.

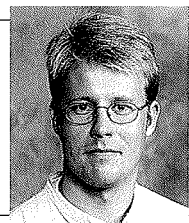
1978 perustettiin JET Joint Undertaking -yhteishanke rakentamaan ja käyttämään JET:iä. Laitte valmistui 1983 Rahoitus tähän mittavaan hankkeeseen tulee 80%:sesti Euratomilta. Loput 20% rahoituksesta tulee EU:n fuusiotutkimuksen osakkailta, josta isäntäorganisaatio UKAEA:n osuus on noin puolet. Vuonna 1997 JET-hankkeen kokonaisbudjetti oli 77,6 miljoonaa ECU:a.

Fuusiotutkimusohjelmalla on tyypillisesti ollut se ongelma, että näkyvät lopputulokset ovat melko kaukana tulevaisuudessa. Näistä lopputuloksista riippumatta fuusiotutkimus vie eteenpäin useita teknologian aloja, kuten esimerkiksi materiaaliteknologia, robotiikka ja tyhjiötekniikka. Isäntiemme mukaan haluttuja lopputuloksia saavutettiin noin 40 vuoden kuluessa. Silloin tällöin tämä "dead-line", jolloin fuusioreaktoreilla voitaisiin tuottaa sähköenergiaa, on siirtynyt hiukan eteenpäinkin. Kuitenkin maailmanlaajuinen talouskasvu, puhumattaakaan erikseen kehitysmaiden mahdollisesta noususta omille jaloilleen, kiihdyttää uusiutumattomien luonnonvarojen - jopa uraanin - ehtymistä. Tämä tilanne pakottaa meidät uhraamaan hiukan ajatuksia siihen, kuinka suuren mittakaavan energiahuolto tulee toimimaan, kun nykyiset ratkaisut ovat liian kalliita tai jopa mahdottomia. Viimeistään tämän ajatuksen valossa fuusiotutkimus vaikuttaa muultakin kuin "akateemiselta puuhastelulta"...

DI Timo Toppila on IVO  
Power Engineering  
Oy:n suunnitteluinsinööri (virtauslaskenta).  
Puh. (09) 8561 2364.  
timo.toppila@ivo.fi



Tekniikan yo Pekka  
Tolonen on tutkimusapulainen LTKK:n Energiatekniikan osastolla.  
Puh. (05) 621 2372.  
pekka.tolonen@lut.fi



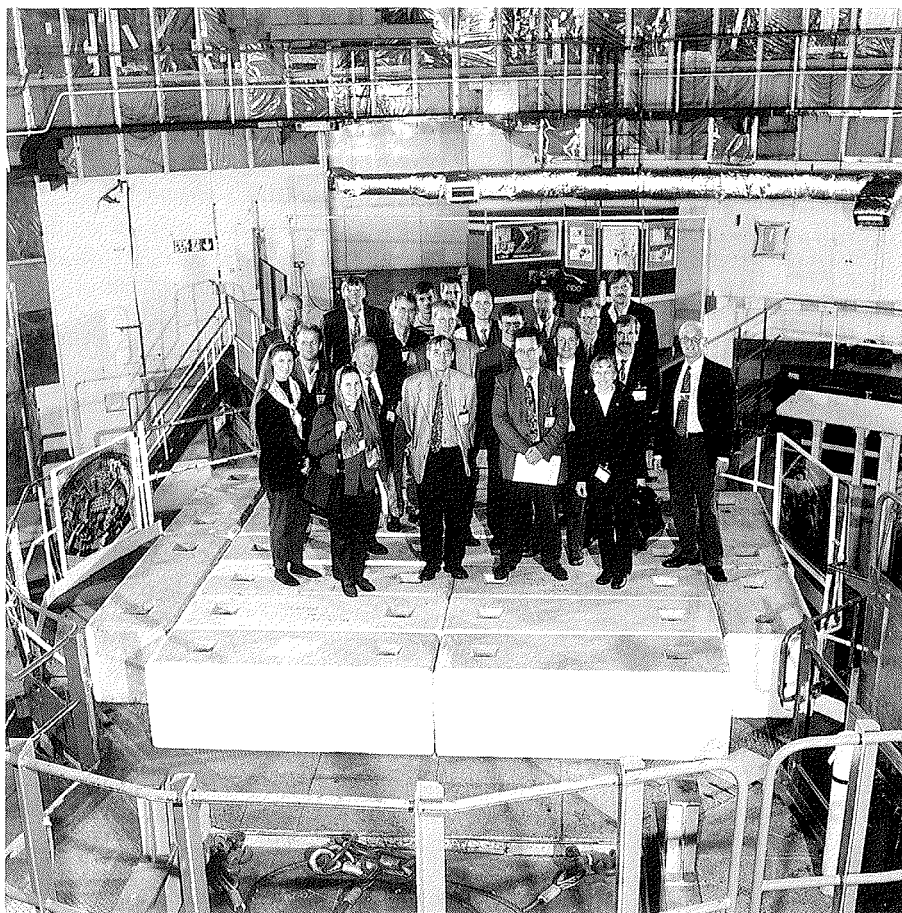
### Culhamissa käytössä olevien fuusiokoneiden ja ITER:in toiminnallisia ominaisuuksia.

	COMPASS-D	MAST	JET	ITER
isosäde (R)	0,557 m	0,7 m	2,96 m	8,1 m
vaakasuora pikkusäde (a)	0,232 m	0,5 m	1,25 m	2,8 m
toroidaalinen magneettivuoto	2,1 T	< 0,6 T	3,45 T	12,5 T
lisäkuumennusteho (nimellinen)	2,6 MW	6,5 MW	25 MW	100 MW
plasman koossapysyminen	2s	5 s	20 s	1000 s
esimäinen plasmapurkaus	1989	1998 (?)	1983	20xx

**Fuusiosta fissioon;**

# Harwell International Business Centre for Science & Technology

*Kohdattuamme Culhamissa ja fuusiotutkimuksen huimaavan tulevaisuudenhaasteen ylläpitää "palamista" 100 Celsiusasteen lämpötilassa jatkoimme ekskursionmatkaamme puolentunnin ajomatkan päähän, matkan viimeistä edelliseen päämäärään Harwelliin. Vierailukeskuksessa isännät pitivät lyhyen esitelmän Harwellista ja UKAEA:n nykytehtävästä. Esitelmän aikana kaikille meistä selvisi Harwellin tärkeä historiallinen panos ydintutkimuksen alalla. Harwellin nykypäivään kuuluivat mm. UKAEA:n (United Kingdom Atomic Energy Authority) kokemukset vanhojen ja loppuunkuluneiden ydinalaitosten käytöstäpoistosta.*



**T**oisen maailman sodan jälkeisessä tilanteessa syntyi Isossa-Britanniassa tarve hankkia atomipommi pelotusaseeksi. Tätä tarkoitusta varten hallitus perusti 29. lokakuuta 1945 tutkimus- ja koelaitoksen, jonka tehtävänä oli harrastaa tutkimusta atomien energian kaikilla tiedehaaroilla. Tutkimuslaitoksen paikan valinta osui Harwellin sotilaalliseen lentokenttään, joka oli osallistunut mm. liittoutuneiden Normandian maihinnousuun 5. kesäkuuta 1944. Paikan valintaan vaikuttivat suuret tyhjiä lentokonehallit ja välitön läheisyys suuriin yliopistoihin Oxford ja Cambridge sekä kahden tunnin ajomatka Lontooseen. Tutkimuslaitos perustettiin virallisesti 1. tammikuuta 1946 Britannian kansanhuoltoministeriön alaisuuteen.

## Pioneerihenki voitti alkuvaikeudet

Harwellin johdolla oli alusta alkaen määrätietoinen ja suurisuuntainen visio laitoksen-

sa tulevaisuudesta. Ydintutkimusta varten piti hankkia parhaimmat laitteet ja varusteet, joilla edelleen houkuteltiin maan etevimmät tiedemiehet, tutkijat ja insinöörit.

Kiireellisin tehtävä oli hankkia tieteellistä pohjaa ja ymmärtämystä ydinfysiikasta reaktorisuunnittelua varten sekä luoda kemian ja prosessiteknologia uraanin ja muiden ydinmateriaalien tuotantoa varten sekä kehittää erotustekniikkaa säteilytetyn polttoaineen halkeamistuotteille.

Entisissä, suurissa RAF:n lentokonehallissa perustettiin atomifysiikan, reaktorifysiikan, kemian, kemianteknologian, metallurgian ja materiaalien divisioonat sekä lääketieteellinen osasto valvomaan terveyttä radioaktiivisessa ympäristössä.

Nuorekkaan ja pioneerihenkeä omaavan henkilökunnan tarmokkaat ponnistukset usein alkeellisten olosuhteiden vallitessa muuttivat RAF:n lentokentän kymmenessä vuodessa suureksi ydintutkimuskeskukseksi.

## Oikotie pommiin - ilman USA:n ydintietoja

Jotta ydinaseita saatiin mahdollisimman nopeasti, jouduttiin asetekniikka perustamaan plutoniumin valmistukseen, joten reaktoria piti ladata luonnonuraanilla. Uraanin väkevöinti sai odottaa myöhempiä tulevaisuutta.

Isolla-Britannialla oli runsaasti grafiittivarjoja, mutta sitä vastoin raskaan veden saaminen oli vaikeampaa, samoin uraanin saanti oli vaikeaa.

Reaktorin jäähdytys muodostui pulmalliseksi, koska jo tuolloin oivallettiin, että vesijäähdyhteinen grafiitilla moderoitu reaktori muodostaisi potentiaalisen riskin. Tämä seikkahan osoittautui kohtalokkaaksi Tshernobylin reaktorionnettomuudessa.

Harwellissa valittiin yksinkertainen matlapaineinen ilmajäähdytys, jossa ilmaa pumpattiin pitkin grafiittikanavia ja edelleen ulos poistopiippuun.

### **UKAEAn malli**

Ydinlaitosten käytöstäpoisto (tutkimuskeskuksissa) voidaan normaalisti jakaa kolmeen suoritusvaiheeseen, jotka erotetaan pitemmällä lepotilajaksoilla.

### **Alustava käytöstäpoisto, Vaihe 1**

Ensisehtävä on poistaa kaikki "liikkuvat" aktiiviaineet (kuten polttoaine, jäähdytin, prosessimateriaalit, rikit) riskin vähentämiseksi laitoksella ja jättää sen turvalliseen tilaan missä jatkohoito voidaan suunnitella optimaalisesti.

Tämän vaiheen aikana laitos pidetään turvallisessa tilassa

### **Purkamisen, Vaihe 2**

Tämän vaiheen aikana radioaktiivinen laitos puretaan ja valtaosa jäljellä olevasta radioaktiivisesta materiaalista poistetaan ja pakataan loppusijoitusta varten. Rakennuksen rakenteet pidetään hallitussa tilassa kunnes repiminen alkaa.

### **Repiminen, Vaihe 3 (Demolition)**

Rakennuksen rakenteet revitään käyttäen normaalia tekniikkaa.

### **British Electric'in filosofia**

Tämän menetelmän päämääränä on minimoida työntekijöiden säteilyannokset. "Varastointimenetelmän" loppuosaattaminen kestää 135 vuotta ja se koostuu kolmesta vaiheesta:

#### **0-3 vuotta**

##### **Polttoaineen poistaminen**

Kaikki polttoaineet poistetaan laitoksesta, jolloin 99.9% koko radioaktiivisuus sisällöstä poistuu laitospaikalta. Tässä yhteydessä puretaan myös ei-radioaktiiviset osat ja siten laitoksen koko pienenee.

#### **33- vuotta**

Radioaktiivinen sisältö sijoitetaan säänkestävään turvalliseen suojaan. Laitos jätetään noin sadaksi vuodeksi odottamaan säteilyn laskemista turvalliseen tasoon.

#### **135 vuotta**

Nyt on turvallista tunkeutua laitokseen ja repiä se käyttäen tavanomaista tekniikkaa. Maa-alue voidaan palauttaa takaisin luonnontilaan rajoituksetta.

## **BEPO- ja GLEEP-kooreaktorit käyntiin 1948**

Ennätysvauhdilla eli 15 kuukaudessa rakennettiin kaksi ensimmäistä kooreaktoria BEPO-(British Experimental Pile O) ja GLEEP-(Graphite Low Energy Experimental Pile). Nämä prototyypireaktorit, jotka olivat niin sanottuja uraanimiilu-reaktoreita antoivat arvokkaita ydinfysikaalisia perustietoja Windscalean PILE 1 ja PILE 2 suunnittelua varten. 1950 valmistuneet reaktorit olivat yksinomaan aseisiin tarkoitettujen plutoniumin tuotantoa varten, ilman minkäänlaista energian talteenottoa. Vuonna 1957 molemmat reaktorit jouduttiin sulkemaan lopullisesti vakavan grafiittin varastoituneen energian aiheuttaman tulipalon jälkeen. Tulipalossa pääsi radioaktiivisuutta lähiympäristöön, ja tämä aiheutti paljon negatiivista kansainvälistä julkisuutta ydinvoimalle.

## **UKAEA muodostetaan**

1954 Churchillin hallitus muodosti valtionvarainministeriöltä rahoituksensa saavan UKAEA:n (United Kingdom Atomic Energy Authority), jolla oli kolme pääryhmää: ydintutkimus, teollisuus ja asetuotanto. Ydintutkimusryhmä jäi Harwelliin, teollisuusryhmä siirrettiin Risleyhin ja aseteollisuus Aldermastoniin. Uuden järjestelyn myötä Ison-Britannian atomienergia laajeni nopeasti.

## **Ison-Britannian ydinvoimateollisuuden valinta**

Vuonna 1953 henkilökuntaa oli jo 3000 ja vuonna 1962 se saavutti huippulukemaansa 6000, joista 1600 olivat kvalifioituja tiedemiehiä, tutkijoita ja insinöörejä.

Asetuotantarpeen rinnalle Harwellin sisällä syntynyt unelma ydinenergian siviilikäytöstä sähköntuotannossa alkoi levitä myös ulkopuolelle. Nämä ajatukset saivat ratkaisevan taustatuen kun ankarana talvena 1946-47 suuri polttoaine ja voimapula johti lähes täydelliseen pysähdykseen kansakunnan toiminnoissa.

Ensimmäinen brittiläiseen kokemukseen perustuva kaasujäähdytteinen grafiittimodeoroitu luonnonnuraanilla toimiva Magnox-tyyppinen reaktori - Calder Hall - valmistui

kolmessa vuodessa. Tällä ratkaisulla Iso-Britannia teki tavallaan tievalintansa, joka tänä päivänä näkyy heidän laajassa 20 Magnox- ja 14 AGR- reaktorin muodostamassa ydinvoimalaitosohjelmassaan.

## **Tietojenkäsittelyosasto vakoilijan käsissä**

Ydintutkimus vaati suuria määriä numeerisia laskuja, jotka alussa piti suorittaa mekaanisilla käsinveivatuilla koneilla ja myöhemmin 50-luvulla reikäkorttikoneella.

Vuonna 1948 perustettiin teoreettisen fyziikan divisioonalla tietojenkäsittelyosasto palvelemaan koko tutkimuskeskusta. Tämän esimies oli saksalainen ydinfysiikko Klaus Fuchs. Myöhemmin vuonna 1950 hänet todettiin neuvostoliittolaiseksi vakoojiksi. Asia sai aikaan paljon jännitystä suurvaltojen välillä ja hänet tuomittiin 9 vuoden vankeuteen. Kun hänet vapautettiin, hän pakeni Itä-Saksaan.

Tietojenkäsittely Harwellissa tänään hoidetaan IBM:n CRAY 2 -supertietokoneella joka tekee 1700 miljoonaa laskua sekunnissa.

## **Monien reaktorityyppien tuottamat haasteet**

Voimareaktorien käyttö toi mukanaan uusia vaikeita korroosio-, säteilyvaurio- ja turvallisuusongelmia paineastiamateriaaleissa, joita ratkoivat Harwellin ulkopuolella olevat traditionaaliset tiedehaarat: ydinfysiikka ja kemia.

Mittava tutkimus nopeiden reaktoreiden ja AGR teknologian kehittämiseen ongelmiin mm. keraaminen polttoaine ja erilaiset suojaputkimateriaalit sekä nestemäinen metallijäähdytys, nosti kapasiteettitarpeet äärimmilleen. Tämän seurauksena kehitystehtävät tulivat ylivoimaisiksi Harwellille ja perustettiin uusi tutkimuskeskus Winfrithiin, jonne rakennettiin kooreaktorit DRAGON (Experimental High Temperature Reactor) ja SGHWR (Steam Generating Heavy Water Reactor).

## **Harwell tänään**

Tutkimuskeskuksen nimi tänään on Harwell International Business Centre for Science and Technology. Entinen UKAEA on jaettu

kahtia, siten että on muodostettu AEA Technology plc, joka on yksityistetty kaupallinen yhtiö, joka harrastaa kaupantekoa kansainvälisesti sekä ydinteknisellä että ei ydinteknisellä alalla. Yhtiöllä on 3700 toimihenkilöä 26 paikkakunnassa sekä UK:ssa, USA:ssa että Japanissa.

Toinen osa, nykyinen UKAEA on hallituksen divisioonana jonka päävastuu tänään on huolehtia ydinlaitosten käytöstäpoisto ja olla myös Harwellin laitosalueen hallinnollinen omistaja, joka vuokraa maa-alueet yrityksille.

Vuonna 1990 alueen kaikki reaktorit otettiin pois käytöstä ja nykyisin kaikki suurimmat ydintutkimusohjelmat on lopetettu. Suoja-aitauksen sisäpuolella työskentelee tänään noin 2000 henkilöä. Kun ydinlaitos on poistettu ympäristöystävällisellä tavalla maa-alue voidaan vuokrata yksityisyrityksien käyttöön.

## UKAEA Käytöstäpoistorooli

UKAEA on rakentanut ja käyttänyt laajaa ryhmää ydin- ja konventionaalilaitoksia alkaen 1940-luvun lopulta. Ydinenergian kaikkea kattava kehitystyö käsittää reaktorisysteemit, radioisotoopit sekä polttoaine- ja jätteenkäsittelyteknologian. Culham, Dounreay, Harwell, Windscale ja Winfrith ovat rakenteiltaan vaihtelevia ja mutkikkaita, suurista prototyypireaktoreista aina tärkeisiin jälleenkäsittelylaitoksiin. Laitospaikoilla on myös jätettä varastoissa. Koska pääosa kaikista ydinlaitoksista ja jätteistä luotiin Ison-Britannian hallituksen ohjelmien yhteydessä on (DTI) Kauppa- ja teollisuusministeriö ottanut velvollisuudekseen rahoittaa pääosan käytöstäpoisto- ja jätteenhoito-ohjelmasta -DRAWMOPS (Decommissioning and Radioactive Waste Management OperationS). UKAEA:n DRAWMOPS ohjelma kattaa noin 160 ydinteknisistä laitteita, mm 15 reaktoria, muutaman kiihdyttimen polttoainetehtaat ja jälleenkäsittelylaitoksia, tutkimuslaitteita ja pieniä laboratorioita.

Valvova viranomaisena on Nuclear Installations Inspectorate (NNI).

Kustannukset UKAEA:n kokonaisydin- vastuusta on arvioitu diskontattuna 6% 1997 rahanarvoon 2.4 miljardia (£), epävarmuusmarginaalilla + 40%. Hallitus kantaa vastuun siitä että rahat on käytettävissä. Bri-



tish Energy'n 14 AGR-reaktorin käytöstäpoiston sekä käytetyn polttoaineen ja jätteen hoidon on arvioitu maksavan 5.6 miljardia (£). Vastaavan BNFL:n vastuun kaskien 20 Magnox reaktoria on arvioitu maksavan 7.9 miljardia (£).

Englantilaisten mukaan on odotettavissa että vuonna 2010 noin 250 laitosta maailmassa odottamassa käytöstäpoistoa, ja he näkevät alalla suuria mahdollisuuksia sekä kotimaassa että ulkomailla. BNFL on jo solminut 2 miljardin dollarin edestä käytöstäpoistosopimuksia USA:ssa.

## Keskiaktiivinen loppusijoitus takalukossa Isossa -Britanniassa

NIREX The Nuclear Industry Radioactive Waste Executive perustettiin 1982 ja muutettiin 1995 United Kingdom Nirex Ltd. Tehtävänä on turvallinen loppusijoitus osakkeenomistajien (NI, BNFL, UKAEA, Nuclear Electric ja Scottish Nuclear) kiinteille jätteille.

Monien vuosien etsinnän jälkeen paikanvalinta osui Sellafieldin lähistöön ja koeporausohjelman jatkona anottiin rakennuslupa maanalaiselle laboratorioille. Viranomaiset eväsivät kuitenkin hakemukset teknisistä ja ympäristösyistä. Tämä hidastaa huomattavasti Ison-Britannian kaikkia käytöstäpoistoprojekteja.

Harwellissa on rakenteilla holvitiila, jonne laitospaikan kaikki keskiaktiivijätteet varastoidaan käsittelyn jälkeen vuoteen 2020

mennessä. Jätteet jäävät varastoon ehkä sadaksi vuodeksi.

## UKAEA:n kokemukset tähän saakka

Tähänastisista kokemuksista DRAWMOPS ohjelmasta laitosalueella voidaan todeta, että kaikki laitteet ja reaktorit ovat ohittaneet vaiheen 1.

Tutkimuskeskuksen alkuvuosina jätehoito oli alkeellista ja alueelta löytyy nyt ruostuneita tynnyreitä, jotka ovat maahan upotettuna. Näiden aktiivisten tynnyreiden hoitoa varten on jouduttu rakentamaan 50 tonnin painoinen robotti, joka poistaa jätteet ja siirtää sen ruostumattomiin pakkauksiin. Uusi jätevarasto eli holvitiila tulee olemaan ainakin 100 vuotta laitospaikalla.

DI Magnus Hanses  
on nykyisin eläkkeellä.  
Puh. (09) 676 473.





# Painevesilaitos Sizewell B Leistonissa

*Ulospäin komealta näyttävä Brittein saarten ainoa painevesilaitos on maailman ensimmäinen ydinvoimalaitos, joka on saanut ympäristösertifikaatin standardin ISO 14001:n mukaan. Voimalaitos on myös liittynyt EMAS\* rekisteriin. Voimalaitos on sitoutunut jatkuvaan parannukseen tällä alueella.*

\*EMAS = The European Community Eco-Management and Audit Scheme, EY:n ympäristöasioiden hallinta- ja auditointijärjestelmä.

**A**TS:n ekskursion viimeisenä kohteena oli Englannin uusin ydinvoimalaitos Sizewell B. Laitos sijaitsee noin 150 km ajomatkan päässä Lontoosta koilliseen Leistonissa. Menomatalla ihmetyksen aiheena olivat pienet ja kapeat tiet rakennusvaiheen aikaisten kuljetuksien näkökulmasta ajatellen. Myöhemmin kuitenkin selvisi, että kuljetukset oli hoidettu pääosin meritse, sijaitsehan laitos upean hiekkarannan tuntumassa Pohjanmeren rannalla.

## Nuclear Electric'n viimeinen voimalaitos?

Sizewell B voimalaitoksen omistaa Nuclear Electric, joka on British Energy'n tytäryhtiö. British Energy omistaa myös Scottish

Nuclear -yhtiön, joka yhdessä Nuclear Electric'n kanssa omistaa yhteensä kahdeksan ydinvoimalaitosta. British Energy vietiin Lontoon pörssiin 1996 ja henkilökunnan lukumäärä on runsaat 5400. Yhtiön laitoksista seitsemän on AGR (Advanced Gas-Cooled Reactor) -tyyppisiä ja yksi PWR-laitos, siis Sizewell B. Alkuperäisten suunnitelmien mukaan alueelle olisi tullut neljä vastaavanlaista yksikköä, mutta tapahtumat ja yleinen kehitys ovat pistäneet suunnitelmat jäihin. Nykyisten laitosten yhteenlaskettu sähköntuotto vastaa yli viidesosaa Iso-Britannian sähkönkulutuksesta. Leistonissa on Sizewell B:n vieressä myös Sizewell A -laitos, joka on magnox-tyyppinen ja Magnox Electric'n omistama.

Laitoksen suunnittelu aloitettiin 1981 ja kesti vuoteen 1987, jolloin rakennustyöt alkoivat. Rakennustöihin osallistui yli 5000 ihmistä, joista yli puolet oli maan itäosista. Polttoaineen lataus tapahtui loppuvuodesta 1994, kriittinen se oli tammikuussa 1995. Sizewell B kytkettiin verkkoon helmikuussa 1995. Suunniteltu käyttöikä laitokselle on 40 vuotta, mutta nyt on jo suunnitelmia kohtaa se 60 vuoteen.

Rakennusvaihe kesti lähes 8 vuotta ja rakentaminen tuli maksamaan noin £2 miljardia. Urakoitsijoiden joukosta löytyy myös kirjoittajille tuttuja nimiä kuten Westinghouse, GEC Alstom, BNFL, Babcock Energy ja Framatome.

## Valvomo mielenkiinnon kohteena

Ulkoapäin laitos näyttää komealta. Korrosionkestävyyden parantamiseksi rakennusten ulkopintoihin on käytetty sinisiä alumiinilevyjä. Reaktorirakennuksen kupoli on tehty valkoisista alumiinilevyistä, jotka on pinnoitettu teflonilla lian tarttumattomuden vuoksi.

Saavuttuamme laitokselle joutuimme jättämään kamerat autoon, sillä siellä ei enää saanut ottaa kuvia kuten aiemmin. Syynä oli turbiinisalin palohälytysjärjestelmät, jotka laukeavat salamantähtäyksistä kuten eräälle japanilaisten ryhmälle oli käynyt. Käynnin aikana suojarakennuksen sisälle ei pääse, joten sinänsä laitoksella ei ole paljoa nähtävää käynnin aikana ja menetys kameroiden suhteen ei ollut niin suuri valvomokäynti pois lukien.

Vierailu koostui normaaliin tapaan aluksi luennolla laitoksesta, jonka jälkeen lähdet-

### TEKNISIÄ TIETOJA

#### Teho

Sähköteho, brutto	1250 MW
Sähköteho, netto	1188 MW
Lämpöteho	3411 MW

#### Reaktorin paineastia

Korkeus	13,59 m
Sisähalkaisija	4,39 m
Seinämän vahvuus / materiaali	220 mm / niukkaseosteinen teräs
Pinnoitteen vahvuus / materiaali	7 mm / ruostumaton teräs

#### Polttoaine, UO<sub>2</sub>

Kokonaismassa	101 t
Nippuja	193 kpl
Rikastusaste	4,1-4,2 %
Latausjakso	12-18 kk

#### Parametrit, primääripiiri

Paine	15,8 MPa
Jäähdyte (H <sub>2</sub> O), sisään/ulos	292/323 C

#### sekundääripiiri

Paine	6,7 MPa
Höyry	282 C

#### Turbiini

Kierrosnopeus	3000 rpm
Höyryvirtaus	955 kg/s
Nimellisteho	660 MW

#### Generaattori

Nimellisteho	625 MW
Jännite	23,5 kV
Päämuuntajalta verkkoon	400 kV

#### Muuta

Putkistoa, noin	100 km
Pumppuja	560 kpl
Lämmönvaihtimia	1000 kpl





tiin laitoskierrokselle enemmän ja vähemmän epämukavissa turvakengissä. Ensimmäiseksi tutustuttiin jätteenkäsittelyyn ja matala-aktiivisen jätteen varastointiin tynnyreissä. Valvotulle alueelle meno tapahtui varsinaisten kulunvalvonta porttien ohi ilman kenkäräjä ja muita suojaustoimenpiteitä. Laitoksen yleisilme sisältä oli vähän ankean näköinen, ei lainkaan sellainen mitä ulkoapäin olisi voinut odottaa ja työympäristönä ei kovin motivoivan tuntuinen.

Valvomo oli moderni ja miellyttävän tuntuinen ja sinne päästettiin vajaan kymmenen hengen ryhmiä sisälle. Paneeleita kiersi noin metrin levyinen kaista, jonka sisäpuolelle ei saanut mennä, vaikka kieltö ei täysin toiminutkaan. Laitteistojen ergonomiamia kiinnosti erityisesti ja valvomoon varattu aika tuntui loppuvan kesken suurelta osalta ryhmäämme. Laitoksella on valmius alasajoon kahdessa sekunnissa ja epänormaaleissa tilanteissa ensimmäisten 30 minuutin aikana ei tarvita operaattorien toimintoja automaation hoitaessa tarvittavat toimenpiteet. Häätäjärjestelmien tietokoneiden testaukseen käytettiin ennen laitoksen valmistumista noin £30 miljoonaa. Laitoksella on myös £22 miljoonaa maksanut simulaattori, joka on täydellinen kopio mattoja myöten todellisesta valvomosta. Valvotulta alueelta poistumiseen sisältyi useita kontaminaation mittauksia. Kierros jatkui turbiinisaliin, joka oli siistin ja selkeän tuntuinen. Turbiinit, generaattorit ja lauhduttimet sijaitsivat samassa rakennuksessa. Ulkoalueet olivat myös selkeät ja avarat. Mielinkiintoinen yksityiskohta oli varajäähdy-

tysjärjestelmän iso lauhdutinrakennelma puhaltimilla, jota käytetään mikäli meriveden saanti estyy.

### Haasteena vuosihuollon pituus

Noin 320 asteeseen lämmitettyä paineistettua vettä kierrätetään pääkiertopumpuilla höyrystimissä. Näitä rinnakkain toimivia pääkiertopiirejä on neljä kappaletta. Primääripiiriin laitteet ovat sijoitettuna suojarakennukseen, joka toimii myös biologisena suojana. Sekundääripiirissä syntyvä höyry johdetaan laitoksen kahteen höyryturbiiniin. Höyryturbiini koostuu yhdestä korkeapainesekä kolmesta matalapaineosasta. Turbiinien pyörittämät generaattorit ovat vetyjäähdytteisiä. Lauhduttimissa merivesi lämpenee noin 8 astetta.

Vuosihuollon keston tavoitteena on noin 40 vrk mutta käynnistymisen jälkeen tehdyt vuosihuollot ovat olleet kestoiltaan 54 vrk ja 48 vrk. Polttoainelatauksen kesto on hyvin lähellä kriittistä polkua. Latauksessa vaihdetaan kolmasosa polttoaineesta uuteen.

Vuosihuoltoihin osallistuu oman väen lisäksi väkeä Länsi-Euroopasta ja Yhdysvalloista.

Ensimmäinen käyntijakso oli 12 kk. Tämän jälkeen on siirrytty 18 kk käyntijaksoon. Kumulatiivinen käyttökerroin on noin 70% luokkaa.

### Turvallisuutta parannetaan

British Energy'n käyttämä ISRS (International Safety Rating System) on oleellinen osa

*Ekskursiolle osallistuneet olivat tyytyväisiä matkansa antiin.*

turvallisuuden parantamisessa. ISRS tarkkailee turvallisuutta 20:llä osa-alueella ja antaa yleisarvosanan asteikolla 1-10. Size-well B:llä on tarkoitus korottaa nykyinen taso 7 (97-98) tasolle 8 (98-99). ISRS:n puitteissa on laitoksella auditointi marraskuussa '98 ja katselmus ensi vuoden alkupuolella. Laitoksella pidetään myös WANO:n Pier Review loppuvuodesta -98.

*DI Arto Alho on Imatran Voima Oy:n Loviisan voimalaitoksen materiaali-insinööri. Puh. (019) 550 3119; arto.alho@ivo.fi*



*Ins. Jan-Eric Hellroos on Imatran Voima Oy:n Loviisan voimalaitoksen laadunvarmistusinsinööri. Puh. (019) 550 3011; jan-eric.hellroos@ivo.fi*



# Tulevaisuuden riskit Säteilevät naiset -seminaari

*Ilmastonmuutos ja sen riskit, ympäristöterveysriskit, EU:n ydinjätteet sekä kotimaisten ydinjätteiden loppusijoituksen sosiaaliset vaikutukset olivat keskeisesti esillä Säteilevät naiset -seminaarissa, jonka Suomen Atomiteknillisen Seuran Energiakanava järjesti jo kolmannen kerran eri alojen vaikuttajaisille. Säätytalossa syyskuussa järjestettyyn seminaariin osallistui yli sata naista yhteiskunnan eri puolilta.*



*Kansanedustaja Leena Luhtanen totesi seminaarissa, että tulevan hallituksen ohjelma tulee muotoilla siten, että lisäydinvoiman rakentaminen on mahdollista.*

**E**nergiakanavan puheenjohtaja avasi seminaarin, sillä samalle päivälle sattuneen TKK:n promootion vuoksi Espoon kaupunginvaltuuston puheenjohtaja, kansanedustaja Leena Luhtanen joutui virkatehtäviin. Hän pääsi avauksen asemasta kuitenkin seminaariin loppuun tuomaan tervehdyksen eduskunnan näkökulmasta. Kansanedustaja Luhtasen painokas puheenvuoro olikin paremmin paikallaan seminaarin lopussa, sillä hänen eloisan kielenkäyttönsä ansiosta kuulijakunta ei päässyt väsähtämään kuunneltuaan sitä ennen tauotta monta esitelmää.

Seminaarin avauksessa kerrottiin yleisiä asioita Energiakanavasta ja kansainvälisen WINin toiminnasta, sillä ennen seminaaria oli esiintynyt epäilyjä uuden lobbauksorganisaation syntymisestä. Naisjärjestöt ovat melko yleisiä eri toimialoilla, joten kahdeksanvuotias Energiakanava ei ole mikään kummajainen tässä suhteessa.

Avauspuheenvuorossa tuotiin esille sukupolten erilainen suhtautuminen ympäristöriskeihin. Naistenhan tiedetään suhtautuvan niihin varsin eri tavoin kuin miesten.

Tästä syystä naiset on kuvattu ennustajaeukoiksi, jotka ilman todellisuutta ja tietopohjaa, kristallipallon avulla, luovat mielikuvansa. Miehiä kuultu sanonta "Naiset-han ovat aina taivastelleet jotakin", huvitti tämän seminaarin osanottajia.

Tutkimusten mukaan naiset ovat selvästi enemmän huolissaan ympäristöriskeista kuin miehet. Miehiä huolettavat hiilen, öljyn ja kaasun päästöt kun taas naiset ovat huolissaan ydinvoimasta, erityisesti ydinjätteisiin liittyvistä riskeistä. Naisten huolestuneisuus ympäristöasioista ja tulevaisuudesta kuuluu naiseuteen eikä siinä ole mitään hämmästelystä. "Se onko tämä ympäristöongelmien järjestys todenmukaisuutta vastaava onkin jo sitten eri asia ja siihen haetaan seminaarissa lisätietoa", todettiin avauksessa.

## **Kasvihuonekaasupäästöjä vähennettävä kustannustehokkaasti**

Puhuttaessa energia-alan tulevaisuuden riskeistä ei ilmastokysymystä voi sivuuttaa,

vaikka luennoitsija sairastuisikin juuri seminaarin alla. Niinpä asiasta kerrottiin seminaarissa oleelliset asiat. Pääviestinä oli, että teollisuus ja energia-ala ottavat ilmastomuutoksen riskin tosissaan, mutta riskin torjunnassa ei saa huojuuttaa teollisuuden rakenteita niin, että yhteiskunnan toimivuus vaarantuu.

Teollisuuden viesti myös oli, että Suomen kansallisen ilmastostrategian tulee perustua kustannustehokkuus periaatteelle. Päästöjä tulee vähentää siellä, missä se on kansantalouden kannalta edullisinta. Kansallisen ohjelman laatiminen tulee toteuttaa yhteistyössä eri toimijoiden kanssa. Erilaisen joustokeinojen - päästökauppa, yhteistoetus jne - mahdollisuutta tulee edistää sekä kotimaassa että kansainvälisesti.

Seminaarissa tuli myös esille, että energialähteiden mahdollisuus - ydinvoima mukaanlukien - tulee pitää mukana tulevissa energiastrategioissa.

Yleisökeskustelussa tuli toive, että näkökulmaa tulisi ilmastokysymyksessä laajentaa, koska joka sektorilla omat velvollisuutensa, myös teollisuudella. Lisäksi muistu-

## Ilmastonmuutos, ympäristöterveys ja ydinjätteet keskusteluttivat vaikuttajanaisia

tettiin, että Kiotosa sovittiin kuudesta kaasusta, mutta keskustelua käydään vain hiili-dioksidista. Energiasektorin lisäksi tärkeitä päästövähennyksiä tulee miettiä jätehuollossa, maataloudessa ja liikenteessä.

### Korjattavat ympäristöhaitat: sisä- ja yhdyskuntailma, melu, tapaturmat

"Suomen Akatemian selvityksen mukaan keskeisiä ympäristöterveyskysymyksiä, joilla on Suomessa jo saavutettu korkea taso ja joka tulee säilyttää, ovat talousveden laatu, elintarvikkeiden turvallisuus ja terveellisyys sekä säteilyturvallisuus. Ne ympäristöhaitat, joiden hallinta tai vähentäminen edellyttävät merkittäviä lisätoimia ovat sisäilman laatu, yhdyskuntailman laatu, meluhaitat, tapaturmat ja onnettomuudet sekä ympäristön psyykkiset ja sosiaaliset terveysriskit", kertoi professori Terttu Vartiainen Kansanterveyslaitokselta.

Terttu Vartiainen mukaan sisäilman huono laatu aiheuttaa Suomessa merkittäviä terveyshaittoja. Tämä saattaa olla yksi syy allergioiden lisääntymiselle. Liikenne on li-

sänyt monilla paikkakunnilla altistumista erityisesti pienhiukkasille ja melulle. Maaperän saastuminen aiheuttaa paikallisia ympäristöterveysriskejä. Ongelmat talousveden laadussa liittyvät lähinnä pintaveden käyttöön raakavetenä, maa- ja kallioperän ominaisuuksiin sekä mikrobiologiseen saastumiseen.

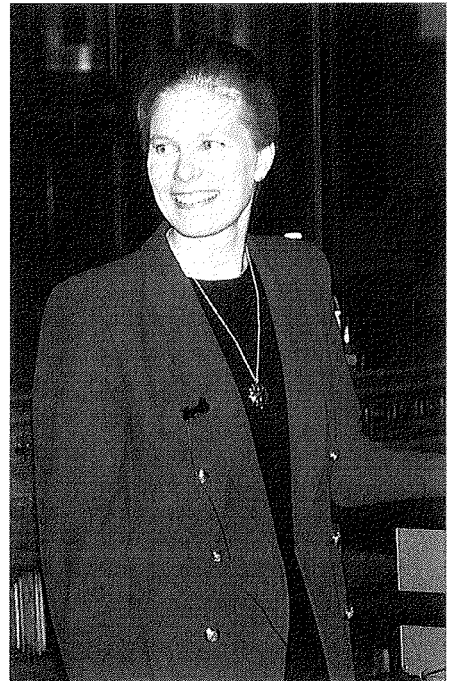
Ympäristöterveyden muu edistäminen vaatii panostamista ilmastonmuutoksen ja otsonikerroksen ohentamisen torjuntaan, terveyttä edistävien tekijöiden liittämistä yhdyskuntasuunnitteluun ja rakentamiseen, kansalaisten osallistumista elinympäristön terveellisyys edistämiseen sekä tutkimus ja tuotekehitystyötä ympäristöterveyden edistämiseksi.

Terttu Vartiainen toi esille ympäristöterveysriskien erilaisen luonteen verrattuna muihin riskeihin. "Ympäristöriskit ovat usein niitä, joita vastaan yksilö ei pääse suojautumaan. Tällaisilta vaaroilta vaaditaan suurempaa yhteiskunnan turvaa kuin niiltä riskeiltä, joita yksilö ottaa vapaaehtoisesti, kuten esimerkiksi ajaa ylinopeutta, polttaa tupakkaa, juo liikaa alkoholia ja syö liikaa ja varsinkin haitallisia rasvoja."

Ympäristöterveysasiat kiinnostivat yleisöä ja Terttu Vartiainen joutui vastaamaan lukuisiin kysymyksiin: Mikä on teiden suolausten vaikutus pohjavesiin, mistä johtuu äidinmaidon dioksiinipitoisuus ja mitä mieltä tiedeyhteisö on ympäristöhormoneista. Yleisön mieleen jäivät ainakin seuraavat asiat: Tiestöä voidaan hoitaa muutenkin kuin suolaamalla. Kysymys vaatii asennemuutosta. Dioksiineille altistutaan Euroopassa maito-, liha- ja kalatuotteista. Suomessa lehmänmaito on puhdasta - altistus johtuu merikalasta. Myös kasvatuskalaan kertyy dioksiineja niiden rehusta, esim. silakoista ja suomalainen järvikala on puhdasta. Ympäristöhormoneita tutkitaan parhailaan.

### EU:n ydinjätteet eivät ole riski suomalaiselle

EU:n asioihin toi seminaarissa perspektiiviä Energiakanavan jäsen, europarlamentaarikko Marjo Matikainen. Radioaktiivisten aineiden kuljetukset ovat Keski-Euroopassa olleet runsaasti esillä. "Radioaktiivisten aineiden käyttö, erityisesti ydinvoimateolli-



"Kukaan ei pakota suomalaisia ottamaan jätettä muista maista", vakuutti europarlamentaarikko Marjo Matikainen.

suudessa edellyttää näiden aineiden turvallista kuljetusta. Radioaktiivisten aineiden kuljetukseen liittyvät vaarat ovat tällä hetkellä pieniä ja vaaratilanteet ja onnettomuudet harvinaisia ja seurauksiltaan lieviä. Ydinjätteitä kuljetetaan maailmassa joka tapauksessa, joten turvallisuuteen ja siihen tapaan miten niitä kuljetetaan on kiinnitettävä erityistä huomiota" totesi Marjo Matikainen.

Marjo Matikainen muistutti, että yhteistyö EU:n jäsenvaltioiden välillä perustuu vapaaehtoisuuteen yhteisön ydinjätehuollon toimintasuunnitelman sekä yhteisön ydinjätehuollon strategian puitteissa. Toimintasuunnitelman tavoitteena on mm. harmonisoida ydinjätehuollon periaatteita ja käytännön toteutusta yhteisössä sekä antaa suosituksia ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuuden arvioinnista. Tavoitteena on taata ihmisille ja ympäristölle paras mahdollinen turvallisuustaso.

Marjo Matikainen korosti alustuksessaan, että jokaisen maan on itse saatava päättää haluaako se ottaa vastaan muiden maiden ydinjätteitä vai ei. "Kukaan ei pakota ottamaan vastaan jätettä elleimme me itse sitä halua". Tämän jälkeen tulikin kysymys: Onko varmaa että Suomen ei ole pakko ottaa vastaan ydinjätettä muualta - onko tämä ongelma kun se mainitaan erikseen? Ja Marjo Matikainen painotti, että asia ei ole ongelma, mutta sitä kysytään usein.



Säteilyturvallisuus kuuluu niihin ympäristöterveyskysymyksiin, joissa on Suomessa saavutettu korkea taso ja se tulee säilyttää, kertoi Professori Terttu Vartiainen.

## Loppusijoituksen sosiaaliset vaikutukset kiinnostivat

Seminaarin yleisö seurasi mielenkiinnolla tutkimuskoordinaattori Jaana Avolahden alustusta hänen kertoessaan kuinka loppusijoituksen sosiaaliset vaikutukset ovat erilaisia eri näkökulmista tarkasteltuna. "Jokainen arviointiprosessiin osallistuva määrittelee sosiaaliset vaikutukset omista lähtökohdistaan ja arvoistaan. Lisäksi päätös loppusijoituksen toteuttamisesta tehdään usealla eri taholla. Paikallisella tasolla vaikutuksia tarkastellaan hyötyjen ja haittojen jakautumisen näkökulmasta sekä arvioidaan hankkeen aiheuttamaa muutosta kunnassa. Viranomaiset painottavat vaikutuksia oman hallintoalansa näkökulmasta. Valtakunnan tasolla vaikutuksia tarkastellaan yhteiskunnan kokonaisedun määrittämiseksi ja keskustelu vaikutuksista liittyy yhteiskunnalliseen kokonaisuuteen"

Seminaarilaiset pitivät Jaana Avolahden esityksessä mainittua kansalaisten riskinhahmotuskyvyn problematiikka tärkeänä. Tarvitaan kasvatusta ja koulutusta - niin varhaiskasvatuksessa kuin journalistien ja median piirissä. Jokainen tekee oman riskiarvionsa. Keskusteluissa tunnustettiin, että ydinvoimaan ja geeniteknologiaan liittyy molempiin paljon suurelle yleisölle tuntematonta ja sen vuoksi juuri henkilökohtainen riskinsuhteutuskyky on tärkeää.

Jaana Avolahti kertoi, että loppusijoituksen turvallisuus on Posivan päämäärä, mutta silti ihmiset kokevat turvattomuutta. "Posivan on opittava kuuntelemaan ja ymmärtämään", hän totesi nöyrästi.

## "Energiapolitiikan patti on puhkaistava"

Kansanedustaja Leena Luhtanen antoi tähänastiselle energiapolitiikalle huutia toden sen olleen oikeansuuntaista mutta riittämätöntä sekä osin hampaatonta hallitusohjelman ydinenergiaa koskevien rajausten vuoksi. Hän uskoi energiapolitiikan suunnan ja sisällön ratkeavan tulevaisuuden neuvotteluissa. "Suuri riski on siinä, saadaanko maahamme hallitus, joka kykenee suunnittelemaan ja toimeenpanemaan tehokasta ja järkevää energiapolitiikkaa. Perusvoimalinjaukset tulee muotoilla hallitusohjelmassa ja eduskunnassa siten, että myös lisäydinvoiman rakentaminen on mahdollista" Leena Luhtanen linjasi.

Poliitikkona hän määritteli energiapolitiikan olevan julkisen vallan toimintaa energian tuotannon, jakelun ja käytön muodostaman kokonaisuuden ohjaamiseksi yhteiskunnan kokonaisedun mukaisesti. "Julkinen valta antaa lähinnä vain puitteet perusvoimaratkaisulle, muilta osin markkinat ratkaisevat asian. Taloudelliset ja toteutusriskit jäävät energiayhtiöille. Energiemarkkinoin-



Tutkimuskoordinaattori Jaana Avolahti kuvasi erinomaisesti, kuinka jokaisen omat lähtökohdat ja arvot vaikuttavat siihen, mitä käytetyn polttoaineen loppusijoituksen sosiaalisilla vaikutuksilla ymmärretään.

den niin vaatiessa energiayhtiöillä on varmasti halu ja kyky toteuttaa uusia, entistäkin turvallisempia ydinvoimalaitoksia", painotti Leena Luhtanen, joka on mm. Fortumin hallintoneuvostossa näköalapaikalla.

Leena Luhtanen katsoo, että tiedotusvälineillä on tärkeä merkitys energiakeskustelun ylläpitäjänä ja asiallisen energiatietouden välittäjänä. Riskien suhteellisuutta medioissa kuvaa hänen mielestään uutisointi eri energialähteiden onnettomuustapahtumista: Hiilikaivoksissa kuolleista tulee pieni uutinen, mutta ydinvoimaloissa pienikin vuoto herättää suuren huomion. "Tarvitaan asiallista tiedotusta, josta seminaari on esimerkki. Vääristä ja puutteellisista perusteista lähtevät asenteet ovat merkittävä riski ja uhkatekijä".

Kenellekkään ei seminaarissa jäänyt epäselväksi Leena Luhtasen oma kanta ydinvoimaan "Olen itse sitä mieltä, että jos eduskunta antaa luvan ydinvoiman rakentamiselle, asiantuntijat rakentakoot. Asiantuntijoiden tulisi tehdä lopullinen päätös rakentamisesta. Kioto ja talouskasvu liittyvät toisiinsa, jatkossa on oltava oltava vähäpäästöisiä energialähteitä".

### Esimerkkejä tappavista "kemiallisista" ja muista tekijöistä (hyvin karkea arvio)

*Liite professori Terttu Vartiaisen alustukseen*

<b>Tekijä</b>	<b>suomalaisia kuolee vuodessa</b>	
tupakka	- syöpä	3 000
	- ei-tupakoivat	100
	- sydän ym.	5 000
"väärä" ravinto	- syöpä	3 000
	- sydän ym.	10 000
alkoholi	- syöpä	300
	- muu (ensisijainen alkoholisairaus)	600
liikenne	- onnettomuudet	500
	- saasteet (keuhkosyöpä, sydäninfarkti)	200
äkilliset myrkytykset		500
työympäristön syöpä		200
	- asbesti	100
energiantuotannon saasteet		100
radon		200
etelänmatkailu, melanooma		50
häkäonnettomuudet		25
Tshernobyl, syöpä		5
torjunta-ainejäämät, syöpä		1
sienimyrkytykset		1
Altistus vähentynyt 80% 1990-alkuun mennessä:		
juomaveden kloorisivutuotteet		100

*Mukaillen: Jouko Tuomisto, Myrkyinvihreä maailma. Ympäristöstä kiinnostuneen käsikirja. 1992 s. 135.*

FK Anneli Nikula  
on johtava asiantuntija  
Energia-alan Keskus-  
liitto Finergyssä.  
Puh. (09) 686 1622.  
anneli.nikula@finergy.fi



Reaktorifysiikan opiskelua kesällä

# Frederic Joliotin reaktorifysiikan kesäkoulu



**F**rederic Joliotin mukaan nimetty reaktorifysiikan kesäkoulu järjestettiin jo neljännen kerran Cadarachen linnassa 17.-26. elokuuta 1998. Kesäkoulun suosio on kasvanut vuosi vuodelta, ja tänä vuonna kurssille osallistui yhteensä 65 tutkijaa ja insinööriä 20 eri maasta. Ensimmäisen kerran osallistujia saapui myös Suomesta: Jari Kuusisto (IVO PE), Juha Ohvo (LTKK), Aapo Tanskanen (VTT Energia), Minna Tuomainen (LTKK) ja Eero Virtanen (LTKK). Eurooppalaisten lisäksi kesäkouluun saapui osallistujia myös USA:sta, Japanista, Koreasta, Kiinasta ja Argentiinasta.

## Korkeatasoinen ohjelma

Kesäkoulun päiväohjelma koostui aamupäivän kolmesta tunnin mittaisesta luennoista, ranskalaisittain pitkistä lounastauosta ja kolmesta iltapäiväluennosta, joiden jälkeen oli varattu tunti vapaata keskustelua varten. Kesäkoulussa syvennyttiin kuuteen eri aiheeseen: koppipalamaohjelmien fysiikka, kehittyneet Monte Carlo -menetelmät, polttoainekierron loppupää, innovatiiviset reaktorit, hiukkaskiihdytinpoh-

jaiset neutronilähteet ja kriittisyysturvallisuus. Luennoitsijat olivat selvästi alansa asiantuntijoita ja vastasivat mielellään heille esitettyihin kysymyksiin. Monet heistä myös asuivat kanssamme Cadarachen linnassa, joten saatoimme esittää heille kysymyksiä myös luentojen ulkopuolella. Kesäkoulun varsinaisten luentojen lisäksi järjestettiin seminaari, jossa tohtori R. Klapitsch kertoi Rubbian nimellä tunnetun hiukkaskiihdyttimellä ajatun lyijyjäähdytteisen alikriittisen reaktorin kehitystyöstä. Vierailimme myös Cadarachen tutkimuslaitoksen TORE SUPRA -tokamakilla.

## Kehittyneet Monte Carlo -menetelmät

Kesäkoulun ohjelmassa painotettiin reaktorifysiikan tällä hetkellä kuumimpia tutkimuskohteita. Monte Carlo -ohjelmilla voidaan ratkaista neutronien kuljetusyhtälö. Niiden merkitys on kasvanut, koska niillä voidaan nykyään mallintaa yksityiskohtaisesti monimutkaisiakin geometrioita. Kursilla tutustuimme uusiin kehittyneisiin Monte Carlo -menetelmiin, jotka parantavat menetelmän käytettävyyttä. Esimerkiksi

häiriöteoriaan perustuvalla Monte Carlolla voidaan tarkastella pienten parametrimuutosten vaikutusta. Erittäin kiinnostavalta vaikutti myös liittofunktiioihin perustuva Adjoint Monte Carlo, jossa neutronien elinhistorioiden sijasta luodaankin detektorissa syntyvien ja neutronilähteeseen päätyvien "adjunctonien" elinhistorioita. Näin on mahdollista laskea esimerkiksi pistemäisen detektorin vaste tavallisessa Monte Carlo -ajossahan ei yksikään neutroni osuisi pistemäiseen detektoriin! Monte Carlo -ohjelmat eivät kuitenkaan syrjäytä koppipalamaohjelmia, jotka ovat edelleen monta kertaluokkaa nopeampia reaktorifysiikan perustyökaluja.

## Transmutointi ja innovatiiviset reaktorit

Ydinjätteen transmutointi on viime aikoina herättänyt kiinnostusta erityisesti Euroopassa. Onnistuneella transmutoinnilla, mikä edellyttää ydinjätteen jälleenkäsittelyä, voidaan pienentää ydinjätteen radiotoksisuutta sekä lyhentää aikaa, jonka kuluessa ydinjäte puoliintuu vaarattomaksi. Näin on mahdollista pienentää ydinjätteestä aiheutuvia riskejä sillä edellytyksellä, että jälleenkäsitte-



# Ydinenergia-alan nuoret kokoontuivat

ly- ja transmutointilaitosten riskit hallitaan. Kesäkoulussa käsiteltiin ranskalaisille tuttuja jälleenkäsittelyprosesseja sekä tarkasteltiin mm. hiukkaskiihdytinpohjaisen alikriittisen reaktorin mahdollisuuksia aktinidien polttajana. Kesäkoulussa tutustuttiin myös moniin muihin innovatiivisiin polttoaineisiin ja reaktorityyppeihin, joita luennoitsijat kehuivat estottomasti, mutta joiden kaupallistaminen on vielä kovin kaukana.

## Palaman ottaminen huomioon kriittisyysturvallisuudessa

Kriittisyysturvallisuus on viime aikoina noussut esille mm. uusien polttoainetyyppien johdosta. Erityisen kiinnostava tutkimusaihe on ns. Burnup Credit eli palaman (polttoaineen isotooppikoostumuksen muutoksen) ottaminen huomioon kriittisyysturvallisuusanalyysissä. Perinteisesti kriittisyysturvallisuusanalyysissä polttoaineen oletetaan olevan tuoretta, jolloin polttoaineen reaktiivisuutta yliarvioidaan vahvasti. Jos kriittisyysturvallisuusanalyysissä käytettäisiin polttoaineen todellista isotooppikoostumusta, voitaisiin varastoaltaisiin ja kuljetussäiliöihin sijoittaa huomattavasti enemmän käytettyä polttoainetta. Burnup Credit -periaatteen soveltaminen vaatii laskentaohjelmilta ja ydinvakioilta hyvää tarkkuutta sekä edellyttää analysointityökalujen huolellista validointia.

### Ensi vuoden kesäkoulu

Kesäkoulun järjestelyt toimivat erinomaisesti ja oppilaat saivat rauhassa keskittyä itse aiheeseen. Kurssi auttoi meitä paremmin ymmärtämään jokapäiväisessä työssäme käyttämiämme reaktorifysikaalisia laskentaohjelmia. Etelä-Ranskan auringon porotassa oli ihan mukavaa istua ilmastoidussa luentosalissa, ja viikonloppuretki Marseillesin hiekkarannalle tuntui vähintäänkin ansaitulta.

Ensi vuonna kesäkoulu järjestettäneen Karlsruhessa uudella nimellä: Frederic Joliot - Otto Hahn Summer School in Reactor Physics. Lisätietoja ensi vuoden kesäkoulusta voi kysellä koulun perustajalta ja johtajalta Massimo Salvatorelta. Hänen sähköpostiosoitteensa on salvatores@drn.cea.fr.



Aamulla 9.11.1998 pidettiin historian ensimmäinen YG-seminaari, johon otti osaa noin 60 nuorta – ikärajanahan pidetään 35 vuoden rajapyykkiä.

**S**uomen ensimmäinen ydinenergia-alalla työskentelevien nuorten Young Generation (YG) -seminaari järjestettiin 9.-10. marraskuuta Helsingissä rinnakkain ATS:n syysseminaarin kanssa. YG-seminaari alkoi maanantaiaamun esitelmätilaisuudella, jossa Teollisuuden Voiman, Imatran Voiman ja Posivan edustajat kertoivat YVA-ohjelmistaan. Iltapäivällä Young Generation osallistui joukolla ATS:n syysseminaariin hotelli Lordissa, ja illan päätteeksi YG-porukka siirtyi Yrjönvinttiin saunomaan ja tutustumaan toisiinsa. Muutama vanhempikin uskaltautui mukaan ja heidät toivotettiin tervetulleiksi. Seminaari päättyi tiistaiamun vierailuun boorineutronikaappausterapiaan muunnetulle Triga-tutkimusreaktorille.

YG-seminaarin suosio ylitti jopa järjestäjien odotukset: maanantain tilaisuuksiin osallistui kuhunkin lähes 50 nuorta eli huomattava osuus Suomessa ydinenergia-alalla työskentelevistä nuorista. Osallistujien silmiinpistävä innostus ja palaute olivat niin rohkaisevia, että nyt järjestetty seminaari tuskin jää ainoaksi lajissaan. Seminaarissa kaksi YG-toiminnan perusideaa toteutuivat erinomaisesti: luotiin kontakteja kokeneen ja nuoren sukupolven välille ja toisaalta annettiin nuorille mahdollisuus tutustua

ikäisiinsä kollegoihin. Seminaarin ensisijainen tarkoitus oli kuitenkin toimia lähtölaukauksena tulevalle YG-toiminnalle.

*Kiitos seminaarin onnistumisesta kuuluu kaikille seminaariin osallistuneille, järjestelyistä vastanneille YG-yhteyshenkilöille sekä monille asiaamme tukeneille. Tästä on hyvä jatkaa. Seuraavan kerran nuori sukupolvi kokoontuu keväällä teemapäivän merkeissä.*

**Aapo Tanskanen**

### Young Generation -yhteyshenkilöt:

Johanna Hansen	Posiva
Kari Kaukonen	TVO
Lindén Jan	IVO Loviisa
Sanna Outa	IVO Power Engineering Oy
Tommi Renvall	VTT Kemiantekniikka
Riku Riski	Ydinenergianuoret ry
Samuli Saarelma	TKK
Aapo Tanskanen (pj.)	VTT Energia
Petteri Tiippa	STUK
Pekka Tolonen	LTKK
Milja Walsh	Finergy



# ATS:n syysseminaari

**A**TS:n perinteikäs syysseminaari järjestettiin tänä vuonna tutussa paikassa Vanhalla Polilla, jota nykyisin Lord-hotelliksikin kutsutaan. Seminaariin osallistui runsaasti väkeä, erityisesti Young Generation:n osuus oli ilahduttavaa korkea.

Seminaariin oli saatu mielenkiintoisia esityksiä.

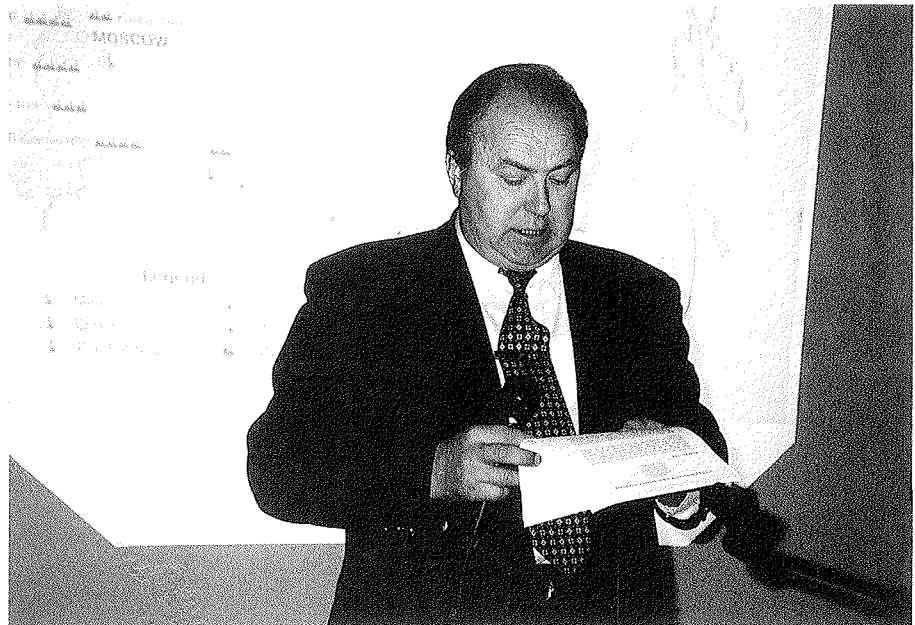
Ensimmäisen niistä, Situation and Plans of the Russian Nuclear Power Programme and Activities of the Russian Nuclear Society piti Venäjän ydinteknisen seuran varapuheenjohtaja A. Gagarinski. Venäjän ydinvoimalaitosten sähköntuotanteho on nyt 21 GW. Vuoden 2010 tilannetta ennustetaan kolmella skenaariolla:

- Hallituksen ohjelma ydinvoiman käytön lisäämiseksi, tällöin tehoja on 28 GW vuonna 2010.
- Nykyisten yksikköjen käyttöiän pidentäminen, tehoa riittää vielä 20 GW vuodeksi 2010.
- Ei tehdä mitään, tehoa on jäljellä 17,5 GW vuonna 2010.

Hallituksen ohjelma käsittää käyttöiän pidentämisen lisäksi mm. uusien reaktoreiden rakentamista. Nämä reaktorit tulisivat olemaan kehittyneitä versioita nykyisistä venäläisistä reaktorimalleista. Lisäksi on kehitteillä joitain innovatiivisia malleja, kuten kaasuturpiinilla varustettu helium jäähdynteinen (HTGR) -reaktori.

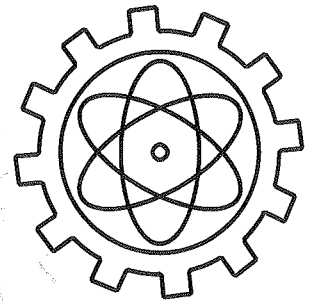
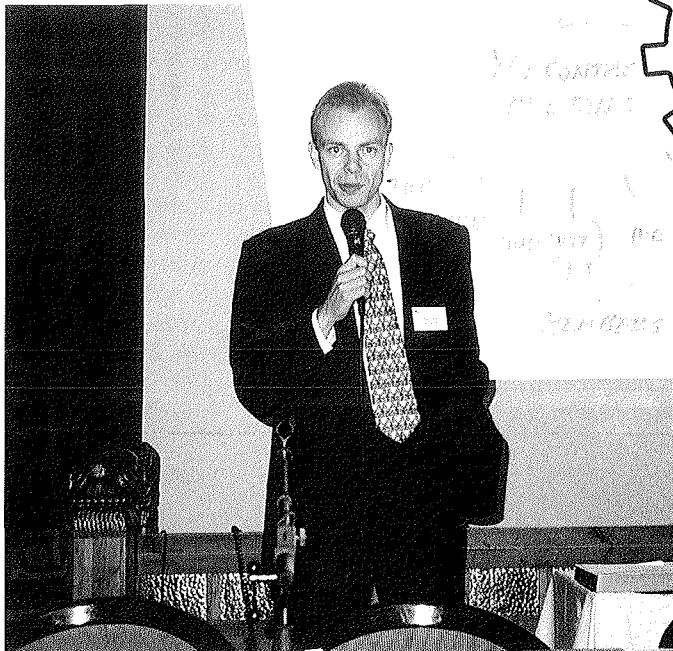
Pietarin Atomteploenergoprojektin Lämpö ja mekaniikan osaston päällikkö A. V. Molchanov esitteli VVER-640 -laitoksen turvallisuusratkaisuja (Technical Features and Particularities of Ensuring Safety in the New NPP-concept VVER-640). Laitos perustuu pitkälti VVER-1000 -tyyppiin. Lämpöteho on 1800 MW. Laitokseen on suunniteltu aktiivisia ja passiivisia turvajärjestelmiä. Ensimmäiset laitoksiköt on tarkoitus rakentaa Sosnovy Boriin ja Kuolaan. Sosnovy Boriin on myös suunnitteilla ydinturvallisuustutkimuskeskus.

ABB:n BWR 90+ esitteli projekti-päällikkö Bengt Ivung ABB Atomista. BWR 90+ on parannettu versio BWR 90:stä, joka on suunniteltu BWR 75:n kokemusten perusteella. Reaktorin lämpöteho on 4250 MW. Reaktorityypille on tehty



European Utility Requirements -validointi. Tärkeimpinä poikkeamina Ivung mainitsi, että EUR ei hyväksy suojarakennuksen suodatettua paineenalennusta varhaisessa vaiheessa, laitoksella tulisi olla varastointitilaa käytetylle polttoaineelle 10 - 15 vuodeksi ja laitoksen pitäisi selvittää ulkoisen verkon suurista häiriöistä.

ATS:n seminaarissa 130 osallistujalle Venäjän ydinvoimatilanteesta kertoi professori Andrei Gagarinski, joka jo vuonna 1990 järjesti ATS:n ekskursion Tsheljabinskiin.



Syysseminaarissa Suomen YG-toiminnasta raportoi Mikko Pihlatie. Uusi Suomen YG-vetäjä on Aapo Tanskanen, jonka artikkelit reaktori-fysiikan kesäkoulusta ja YG-seminaarista voit lukea edellisiltä sivuilta.



Eero Patrakka

.....

## KOLUMNI

# Ydin ja osaaminen – ydinosaaminen?

**Y**dinturvallisuus- ja ydinenergianeuvottelukunnat järjestivät marraskuun alkupäivinä vuotuisen seminaarinsa, jonka kantavaksi aiheeksi oli tänä vuonna valittu Ydinenergia-alan tietotaidon ylläpito. Asiaa tarkasteltiin seminaarissa niin viranomaisten, kouluttajien kuin voimayhtiöidenkin näkökulmasta. Ei ollut mitenkään yllättävää, että eri osapuolia edustaneet esitelmöijät olivat aiheesta varsin yksimielisiä. Huomattava osa maamme ydinenergia-alan asiantuntijoista on saanut koulutuksensa kolmisenkymmentä vuotta sitten, ja he edustavat suuria ikäluokkia sekä yleiseltä että oman alamme kannalta. Ikäpyramidin pullistuma on toistaiseksi hallinnassa, mutta tilanteen huononeminen alkaa muutamassa vuodessa. Muutokseen on varauduttava, mutta ihmisiä ei voi kouluttaa varastoon eikä palkata töitä odottelemaan. Tasapainoilussa on vain varottava sitä, ettei kurki kuole ennen kuin suo sulaa.

Ydinenergia-alan koulutusta annetaan useammassakin yksikössä eri paikkakunnilla, ja olemassa oleva infrastruktuuri takaa koulutusmahdollisuudet. Koulutustarve on sen sijaan tällä hetkellä vähäinen. Tarve kasvaa vasta 2000-luvun jälkipuoliskolla ja saavuttaa huippunsa vuoden 2010 tienoilla suurten ikäluokkien siirtyessä eläkkeelle. Uuden ydinvoimalan rakentamiseen ei tarvetta paljon lisäksi. Pienenkin koulutusmäärän ylläpitämisessä on kuitenkin ongelmia. Kilpailussa hyvistä opiskelijoista ei pärjätä, koska energia-alan imago on huono. Tutkimustoiminta näivetty ja yksipuolistuu rahoituksen hiipuessa. Maaillalla yleistynyt ydinvoimasta luopuminen tappaa tulevaisuudenuskon. Väärä tulosvastuujattelu estää pitkäjänteisen toiminnan.

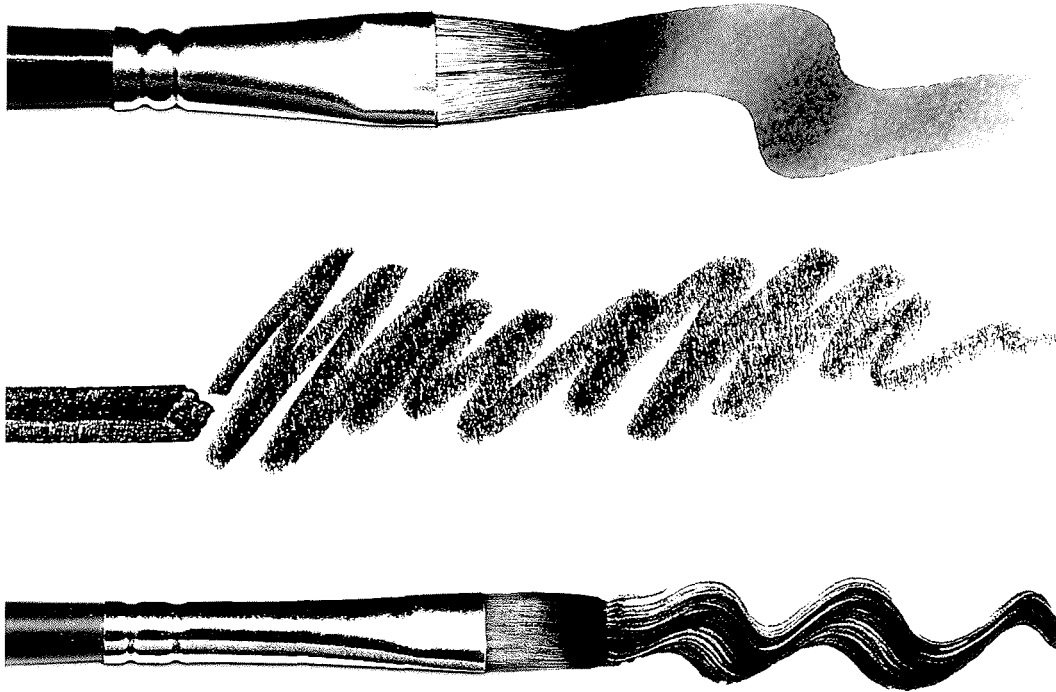
Voimayhtiöiden kannalta on tärkeää taata voimalaitosten turvallinen ja taloudellinen käyttö sekä huolehtia ydinvoiman yleisestä hyväksyttävyydestä. Henkilöstöpolitiikan kannalta tämä tarkoittaa iskukykyisen asiantuntemuksen jatkuvaa ylläpitoa. Avainasiantuntijat ovat omasta talosta, mutta kaikkea ei tarvitse itse osata, sillä lisäresursseina ovat laitos- ja laitetoimittajat, konsultit ja tutkimuslaitokset. Nykyinen stabiili tilanne edellyttää monenlaisten keinojen käyttöä. Sekä Loviisassa että Olkiluodossa on toteutettu mittavat modernisointiohjelmat, joihin osallistamalla henkilöstö pystyi vahvistamaan tietojaan ja täydentämään niitä kehityksen uusimmilla tuloksilla. Voimayh-

tiöt ovat tiiviisti seuranneet laitostoimittajien laitoskehityshankkeita, mikä on edistänyt alan asiantuntemuksen säilymistä ja uuden ydinvoimalaitostekniikan tuntemusta. Tutkimus- ja kehitystyötä on suoritettu omasta takaa samoin kuin on pidetty kiinteitä yhteyksiä tutkimuslaitoksiin ja korkeakouluihin. Sisäisestä koulutuksesta huolehtiminen kuuluu organisaatioiden perusvelvollisuuksiin. Alan vilkkaat kansainväliset yhteydet helpottavat myös tietotaidon säilyttämistä.

Tilanne on ristiriitainen ellei suorastaan paradoksaalinen. Voimayhtiöt olettavat lisäresurssien löytyvän muutaman vuoden kuluttua, kun niiden tarve ajankohtaistuu. Vaikka korkeakouluilla on valmiudet kouluttaa alalle asiantuntijoita, ydinenergia ei opiskelijoita kiinnosta. Ja vaikka kiinnostusta olisi, mahdollisuudet tarjota työpaikkoja valmistuville ovat turhan rajalliset. Alalle tuleville on voitava tarjota kiinnostavaa ja haasteellista työtä. Nykyisessä kehitysvaiheessa tarjolla ovat toisaalta tutkimustehtävät ja toisaalta hakeutuminen ulkomaille. Molempia keinoja on käytetty, mutta kummallakin on omat rajoituksensa. Tutkimuksen rahoituspohja ei ole liian vankka vanhalla ja vakiintuneella alalla, vaikka EU:n jäsenyys onkin tuonut uusia ulottuvuuksia. Kynnys muuttaa ulkomaille on korkea, eikä sielläkään kiskota työnhakijoita käsistä.

Ongelmista on ennenkin selvitty ja selvittää varmaan nytkin. Rainer Salomaa luetteli seminaarissa lukuisia selviytymiskeinoja, joita jokainen ilman muuta kannattaa. Ydinvoiman hyväksyttävyyttä tai ainakin siedettävyyttä tulee parantaa poistamalla alan eriskummallisuus. Kaikki keinot on käytettävä alan ammattilaisten motivaation ja ammattitaidon ylläpitämiseksi. Suomalaisen ydinenergia-alan hyvää yhteistyötä on vaalittava ja mielellään tehostettava. Kansainvälisen koulutusyhteistyön antamia uusia mahdollisuuksia on käytettävä hyväksi. Tutkimus voidaan säilyttää elinvoimaisena kansainvälisen yhteistyön avulla ja ottamalla mukaan uusia haasteellisia tutkimusaloja, kuten kehittyneet fissioreaktorit, fuusio ja transmutaatio. Lopuksi on muistettava, että elämä jatkuu nykyisen ydinvoimalapolven jälkeenkkin. ■

# MITÄ YHTEISTÄ ON KULTTUURI- JA ENERGIAPOLITIIKALLA?



**MOLEMMAT VAIKUTTAVAT  
OLENNAISESTI KAIKKIEN  
SUOMALAISTEN HYVINVOINTIIN.**

Monipuolisella osaamisellamme luomme edellytyksiä teollisuuden ja koko yhteiskunnan kehitykselle.



*Veden, hiilen ja öljyn lisäksi käytämme sähköntuotannon raaka-aineina uraania, puuta, maakaasua ja turvetta.*

**POHJOLAN VOIMA**

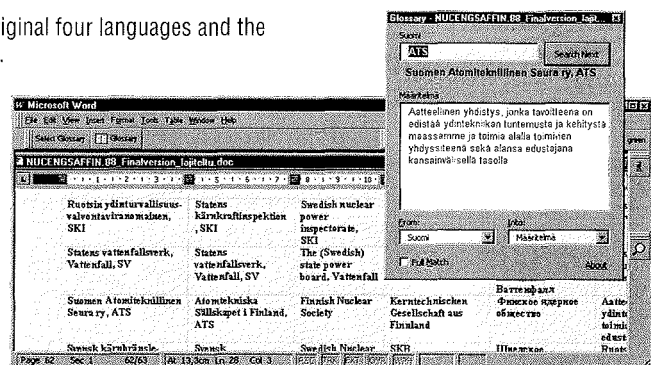
## Transformation into electronic form of the 1973 Nuclear Technology Dictionary and the 1988 Glossary of Terms prepared by the Finnish Nuclear Society

In the project carried out in 1998 the ATS Terminology Dictionary of 1973 (Ydintekniikan Sanasto) was "saved" by transferring it into an electronic form comprising four languages (Finnish - Swedish - English - Russian). Another important accomplishment was the transformation of the second terminology dictionary of ATS, Glossary of Terms of 1988 (Ydinvoimatekniikan Sanasto, ATS, Vantaa 1988) and its catalogue of the definitions (in Finnish) into an electronic form as well. Originally the printed version of this glossary included four languages (Finnish, Swedish, English, German). Besides these languages the Russian language was added to this dictionary with the help of the previous glossary. In addition to the vocabulary available in the 1973 terminology dictionary other sources of information and expertise were utilised by professor Golemanov and the members of the Society to check the Russian translations.

The format of the terminology dictionary versions prepared in this project look like normal tables of the MS Word of Office '97. The dictionaries include auxiliary tools to select the pertinent dictionary and to assist the searching of the words in any of the included languages. These tools have been prepared using the normal Word Basic commands.

In combination the two stages of the project have resulted into the final product that contains the 1973 terminology dictionary with four languages and the 1988 terminology dictionary containing besides the original four languages and the definitions in Finnish also the Russian language translations of the terms.

The project was conducted in co-operation by professor Golemanov (c/o LAG Controls Oy) and the Finnish Nuclear Society. During the process several member of the Society participated actively in the commenting of the contents of the new electronic dictionaries. The products of this project are going to be shortly distributed to all the members of the society to be exploited in a much more flexible way than previously. As the next step the Finnish Nuclear Society contemplates to launch a new activity, where a major updating and merging of the two separate dictionaries is planned to be accomplished. A possible future step may also include the addition of further languages to the combined dictionary, such as French.



SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA -

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry



## Kannatusjäsenet

ABB Power Oy

Fintact Oy

IVO-yhtiöt

Kemira Oy, Energia

Mercantile-KSB Oy Ab

NAF Oy

Neste Oy

Perusvoima Oy

Pohjolan Voima Oy

Posiva Oy

PRG-Tech Oy

Rados Technology Oy

Saario & Riekkola Oy

Siemens Oy

Soffco Oy Ab

Suomen Atomivakuutuspooli

Suomen Malmi Oy

Teollisuuden Voima Oy

VTT Energia

YIT-Yhtymä