



# ATS

## YDINTEKNIikka

4/89

vol. 18

### SISÄLTÖ

#### ENGLANTI

Vesireaktori on ykkönen — kustannus- hallinta Englannin ongelma . . . . .	1
ATS:n ulkomaan opintomatka Englantiin 22.—28.10.1989 . . . . .	2
Yleiskatsaus Ison-Britannian ydinenergiaan . . . . .	4
Vierailukohteet . . . . .	6
Turvallisuusvaatimusten kehittyminen . . . .	16
Vakavien reaktorionnettomuuksien hallinta Loviisan voimalaitoksissa . . . . .	18
Uusi kirja: Säteilysuojelun käytäntö . . . . .	19
Sihteerin sana — Mitä ovat FK ja SKI? — ATS vieraili Ruotsissa 15.11. . . . .	20
Ytimekkäät . . . . .	22
Lyhyesti maailmalta . . . . .	23
English Abstracts . . . . .	24
ATS:n johtokunnat seuran perustamisesta lähtien . . . . .	25

# ATS

## YDINTEKNIikka

### 4/89, vol. 18

---

#### JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —  
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

---

#### TOIMITUS

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

Erikoistoimittaja  
TkL Klaus Sjöblom  
Imatran Voima Oy  
PL 23  
07901 Loviisa  
P. 915-550431

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

Toimitussihteeri  
DI Pertti Salminen  
VTT/YDI  
PL 169, Lönnrotinkatu 37  
00181 HELSINKI  
P. 90-648931

---

#### JOHTOKUNTA

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

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

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

Jäs. FK Hannu Koponen  
Säteilyturvakeskus  
Kumpulantie 7  
00520 Helsinki  
P. 90-70821

Rh TkT Hannu Hänninen  
VTT/Metallilaboratorio  
Kemistintie 3  
02150 Espoo  
P. 90-43566798

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

Siht. DI Jorma Aurela  
Imatran Voima Oy  
PL 112  
01601 Vantaa  
P. 90-5082426

---

#### TOIMIHENKILÖT

Yleissihteeri  
DI Jussi-Pekka Palmu  
Imatran Voima Oy  
PL 112  
01601 Vantaa  
P. 90-5301647

Ekskursios sihteeri  
TkL Eero Patrakka  
Teollisuuden Voima Oy  
Fredrikinkatu 51—53 B  
00100 Helsinki  
P. 90-605022

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

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

DI Ilkka Mikkola on Teollisuuden Voima Oy:n polttoainetoimiston päällikkö ja ATS:n puheenjohtaja, p. 90-605 022.

ATS YDINTEKNIikka (18) 4/89

ENGLANTI

Vuoden 1990 numeroiden teemat ovat:

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

Vuosikerran tilaushinta muilta kuin  
ATS:n jäseniltä: 200 mk

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

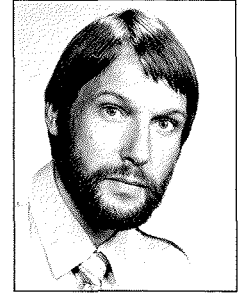
Toimituksen osoite:

ATS Ydintekniikka  
c/o Pertti Salminen  
VTT/YDI  
Lönnrotinkatu 37  
PL 169  
00181 HELSINKI  
p. 90-648 931  
telefax 90-603 626

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

ISSN-0356-0473

*Ilkka Mikkola*



## Vesireaktori on ykkönen — kustannushallinta Englannin ongelma

*Ison-Britannian ydinvoimaohjelmassa rakennetaan parhaillaan painevesireaktorilla varustettua 1300 MW:n ydinvoimalaitosta Sizewelliin, ja seuraavat ovat olleet suunnitteilla. PWR-projekteja ovat edeltäneet pitkät ja laajat julkiset kuulemiset — ”public hearing” joissa kaikki vasta-argumentit ovat vähitellen osoittautuneet kestävämmiksi, myös Tshernobylin jälkeen. Vesireaktorit on hyväksytty myös tässä ydinvoiman pioneeri-maassa, jossa kaasujäähdytteiset grafiittiluonnonuraanireaktorit ovat olleet pitkään sähkönteon työjuhtia.*

*M maailman ”ensimmäinen kaupallinen” (”industrial size”) ydinvoimalaitos lähti käyntiin Englannissa 1956. Kuningatar vihki silloin Calder Hallin ydinvoimalaitoksen. Neuvostoliitossa oli tosin jo 1954 käynnistetty 5 MW:n koelaitos, niinkään grafiittihidasteinen, mutta jäähdytteenä kiehuva vesi. Englanti oli useita vuosia johtava ydinvoimamaa. Kaasujäähdytteiset reaktorit olivat ”työhevösia”, rauhallisia ja hitaita, ja niitä oli turvallista ajaa. Myös turvallisuusteorian ja säteilysuojelun aloilla Englanti oli johtava maa.*

*Englantilaiset eivät hyväksyneet grafiittireaktorin jäähdytteeksi vettä, koska he päättelivät jo 1950-luvulla, että veden poiskiehua voi johtaa grafiittihidasteisen reaktorin tehon ryntäykseen — ilmiö, joka tapahtuikin ikävin seurauksin Tshernobylistä.*

*Viime vuosina englantilaiset ovat kypsyneet siihen, että koeteltu ja kokemusten mukaan kehitelty vesireaktori on turvallinen. Se on myös kooltaan pienempi, ja tulee edullisemmaksi rakentaa ja on purkukustannustenkin kannalta edullisempi. ”Magnox-reaktorien” purkukustannuksethan, mukaan lukien polttoaineen jälkikäsitteily, ovat ongelma. Onnettomuustilanteen varalta vesireaktori on turvallisempi mm., koska se suljetaan suojarakennukseen eikä siinä voi tapahtua grafiitin (hiilen) tulipaloa, joka sekä Tshernobylistä että Windscalessa levitti aktiivisia aineita laajalle.*

*Englannin ensimmäinen PWR-ydinvoimalaitos tulee verrattain kalliiksi. Siihen tulee paljon suunnittelun ja hankinnan kertakustannuksia. Seuraavista laitoksista tämä osuus jäisi pois. Voimayhtiöiden uusi organisointi varmaan aikanaan puree myös kustannuksiin, joiden hillitseminen on osoittautunut ongelmalliseksi Englannin organisaatioissa.*

*Englannilla on vanha, koko polttoainekierron kattava ydinpolttolaitteellisuus. Sitä on viime vuosina modernisoitu, josta esimerkkinä uusi jälleenkäsittelylaitos sekä Urencon sähköä säästävä sentrifugiväkevöinti. Meillä on syytä toivottaa menestystä Ison-Britannian uudistuvalla ydinvoimateollisuudelle, jotta lounaistuuli puhaltaisi entistä puhtaampaa ja toisi vähemmän haposateita Pohjoismaihin. Tosin voidaan valittaen todeta, että viimeaikaiset uutiset kertovat koko ydinenergiaohjelman hidastumisesta Isossa-Britanniassa kustannusrönsyilyn takia. □*



# ATS:n ulkomaan opintomatka Englantiin 22.—28.10.1989

*Suomen Atomiteknillisen Seuran ulkomaan opintomatkan kohteeksi oli tänä vuonna valittu Englanti. Eriyisen kiinnostuksen kohteena matkalla oli tietysti Sizewellin PWR-projekti, mutta matkan alkua oli omistettu polttoainekierron eri vaiheille ja loppuosa tutkimukselle ja ydinteknillisille sisarseuroille. Koska Englannin ydintekninen teollisuus kattaa koko kentän, jouduttiin jo matkan suunnittelu- vaiheessa karsimaan monta mielenkiintoista kohdetta mm. maantieteellisistä ystävistä.*

Matkan suunnittelussa olivat mukana Urenco ja British Nuclear Fuels plc (BNFL), jotka koordinoivat lähes kaikki vierailut Englannissa. Järjestelyt onnistuivat erinomaisesti, ja tästä lankeaa kiitos Urencon markkinointipäällikölle Rainer Pannierille ja BNFL:n ulkomaan myyntipäällikölle Chris Halseyille ja rouva Mable Jonesille. Jokaisessa vierailukohteessa ATS:n edustajat otettiin vastaan vieraanvaraisesti, ja heille esiteltiin kunkin kohteen toimintaa asiantuntevasti.

Matkaan kuului 10 vierailukohdetta, jotka on lueteltu oheisessa matkaohjelmassa. Vierailut aloitettiin maantieteellisesti etäisimmästä kohteesta Sellafieldestä, jonka lähettyville siirryttiin sunnuntaina 22.10. bussilla Manchesterista. Maanantaina 23.10. ohjelmaan kuului BNFL:n Sellafielдин laitosten lisäksi käynti Heyshamin AGR-laitoksella, joka on länsirannikolla Sellafieldestä etelään.

Tästä oli johdonmukaista jatkaa BNFL:n polttoainelaitoksille Springfieldsiin ja edelleen Urencon väkeväntilaitoksille Capenhurstiin, joihin molempiin tutustuttiin tiistaina 24.10. Ehdittiinpä tiistai-iltana tehdä kierros Chesterin vanhassa kaupungissakin, joka on jo roomalaisten perustama.

TkL Eero Patrakka on Teollisuuden Voima Oy:n koulutustoimiston päällikkö ja ATS:n ekskursionsihteeri, p. 90-605 022.

## MATKAOHJELMA

- 22.10. Lento Helsinki — Lontoo — Manchester  
Su Bussi Manchester — St. Bees
- 23.10. Vierailu British Nuclear Fuelsin (BNFL) laitoksilla Sellafieldestä  
Ma Bussi Sellafield — Heysham  
Vierailu Heyshamin AGR-laitokselle  
Bussi Heysham — Preston
- 24.10. Vierailu BNFL:n polttoaineen valmistuslaitoksilla Springfieldsissä  
Ti Bussi Springfields — Capenhurst  
Vierailu Urencon väkeväntilaitoksella Capenhurstissa
- 25.10. Bussi Chester — Booths Hall  
Ke Vierailu National Nuclear Corporationin (NNC) ja National Powerin (NP) PWR-projektiryhmän luona Booths Hallissa  
Bussi Booths Hall — Rugby  
Vierailu GEC Alsthomin turpiinitehtaassa Rugbyssä  
Bussi Rugby — Oxford
- 26.10. Vierailu JET-laboratoriossa Culhamissa  
To Vierailu AEA Technologyn Harwellin laboratoriossa  
Bussi Harwell — Lontoo
- 27.10. Käynti teollisuusihteerin toimistossa  
Pe Kokous British Nuclear Energy Society (BNES) ja Institution of Nuclear Engineersin (INuCE) kanssa
- 28.10. Lento Lontoo — Helsinki  
La

## OSANOTTAJAT

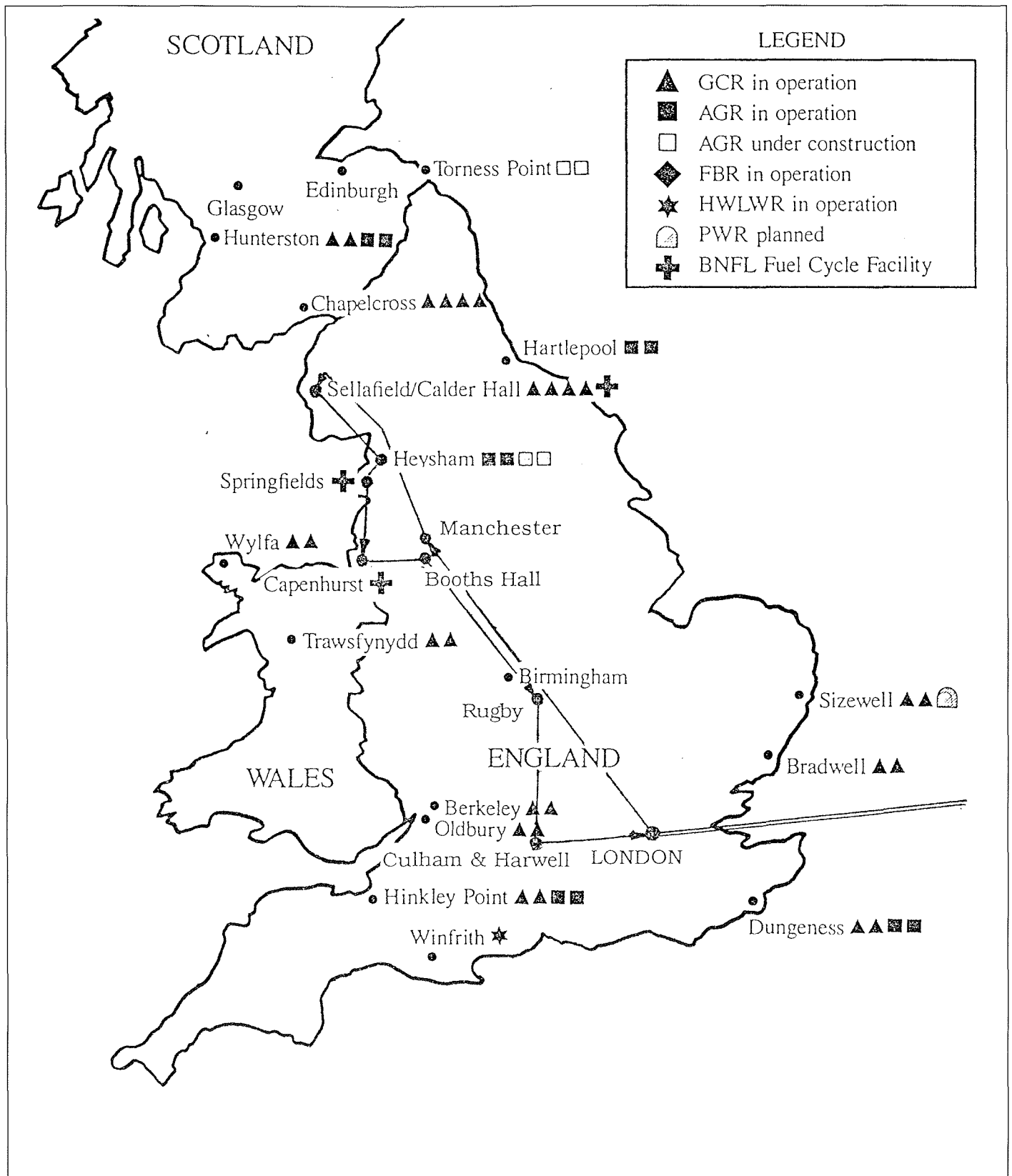
BLOMQUIST Leif  
IMMONEN Sakari  
JURVAKAINEN Esa  
JUUSELA Hannu  
KOSONEN Anna-Maija  
KÄTKÄ Martti  
LAMROTH Harry  
MIKKOLA Ilkka  
MOISIO Jussi  
PATRAKKA Eero  
POTERI Antti  
PÖLLÄNEN Roy  
RUUSKA Vesa  
SCHULTZ Eero  
TUUNANEN Jari  
VÄYRYNEN Heikki

Säteilyturvakeskus  
Kauppa- ja teollisuusministeriö  
Teollisuuden Voima Oy  
Imatran Voima Oy  
Valtion teknillinen tutkimuskeskus  
Imatran Voima Oy  
Imatran Voima Oy  
Teollisuuden Voima Oy  
Imatran Voima Oy  
Teollisuuden Voima Oy  
Valtion teknillinen tutkimuskeskus  
Säteilyturvakeskus  
Säteilyturvakeskus  
Teollisuuden Voima Oy  
Valtion teknillinen tutkimuskeskus  
Imatran Voima Oy

Keskiviikon 25.10. ohjelma oli varattu voimalaitostekniikalle. Aamupäivällä olivat vuorossa esitykset PWR-projektista Booths Hallissa, jossa on kaikkiaan kolmen eri yhtiön suunnittelutoimistot: National Nuclear Corporation (NNC), National Powerin (NP) PWR Project Group ja PWR Power Projects (PPP).

Osanottajat saivat tässä yhteydessä hyvän tuntuman Englannin sähköntuotannon yksityistämisen nykyvaiheeseen.

Keskiviikon iltapäivällä käytiin GEC Alsthomin turpiinitehtaalla Rugbyssä. Tämäkin yhtiö on vastikään kokenut muodonmuutoksen, kun GEC:n ja



Alsthomin toimintoja on yhdistetty yhteisyritykseen. Rugbystä bussimatka jatkui edelleen kohti etelää. Torstaina 26.10. vierailtiin kansainvälisessä JET-laboratoriossa Culhamissa ja AEA Technologyn Harwellin laboratoriossa. Jälkimmäinen yhtiö on United Kingdom Atomic Energy Authorityn (UKAEA) kaupallinen toimintimi.

Englannin kierros päättyi Lontooseen, jossa oli ohjelmaa perjantapäiväksi

27.10. Teollisuussihteerin toimistossa esitelti teollisuussihteriavustaja Merja Latunen Englannin teollisuus- ja talousnäkyviä. Tämän jälkeen siirryttiin Institution of Civil Engineersin taloon, jossa tavattiin British Nuclear Society (BNES) ja Institution of Nuclear Engineersin (INuCE) edustajat.

Osanottajia matkalla oli kaikkiaan 16. Lukumäärää vähensivät odottamattomat työkiireet. Kaikki osanottajat pitivät mat-

kaa varsin onnistuneena, tarjosihan se edustavan kuvan paitsi Englannin ydintekniikasta myös itse maasta syrjäistä maaseutua myöten. Käytiinpä matkan aikana myös Walesin puolella katsomassa suomalaisen puunjalostusteollisuuden uutta kotiseutua. ATS:n delegaation johtajana toimi Seuran puheenjohtaja Ilkka Mikkola. □

# Yleiskatsaus Ison-Britannian ydinenergiaan

## Iso-Britannia organisoii uudeleen sähköntuotantoaan

Heikki Väyrynen, IVO

Energian kokonaiskulutus Irossa Britanniassa v 1988 vastasi 340 miljoonaa tonnia kivihiiltä, mistä fossiilisten polttoainneiden osuus oli 91 %, ydinenergian 6,7 %, vesivoiman 0,7 % ja tuonnin 1,5 %. Sähkön tuotantokapasiteetti on n 54 GW ja tuotanto v 1988 288 TWh, josta hie-man yli 20 % oli ydinvoimaa. Skotlan-nissa ydinvoiman osuus sähköstä oli vii-me vuonna 48 % ja nousee tänä vuonna 60 %:iin.

Noin puolet ydinenergiasta tuotettiin AGR-reaktoreilla (Advanced Gas-Cooled Reactor, 14 kpl) ja loput vanhemmilla Magnox-reaktoreilla (26 kpl), yhdellä SGHWR:lla ja yhdellä nopealla proto-tyyppireaktorilla. Laitosten käyttökertoimet ovat olleet varsin vaihtelevia; 23 vuotta vanha Hinkley Point A2 (Magnox) saa-vutti tuotantoennätyksen 700 vrk yhtä-jaksoista tehoajoa tammikuussa 1989. AGR-reaktorien korkein käyttökerroin v 1988 oli 89 % (Hunterston B3).

Varsin ajankohtainen ja huomiota herät-tänyt asia on koko sähköntuotannon ja -jakelun uudelleen organisointi ja osittai-nen yksityistäminen. Osittain uusi organi-saatio on jo toiminnassa nykyisen organi-saation sisällä. Kuitenkin uusien yhtiöi-den itsenäisen toiminnan alkamista on ly-käTTY kuudella kuukaudella alunperin suunnitellusta v 1990 alusta. Niiden osak-keiden myynti alkaa tämän jälkeen.

Sähkön tuotannosta ja jakelusta Englan-nissa ja Walesissa huolehtii Central Electricity Generating Board (CEGB) sekä 12 alueellista jakelulaitosta. Lisäksi British Nuclear Fuels plc käyttää kahdek-saa vanhaa ja pientä Magnox-laitosta (Calder Hall ja Chapelcross).

Uudistuksen yhteydessä CEGB jaetaan kolmeksi yhtiöksi:

- the National Power Company (NPC),
- the Power Generation Company (PowerGen),
- the National Grid Company (NGC).

NPC:n piti saada omistukseensa ja käyt-töönsä kaikki CEGB:n nykyiset AGR-laitokset sekä suunnitellut PWR-laitokset sekä noin puolet fossiilisista voimalaitok-sista. Jo käyttöikänsä loppua lähestyvien Magnoxien suunniteltiin jäävän valtion haltuun, koska niiden purkukustannuksia

ei ole kerätty rahastoon ennakkoon suo-malaiseen tapaan.

Äskettäin, matkan jälkeen, julkaistujen tietojen mukaan on päätetty, että kaikki ydinvoimalaitokset jäävät valtion hal-tuun. Osa fossiilisista laitoksista siirtyy PowerGen:n omistukseen ja käyttöön. NGC saa omistukseensa ja käyttöönsä siirtoverkon sekä kaksi pumppuvoimalai-tosta. Se vastaa myös verkon säädöstä ja keskusvalvomosta.

Alueellisista jakelulaitoksista tulee jake-luyhtiöitä, joiden tehtävissä tapahtuu seu-raavat muutokset:

- Jakeluyhtiöt omistavat yhteisesti NGC:n;
- Sähkön toimitusvelvoite siirtyy voi-mayhtiöiltä jakeluyhtiöille;
- Jakeluyhtiöiden on ostettava n 20 % toimittamastaan sähköstä ei-fossiilisesta tuotantokapasiteetista.

Viimemainittu velvoite on tärkeä ydinvoi-man kannalta, koska sen täyttäminen merkitsee lisäydinvoimakapasiteetin rakentamista ikääntyvien laitosten tilalle.

Skotlannissa vastaava uudistus merkitsee kahden sekä tuotannosta, siirrosta että jakelusta vastaavan yhtiön perustamista nykyisten kahden voimayhtiön tilalle. Näiden yhteisesti omistama kolmas yhtiö vastaa ydinvoimalaitosten käytöstä.

Kaikienkaikkiaan yksityistämiseen liittyy niin paljon hallinnollisia, poliittisia ja ta-loudellisia ongelmia, että uusia aikaisem-pia kumoavia tietoja tulee tiheään, ja tä-mäkin teksti saattaa olla jo painettaessa vanhentunutta tietoa.

Nopeiden reaktorien kehitystyötä on hi-dastettu ja panostusta siihen pienennetty n 25 %. Prototyypireaktorissa on jo saavutettu 20 % palamia.

Neljän voimalaitoksen painevesireaktori-ohjelma etenee vaivalloisesti. Ohjelmassa toisena olevan Hinkley Point C:n lipakä-sittelyyn liittyvät julkiset kuulemiset aloi-tettiin uudelleen Sizewell B:n kustannus-arvioiden noustua aikaisemmasta. Viimei-simpien uutisten mukaan Sizewell B:n jälkeisten yksiköiden kohtalo on hyvin epävarma, vaikka mm niiden paineastia-materiaalit on jo tilattu (Framatome). Tämä ilmeisesti perustui aikanaan halli-tuksen jo v 1979 tekemään päätökseen tukea PWR-ohjelmaa.

Kokouksessa British Nuclear Energy Societyn (BNES) ja Institution of

Nuclear Engineers (INE) kanssa tutustut-tiin näiden toimintaan. BNES on luon-teeltaan meidän ATS vastaava sisarseura. Siinä on n 1100 jäsentä, joista 20 % ulkomaalaisia. INE on yksi ja kooltaan hyvin pieni tekniikanalakohtainen "Institution", joka ei ole sama kuin ins-tituutti (Institute). Esim Institution of Electrical Engineers'n vakituinen henkilö-kunta on n 500, kun se INESSä on kolme täysaikainen + muutama osa-aikainen. Institutionien tehtävä liittyy hyvin lähei-sesti insinöörien koulutukseen. Ne valvo-vat korkeakouluopetuksen sisältöä, ja nii-den jäsenyys edellyttää eriasteista ohjat-tua lisäharjoittelua ja tutkintoja ennen varsinaisen jäsenyyden ja chartered engineer"-tittelin (CEng.) saamista. Ansi-oituneille jäsenille voidaan myöntää vielä "Fellow"- ja "Companion"-tittelit. INE:n jäseniä on 1800. Sen erityistehtävä tällä hetkellä on pyrkiä vaikuttamaan suureen yleisöön ja saada leviämään us-koa siihen, että maassa pystytään raken-tamaan ja käyttämään turvallista ydinvoi-maa.

## Säteilysuojelu

Leif Blomqvist, STUK

Englannin ydinlaitosten onnettomuusval-miuserjestyksessä on pitkälle samoja piir-teitä kuin suomalaisissa valmius- ja pelas-tussuunnitelmissa. Valmiussuunnittelu pe-rustuu usean eri organisaation toimesta laadittaviin koordinoituihin suunnitel-miin. Jokaisella organisaatiolla on oma erityinen vastuualueensa. Central Electricity Generating Board (CEGB) laatii valmius-suunnitelman ja yksityiskohtaisen val-miuskäsikirjan omistamilleen ydinvoima-laitospaikoille, kuten vierailukohteena olevalle Heyshamin AGR-laitoksellekin.

Valmiussuunnitelmat ulottuvat ainoastaan 2—3 km:n etäisyydelle laitoksesta, joskin säteilyvalvonnan osalta, esim. Heysha-missa 15 km asti. Ympäristövalvontaa varten on noin kilometrin päässä laitok-selta sijaitseva District Survey laboratory. Analyysin laadunvarmistusta hoidetaan interkalibraatioilla muiden viranomaisten ja yliopistojen laboratorioiden kanssa. Erityispiirteinä MAGNOX- ja AGR-reaktorin valmiussuunnittelussa on varau-tuminen jäädytteenä käytettävän CO<sub>2</sub>:n vuotoihin. Myrkytysvaaran takia on kai-kille valmiustehtäviin osallistuvilla oltava varattuina paineilmahengityslaitteet.

Taulukko. Kaupalliset ydinvoimalaitokset Isossa-Britanniassa.

Voimalaitos	Teho/yks. (MWe)	Tyyppi	Yhtiö	Käyttöönotto- vuosi
<b>Käytössä</b>				
Calder Hall 1, 2, 3, 4	50	GCR	BNFL	1956
Chapel Cross 1, 2, 3, 4	48	GCR	BNFL	1958
Berkeley 1, 2	138	GCR	CEGB	1962
Bradwell 1, 2	123	GCR	CEGB	1962
Hunterston A1, 2	150	GCR	SSEB	1964
Trawsfynydd 1, 2	195	GCR	CEGB	1965
Hinkley Point 1, 2	215	GCR	CEGB	1965
Dungeness A1, 2	212	GCR	CEGB	1965
Sizewell A1, 2	210	GCR	CEGB	1966
Oldbury 1, 2	217	GCR	CEGB	1968
Winfrith	92	HWLWR	UKAEA	1968
Wylfa 1, 2	420	GCR	CEGB	1971
Dounreay	250	LMFBR	UKAEA	1976
Hunterston B1	575	AGR	SSEB	1976
Hunterston B2	575	AGR	SSEB	1977
Hinkley Point B1	520	AGR	CEGB	1976
Hinkley Point B2	520	AGR	CEGB	1977
Dungeness B1	450	AGR	CEGB	1984
Heysham A1	622	AGR	CEGB	1984
Heysham A2	622	AGR	CEGB	1985
Hartepool A1	626	AGR	CEGB	1984
Hartepool A2	626	AGR	CEGB	1985
Dungeness B2	600	AGR	CEGB	1986
<b>Yhteensä</b>	10.230	38		
<b>Rakenteilla</b>				
Heysham B1	660	AGR	CEGB	1988
Heysham B2	660	AGR	CEGB	1988
Torness Point 1	660	AGR	SSEB	1988
Torness Point 2	660	AGR	SSEB	1988
Sizewell B1	1,100	PWR	CEGB	1995
<b>Yhteensä</b>	3.740	5		
<b>Yhteensä</b>	13.970	43		

Voimantuottajalla säilyy onnettomuustilanteessakin täysi vastuu laitoksen käytöstä ja toimenpiteistä laitoksella. Se joutuu kuitenkin turvautumaan monen muun organisaation apuun, vaikka yleisesti ehkä luullaan, että voimayhtiön rooli onnettomuudessa on Englannissa keskeisempi kuin muualla. Kuitenkaan esim. CEGB:llä ei ole mitään valtuuksia antaa yleisölle suojeleuhjeita tai määrätä elintarvikkeiden käyttöä koskevia toimenpiteitä.

Laitosrakennuksien sisätiloissa ei ollut sellaisia säteilyvalvontamittareita, joita olisi voitu lukea keskitetysti johtokeskuksessa, vaan tiedon saanti onnettomuustilanteissa perustuu paikallisesti hälytyksiin, ilman radioaktiivisuuspitoisuutta

valvoviin mittareihin ja tarvittaessa partioiden mittauksiin. Sisätilojen valvontamittarit antavat normaalitoiminnan aikana toistuvan lyhyen äänimerkin joka osoittaa laitteen toimivan. Hälytyksessä äänimerkki muuttuu jatkuvaksi. Tällainen aluevalvonta oli käytössä Sellafieldin jälleenkäsittelylaitoksella, Springfieldsin polttoainetehtaalla ja Urencon rikastuslaitoksella.

Springfieldsin monivaiheisen tuotantoprosessin työsuojelussa vaikutti olevan parantamisen varaa. Esim uraanin puhdistuslaitos on lähinnä kuvattavaa likaiseksi. Magnoxreaktoreiden metallisten polttoainesuojien tuotantohalli muistutti mitä tahansa metallityöstöpajaa. Ilmeisesti ti-

lanne on kuitenkin aikaisemmin ollut kontaminaation kannalta pahempi.

Sellafieldin työntekijöiden säteilyvalvontaan kuuluu tietyillä työskentelyalueilla henkilökohtainen ilmanäytteenkerääjä. Laitoksella on kolme kokokehomittauslaitteistoa, ei kuitenkaan säännöllistä tarkkailuohjelmaa. Työntekijöitä mitataan päästön sattuessa tai sitä epäiltäessä, tai työntekijän omasta pyynnöstä. Sellafield oli mielenkiintoinen myös huomattavan PR-satsauksensa takia. Laitospaikalle pyritään aktiivisesti saamaan yleisövieraita ja vuonna 1988 avattu Sellafield Visitors Centre on arkkitehtuuriltaan vaikuttava ja hyvin suunniteltu. Yleisö voi pyynnöstä myös päästä kokokehomittaukseen. □

# Vierailukohteet

## BRITISH NUCLEAR FUELS PLC (BNFL) SELLAFIELDISSA

Roy Pöllänen, Vesa Ruuska, STUK

Ekskursiomme Englantiin alkoi — ikään kuin polttoainekierron väärästä päästä — käynnillä BNFL:n ehkä kiintoisimpaan yksikköön: Sellafieldin jälleenkäsittelylaitokseen. Sellafieldin alue on suurin BNFL:n toimipaikoista ja se on edelleen voimakkaasti laajentumassa. Isäntinä toimivat myyntijohtaja Barclay McGlynn ja tiedottaja John Barbour.

Toiminta alueella alkoi jo vuonna 1952, jolloin ensimmäinen ydinpolttoainetta käsittelevä laitos valmistui. Vuonna 1956 valmistui Britannian ensimmäinen varsinaisen voimalaitos: luonnonuraania polttoaineenaan (Mgnox) käyttävä kaasujäähdytteinen grafiittimoderoitu Calder-Hall -reaktori. Nykyinen Mgnox -polttoaineen jälleenkäsittelylaitos valmistui vuonna 1985. Samana vuonna aloitti toimintansa myös nestemäisiä jätteitä käsittelevä SIXEP (Site Ion Exchange Effluent Plant) -laitos, jonka rakennustyöt ovat osittain vielä kesken. SIXEP:in ansiosta mereen laskettavien jätteiden aktiivisuuden arvioidaan olevan vuonna 1991 noin 1 % 1970 -luvun huippuarvoista.

Laajin nykyinen rakennusprojekti on AGR- ja LWR- reaktoreiden polttoainetta käsittelemään kykenevä THORP (Thermal Oxide Reprocessing Plant), joka aloittanee toimintansa ensi vuosikymmenen alussa. Silloin valmistui myös korkea-aktiivista jätettä lasiksi kiinteittävä laitos. Koska Sellafieldin alueella on ollut toimintaa jo kohta neljän vuosikymmenen ajan, laitoksilla on meneillään jatkuvasti erilaisia perusparannus- ja uudistamistöitä.

Noin neljän tunnin vierailumme aikana (sisältäen lyhyen kahvitilaisuuden ja lounaan) emme tietystikään ehtineet saada suuresta alueesta kuin yleissilmäyksen. Saavuttuamme uuteen vierailukeskukseen meille esitettiin Sellafieldiä esittelevä video, jonka jälkeen lähdimme kiertokäynnille kohteinamme uusi Mgnox -polttoaineen käsittelylaitos, vedenkäsittelylaitos SIXEP sekä korkea-aktiivisen jätteen laituslaitos. Koska laitoskompleksin toiminnalla — ilmeisesti lähinnä plutoniumin tuoton osalta — on oma sotilaallinen funktionsa, valokuvaaminen alueella oli kiellettyä. Tehokkuussyistä jakauduimme kolmeen ryhmään, puimme suojavarusteet (suojatakki ja kenkäsuojat) yllämme ja lähdimme matkaan.



Matkalaiset ryhmäpotretissa Sellafieldin esittelyrakennuksen pihalla.

Vuonna 1985 valmistunut Mgnox -polttoaineen käsittelylaitos kasvatti jälleenkäsittelykapasiteettia. Viisikymmenluvulta asti vuoden 1988 loppuun on käsitelty yli 30000 tU ja Mgnox -projektin loppuessa (noin vuonna 2005) arvioidaan käsitellyn 2000 tU lisää. Käytetty polttoaine kuljetetaan voimalaitoksilta kuljetuspakkauksissa, joihin kuhunkin mahtuu noin sata tonnia polttoainetta. Kontit lasketaan suuriin varastoaltoiin ja säilytetään niissä, kunnes polttoaine on riittävästi jäähtynyt suojakuoren poistamista varten. Polttoaine kuljetetaan kauko-ohjatusti paksuseinäisiin (2 m) 'hot cell':eihin suojakuoren poistamista varten. Poistaminen tapahtuu osin manuaalisesti 'robottikäsivarsien' avulla ja toimitusta voidaan valvoa visuaalisesti joko käännettävällä televisiokameralla tai katsomalla 1.5 m paksun lyijylasi-ikkunan läpi. Poistettu suojakuorimateriaali siirretään vedessä säilytettäviin varastosiloihin.

Polttoaine hajotetaan typpihapon avulla. Käyttämällä apuna erilaisia kemiallisia ja fysikaalisia prosesseja saadaan voimakkaasti radioaktiivinen jäte, uudelleen käytettävissä oleva uraani ja varastoitava tai sotilaallisiin tarkoituksiin käytettävä plutonium erotettua toisistaan. Jätettä syntyy (painoprosentteina) 0.5 %, uraania 99.2 % ja plutoniumia 0.3 %. "Kaupallisessa jätteenkäsittelyssä" jätteestä erotettu materiaali voidaan paluttaa asiakkaalle (kansainvälisen valvonnan alaisena).

Voimakkaasti radioaktiivinen nestemäinen jäte on näihin päiviin asti varastoitu suuriin teräksisiin ja betonilla ympäröityihin säiliöihin. Vaikkakin jätteen määrä on suhteellisen pieni (tähän mennessä on kertynyt 1300 kuutiometriä) tällaisen varastointistavan on havaittu olevan epätaloudellisen mm. jatkuvan jäähdytystarpeen vuoksi. Taloudellisten syiden takia — sekä myös mahdollisten radioaktiivis-



ten vuotojen todennäköisyyden pienentämiseksi — jätettä on ruvettu kiinteyttämään. Kiinteäksi kalsinoitu jäte ja lasitusjauho sulatetaan yhteen ja valetaan ilmajäähdytteisiin terässäiliöihin, joita säilytetään riittävän pitkän aikaa ennen varsinaista loppusijoitusta.

SIXEP -vedenkäsittelylaitos on tehty vähentämään Irlannin mereen laskettavien jätevesien radioaktiivisuutta. Koska ko. päästöt ovat olleet voimakkaan julkisen debatin kohteena, lienee paikallaan esittää joitakin vertailuja päästöjen määräsistä: Alkuesitelmässä ja kiertokäynnillä asiaan ei juuri puututtu, mutta saamiemme esitteiden luvuista voi karkeasti arvioida, että mereen lasketun jätteen kokonais  $\beta$ -aktiivisuus 1970-luvun huippuvuosina oli parisen dekadia Loviisan laitoksen päästörajoja suurempi ja kolmisen dekadia enemmän kuin todelliset päästöt. Lisäksi on huomattava, että Sellafielidistä laskeaan mereen myös  $\alpha$ -aktiivisia jätteitä. Koska nuklidijakautuma on erilainen, lukuja ei voi suoraan verrata toisiinsa; kuitenkin voi sanoa, että päästöt ovat olleet toista luokkaa kuin suomalaisilla ydinvoimalaitoksilla. Toisaalta jälleenkäsittelylaitoksilla puhdistettavat määrät ovat suuria, joten ongelmatkin ovat aivan toista luokkaa...

Liittyen niihin ristiriitoihin, joita mm. suuret päästöt ovat aiheuttaneet, myös BNFL:ssä on panostettu voimakkaasti julkisen kuvan parantamiseen. Sekä voimakkaan tiedottamisen että päästöjen vähentämisen kautta on pyritty vaikuttamaan yleiseen mielipiteeseen. Vain yhtenä päivänä vuodessa (joulupäivänä) suljettuna oleva uusi vierailukeskus palveluineen tarjoaa kilven kiillotukseen hyvät mahdollisuudet ja päätellen julkisen kohun vaimenemisesta siinä lienee osittain onnistuttukin.

## HEYSHAMIN YDINVOIMALAITOS

*Martti Kätkä, IVO*

Maanantain 23.10. toisena vierailukohteenä oli Heyshamin ydinvoimalaitos Lancashire'n rannikolla lähellä Morecomben kaupunkia. Voimalaitos koostuu kahdesta 1320 megawatin kaasujäähdytteisestä AGR-laitoksesta, joissa kummassakin on kaksi reaktoria. Tutustuimme näistä vanhempaan eli vuonna 1983 valmistuneeseen Heysham 1:een.

Saavuimme lähes tunnin myöhässä, koska ajoaika Sellafielidistä kapeaa ja kiemurtelevaa vuoristotietä pitkin oli matkatoimistossa arvioitu väärin. Perillä meitä olivat odottamassa National Power yhtiön paikalliset PR-henkilöt Hazel Moore ja Victoria Harvey sekä jäähtyneet kahvit. Aluksi oli ohjelmassa laitoksen yleisesittely, jonka suoritti Heysham 1:n laitospäällikkö Mike T. Hardy vankalla Yorkshiren murteella. Kuulimme tavanomaisen selostuksen teknisistä perustasioista: laitoksen jäähdytteenä on hiili-



*ATS:n puheenjohtaja Ilkka Mikkola luovuttaa ATS:n viirin Heysham 1:n laitospäällikölle Mike T. Hardyille.*

dioksidi, moderaattorina grafiitti, polttoaineena uraanidioksidi, polttoaine-elementissä on 36 sauvaa, kussakin polttoainekanavassa on peräkkäin 8 elementtiä ja reaktorissa on 320 kanavaa. Kaasun ulostulolämpötila on korkea, 600 astetta, mikä nostaa laitoksen hyötösuhteen 41 %:iin. Toisaalta laitos on rakenteeltaan monimutkainen ja massiivinen. Päällikön mukaan useat läpiviennit ovat aiheuttaneet jatkuvia hankaluuksia lämmöneristyksessä. Laitoksessa työskentelee varsin paljon väkeä, Heysham 1:ssä yhteensä 700 henkeä.

Heyshamin käyttö lupa on katkolla kahden vuoden välein, jolloin koko primääripiiri tarkastetaan. Laitospäällikön on oltava henkilökohtaisesti vakuuttunut, että laitos on kunnossa, ennenkuin se lain mukaan voidaan uudelleen käynnistää. Normaali latausjakso on 90 vuorokautta täydellä teholla ja polttoaineen vaihtolataus kestää 26 vuorokautta. Laitosta voitaisiin periaatteessa ladata käytön aikana, mutta toistaiseksi NII (Nuclear Installations Inspectorate) ei ole antanut siihen lupaa Heyshamissa. Hinkley Pointissa ja Hunterstonissa luvat on saatu ja niissä käytön aikaista lataamista suoritetaan.

Heyshamin käyttökertoimet eivät ole olleet Suomen vastaaviin verrattuna keuhuttavia 50...70 %. Nytkin Heysham 2 on polttoaineen vaihtoseisokissa ja vain yksikönsä toinen yksikkö 90 % teholla. Viimeinen käyttöjakso on mennyt Heysham

1:llä tosin poikkeuksellisen hyvin, sillä laitos on toiminut 9 kuukautta ilman keskeytyksiä. Päällikön mukaan polttoaineen vaihtolataus on varsinainen pulonkaula, koska lataus on alun perin suunniteltu tehtäväksi käytön aikana. Lataukseen tarvittavat laitteet ovat liian hitaita.

Laitoskierrosta varten meidät jaettiin pienempiin ryhmiin. Menimme laitokseen sisään sangen erikoista reittiä: ensin presun takana olevasta pienestä remontti-miesten auki jättämästä ovesta sisään ja sitten pääsy kielletty -taululla ja säteilyvaaramerkillä varustetun lippusiiman yli turbiinirakennukseen johtavaan käytävään. Ensimmäinen kävimme turbiinihallissa, jossa jyräsi GEC:n 666 MW:n turbogeneraattorisetti 3000 kierrosta minuutissa. Seuraavaksi kävimme reaktorihallin yläpuolella olevassa näköalahallissa, näimme valtavan, 331 tonnia painavan latauskoneen, sitten kävimme valvomossa. Laitostietokoneena on Ferranti Argus 500. Sieltä menimme korkealla sijaitsevalle ulkotasanteelle, josta oli hieno näköala merelle, meriveden otto- ja purkuaukole sekä satamaan. Laitospaikan kohdalla vuoroveden pinnankorkeusero on 10 metriä. Lopuksi palasimme takaisin vieraiden vastaanottorakennukseen, jossa seremoniaalisesti jaoinme muutamia liikelahjoja oppaille ja Mike T. Hardyille luovutimme ATS:n viirin.

## BNFL:N SPRINGFIELDSIN POLTTO-AINETEHDAS

Jussi Moisio, IVO

Tiistai aamupäivällä 24.10. vierailimme BNFL:n Springfieldsin polttoainetehtaal- la. Springfieldsin tehtaot perustettiin 1946 koereaktoriin ja sotilaallisten ohjelmien uraanitarpeita varten ja muutettiin myöhemmin siviiliydinenergiaohjelman käyttöön. Springfieldsissä valmistetaan polttoainetta Magnox-reaktoreita varten (polttoaine on uraanimetallitankojen muodossa) ja AGR ja SGHWR reaktoreita varten (polttoaine keraamisten keskusreikäisten tablettien muodossa). Isäntänä toimi johtaja Gregg Butler.

Huomattavan osan tehdasrakennelmista käsittivät erilaiset konversioprosessit, joissa uraanimalmikonstraattia muutetaan UF<sub>4</sub> ja UF<sub>6</sub> muotoihin Magnox-polttoaineen tai AGR-polttoaineen valmistusta varten. AGR ja SGHWR reaktoreiden polttoaine valmistuksessa käytetään matalarikasteista uraaniheksafluoridia rikastamalla Springfieldsissä tuotettua luonnonuraaniheksafluoridia Capenhurstin sentrifugilaitoksella. Springfieldsissä syötetään myös Sellafieldin jälleenkäsittelylaitokselta saatua Magnox-polttoaineesta erotettua uraania takaisin polttoaineen valmistukseen.

Uraanimalmikonstraatin käsittelyn vaatimiin laitteistoihin verrattuna uraanidioksidijauheen tuottaminen matalarikasteisesta UF<sub>6</sub>-kaasusta tapahtuu verrattain pienen tilan vaativalla ns. IDR-kuivakonversiolaitteistolla (Integrated Dry Route). IDR-konversiomenetelmä on BNFL:n 1969 käyttöönottona pulverin valmistusmenetelmä, jossa UF<sub>6</sub> kaasusta saadaan yksivaiheisella uunikäsittelyllä prosessi-parametrejä sopivasti säätämällä eri tyyppisiä uraanidioksidijauheita joko suoraa tai lisäaineita ja granulointia käyttäen tapahtuvaa pelletointia varten. IDR-prosessin suurin etu on sen yksinkertaisuus ja vähäinen nestemäisten jätteiden määrä. Lisäksi kriittisyysongelmat valmistuksen eri vaiheissa rajoittavat vähemmän laitekokoja. BNFL on myynyt IDR-menetelmän valmistuslisensioikeudet Ranskaan (FBFC:n Romansin tehdas) ja USA:han Westinghouselle Columbian tehtaalle. BNFL:n IDR-uunien yhteinen kapasiteetti on 700 tU/v.

Magnox-polttoainetanko ympäröidään magnesiumseoksesta valmistetulla rivoitetulla suojakuorella ja AGR polttoainetablettien suojakuorena käytetään ruostumattomasta teräksestä valmistettuja putkia, joiden päihin hitsataan tiiviit päätytulpat.

Lyhyt vierailumme keskittyi pääasiassa polttoaineen valmistuksen "kemialliseen" osuuteen (konversioprosessit), varsinaista polttonesauvojen ja nippujen valmistusta ehdittiin vilkaista hyvin rajoitetusti. Laadunvalvonta perustuu pitkälle automatisoituihin mittauksiin ja tulosten tilastollisiin käsittelyihin. Toimintojen perustana

on ns. Fuel Division Quality Assurance Manual ja monikymmenvuotinen kokemus polttoaineen valmistuksesta.

## CAPENHURSTIN VÄKEVÖINTI-LAITOS

Eero Schultz, TVO

Capenhurstiin rakennettiin 50-luvun alussa puolustusvoimien tarpeisiin kaasudiffuusio- ja uraanin väkevöintilaitos. Tämän laitoksen toiminta lopetettiin vuonna 1982. Rakennuksista on jo osa purettu ja osa otettu muuhun käyttöön. Jälleenkäsitellyn uraanin väkevöinnissä eniten kontaminoituneen osan dekontaminointi on aloitettu.

Sentrifugiin perustuvan väkevöinti-prosessin kehitystä on tehty Urencon puitteissa Englannin, Länsi-Saksan ja Hollannin yhteistyönä. Capenhurstissa aloitti pilot-laitos toimintansa 1973 ja Urenco UK:n ensimmäinen tuotantomittakaavan sentrifugilaitos käynnistyi 1977.

Urenco UK:n pääomistaja on British Nuclear Fuels plc (BNFL), joka myös hoitaa kaiken toiminnan Capenhurstissa. Niinpä Urencon nimeä ei siellä näkynyt. Rikastetun uraanin markkinoinnin, myös Länsi-Saksan ja Hollannin tuotannon osalta, hoitaa Urenco Ltd, jonka toimipaikkana on Marlow Englannissa.

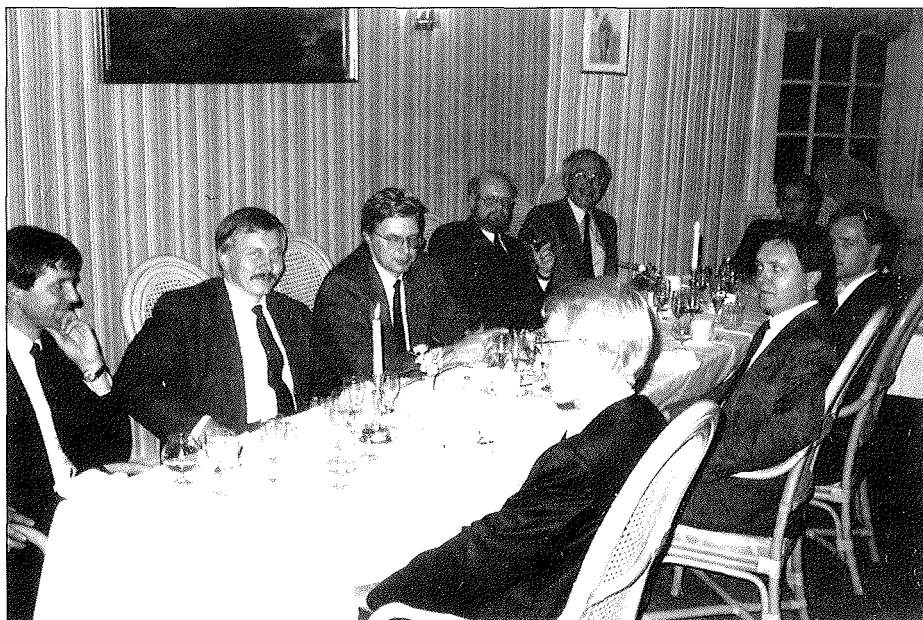
Kaasudiffuusiolaitoksesta poiketen sentrifugilaitosta voidaan laajentaa pienissä portaissa tarpeen mukaan. Näin on tehty Capenhurstissakin, missä Urencon laitosten kapasiteetti on tällä hetkellä 800 000 SWU/vuosi. Kapasiteetti on pieni verrattuna muualla toimiviin kaasudiffuusiolaitoksiin, mutta on täydessä käytössä väkevöintityön ylläpitämisestä huolimatta. Seuraavan laajennusvaiheen rakennus oli jo valmistunut, mutta laitteita ei ole vielä

asennettu. Koska sentrifugilaitos muodostuu useammasta erillisestä osasta, siellä voidaan väkevöidä jälleenkäsitellyä uraania koko laitosta kontaminoimatta. Capenhurstissa väkevöidään magnox-reaktoreissa käytettyä uraania laitoksen vanhimmassa osassa.

BNFL:llä on Capenhurstissa erillinen sentrifugilaitos, joka on varattu puolustusministeriön käyttöön. Tämä tuottaa, samoin kuin Urencon laitoksetkin, matalan rikastusasteen omaavaa uraania. Henkilökuntaa BNFL:llä on Capenhurstissa 1500.

Sentrifugiprosessissa uraani on heksafluoridikaasuna alhaisessa paineessa. Nopeasti pyörivässä sentrifugissa keskipakovoima aiheuttaa sen, että U-238 kerääntyy ulkoreunalle hiukan enemmän kuin kevyempi U-235. Yhdessä sentrifugissa tapahtuva rikastusasteen nousu on pieni, joten tarvitaan monta peräkkäistä vaihetta. Pienen kapasiteetin takia sentrifugeja on myös useita rintaan, joten lukumäärä nousee suureksi. Capenhurstissa sentrifugeja on yhteensä noin 160 000 kappaletta.

Yhden sentrifugin rikkoutuminen ei vaikuta paljon koko prosessiin. Siksi rikkoutunutta yksilöä ei korjata eikä korvata uudella. 10 vuoden käytön jälkeen sentrifugeista toimii vielä yli 90 %. Käynnistyksessä ja pysäytyksessä sentrifugi joutuu ylittämään resonanssitaajuuksia, jotka aiheuttavat ylimääräistä rasitusta. Tämän välttämiseksi laitoksella on varavoimadieseleitä, joiden avulla sentrifugit pyritään pitämään vauhdissa sähkökatkojen yli. Sentrifugiprosessin etuna on pieni sähkön kulutus, joka on vain noin 5 % vastaavan tehoisen kaasudiffuusiolaitoksen kulutuksesta. Capenhurstin laitosten yhteinen tehontarve on 15–20 MW. Lopputuotteen rikastusastetta voidaan säädellä tietyissä rajoissa kaasun virtausmäärää muuttamalla.



Urenco tarjosi ilmeistä päätellen maittavan päivällisen Chesterissä.

Sentrifugeja kehitetään jatkuvasti ja uusia laitesukupolvia otetaan käyttöön noin 3 vuoden välein. Kehityksen mukana sentrifugien koko on kasvanut ja kapasiteetti noussut moninkertaiseksi. Näin on saatu alennettua väkevöintikapasiteettia kohti laskettuja pääomakuluja. Laitosta laajennettaessa käytetään aina uusinta mallia. Siinä väkevöintilaitoksen osassa, jossa kävimme, oli nähtävissä kolme eri kokoista ja lämpöeristyksensä puolesta toisistaan poikkeavaa sentrifugityyppiä. Yhdessä sentrifugissa tapahtuva rikastusteen nousu riippuu pyörimisnopeudesta, jota rajoittaa rakennemateriaalin lujuus. Vanhemmat sentrifugit on tehty lasikuidulla päällystetystä alumiinista, uusimmat ovat hiilikuituisia. Sentrifugien

kokoonpano ja osittain myös komponenttien valmistus tapahtuu Capenhurstissa.

Urencon piirissä tutkitaan tulevaisuuden varalta myös laseriin perustuvaa väkevöintiä. Capenhurstissa kohteena on atomimuodossa olevan uraanihöyryn rikastus, kun taas Uranit tutkii Jülich'ssä Länsi-Saksassa uraaniheksafluoridikaasun laserväkevöintiä. Laajennussuunnitelmat perustuvat kuitenkin toistaiseksi kokonaan sentrifugitekniikkaan.

Vierailumme isäntinä olivat Brian Kehoe ja Rainer Pannier Urenco Ltd:n myyntipuolelta. Laitosta esittelemässä oli lisäksi useita asiantuntevia oppaita.

## NNC JA NP KNUTSFORDISSA, KESKUSTELUT CEGB:N TOIMINNASTA JA SIZEWELL B:N PWR LAITOKSESTA

*Harry Lamroth, IVO*

### CEGB-PWR project group

CEGB:tä, Central Electricity Generating Board, ollaan pääministeri Thatcherin yksityistämisyrittämissä muokkaamassa uudelleen — vanha toiminta on jaettu kolmeen osaan. Osat toimivat toistaiseksi CEGB:n divisioneina. CEGB nimenä poistuu 31.3.1990.

Uudet yhtiöt ovat:

- National Grid Company
- Power Generation Company, PowerGen (= most of existing thermal power stations)
- National Power, NP (= nuclear stations, some thermal stations) = 70 % vanhan CEGB kapasiteetista.

NP:n hallituksen puheenjohtajana toimii Lord Marshall ja toimitusjohtajana John Baker.

Se osa NP ydinvoiman organisaatiosta, joka toimii Booths Hall, Knutsfordissa, on nimeltään PWR Project Group (PPG). PPG:n tehtävänä on ydinlaitosten omistajalle vastata laitosten suunnittelusta, turvallisuudesta, projektitoiminnasta ja käyttöönotosta uusille yvl-laitoksille (= PWR). Sizewell B laitos on ensimmäinen PWR-laitos UK:ssa.

Sizewell B:n aikataulu on seuraava:

- esiselvitykset aloitettiin -78
- lupahakemus laitospaikalle anottiin -81
- rakennusprojekti aloitettiin -87
- kaupallinen käyttö aloitetaan 30.5.94 = 66 kk rakennusprojekti.

Ajatus on, että Sizewell B designiä käytettäisiin myös kolmeen uuteen PWR-laitokseen, Sizewell C, Hinkley Point B ja Wylfa B:hen. PPG henkilöstömäärä on n. 600 Knutsfordissa ja 100 laitospaikalla.

Laitoksen suunnittelussa on lähdetty liikkeelle Westinghousen "SNUPPS"-konseptista (Standard Nuclear Unit Power Plant System), jota on sitten muutettu

UK:hon sopivaksi. Polttoaineena on Westinghousen standardipolttoaine.

PPG huolehtii itse laitosten projektoinnista sekä "Architect Engineering" -suunnittelusta että tutkii muutamia erityisiä turvallisuuteen/käytettävyyteen liittyviä kysymyksiä. Yksityiskohtainen suunnittelu/urakointi on annettu aliurakoitsijoille.

PPG käyttää suunnittelussa apuna pienoismalleja koko laitoksesta, skaalassa 1:20 paitsi turpiinrakennus skaalassa 1:35. Muita erityiskohteita ovat:

- suojarakennuksen pienoismalli, jolla testataan suojarakennuksen paineenkesto LOCA-tilanteissa (max. 2,4 x suunnittelupaine)
- pääkiertopumpun täyden virtauksen koelaitteisto
- komponenttien LOCA-kestoisuuden testilaitteisto
- testilaitteisto polttoaineen pullistumisen testaamiseksi.

GEC vastaa Sizewell B:n sekundääripiiristä ja BOP:sta. Laitoksen suunnittelussa on pyritty huomioimaan höyrystymien mahdollinen vaihto ja laitoksen purku.

Laitos on 4-looppinen PWR, jonka tehot ovat: 3411 MWth, 1258 MWe brutto, 1188 MWe netto.

### Laitoksen lisensiointi

Lyhykäisyydessä lisensioinnin eri vaiheet UK:ssa ovat:

- 1 Application for Site Approval
- 2 Public Inquiry
- 3 Convent for section 2 by Secretary of State of Energy
- 4 Application for site licence
- 5 Preconstruction Safety Report
- 6 Award of Site Licence
- 7 Start of construction
- 8 "Staged" construction approval
- 9 Pre-operational Safety Report (POSR)
- 10 Approval for load fuel and raise x% power
- 11 Final Safety Report (FSR)
- 12 Approval to operate at full power

YVL-laitosten turvallisuusperiaatteet nojautuvat kahteen yleiseen määräyskokoelmaan:

- NII (Nuclear Installations Inspectorate) Safety Assessment Principles for Nuclear Power Reactors
- Design Safety Criteria for CEGB Nuclear Power Stations

Nämä periaatteet on sitten "käännetty" yksityiskohtaisiksi turvallisuusohjeiksi suunnittelijoiden käyttöön nimeltä "PWR Design Safety Guidelines". Westinghousen "SNUPPS"-designiä on sitten tarkastettu yo. ohjeiden pohjalta ja kiinnitetty huomiota mm. seuraavaan:

### LIMIT SOURCES OF RADIATION

- primääripiirin materiaalit (Co 60)
- vesikemia

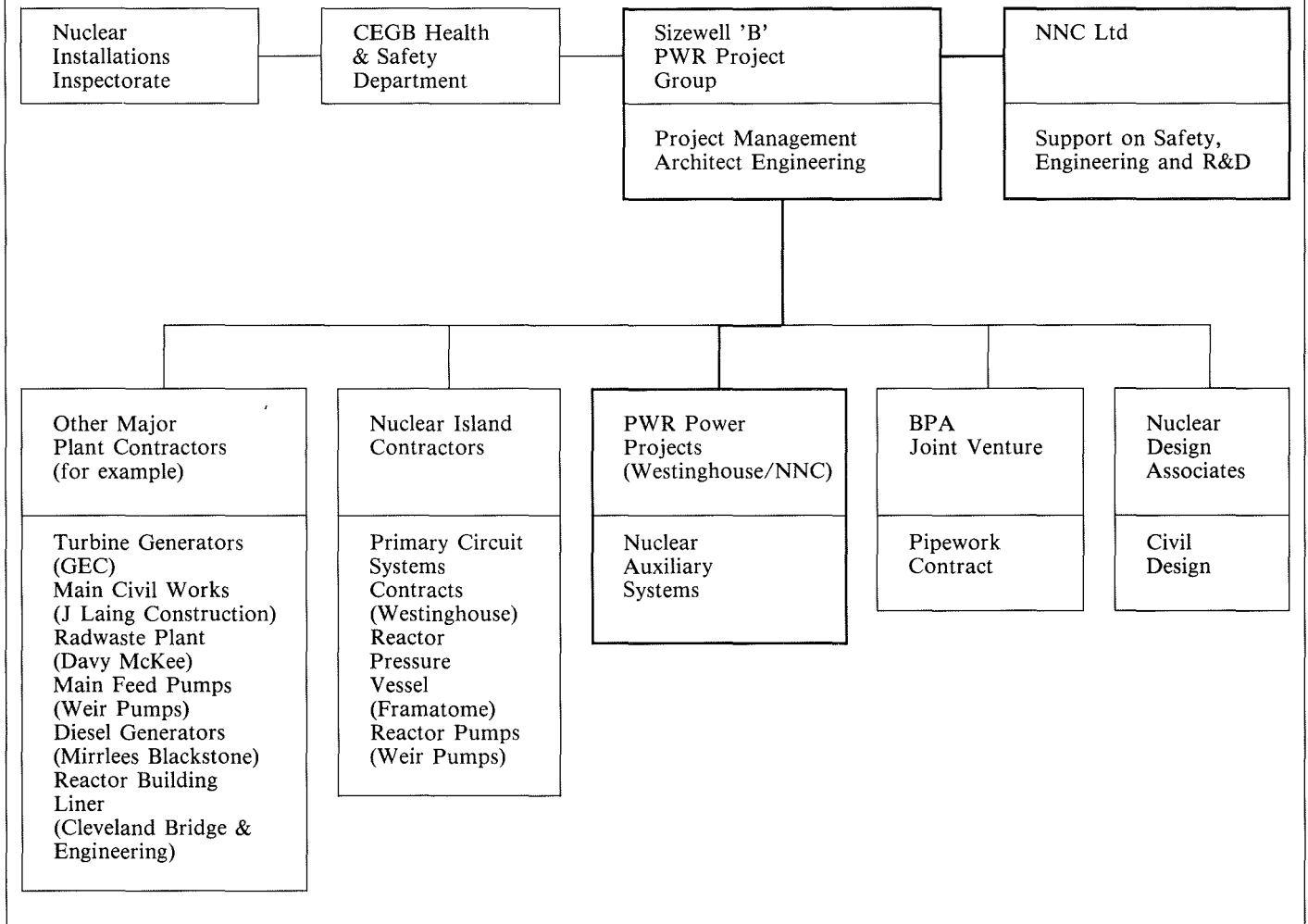
### LIMIT EXPOSURES

- layout muutoksia



*Sizewell B:n esittelyssä Knutsfordissa. Edessä tohtorit Taylor ja Lakey.*

## SIZEWELL B LAITOKSEN TOTEUTTAMISEEN LIITTYVÄT ORGANISAATIOIOT



### SAFETY REQUIREMENTS FOR UK

- NSSS eheys
  - RPA:n taotut renkaat
  - RPA:n yhteiden geometria
  - ei hitsiliitoksia epäjatkuvuuskohdissa
- ulkoiset vaikutukset
  - maanjäristys
  - lentokoneen törmäys
  - tuuli, tulva, missiilit
- sisäiset vaikutukset
  - tulipalo
  - missiilit, tulva

### PROBABILITY FOR CORE MELT

- diversity
  - reactor protection system
  - auxiliary feedwater system
  - emergency boration
  - loss of AC power/emergency charging system
  - reserve ultimate heat sink

### OPERATION ACTIONS

- 30 min. sääntö
- "operator error analysis"



Sizewell B:n suunnittelumalli.

### NNC:n toiminta

NNC Ltd on GEC:n yhtiöryhmittymän jäsen, joka perustettiin 1973 aikaisempien yhtiöiden AEI-GEC-APC-EE-NPPC pohjalta.

CEGB (= NP PPG) ja NNC välinen työnjakosopimus on sellainen, että NNC tekee yksityiskohtaisen suunnittelun, turvallisuusanalyysit ja tutkimustyötä PPG:lle. NNC omistaa Westinghousen PWR lisenssin valmistusoikeuksineen UK:ssa. 1500 henkilöä työskentelee Knutsfordissa, josta 250 tällä hetkellä Sizewell B:n kimpussa.

NNC:n suunnitteluosuus Sizewell B:stä koskee "Non NSSS:ää".

Seuraavia erityisalueita tutkitaan:

- komponenttien vanhenemista (thermal ageing)
- korroosiotestauksia
- komponenttitestauksia
  - höyrystintuubien testaus
  - höyrystimen tuubipakettien värinöitä
  - painestimen epäjatkuvuuskohdat
- onnettomuuksien estäminen
  - leak before break/critical crack size-laskelmia pääkomponenteille
- laitteiden kelpoisuustestauksia LOCA-tilanteessa (= "Harsh environment tests")

### PWR Power Projects toiminta

PWR Power Projects Ltd (PPP) on taas NNC ja Westinghousen 50/50 omistama joint venture -yhtiö, jonka tehtävänä on yksityiskohtaisesti suunnitella, toimittaa ja asentaa nukleaariset apujärjestelmät Sizewell B:hen kun taas Westinghouse vastaa itse primääripiirin suunnittelusta. Tulevaisuudessa uskotaan saatavan koko NSSS osuus. Noin 150 henkilöä toimii Knutsfordissa.

Vierailun isäntinä toimivat Mr. Derek Taylor, Managing Director (NNC), Mr. Richard Garnsey, Safety & Technology Manager (NP, PWR Project Group), Mr. Deon Ward, PWR Division Manager (NNC), Mr. J. Dunicliffe (NNC), Mr. Bruce Tait, Managing Director (PWR Power Projects) ja Mr. Barry Godfrey (PWR Power Projects).

### GEC ALSTHOMIN TURPIINITEHDAS RUGBYSSA

*Esa Jurvakainen, TVO*

ATS:n 16-hengen ekskursioryhmä saapui kuudenteen vierailukohteeseen, GEC ALSTHOMIN turpiinitehtaalle, iltapäivällä 25. p:nä lokakuuta 1989.

Sähkömekaanisen osaston myyntijohtaja Timothy Fisher esitteli aluksi uuden heinäkuun alussa muodostetun yhtiönnä, GEC ALSTHOMIN, toimintaa. Liikevaihto on n. 4.5 biljoonaa puntaa (n. 30 miljardia mk) ja n. 50 % tuotannosta menee vientiin. Yrityksellä on myyntipisteitä ja agenteja yli 100 maassa.

GEC ALSTHOM on jakanut toimintansa 6 osastoon ja 3 tytäryhtiöön, joita ovat mm. sähkömekaaninen osasto, voimalaitokset, liikennevälineet, robotit ja materiaalit ja vaihteistot sekä erillisinä yhtiöinä laivanvarustamo, höyrykattilavalmistus ja kaasuturpiiniyhtiö.

Yhtiö on maailman kärjessä rautatievälineiden ja sähköntuotantovälineiden valmistuksessa. GEC ALSTHOM on toimitanut 25 % kaikista turpiineista atomivoimaloissa. Turpiinitoimituksia on yhteensä 378 kpl (kok. teho 120.589 MW), joista ydinvoimaloihin meneviä on ollut 135 kpl. Lähivuosina valmistuvia ovat mm. 200 MW:n kaasuturpiini Pariisiin vuonna 1991 ja 2 kpl 990 MW:n höyryturpiineja (3000 rpm) Kiinaan vuonna 1992. Johtaja Fisher mainitsi nopean turpiinin tehokkaan olevan tällä hetkellä 1200 MW:a. Rajoituksena on generaattori.

Rugbyn turpiinitehdas kuuluu yhtiönnän sähkömekaaniseen osastoon. Osaston liikevaihto on 860 miljoonaa puntaa (n. 6 miljardia mk) ja työntekijämäärä 15300. Pääpaikka on Belfort Ranskassa. Tuotantoon kuuluu höyry- ja vesiturpiinit, generaattorit, pumput, venttiilit ja isot moottorit. Isojen höyryturpiinien osuus tuotannosta on 43 %. Jokainen tehdas on erikoistunut määrättyihin komponentteihin. Rugbyn tehdas valmistaa lähinnä korkeapaine- ja väliturpiineja.

Esitelmän jälkeen meidät jaettiin kahteen 8-hengen ryhmään, joita herrat John Duran ja Ken Davis opastivat tehtaan tuotantosaleissa. Kierroksen alussa näimme esineitä tehtaan alkuajoilta: maailman ensimmäisen työntömitan vuodelta 1897 ja vanhoja turpiineja. Vilkaisimme lyhyesti tarkasti vartioituun saliin, jossa oli Naton Trident- ja Polaris-sukellusveneisiin valmistuvia turpiineja. Tiukan laatuvaatimuksen lisäksi niiltä vaaditaan shokki-kuorman (n. 3 g) kesto. Korkeatasoiset valut tulevat tehtaalle 3 maasta: Iso-Britanniasta, L-Saksasta ja Japanista.

Tehtaan tuotantovälineinä oli runsaasti numeerisia työstökoneita, joista osaa ohjattiin suoraan tietokoneella (DNC). Käytössä oli myös L-Saksasta ostettu 5 miljoonan punnan FMS-järjestelmä, johon kuului 4 työstökoneita ja 2 vihivaunua. Järjestelmä oli viritetty turpiinitehtaan vaatimuksiin sopivaksi. Uusien laitteiden käyttöönottoa edeltää 12 kk:n häiriötön kokeilu aika.

Turpiinisiipien tekoon hankittu 5-akselinen työstökone nostaa valmistusmäärän 5-kertaiseksi. Ohjauksiipilevyjen



GEC:n turbiinitehtaan henkilöstöpäällikkö Keith Tipson vastaanottamassa arvokasta muistoa Suomesta.

valmistus tapahtuu kemiallisena työstönä. Kehittyneiden menetelmien ansiosta 600 MW:n tehoon tarvitaan nykyisin entisen 6 sijasta 2 matalapaineturpiinia. Turpiini-  
siipiin ei tarvitse enää laittaa tukirenkaita. Siivet tukeutuvat toisiinsa kärjessä olevalla paksunnoksella. Tiivistysholkin laipat tehdään soikeiksi höyryvuodon pienentämiseksi.

Puolentoista tunnin kierroksen aikana näimme läpileikkauksen konepajatekniikan tuotantomenetelmistä. Yli 100 vuotta vanhassa turpiinitehtaassa on sekoitus uutta ja vanhaa tekniikkaa. Pikaisella käynnillä tuotantosaleissa ilmeni tehtaan olevan mukana tekniikan kehityksessä ja soveltavan sitä menestyksellä omiin tarpeisiin. Osoituksena tästä kelvanee tuotantojohtaja Ken Davisin maininta monista Japanin vieraista lähivuosina.

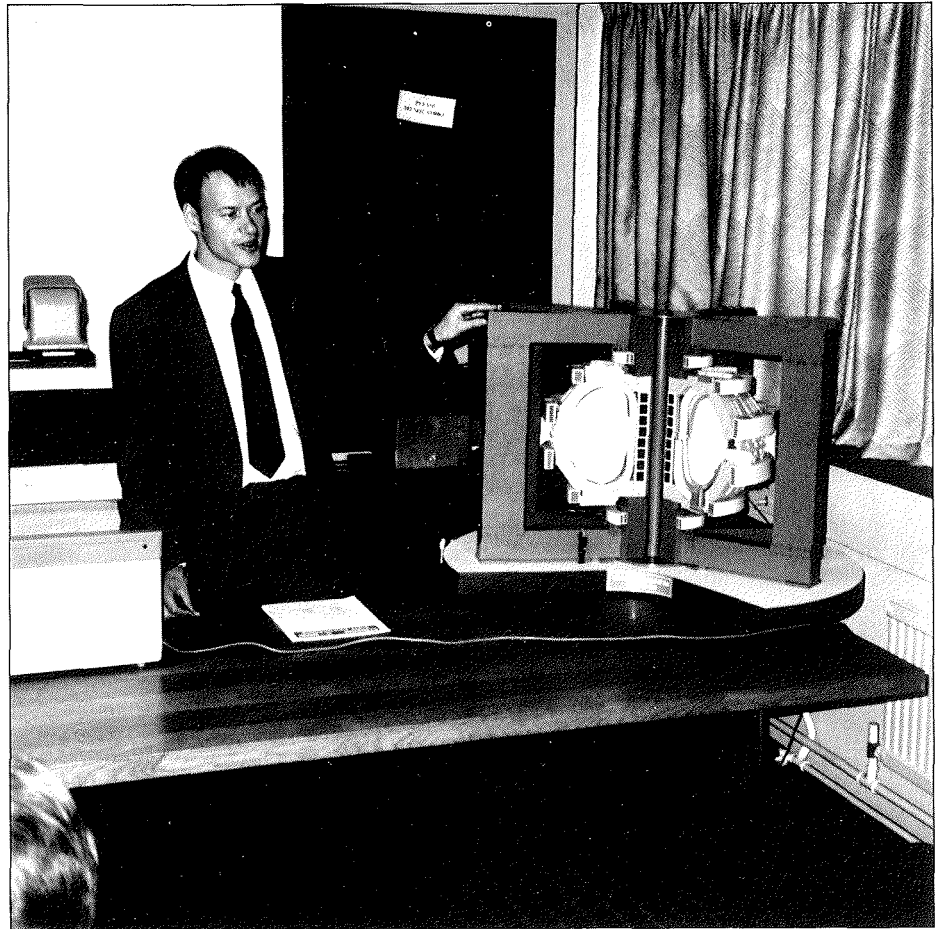
## JET-LABORATORIO

Jari Tuunanen, VTT

JET (Joint European Torus) on suurin fuusiokoelaitteisto maailmassa. Laitteiston suunnittelu aloitettiin 1973 ja rakennustyöt 1978 EEC-maiden, Ruotsin ja Sveitsin yhteistyönä. Koelaitteisto valmistui 1983 rakennustöiden toteuduttua 10 % tarkkuudella suunnitellun mukaisesti kustannuksiltaan ja aikataulultaan. JET-kokeiden tärkeimmiksi tavoitteiksi asetettiin plasmamuodossa olevan polttoaineen käyttämisen tutkiminen ja skaalaus reaktoriolosuhteiden läheisyydessä sekä erityisesti kokeet deuterium-tritium plasmalla, tulevaisuuden reaktoripolttoaineella. Säteiluongelmista johtuen lähes kaikissa maailmalla tähän saakka tehdyissä fuusiokokeissa on käytetty polttoaineena deuterium-plasmaa, joka vastaa ominaisuuksiltaan fuusiopolttoainetta, mutta jonka fuusioituminen on kaksi kertalukua heikompaa.

JET-laitteisto on tokamak-tyyppinen fuusiolaitteisto. Tokamakissa plasmamuodossa oleva polttoaine pidetään tyhökammiossa erillään kammion seinämistä monimutkaisilla magneettikentillä. Magneettikentän pääosa on tyhökammiota ympäröivä toroidaalikenttä, joka saadaan JET:ssä aikaan 32:lla D-muotoisella toroidaalikenttäkelalla. 12 tonnin painoiset kelat ovat vesijäähdytteisiä kuparikelajoja, joiden vaatima yhteinen huipputeho on 380 MW. Toroidaalikenttäkelojen lisäksi laitteistossa on kahdeksan 11 tonnin painoista sisäpuolista muuntajakelaa sekä kolme ulkopuolista (36 t, 90 t ja 160 t) poloidaalikenttäkelaa.

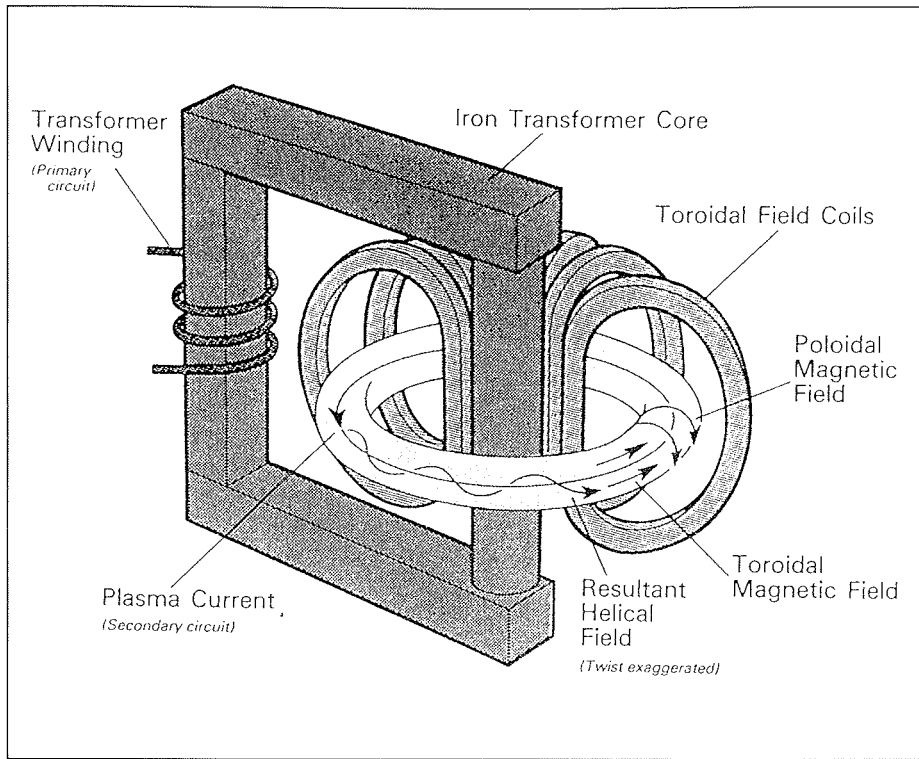
Huikkasia koossapitävän vaikutuksen lisäksi plasmavirta kuumentaa plasmaa (ohminen kuumennus). Tämän lisäksi JET:ssä on kaksi lisäkuumennusmenetelmää. Neutraalisuihkukuumennuksessa joukko varattuja vety- ja deuteriumioneja kiihdytetään suureen nopeuteen. Koska varatut hiukkasat eivät kykene tunkeutumaan plasman magneettikenttään täytyy suihkun ionit ensin neutraloi-



Suomalainen vieraileva tutkija Jukka Heikkinen esittelemässä JET-projektia. Suomessa Heikkinen työskentelee VTT:n ydinvoimatekniikan laboratoriossa.



Ekskursiosiihteri Eero Patrakka ja valokuvaaja Martti Kätkä pohtimassa tulevaisuuden reaktorin fyysikaalisia toimintaedellytyksiä.



Yksinkertaistettu kaavio JET-tokamakin toimintaperiaatteesta.

da. Neutraalit hiukkaset luovuttavat energiansa plasmaan törmäysten välityksellä korottaen näin plasman lämpötilaa.

JET:ssa on tällä hetkellä käytössä kaksi 10 MW:n neutraalisuihkukuumennusyksikköä. Toisena menetelmänä käytössä on radioaaltokuumennus. Suuritehoisilla radioaalloilla, joiden taajuus on valittu lähelle magneetikentässä olevien ionien syklotronitaajuutta, voidaan energiaa absorboida plasmaan. JET:ssa on tällä hetkellä käytössä kahdeksan yhteisteholtaan 32 MW radioaaltokuumennusantennia.

JET-laitteiston maksimi tehon tarve ylittää 700 MW. Koska plasmavirtaa ei voida ylläpitää jatkuvasti ajetaan laitteistoa 20 s pulsseissa. Teho pulsseihin otetaan kahdesta 775 tonnin painoisesta vauhti-pyörästä.

Kokeiden aikana tärkeimmät mitattavat parametrit ovat plasmavirta, plasman asema ja muoto, elektronien ja ionien tiheys ja lämpötila, epäpuhtauksien määrä plasmassa ja joukko energian absorptioon ja häviöihin liittyviä suureita. Kokeissa kaikkiaan 39 mittausjärjestelmää rekisteröi yli 10 miljoonaa mittauspistettä

jokaisesta JET:n pulssista. Tämä tieto siirretään NORD-tietokoneverkon kautta IBM-3090 ja CRAY2-tietokoneille analysoitavaksi.

Yksi JET:n tavoitteista on varsinainen fuusiopolttoaineen, vedyn kahden isotoopin deuteriumin (D) ja tritiumin (T) käyttö, jolloin syntyvät  $\alpha$ -hiukkaset tuottavat lisäkuumennustehon. Tritiumin radioaktiivisuus aiheuttaa tällöin kokeissa laitteen komponenttien aktivoitumista ja vaatii erityisiä turvajärjestelyjä.

Korkeimmat JET-laitteella saavutetut lämpötilan, energian koossapitoajan, plasman tiheyden ja fuusiotulon arvot on esitetty oheisessa taulukossa. Fuusiotutkimuksen alkuvaiheessa vuonna 1969 plasman koossapitoa ja lämpötilaa kuvaavalle fuusiotulolle saatu paras arvo oli 25000 kertaa reaktoriarvoa pienempi. Vuonna 1988 paras vastaava arvo oli enää vain 20 kertaa reaktoriarvoa pienempi.

Kokeet D-T-plasmalla on tarkoitus aloittaa 1990. Seuraavan sukupolven tokamak-laitteiston, laitteiston missä voi-

taisiin tutkia varsinaista  $\alpha$ -paloa, suunnittely on aloitettu. Laitteisto on saanut nimen NET (Next European Torus) ja se on suunniteltu rakennettavaksi vuoden 1995 jälkeen. Rinnakkaisesti NET:n kanssa on aloitettu kansainvälisenä yhteistyönä rakennettavan ITER-laitteiston (International Thermonuclear Reactor) suunnittelu. Suunnittelussa ovat mukana JET-projektiin osallistuneiden maiden lisäksi USA, Neuvostoliitto ja Japani.

Pääosa JET:ssa työskentelevistä tulee isäntämaasta Englannista. Ruotsista projektissa työskentelee tällä hetkellä 16 tutkijaa. Suomalaisia JET:ssa on mukana kaksi. DI Markku Kovanen LTKK:sta on työskennellyt JET:ssa vierailevana tutkijana vuodesta 1986 saakka tutkimuskohteenaan plasmapartikkeleiden Monte-Carlo-simulointi. TkT Jukka Heikkinen VTT:sta on puolestaan työskennellyt vakituisesti vuodesta 1988 vierailevana tutkijana plasman radiotaajuuskuumennuksen parissa.

JET-projektin kustannuksista 80 % maksaa EURATOM (European Atomic Energy Community), isäntämaan Englannin osuus on 10 % ja muiden jäsenmaiden osuus yhteensä 10 %.

Vierailun isäntinä JET:ssa toimivat suomalaistutkijoiden lisäksi JET:n suhdetoiminnasta vastaavat (press officer, public relations) Alan Stone ja Colin Padgett. ATS:n viirin vastaanotti JET:n kokeellisen ja teoreettisen osaston päällikkö, varajohtaja Martin Keilhacker.

## HARWELL LABORATORY

Anna-Maija Kosonen, Antti Poteri, VTT

Harwellin laboratorio on yksi maailman suurimmista ydintutkimuskeskuksista ja se on osa United Kingdom Atomic Energy Authority'a. Laboratoriossa työskentelee yli 4000 henkilöä, joista 1200 on tiedemiehiä ja insinöörejä. Harwellin laboratorion ydintekniikan alan pääasialliset tutkimusalueet sähköntuotannolle ja ydinpolttoaineen valmistamiselle ovat polttoaineiden ja niiden jälleenkäsittelyn kehittäminen, rakenteiden eliniän ja turvallisuuden tutkiminen, radioaktiivisen jätteen käsittely sekä ympäristöturvallisuus. Harwellissa on myös kaksi 25 MW tutkimusreaktoria. Vierailumme aikana meille esiteltiin radioaktiivisten liuosten käsittelyä, ydinjätteen käsittelyn tutkimus- ja kehitystyötä sekä kuumakammio-laboratorio.

Dr. I W Cumming esitteli Harwellissa neste-mäisten radioaktiivisten jätteiden käsittelyyn kehitettyä tekniikkaa. Suodattamalla pysytään jätelietteestä poistamaan tehokkaasti aktiivisuuksia, jotka ovat kolloidisessa tai polymeerisessä muodossa. Menetelmä on erittäin tehokas aktinidien poistoon. Itse prosessi on hyvin vakiintunut teollisessa mitassa ja koska laitos on suunniteltu modulaariseksi, voidaan sitä nopeasti laajentaa tarpeen mukaan.

Taulukko. JET-laitteistolla saavutettuja toiminta-arvoja.

	Paras yksittäinen arvo	Paras toiminta-arvo	Reaktori-arvo
Lämpötila (M°C)	250	75	100—200
Koossapitoaika (s)	1.2	1.0	1—2
Tiheys (10 <sup>20</sup> m <sup>-3</sup> )	1.8	0.5	1—2
Fuusiotulo (10 <sup>22</sup> m <sup>-3</sup> sM°C)	—	0.3	5.0

Harwellin kehittämässä prosessissa liuenneen aktiivisuuden poistamiseksi jätteenseen lisätään ennen suodatusta pieniä määriä hienoksi jauhetta ioniabsorbaattoria. Titaanihydroksidin lisäyksen on todettu parantavan  $\alpha$ -aktiivisuuden poistumista ja kupariferrosyanidilla on saatu Cs-137 pitoisuudet alhaiselle tasolle. Suodatinkalvon puhdistamisessa on tehokkaaksi osoittautunut liuos: 1 M natriumhydroksidia ja 1 M typpihappoa. Menetelmällään Harwell pystyy pienentämään jätteen tilavuuden alle sadanteen osaan. Jätteen tilavuutta voidaan pienentää lisää käyttämällä toista suodatuslaitosta konventionaalisella kiinteä-neste erotustekniikalla.

Laboratoriotutkimukset simuloidulla ja oikealla jätteellä on Harwellissa laajennettu tyydyttävään tuloksin pilottilaitoksen tasolle Harwellin itsensä tuottaman matala-aktiivisten jätteen käsittelyssä. Testeissä Harwellin itse tuottamalla matala-aktiivisella jätteellä on  $\alpha$ -aktiivisuus,  $\beta$ -aktiivisuus ja  $\gamma$ -aktiivisuus kukin saatu tasolle 0.4 Bq/ml ja kiinteän aineen määrä tasolle 50-500 mg/l, keskiarvon ollessa 100 mg/l. Lisäksi tällä menetelmällä on käsitelty hyvällä menestyksellä keskiaktiivisia jätteitä Harwellista,  $\alpha$ -aktiivisia jätteitä muista Englannin laitoksista ja pesuliuotteita Cap La Hagen jälleenkäsittelylaitoksesta Ranskasta.

Dr. P W Tasker kertoi Harwellissa tehtävästä ydinjätteiden loppusijoitukseen liittyvästä tutkimuksesta. Harwell tutkii matala- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoitusta voimayhtiöitä ja muita jätteen tuottajia edustavan NIREXin puolesta. Harwellin ryhmän tehtävänä on arvioida ydinjätteiden loppusijoituksesta ihmisille aiheuttuvaa riskiä. Kriteerirajana on riski  $10^{-6}$ , joka merkitsee 0.1 mSv:n vuotuista annosta.

Englannissa arvioidaan kertyvän vuoteen 2030 mennessä matala-aktiivista jätettä  $1.6 \cdot 10^6 m^3$  ja keskiaktiivista jätettä  $1.7 \cdot 10^5 m^3$ . Matala-aktiiviset jätteet ovat pääasiassa metalleja (45 %) ja muoveja (14 %). Keskiaktiiviset jätteet sisältävät samoin suurimmalta osin metalleja (42 %), mutta lisäksi on magnox-jätettä (10 %) ja prosessijätteitä (25 %).

Tasker esitti karkean skenaarion siitä miten ja minkälaisilla aikaskaaloilla radionuklidien vapautuminen loppusijoitustilasta tapahtuu. Jätteet on tarkasteltavassa tapauksessa sijoitettu metallipakkauksissa betonimatriisiin. Veden tunkeutuminen loppusijoitustilaan vie 0-100 vuotta. Jätepakkaukset alkavat korrodoitua. Korrodoitumisen seurauksena muodostuu kaasuja, jotka kulkeutuvat loppusijoitustilasta kallon kautta biosfääriin. Pakkausten korrodoitumiseen kuluva aika on n. 0-500 vuotta. Jätteet vapautuvat pakkausista loppusijoitustilassa olevaan veteen, jossa vallitsevat betonin ansiosta kemiallisesti pelkistävät olosuhteet. Tämän vuoksi jätetuotteiden maksimiliukoisuudet laskevat huomattavasti. Edellä olleiden perusteella päädytään siihen, että radionuklideita vapautuu loppusijoitustilasta pohjaveteen aikavälillä 500-100 000 vuotta ja että vapautuminen tapahtuu

pelkistävissä olosuhteissa vallitsevien matalien liukoisuuksien mukaan. Taskerin mukaan tärkeimmät vapautumistavat loppusijoituksesta biosfääriin ovat eri aikavälillä seuraavat: 10-100 vuotta kaasut, 100-100 000 vuotta mahdollinen tunkeutuminen loppusijoitustilaan, 1000 vuodesta eteenpäin pohjaveden mukana kulkeutuminen ja 10 000 vuodesta eteenpäin eroosio.

Edellä esitetyn kaltaisia tilanteita tutkitaan Harwellissa erilaisin laskentamenetelmin. Perustapaukset lasketaan deterministisesti, lisäksi tehdään erilaisia herkkyystarkasteluja ja "mitä jos" -tarkasteluja sekä todennäköisyyspohjaisia analyyseja.

Harwellissa harjoitetaan tutkimuksia myös kaikkiin loppusijoitusympäristön osasysteemeihin liittyen. Biosfääriin osalta tehdään esimerkiksi ilmastollisia tutkimuksia, pohjaveden mukana kulkeutumisen simulointiin kehitellään kolmiulotteisia pohjavesimalleja, rakoverkkomalleja ja migraatiomalleja. Lisäksi tutkitaan loppusijoitustilan ilmiöistä muun muassa jätepakkausten korrodoitumista ja radionuklidien sekä kaasujen kulkeutumista täyteaineessa. Lisäksi Harwellissa teh-

dään kokeita sorptiokertoimien määrittämiseksi eri nuklideille ja kallon hydraulisten ominaisuuksien selvittämiseksi.

Mr P. E. Brown esitteli Harwellin kuumakammiolaboratoriota. Laboratorio valmistui lopullisesti vuonna 1986. Erillisiä kammioita on kuusi ja kussakin kammiossa voidaan käsitellä materiaaleja, joiden  $\beta\gamma$ -aktiivisuus on  $10^4$  MeV-curieta ja 300 g plutoniumia. Laboratoriossa on mahdollista tehdä laaja-alaista PIE-tutkimusta polttoaineelle ja suojakuori-putkille sekä NDT- ja DT-menetelmillä. Myös onnettomuusolosuhteita voidaan tutkia polttoainesauvoilla, jotka sisältävät sekä lyhyt- että pitkäikäisiä fissiotuotteita. Polttoaineen uudelleen käsittelyä ja jälleenkäsittelyä voidaan demonstroida 'pilot plant' -mittakaavassa käyttäen aktiivisia materiaaleja sekä erottaa radioaktiivisia aineita toisistaan ja valmistaa niitä. Laboratoriossa on myös matala-aktiivisten materiaalien tutkimukseen käyttäviä hansikasvetokaappeja, joissa materiaalia voidaan käsitellä kaapin seinämien läpi vietyjen hansikkaiden avulla. Hansikasvetokaapeissa on mahdollista tutkia  $\alpha$ -aktiivisia materiaaleja erilaisissa atmosfääreissä.

## BNES ja INuce — insinööri järjestöjen "Royal charter" pätee yhä

*Sakari Immonen, KTM*

Englannissa eri alojen insinöörijärjestöjen tehtävänä on arvioida ja kehittää jäsenkuntansa ammattipätevyyttä. Kuningas Yrjö IV:n 1800-luvun puolivälissä antamaa "royal charteria" noudatetaan vielä nykyäänkin.

ATS:n opintomatkan virallinen ohjelma päättyi perjantaina Lontooseen. Tapasimme kahden ydinteknillisen ja rakennusinsinöörin järjestön edustajia. Kokoon-tuminen oli järjestetty maan suurimpiin insinöörijärjestöihin kuuluvan Institution of Civil Engineers'n (ICE) omistamassa arvokkaassa toimituksessa. Se sijaitsee Great Georg Streetin varrella Westminsterissä valtion keskeisten hallintovirastojen naapurissa.

Iso-Britanniassa toimii kaksi ydinteknillistä yhdistystä: British Nuclear Energy Society (BNES) ja Institution of Nuclear Engineers (INuce). Niillä on lähes yhtä paljon henkilöjäseniä, BNES:llä 1500 ja INuce:lla 1800. Syynä kahden yhdistyksen olemassaoloon on se, että yhdistykset poikkeavat luonteeltaan ja toiminnaltaan oleellisesti toisistaan. Molemmat ovat jäsenenä European Nuclear Society:ssä. Taapaamisen osallistui BNES:n edustajina puheenjohtaja Dr. Bernard Woodfine ja muutamia seuran pitkäaikaisia jäseniä sekä INuce:sta varapuheenjohtaja Neil M. Lynn.

## Insinöörijärjestöt ammattipätevyyden kehittäjinä

ICE:n Education and Training -osaston johtaja Dr. J. Whitwell kertoi tekniikan eri aloilla toimivien insinöörijärjestöjen (institutions) kansainvälisesti hyvin poikkeuksellisesta roolista. Instituutioiden keskeinen tehtävä perustuu kuningas Yrjö IV:n 1800-luvun puolivälissä antamaan "royal charteriin", jolla instituutiot veloitettiin varmistamaan jäsentensä ammatillinen pätevyys. Täyden pätevyyden saavuttaneet insinöörit hyväksytään Council of Engineers -elimen ylläpitämään rekisteriin, jonka jäsenillä on Chartered Engineer (CEng) -arvo. He ovat siten eräänlaisen diplomien saaneita insinöörejä.

Instituution jäseneksi ja samalla sen pätevytymisohjelmaan liittymiseksi ei aseteta muodollisia koulutusvaatimuksia. Vain vähemmistöllä insinöörijärjestöihin kuuluvista on Master of Science -tutkinto. Useimmiten he ovat suorittaneet joltakin tekniikan alalta Bachelor of Arts -tutkinnon tai heillä on instituution arvioima ja hyväksymä vastaavantasoinen muualla kuin yliopistossa hankittu pätevyys. Pätevytymisohjelmaan kuuluu harjoittelua instituution valitseman "täysinoppineen" insinöörin ohjauksessa sekä instituution toimeenpanemia tutkintoja. Koko ohjelman läpikäyminen vie jopa 10-15 vuotta. Vastaavasti jäsenyysasteita on useita, esimerkiksi ICE:n noin 71 000 jäsentä ja kaantuvat kuuteen kategoriaan: student members (4 500), graduate members (15 000), associate members (600), members (45 000), fellows (6 000) ja companions (41).





*BNES:n, INuCE:n ja ATS:n välisten keskusteluiden puitteet olivat juhlalliset.*

Insinöörijärjestöillä on Isossa-Britanniassa muutoinkin hyvin vaikutusvaltainen asema korkeamman teknisen opetuksen kehittämistä koskevassa päätöksenteossa. Kysymykseen opetusviranomaisten osuudesta tässä päätöksenteossa Dr. Whitwell vastasi yksikantaan, että institutiot asettavat käytännössä teknistä opetusta koskevat koulutusvaatimukset, yliopistollinen opetus mukaanlukien.

#### **British Nuclear Energy Society**

Britannian ydinenergiaseuran BNES:n puheenjohtaja Dr. Woodfine esitteli seuransa toimintaa. BNES on 11 insinöörijärjestön sekä tutkimus- ja oppilaitoksen vuonna 1962 perustama ammatillinen seura, jonka jäseneksi voidaan hyväksyä ilman koulutusvaatimuksia ydinenergia-alalla työskentelevä jonkin perustajajärjestön jäsen. Mm. rakennus-, kone-, sähkö- ja kemisti-insinöörien järjestöt lukeutuvat näihin perustajajärjestöihin. Kahden ydinteknillisen yhdistyksen välillä vallitsevaa jonkinasteista kilpailua osoittanee se, että Institution of Nuclear Engineers ei ole BNES:n jäsenjärjestö.

BNES:n toiminnasta pääosana ovat kaksi tai kolme kertaa vuodessa järjestettävät tieteelliset konferenssit ja kuukausittain pidettävät esitelmätilaisuudet. Konferenssiesittämät julkaistaan tavallisesti seuran omassa, kuusi kertaa vuodessa ilmestyvässä Nuclear Energy -lehdessä. Toiminnaltaan BNES vastaa siten pitkälle Suomen Atomitekniikasta Seuraa.

#### **Institution of Nuclear Engineers**

Institution of Nuclear Engineers on Engineering Council'n nimeämä "qualifying

body" ydintekniikan alalla. Jo 30 vuotta toiminut INuCE on valtuutettu arvioimaan ydinvoimalaitosten ja ydinkäyttöisten sukellusveneiden käyttöhenkilöstön pätevyyttä. Se järjestää tutkintoja ja rekisteröi ns. ydintekniikan insinöörin (nuclear engineer) pätevyyden omaavat henkilöt. Valtuuksiin kuuluu myös oikeus asettaa vaatimuksia ydintekniikkaan liittyvän yliopisto-opetuksen sisällölle ja harjoittelulle. INuCE:lla on sama asema kuin edellä kuvatulla Institution of Civil

Engineers -järjestöllä rakennustekniikan alalla.

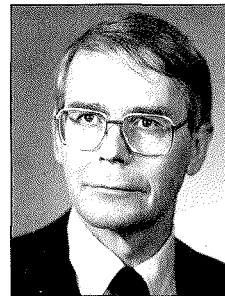
INuCE esiintyy ammattikunnan puolesta puhujana kysymyksissä, jotka ovat esillä julkisessa keskustelussa. Myös INuCE:lla on kokous- ja julkaisu-toimintaa. Järjestön lehti The Nuclear Engineer ilmestyy kuusi kertaa vuodessa.

INuCE:lla on samankaltainen moniportainen jäsenrakenne kuin muilla tekniikan alan instituutioilla. □



*Ekskursion loppuksi oli hetki aikaa tutustua myös lontoolaiseen kulttuurielämään.*

# Turvallisuusvaatimusten kehittyminen



*Ydinenergian rauhanomaisen käytön alueella on alusta asti tiedostettu tarve suojata ihmiset, yhteiskunta ja ympäristö säteilyltä. Tämä on edellyttänyt, että asetetaan rajat radioaktiivisten aineiden päästöille ja säteilyaltistukselle sekä turvallisuusvaatimukset ydinlaitosten suunnittelulle, rakentamiselle ja käytölle. Turvallisuusvaatimusten asettamisesta ja valvonnasta vastuu on valtiollalla. Sen tehtävänä on lainsäädännön avulla luoda perusta ydinenergian käytön turvallisuusvalvonnalle ja -vaatimuksille.*

Kunkin maan kansallisen viranomaisen tehtävä on antaa yksityiskohtaiset ohjeet turvallisuusvaatimuksista ja niiden soveltamisesta. Tällä alueella Suomi kuten muutkin ydinenergiaa käyttävät maat on käynyt läpi voimakkaan kehityksen.

## 60...70-luku

Runsas kaksi vuosikymmentä sitten, kun ydinvoimalaitosten rakentamishankkeet Suomessa käynnistettiin, lainsäädännöllisen perustan turvallisuuskysymyksille antoivat vuodelta 1957 oleva Atomienenergi laki ja vuodelta 1958 oleva Atomienenergi asetukset.

Suomalaisten laitosten rakennusluvut myönnettiin vuosina 1971...75. Laitosten suunnittelun turvallisuustavoitteeksi asetettiin, että ydinvoimalaitosten käytöstä aiheutuva säteilyaltistus saa olla enintään 10 manSv/GWy. Tämän tavoitteen saavuttaminen edellytti, että rakennettavat laitokset on varustettava luotettavilla turvajärjestelmillä, jotta

— reaktori voidaan sammuttaa,  
— reaktorisydän jäädyttää ja  
— jälkilämpö poistaa  
sekä käyttö- että onnettomuustilanteissa.

Laitokset tuli myöskin varustaa kaasutiiviillä suojarakennuksella radioaktiivisten aineiden leviämisen estämiseksi ympäristöön tilanteissa, joissa ydinpolttoainetta on rikkoutunut.

Edelleen laitokset tuli sijoittaa etäälle suurista asutuskeskuksista, jotta väestön säteilyaltistus voitaisiin pitää vähäisenä siinäkin tapauksessa, että laitoksesta pääsee ympäristöön radioaktiivisia aineita.

Perustana laitosten teknisille turvallisuusvaatimuksille oli tällöin US CFR 50 Appendix A vuodelta 1969, ns. 70-kriteeriä. Tämän pohjalta lähdettiin asettamaan vaatimuksia mm. suunnitteluperusteena käytettäville onnettomuustilanteille, suojarakennukselle, järjestelmien varmuukselle, laadunvarmistukselle jne.

Vuonna 1973 julkaistiin uudistettu CFR 50, ns. 55-kriteerin käännös suomeksi. Tätä silloinen säteilyturvallisuuslaitos työsti edelleen ja julkaisi kriteereistä 27.1.1976 oman sovelluksensa, joka oli perustana arvioitaessa nykyisten laitosten turvallisuutta niiden käyttöluovapaiheessa vuosina 1976...80.

## TMI 2:n jälkeinen aika

Tekniikan kehitys ja tutkimus toi 70-luvun lopulla mukanaan uusia vaatimuksia ja näkemyksiä. Tiedon lisääntyessä suhtautuminen moniin asioihin muuttui. Merkkipaaluina monille kysymyksille voidaan pitää TMI 2-onnettomuutta, joka aiheutti myös sen, että ydinvoimalaitosten suunnitteluperusteisiin oli paneuduttava uudelta pohjalta. Asiaa Suomessa vauhdittivat myös vireillä olleet uudet ydinvoimalaitoshankkeet ja niihin liittyvät sovelutuvuustutkimukset.

Vanhon turvallisuuskriteerin arviointi uusimismielessä aloitettiin säteilyturvallisuuslaitoksessa vuonna 1979. Vuoden 1981 keväällä perustettiin työryhmä valmistelemaan esitystä uusiksi turvallisuuskriteereiksi. Työ aloitettiin vanhojen kriteerien (27.1.1976) pohjalta, mutta työn edettyä täällä todettiin, että IAEA:n kehittämissä standardissa Code of Practice 50-C-D, Design for Safety of Nuclear Power Plants, pääjaottelu on luontevampi kuin USA:n vastaava. Tarkempi jaottelu sekä yksityiskohtaiset vaa-

timukset asetettiin kotimaisten tarpeiden pohjalta. Tämän melko mittavan, arviolta 2 000 h:n työn tulokset julkaistiin 1.12.1982 ohjeena YVL 1.0. Ydinvoimalaitosten suunnittelussa noudatettavat turvallisuusperusteet.

Vanhoihin kriteereihin verrattuna ohjeen YVL 1.0 kattavuus oli selvästi laajempi. Monet vaatimukset muuttuivat ja täsmenntyivät. Monet näennäisesti uudet vaatimukset olivat kuitenkin jo omaksutun käytännön kirjaamista. Keskeisimmät tekniset muutokset koskivat

- varautumista vakaviin onnettomuuksiin ja
- järjestelmien luotettavan toiminnan varmistamista.

Reaktorisydämen sulamisonnettomuuteen liittyvät vaatimukset vaikuttivat eniten suojarakennuksen suunnitteluvaatimuksiin. Uusien vaatimusten mukaan suojarakennuksen on ehkäistävä radioaktiivisten aineiden päästöjä tehokkaasti myös vakavissa onnettomuustilanteissa. Tästä seuraa se, että suojarakennuksen on kes- tettävä myös vakavien onnettomuuksien kuormituksia (paine, lämpötila, sydänsula). Käytännössä tämä johtanee paineenkestävään kaksoisuojarakennukseen. Myös vetypaloihin ja niiden estämiseen tulee varautua. Laitoksen tilasuunnittelussa (oleskeltavuus, kulku- ja huolto- mahdollisuudet) ja valvomon suunnittelussa on varauduttava vakavien onnettomuuksien vaikutuksiin. Vakavien onnettomuuksien hallitsemiseksi laitos tulee varustaa myös tarpeellisilla mittaus-, hälytys- ja viestintäjärjestelmillä.

Järjestelmien (turvallisuustoimintojen) luotettavan toiminnan varmistamiseksi liittyviä vaatimuksia käsitellään ohjeessa YVL 1.0 laajasti. Turvallisuustoimintojen varmistamiseen tähtäävät mm. seuraavat ohjeeseen sisältyvät vaatimukset:

- vaatimukset turvallisuusluokituksesta ja tästä seuraavat laatu- ja luotettavuusvaatimukset
- järjestelmien erottelua koskevat vaatimukset, esim. turvajärjestelmien eri redundanssit on sijoitettava omiin paloteknisiin osastoihinsa,
- tarkastuksia, testauksia ja huoltoa koskevat vaatimukset,
- sähkönsyötön varmistamista koskevat vaatimukset,

Professori Antti Vuorinen on Säteilyturvakeskuksen pääjohtaja, p. 90-70821.  
DI Jouko Marttila on Säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosastolla ylitarkastajana, p. 90-70821.

— vikakriteerit

\* 2-vikakriteeri (huolto + yksittäisvika)

- koko lämmönsiirtoketju
- suojausjärjestelmät
- sisäinen sähkönsyöttö

\* yksittäisvika

- polttoaineen jäähtyminen
- ilmastointi
- suojarakennuksen eristäminen.

Yksityiskohtaisia säteilysuojelua ja laitosten teknistä turvallisuutta koskevia määryksiä on annettu muissa STUK:n julkaisemissa YVL-ohjeissa. YVL-ohjeiden kehitys peilaa hyvin turvallisuusajattelun ja määräysten tilannetta ja kehitystä Suomessa.

## Tshernobyl-onnettomuus

Teknisten turvallisuusvaatimusten osalta ei ohjeen YVL 1.0 julkaisemisen jälkeen 1.12.1982 ole tapahtunut mitään, mikä olisi antanut aiheita olennaisesti muuttava vaatimusten yleisperiaatteita, vaikka Tshernobylin onnettomuuskin otetaan huomioon. Mutta tekniset ratkaisut, joiden avulla uusien laitosten suunnittelussa samoin kuin käytössä olevilla vanhoilla laitoksilla varaudutaan vakaviin onnettomuuksiin, ovat kypsyneet toteutusasteelle.

80-luvun jälkipuoliskolla paljolti Tshernobylin vaikutuksesta turvallisuusmääryksiä on pohdittu kansainvälisellä tasolla mm. IAEA:n INSAG-työryhmässä. Raportti 75-INSAG-3, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, on yritys kirjata kattavasti ydinvoimalaitosten turvallisuuteen liittyvät periaatteet. Tässä raportissa käsitellään mm. turvallisuustavoitteita, turvallisuuskulttuuria, ns. syvyysuuntaista turvallisuusajattelua sekä inhimillisen tekijän merkitystä.

Tätä raporttia on osin käytetty apuna, kun ydinenergialain ja asetuksen tultua vuonna 1988 voimaan STUK:ssa on laadittu ehdotusta ydinvoimalaitosten turvallisuutta koskevaiksi valtioneuvoston päätöksiksi. Siinä käsitellään yleisellä tasolla mahdollisimman kattavasti nykykäytön myksen valossa tärkeimmät turvallisuusnäkökohdat.

## Nykytilanne

Tarkasteltaessa suomalaisten laitosten käyttökokemuksia voidaan todeta, että normaaliin käyttöön liittyvät päästö- ja annosrajat on onnistuttu alittamaan sel-

västi. Myöskin vakavien käyttöhäiriöiden määrä on ollut pieni.

Vakavien onnettomuuksien aiheuttamaa uhkaa voidaan tietenkin arvostella deterministisin menetelmin, mutta erityisesti TMI 2 onnettomuuden jälkeen arviointia on tehty yhä laajemmin PSA-analyyseiden avulla.

PSA-analyseista saatujen kokemusten valossa on yleisesti arvioitu, että nykyistä tyyppiä edustavilla ja nykyiset turvallisuusvaatimukset hyvin täyttävillä kevytvesireaktoreilla on mahdollista päästä seuraaviin todennäköisyyksiin:

- sydänvaurio <  $10^{-4}$ /vuosi
- suuri päästö <  $10^{-5}$ ... $10^{-6}$ /vuosi
- yksilölle päästöistä <  $10^{-6}$ ... $10^{-7}$ /vuosi aiheutuva akuutti terveyshaitta.

Tältä pohjalta alkuperäinen tavoite 10 manSv/GWy on hyvin asetettu.

TVO:n ja IVO:n PSA-analyysit, joiden avulla arvioidaan vakaviin onnettomuuksiin liittyviä riskejä suomalaisilla laitoksilla, on jätetty STUK:n tarkastettavaksi. Alustavassa tarkastuksessa on todettu, että tutkimuksissa on käytetty hyvin erilaisia onnistumiskriteereitä ja oletuksia ja että tuloksina esitetyt numeroarvot tulevat vielä muuttamaan. TVO:n PSA edustaa pyrkimystä realistiseen arviointiin ja sen mukaan sydänvaurion todennäköisyys jäisi alle edellä esitetyn tavoitearvon. Loviisan PSA:ssa on aikataulu-tyyppistä eräissä kohdin vältetty tarkempia analyysejä ja tyydytty ylimääräiseen konservatiivisuuteen. Analyysi ei siis vielä sovellu sydänvauriotodennäköisyyden numeeriseen arviointiin, mutta on kuitenkin osoittanut kohteet, joissa lisätutkimukset tai turvallisuutta lisäävät laitosmuutokset ovat aiheellisia. Kumpikaan analyysi ei vielä sisällä ulkoisten tapahtumien ja tulipalojen aiheuttamia riskejä. Nämä osat PSA-analyseista valmistunevat ensi vuonna.

## Tulevaisuus

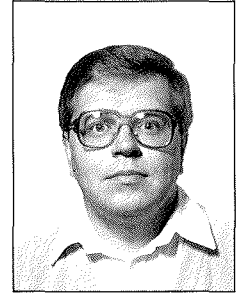
On ilmeistä, että turvallisuusvaatimukset kehittyvät edelleen. Ajan mukana muutoksia tulee uusien teknisten ratkaisujen myötä ja mahdollisten odottamattomien tapausten johdosta.

Kehittyminen on hidas prosessi ja tulokset ovat nähtävissä vasta hyvin pitkällä aikavälillä.

Uuden sukupolven reaktoreiden turvallisuus perustunee yhä enemmän luontaisiin turvallisuusominaisuuksiin, passiivisiin turvallisuusjärjestelmiin sekä rakenteelliseen turvallisuuteen. Parhaat mahdollisuudet nopeaan edistymiseen näyttäisi olevan pienillä laitosyksiköillä (muutama 100 MW). Suurten laitosyksiköiden osalta ei näköpiirissä ole uusia mullistavia ideoita. Sen sijaan on tapahtunut ja edelleen tapahtumassa laadullista, luotettavuutta nostavaa rakenteellista kehitystä joka näyttää johtavan myös laitoskonseptien yksinkertaistumiseen.

Parannusmahdollisuuksia nykyisillä laitoilla on tarpeen tutkia prosessien seuranta- ja hallintalaitteistojen alueella siten, että päästäisiin nykyistä parempaan vuorovaikutukseen operaattorien ja laitosten välillä. Meneillään olevat instrumentointia, prosessin seuranta- ja ohjaus-tietokoneita ja koulutussimulaattoreita koskevat parannusohjelmat tähtäävät omalta osaltaan siihen, että nykyisten laitojen käyttöturvallisuus tulevalle vuosikymmenellä olisi entistä parempi. Joka tapauksessa meillä käytössä olevien laitojen monimutkaisuus ja lukuisten laitosmuutosten tarve sekä laitojen vanheneminen asettavat kovat vaatimukset käyttöhenkilökunnan ammattipätevyydelle ja koulutukselle jatkossa. Tämä edellyttää voimayhtiöiltä jatkuvaa henkilökunnan motivointia sekä tehokkaan laadunvarmistusjärjestelmän ylläpitoa ts. laadukasta ja vastuullista johtamistapaa (quality management).

Se missä määrin käytettävissä olevat mahdollisuudet hyödynnetään jää nähtäväksi. Sopii toivoa, ettei lyhytnäköinen säästäväisyys uusia ydinlaitoksia suunniteltaessa murena ydinenergiankäytön perusteita. □



# Vakavien reaktorionnettomuuksien hallinta Loviisan voimalaitoksissa

*Uudet turvallisuusohjeet edellyttävät, että ydinvoimalaitoksilla varaudutaan vakavien reaktorionnettomuuksien mahdollisuuteen. Loviisan laitosten monet erityispiirteet edellyttävät laajaa tutkimus- ja analysointityötä ennenkuin mahdollisista toimenpiteistä voidaan tehdä päätöksiä. Myös yksiköillä toteutettavat muutokset poikkeavat muilla laitoksilla tehdyistä.*

Varautumista vakaviin reaktorionnettomuuksiin Loviisan voimalaitoksella on Eero Mattila käsitellyt ATS Ydintekniikan numerossa 3/88. Hän esittää artikkelissaan suojarakennuksen paineenkestosta tehdyt tutkimukset ja sen takaamiseksi tarvittavia toimenpiteitä. Lisäksi hän esittelee suojarakennuksen ylipainesuojaukseksi suunnitellun teräskuoren ulkopuolisen ruiskutusjärjestelmän. Korkeassa paineessa tapahtuvan paineastian puhkisulamisen estämiseksi ollaan myös suunnittelemassa primääripiirin paineenalennusjärjestelmää.

Tässä esitelmässä hahmotellaan, miten vakavien reaktorionnettomuuksien hallinta kokonaisuudessaan on tarkoitus hoitaa Loviisan kohdalta ja mitä asioita vielä pitää selvittää ennen lopullisten päätösten tekemistä.

## Loviisan laitosten erityispiirteitä

Vakavien reaktorionnettomuuksien kannalta merkittävin piirre Loviisan laitoksilla on sydämen sulamiseen liittyvät pitkät aikaviiveet. Sydämen sulaminen viivästyy, sillä primääri- ja sekundääripiirin suurien vesimäärien höyrystäminen vie aikaa suhteellisen pienellä sydämen jälkilämpöteholla. Esimerkiksi täydellisen sähkökatkoksen tai täydellisen syöttövesihäiriön yhteydessä kuluu 7–9 tuntia ennenkuin sydän alkaa sulaa. Tämä antaa laitoksen

TkT Harri Tuomisto on Imatran Voima Oy:n pääsuunnittelija ja ydinvoimatekniikan osastolla turvallisuus- ja polttoainetoimiston turvallisuusanalyysiryhmän päällikkö, p. 90-508 2464.

ohjaajille hyvän mahdollisuuden toimenpiteisiin, joilla estetään onnettomuuden kehittyminen sydänvaurioon tai peräti sulamiseen asti. Eräs syy melko suureen sydänvauriotaajuuteen alustavassa PSA-tutkimuksessa on, että analyysissä ei ole täysin käytetty hyväksi pitkää aikaviivettä estävien toimenpiteiden tekemiselle.

Jäälauhduttimen sulaminen johtaa siihen, että reaktorikuoppa täyttyy vakavissa onnettomuuksissa vedellä. Veteen upotettu paineastia tarjoaa hyvän mahdollisuuden siihen, että paineastian pohjalle pudonnut sydänsula on jäädytettävissä — semmin kun jälkilämpöteho on hyvin pieni. Suojarakennuksen kuormitusten osalta on tärkeää pyrkiä takaamaan, että paineastia ei sula ollenkaan puhki.

Jäälauhduttimet pitävät onnettomuuden jälkeen pitkään huolta suojarakennuksen jälkilämmön poistosta. Ylipainesuojaukselle tulee tarve vasta myöhemmässä vaiheessa — parhaimmillaan vasta vuorokauden kuluttua onnettomuuden alusta. Tässä vaiheessa jälkilämpöteho poistamiseen riittää suojakuoren ruiskuttaminen ulkopuolelta vedellä.

## Onnettomuuksien arviointi

Vakavien reaktorionnettomuuksien arviointiin käytetään todennäköisyysperusteista turvallisuusanalyysiä (PSA). Tason 1 PSA-tutkimuksella osoitetaan sydämen vaurioitumistaajuus ja ennen kaikkea suojarakennuksen ohitusketjujen taajuus hyväksyttävän pieneksi. Koska sydämen vaurioitumisen seurauksien arvioimiseen liittyy hyvin suuria epävarmuuksia, joihin vakio PSA—menetelmät eivät kykene antamaan tyydyttävää vastausta, on erityisesti Loviisan kohdalla tarkoituksena keskittyä ensin selvittämään suojarakennuksen eheyttä vaarantavia fysikaalisia ilmiöitä.

Kyseeeseen tulevia hyväksymisrajoja käsitellään tässä samassa lehdessä säteilyturvakeskuksen artikkelissa turvallisuusvaatimusten kehittymisestä (A. Vuorinen ja J. Marttila). Suojarakennuksen eheyttä vaarantavat ilmiöt kvantifioidaan käyttäen todennäköisyystasoa fysikaalisten prosessien odotettavissa olevalle käyttäytymiselle. Näin on tarkoitus osoittaa, että hyvällä luottamustasolla voidaan suojarakennuksen rikkoutuminen sulkea pois eri sydämen sulamisonnettomuuksissa.

Valitun lähestymistavan konsistenttisuus

edellyttää, että kaikki suojarakennusta uhkaavat ilmiöt tulevat käsitellyiksi. Loviisan kannalta on merkittävää, pystytäänkö paineastian jäädytettävyyden osoittamaan aukottomasti. Mikäli ei, joudutaan käsittelemään lisäksi suurta määrää ilmiöitä, jotka ovat seurausta sydänsulan purkautumisesta paineestiasta ulos.

## Toimenpiteet laitoksilla

Tarvittavista toimenpiteistä ovat ensi sijalla sydämen sulamisen estämiseen tähtäävät toimenpiteet. Tason 1 PSA-tuloksia hyväksi käyttäen pienennetään hallitsevien onnettomuusketjujen taajuutta.

Onnettomuuden seurauksia lieventävistä toimenpiteistä on ulkopuolinen ruiskutus edennyt niin pitkälle, että järjestelmän pilot-kokeet HDR-suojarakennuksessa Saksan liittotasavallassa on tehty. Järjestelmä toteutettaneen vuoden 1990 loppuun mennessä.

Reaktoriastian eristeeseen ja reaktori-kuoppaan tehdään pienehköjä muutoksia, joilla taataan, että vesi pääsee kastelemaan paineastian ulkopinnan mahdollisen onnettomuuden aikana. Kastelu on ehdoton edellytys sydänsulan jäädyttämiseksi paineestiasin sisälle.

Suojarakennuksen vedynhallintajärjestelmää täydennettiin 80-luvun alussa syytystulpilla ja rekombinointijärjestelmän muutoksilla. Tällä hetkellä on tutkimuksen alla, riittääkö nykyinen vedynhallintajärjestelmä estämään suojarakennuksen eheyttä uhkaavat vetypalot kaikissa mahdollisissa reaktorionnettomuuksissa. Tämä työ sisältää analyysijä ja suojarakennukselle tehtäviä mallikokeita.

Primääripiirin paineenalennusjärjestelmän lisääminen on selvitettävänä. Paineenalennus tulee ennen kaikkea tarpeelliseksi, mikäli paineastia jäädytysmahdollisuudesta huolimatta pääsisi puhkeamaan. Järjestelmän suunnittelua on viivästyttänyt analysointimenetelmien luotettavuuden selvittäminen. Lisävaikutena on, ettei toistaiseksi ole ollut saatavilla paineenalennamiseen tarkoitettuja venttiilejä, jotka olisivat kvalifioituja vakavien reaktorionnettomuuksien aikana vallitseviin olosuhteisiin.

Täysi hyöty laitosmuutoksista ja selvityksistä varautumiseksi vakaviin onnettomuuksiin saadaan, kun laitokselle laaditaan onnettomuuksien hallintaohjeet, jotka yhdistetään osaksi laitoksen käyttöohjeistoa ja valvontajärjestelmiä. □

# Uusi kirja: Säteilysuojelun käytäntö

*Helsingin yliopiston fysiikan laitoksen ja kiihdytinlaboratorion säteilysuojelusta vastaavana johtajana ja kouluttajana vuodesta 1957 lähtien toiminut fil.lis. Olli J. Marttila on laatinut uuden suomenkielisen opikirjan "Säteilysuojelun käytäntö". Kirjan käyttäjiksi on ajateltu fysiikan opiskelijoita, joiden tutkintovaatimuksiin kuuluu yhden opintoviikon säteilysuojelukurssi, mutta laajat käytännönläheiset osat on suunniteltu tukemaan säteilysuojelun valmistautumista ja muita tutkimuslaboratorioissa työskenteleviä säteilyn asiantuntijoita. Kustantaja Limes ry on lähettänyt kirjan lehdellemme arvioitavaksi.*

Kirjan sisällys on:

## I DOSIMETRIA

1. Dosimetrian perussuureet ja yksiköt 12 s.
2. Annoksen määrittäminen 50 s.

## II SÄTEILYN TARKKAILU

3. Tarkkailun tavoitteet 8 s.
4. Työympäristön säteilyntarkkailu 30 s.
5. Yksilöllinen säteilyntarkkailu 28 s.

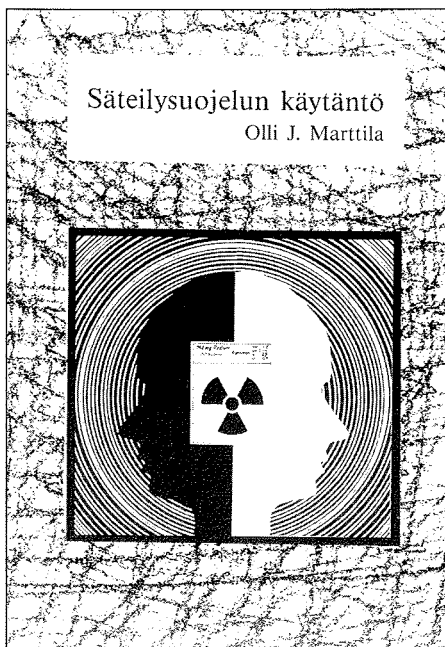
## III TURVALLINEN TYÖSKENTELE SÄTEILYLÄHTEELLÄ

6. Työpaikan hallinnolliset säteily-suojelutoimet 28 s.
7. Tekniset suojelutoimet 98 s.
  - Suojautuminen ulkoista säteilytystä vastaan
  - Avolähteiden käsittely
  - Toiminta onnettomuuden sattuessa

- Kirjallisuusviitteet 5 s.  
Hakemisto 11 s.

Lukuisat laskuesimerkit täydentävät esitystä.

Kirja ei käsittele esim. radioaktiivisten aineiden kulkeutumista ympäristössä eikä siinä ole laajempia taulukoita nuklidikohtaisista annos-/säteilykertoimista tai pitoisuusrajoista.



## Taustaa

Suomalaiset säteilysuojelun asiantuntijat ovat joutuneet laajalti tukeutumaan luentomonisteisiin ja vieraskielisiin käsikirjoihin. Kirjoittajien Marttila, Isola, Spring, Vuorinen keltakantinen "Säteily, sen käyttö ja valvonta" lienee monelle ATS:läiselle tuttu jo opiskelua ajoilta ja on tämän jälkeen säilynyt hyllyssä käsikirjana. Se on kuitenkin loppuunmyyty eikä vuoden 1973 jälkeen siitä ole otettu uutta painosta. Tämän jälkeen alalla on tapahtunut paljon: ydinvoima on saanut merkittävän osan Suomen sähkötuotannosta, yleisö on kiinnostunut säteilyturvallisudesta sekä radioaktiivisten aineiden kulkeutumisesta ja vaikutuksista tiedetään enemmän. Niinpä onkin ilahduttavaa että viime aikoina on ilmestynyt kaksi uutta kirjaa.

Kirjojen Marttila: "Säteilysuojelun käytäntö" ja STUK: "Säteily ja turvallisuus" tekijät ovat laadinnan vaiheessa olleet yhteydessä toisiinsa, ja kirjat osittain täydentävätkin toisiaan: Marttilan kirja antaa yksityiskohtaisia käytännön ohjeita laboratorioiden säteilysuojelusta vastaaville kun taas STUKin kirja käsittelee ydinvoimalaitosten säteilyturvallisuuteen liittyviä kysymyksiä laajemmin.

## Kohderyhmät

Marttilan uusi kirja on niin laaja, yksityiskohtainen ja alkupuoleltaan teoreettinen, että yhden tai kahden opintoviikon peruskursseilla opiskelija ehtii käydä sen läpi vain soveltuvin osin (esim. dosimetrian perussuureet ja yksiköt sekä säteilymittauslaitteet). Sen sijaan tällaisen kurssin vetäjälle tai muutoin säteilysuojelun parissa toimivalle asiantuntijalle "kannesta kanteen" -lukeminen olisi hyödyllistä. Lukija voi nopeuttaa etenemistään hyp-päämällä sellaisten osuuksien yli, joita ei aktiivisesti tarvitse; esim. usein katsotaan riittäväksi käyttää valmiiksi laskettuja nuklidikohtaisia säteily- ja annoskertoimia ilman, että tiedetään, miten ne on laskettu tai kuinka suuret epävarmuudet niihin liittyvät. Näin säästetyn ajan voi käyttää sitten vaikka ottamalla silloin tällöin esiin em. "keltaisen kirjan", johon Marttilan uudempi teos ahkerasti viittaa ja jota kannattaa säilyttää toistaiseksi; vastaavia numerotaulukoita on myös STUK:n kirjassa.

Kirja ei mainitse ydinvoimayhtiöissä tai Säteilyturvakeskuksessa toimivia kohderyhmäkseen. Kuitenkin näissäkin on syytä tuntea säteilyn mittalaitteiden toimintaperiaatteet ja rajoitukset; liian usein ei osata valita tarkastelukohteeseen sopivaa oikean tyyppistä mittaria tai tulkita sen näyttämää oikein. Myös kirjan laaja ja käytännönläheinen sekä selkeillä kuvilla havainnollistettu kuvaus käytännön säteilysuojelutoimista on lukemisen arvoinen.

## Kehitys

Marttila toteaa esipuheessaan, että säteilysuojelulakia ja -säädöksiä ollaan uusimassa ja että ensimmäisessä painoksessa on muutakin korjattavaa ja siksi kaikki lukijoilta tullut kritiikki, korjaus- ja muutosehdotukset toivotetaan tervetulleeksi. Uusia painoksia otetaan sitten kysynnän mukaan.

Seuraavasta painoksesta voisikin sitten tehdä jo kovakantisen version.

## Myynti

Kirjan Marttila: "Säteilysuojelun käytäntö" voi ostaa Limes ry:n suoramyyntistä (Kirkkokatu 6 Helsinki, puh. 633 200) hintaan 110 mk; myös Akateeminen Kirjakauppa myy sitä. □

## Sihteerin sana — Mitä ovat FK tai SKI? ATS vieraili Ruotsissa 15.11



*Suomen Atomiteknillisen Seuran toimihenkilöiden ryhmä vieraili 15. marraskuuta Ruotsissa tapaamassa Föreningen Kärnteknik (FK) -sisäryhdyksensä johtokuntaa. Samalla eräät osallistuivat Ruotsin ydinturvallisuusviranomaisen SKI:n konferenssiin "Kärnkraftsäkerhet i Utveckling", joka käsitteli alan viimeistä kehitystä Ruotsissa ja maailmalta.*

Ruotsalaisessa sisarseurassa on noin 350 jäsentä (ATS 540 jäsentä!) ja sen pääasialliset toimintamuodot ovat samat kuin Suomessa, mutta hämmästyttävää kyllä Ruotsissa toimitaan selvästi vaatimattomammin. Tämä ehkä johtuu siitä, että Ruotsissa esimerkiksi informaatiopuolen hoitaa "Kärnkraftsäkerhet och Utbildning" (KSU), joka on voimayhtiöiden omistama yhtiö. Tämän artikkelin lopussa on yhteenvedo ruotsalaisesta "ydinvoimayhteisöstä", joka on melko monipuolinen, kuten usein on suurissa ydinvoimaimissa (Ranska, USA).

Naapurimaassamme meitä luonnollisesti kiinnosti vuoden 1980 kansanäänestystuloksen luoma ristiriitatilanne. Tätä meille valotti OKG:n entinen tiedotuspäällikkö ja nykyinen tiedotuskonsultti **Carl-Erik Wikdahl**. Hän totesi ydinvoiman kannattajien ja vastustajien määrän olevan nykyisin jotakuinkin tasoissa. Tällaisena tilanne on valoisin vuosiin. Positiivisena tapahtumana hän kuvasi kesällä tehdyn LO:n sosiaalidemokraattien aktion ydinvoiman puolesta ja puolestaan negatiivisena finanssiministeri **Kjell-Olof Fältdin** jyrkän tuomion ydinvoiman käytölle tänä syksynä.

Hän kertoi jatkossa ehkä tärkeimmän tapahtuman olevan vuoden 1990 syyskuussa pidettävä sosiaalidemokraattien puoluekokous. Puolue on nyt syvästi jakaan-

DI Jorma Aurela toimii turvallisuus-insinöörinä Loviisan voimalaitoksella ja hän on ATS:n sihteeri, p. 915-550 576.



*ATS:n Juhani Santaholma esittelemässä Föreningen Kärnteknikille (FK) ENS:n informaatiotoiminnan pääkohtia. Vasemmalta oikealle Jorma Kotro (ATS), Juhani Santaholma (ATS), Klaus Kilpi (ATS), Arne Hedgran (FK), Ilkka Mikkola (ATS), Carl-Eric Wikdahl (FK), Lennart Devell (FK:n pj), Bo Sundman (FK), Bengt-Åke Andersson (FK) ja Agneta Rising (FK).*

tunut kolmeen ryhmään, joista yksi kannattaa ydinvoiman nopeaa lopettamista, toinen hiilidioksidipäästöjen nopeaa rajoittamista ja kolmas vesivoiman jäädyttämistä nykyiselle tasolle. Kaikki suunnat tekevät aktiivista työtä oman vakaumuksensa mukaisesti.

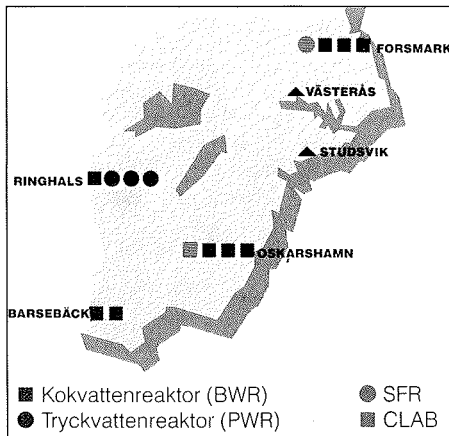
Informaatioasiat luonnollisesti muutenkin kiinnostivat. Paikalla olivat Wikdahlin lisäksi ENS:n Informaatiokomitean puheenjohtaja **Juhani Santaholma** ja WANO-johtaja **Tomas Eckered**, jotka muiden avulla ideoivat tulevaisuuden tiedotuksen suuntaviivoja. FK:n puheenjohtaja **Lennart Devell** painotti myös ruotsalaisten ja suomalaisten mahdollisuuksia kahdenvälisessä yhteistyössä, sillä onhan naapurimaille tärkeää tietää, mitä toisessa tapahtuu.

Erilaisista konkreettisista yhteistyömuodoista sovittiinkin. Ensi keväänä järjestetään Suomessa seurojen jäsenille yhteinen kokous, ja seuraavana vuonna olisi mahdollista järjestää vastaavanlainen tapaaminen Ruotsissa, jossa voisi olla tutustumiskohteena Forsmark, Studsvikin tutkimuskeskus tai risteily ydinlaiva Sigynillä. Myös monista käytännön tiedonvaihtoon liittyvistä asioista sovittiin, samoin kuin yhteisestä ENS-politiikasta jatkossa. Erityisesti "Naiset ja Ydinvoima"-teema kiinnosti, olihan paikalla Vattenfallin **Agneta Rising**, joka vetää projektia

Ruotsissa ja ENS:ssa. Suomesta lähtevät alkukokoukseen **Lena Hansson** (VTT) ja **Käthe Sarparanta** (TVO).

Samalla matkalla puheenjohtaja Ilkka Mikkolan vetämä ATS:n ryhmä osallistui kokoukseen, jonka aihe oli ydinturvallisuuden kehitys. Statens kärnkraftinspektionin /SKI) järjestämä tilaisuus käsitti esitelmiä ja paneelikeskustelun. Esitelmöitsijät olivat aivan maailman huippua. Mukana olivat mm. GRS:n **Adolf Birkhofer** ja NRC:n **Thomas E. Murley**. Suomalaisten kannalta mielenkiintoista oli professori **Antti Vuorisen** (STUK) esitys pohjoismaisten reaktorien käyttöturvallisuudesta. Siinä Vuorinen kävi lävitse eri käyttöturvallisuuden mittarit todeten parametrien löytämisen olevan vaikeaa, mutta nykyisten avulla mitataan tilanteen olevan valoisa. Hän kuitenkin tähdensi viranomaisen tarvetta olla ajan hermolla ja puuttua havaitsemiinsa puutteisiin.

Myös paneeliin, jossa oli osanottajia ABB:n **Cnut Sundqvististä** Blekingen maaherraan **Camilla Odhnoffiin**, Vuorinen otti osaa. Yleisö tuntui olevan kovin kiinnostunut suomalaisista ydinratkaisuisista ja Vuorinen saikin olla tavan takaa äänessä. Hän myös painotti kysymystä riittävästä turvallisuudesta kysymällä, mitä on "tarpeeksi turvallinen ydinvoima", mikä olikin paneelin teema. Tästä ei ole Vuorisen mielestä tarpeeksi keskusteltu.



Paneelissa mukana ollut Tomas Eckered vastasi tähän, että onnettomuuksia voi tapahtua tulevaisuudessakin. Paneelin isäntä SKI:n pääjohtaja Lars Högberg totesi, että viranomaisen omalta osaltaan määrittää tarvittavan turvallisuuden käytännön työssä. Jos joku reaktori ei tunnu viranomaisesta riittävän turvalliselta, viranomaisen määrittäen ne toimet, jotka tarvitaan reaktorin turvalliselle käyttämiselle jatkossa. Virheiden korjaamisen aikana reaktoria ei voi käyttää, jos viasta on katsottu koituvan uhkaa riittävälle turvallisuudelle. Käytännössä Ruotsissa on tässä toiminnassa Högbergin mukaan aina päästy suotuisiin tuloksiin tähän saakka.

Lopuksi voi vain todeta, että ehkä me suomalaiset tiedämme hieman liian vähän monista läntisen naapurimme tapahtumista. Tämä koskee myös ruotsalaista ydinvoimaa, joka kuitenkin edustaa aivan huippua maailmassa niin käytettävyydeltään kuin myös turvallisuustekniikaltaan. □

Syksyn kokouksissa on hyväksytty Seuran jäseniksi:

DI Esa Jurvakainen	TVO
FK Bjarne Hedkrok	TVO
Ins. Matti Lymy	TVO
FM Ronnie Olander	TVO
FK Roy Pöllänen	STUK
Ins. Stig-Göran Jacobsson	NAF
DI Tuomo Parviainen	IVO
DI Pentti Rajamäki	IVO
Ins. Hannu Juusela	IVO
FK Antti Poteri	YDI/VTT
FT Riitta Hänninen	STUK
DI Jaakko Tuomisto	TVO
Ins. Pekka Pessala	IVO
Ins. Leo Makkonen	IVO

## Ruotsin ydinenergia-alan organisaatiot

Käyttäjät:

- 1) **Vattenfall** (valtion)
2. **Sydkraft** (yksityinen)
- 3) **OKG** (49 % Sydkraft)
- 4) **Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA)** (74,5 % Vattenfall)

Laitokset:

- Ringhals
- Barsebäck
- Oskarshamn
- Forsmark

Viranomaiset tai vastaavat:

- 1) **Statens kärnkraftinspektionen (SKI)**, reaktoriturvallisuusviranomaisen
- 2) **Statens Strålskyddsinstitut (SSI)**, vastaa "säteilystä" niin ydinvoimalaitoksilla kuin muuallakin (radiologinen viranomaisen)
- 3) **Statens Kärnbränslenämnd (SKN)**, vastaa jätehuollon viranomaistoiminnasta.
- 4) **Samrådsnämnden för Kärnavfallsfrågor (KASAM)**, "ydinjäteneuvosto", joka on hallituksen alainen
- 5) **Miljö- och energidepartementet**, Ympäristö- ja energiaministeriö

Muita yhteisöjä:

- 1) **Svensk Kärnbränslehantering (SKB)**, yhtiö, joka vastaa ydinjätteistä. Omistajina voimayhtiöt. "Laitoksia" **CLAB** Oskarshamnissa (välivarasto käytetyille polttoaineelle ja **SFR** Forsmarkissa (loppusijoitus). **Signy** on kuljetuslaitteille ja käytetyille polttoaineelle.
- 2) **Kärnkraftsäkerhet och Utbildning (KSU)**, yhtiö, joka vastaa monista koulutukseen liittyvistä toimista ja vastaa ydininformaatiosta. Omistajina voimayhtiöt.
- 3) **ABB Atom**, konserni, joka pystyy rakentamaan esimerkiksi BWR-90-laitoksen sekä valmistamaan BWR- ja PWR-polttoainetta.
- 4) **Föreningen Kärnteknik (FK)**, Ruotsin ATS.
- 5) **Studsvik AB**, valtion tutkimuskeskus, jossa mittava ydinvoimasektori (350 tutkijaa).
- 6) **The Swedish Atomic Forum (SAFO)**, Ruotsin Foratom-jäsen, joka julkaisee mm. kahdesti vuodessa ilmestyvää Swedish Nuclear News-lehteä.
- 7) **Folkkampanjen mot kärnkraft/kärnvapen**, eräs ydinvoimaa vastustavista yhteisöistä, joka oli lähettänyt edustajansa artikkelissa kuvattuun kokoukseen.

Lähde: KSU-esite Svensk kärnkraft 1989.

# Ytimekkäät

## AUKKO URALIIN ATOMIVOIMALLA

Neuvostoliitossa suunnitellaan atomivoiman käyttöä aukon murtamiseksi Uralin vuoristoon ja kahden siperialaisen joen juoksun muuttamiseksi, kertoo neuvostoviranomaisten luvalla ilmestynyt Nacht-Express.

Lehden kertoman mukaan on tarkoitus muuttaa Obin ja Jenissein juoksua sekä atomivoiman avulla raivata teitä Uralin ja Kaukasian vuoristoihin. Tarkoituksena on Aral-järven ja Kaspian meren välisen tasangon kastelun järjestäminen. Suunnitelman kautta olisi viljelykselle voitettavissa 30 miljoonaa hehtaaria, jotapaitsi sähkövoimaa saataisiin 82 000 miljoonaa kilowattituntia. Suunnitelman vaikeimpia kohtia ovat uusien jokiuomien raivaaminen Uralin vuoriston lävitse Turgain solan kautta sekä Kaukasian vuoriston läpi kokonaista 600 km etelään Tsheljabiskistä. Noin 4000 km pitkä uoma olisi johdettava Obista Belogorjeen Kaspian meren rannalla.

## ATS:N OPINTOMATKOJEN KETJU LÄHES KATKEAMATON

Perustamisestaan lähtien eli vuodesta 1966 ATS on tehnyt ulkomaan opintomatkan lähes joka vuosi. Muutamana vuonna matka on suuntautunut pelkästään Sveitsin Baseliin Nuclex-näyttelyyn.

- 1966 Nuclex
- 1967 —
- 1968 Tanska
- 1969 Nuclex
- 1970 —
- 1971 Neuvostoliitto
- 1972 Ruotsi
- 1973 Ruotsi ja Tanska
- 1974 Saksan liittotasavalta
- 1975 Nuclex
- 1976 Englanti ja Belgia
- 1977 Ranska
- 1978 Nuclex
- 1979 Neuvostoliitto (Leningrad)
- 1980 Japani
- 1981 Nuclex, Ranska ja Espanja
- 1982 Unkari ja Italia
- 1983 Neuvostoliitto
- 1984 USA
- 1985 Tsekkoslovakia ja SLT
- 1986 Kiina
- 1987 Ranska
- 1988 Japani
- 1989 Englanti

## YDINVOIMA HOITAA OSALTAAN ILMAKEHÄN SUOJELUA

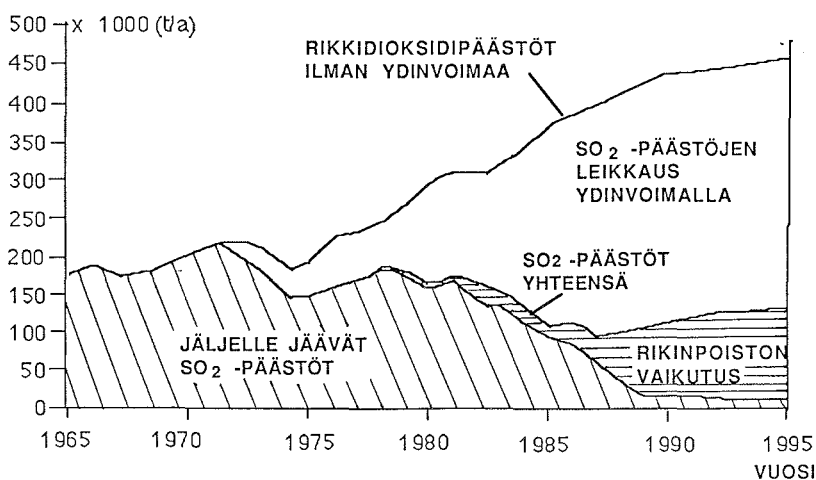
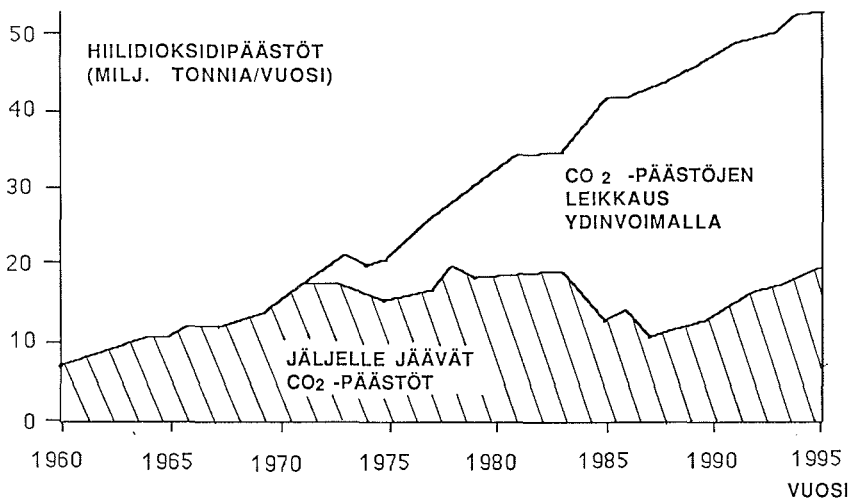
Nuclear Power Internationalin eli NPI:n edustajat oli 14.11.1989 pyydetty ATS:n kokoukseen esitelmöimään uusista ydinvoimalaitostyypeistään sarjassa, jossa keväällä esiintyi ABB Atom ja ensi vuoden alussa Atomenergoexport.

NPI:n kotimaat ovat Ranska ja Saksan liittotasavalta. Kuva esittää Pohjois-Saksan alueen voimantuotannon rikki- ja hiilidioksidipäästöjen kehittymistä ja miten ydinvoima on leikannut niitä. Koko Saksan osalta tilanne ei ole yhtä edullinen, mutta sen sijaan Ranskassa ydinvoima on leikannut samalla tavoin yli puolet SO<sub>2</sub>- ja CO<sub>2</sub>- päästöistä.

Suomessa lähdettiin hyvään alkuun, ja meillä olisi mahdollisuus torjua suurin osa voimantuotannon päästöistä ydinvoiman avulla ilman, että sähkön hintatasoa tarvitsisi nostaa.

Ei pidä vähätellä tätä mahdollisuutta toteamalla, että koko maailma ei voi tehdä samaa. Meidän pitää käyttää Suomessa sitä tietoa ja taitoa, jonka osaamme, ja leikata siten hiilen, öljyn ja sähkön tuontia.

*Ilkka Mikkola*



(Lähde: Krämer, 1989)

## VUOSI 1989 PÄHKINÄNKUORESSA

	Käyttökerroin, %	Tuotettu sähkö, GWh
Lo 1	92,4	3765
Lo 2	91,8	3737
Lo	92,1	7502
TVO I	81,5	5056
TVO II	93,9	5827
TVO	87,7	10883
Yhteensä	89,4	18385



# Lyhyesti maailmalta

**Aihevalinnat Pekka Lehtinen, STUK, puh. 708 2385.**

**Espanjan** Vandellos 1 500 MW kaasujäähdytteisellä reaktorilla tapahtui tulipalo 19.10.1989. Kaasujärjestelmässä tapahtunut räjähdys sytytti tulipalon, jonka sammuttaminen kesti neljä tuntia. Espanjan ydinturvallisuusviranomaisen Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) ilmoitti, että palosta ei aiheutunut radioaktiivisia päästöjä ja reaktori, palomiehet ja henkilöstö eivät kontaminoituneet. Sammutusvesi aiheutti eräiden turvallisuusjärjestelmien epäkuntoon menon.

Nucleonics Week, 26.10.1989

**Espanjan** ydinturvallisuusviranomaisen Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) ilmoittaa Vandellos 1 -yksiköllä 19.10.1989 tapahtuneen tulipalon olevan vakavin ydinlaitostapahtuma, mitä maassa koskaan on sattunut. Sammutusvettä kertyi metrin korkeudelle turpiini- ja reaktorirakennuksen lattioille ja käyttökunnottomiksi kaksi neljästä reaktorin hätäjäähdytyspiiristä samoinkuin hätäisävesisäiliön pinnankorkeusmittauksen. Yksikön kunnostuksen arvellaan kestävän kahdeksan kuukautta.

Nucleonics Week, 9.11.1989

**Japanin** Fukushima II -laitoksen johtaja eroaa kesäkuussa 1989 tapahtuneen kolmosyksikön pääkiertopumppuvaurion johdosta. Lisäksi voimayhtiön (TEPCO) toimitusjohtaja menettää rangaistuksena kuuden kuukauden palkan, ydinvoimahallinnon johtaja kolmen ja ydinvoimasaston johtaja yhden kuukauden palkan. Pumppuvaurion katsotaan heikentäneen yleisön luottamusta ydinvoimaan.

Nuclear Engineering International, syyskuu 1989

**Neuvostoliiton** ydinturvallisuusviranomaisen on ryhtynyt julkaisemaan kuukausiraporttia ydinlaitosten käyttötapauksista. Ensimmäisessä kesäkuun raportissa oli 30 tapahtumaa, joista 19 johti pikasulkuun.

Nuclear Engineering International, syyskuu 1989

**Neuvostoliiton** ydinturvallisuusasiantuntijat ovat sopineet uusiin laitoksiin sovel-

lettavista onnettomuustodennäköisyyksistä. Ilman huomattavia päästöjä sydänvaurion todennäköisyys olisi  $10^{-5}$  ja päästöjen kanssa  $10^{-7}$ .

Nucleonics Week, 21.9.1989

**Neuvostoliitto** ehdottaa kansainvälisen ydintutkimuskeskuksen perustamista Tshernobyliin. Keskuksessa tutkittaisiin onnettomuuden vaikutuksia ja hallintaa. Ehdotus on saanut varovaisen myönteisen vastaanoton IAEA:ssa.

Nucleonics Week, 21.9.1989

**Neuvostoliitto** on ilmoittanut käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelylaitoksen sijaitsevan Uralin eteläpäässä Tsheljabinskissä. Laitos otettiin käyttöön vuonna 1949 aluksi aseplutoniumin tuotantoon ja sitä muutettiin myöhemmin laivojen reaktorien ja VVER 440 -reaktorien polttoaineelle soveltuvaksi. Nykyisin laitoksella on valmius käsitellä kaikkea koti- ja ulkomaisilta reaktoreilta peräisin olevaa käytettyä polttoainetta. Korkea-aktiivinen jälleenkäsittelyjäte lasitetaan vuonna 1987 käyttöön otetussa prosessissa, jota parhaillaan muutetaan. Keskiaktiivista (aluksi myös korkea-aktiivista) jätevettä on pumpattu alueella sijaitsevaan 25 hehtaarin lampeen, joka on eristetty muusta vesistöistä. Lampi aiotaan täyttää maalla vuoteen 1995 mennessä aktiivisuuden leviämisen estämiseksi.

Lähde: Neuvostoliiton ydinvoimatekniikka- ja teollisuusministeriön edustajien esitelmä Pariisissa 9.—13.10.1989 pidetyssä ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuusarviointia käsittelevässä seminaarissa.

**Neuvostoliiton** Zaporozhe 5 1000 MW VVER -yksikkö käynnistettiin ensimmäisen kerran syksyllä 1989. Yksikön toivotaan osallistuvan täydellä teholla talven sähköntuotantoon, sillä Etelä-Ukrainassa vallitsee pula sähköstä, johtuen Njeprjoen vesivoiman niukkuudesta.

Nuclear News, lokakuu 1989

**Neuvostoliiton** ydinvoimalaitosyksiköillä tapahtui elokuussa 1989 yhdeksän pikasulkuun johtanutta tapahtumaa. Määrä on rakkaintapainen edellisiin kuukausiin verrattuna kertoinen Neuvostoliiton ydinturvallisuuskomitean varapuheenjohtaja Nikola Steinberg Izvestia-lehdessä. Tapahtumat eivät aiheuttaneet vaaraa ympäristölle.

Nuclear News, lokakuu 1989

**Neuvostoliitto** suunnittelee korkea-aktiivisen jätteen loppusijoituksen kansainvälisen tutkimuskeskuksen perustamista ilmoittaa ydinvoiman hyväksikäytön valtionkomitean (GKAE) puheenjohtaja Alexander Protsenko. Tutkimuskeskukseen voitaisiin vastaanottaa myös ulkomaista korkea-aktiivista ydinjätettä loppusijoitettavaksi. Hanke avaa toteutuessaan merkittäviä uusia mahdollisuuksia eri maiden ydinjätehuolto-ohjelmiin.

Nuclear Fuel, 30.11.1989

**Ranskan** 1300 MW PWR-yksiköiden höyrystimien instrumentointiläpiviennissä esiintyy säröilyä. Säröt ovat sekä poikkeettua pituussuuntaisia. St. Alban -yksikön yhdestätoista läpiviennistä viisi oli viallista ja Flamanville 2 -yksiköllä vastaavasti seitsemän. Läpiviennit ovat Inconel 600 -materiaalia.

Nucleonics Week, 21.9.1989

**Ruotsin** Oskarshamn 2 617 MW BWR ABB-Atom -yksikön polttoainevauriot johtuivat uudelleenkäynnistetyistä polttoainekanavista, joiden vinous aiheutti eräiden polttoainesauvojen jäähdytyksen vähenemisen ja sauvojen puhkupalamisen. Polttoainevauriot havaittiin uudenvuodenaattona 1988, mutta niiden olemus paljastui vasta 1989 vuosihuollossa. Ruotsin ja USA:n ydinturvallisuusviranomaiset aikoivat selvittää polttoainekanaavien uudelleenkäytön turvallisuusvaikutuksia.

Nucleonics Week, 19.10.1989

**Saksan liittotasavallan** Wackersdorfin jälleenkäsittelylaitosprojektiin alueelle keksitään uutta käyttöä. Kotitaloustarvikkeita valmistava Wilden AG aloittaa lähiaikoina toiminnan lähes valmiissa korjaamorakennuksessa 100 työntekijän voimin.

Nuclear Engineering International, syyskuu 1989

**USA:n** ainoa HTGR-laitos poistetaan käytöstä kesäkuussa 1990. St. Vrain 330 MW -laitos ehtii saavuttaa 16 vuoden käyttöiän. Käytöstäpoistopäätös tehtiin, kun huonosti toimineen laitoksen höyrystimien todettiin tarvitsevan uusimista.

Nuclear News, syyskuu 1989

**USA:n** Sharon Harris 955 MW Westinghouse PWR -yksiköllä tapahtui tulipalo 9.10.1989. Palo alkoi päämuuntajan oikosulusta leviten johtimia pitkin generaattoriin. Generaattorin veturiputkistoon syntyi vuotoja, mistä seurasi vetäjähdys. Palo rajoittui laitoksen konventionaalisiiin osiin ja se saatiin hallintaan parissa tunnissa. Radioaktiivisia päästöjä ei ollut eikä henkilövahinkoja sattunut.

Nucleonics Week, 12.10.1989

**USA:n** Kalifornian maanjärjestysalueella sijaitsevat ydinvoimalaitokset eivät vaurioituneet 17.10.1989 maanjäristyksessä. Lähimpänä sijainnut Diablo Canyon 2-yksikkö toimi täydellä teholla ko. ajan-kohtana häiriöittä.

Nucleonics Week, 19.10.1989

**USA:n** ydinturvallisuusviranomaisen Nuclear Regulatory Commission (NRC) on ryhtynyt sääntömuutokseen, joka sallisi ydinvoimalaitoksen eliniän nostamisen 40 vuodesta 60 vuoteen.

Nucleonics Week, 26.10.1989

**USA:n** Shippingport 90 MW LWBR (PWR) -yksikkö on purettu maan tasalle ja paikalla kasvaa jo vihreä nurmikenttä. Purku kesti alle 4 vuotta. Kyseessä on ensimmäinen loppuunsaatettu täyden mitakaavan käytöstäpoisto-operaatio ja sitä tullaan käyttämään maailmanlaajuisesti referenssinä käytöstäpoistosta puhuttaessa. Shippingportin laitos vastasi mitoitetaan nykyisiä ydinvoimalaitoksia. Käytöstäpoiston kokonaiskustannus oli 92 milj. dollaria alitteen 7 prosentilla arvion. Kokonaisuutena oli 1,55 manSv, mikä alitti selvästi 10 manSv:n alustavan arvion. Laitoksen reaktoripaineastia poistettiin kokonaisuutena. Järjestelmien purku tehtiin konventionaalisiin menetelmiin mm. plasmaleikkauksella ja sahauskella. USA:n energiaministeriön (DOE) Shippingport-projektipäällikkö J. Schreiberin mukaan mikä tahansa ydinvoimalaitos voidaan purkaa nykyisin menetelmien, kohtuullisin kustannuksin ja pienin säteilyannoksin.

J. Schreiber 27.10.1989 Bryssel

**USA:n** ydinturvallisuusviranomaisen (NRC) on antanut luvan TMI-2 onnettomuusreaktorin puhdistusveden haihduttamiselle ilmakehään. Puhdistusvettä on 7 500 m<sup>3</sup> ja se on dekontaminoitu muista nuklideista paitsi tritiumista, joka ei poistuu ioninvaihtimilla. Haihdutus tehdään kahden vuoden aikana. Tritium-päästön suuruus on noin 40 TBq.

Nuclear News, marraskuu 1989

**USA:n** NRC on vaatinut voimayhtiöitä aloittamaan vuoteen 1995 mennessä varojen keruun laitossykloiden purkua varten. Purku maksaa NRC:n mukaan 75—135 miljoonaa dollaria riippuen mm. laitosyksikön koosta. Voimayhtiöt ovat itse arvioineet purkukustannukset suuremmiksi eli 150—350 miljoonaa dollariin. Käsitseroa on ryhdytty selvittämään ja todetaan, että kustannustiedon tulee perustua laitoskohtaiseen analysointiin eikä yleisiin arvioihin. Voimayhtiöiden arvioista on usein löytynyt "ilmaa". Shippingport-yksikön purku maksoi 92 miljoonaa dollaria ja sitä tulee NRC:n mukaan käyttää kustannusarvioissa vertailupohjana.

Nuclear News, marraskuu 1989

# English Abstracts

Special issue: Great Britain

## Editorial: Water Reactor is Number One in Great Britain - Controlling the Expenses Is the Problem

*Ilkka Mikkola (page 1)*

Great Britain was the leading nuclear country in 1950's. Nuclear fuel industry is still strong, but old reactor types are uneconomical. PWR-reactors have proved to be safe. However, even with its water reactors Great Britain cannot reach the international expense level, which is a threat for the nuclear program.

## ATS's study tour to United Kingdom

*Eero Patrakka (pages 2—15)*

The Finnish Nuclear Society (ATS) had its annual study tour to United Kingdom from 22nd to 28th of October. 16 members of the Society participated in the tour that was accomplished very successfully.

The tour covered many important nuclear industry sites and research facilities in western, central and southern England:

23.10. — Sellafield facilities of British Nuclear Fuel  
— Heysham AGR power plant.

24.10. — Springfields fuel facilities of British Nuclear Fuels  
Urenco enrichment plant at Capenhurst

25.10. — PWR Project group of National Nuclear Corporation and National Power in Booths Hall  
— GEC Alsthom turbine plant at Rugby

26.10. — JET laboratory at Culham  
— Harwell laboratories of AEA Technology

In addition, a meeting was arranged with the British Nuclear Energy Society and the Institution of Nuclear Engineers on 27.10. in London. A visit was also paid to the office of the Finnish Industrial Counsellor in London.

The tour arrangements in UK were to large extent coordinated by Urenco and BNFL, which was very much appreciated by the participants and the Finnish tour organisers.

The participants were very impressed by the hospitality of the hosts and of the professional and competent way the visits were guided.

## The evolution of safety principles in Finland

*Antti Vuorinen, Jouko Marttila (pages 16—17)*

From the very beginning of the use of nuclear power for production of electricity the need to protect individuals, society and the environment against radiation was recognized. US CFR 50 Appendix A criteria were used for the design of the Finnish nuclear power plants. After TMI 2-accident also the possibility of severe reactor accidents must have been taken into account. Presently under discussion are e.g. the quantitative safety goals relating severe core damage, the large radiological release and the health risk of individual due to radiological release. The development of safety principles and nuclear technology is slow but evidently there is potential to achieve increased safety and reliability with future plants. The main task in Finland presently is, however, to get improved assurance of the adequacy of the safety of the operating plants.

## Severe accident management at Loviisa nuclear power plant

*Harri Tuomisto (page 18)*

The existing safety criteria in Finland require that the containment should maintain its integrity during severe accidents. Plant-specific features of the Loviisa VVER-440 PWR Units necessitate an extensive research program, before Severe Accident Mitigation measures will be implemented. All physical phenomena challenging the containment integrity have to be quantified to obtain a consistent approach.

# ATS:n johtokunnat seuran perustamisesta lähtien

ATS on perustettu vuonna 1966. Sääntöehdotusta laatimaan ja varsinaista perustamiskokousta koolle kutsumaan nimettiin toimikunta, jonka puheenjohtajana oli prof. Pekka Jauho, sihteerinä DI Kalevi Numminen sekä jäsenenä DI Daniel Jáfs ja TkL Olavi Vapaavuori. Varsinainen perustava kokous pidettiin 24.5.1966.

## Johtokunnat:

1966		1967		1968		1969	
pj	Pekka Jauho	pj	Pekka Jauho	pj	Uolevi Luoto	pj	Uolevi Luoto
vpj	Uolevi Luoto	vpj	Daniel Jáfs	vpj	Daniel Jáfs	vpj	Daniel Jáfs
rh	Tapio Eurola	rh	Tapio Eurola	rh	Tapio Eurola	rh	Antti Vuorinen
siht	Kalevi Numminen	siht	Jaakko Ihamuotila	siht	Jaakko Ihamuotila	siht	Jaakko Ihamuotila
	Pentti Alajoki		Pentti Alajoki		Pentti Alajoki		Jorma K. Miettinen
	Ilkka Mäkipentti		Ilkka Mäkipentti		Jorma K. Miettinen		Kalevi Numminen
	Norman Westerberg		Norman Westerberg		Antti Vuorinen		Olavi Vapaavuori
1970		1971		1972		1973	
pj	Uolevi Luoto	pj	Anders Palmgrén	pj	Anders Palmgrén	pj	Anders Palmgrén
vpj	M. von Bonsdorff	vpj	M. von Bonsdorff	vpj	M. Von Bonsdorff	vpj	Erkki Vaara
rh	Antti Vuorinen	rh	Jaakko Kajamaa	rh	Jaakko Kajamaa	rh	Jaakko Kajamaa
siht	Olavi Vapaavuori	siht	Tapani Graae	siht	Tapani Graae	siht	Tapani Graae
	Jorma K. Miettinen		Lasse Nevanlinna		Juhani Kuusi		Juhani Kuusi
	Lasse Nevanlinna		Kalevi Numminen		Martti Mutru		Jouko Mikkola
	Kalevi Numminen		Olavi Vapaavuori		Lasse Nevanlinna		Martti Mutru
1974		1975		1976		1977	
pj	Erkki Vaara	pj	Erkki Vaara	pj	Erkki Vaara	pj	Olli Tiainen
vpj	Martti Mutru	vpj	Olli Tiainen	vpj	Olli Tiainen	vpj	Paavo Holmström
rh	Reino Hyvärinen	rh	Reino Hyvärinen	rh	Reino Hyvärinen	rh	Pekka Hiismäki
siht	Risto Tarjanne	siht	Risto Tarjanne	siht	Launo Tuura	siht	Launo Tuura
	Juhani Kuusi		Paul Laine		Bjarne Regnell		Ami Rastas
	Paul Laine		Bjarne Regnell		Eric Rotkirch		Bjarne Regnell
	Olli Tiainen		Eric Rotkirch		Risto Tarjanne		Eric Rotkirch
1978		1979		1980		1981	
pj	Olli Tiainen	pj	Olli Tiainen	pj	Paavo Holmström	ph	Paavo Holmström
vpj	Paavo Holmström	vpj	Paavo Holmström	vpj	Antero Raade	vpj	Heikki Raumolin
rh	Pekka Hiismäki	rh	Pekka Hiismäki	rh	Aito Ojala	rh	Aito Ojala
siht	Launo Tuura	siht	Jorma Karjala	siht	Pekka Louko	siht	Pekka Louko
	Antero Raade		Antero Raade		Lasse Mattila		Lasse Mattila
	Ami Rastas		Ami Rastas		Heikki Raumolin		Alpo Ranta-Maunus
	Anneli Salo		Anneli Salo		Anneli Salo		Harry Viheriävaara
1982		1983		1984		1985	
pj	Paavo Holmström	pj	Heikki Raumolin	pj	Heikki Raumolin	pj	Heikki Raumolin
vpj	Heikki Raumolin	vpj	Alpo Ranta-Maunus	vpj	Matti Komsa	vpj	Harry Viheriävaara
rh	Aito Ojala	rh	Leena Katajapuro	rh	Leena Katajapuro	rh	Leena Katajapuro
siht	S. Ruotsalainen	siht	Pertti Visuri	siht	Esko Tusa	siht	Esko Tusa
	Matti Komsa		Matti Komsa		Jukka Laaksonen		Erkki Aalto
	Lasse Mattila		Kari Törrönen		Kari Törrönen		Jukka Laaksonen
	Alpo Ranta-Maunus		Harry Viheriävaara		Harry Viheriävaara		Kari Törrönen
1986		1987		1988		1989	
pj	Erkki Aalto	pj	Erkki Aalto	pj	Erkki Aalto	pj	Ilkka Mikkola
vpj	Jukka Laaksonen	vpj	Antti Hanelius	vpj	Antti Hanelius	vpj	Rainer Salomaa
rh	Seppo Salmenhaara	rh	Seppo Salmenhaara	rh	Seppo Salmenhaara	rh	Hannu Hänninen
siht	Esko Tusa	siht	Jorma Aurela	siht	Jorma Aurela	siht	Jorma Aurela
	Antti Hanelius		Hannu Koponen		Hannu Koponen		Klaus Kilpi
	Ilkka Mikkola		Ilkka Mikkola		Ilkka Mikkola		Hannu Koponen
	Björn Wahlström		Björn Wahlström		Björn Wahlström		Jorma Kotro

