

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA-

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry.

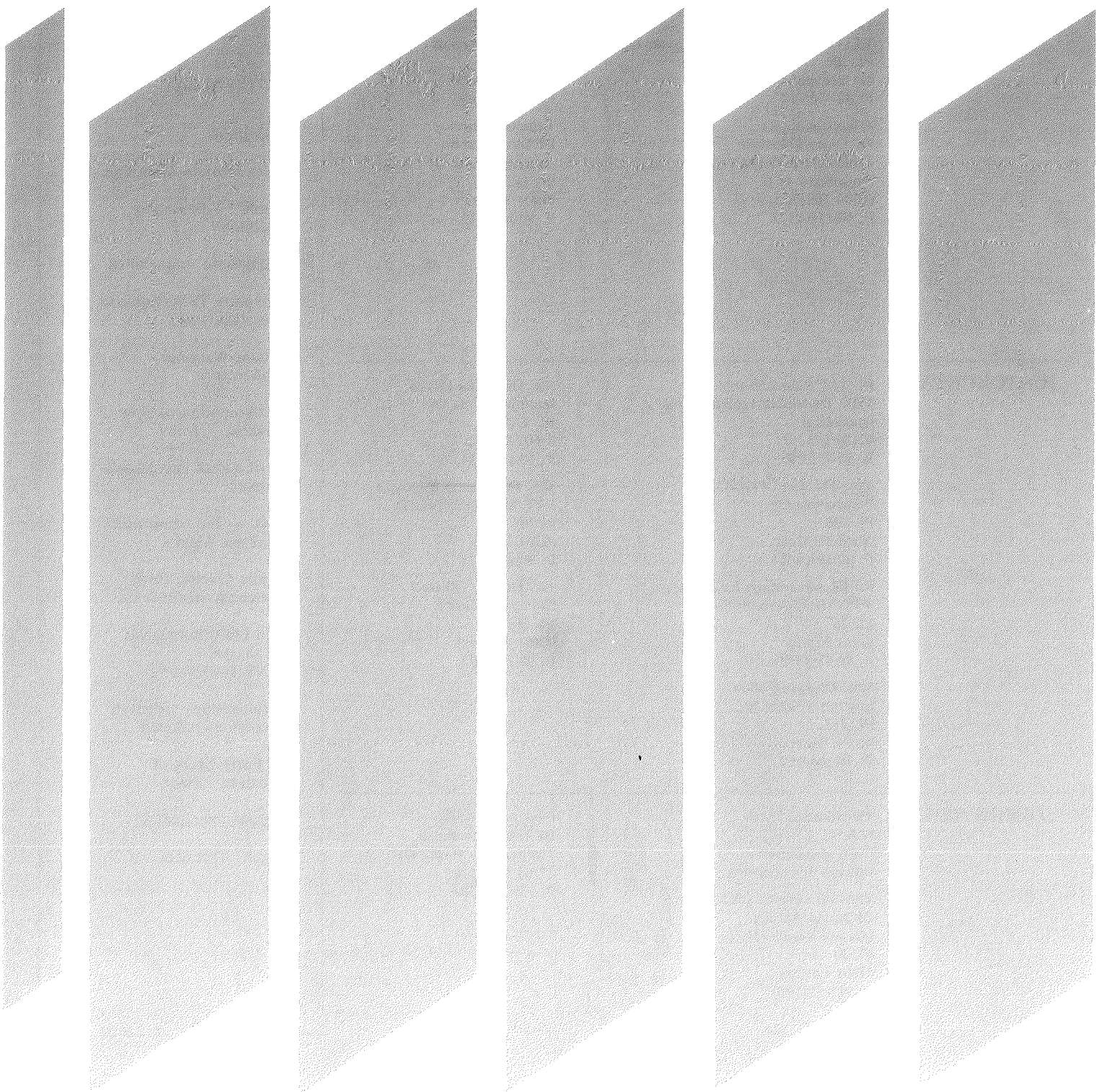


ATS

YDINTEKNIikka

4/92

vol. 21



ATS

YDINTEKNIikka

4/92, vol. 21

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —
Atomtekniska Sällskapet i Finland r.y.

TOIMITUS

Päätoimittaja
TKT Seppo Vuori
VTT/Ydinvoimatekniikan laboratorio
PL 208
02151 Espoo
P. 90-4565067

Erikoistoimittaja
FK Osmo Kaipainen
Teollisuuden Voima Oy
Annankatu 42 C
00100 Helsinki
P. 90-61802522

Erikoistoimittaja
FL Risto Paltemaa
Säteilyturvakeskus
PL 268
00101 Helsinki
P. 90-7082380

Toimitussihteeri
DI Olli Nevander
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa
P. 90-5082613

JOHTOKUNTA

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

Vpj. TKL Eero Patrakka
Perusvoima Oy
PL 138
00101 Helsinki
P. 90-60906022

Rh DI Anna-Maija Kosonen
VTT/Metallilaboratorio
PL 26
02151 Espoo
P. 90-4566858

Siht. DI Jussi Palmu
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa
P. 90-5084562

Jäs. DI Pekka Louko
Imatran Voima Oy
PL 112
01601 Vantaa
P. 90-5082454

Jäs. TKL Rauno Rintamaa
VTT/Metallilaboratorio
PI 26
02151 Espoo
P. 90-4566879

Jäs. DI Olli Viikamo
Säteilyturvakeskus
PL 268
00101 Helsinki
P. 90-7082372

TOIMIHENKILÖT

Yleissihteeri
N.N.
(Uusi yleissihteeri
valitaan myöhemmin)
Kans.väl.asioiden.siht.
DI Jorma Aurela
Imatran Voima Oy
PL 23
07901 Loviisa
P. 915-5503040

Ekskursios sihteeri
DI Tapio Saarenpää
Teollisuuden Voima Oy
27160 Oikiluoto
P. 938-3814312

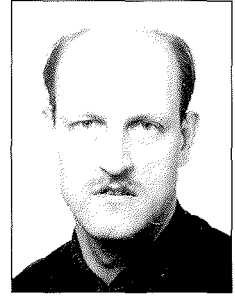
SISÄLTÖ

YHDYSVALLAT

Pääkirjoitus	1
ATS:n Pohjois-Amerikan...	2
Kanada - Ydinvoiman mallimaa	5
Darlingtonin voimalaitos .	8
Ydinvoima Yhdysvalloissa vierailun satoa	11
Argonne National Laboratory	13
Meksikon ydintutkimus- keskus — ININ	14
Meksikolaista energiapoli- tiikkaa	16
LLNL — Laserfuusiotutki- muksen Mekka	19
Vierailu Electric Power Research Institute:ssa ..	22
Itä ja Länsi kohtasivat Prahassa, ENS Topform'92	24
Kansainvälinen yhteistyö vaakahöyrystimien	26
The Early Years of Nuclear Fission	28
Lyhyesti maailmalta	33
English Abstracts	34

DI Olli Nevander työskentelee IVO International Oy:ssä turvallisuusinsinöörinä ja on tämän lehden toimittussihteeri, p. 90-5082613

Olli Nevander



YDINVOIMAN TULEVAISUUS

Ydinvoima-alan tiedottajat ja myyntimiehet eivät ole onnistuneet saamaan yksinkertaisia perustotuuksia läpi missään päin maailmaa. Amerikan ekskursiokoneen noustessa Seutulasta (24. lokakuuta) näytti järjen valo pilkottavan Suomen havupuumetsissä kirkkaampana kuin USA:n preerioilla ja punapuumetsissä. USA:ssa ydinvoima on sortunut lakimiesyhteiskunnalle ominaiseen puheiden pitoon ja toiminnan pinnallisuuteen. Ydinvoiman monimutkaiset ja vaikeasti ennakoitavat talous- ja ympäristöriskit tarjoavat monelle tilaisuuden havitella poliittista tai taloudellista hyötyä pykäläien lukutempuilla. Nämä temput jarruttavat pääomia syövä ydinvoimarakentamisen kannattamattomaksi. Ei ihme, että USA:n ydinvoimateollisuuden kerrottiin odottavan Suomen päätöstä pristysruiskeena.

Toisin kävi? Ydinvoimaloidemme turvallisuus ja käytettävyys ylittää selvästi kansainvälisen keskitason, jätehuollon perusratkaisumme on lähes valmis ja onnettomuustilanteessa ydinvoimalamme vuotavat verrattain vähän ympäristöön. Nämä seikat eivät vaikuta kymmenen vuoden viiveellä ulkomaisia malleja soveltaviin päättäjiin. Tavalliselle kansanedustajalle ydinvoima näyttää muodostuneen ainoaksi asiaksi, jossa hänellä on periaatteita. Osasyyn saavat tietysti ydinvoiman vastaiset tiedotusvälineet, jotka noudattavat ydinvoimasta tiedottamisessa Joseph Goebbelsin 30-luvulla luomaa periaatetta: "Mikään valhe ei ole niin suuri, ettei puolet kansasta siihen usko."

Ydinvoiman jatkorakentaminen ansaitsisi kansanedustajien vastuullisen käsittelyn. Vaihtoehtoisten energiamuotojen vaatiman veronmaksajien tuen suuruus ja ympäristövaikutukset eivät selviä ennen projektisuunnittelun aloittamista. Projektisuunnittelua taas ei aloiteta ydinvoimarakentamisen ollessa avoin. Tämäkö on ajopuupolitiikan tarkoitus? Maksammeko Ruotsin ja Norjan puolesta kaasuputken rakentamisen? Tuleeko puumerkkimme liian kalliiksi yhteispohjoismaisessa kaasuvio-liitossa, jota vain Suomi-neito näyttää haluavan?

Suomi tarvitsee vastuullista, jalat maassa tapahtuvaa johtamista. Poliitiikan tekijöiden tulee ottaa vastuu tulevaisuudesta tosiasioiden pohjalta. Ydinvoima on parasta tämän hetken perusvoimaa, mutta se ei ole uskonto kuten ydinvoiman vastustus. Vaikka vastuullisella päätöksenteolla, lähes kahdenkymmenen vuoden harkinnan jälkeen, päätettäisiin luopua ydinvoimahankkeesta, jatkuu ydinvoiman käyttö Suomessa ja Euroopassa. Osa käyttämästämme sähköstä tuotetaan ydinvoimalla. Ydinvoimaa käytetään myös aivan rajojemme tuntumassa.

Tulevaisuuden energia- ja ympäristöstrategian suunnittelusta ei ydinvoimaa voida syrjäyttää.

ATS YDINTEKNIikka (21) 4/92

YHDYSVALLAT

Vuoden 1992 numeroiden teemat olivat:

No. 1 Ydinvoima ja asenteet

No. 2 Turvallisuuden arviointi

No. 3 Säteily

No. 4 Yhdysvallat

Vuosikerran tilaushinta muilta kuin
ATS:n jäseniltä: 200 mk

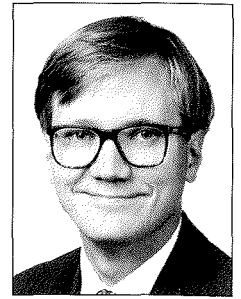
Ilmoitushinnat: 1/1 sivua 2000 mk
1/2 sivua 1400 mk
1/3 sivua 1000 mk

Toimituksen osoite:

ATS Ydintekniikka
c/o Olli Nevander
Imatran Voima Oy
PL 112 (Rajatorpantie 8)
01601 Vantaa
p. 90-508 2613 (suora)
telefax 90-508 3404

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

ISSN-0356-0473



ATS:n POHJOIS-AMERIKAN EKSKURSION 24.10.—4.11.1992

Seuran tämän vuoden ulkomaanekskursio tehtiin kahdeksan vuoden tauon jälkeen Pohjois-Amerikkaan. Vanhoina kohdemaina perehdyttiin Kanadaan ja Yhdysvaltoihin, Meksiko sen sijaan oli kohteena uusi. Matka oli tuttuun tyyliin kiivastahtinen: kahdeksan vierailupäivän aikana tutustuttiin yhteensä 11:een kohteeseen.

Tämän vuoden ulkomaanekskursion kohteeksi ja uuden ekskursionsihteerin ensimmäiseksi koetinkiveksi valittiin Pohjois-Amerikka. Viimekertaiseen tyyliin matka taitettiin periaatteella pohjoisesta etelään, mutta vauhtiin päästyä matkan annettiin tällä kertaa jatkaa etelässä aina Meksikoon saakka.

Matkan ohjelma pelkistettynä: kokonaiskesto kaksi viikonloppua ja kahdeksan arkipäivää eli yhteensä 12 päivää, joista karkeasti 2 Kanadassa, 5 USA:ssa, 3 Meksikossa ja 2 lentokoneessa välillä vanha-uusi manner. Vierailuja yhteensä 11:een kohteeseen, joissa virallisia isäntäorganisaatioita 14. Matkaohjelma oikeassa taulukossa.

KANADA

Matka aloitettiin viikonloppuna pehmeällä aikaeroon totuttautumisella Torontossa. Tätä mutkisti samaan lauantai-iltaan ajoittunut Pohjois-Amerikan baseballsarjan finaaliwoiton ratkeaminen ensi kertaa Kanadan puolelle, minkä 500.000 fania panivat pääkaupungin kaduilla kovaäänisesti merkille aamun varhaistunteihin saakka. Sitä taas oli kenenkään, edes uneliaan eurooppalaisen, vaikea olla huomaamatta.

Mutta jo heti sunnuntai-illasta aloitettiin sivistyminen, alkuun hillityn muodollisessa isäntien (CNA/CNS) tarjoamassa tervehdyksellisyydessä. Samalla alkoi ennakolta pelottavan tiiviiksi arvioitu vierailuohjelma.

Kanadalla on itsestään selvä paikkansa ydintekniikan suurten joukossa. Maassa on erityisen suuret uraaniesiintymät, joita hyödynnetään omavaraisesti luonnonraanireaktoritekniikalla. Käytössä on 20 Candu-reaktoria, nettoteholtaan yhteensä 14.500 MWe. Rakenteilla on 2 lisää eli



Uljas ATS:n joukko Centro de Nuclear de Mexicon Trigan pääovella.

1870 MWe. Ydinsähkön osuus on luokkaa 15% maan kokonaistuotannosta. Alan taustasta ja perinteestä maassa kertoo jotakin esimerkiksi käytössä olevien tutkimusreaktorien kokonaislukumäärä 15.

Kumpaankin edellä kuvattuun Kanadan erityispiirteeseen tehtiin lähempää tuttavuutta painottuen etenkin polttoainekierron alkupäähän. Kaivostoiminta rajoittuu vierailijan kannalta valitettavan kauas pohjoisen Saskatchewaniin, mutta siitä saatiin erinomainen kuvaus Camecon

Port Hopen jalostamolla. Ja ennen muuta nähtiin kierron seuraava vaihe edistykseellinen UF6-konversiolaitos.

Matkan varrella pysähdyttiin Ontario Hydron Darlingtonin voimalaitoksella ja yritettiin lyhyen vierailun aikana päästä selville Candu-tekniikasta. Aikatalun mukaan 1993 neliyksikköiseksi lopullisesti valmistuvasta laitoksesta nähtiinkin sekä rakenteilla olevaa että käynnissä olevaa osaa ammattitaitoisen vierailuisännän johdolla.



"Tuttuun tyyliin jaettiin kullekin isännälle seuran viiri, yhteensä 13 kpl. Aina ei kuitenkaan osoitettu sille paikkaa, kuten tässä näyttäisi tapahtuvan ANS:n Toscas:lle.

USA

Vierailu Kanadan eteläiseen naapuriin koostui kahdesta vaiheesta: alaspäin mennessä tehtiin lyhyt päivän pysähdys Chicagoon ja Meksikon jälkeen matkan loppupäivien tukikohtana oli San Fransisco.

Kun maan ydinlaitosrakentamista on leimannut tämän kirjoittajan koko miesmuistin ajan kiusallinen seisahtuneisuus, ajateltiin vierailukohteiden valinnalla etsiä toivonkipinää tulevaisuudelle suurvalan tutkimuksesta. Tässä mielessä aloitettiin vierailun ensi osuus Argonnesta, jolla on tänä vuonna ajankohtaisen Enrico Fermi aloittamat kunniakkaat perinteet. ATS:n delegaatio sai kuulla tutkimuslaitoksen reaktorialan nykytutkimuksesta, ja etenkin Integral Fast Reactor (IFR) -konsepti lupailisi suljettua polttoainekiertoa, mikäli hyötötekniikkaan joku päivä tullaan siirtymään.

Chicagossa tutustuttiin lyhyesti myös ANS:n toimitiloihin. Amerikassa kaikki on tunnetusti suurta, niin myös veljesseuran toiminnan laajuus. Tämän vastakohdaksi sen sijaan vanhaan idylliseen koulurakennukseen sijoitetuissa tiloissa ei ollut mitään suureellista. Etenkin maailmankuulun Nuclear Newsin kooltaan vaatimattomat toimitustilat ("tästä huoneesta se tulee") jäivät varmasti kaikkien vieraiden mieleen.

ATS:n edustajille tarjoutui myös ainutlaatuinen tilaisuus ottaa osaa paikallisen ANS Chicagon Local Sectionin kokoukseen, jossa etenkin hallituksen pääneuvottelijan illallispuhe loppusijoituspaikkaneuvotteluista alkuperäisväestön kanssa edusti matkan ammattimaisinta ja periamerikkalaisinta esiintymistaitoa. Lähimpänä istuneet jopa erottivat ne kuuluisat kultaiset "Office of the President of the United States tms" -kalvosinnapit.

San Fransiscon alueella vierailuista EP-RI:ssä saatiin kokonaiskuvaa laitoksen suorittamasta reaktoriturvallisuusalan tutkimuksesta ja erityisesti "inhimillisen tekijän"-tutkimuksen nykytilasta.

Koko puolentoista viikon teknisesti ehdoton huippukohta koettiin DOF:n avustuksella järjestämällä ilmeisen etuoikeutella vierailulla LLNL:ään. Laser-rikastus-koelaboratorio AVLIS vakuutti ainakin alaan vihkiytymättömän valmiudellaan kaupalliseen tuotantoon. Tekniikan käyttöönottoa lieneekin hidastanut ennen muuta rikastusalan markkinatilanne.

Niin ikään LLNL:ssä nähty massiivinen laserfuusiolaitteisto NOVA osoitti seuran puheenjohtajan mittayksikön "jalkapallokentän kokoinen" ilmeisen todenmukaiseksi. Professorin artikkeli jäljempänä tässä julkaisussa toivon mukaan paljastaa muitakin yhtä käyttökelpoisia inertiaali-koossapitomiesten yksiköitä.

MATKAOHJELMA

- la 24.10. Lento Helsinki-Lontoo-Toronto
- su 25.10. Aamupäivä vapaa. Tapaaminen Canadian Nuclear Association:n ja Canadian Nuclear Society:n kanssa
- ma 26.10. Bussi Toronto-Port Hope
Vierailu Cameco:n konversiotehtaalla ja yhtiön kaivostoiminnan esittely

Bussi Port Hope-Darlington
Vierailu Ontario Hydro:n Darlingtonin voimalaitoksella
Bussi Darlington-Toronto
- ti 27.10. Lento Toronto-Chicago
Vierailu Argonne National Laboratory:ssä
Vierailu American Nuclear Society:ssä
ANS Chicago Local Section:n kokous
- ke 28.10. Lento Chicago-Mexico City
Tapaaminen Suomen suurlähetystön kanssa
Tapaaminen Sociedad Nuclear Mexicana:n kanssa
- to 29.10. Vierailu Centro Nuclear de México:ssa
Bussi Mexico City-Veracruz
- pe 30.10. Vierailu Comisión Federal de Electricidad:n Laguna Verde BWR-laitoksessa
Lento Veracruz-Mexico City
- la 31.10. Lento Mexico City-San Fransisco
Iltapäivä vapaa
- su 1.11. Vapaa
- ma 2.11. Vierailu Lawrence Livermore National Laboratory:ssa
- ti 3.11. Vierailu Electric Power Research Institute:ssa
Lento San Fransisco-Lontoo-Helsinki
- ke 4.11. Perillä Helsingissä

Matkalle osallistui ATS:n puheenjohtajan prof. Salomaan johdolla kymmenen seuran jäsentä. Luku on merkittävästi pienempi kuin viime vuosina ja selittynee yleisellä taloudellisella tilanteella.

OSANOTTAJAT

Heikkilä, Altti
Jänkäla, Kalle
Laaksonen, Teuvo
Nevander, Olli
Niemi, Pertti
Raiko, Heikki
Rönddahl, Henry
Saarenpää, Tapio
Salomaa, Rainer
Vähämaa, Tapio

Teollisuuden Voima Oy
Imatran Voima Oy
Valmet Automation Projects Oy
Imatran Voima Oy
Imatran Voima Oy
Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus
Teollisuuden Voima Oy
Teollisuuden Voima Oy
Teknillinen Korkeakoulu
Teollisuuden Voima Oy

Isäntäorganisaatioina toimivat em. kolmessa maassa: Canadian Nuclear Association (CNA), American Nuclear Society (ANS) ja Sociedad Nuclear Mexicana (SNM). Näiltä saatiin korvaamatonta apua yhteyksien järjestämisessä vierailukohteisiin.



Alkuvaiheessa oltiin huolestuneita, ettei ohjelmaan kaikkina päivinä mahtuisi ruokailua, mutta ehdittiin sitä välillä lounaspöytäänkin. Kuvassa kohtelua Laguna Verdessä.

Perillä koettiin esimerkki kansallisen ydintutkimuksen keskittämisestä pinta-alaltaan vaikuttavaan yksikköön. Keskuksessa nähdystä kohteista ehkä mielenkiintoisin oli isäntien BWR-polttoaine-elementtien kokoonpanon kautta tavoittelema kaupallinen lisäarvo. Mieliin jäi varmasti myös luonnonkauniilla maalla tarjottu lounas ennen pitkää bussimatkaa.

Edessä oli siirtyminen bussilla pääkaupungista Meksikonlahdelle Veracruziiin. Tätä matkalla muutoin vähän käytettyä siirtymismuotoa perusteltiin maosan luontoon perehtymisellä, ja ainakin serpentiinisuus pimeässä vuoriston 3000 m:stä alas rannikolle tuli tutuksi. Matkan sujumista edesauttoi pohdiskelu finchien lukumääristä paikallisissa voimajohdoissa ja virkistysuutteissa.

Perillä maan suurimmassa satamakaupungissa oli vastassa kotoisen saunamaisen ilmasto ja matkalaisten pääkohde, vierailu Laguna Verden BWR-laitokseen. Kohde yllätti ainakin tämän kirjoittajan hyvillä tuotantoluvuillaan ja muutenkin kulttuurierojen merkitys sittenkin tuntui olevan suhteellisen vähäinen. Loppuvaikeutelmaksi jäi lähinnä vilpiton toive rakenteilla olevan kakkosyksikön loppuunsaattamisesta ja matkan hienoinen järjestetty ruokahetki.

Järjestelyissä onnea

Ensikertalaisen silmin järjestelyt onnistuivat hämmästyttävänkin hyvin, mistä me matkalle osallistujat saamme kiittää, paitsi isäntiämme ja hyvää onneamme lentoaikataulujen pitämisen suhteen, ennen kaikkea Matkatoimisto Arenan ryhmämatkat-osaston Outi Ojalaa, joka osoitti suurta kärsivällisyyttä järjestellessään ekskursionsihteerin aikatalutoiveita.

Ratkaisevimman panoksen matkan onnistumiseen antoi kuitenkin omalla henkilökohtaisella panoksellaan jokainen osallistuja. Ryhmä, joka alkuun ei ehkä ollut taustaltaan homogeeninen, osoittautui kuitenkin kasvavan tiedonjanoltaan yhtenäiseksi. Suomi-kuvan kirkastamiseen jokainen oli niin ikään valmis antamaan oman arvokkaan panoksensa. Ja suurella varmuudella osallistujien työnantajat ovat matkalla pidettyjen esitysten, lukemattomien käytyjen keskustelujen sekä kymmenien jaettujen esitteiden ansiosta taas pykälän verran tunnetumpia maailmalla.

Tämän kirjoittaja kiittää kaikkia mukana olleita yksi ikimuistoinen matkakokemus rikkaampana ja toivottaa muut tämän lukijat tervetulleiksi tuleville ekskursionneille.

MEKSIKO

Erityisesti kierroksen eteläisimpään kohdemaan oli aistittavissa itse kunkin kohdistaneen eri tyyppisiä odotuksia. Vierailu ilmeisesti antoikin maan ydintekniikan alasta jokseenkin kattavan kokonaiskuvan, kun kahteen ja puoleen päivään oli mahdollista neljä tapaamista. Ammatillisesti osallistujien hampaankolossa ei enää lieneäkään suuremmin toivottavaa, mutta historialtaan suunnattoman rikkaan maan kulttuuriin perehtymiseen jokainen olisi varmaankin toivonut jättävän vapaa-aikaa.

Opaskirjojen ahkeran ennakkoluvun lisäksi heti pääkaupunkiin saavuttua saatiin arvokas johdatus maan teolliseen, kaupalliseen ja poliittiseen ilmastoon suurlähetystömme suosiollisella myötävai-

kutuksella. Yli 20-miljoonaisen maailman suurimman kaupungin liikenne- yms. saasteiden ilmastovaikutuksen ymmärtämiseen riittivät kunkin vierailijan omat aistit.

Alueen kulttuuriin tutustuminen jäi valitettavasti juuri ennen sulkemisaikaa puolella tunnissa läpijuostuun Antropologiseen museoon, joka kyllä lunasti opaskirjojen lupaukset ("yksi maailman merkittävimmistä"). Ja sitten taas tapaamiseen SNM:n isäntien kanssa.

Toisen päivän vierailu Centro Nuclear de Mexico -tutkimuskeskukseen suoritettiin bussilla, jonka matkanopeus oli viisaasti niin minimoitu, että tien varrella ollut pyramidi saatiin ikuistettua filmille. Näin matkalaisten viimeisinkin kulttuurinätkä saatiin lopullisesti tyydytettyä.

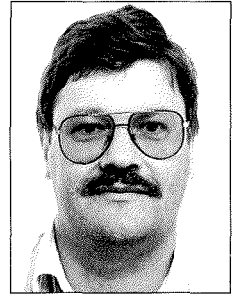


Viirejä luovutettiin molemmille sukupuolille. Kuva ANS:n kokouksesta Chicagosta.

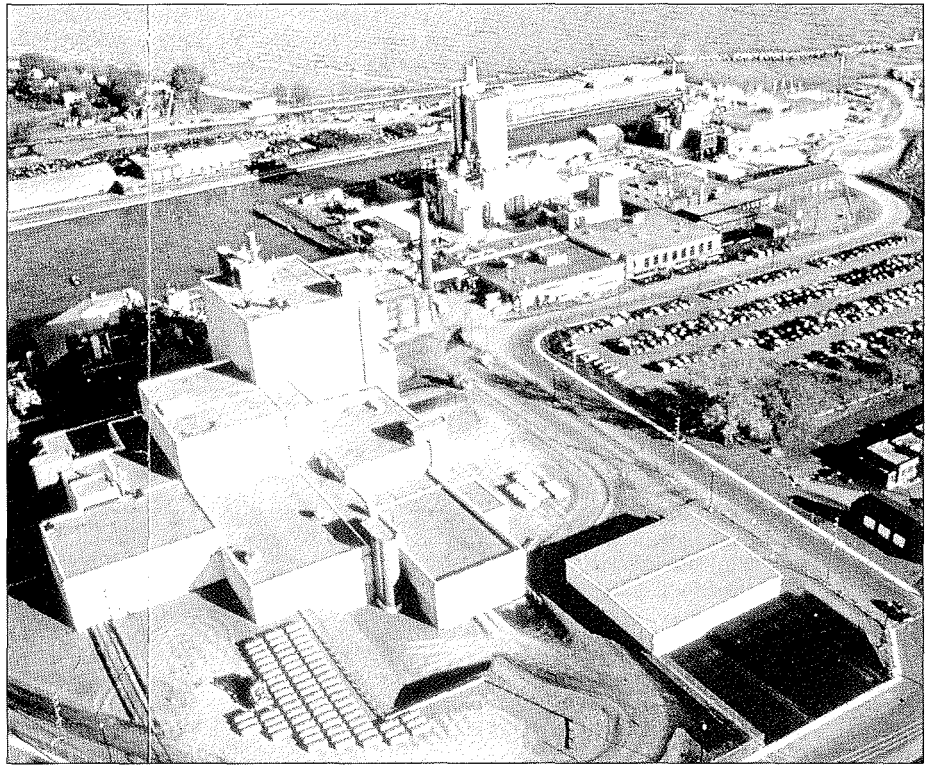
DI Tapio Saarenpää on TVO:n teknisen osaston instrumentointiteknikan toimiston automaatioinsinööri ja ATS:n ekskursionsihteerin, puh. 938-381 4312.

KANADA — YDINVOIMAN MALLIMAA

Vierailu Port Hopen konversiolaitoksilla



Kanadan ydinvoimaohjelma syntyi käsi kädessä Yhdysvaltain ohjelman kanssa 1940-luvulla ydinpommin kehittelyn yhteydessä. ATS:n Amerikan ekskursion yhteydessä valitulle suomalaisjoukolle tarjoutui tilaisuus nähdä useita osia Kanadan nykyisin varsin omaleimaisesta ohjelmasta. Kanadassa valituille ratkaisuille antavat omat erikoispiirteensä maan valtavat uraanivarat ja vesivoiman käytöstä periytynyt tapa rakentaa pääaomakustannuksiltaan kalliita, mutta halpakäyttöisiä laitoksia. Matkalliset saivat tilaisuuden tutustua mm. luonnonuraanin louhinta- ja rikastustekniikkaan, jonka lopputuotteita käytetään mm. Olkiluodon ydinvoimalaitoksilla.



Vierailukohde Port Hope ilmasta nähtynä.

Kanadan ydinvoimaohjelman perustukset luotiin joulukuun 2. päivänä 1942. Tuolloin kanadalainen fyysikko Walter Zinn veti köyden avulla Chicagossa sijaitsevan Fermi-reaktorin ainoan säätösauvan ylös ja teki reaktorin kriittiseksi. Zinn sai tämän kunnian, koska hän oli useimpia muita fyysikoita vahvakisempi.

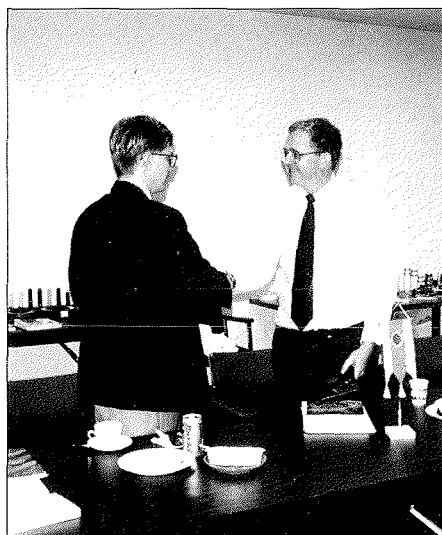
Ensimmäinen onnettomuus — kanadalaiset ottivat opikseen

Ensimmäisen ydinvoimaonnettomuutensa kanadalaiset saivat aikaan jo 1952 joulukuussa, jolloin Chalk Riverissä NRX-nimisellä (National Experimental Reactor) laitoksella reaktorin hallitsematon tehopulssi aiheutti reaktorivaurion. Onnettomuus ei vaatinut uhreja, mutta aiheutti rakennuksen kontaminoitumisen. Puhdistusoperaation suorittaneiden sotilaiden joukossa oli kanadalaisten mukaan myös tuleva Yhdysvaltain presidentti James "Jimmy" Carter. Ehkä tämä kokemus sai aikaan sen, että Carter vaikutti myöhemmin negatiivisella tavalla Yhdysvaltain ydinvoiman historiaan. Yhdysvaltain ydinvoiman historiasta kerrotaan toisaalla lehdessä.

CANDU — CANada Deuterium Uranium

Kanadan ydinvoimaohjelma perustuu yksinomaan raskasvesimoderoituihin, raskasvesijäähdytteisiin paineputkireaktoreihin (CANDU), jotka käyttävät polttoai-

neenan luonnonuranaa. Käyviä CANDU-reaktoreita on Kanadassa 20 kappaletta. Niiden yhteisteho on n. 14500 MW(e) ja ne tuottavat noin 16 %:ia maan sähköenergiasta. Suurin osa sähköenergiasta Kanadassa tuotetaan vesivoimalla.



Pakollinen viirin ja muun rekvisiitan luovutus kuului täälläkin ohjelmaan.

CANDU:t on pääosin rakennettu kustannusten säästämiseksi neljän laitoksen ryhmänä. Laitospaikkoja on kaikkiaan viisi ja niistä kolme sijaitsee Ontariossa. Reaktorit on sijoitettu laitospaikoille seuraavasti: Pickering 8 kpl, Bruce 8 kpl ja Darlington 2 kpl + 2 melkein valmista sekä Gentilly Quebecissä ja Point Lepreau 1 New Brunswickissä. Reaktorien rakennetta kuvataan lähemmin Darlingtonin yhteydessä.

Käyttökertoimet ovat uusimmilla Kanadassa sijaitsevilla CANDU:illa (esim. Pickering 7 ja 8 tai Bruce 5) olleet lähes 90 %:n luokkaa. Kaikille laitoksille koko käyttöajalta laskettu kumulatiivinen sähköteholla painotettu keskimääräinen käyttökerroinkin on lähes 80 %. Jatkuvan latauksen mahdollisuus helpottaa tietysti korkean käyttökerroimen saavuttamista.



Isäntien esitteistä löytyi paljon arvokasta tietoa.

Johtava uraanin tuottaja

Kanada on maailman johtava uraanin tuottaja. Maa saa omien laitostensa tarvitseman polttoaineen omista kaivoksistaan, jotka sijaitsevat kahdella alueella Elliot Lake:n alueella Ontariossa ja Athabasca Basin alueella Saskatchewanissa, jossa ovat myös CAMECO:n kaivokset Key Lake, Rabbit Lake ja Cluff Lake. Uraania riittää niin, että n. 85 % uraanista menee viintiin lähinnä Japaniin, Yhdysvaltoihin ja Eurooppaan mm. TVO:n laitoksille. Maan tunnetut uraanivarat ovat erään vuodelta 1989 peräisin olevan arvion mukaan ainakin n. 550 000 tU.

Kanadan ydinteknologian vienti — moraalitonta vai ei?

Kanadalaiset ovat vieneet CANDU-tekniologiaa myös jonkin verran muihin maihin: Intiaan, RAPS 1 ja 2; Argentiinaan, Embalse; Pakistaniin, Kanupp ja Etelä-Koreaan, Wolsong. Lisäksi rakenteilla on viisi reaktoria Romaniaan. Kanadalaisten projektiviennin listasta huomaa viennin olleen ydinaseiden leviämisen kannalta hiukan arveluttavaa, varsinkin kun reaktortyyppi sopii erinomaisesti ydinaseplutoniumia haluavalle valtiolle.

Paikallisen atomiteknillisen seuran jäseniltä saimme kuulla Kanadan pyrkivän yhä aktiivisesti saamaan Romanian laitokset käyntiin ja lopputöiden rahoituksen olevan järjestymässä. Romanian toimiensa lisäksi kanadalaiset olivat kiinnostuneita osallistumaan entisen Neuvostoliiton alueen projekteihin. RBMK-tyyppiin reaktoreihin liittyvien kansainvälisten projektien yhteydessä kanadalaiset olivat kuitenkin todenneet yhteistyön vaikeaksi.

Yleinen mielipide

Kanadassa yleinen mielipide on ollut jatkuvasti suhteellisen myönteinen ydinvoimalle. Uraanikaivostoiminnan alueilla on esiintynyt jonkin verran paikallista vastustusta. Vierailumme isännät vakuuttelivat yksimielisesti, että myös paikallisesti ovat ydinvoiman vastustajat olleet äänekäänä vähemmistönä. Yleisen mielipiteen pysyminen ydinvoiman puolella on pitänyt myös ydinvoiman lisensointiprosessit

kohtuullisina, joten keskimääräiset ydinvoiman rakennusajat ovat pysyneet Yhdysvaltoihin verrattuna lyhyinä.

Tutustuminen Port Hope:n konversiolaitokseen

Eräs merkittävä osa Kanadan ydinvoimaohjelmaa on uraanin louhiminen, malmin rikastaminen, polttoaineen ja polttoaine-elmenttien valmistus. Tästä osasta saimme hyvän kuvan ekskursion ensimmäisessä tutustumiskohteessa Port Hopen konversiolaitoksella. vierailumme isäntänä toimi johtaja J. P. Jarrell, joka esitteli meille CAMECO:n yhtiön toimintaa ja konversiolaitosta.

CAMECO-YHTIÖ

CAMECO-yhtiö on uraanin ja kullan kaivostoimintaa sekä uraanin jatkokäsittelytoimintaa harjoittava yhtiö Kanadassa. Pääkonttori sekä kaivokset ovat Saskatchewanin osavaltiossa ja uraanin käsittelylaitokset Ontariossa. Yhtiö on perustettu v. 1988 fuusioimalla Saskatchewan Mining Development Corporation (SMDC) ja Eldorado Nuclear Limited. Omistussuhteet olivat alkujaan osavaltion (62 %) ja valtion (38 %) täydessä hallinnassa, mutta tarkoituksena on ollut yksi-

tyistää yhtiö vuoden 1996 mennessä ja omistussuhteet 30.1.92 oli seuraavaa:

Julkinen sektori	42 %
Saskatchewanin osavaltio	39 %
Kanadan valtio	19 %

Yhtiössä työskentelee 1080 henkeä. CAMECOLLA on omistusoikeus kolmessa tuotannossa olevassa uraanikaivoksessa, joista kaksi ovat maailman suurimpia uraanikaivoksia Key Lake ja Rabbit Lake Pohjois-Saskatchewanassa. Molemmissa yhtiöllä on kahdenkolmasosan omistusoikeus, jossa yhtiö hoitaa tuotannon. Toisena osakkaana on Uranerz Exploration and Mining Limited.

KEY LAKE

Key Lake sijaitsee 664 km pohjoiseen Saskatchewanista uraanirikkaalla Athabasca Sandstone Basin alueella. Key Lakein vuosituotanto on noin 5400 t triuranium oksidia (U₃O₈) ja sen tuotanto on suunniteltu niin, että se voi toimia tehokkaasti jopa 6300 t U₃O₈ vuosituotannolla. Tuotannon alkamisen jälkeen, vuonna 1983, Key Laken malmin pitoisuus on ollut keskimääräisesti 2,2 %—3,05 % U₃O₈.

Kaksi malmiesiintymää Gaertner ja Deilmann avolouhokset, ovat olleet käytössä vuodesta 1983. Ensimmäisenä tuotanto

Blind River and Port Hope Operations Summary

Port Hope

Production:	1933 to 1948	radium
	1942 to 1983	refined uranium
	1958	uranium dioxide (UO ₂)
	1958	depleted uranium metal
	1970	uranium hexafluoride (UF ₆)
	1980	new UO ₂ plant
	1984	new UF ₆ plant

Nameplate Production Capacity:

U as UO ₂	2,500 tonnes
U as UF ₆	10,500 tonnes
U as depleted uranium	2,000 tonnes

Special Features:

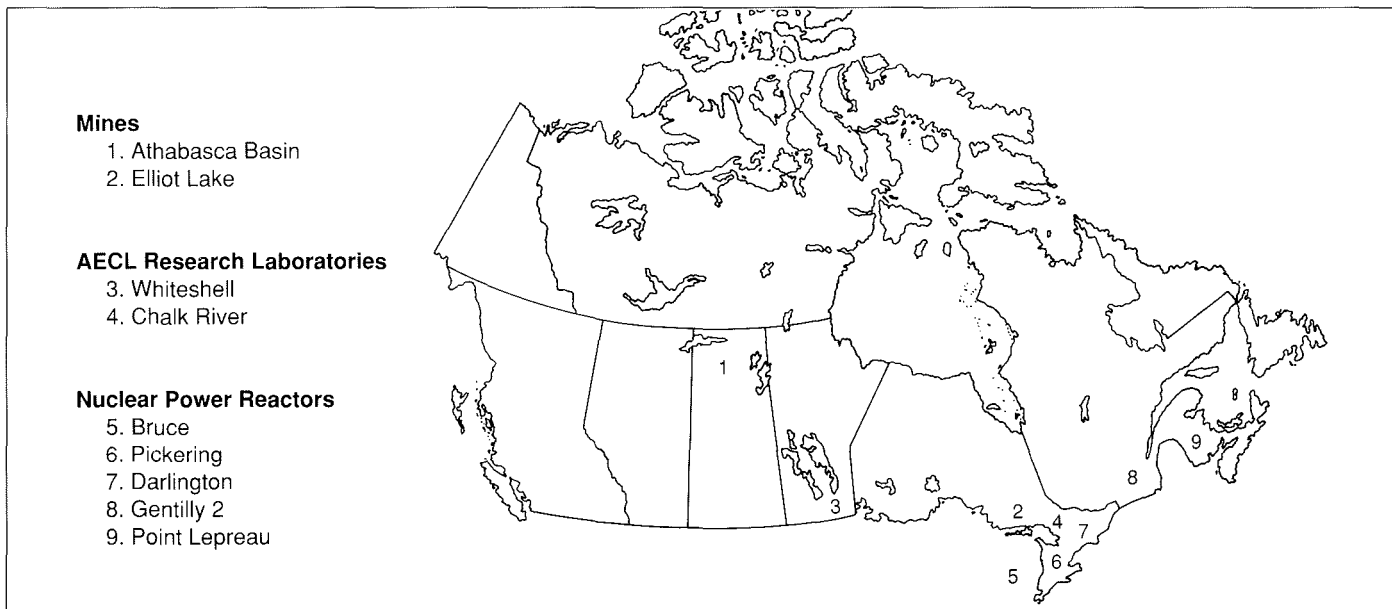
- only converter of UO₂ for domestic CANDU fuel
- leader in developing processing circuits to minimize the generation of process wastes

Ownership:

Cameco 100%

Blind River

Production:	1983	uranium trioxide (UO ₃)
Nameplate Capacity:	U as UO ₃	18,000 tonnes
Ownership:	Cameco 100%	



Laitospaikkojen sijainti Kanadassa.

aloitettiin Gaertnerin avolouhoksella, joka oli louhittu loppuun vuoteen 1987 mennessä tuotettuaan noin 35.000 t U3O8. Gaertnerin alueella olevat mukulakivet varastoitiin kasoihin ja ne käytetään nykyisin sekoitettuna Dielmannin malmiin. Dielmannin malmiesiintymä on noin 45.000 t U3O8, ja sen tuotanto riittää ensi vuosituonnille.

Kun Gaertner ja Dielmannin louhoksien toimintaa aloitettiin, alennettiin malmiesiintymien pohjavesikorkeudet Gaertnerissa 50 m ja Dielmannissa 80 m. Nyt kun toiminta Gaertnerissa on lopetettu on pohjaveden pinta louhoksessa palautumassa. Pohjaveden korkeuden palautuminen Gaertnerissa kestää vuoteen 2005 asti.

Louhinnan jälkeen malmi murskataan ja siihen lisätään vettä niin, että se saadaan kuljetettua putkilinjalla tehtaaseen. Malmin käsittely kierros prosessissa kestää 48 h ja se käsittää seitsemän päävaihetta: malmin esikäsittely, hapon sekoittaminen, pesu, liuottimien erotus, molybdenumin poisto, rikastetun uraanin talteenotto ns. yellowcake ja jätteen käsittely.

Jätteet levitetään 600 x 600 m ja 15 m syvään altaaseen, joka on vähintään 5 m pohjaveden yläpuolella. Kalteva pohja ja sivustat on vuorattu mm. bentonitiilla, joka eristää altaan ympäröivästä maaperästä. Pinnalle nouseva vesi valuu toiseen päähän, otetaan talteen ja viedään vedenkäsittelylaitokselle.

RABBIT LAKE

Rabbit Lake sijaitsee 805 km pohjoiseen Saskatonista ja toiminta käsittää tehtaan, Collins Bay B-Zone avolouhoksen ja Eagle Point maanalaisen kaivoksen, jota parhaillaan kehitetään sekä lähellä olevat Collins Bay A-Zonen ja Collins Bay D-Zonen malmiesiintymät. Kaikki nämä malmiesiintymät ovat 16 km etäisyydellä Rabbit Lake tehtaasta. Ensimmäisessä avolouhoksessa nimeltään Rabbit Lake lopetettiin toiminta vuonna 1984. Vuosien 1975—1989 välillä oli tuotanto noin

28000 t U3O8 ja vuosituotanto on noin 5400 t U3O8. Rabbit Lakessa aloitettiin ensimmäisen käytäntö, jossa henkilökunta kuljetetaan lentokoneella työpaikalle ja takaisin. Työkomennus kestää 7 pv, jonka jälkeen on 7 pv vapaata. Sama käytäntö on myöhemmin otettu käyttöön myös monissa muissa tuotantolaitoksissa mm. Key Lakessa.

Collins Bay A-, B- ja D-Zone malmiesiintymät ovat siitä ainutlaatuisia, että ne ovat osittain Wollaston järven alla. Jotta olisi mahdollista käyttää avolouhustekniikkaa suunniteltiin B-Zonen pohjoispuolelle teräsvahvistettu oja estämään vedenpääsyn kaivokseen. Samaa menetelmää harkitaan käytettäväksi myös A- ja D-Zonen malmiesiintymissä, kun ne otetaan käyttöön. Sen jälkeen, kun Rabbit Lake avolouhoksen toiminta loppui 1984 on malmi toimitettu B-Zonen avolouhoksesta. Tämän toisen avolouhoksen malmivarat, noin 9000 t U3O8, riittää 1990 luvun alkupuoliskolle, jolloin Eagle Point maanalainen kaivos, jonka louhintasuunnitelmaa parhaillaan kehitetään, tulisi olla toiminnassa. Eagle Pointin malmivarojen on arvioitu olevan noin 55.000 t U3O8:a, jonka pitoisuus on keskimäärin 1 %. Malmivarat varmistavat tuotannon vuosituonnille.

Kaivostoiminnasta syntyvä jäte sijoitetaan vanhaan Rabbit Lake avolouhokseen, joka on vuorattu murskekerroksella ja keskelle pohjaa on tehty murskekerroksen alle pumppukuoppa. Jäte sijoitetaan kuoppaan, jolloin vesi menee murskekerroksen läpi, pumpataan pois ja viedään vedenkäsittelylaitokselle. Jäte kovettuu ja jatkossa perusvedet virtaavat murskekerroksessa eivätkä kiinteän jätteen läpi. Kun avolouhos on täynnä ajetaan pintaan murske- ja hiekkakerros ja järvivesipadot poistetaan niin, että jäte on jatkossa järven pohjan alla.

CLUFF LAKE

Cluff Lake kaivoksessa CAMECOLla on 20 % omistusoikeus ja toisena omistajana on Amok Ltd, joka hoitaa tuotannon. Vuosituotanto on noin 1800 t U3O8.

CAMECONin uraanimalmien arvioitu kapasiteetti on tällä hetkellä noin 220.000 t U3O8:a. Luku sisältää mm. viimeiset tutkimuskohteet McArthur Riverissa ja Cigar Lakessa, missä CAMECO on osallisena.

KÄSITTELYLAITOKSET

Pohjois-Saskatchewan uraanista 60 % lähetetään CAMECONin käsittelylaitoksiin Ontariossa ja loput menevät vientiin rikastettuna. Camecon Fuel Service Division hoitaa uraanin jalostuksen uraani trioxidiksi (UO3) Blind Riverin laitoksella sekä Port Hopen kahdessa konversiotehdassa, joissa uraani jatkokäsitellään joko uraanidioxidiksi (UO2), jota käytetään esim. polttoaineena Kanadalaisissa Candu-reaktoreissa, tai uraanihexafluoridiksi (UF6), jota myydään ympäri maailmaa mm. TVO on ostanut uraania Camecolta jo 18 vuoden ajan ja syksyllä 92 on tehty jatkosopimus toimituksista vuosille 1994—97. Yli puolet myynnistä menee USA:n laitoksiin. Cameconin jatkokäsittelylaitokset hoitavat omista louhoksista tulevan uraanin lisäksi myös muualta Kanadasta ja muista maista tulevaa uraania.

TURVALLISUUS- JA YMPÄRISTÖTUTKIMUS

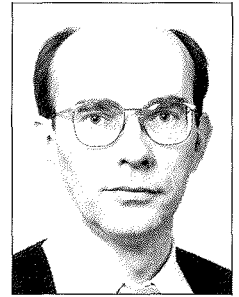
CAMECONin turvallisuus- ja ympäristön tutkimusohjelma on vuonna 92 budjetoitu olevan 6.6 milj. CAD. Vuosittain käsitellään esim. 50.000 kpl ilma, vesi ym. näytteitä, jotka on otettu laitospaikkakunnilta. Tutkimusohjelma työllistää 50 henkeä yhtiössä.

Sisällys

Teknikko Henry Rönndahl työskentelee Teollisuuden Voima Oy:n Oikiluodon laitosten suunnitteluinsinöörinä, p. 938-3811.

DI Olli Nevander työskentelee IVO International Oy:ssä turvallisuusinsinöörinä ja on tämän lehden toimitussihteeri, p. 90-5082613

DARLINGTONIN VOIMALAITOS — VIIVÄSTYKSIÄ RAKENTAMISESSA JA KÄYTTÖÖNOTOSSA



Darlingtonin ydinvoimalaitos, Pohjois-Amerikan suurimpiin kuuluva voimalaitoshanke, on valmistumassa pitkällisten viivästymisten jälkeen. Kunkin neljän yksikön keskimääräinen viivästymisen on viisi vuotta. Arviolta 75 % näistä johtui pääasiassa sähkönkulutuksen pienemisestä ja Ontario Hydron rahoitusongelmista. Ainoan käyttöönotetun yksikön käytön alussa on tullut esiin turbogeneraattorin roottorin säröjä ja polttoainepippujen säröjä, joista viimeksi mainitut ovat siirtäneet myös muiden laitosyksiköiden käyttöönottoa. Viivästymiset johtivat kustannusarvion nousuun yli 80 %. Seuraavassa on lyhyesti kuvattu myös laitosprojektin viivästymisten syitä ja siitä aiheutuneita kustannuksia.

Darlingtonin ydinvoimalaitos, Pohjois-Amerikan suurimpiin kuuluva voimalaitoshanke, on valmistumassa. Tämä Ontario Hydro -voimayhtiön neljän CANDU-reaktorin laitos sijaitsee 70 km itään Torontosta Ontario-järven rannalla. Valmistuessaan laitos tuottaa sähköä 4 881 MW netto, riittävästi kahden miljoonan asukkaan kaupungin tarpeisiin. Kustannusarvio on 13,5 miljardia Kanadan dollaria (1 dollari = 4–5 mk) ja tuotetun sähkön hinta on noin 4 c/kWh, kun laitoksen elinikä on 40 vuotta ja käyttökerroin 80 %. Korkokustannukset ovat noin 5,5 G eli 40 % kokonaiskustannuksista.

Nykyään ydinvoimalaitoksilla tuotetaan noin puolet Ontarion provinssin tarvitsemasta sähköstä. Loput tuotetaan vesivoimalla, kivihiihi- ja öljyvoimalaitoksilla. Ontario Hydrolla on ennestään 16 ydinvoimalaitosyksikköä: Bruce'n 8 noin 900 MW laitosyksikköä ja Pickeringin 8 noin 540 MW laitosyksikköä. Näiden laitosten käyttökertoimet ovat tunnetusti huippuluokkaa.

Yksi laitosyksiköistä oli kaupallisessa käytössä käyden 45 % teholla ATS:n vierailun aikana. Yksikkö 1 kävi täydellä teholla. Kaikki sen kaupallista käyttöönot-



Päävalvomosta.

toa varten tarvittavat testit on tehty, mutta meille kerrottiin, että yksikkö aiotaan ottaa kaupalliseen käyttöön vuoden loppuun mennessä.

1100 henkilölle. Laitosalueen valmistelutyöt aloitettiin vuonna 1978 ja rakennustyöt vuonna 1981.

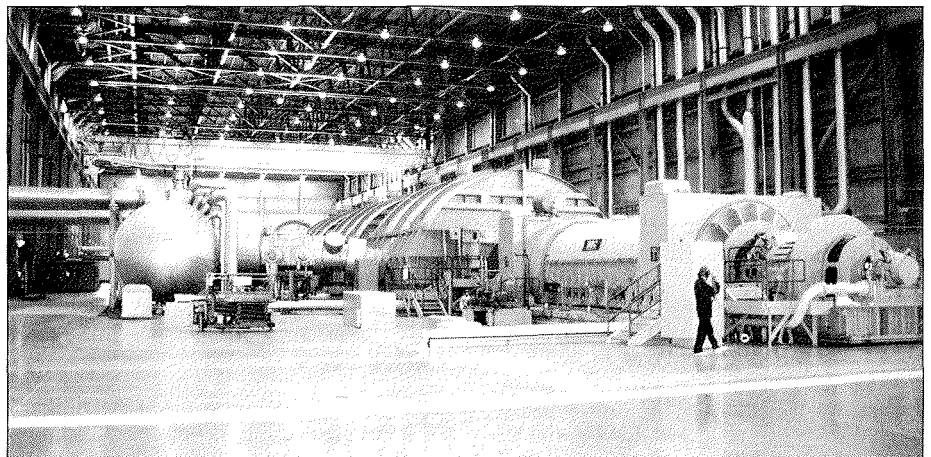
CANDU

CANDU-reaktori on luonnonuranaa polttoaineena käytävä raskasvesimodeoitu painevesireaktori, jonka jäähdyte on myös raskasta vettä. Darlington-reaktorin sydämessä on 480 vaakasuoraa kanavaa (calandria tubes) halkaisijaltaan 103 mm, joihin ladataan 13 polttoainepippua kuhunkin, koko sydämeen yhteensä 108 Mg uraania. Sydämen pituus on noin 6 m ja säde 3,5 m. PHT-järjestelmä (Primary Heat Transfer system) kierrättää neljän pumpun avulla raskas-

Nykyinen käyttöönottoaikataulu.

Yksikkö	Käyttöönotto
1	Joulukuu 1992
2	Lokakuu 1990
3	Helmikuu 1993
4	Huhtikuu 1993

Rakennustyöt olivat huipussaan vuonna 1986, jolloin tarvittiin 7000 työntekijää. Valmistuessaan laitos tuottaa työtä noin



Turbiinilaitoksesta.



Darlingtonin voimalaitos.

vesijäähdytteen polttoainekanavien läpi ja edelleen höyrystimiin, joissa lämpö siirtyy tavalliseen veteen. Jäähdytymäärä on 280 Mg ja moderaattoritulavuus 312 m³.

Jo kaukaa katsottaessa huomiota kiinnittää 71,2 m korkea lieriömäinen betonirakennus. Kyseessä on tilavuudeltaan 95000 m³ tyhjä-rakennus, joka on suuren kanavan välityksellä yhteydessä kunkin laitosyksikön reaktorirakennuksen muodostaen eräänlaisen suojarakennusjärjestelmän. Tyhjä-rakennus pidetään jatkuvasti noin kymmenesosan ilmakemän paineessa. Mikä tahansa paineen nousu reaktorirakennuksessa aiheuttaa venttiilien avautumisen ja höyryn pääsyn tyhjä-rakennukseen, esimerkiksi jäähdytvyödon yhteydessä. Tyhjä-rakennuksessa on myös höyryn lauhdutusjärjestelmä, jonka säiliössä on 11500 m³ vettä.

Kullakin laitosyksiköllä on yksi turbiini, joka sijaitsee yhteisessä teräsrakenteisessa turbiinihallissa (382,8 m x 54,7 m x 45,2 m).

Kaikkien laitosyksiköitten päävalvomot sijaitsevat samassa tilassa, jossa on myös yhteisten järjestelmien ohjauspöytä. Hätätilanohjeet näyttivät käsittelevän tavanomaisia hätätilanteita ja myös esimerkiksi Common Mode Failure -tilannetta.

Polttoainevaramoja on kaksi ja ne riittävät 17 vuoden aikana käytetyn polttoaineen varastointiin.

Jäähdytysvesi otetaan läheisestä Ontario-järvestä 12 m syvyydeltä 1 km pitkän

tunnelin kautta ja lasketaan ulos 2 km pitkän tunnelin kautta. Mainittakoon, että Ontariossa jäähdytysveden oton hankaluutena ovat voimakkaasti lisääntyvät Zebra-simpukat, jotka ovat joskus kulkeutuneet laivan mukana Euroopasta Kanadan suuriin järviin, missä niillä ei juuri ole luontaisia vihollisia.

TURVALLISUUDESTA

Varavoimanlähteenä on 4 kaasuturbiinia (26 MW 13,8 kV) ja 2 hätä-dieselgeneraattoria (7 MW) koko laitosta kohti. Tämä tuntuu vähäiseltä Loviisaan ja Olkiluotoon verrattuna.

Darlingtonin voimalaitosten pikasulku voidaan tehdä kahdella erilaisella järjes-

telmällä. Yhtenä ovat luonnollisesti sähkömagneettisilla kytkimillä ylhäällä pidettävät pikasulkusauvat (32 kpl). Toisena on neutroneja absorboiva liuos, joka ruiskutetaan moderaattoriin. Joissakin CANDU-laitoksissa (Pickering) on neutronimyrkyyn sijasta moderaattorin "dumppaus", joka tarkoittaa raskasvesimoderaattorin päästämistä reaktorin alla olevaan säiliöön. Reaktori pysähtyy, kun ei ole riittävästi väliainetta, joka hidastaisi ketjureaktiota ylläpitäviä neutroneita. Pikasulkusignaali muodostetaan ohjelmoidulla logiikalla, jonka mahdollisia yhteisvikoja on pyritty eliminoimaan kahdella erikseen tehdyllä ohjelmistolla. Ohjelmoidun logiikan verifiointissa sanottiin olleen joitakin vaikeuksia.

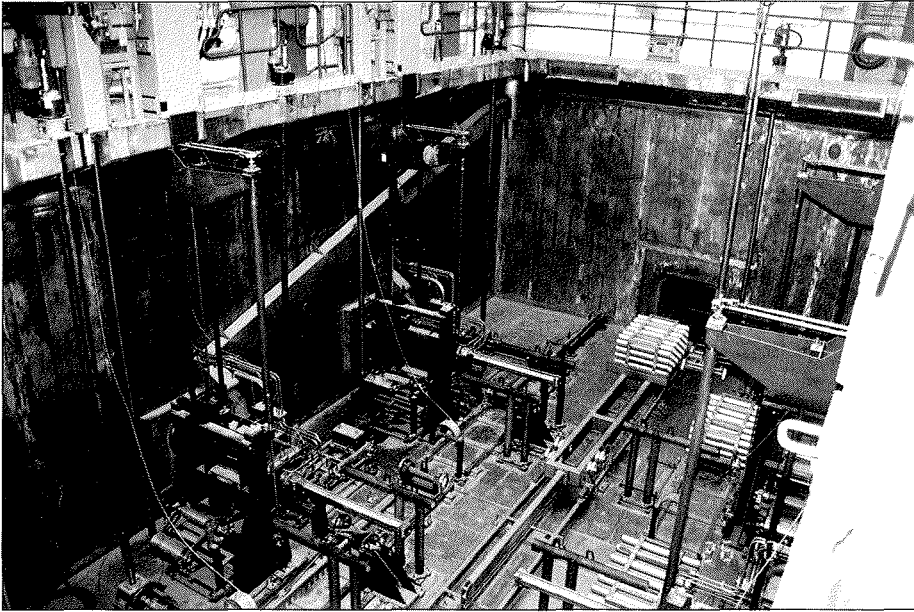
VIIVÄSTYKSIÄ RAKENTAMISESSA

Darlingtonin voimalaitosprojektilla on ollut monia ongelmia sen jälkeen, kun Ontarion hallitus hyväksyi sen vuonna 1977. Keskimääräinen yksikön viivästyminen on noin viisi vuotta. Arviolta 75 % näistä johtui pääasiassa sähkön kulutusennusteiden pienemisestä ja Ontario Hydron kohtaamista rahoitusongelmista vuosina 1978—1986. Samat syyt johtivat muihinkin ongelmiin, kuten

— vaikeuksiin saada koulutettua suunnitteluhenkilökuntaa projektin alkuvaiheissa, mikä johti siihen, että suunnittelu ei ollut aina tarpeeksi rakentamisen edellä,

Darlington G.S. Schedule Changes				
Planned Schedule Change; 75% of total				
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4
(a) 1979 delay in months	18	18	30	30
(b) 1980 delay	18	18	12	12
(c) 1981 delay	6	6	12	12
(d) 1982 delay	0	0	24	24
(e-1) 1986 delay	6	6	0	0
Schedule Slippage Change; 25% of total				
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4
(e-2) 1986 delay	0	0	6	6
(f) 1987 delay	0	4	0	0
(g) 1988 delay	8	6	0	0
(h) 1989 delay	8	6	7	10
(i) 1990 delay	4	7	0	0
(j) 1991 delay	8	0	6	3
Net delay	64	59	61	61

Projekti aikataulun muutokset.



Polttoainevarasto.

- suunnittelumuutoksiin, koska viranomaisvaatimukset kehittyivät merkittävästi tiukempaan suuntaan,
- vaikeuksiin saada riittävästi koulutettua käyttöhenkilökuntaa, mikä oli rajoittava tekijä vielä vuonna 1991.

Yksi vuosi projektin viivästyisestä laitosta kohti johtuikin pääasiassa suunnitteluhenkilökunnan puutteesta, monimutkaisemmista suunnittelu- ja rakentamisvaatimuksista, tiukemmista viranomaisvaatimuksista, käyttöhenkilökunnan puutteesta, turbogeneraattorin roottorisäröistä ja viime aikoina polttoainevaurioista. Yksikön 2 roottorisäröt olivat täysin odottamattomia, koska generaattoritöimittäjä on tunnettu ja kokenut. Myös polttoaineongelmat olivat odottamattomia ja aiheuttivat suuria kustannuksia.

On selvää, että tällaiset projektin viivästyvät johtavat kustannusarvion nousuun. Kustannusarvio nousi 6,1 miljardia dollaria vuodesta 1981 vuoteen 1991. Noin 70 % tästä noususta liittyy korkoihin.

Huolimatta yli 80 prosentin kustannusten noususta, Darlington-laitoksella tuotetun sähkön hinta on kilpailukykyinen fossiililla polttoaineilla tuotetun sähkön hintaan verrattuna.

POLTTOAINEEN SÄRÖONGELMAT

Laitosyksikkö 2 tuli ensi kerran kriittiseksi 5.11.1989 ja täydelle teholle 4.7.1990. Laitos kävi täydellä teholla 30.11.1990, kun reaktorin kanavalle N12 tehtiin tavanomaista polttoainelatausta.

Tällöin havaittiin, että polttoainenippu oli juuttunut. Reaktori suljettiin 23.12.1990. Kaasumaisten fission tuotteiden monitori ja lämmönsiirtojärjestelmän (PHT) kemiallinen analyysi osoittivat, että polttoaineessa oli pieni vuoto. Tammikuussa 1991 löydettiin kanavan N12 polttoaine-elementin säröt mm. päätylevyissä varastointialtaassa tehdyissä tavanomaisissa polttoainetarkastuksissa. Tämän jälkeen aloitettiin etsinnöissä löydettiin lisää päätylevyjen säröjä useammassa polttoainenipuissa. Heinäkuussa aloitettiin laajamittaiset tutkimukset säröjen syistä.

Yksikön 1 reaktori saavutti ensi kerran kriittisyyden 29.10.1990 ja täyden tehon 12.1.1991. Laitos pysäytettiin maaliskuussa suunniteltua huoltoa varten. Huoli polttoaineongelmista aiheutti pitkät seisokit yksiköllä 1. Tammikuussa 1992 löydettiin yhdestä polttoainenipusta säröjä, jolloin myös yksikkö 1 pysäytettiin odottamaan ongelman ratkaisua, koska päädyttiin siihen, että kummankin yksikön polttoainesäröt johtuvat ilmeisesti samasta syystä. Yksikkö otettiin uudelleen käyttöön heinäkuussa, kun ongelmaan oli löydetty ratkaisu.

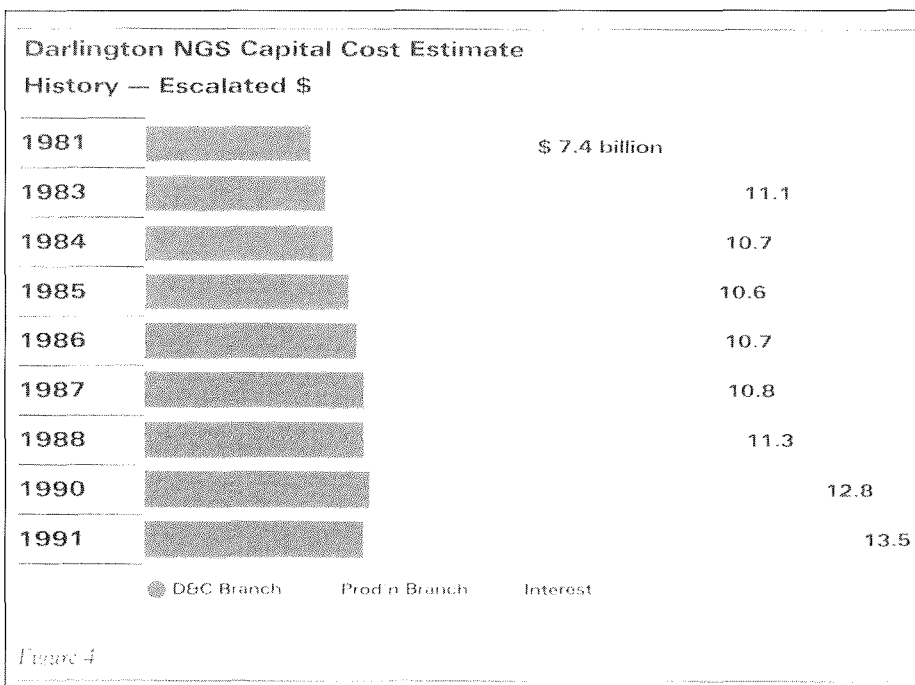
Tutkimuksissa päädyttiin siihen, että pääasiallinen vauriomekanismi on PHT-järjestelmän pumppujen aiheuttamat painepulsit 150 Hz taajuudella. Värähtelyt vahvistuvat akustisten resonanssin vuoksi painepuolen putkistossa. Ongelmaan kehitetty ratkaisu on korvata pumppujen viisisipiset juoksupyörät seitsemänsipisillä, jolloin pumppujen aiheuttama taajuus nousee 210 Hz:iin, mikä ei vahvistu jäljellä olevassa putkistossa.

Yksikössä 3 tehtiin keväällä ja kesällä 1992 laaja testiohjelma, jossa tutkittiin seitsemänsipisen juoksupyörän vaikutusta PHT-järjestelmän erilaisiin värähtelymekanismeihin ja lopulta todettiin muun muassa, että nollassa polttoainenippujen aksiaaliset liikkeet pienenevät kertaluokalla ja poikittaisliikkeet puoleen. Suunnitteluratkaisut ovat merkittävästi vähentäneet painevaihteluiden amplitudia ja lämmönsiirtojärjestelmän (PHT) resonointiherkkyyttä.

VIITTEET

1. CNA Staff Report, Darlington Cost Increases. Canadian Nuclear Association, Nuclear Canada Yearbook 1992.
2. Stewart, W.B., Darlington Fuel Damage Investigation. Bulletin of the Canadian Nuclear Society, Vol. 13 (1992), No.3, pp. 6-12.
3. Nuclear Canada/Canada Nucléaire. Canadian Nuclear Association. October 1992. Vol. XXXI No.3.

DI Kalle Jänkälä on IVO International Oy:n prosessitoimiston suunnittelusisällöri, p. 90-5082456



Kustannusarvion muuttuminen.

YDINVOIMA YHDYSVALLOISSA — vierailun satoa



ANS:n kokouksessa oli paljon arvokasta väkeä.

Yhdysvaltojen ydinvoiman tutkimusohjelma tukeutuu yhä taloudellisesti sotilaalliseen tutkimukseen. Kaupallisten reaktori-kehittäminen ja rakentaminen ei ole koskaan toipunut 70-luvun energiakriisin aiheuttamasta tilausten peruuntumisesta. Ydinvoimalan käyttöluopprosessin monimutkaisuus ja Harrisburgin onnettomuuden synnyttämä yleisön vastustus on pudottanut ydinvoiman hinnaltaan sekä yleiseltä hyväksyttävyydeltään hiili- ja kaasuvaihtoehtoja heikommaksi. Vierailumme aikana saatoimme päätellä, että paikalliset ydinvoimatyöläiset eivät olleet löytämässä sitä viisasten kiveä, jolla ydinvoimasähkö taloudellisuus- ja turvallisuusriskineen nostetaan rakentamispäätösten tasolle.

Yhdysvaltojen ydinvoimaohjelma on yksi vanhimmista. Sen juuret ulottuvat syvälle ydinennergian alkuaikoihin, jolloin ydinreaktorin tärkein ominaisuus ei ollut sen kyky tuottaa energiaa, vaan soveltuvuus "pommeiplutoniumin" tuottamiseen. Kaupallisen ydinvoiman käyttö aloitettiin Eisenhowerin atomienergian rauhanomaisen käytön ohjelmalla 1954, kymmenen vuotta ensimmäisen ydinpommin jälkeen. Ensimmäisen ohjelman osatavoitteena oli, energialähteen kehityksen ohella, hakea keinoja ja yhteistyökumppaneita ydinaseiden leviämisen estämiseksi.

Yhdysvaltain ydinvoimarakentaminen oli alkuaikoinaan rönsyilevää ja suunnittelijoiden pöydillä kehiteltävät reaktori-tyypit vaihtelivat. Rakennusvaiheeseen etenivät lähinnä erityyppiset kevytvesireaktorit.

Ensimmäinen kiehutusvesireaktori rakennettiin aikanaan Argonnen tutkimuskeskukseen (vierailusta Argonnessa toisaalla lehdessä). Reaktori oli teholtaan 5 MW(e) ja se käynnistyi 1956. Tämän jälkeen kiehutusvesireaktori- rakentamisesta maahan vastasi pääasiallisesti General Electric.

Vanhin kaupallinen painevesireaktori Yankee Rowe aloitti kaupallisen tuotan-

non 1960. Tämä 175 MW(e) reaktori pysäytettiin lopullisesti viime kesänä. Merkittävimmät painevesireaktori- toimittajat ovat olleet Yankee Rowen rakentaja Westinghouse sekä Babcock & Wilcox ja Combustion Engineering. Nykyisin painevesireaktori- tuotanto on keskittynyt Westinghouse-yhtiölle.

Kehittyneemmät reaktori-tyypit — kehitys jäissä

Yhdysvalloissa ydinvoiman alkuaajoista aina 70-luvun lopulle asti esitetyt suunnitelmat mittavasta hyötöreaktori-ohjelmasta tehokkaine jälleenkäsittelyineen ja plutoniumkiertoineen kaatuivat Jimmy Carterin presidenttikaudella. Presidenttikautensa alussa 1977 Carter ilmoitti, että kaupallisten hyötöreaktori-kehitys ei ole Yhdysvalloille tarpeen ennen vuotta 2021. Tämän peruslinjauksen mukaisesti Carter huolimatta ydinvoimainsinöörin taustastaan supisti ydinvoimaohjelmia voimakkaasti. Carterin kauden supistuksia ei Chicagossa tapaamamme ANS:n toimitusjohtajan Toscanin mukaan ole myöhemmin palautettu. Supistukset aiheuttivat mm. maan suurimman ja toistaiseksi viimeisen hyötöreaktori- Clinch Riverin,

valmistumisen viivästyminen. Tämä 350 MW(e):n tehoisen reaktorin rakentaminen keskeytettiin vuonna 1981. Harrisburgin onnettomuuden ja ydinvoiman taloudellisuudesta käydyin virkkaan keskustelun seurauksena hyötöreaktoriohjelma kuivui rahan puutteeseen.

Nykyiset tutkimusohjelmat tähtäävät ns. passiivisilla turvajärjestelmillä varustettujen reaktortyyppien kehitykseen.

Nykyinen ydinvoima riittää — uusia ei tilata

Yhdysvalloissa on tällä hetkellä kaupallisessa käytössä 71 painevesilaitosta (rakenteilla 6), 37 kiehuvesilaitosta (rakenteilla 1). (Käyviin laitosten lukumäärä vaihtelee tilastosta ja laskentavasta riippuen välillä 106-109, edellä esitetyt luvut on saatu uusimmista tilastoista vertaamalla laitosten nimilistoja keskenään.) Laitokset tuottavat n. 20 % maassa käytettävästä sähköstä. Hiukan alle puolet laitoksista (n. 50) on käynnistetty vuoden 1980 jälkeen. Vuoden 1973 öljykriisi pudotti maan sähkökäytön vuotuisen kasvun 7 %:sta nykyiseen 2-3 %:iin teollisuuden aloitettua voimakkaan säästön. Kasvuarvioiden merkittävä muuttuminen aiheutti laajan sarjan ydinvoimatilauksen peruutuksia. IAEA:n tilaston (1990) mukaan on Yhdysvalloissa peruttu eri syistä kaikkiaan yli 30 reaktorin tilaus.

Käyttökertoimet ja taloudellisuus huonoja

Ydinvoimalaitosten keskimääräinen taloudellisuus on Suomeen verrattuna huono. Tämän isännät kohteliaasti mainitsivat lähes kaikissa vierailukohteissa. Ydinvoiman taloudellisuutta heikentävät mm. pitkän rakennusvaiheen pääoman korot, rakennusvaiheen muutosten aiheuttamat suuret kustannukset ja laitosten alhaiset käyttökertoimet. Vuonna 1990 jenkkilaitosten keskimääräinen käytettävyys (capacity factor) oli 67.5 % ja vuosien 1989-1991 keskiarvo käytettävyydelle oli 70.5 % (luvuissa on mukana 106 reaktoria). Todellinen käyttökerroin (load factor) on vastaavasti vielä jonkin verran alhaisempi, koska kaikki laitokset eivät toimi jatkuvasti täydellä teholla perusvoimalaitoksina. Näistä luvuista on pitkä matka Suomen vastaaviin 1990 (90 %) ja 1991 (91 %). Käytön kustannuksia tyypillisellä laitoksella Yhdysvalloissa lisäävät vielä henkilökunnan suuri vaihtuvuus, joka pudottaa keskimääräistä ammattitaitoa. Osittain puuttuvaan ammattitaitoon on sidoksissa myös suomalaisen laitokseen verrattuna suuri, joillain laitoksilla noin viisinkertainen henkilöstömäärä.

Vierailukohteissa saattoi eräiden amerikkalaisten kommentteista rivien välistä lukea lievää epäluuloa laitostemme turvallisuutta kohtaan. Eräs kommentti oli: "Venäläistenkin laitosten käyttökertoimet ovat korkeita".

Lisensiointiprosessi — kaikki saavat sanoa sanottavansa, vieläpä moneen kertaan

Uuden ydinvoimalaitoksen lisensiointiprosessi on Yhdysvalloissa ollut aina pitkä ja vaikea. Prosessia ovat pitkittäneet erityisesti rakennusvaiheen julkiset kuulemiset (pre-operational hearings). Tänä vuonna onnistuttiin säätämään laki, joka rajoittaa rakennusvaiheen julkisten kuulemisten suorittamista ja niiden perusteella esitettäviä vaatimuksia. Uudella lailla pyritään estämään vaatimusten muuttuminen kesken rakentamisen. Nämä muutokset eivät kuitenkaan useiden paikallisten asiantuntijoiden mielestä riitä nostamaan paikallisia ydinvoimaohjelmia nousuun. Uusikaan laki ei ole toteuttanut ydinvoimayhtiöiden ajamaa "one-step-licensing"-periaatetta. Tämän periaatteen mukaan viranomaisen hyväksymään toteutusluonnitelmaan ei enää voi vaatia muutoksia, uusien, tiukentuneiden viranomaisvaatimusten perusteella. Meksikolaisten mukaan Laguna Verden laitoksen rakentaminen kesti kauan, koska laitostoimittaja ja Meksikon viranomaiset seurasivat näitä muuttuvia Yhdysvaltojen viranomaisvaatimuksia. Meksikon vierailusta enemän toisaalla lehdessä.

KÄYVIEN LAITOSTEN ONGELMAT

Tällä hetkellä Yhdysvaltojen ydinvoiman kanssa työskentelevät henkilöt painottavat työnsä ydinjäteongelman valtakunnalliseen ratkaisuun, painevesilaitosten höyrystimien vaihto-ohjelmaan ja vanhojen laitosten elin-iän pidentämiseen.

Ydinjäteongelma

Ydinjäteongelma on Yhdysvalloissa ratkaisematta, koska maassa on vuosia ollut vallalla periaate: "Not in my back yard". Tämä periaate ja valtakunnallisen ratkaisun löytämisen vaikeus ovat estäneet suunniteltujen ratkaisujen käytännön toteutuksen. Osasyynä ratkaisun vaikeuteen on ollut valittu toimintamalli: koko maan jätteet täytyy sijoittaa kerralla ja liittovaltion koordinoimana. Tämä linja vaatii pitkäaikaista yhtenäistä tutkimusta. Työn toteuttaminen on useaan kertaan kaatunut presidentin ja projektin johdon vaihdoksiin, jotka ovat johtaneet valitun suunnan muutokseen.

Höyrystimien vaihto

Yhdysvalloissa on alkuperäisen suunnitellun ilmeisten puutteiden vuoksi monilla painevesilaitoksilla suuria höyrystinongelmia. Höyrystimien tuubiputkistoa on jouduttu tulppaamaan siinä määrin, että se alentaa sähkötehoa. Monilla laitoksilla on tämän vuoksi ryhdytty suunnittelemaan kokonaisten höyrystimien vaihtoja. Vaihtoja suunnittelevat kymmenen voimayhtiötä ovat perustaneet SGRG (Steam

Generator Replacement Group) -ryhmän. Tämän ryhmän edustajien arvion mukaan pelkästään heidän laitoksillaan tulee vaihdettavien höyrystimien luku nousemaan yli 50:n seuraavan kymmenen vuoden aikana.

Eliniän jatkaminen

Yhdysvalloissa vanhojen laitosten eliniän jatkaminen on noussut merkittäväksi vaihtoehdoksi tilanteessa, jossa uusia laitoksia ei rakenneta. Nykyisin vanhat laitokset voivat saada määräaikaisen käyttöluvan uudistettua entistä helpommin hyväksytyin 40 vuoden käyttöjakson kuluessa. Uuden määräaikaisen käyttöluvan voi saada jopa 20 vuoden mittaisena. Tutkimusta on suunnattu yli 40 vuoden eliniän tähtääviin projekteihin.

Vierailu ANS:n tiloissa

Vierailullamme tapasimme Chicagossa paikallisen ATS:n eli American Nuclear Society -järjestön toimitusjohtajan James G. Toscasin. Toscasin mukaan Yhdysvalloissa odotetaan kiinnostuneena Suomen ydinvoimapäätöstä, koska sellainen tilaus toimisi tehokkaana vertailupäätöksenä. Ympäristöohjelmissa aktiivisen Suomen esimerkki voisi kannustaa esim. Yhdysvaltoja turvautumaan ydinvoimaan.

ANS:n toiminnasta saamamme kuvan mukaan järjestö toimi aktiivisesti ydinvoiman puolestapuhujana, järjesti erilaisia konferensseja sekä julkaisi Nuclear News-lehteä.

Paikallinen seura ukkoutumassa — tulevaisuuden kuva myös Suomessa?

Yleisenä huomiona ydinvoima-ammattilaisista saattoi havaita, että nuorten pätevien miesten ja kaiken ikäisten naisten ammatinvalinnan kohteena ei enää ollut ydinvoima — ydinvoima oli päässyt pahasti ukkoutumaan. Isännät suhtautuivat ydinvoiman käytön etenemiseen luottavaisesti, mutta merkkejä Yhdysvaltain ydinvoimaohjelmien elpymisestä ei ollut näkyviissä. Suhtautumista meihin suomalaisiin vieraisiin Yhdysvalloissa — ydinenergian pioneerimaassa — leimasi hienoinen ylimielisyys. Tunnelma paikallisen seuran kokouksessa muistutti väsymyseläntään vanhan ajan Neuvostoliittoa. Vanhat herrat istuivat daameineen iltajuhlassa, kuuntelivat päivällispuheita ja ottivat vastaan palkintoja menneistä saavutuksistaan.

DI Olli Nevander työskentelee IVO International Oy:ssä turvallisuusinsinöörinä ja on tämän lehden toimitussihteeri, p. 90-5082613



ARGONNE NATIONAL LABORATORY

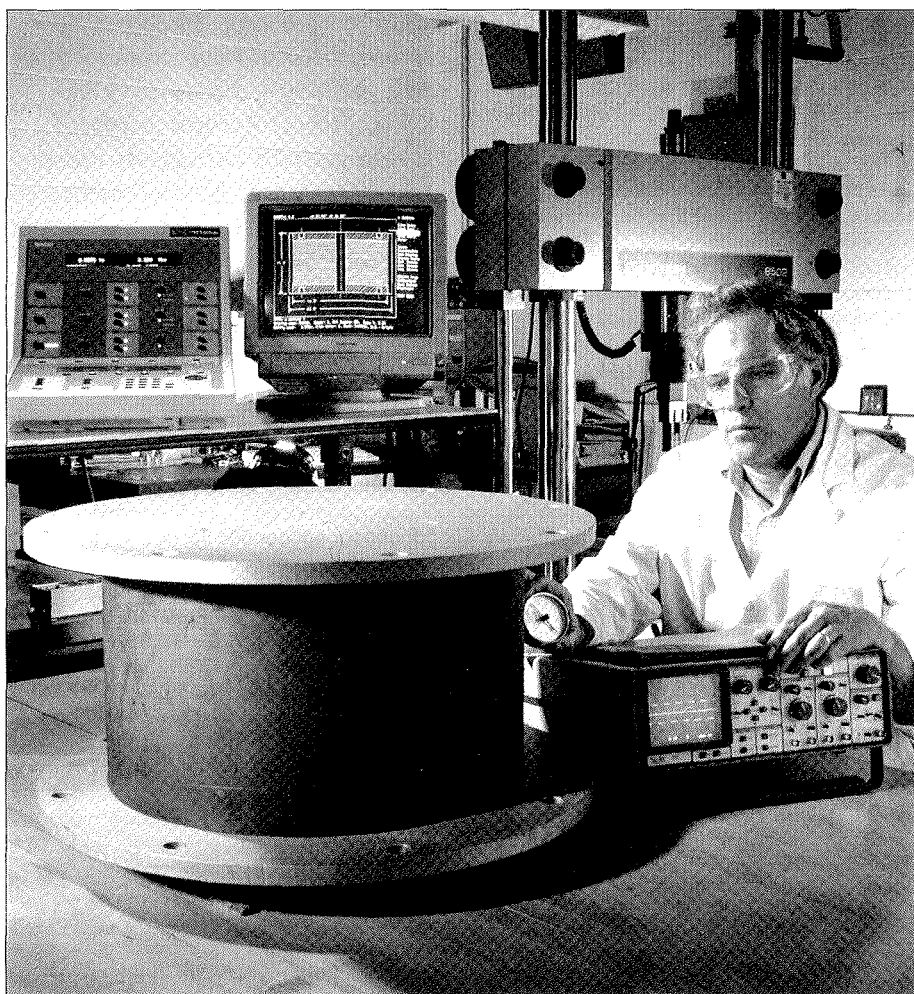
Suomen Atomiteknillisen Seuran ekskursionryhmä suoritti lokakuun 27. 1992 yhden päivän vierailun Argonne National Laboratory'n Illinois'in laitoksille. Vierailuaika käytettiin pääosin isäntien järjestämään seminaariin, jossa esiteltiin ANL:n historia ja toiminta. ANL:n tutkijat pitivät lisäksi neljä luentoa suoraan tai välillisesti ydinreaktoreihin tai ydinvoimalaitoksiin liittyen ja ATS:n edustajat esittelivät Suomen ydinvoimatilannetta.

ANL:N SYNTYHISTORIA JA TOIMINTA

Argonne National Laboratory (ANL) on eräs Yhdysvaltain suurimmista energia-alan tutkimus- ja kehitysorganisaatioista. Sen historia alkaa toisen maailmansodan aikaisesta chicagolaisesta metallurgian laboratorion, jonka suojissa Enrico Fermi ja hänen kollegansa tekivät työtä atomipommin kehittämiseksi. Nykyisen nimensä se sai vuonna 1946, ja samalla sen toimintaa suunnattiin voimakkaasti ydinenergian rauhanomaisten sovellutusten alueelle.

Nykyisin ANL:n tutkimus- ja kehitysohjelmista vastaavat Chicagon yliopisto sekä U.S. Department of Energy. Sen laitokset sijaitsevat 40 km Chicagosta lounaaseen sekä Idahossa lähellä Idaho Falls'ia. Näistä ensinmainitussa paikassa sijaitsevilla laitoksilla, jonne ATS:n retki suuntautui, työskentelee 3400 kokopäivätoimista työntekijää ja jälkimmäisessä 850. Työntekijöistä noin 1500 on korkeatasoisia tieteen ammattilaisia. Laitokset ovat Yhdysvaltain valtionomaisuutta. Niiden moninaiset tutkimus- ja kehitysprojektit käsittävät sekä perus- että soveltaa tutkimusta. Ne kaikki tavalla tai toisella tukevat energiaan liittyvien teknologioiden kehitystä.

ANL:n tutkimus- ja käyttötoimintojen vuosibudjetti on lähes 400 miljoonaa dollaria. Se on kasvanut selvästi vuosittain vielä viime vuodetkin. Erityisen voimakkaasti on kasvanut rakennusbudjetti, joka tälle vuodelle on lähes 120 miljoonaa dollaria. Siitä suuren osan vievät tarkka-fokusoidun röntgenfotonilähteen (Advanced Photon Source) rakennustyöt.



ANL:ssä kehitetyt seismiset eristimet ovat aikamoisia järkäleitä.

ANL:N TUTKIMUSOHJELMAT

Argonnen tutkimusohjelmat jakaantuvat neljälle pääalueelle:

Röntgen

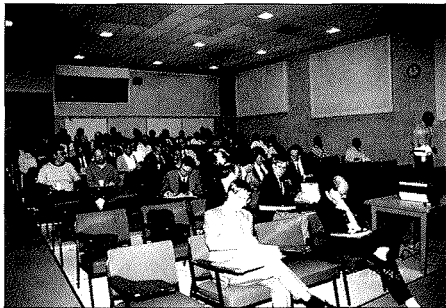
Tarkka fokusoidun röntgenfotoni lähteen rakennustyöt ovat täydessä käynnissä ja etenevät aikataulussa. Sen on määrä olla valmis kesällä 1996. Hankkeen suuruudesta kertoo se, että sen rakentamiseen liittyen on hankintasopimuksia tehty 62 miljoonan dollarin arvosta. Valmistuttuaan laitteistolla tulee työskentelemään jatkuvasti yli 300 tutkijaa eri yliopistoista, tutkimuslaboratorioista sekä teollisuudesta. Sillä tullaan suorittamaan vuosittain yli 1000 eri koetta. Röntgensuihkuja käytetään tutkimusvälineenä sekä materiaalitutkimuksen, kemian, geotieteiden, biologian että lääketieteen monissa tutkimusohjelmissa.

Fysiikka

Fysiikan tutkimuksen ohjelmiin kuuluu kemian, fysiikan, materiaalitieteiden, tietojenkäsittelyn kokeellista ja teoreettista tutkimusta tarkoituksenaan edistää energiateknologioiden tieteellistä ymmärtämistä. Tänä vuonna tutkitaan ennen muuta korkealämpötilasuprajohteita, rinnakkaisprosessointia tietokoneissa, materiaalien sisäisiä jännitteitä, hiukkaskiihdytintä, harvinaisia atomiydinisotoppeja sekä uusia hiili-16:n valmistusprosesseja.

Engineering Research

Niin sanotun "Engineering research" alueen ohjelmiin kuuluvat tärkeimpinä ydinreaktoreihin liittyvät tutkimukset. Niissä keskitytään reaktorin turvallisuuteen, fysiikkaan ja uusien reaktorityyppien suunnitteluun sekä niihin liittyvien kompo-



Suomen tilanne kiinnosti amerikkalaisia.

nentien, polttoaineiden ja materiaalien testaukseen. Nämä tutkimukset tapahtuvat suurelta osalta Idahossa sijaitsevassa tutkimuslaitoksessa. Tänä vuonna laajamittainen ohjelma on käsittänyt integroidun nopean reaktorin (IFR) metallipolttoaineen sekä polttoainekiertoa liittyvien laitteistojen kehitystä. Tärkeitä ovat olleet myös keraamisten moottorimateriaalien, magneettiseen levitaatioon perustuvien laakereiden sekä rakennusten tärähdyksabsorbattoreiden kehitykseen liittyvät tutkimukset.

Energia, Ympäristö ja Biologia

“Energia, Ympäristö ja Biologia” tutkimusohjelma keskittyy tutkimaan energiantuotannon sivutuotteiden vaikutuksia ihmiseen ja ympäristöön. Esimerkiksi syöpäsairauksien alkuperää, diagnostiikkaa ja hoitomenetelmiä sekä vahingollisten päästöjen kulkeutumista ympäristössä tutkitaan tänä vuonna. Samoin tutkitaan globaalisia ilmastomuutoksia sekä autojen muovi- ja teräsosien kierrätystapoja.

Muut ohjelmat

Tutkimuksen ja kehityksen neljän pääalueen lisäksi ANL:ssä on laaja tutkimusyhteisön ulkopuoliseen maailmaan vaikuttamaan pyrkivä ohjelma. Sen puitteissa tutkijat pyrkivät siirtämään ja kehittämään tieteellistä innoitusta ulkopuolisille yliopilaille ja opettajille luodakseen uusia tiede-entusiastisukupolvia. He pyrkivät myös siirtämään uudet tutkimustulokset mahdollisimman nopeasti teollisuudelle, jotta ne niin pian kuin mahdollista tulisivat mitä erilaisimmissa tuotteissa kuluttajien käyttöön.

Vierailu

Suomen Atomiteknillisen Seuran vierailuryhmälle pidettiin ANL:ssä isäntien toimesta ANL:n yleisesittelyn lisäksi esitykset IFR (Integral Fast Reactor) -ohjelmasta, kevytvesireaktoreiden turvallisuudesta, seismisten tärähtelyjen eristymenestelmistä sekä tutkimus- ja testireaktoreiden polttoaineen rikastusasteen vähennysohjelmasta. ATS:n puolelta esiteltiin isännille Suomen ydinvoiman ja ydinjätteen käsittelyn nykytilannetta.

Kirjallisuusviitteet:

/1/Argonne National Laboratory, Research Highlights 1992-93

/2/Argonne News — Historical Issue

FL Teuvo Laaksonen on Valmet Automation Projects Oy:n toimitusjohtaja, p. 90-452777

Heikki Raiko

YDINTUTKIMUSKESKUS ININ

Tässä kerrotaan ATS:n ulkomaanopintomatkan meksikolaisesta ydintutkimuslaitoskohteesta, johon ryhmä tutustui puolen päivän mittaisen vierailun yhteydessä. Esittelykohteen tekninen kuvaus, maisemat ja paikallinen tunnelma pyritään tarjoamaan lukijoille sel-laisena kuin matkalaiset sen kokivat.

Torstaiaamuna 29.10.1992 ATS:n opintoretkikunta suuntasi matkansa yli 20:n miljoonan asukkaan ympäristöongelmasta kattilamaisesta suurkaupungista Meksikosta savuavalla ja rämisävällä, polttoaineen katkuisella pikkubussilla tunnin verran ylämäkeen länteen. Ohut, mutta savupitoinen ilma oli kuivannut meidän — meren pinnan tason asukkaiden — hengitystiemme niin, että köhimme kilpaa auton kanssa. Tie oli sinänsä hyväkuntoinen, mutta suuret korkeuserot ja ohut ilma asettivat voimakoneet ja jarrut kovalle koetukselle. Ajallaan kuitenkin saavuiimme perille lähellä Toluca kaupunkia sijaitsevaan Meksikon ydintutkimuskeskukseen “Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares” (ININ). Tutkimuskeskus on kansallinen ja siis valtaosan valtion varoilla toimintansa rahoittava ydintekninen laitos. Tutkimuskeskus on rakennettu vaiheittain 1960-luvulta alkaen. Keskuksen siistit tutkimuslaboratoriot sijaitsevat laajalle luonnonkauniille puistoalueelle rakennettuina hieman syrjäisellä paikalla yli 3000 metrin korkeudella merenpinnasta. Tutkimuslaitos on jonkin verran Meksikon pääkaupunkia

ympäröivien vuorten huippujen ulkopuolella, joten ilma täällä vedenjakajan toisella puolella oli todella raikasta ja läpinäkyvää. ATS:n vierailu noteerattiin laitoksessa korkealle: tervetullijaisitelmän piti ja vierailun päättänyttä kevyttä kentälounastilaisuutta isännöi pääjohtaja Carlos Velez Ocon. Varsinaisena isäntänä ja oppaana toimi hallintopuolen johtaja Roberto Trevino.

TEKNISET TIEDOT

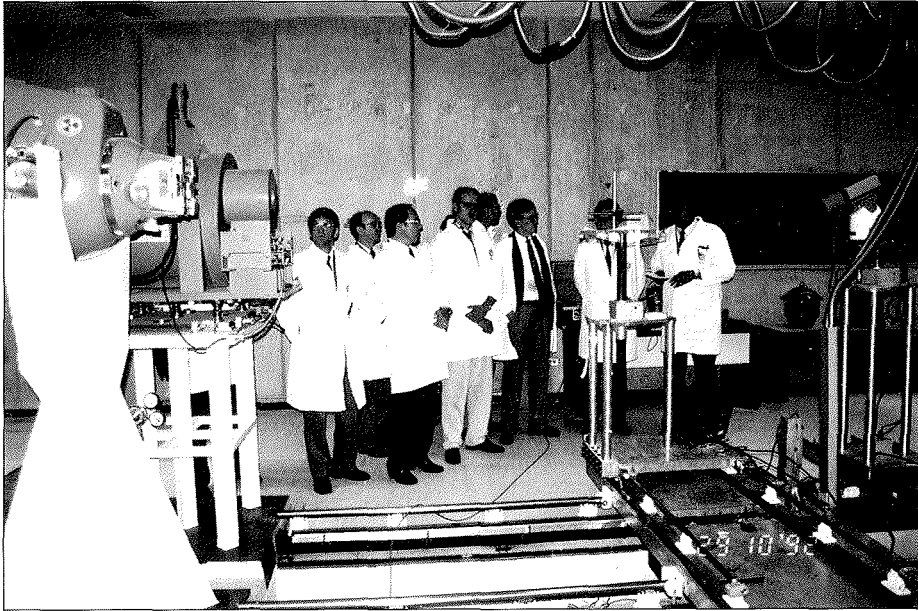
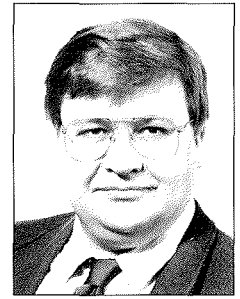
Ydintutkimustoiminta Meksikossa on alkanut jo vuonna 1955 atomienergiakomission perustamisen myötä. Kuusikymmentäluvun puolella syntyi siitä varsinainen ININ. Laboratorioita alettiin rakentaa nykyisille paikoilleen 1963, kiihdytinlaboratorio valmistui -67 ja reaktorilaboratorio -68. Juuri nyt oli viimeisimpänä laitoksena valmistumassa pilot-versiona laboratoriomittakaavainen ydinpolttoaineen pelletointi- sekä polttoainesauvojen ja -nippujen kokoonpanotehdas.

Tutkimuslaitoksessa työskentelee 1250 henkilöä, joista 1/3 on varsinaisia tutkijoita. Kokonaisbudjetti on n. 30 miljoonaa USD vuodessa, josta palkkamenojen osuus on 65 ... 70%. Pienellä laskutoimituksella saa keskimääräiseksi kuukausipalkaksi noin 6000 FIM. Tämän hetken budjetin kasvuvauhti oli 11% vuodessa. Ulkopuolisten tulojen osuus liikevaihdosta oli n. 15%. Laitoksen pääjohtajana on toht. Carlos Velez Ocon.

Tutkimustoiminnan lähistoriaa voi kuvata samoilla attribuuteilla kuin valtionkin taloudellista historiaa: vuosina -82 ... -87 vallitsi taloudellinen kaaos, ulkomainen velkaantuminen ja hyperinflaatio, -88



Opintoretkikunta paikallisen Triga-reaktorin partaalla.



Laboratorion säteilylähteiden kalibrointirata.

... -89 kaaos lopetettiin yön kiristyspolitiikalla, seurauksena yleinen pula ja inflaation pysähtyminen. Vuodesta -90 alkaen taloudelliset olot ovat olleet suhteellisen vakaat ja nousujohteiset. Suomen talous tuntuu olevan Meksikoon verrattuna noin 3 vuotta vaihesiirrossa.

Tutkimuslaitoksella on yhteyksiä ensisijaisesti meksikolaisiin ja U.S.A.-laisiin yliopistoihin, tutkimuslaitoksiin ja viranomaisorganisaatioihin, esim. Meksiko Cityn, Toluacan, Pueblan ja Vera Cruzin yliopistot, Los Alamos, Argonne, NRC, jne. Suomalaisista yhteyksistä ensimmäisenä mainittiin VTT:n Bruno Bärs, joka oli juuri vierailut laitoksessa, sekä terveiset lähetettiin lisäksi Anneli Salolle.

TOIMINTA-ALUEET

Opintoretikunnalle esiteltiin laitoksen päätoiminta-alueet, jotka olivat säteilytyslaitos, tutkimusreaktori, mittaustekninen laboratorio ja ydinpolttoaineen kokoonpanotehtaan pilot-versio.

Säteilytyslaitos oli lähinnä kaupallisessa käytössä. Laitteistossa oli 12,8 TBq Co60-lähde, jolla annettiin 1...3 Mrad:in annoksia steriloitaville lääketieteellisille tarvikkeille (kirurgiset instrumentit, kupariehkäisimet, neulat) tai mausteille, joiden säilyvyyttä parannetaan tappamalla pöpöt pois. Lisäksi säteilytyksessä oli joi-takin lääkkeiden ja esim. shampoon raaka-ainetta, joissa tapahtuvat biologiset reaktiot saatiin näin pysähtymään. Vieraillessamme oli juuri käynnissä kuorma-

autollisen chilierän säteilytys. Tavara siirtyi automaattisesti liukurataa pitkin n. 50 litran vetoisissa astioissa säteilytyskammi-oon ja sieltä pois. Vuoroaan oli odottamassa suuret laatikkopinot shampoota, joissa oleva valkuaisaine stabiloidaan tällä tavoin. Laitteiston tieteellisestä käytöstä ei ollut puhetta, toiminta vaikutti kaupalliselta rutiinitoiminnalta.

Toinen esittelykohde oli TRIGA III tutkimusreaktori. Reaktorin teho on 1 MW, pulssiteho 2000 MW, se on allastyypinen ja käyttää matalarikasteista uraanipolttoainetta. Reaktori sijaitsi melko suuressa altaassa, jossa oli kolme erillistä säteilytyspaikkaa, joihin reaktori tarpeen mukaan voidaan siirtää.

Säteilyn mittaus- ja suojauslaboratoriossa työskenteli 24 henkilöä. Laboratorio toimi kansallisena säteilyn mittalaitteiden testaus- ja kalibrointipaikkana. Laboratoriossa oli erilaisia säteilylähteitä, joiden avulla kalibroidiin säteilyn mittaukseen käytettäviä laitteita, mittahtiin teollisten lähteiden voimakkuuksia ja suunnattu- vuutta yms sekä valmistettiin normaali- lähteitä (kalibrointikappaleita). Toiminta vaikutti melko rutiininomaiselta. Tämä oli ainoa laitoksen kohde, josta saimme kirjallista materiaalia, tosin sekin oli vain 1 mustavalkoinen espanjankielinen A4:nen.

Polttoainelaboratorio oli vasta valmistumisvaiheessa. Laboratorio oli pilot-muotoinen polttoainetehtas, jossa GE:n lisenssin turvin aloitettiin Laguna Verden

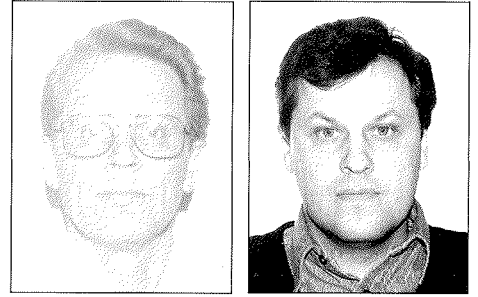
BWR-laitokseen sopivan polttoaineen valmistusta ja kokoonpanoa. Laitoksessa tapahtuu uraanioksidin sintraus ja pelletointi, polttoainesauvojen kokoonpano, päätytulppien TIG-hitsaus, polttoainetablettien asennus ja sauvan atmosfääriin vaihto heliumtäyttöseksi. Edelleen valmiit sauvat kootaan täällä polttoaineni-puksi ja kaikissa vaiheissa tehdään tarvittavia tarkastuksia. Suunniteltu kapasiteetti on 2 tn vuodessa. Ensi vuonna tapahtuvaan Laguna Verden (BWR) polttoaineen vaihtolataukseen on tarkoitus saada mukaan 4 nippua täällä kokoonpantua polttoainetta. Nyt tekeillä olevat niput olivat vanhemman mallista 8x8-tyyppiä, joissa on suuri vesisauva keskellä. Myöhemmin on tarkoitus alkaa valmistaa myös uudenaikaisempia GE:n nipputyyppejä.

Polttoaineasioissa laitoksella on ollut GE:n lisäksi yhteistyötä saksalaisten kanssa (Karlsruhe). Jo aiemmin laitoksessa tehtyä polttoainetta on ollut koekäytössä saksalaisessa koereaktorissa, joten aivan kylmiltään ei kaupalliseen reaktori-polttoaineen toimittamiseen ole ryhdytty.

MEKSIKOLAINEN VIERAANVARAISUUS

Meksikolaiset isäntämme olivat silminnähdyn iloisia ATS:n ryhmän vierailusta. Positiivisuus johtunee siitä, että Meksiko on valtione vasta nyt siirtymässä kehitysmaasta sivistyneeksi teollisuusvaltioksi ja toiseksi siitä, että tutkimuksen valtaväyliltä katsottuna syrjäisestä sijainnista johdun eurooppalaiset asiantuntijavieraat lienevät melko harvinaisia näillä nurkilla. Laitosvierailu päättyi johdon edustustiloissa järjestettyyn snack-partyyn. Tämä edustustila oli luonnonkauniissa metsässä sijaitseva "hirsimaja", jonka pihalle oli katettu ainakin 30 jalan mittainen herkkupöytä, jonka antimina olivat meren elävät, leikkeleet, juustot, viinit ym. maataloustuotteet. Kirkkaassa ja raittiissa havumetsäilmapiirissä linnunlaulun säestyksellä tapahtunut ruumiin ja hengen ravitseminen oli niin harras tilaisuus, että vain harva saattoi muistaa olevamme vain noin 30 km päässä maailman suurimmasta kaupungista. Tämä mainio päätöstilaisuus antoi retkeilijöille uutta voimaa ja sitkeyttä, jota välittömästi tilaisuuden jälkeen alkanut 7 tunnin bussimatka serpentiinejä pitkin alas Atlantin rannalle Vera Cruzin vaati.

Heikki Raiko, dipl. ins., erikoistutkija, VTT/Ydinvoimateknikan laboratorio, puh. (90) 456 5046



MEKSIKOLAISTA ENERGIAPOLITIikkaA

Meksikon ydinvoimaohjelman tie on ollut alusta asti rönsyilevä eikä muutosta ollut tulossa. Ajoittain kunniahimoinen ohjelma on sortumassa ulkomaisen pääoman puutteeseen. Osa-syynä ohjelman heikkoon menestykseen on ollut maan ainoan ydinvoimalaitoksen Laguna Verden huono taloudellisuus. Käynnistyttyään on laitos kuitenkin saavuttanut verraten hyvän käytettävyyden. Laitos vaikutti käyntimme perusteella kohtuullisen hyvin hoidetulta ja siistiltä.

Meksikon vuoristoinen pinta-ala on noin 2 milj. neliökilometriä, mikä on suunnilleen sama kuin Italian, Espanjan, Ranskan, Portugalin, Belgian, Sveitsin, Hollannin, "vanhan" Saksan Liittotasavallan ja Itävallan pinta-alat yhteensä noin kuusinkertainen Suomen pinta-alaan verrattuna. Asukkaita tässä melkein kahden ydinvoimalaitosyksikön maassa" on 82 milj., joista noin 20 milj. yksistään 300 km:n etäisyyksillä Meksikon Lahdelta idässä ja Tyynestä valtamerestä lännessä sekä 2500 metrin korkeudella meren pinnasta sijaitsevassa Meksikon taajamassa (Ciudad de Mexico/Mexico D.C./Mexico City jne.). Kaksikolmasosa väestöstä asuu tällä Sierra Madre Oriental- ja Sierra Madre Occidental- vuorijonojen välisellä karulla ylätasangolla, missä ilmasto on miellyttävä kaikkina vuodenaikoina ja eläminen halpaa sillä esimerkiksi lämmitys- ja jäähdytysenergian tarve on minimaalinen.

Väestön lisääntyminen, joka kääntyi raujuun nousuun toisen maailmansodan jälkeen on maailman nopeimpia samoinkuin maaltapako ja suurimpien taajamien teollistuminen. Esimerkiksi Yhdysvallat, jolle Meksiko on tärkeä puskurivaltio sen ja Etelä-Amerikan valtioiden välissä investoi raskasta teollisuuttaan juuri halvan työvoiman Meksikoon.

ENERGIAVARAT

Meksikossa on runsaasti erilaisia minkä raaleja ja sen öljy- ja luonnonkaasuvarat ovat huomattavat. Näistä vain murto-osa on toistaiseksi hyödynnetty. Tästä huolimatta Meksiko on neljänneksi suurin öljy-



ATS:n ekskursionryhmä Meksikossa paikallisessa suurlähetystössämme.

nyntuottaja maailmassa. Noin puolet tuotannosta menee vientiin. Valtiollinen kaasu- ja tuotanto aloitettiin jo vuonna 1938.

Hiilivarat ovat vajaa 2000 milj. energiatonnia joskin se on koksittunutta eikä näinollen sovi suurenergiatuotantoon.

Taloudelliseen hyötykäyttöön valjastettavissa oleva vesivoima on 80 TWh/vuosi, mikä tarkoittaa nelinkertaista energiamäärää nykyiseen tasoon verrattuna. Potentiaalisesti vesivoimareserviksi arvioidaan 172 TWh/vuosi, mutta se sijaitsee laajalla alueella ja kaukana teollisuuskeskuksista.

OECD/NEA:n tekemän arvion mukaan Meksikon uraanivarat ovat 10725 tU, mistä 7740 tU voitaisiin hyödyntää kotitalaisen helposti. Lisäksi fosfaattikerrostumissa olevan, mutta huonosti hyödynnettävän uraanin määräksi arvioidaan 100 000 tU.

Maalämpöä on laskettu voitavan käyttää sähköenergiatuotantoon 300 eri lähteellä. Tosin tämä energiatuotantotapa on vasta kehityksensä alkuvaiheessa.

Nopean yhteiskunnallisen kasvun takia maa on ollut enemmän tai vähemmän lamassa jo vuodesta 1984 lähtien. Suunnatonta vieraan velkapääoman ottoa noususuhdanteen aikana 1970-luvun loppupuolella seurasi inflaatio ja jo valmiiden kehityssuunnitelmien supistuksia ja rajoituksia, jotka luonnollisesti koskivat myös energiatuotantoa ja ydinvoiman hyväksi-

käyttöä. Vasta näinä vuosina inflaatio on laskenut niin merkittävästi että ulkomalaiset sijoittajat ovat alkaneet suhtautua luottavaisesti Meksikon talouteen. Keskusteluissa on ilmennyt vahva usko ja jopa reaalin mahdollisuus saada paikka Pohjois-Amerikan vapaakauppa-alueella (the North American Free Trade Area; NAFTA) yhdessä Yhdysvaltain ja Kanadan kanssa.

SÄHKÖN HANKINTA

Meksikon sähköhuollosta on vuodesta 1960 lähtien vastannut Energia, Kaivos ja Teollisuusministeriön (Secretaria de Energia, Minas e Industria Paraestatal; SEMIP) alainen valtionyhtiö CEF (Comision Federal de Electricidad), joka myös omistaa Laguna Verden ydinvoimalaitokset.

Viimeisen kymmenen vuoden aikana sähkönkulutus on lisääntynyt keskimäärin 6 %:n vuosivauhdilla. Seuraavan kymmenen vuoden odotusarvo on keskimäärin 7 %/vuosi. Vuonna 1990 bruttotuotanto oli 115 000 TWh asennetun kapasiteetin ollessa 25 GWe.

Ensimmäinen hiiltä polttoaineenaan käytävä suurvoimalaitoskompleksi (4 x 300 MWe) otettiin käyttöön 1982. Tätä ennen hiiltä oli käytetty sähköntuotantoon vain rajoitetusti. Suunniteltu hiilipolttoaineen lisäkäyttö pohjautuu kuitenkin pääasiassa tuontihiileen, tosin laitokset olisivat tarvittaessa nopeasti muutettavissa myös öljykäyttöisiksi.

SEMP:n vuosille 1990-2000 laatima energiaohjelma tähtäsi asennetun sähköntuotantokapasiteetin nostamisen 33.6 GWe:aan vuonna 1994 ja enimmillään 81.4 GWe:aan vuonna 2000. Tähän ohjelmaan sisältyi myös 1650 - 5550 MWe:n suuruisen ydinvoimakapasiteetin lisärentamisen, jolloin ydinenergian osuus kokonaistuotannosta olisi ollut 4-8 %. Kaasun osuus olisi tuolloin ollut enää 30-41 %. Ohjelman toteutus oli tarkoitus aloittaa kuitenkin vaatimattomasti kasvattamalla vain vesi- ja maalämpövoiman osuutta. Suurimman osan energiatarpeesta olisi kuitenkin kattanut edelleen öljy- ja kaasukäyttöiset laitokset (arviolta 53 % asennetusta kokonaiskapasiteetista vuonna 1994).

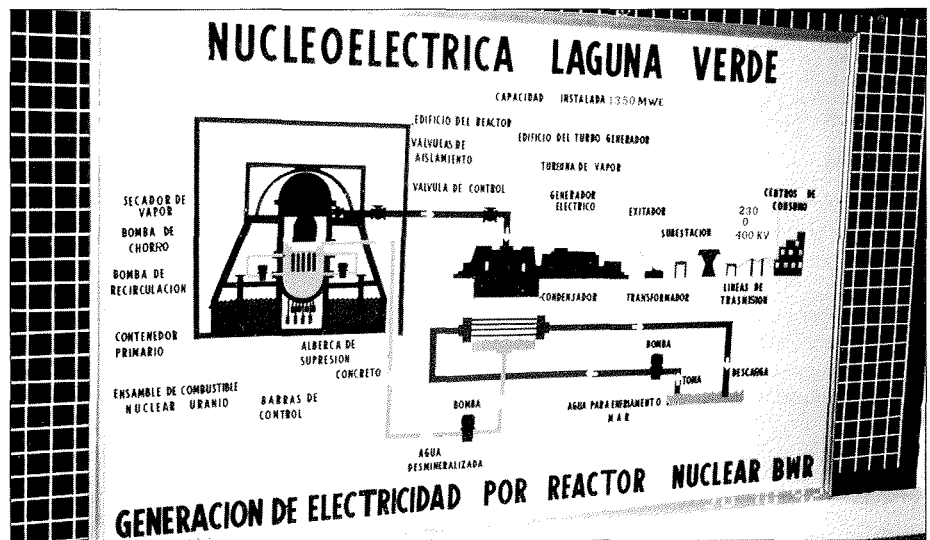
YDINVOIMAOHJELMA

Kun Meksiko 1970-luvulla päätti toteuttaa suunnitelmansa rakentaa ydinvoimalaitoksia, arvioitiin maan öljy- ja kaasuvarat huomattavasti pienemmiksi mitä niiden tänään tiedetään olevan. Ydinvoimaohjelma oli osa kokonaissuunnitelmaa, jonka tarkoituksena oli järjestyä öljyn- ja kaasun käyttöä niitä pidettiin liian arvokkaina sähkön tuottamisen energialähteinä.

Potentiaaliset ydinvoimalaitospaikat karotettiin ja tarjoukset pyydettiin seitsemältä kokeneelta toimittajalta — Asea Atomilta, Atomic Energy of Canada (AECL), Combustion Engineering'ltä, Framatome'ltä, General Electric'ltä GE), KWU ja Westinghouse'ltä. Päätös tilata 2 x 675 MWe:n BWR-reaktoria GE'ltä sekä turpiinigeneraattoriyhdistelmät Mitsubishilä tehtiin 1972 ja rakentaminen Laguna Verdessä, 70 km Veragruzin kylpyläparatiisista pohjoiseen Meksikon Lahden rannalla aloitettiin 1976.

Poliittiset, taloudelliset ja projektihallinnolliset epäselvyydet useiden eri instanssien kesken hidastivat kuitenkin rakennusprojektia aiheuttaen näin myös kustannusten jatkuvan nousun. Niinpä toukokuussa 1982, käyttötekniikan selvitysten ollessa jo pitkälle edenneinä, hallitus ilmoitti että heikon taloudellisen tilanteen takia koko ydinvoimaohjelma on arvioitava uudelleen ja kaikki tarjoukset "palautettava avaamattomina". Laguna Verde II:n "jäädettiin" välittömästi. Kaksi vuotta myöhemmin, vuosille 1984-1988 tehdyn energiasuunnitelman mukaisesti määrättiin Laguna Verde -projekti loppuun saatettavaksi sekä Feasibility Study kaikille uusille laitoksille. Todelliset uraanimarat oli määriteltävä uudelleen mahdollisimman tarkasti sekä kehitettävä kestävät radioaktiivisten jätteiden käsittelyn perusratkaisut. Lisäksi kustannusten laskemiseksi ja yhteiskunnallisen hyödyn saavuttamiseksi uusien laitosten tulisi olla — Laguna Verden laitoksista aikanaan saatu kokemuseräinen tieto hyödyntäen - mahdollisimman pitkälle standardoituja ja laitoitoimitusten suunnattu kotimaisille alihankkijoille.

Yhdysvaltalaisen tutkimuksen mukaan Meksikon hallituksen taloudelliset ja yh-



Laguna Verden vierailukeskuksen laitoskaavio.

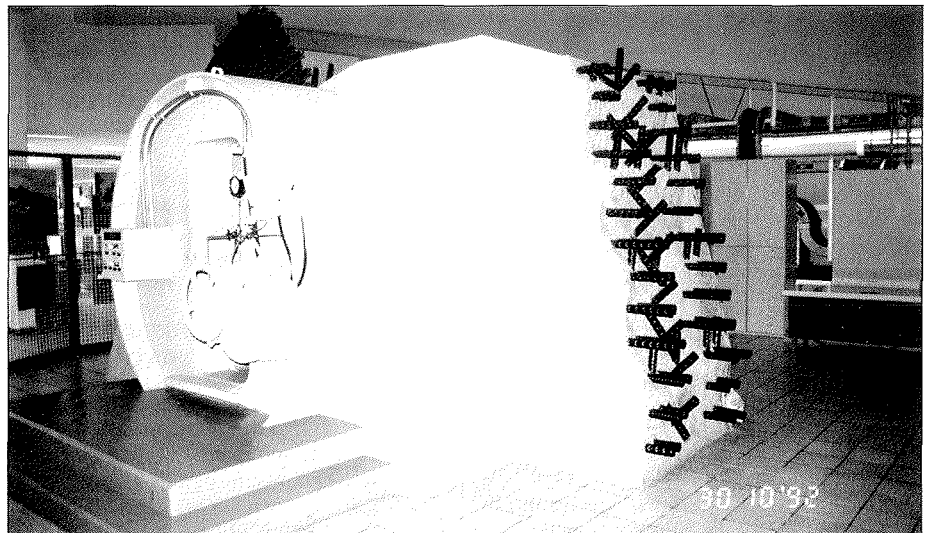
teiskunnalliset ehdot — ottaen huomioon muiden energiavarojen (lähinnä öljyn) hupeneminen — saavutettaisiin vasta kun maassa toimisi lähes moitteettomasti 20 standardoitua ydinvoimalaitosyksikköä. Kyseisten tuotantolaitosten rakentamiseen tarvittaisiin jälleen suunnaton määrä ulkomaista pääomaa. Tämä tarkoittaa myös sitä, että maassa on tarpeeksi osaavaa käyttöhenkilökuntaa ja pätevää ydinenergian eri osa-alueiden teknistä tuki- sekä tutkimus- ja kehitystyövoimaa.

Vaikka käyttöhenkilökuntaa koulutetaan oman simulaattorin lisäksi edelleen ulkomailla — lähinnä Yhdysvalloissa ja Espanjassa — ja peruskoulutusvaatimukseksi on insinöörin tutkinto, on alan tietotaito vielä paljon espanjalaisten konsulttien ja muiden kansainvälisten asiantuntijoiden varassa. Tätä varmistavat vielä INPO'ltä (Institute of Nuclear Power Operation) saatava apu sekä jatkuvat OSART-tarkastukset (neljäs tarkastus vuoden 1993 keväällä).

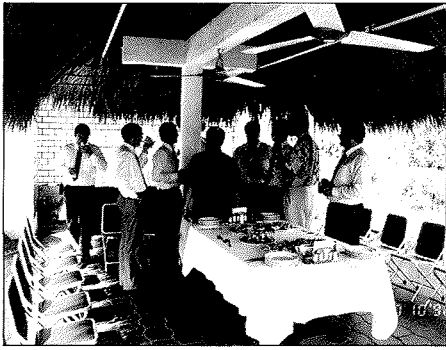
Edellä esitetystä voi jo tehdä johtopäätöksen että Meksikon ydinvoimaohjelma on kehityksensä tienpäässä vähintäänkin pitkäksi aikaa eteenpäin. Ydinjätteiden loppuselvitystyötä ei ole aloitettu, uraani-

varojen selvitysprojektit on lopetettu 1983 ja valtion omistama Uranio Mexicano (Uramex) lakkautettu 1985. Los Amoles'n ja Pena Blanca'n kaivokset on suljettu ja ulkomaisia investointeja tutkimukseen ja kaivostoihintaan ei sallita. Maassa on ajautettu yhä kauemmaksi kunnianhimoisen itsenäisestä polttoainekierrosta edullisine sähkön tuottamisineen ydinenergiaa hyväksi käyttäen.

Sen sijaan tämä presidenttivaltaisen NAFTA'n suuntaan pohjoiseen tähyävä tasavalta haluaa tehostaa jo olemassa olevia energiantuotantomuotojaan kustannusten laskemiseksi, raaka-aineidensa säästämiseksi, kulutuksen minimoimiseksi sekä ympäristön suojelemiseksi. Pienimuotoista ydinenergia-alan tutkimustyötä kuten uraanin jalostusprosessit, polttoaineen valmistus ulkomaisista komponenteista, polttoainetestit ja ICFM-huolto transientianalyysiin ylläpidetään maan tutkimuslaitoksissa (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares; ININ, Electric Research Institute ja Petroleum Institute) sekä yliopiston fysiikan laitoksella (The Institute of Physics of National University). Tällä varaudutaan siihen, että ydinenergiaohjelma joskus käynnistettäisiin uudelleen.



Suojarakennuksen ilmalukkomalli.



Kuuman laituskierroksen päälle olut maistui merenrantahuvilalla.

LAGUNA VERDEN YDINVOIMALAITOKSET

Laguna Verde I valmistui kesällä 1987 vastaanotettuaan käyttöönnotolle myönteisen OSART-raportin. Hallituksen viivytelyiden takia polttoaineen latauslupa saatiin kuitenkin vasta lokakuussa 1988. Laitos kytkettiin valtakunnan verkkoon 13.4.1989 ja kaupallinen käyttö aloitettiin heinäkuussa 1990 — kahdeksantoista vuotta tilauspäätöksestä!

Ensimmäisellä käyttöjaksolla yksikkö tuotti sähköenergiaa 5700 GWh ollen verkossa yhtäjaksoisesti 250 vuorokautta ja lyöden heti yhdysvaltalaisen Limerick I:n nimissä olleen ennätyksen vastaanvanlaisten GE-laitosten sarjassa. CEF:n mukaan käyttökerroin oli tuolloin 88 % ja käytettävyys 99 %. Tänä vuonna Laguna Verde I:n käyttökerroin on tähän mennessä 81 %. Kerrointa on kahden viimeksi kuluneen kuukauden aikana huonontanut syöttövesijärjestelmän sisäpuolisten eristysventtiilien tiivisteissä ilmenneet viat.

Laguna Verde II:sta on tällä hetkellä valmiina 73 % ja se odotetaan siis saatavan kaupalliseen käyttöön 1994. Rakennustyöt olivat keskeytettyinä 1982-1984 niinkuin jo mainittiin. Myöhemmin laitokseen on tehty tiettyjä Laguna Verde I:n rakennus- ja käyttöönottovaiheiden kokemuksiin perustuvia teknisiä muutoksia. Rakennuskustannusten on sanottu kohonneen 3.5 miljardiin US-dollariin ollen noin 300 % korkeampi kuin mitä projektiin alkujaan budjetoitiin.

Tekniset tiedot

Reaktorit ovat siis GE:n toimittamia BWR-5 tyyppisiä 1931 MW_t:n kevytvesilaitoksia, joiden nettoteho on 645 MWe. Pääkiertovirtaus hoidetaan kahdella ulkopumppupiirillä, joissa molemmissa on 10 paineastian sisäpuolista "jet"-pumppua. Jäähdytysvirtausnopeus on 4,876 tn/h. Pääkiertopiirin sekä sisäänmeno- että ulostuloyhteet ovat sydämen ylätason alapuolella. Kannen ruiskutusjärjestelmän yhteydet ovat itse reaktoritankin kannessa. Tankin tukikehikko on pääkiertoyhteiden alapuolella kun se esimerkiksi ABB Ato-min mallissa on höyry-yhteiden yläpuolella niiden välittömässä läheisyydessä minimoiden mahdollisissa lämpö- ja painetransienttilanteissa tämän alueen rasitus-

vaikutukset. Paineastian korkeus on 21.1 m ja halkaisija 5.23 metriä. Reaktorin käyttöpaine on 74 kg/cm², syöttöveden lämpötila 216°C ja höyryn lämpötila 287°C.

Sydämessä on 444 kappaletta 8x8-2-tyyppistä polttoainepalkkia, joiden keskimääräinen rikastusaste on 1.87 %. Sydämen korkeus on 3.81 m ja halkaisija 3.62 m. Palamaa kompensoi ja tehoa sekä tasaa että omalta osaltaan 109 B4C-kadoliniumoksidoidua hydraulismekaanisesti toimivaa säätösauvaa.

Suojarakennuksen suunnittelupaine on 3.17 kg/cm².

Tandem-turpiinin kierrosnopeus on maksimissaan 1800 kierrosta minuutissa.

Laitoksen oma sähkönsyöttö on varmennettu kolme-redundaattisella järjestelmällä. Kullekin redundanssille on oma dieselgeneraattorinsa (2x3.7 MW ja 1x1.7 MW).

Organisaatio

Organisaatiot toiminnallisine vara- ja kommunikointivastuineen ovat latinalaiselle Amerikalle tyyppillisesti hyvin monisäikeiset ja syvät.

Toimitusjohtajalle ovat toiminnallisessa mallissa suoraan raportointivelvollisia seitsemän eri toimialan johtajat samoin kuin voimalaitososaston johtaja, jolle em. johtajat ovat kommunikointivelvollisia. Toimialat ovat tuotanto, tekniikka, rakennus, kuljetus, tietojenkäsittely, talous ja hallinto.

Voimalaitososastoon kuuluvat käyttö-, rakennus-, laadunvarmistus-, tekninen tuki-, hankinta-, hallinto-, kunnossapito- ja reaktori/kemian toimistot.

Laitoksen käytöstä vastaa käyttötoimisto. Käytön tukihenkilöstöä on myös laadunvarmistustoimistossa. Käyttövuorojen kokoonpano muistuttaa tyyppillistä BWR-laitoksen vuoromiehistä. Vuoroja on kuusi ja jokaiseen vuoroon kuuluu lisensioitu vuoropäällikkö, kolme lisensioitua ohjaajaa ja neljä käyttömiestä. Ohjaajalupaann vaaditaan noin neljän vuoden koulutus, joka annetaan tällä hetkellä jo pääasiassa omalla simulaattorilla, sisäisellä koulutuksella ja käytännön harjoittelulla. Kaikki ohjaajat ovat siis peruskoulutukseltaan insinöörejä.

Käyttövuorojen lisäksi vuorotyötä tehdään mm. jätteidekäsittelyssä, säteilyvalvonnassa ja kunnossapidossa. Tämän ns. avustavan henkilöstön määrä on 70 henkilöä vuoroa kohti.

Kunnossapidon jaokset ovat mekaniikka, sähkö, instrumentti ja yleistekniikka.

Säteilysuojelu, käyttö-, laboratorio- ja analyysitukihenkilökunta toimii teknisessä tukitoimistossa. Tämän henkilökunnan vahvuus on 27, joista 7 toimii päällikkötehtävissä.

Reaktori/kemiantoimiston reaktorijaoksessa on päällikön lisäksi kaksi reaktori-

fysikkoo ja kaksi reaktoritekniikkaa sekä kemianjaoksessa päällikön lisäksi kaksi kemistiä ja 5 laboranttia.

Säteilyannokset ja annosvalvonta

Vuoden 1991 kollektiiviannos oli 5.1 manSv, mistä yksistään polttoaineen vaihtoseisokin osuus 3.9 manSv. Kuluva vuoden annoskertymä on jo 5.0 manSv, mistä edellämainittujen eristysventtiilien suunnittelemttomien korjausseisokkien osuus 444 mmanSv. Alihankkijoiden osuus tästä oli 292 mmanSv oman kunnossapitohenkilöstön "kerättyä" 86 mmanSv:n ammattiryhmäannoksensa. Korkeimmat henkilöannokset ovat olleet 20 mSv:n luokkaa ja keskimääräinen henkilöannos noin 2 mSv.

Työannosvalvonta toteutetaan ranskalaisen MERLIN GERIN SYDOS 31-41 -järjestelmän avulla.

Vuodelle 1993 suunniteltu annosten pienentämishohjelma sisältää mm. valvontakamerahankinnat turpiinihalliin sekä PS:ään polttoaineenvaihtoseisokkien aikaisiin työkohteisiin, työdosimetrimäärän lisäämisen, hälytysvalojen asentamisen dry-welliin sekä investoinnit dekontaminointilaitteistoon.

Vesikemia

Kemian laboratorio seuraa ja raportoi neljännesvuosittain reaktoriveden johtokykyä (0.123 μS/cm; ens. nelj./92 ja 0.136 μS/cm; toinen nelj./92), kloridipitoisuutta (1.6 ppb ja 3.1 ppb), natriumpitoisuutta, sulfaattipitoisuutta (4.4 ppb ja 5.6 ppb), happipitoisuutta sekä morfoliien käyttöä PH-valvontaan.

Juomaveden happipitoisuus vaihtelee kuukausittain 67-89 ppb. Alaraja-alueena pidetään 20-50 ppb:tä.

Polttoaineen käsittely ja ICFM

Täyden tehoajon aikaiset jalokaasupäästöt (B/s) kuluva vuoden kahden ensimmäisen neljänneksen aikana ovat vaihdelleet seuraavasti: (Kr-85m; 2.4-6.2), (Kr-87; 14.8-40.7), (Kr-88; 9.7-26.5), (Xe-133; 0.7-1.5), (Xe-135; 9.0-24.2), (Xe-138; 213.3-769.3).

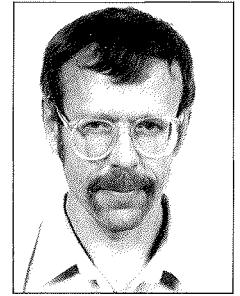
Laitoksella ei ole ollut polttoainevuotoja.

Polttoaineen käyttöä valvotaan BWR-reaktoreilla tyyppillisin ICFM-rutiinein, sekä tehonmuutosnopeuksia normaalein PCI-rajoituksin.

FM Tapio Vähämaa on Teollisuuden Voima Oy:n Olkiluodon laitoksen säteilysuojelupäällikkö, 938-3815510

Insinööri Altti Heikkilä on Teollisuuden Voima Oy:n Olkiluodon 1-yksikön vuoropäällikkö, p. 938-3814000

”LLNL — Laserfuusiotutkimuksen ja laserisotooppiseparoinnin Mekka”



Superpommin rakentamiseen perustettu Livermoren ydintutkimuskeskus on uskollisesti vienyt eteenpäin alkuperäistä tehtäväänsä, mutta samalla toiminnasta on versonut merkittäviä rauhanomaisia sovelluksia. Paineastiassa hallitusti suoritetut miniatyyriluokan fuusioräjäytykset ovat yksi tapa toteuttaa tulevaisuuden ehtymätön energiasampo — fuusioreaktori. Livermore on laserfuusiotutkimuksen johtava laboratorio ja sen jättipulssilaser on maailman tehokkain. Lasertekniikkaa voidaan käyttää myös uraanin ja muiden alkuaineiden isotooppien erotteluun. Livermoren AVLIS isotooppiseparatiomenetelmä on jo lähellä teollista prototyyppiastetta. Rikastustyön kallistumisen myötä AVLISin edut pääsevät täysipainoisesti esiin.

Livermoressa, noin tunnin ajomatkan päässä San Franciscosta itään, sijaitsee eräs USA:n tärkeimpiä ydintutkimuskeskuksia—Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL). Tutustuminen Livermoren laserfuusiotutkimukseen sekä laserisotooppiseparointiin tarjosi retkeläisille silmäyksen alan huipputeknologiaan.

Teller halusi oman laboratorion — LLNL syntyi

Syksyllä neljäkymmentä vuotta täyttäneen laboratorion syntyhistoria on varsin mielenkiintoinen. Viisikymmenluvun vaihteessa USA:n ydinasetutkijoiden yhteisö oli jakautunut kahtia fissiopommin tuhovoiman sekä kylmän sodan nopean leviämisen aiheuttaman hämmennyksen vuoksi. 'Oppenheimerlaiset' edustivat ydinaseiden kehitystyössä pidättyvää kantaa, jonka taustalla oli aito huoli siitä mihin maailma oli menossa mutta myös epäilyt uuden superpommin — vetypommin—tekemisestä toteutettavuudesta sekä sotilaallisesta käyttökelpoisuudesta. Vetypommin 'isä' Edward Teller sitävas-toin ajoi voimakkaasti fuusioräjähteiden intensiivistä kehittämissuunnitelmaa. Vähem-



Jättipulssilaser NOVA:n päätelevahvistinhaaraja.

mistä edustava Teller riitautui mm. Los Alamosin johtajan Norris Bradburyn sekä vetypommin toisen keksijän Stanislaw Ulamin kanssa.

Vuoden 1951 alkupuolella oli vaikutusvaltainen hiukkasfysiikan tutkija, Ernest Lawrence ehdottanut Tellerille uuden laboratorion perustamista Livermoreen, jossa entuudestaan sijaitsi Berkeley Radiation Laboratoryn kiihdyttimä. Marraskuussa 1951 Teller erosi Los Alamosista, palasi Chicagon yliopistoon ja alkoi lobata kilpailijan perustamista Los Alamosille. Atomienergiakomissio suhtautui aluksi nuivasti Tellerin ehdotuksiin, mutta kun Teller onnistui vakuuttamaan armeijan kenraalin J. A. Doolittlen ja silloisen puolustusministerin R. Lovettin fuusioaseiden strategisesta merkityksestä, päädyttiin syksyllä 1952 perustamaan Livermoreen tutkimusyksikkö tehtävänsä uuden superaseen jatkokehittäminen.

Vuosien saatossa LLNL on monella alalla ohittanut emoyksikkönsä Los Alamosin. Kuluneiden neljänkymmenen vuoden aikana LLNL:n painopiste on ollut asetutkimusohjelmissa, joista tosin on versonut lukuisia siviilisovelluksiaakin. Tyypiesimerkki on laserfuusiotutkimus, jonka juuret juontavat vetypommiin. ATS:n retkikunnalle Dr. Howard Powell kuvasi LLNL:n laserfuusio-ohjelmaa ja esitteli Livermoren jättipulssilaserin NOVA:n.

Fusion periaatteet

Vedyn raskaiden isotooppien, deuteriumin sekä tritiumin fuusioitumisen esteenä on ytimien välinen sähköinen poistovoima. Vasta kun fuusiopolttoaine kuumennetaan hyvin korkeaan lämpötilaan, voivat ytimet liike-energiansa turvin voittaa sähköisen repulsion ja fuusioreaktiot käynnistyä. Jos kuuma polttoaineseos on riittävän tiheä, fuusioreaktioita alkaa tapahtua hyvin runsaasti. Reaktioissa vapautuvat energettiset heliumytimet jarruuntuvat ympäröivään aineeseen ja ylläpitävät korkean lämpötilan — fuusiopolttoaine syttyy.

Fuusiopommi

Riittävän kuuma ja tiheä fuusiopolttoaine syttyy fissioräjähteen sydämessä. Miniatyyrikoossa sama tilanne voidaan toistaa huipputehokkailta laser-, elektroni- tai ionisuihkuilla. Fuusiopolttoaine on pienessä, ontossa lasipallossa, jonka pintaan ammutaan samanaikaisesti 10-20 laserpulsssia eri suunnilta. Kohtion pinta höyrystyy valtavalla nopeudella, jolloin rekylliefektin vaikutuksesta kohtion sisäsiin syntyy keskustaen eteneviä voimakkaita iskuaalloja. Kun iskuaallot törmäivät keskustassa, pieni alue polttoainetta kuumenee yli fuusioreaktioiden syttymispisteen (n. 108 K). Toisaalta syttymis-

aluetta ympäröivä polttoaine on iskuaaltojen vaikutuksesta puristunut hyvin suureen tiheyteen, jolloin fuusiopalo leviää siinä nopeasti.

Kaupallinen fuusio — peruseriaate

Toimiva fuusioreaktori voisi rakentua edellä esitetyllä ns. inertiaalikoossapidon periaatteelle; toinen ratkaisutapa perustuu kuumen fuusiopolttoaineen magneettiseen koossapitoon (esim. Tokamak-laitteet). Fuusiokohtion eli pelletin pienen koon ansiosta inertiaalikoossapidettyjä mikroräjähdyksiä voidaan hallitusti suorittaa painekammiossa useita kappaleita sekunnissa.

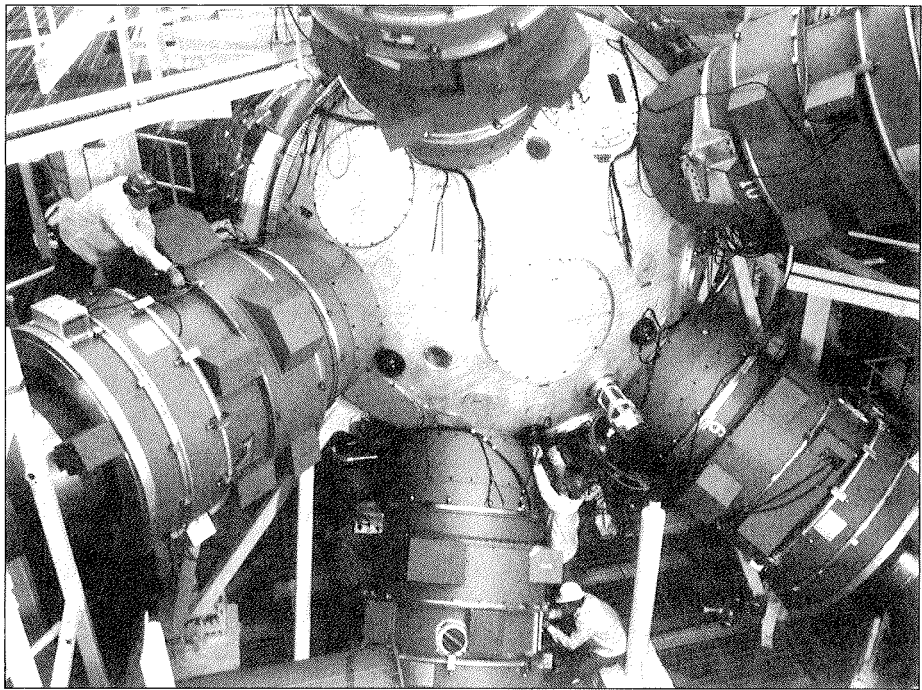
Fuusioreaktorin polttoainepelletissä on alle kymmenen milligrammaa 50:50 deuterium-tritium seosta. Lasihelmen säde on tyypillisesti noin 2 mm. Suurimmillaan helmen pintaan kohdistuva laservalon tehoitiheys on luokkaa 1015W/cm². Ablatiopaine nousee tällöin noin 100 megabaarin; pallogeometrian vuoksi polttoaineen sisäosien puristusaine kohoa jopa 200 gigabaariin! Puristusvaihe kestää noin 10 nanosekuntia ja syttymisen tapahtuttua varsinainen fuusiopalo vajaat 0,1 ns. Energiaa minifuusioräjähdyksessä vapautuu noin 600-1000 MJ ts. fuusiotehon huippuarvo olisi 1018-1019 W. Muutaman milligramman massasta ja äärellisestä energiamäärästä (vrt. 1 kilotonnin räjähdyksen energia vastaa 4,18 1012J) johdun paineisku on siedettävä. Toistotaajuudella viisi räjähdytystä sekunnissa reaktorin tuottama keskimääräinen sähköteho olisi n. 1 GW.

Maailman tehokkain laser—NOVA

NOVA:n laseroivana aineena käytetään neodyymilasia. Valon aallonpituus on joko 1064 nm tai epälinearisissa optisissa kiteissä aikaansaatu toinen tai kolmas harmoninen ts. 532 nm tai 355 nm. NOVA:n peräkkäisissä vahvistinasteissa muokataan ja vahvistetaan pienteholaserista tuleva muutaman millijoulen pulssi lähes sadan kilojoulen loppuenergiaan. Pulssin pituus on nanosekunnin luokkaa, joten NOVA:n huipputeho on lähes sata terawattia. Hyvin intensiivinen valo aiheuttaa vaurioita optisissa komponenteissa, jonka vuoksi NOVA:n pääteasteissa valo joudutaan jakamaan kymmeneen eri haaraan, joista tulevat pulssit fokusoidaan räjähdytyskammiossa kohtion pintaan. Laserissa on kaikkiaan tuhansia komponentteja, joita ohjaa varsin mittava tietokonejärjestelmä. Jalkapallokentän kokoisen laserin valoteho ohjataan muutaman mikrometrin tarkkuudella fuusiokohtioon. NOVA:lla voidaan laukaista vain muutamia pulsseja päivässä optisten komponenttien hitaan jäähtymisen vuoksi.

Räjähdystekniikka

Pellettejä räjähdytetään sekä laservalolla suoraan (direct drive) että myös sellaisissa konfiguraatioissa, joissa ne sijoitetaan kapseliin, jonka seinämät kuumennetaan laserpulsseilla ja seinämien lähettämä



Minifuusioräjähdyksiin käytettävä kammio.

röntgensäteilyn paine puristaa varsinaisen kohtion fuusion syttymispisteeseen (hohtraum pellet).

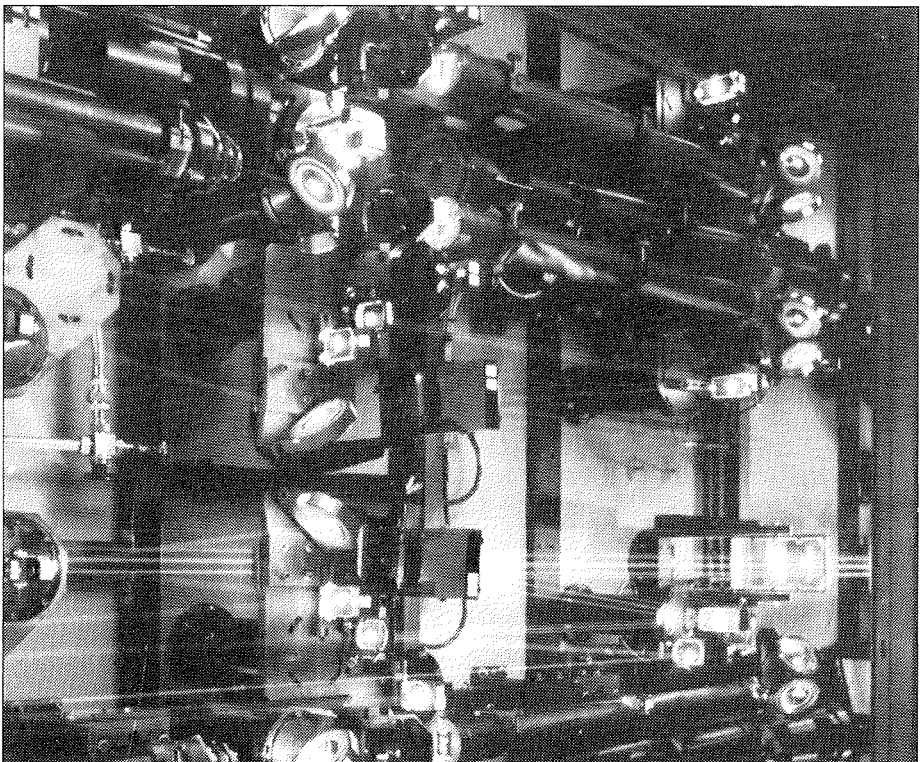
Perusvaikeuksia laserfuusiokohtioiden räjäyttämiseksi ovat riittävän symmetrinen kompressio, jota pelletin keskialueen syttyminen edellyttää, valtavien tehoitehyksien ja paineiden aiheuttamat epälineaariset ilmiöt sekä ennenkaikkea jättipulssisarjien tekniset ongelmat.

Laserfuusiolla on selviä yhtymäkohtia ydinaseisiin, joten eräät tutkimustulokset on julistettu salaisiksi. Kokeissa syntyvillä äärimmäisen intensiivisillä röntgen- ja neutronileimuksilla ja niiden diagnos-

tiikalla on myös ilmeisiä militaarisoveluksia. Livermoren laserfuusiotutkimusta avoimesti perustellaankin ensi sijaisesti strategisena tutkimuksena. Rauhantomaisen fuusioreaktorin kehittälyötä tehdään, mutta painotuksessa se on vasta pitkän tähtäyksen tavoite. Toiseen fuusioreaktoriratkaisuun, Tokamakiin, verrattuna laserfuusioreaktorit eivät kuitenkaan ole kuin enintään rinnanmitan jäljessä.

Uraanin rikastus laserilla

Asekehittely sekä laboratorion laserosaaminen ovat taustana myös LLNL:n paostukselle laserisotooppiseparaatiomene-



Väriaianelaserin Optiikkaa.

telmien tutkimukseen. Livermoren tekniikka kutsutaan nimellä AVLIS = Atomic Vapor Laser Isotope Separation. Menetelmää on ensimmäiseksi sovellettu plutoniumin isotooppien separointiin (ns. special isotope separation hanke), mutta se soveltuu lähes minkä tahansa aineen isotooppierotte- luun mukaanlukien uraanin. AVLIS-han- ketta esitteli meille Dr. J. Early.

Eri alkuaineiden atomit voidaan ionisoida muutaman (2-3) fotonin avulla kiipeämäl- lä atomin viritettyjen tilojen kautta ioni- saattorajalle. Atomien energiatilojen väli- nen ero on kullekin alkuaineelle ominai- nen suure, joten hyvin monoenergeettisil- lä fotonisuihkuilla, kuten lasersäteillä, voidaan valikoiden ionisoida haluttu al- kuaine muiden alkuaineiden seasta. Sa- man alkuaineen eri isotooppienkin välillä on pieniä energiatilojen eroja, joten ja- lostetuimmassa muodossaan tämä mene- telmä pystyy selektiivisesti ionisoimaan saman aineen eri isotoopit.

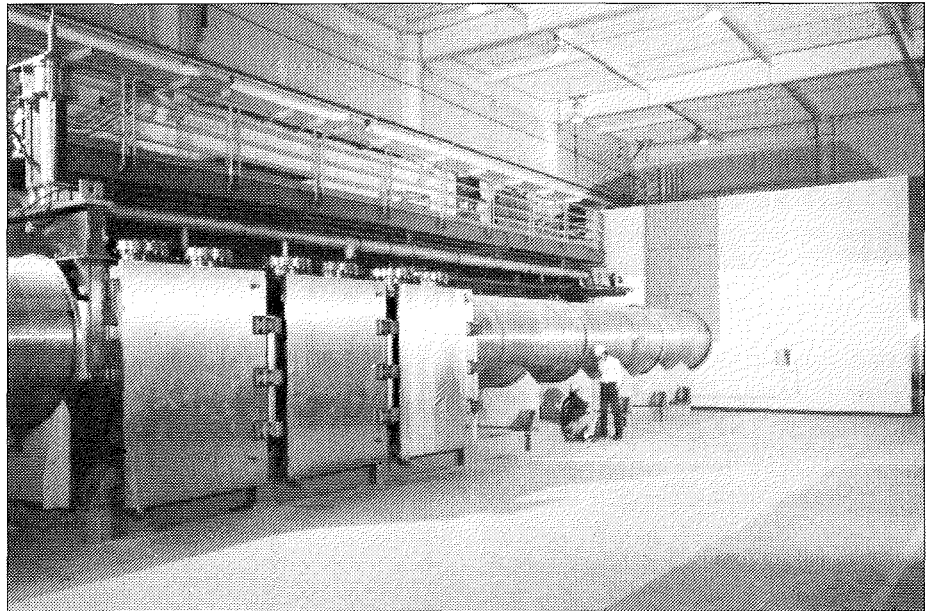
AVLIS-menetelmä

Uraanin isotooppirikastukseen kehitetyssä AVLIS-menetelmässä sula luonnonuraani ensi höyrystetään elektronisuihkuilla. Tark- kaan viritetyillä, kapeakaistaisilla lasereilla voidaan höyrystyneistä atomeista valikoiden ionisoida U235 atomit U238 atomien säily-ässä neutraaleina. Positiivisesti varautuneet U235-ionit kerätään negatiiviselle elektrodil- le, jossa atomit neutraloituvat, tiivistyvät uraanisulaksi, joka vuorostaan tippuu keruuastiaan. Köyhtynyt uraanivirtaus ti-ivistyy ja kertyy omaan astiaansa.

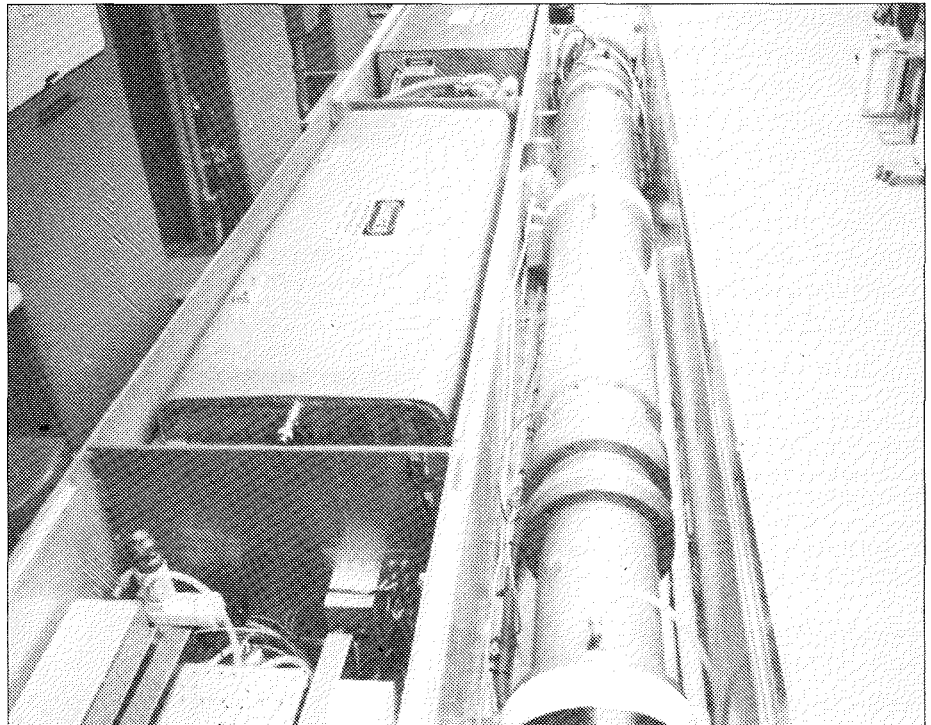
Uraani-isotooppien erottelun vaikeutena on isotooppien energiaerojen välinen pie- nuus. Tehokas separointi edellyttää hyvin kapeakaistaista laservaloa. Lisäksi lase- rien keskitehon on oltava varsin suuri, jotta pystyttäisiin erottamaan makro- kooppisia ainemääriä. Uraaniatomin ioni- soimiseen tarvitaan kolme noin 500 nm aallonpituista fotonia, joten 1000 W la- serteolla pystytään käsittelemään uraa- nia noin 10 tonnia vuodessa. Jatkuvatoi- mista, kyllin kapeakaistaista, kilowatin keskitehoista laseria, joka lisäksi toimii keskeytyksittä useita viikkoja, ei vielä kaupan hyllyltä saa.

Livermoren AVLIS laitteistossa on kupari- höyrylaserilla pumpatut väriainelaserit. Kuparihöyrylaserin aallonpituus on kiin- teä (511 nm tai 578 nm) ja hyötysuhde noin 1%. Väriainelaseereissa aallonpituudet on viritettävissä ja ne valitaan nimenomaan U235:n energiatiloja vastaaviksi. Konversio- suhde pumppulaserin tehosta väriainelaserin tehoksi on lähes 50%. Joskin kummatkin kyseessä olevat lasertyytit ovat laajasti käyt- tössä tutkimuslaboratorioissa, niiden suori- tuskvyyden nosto AVLIS-spesifikaatioita vas- taaviksi on LLNL:n erikoissaavutus. Muun muassa suurjännite-elektronikassa kytki- minä tavallisesti käytetyt thyatronit on korvattu puolielektronikalla ja esimerkiksi valonsäteiden siirtämiseen käytetään optisia kuituja, joiden tehonsiirtokyky on jopa sadan watin luokkaa.

Laserin käyttövarmuuden takaamiseksi laitteisto on modulaarinen rakenteeltaan,



Uraanin isotooppiseparaatiokammio.



AVLIS:n 1500 W:n kuparihöyrylaser.

jolloin yksittäisen komponentin huolto ei heikennä koko systeemin suoritusastoa. Tämä on tärkeä vaatimus, sillä mm. kuparihöyrylaserien huoltoväli on toistaisek- si alle 1200 h. Nykyisessä konfiguraatios- saan AVLIS-systeemin kuparihöyrylase- rien keskiteho on 9000 W. Laservalo koos- tuu yksittäistä muutaman kymmenen nano- sekunnin pituisista pulseista, joiden toisto- taajuus on luokkaa 5000 kpl sekunnissa.

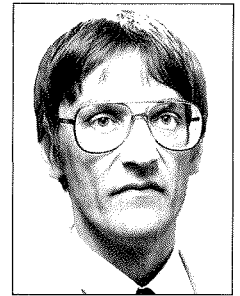
Helposti myytävä rikastusmenetelmä — ydinaseteknologian leviämiskäsi on pieni

AVLIS-menetelmässä uraanin rikastusaste ei yllä kuin muutamaan prosenttiin. Syy- nä on prosessiin liittyvät fyysikaaliset ra- joitukset. Piirre on selvä etu proliferaati- okysymyksiä ajatellen. Metallisen uraanin takia AVLIS-menetelmän kemialliset pros- essit eroavat merkittävästi muissa rikas- tusmenetelmissä käytettävistä. AVLIS:in

prosessikemia on suunniteltu siten, että aineiden sisäinen kierrätys maksimoituu, jolloin laitos tuottaisi hyvin vähän jätteitä.

Arvioiden mukaan AVLIS-menetelmällä tuotetun rikastustyön hinta olisi noin 25-50 /SWU, kun nykyhintana on luokkaa 120 /SWU. Hintaetu syntyy sekä pienem- mistä pääomakustannuksista (tekijä 10) että pienemmästä energiankulutuksesta (tekijä 10-20). Tällä hetkellä on jo raken- nettu yksi täysimittainen laserlinja, jonka kapasiteetti on noin 2 MSWU/a—kaupal- lisessa laitoksessa linjoja olisi puolisen tusinaa. Tekniikan tuloa ilmeisestikin jar- ruttaa enää markkinoilla oleva uraaniri- kastuksen ylikapasiteetti.

Tkt Rainer Salomaa on TKK:n tek- nillisen fysiikan laitoksen professori ja ATS:n puheenjohtaja, p. 90-451 3199.



VIERAILU ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE'SSA

Esitelmä- ja keskustelutilaisuudessa Electric Power Research Institutessa (EPRI) ATS:n Amerikan ekskursiolla käsiteltiin EPRI:n ydintekniikkaan liittyviä tutkimusohjelmia, niiden tämän hetken tilannetta ja tulevaisuutta. Pääpaino on turvallisuuden kehittämässä, nykyisten laitosten käytettävyyden ja kunnossapidon parantamisessa ja kustannusten karsimisessa sekä ydinjätehuollon kehittämisessä. Samoin tavoitteena on lisensointi-menettelyn yksinkertaistaminen. ATS:n puolelta esittelimme Suomen tämän hetken ydinvoimalaitostilannetta sekä ydinjätehuollon tilannetta.

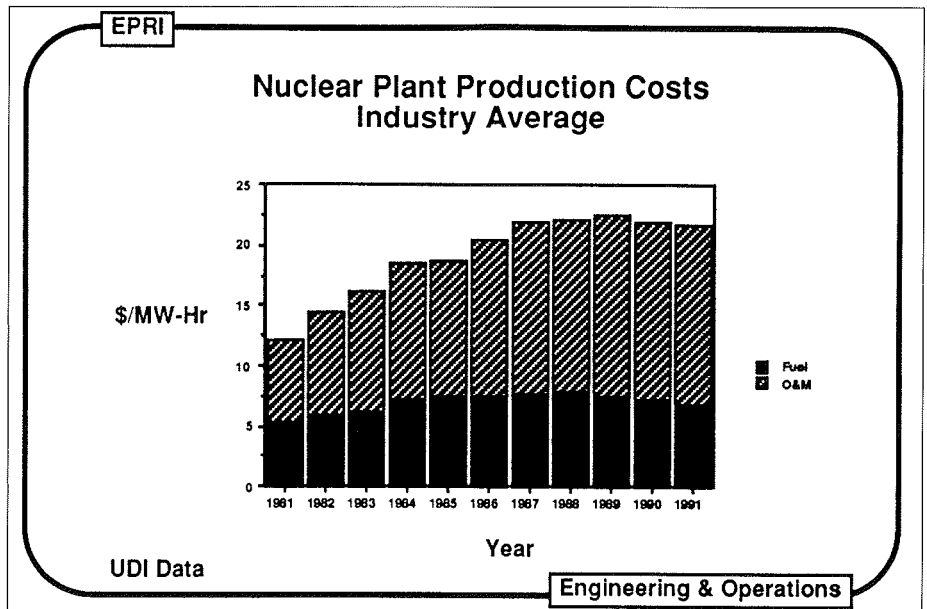
Viimeinen vierailukohteemme oli yksi USA:n merkittävimpiä energiaan liittyvän tutkimuksen keskuksia: Electric Power Research Institute (EPRI), jonka ydinturvallisuusosasto oli järjestänyt esitelmä ja keskustelutilaisuuden. Isännät esittelivät meille EPRI:n toimintaa ja projekteja lukuisilla esityksillä. Seuraavassa on koottu parhaimmat palat näistä esityksistä.

YLEISESITYS YDINTEKNISISTÄ TURVALLISUUSTUTKIMUKSISTA

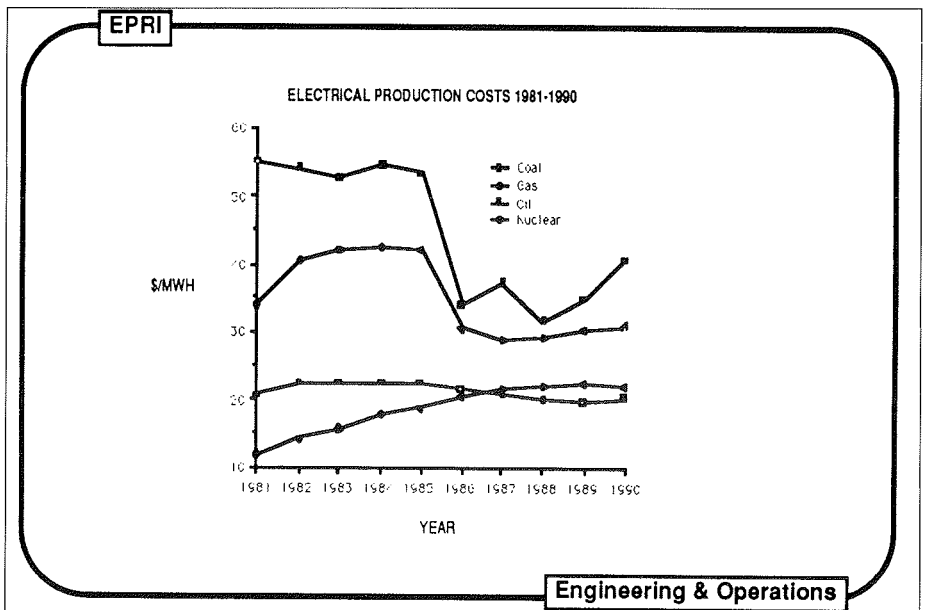
Bindi Chexal

EPRI:n Ydinteknisen Turvallisuusosaston visiona on olla ydinteknisen turvallisuustutkimuksen, kehityksen ja toteutuksen johtava organisaatio USA:ssa ja maailmanlaajuisesti. Turvallisuustutkimuksiin käytetään vuodessa noin 35 M ja raportteja syntyy noin 70-200 kpl vuodessa. Turvallisuustutkimusten tärkeimmät suunnitellut tavoitteet ovat:

- 1996 mennessä luoda vakavien onnettomuuksien edellyttämä tietämys ja teknologia säännösten luomiseksi, voimalaitosten arvioimiseksi ja tarvittavien toimenpiteiden toteuttamiseksi.
- 1997 mennessä saattaa valmiiksi seismisen suunnittelun ohjeet.
- 2000 mennessä luoda tekniset perusteet ydinteknisen turvallisuuden ja lisensoinnin kustannusten optimoimiseksi.
- 2000 mennessä kehittää ja demonstroida eri laitostyypeille soveltuvat integroidut automaatio- ja säätöjärjes-



Ydinvoiman tuotantokustannukset ja erityisesti käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat nousseet USA:ssa viimeisen 10 vuoden kuluessa lähes kaksinkertaisiksi.



USA:ssa hiilivoiman tuotantokustannukset alittavat jo ydinvoiman.

telmät turvallisuuden lisäämiseksi, käyttö- ja kunnossapitokustannusten pienentämiseksi, laitoksen suorituskyvyn parantamiseksi ja vanhan automaation häiriöiden pienentämiseksi.

OHJELMISTO KORROOSION VAIKUTUSTEN ARVIOIMISEKSI

Bindi Chexal

USA:ssa korrosio aiheuttaa noin 5 % epäkäytettävyyden ydinvoimalaitoksille ja

korroosion hallinta on tärkeää käyttö- ja kunnossapitokustannusten kurissapitamisessa. EPRI on panostanut huomattavasti korroosiotutkimuksiin ja eräänä tuotteena on syntynyt CHECWORKS (Chexal-Horowitz Engineering Corrosion Workstation) ohjelmisto, jonka avulla voidaan ennustaa korroosiolle alttiit paikat, korroosion syyt ja mihin korroosiotuotteet kulkeutuvat. Ohjelma ottaa huomioon hyvin monia korroosioon liittyviä seikkoja, kuten esim. laitteen tai putken mate-

riaaliominaisuudet, geometrian, tarkastustulokset, kuormitukset, väliaineen kemialliset ja virtaukseen liittyvät mekaaniset ominaisuudet.

Ohjelmiston ensimmäinen normien mukaan pätevytetty versio ottaa huomioon virtauksen aiheuttaman korroosion, ja ohjelmisto on tarkoitus luovuttaa ohjelmassa mukana oleville mm voimalaitoskäyttäjille tämän vuoden joulukuussa. Seuraavat täydennetyt versiot saadaan käyttöön noin vuoden välein.

INHIMILLISEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI JA LISÄÄMINEN

Avtar Singh

Ohjelman tavoitteena on lisätä ydinvoimalaitosten turvallisuutta, luotettavuutta ja käytettävyyttä vähentämällä inhimillisiä virheitä laitoksen käytön eri tilanteissa. Samoin tavoitteena on hankkia analyysimenetelmät ja tietokannat todennäköisyyspohjaisia turvallisuusanalyysijä varten.

Teknisesti ohjelma on jaettu inhimillisten tekijöiden, tiedonkulun, toimintaohjeiden ja näiden yhteisvaikutusten tutkimiseen ja analysoimiseen.

KORKEA-AKTIIVISEN JÄTTEEN JA KÄYTETYN POLTTOAINEEN VARASTOINTI

R.A.Shaw

Vuoteen 2000 asti EPRI on budjetoitunut noin 120 M aktiivisen jätteen käsittelyn tutkimuksiin. Tästä käytetyn polttoaineen kuljetuksen ja varastoinnin kehittämiseen käytetään noin 50 M, matala-aktiivisen jätteen varastointiin ja käsittelyyn noin 45 M, korkea-aktiivisen jätteen käsittelyyn noin 20 M ja laitosten käytöstäpoistoon n 5 M .

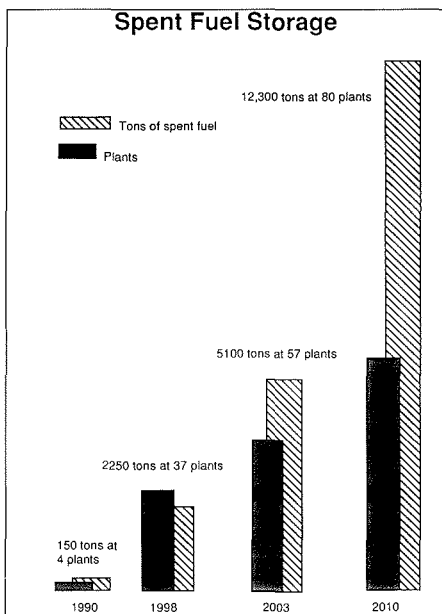
EPRI:n käytetyn polttoaineen varastointitutkimusohjelman tavoitteena on kehittää erityyppisiä lisensioitavia, kustannuksia säästäviä käytetyn polttoaineen varastointimenetelmiä, jotka täyttävät myös käyttäjien lisääntyvät tarpeet polttoaineen varastoinniksi laitospaikalla.

KATSAUS SUUNNITTELUUN JA KÄYTTÖTOIMINTAAN

Norris Hiroto

Hirohoton mukaan syitä ydinvoimakustannusten nousuun Yhdysvalloissa ovat mm:

- käyttöhenkilökunnan määrä laitoksilla saattaa olla jopa kaksinkertainen suomalaisiin laitoksiin verrattuna. Samoin engineering-työtä tehdään paljon.
- keskimääräinen laitosten käytettävyyden on noin 60 %, kun Suomessa vastava on noin 90 %
- vuosihuollon pituus on keskimäärin yli 70 vrk, kun Suomessa on noin 20 vrk



Ydinjätteiden varastointitarpeiden lisääntyminen USA:ssa.

- rakennusajat ovat olleet noin 13 vuotta kun Suomessa on ollut 6-7 vuotta
- säteilytasot laitoksilla ovat huomattavasti korkeammat kuin Suomessa.

Kustannukset, käytettävyyden, henkilökunnan määrä jne vaihtelevat kuitenkin huomattavasti eri laitoksilla. Tällä hetkellä kustannusten nousu on saatu pysähtymään.



Kirjoittaja kertomassa Suomen ydinvoimahankkeista.

mään ja osittain 2 viimeisen vuoden aikana jopa laskemaan. Käytettävyyden ovat parantamassa ja viranomaismääräyksiä ollaan yksinkertaistamassa, tästä esimerkkinä lokakuussa ilmestynyt uusi laki.

EPRI:n ohjelman päätavoitteet suunnittelun ja käyttötoiminnan parantamiseksi ovat seuraavat:

- elinjakson hallinta sisältäen mm lisensiointimenettelyn uudistamisen, eliniän kehittämissuunnitelmia, vanhenemisen tutkimista, eliniän tutkimusmenetelmien ja työkalujen kehittämistä, esim. kaapelien eliniän tutkimusta.
- voimalaitoksen suorituskyvyn parantaminen sisältäen mm laitoksen lämpöteknisen suorituskyvyn arvioimisen, reaktoripaineastian haurastumiseen liittyvät tutkimukset ja väsymisen hallintaan liittyvät tutkimukset.
- käyttö- ja kunnossapitokustannusten alentaminen sisältäen mm käyttö- ja kunnossapitoteknologian kehittämiseen esim. kalibroinnin, mittauksen, informaatiojärjestelmien venttiilien ja toimilaitteiden, vesikemian ja ennalta arvioivan kunnossapidon kehittäminen ja järjestyminen, inhimillisten tekijöiden parantaminen.

Isäntien esitysten lisäksi seminaariin kuului myös vierailta etukäteen pyydetty esitelmä. ATS:n matkaryhmän asiantuntijasta oli valittu kaksi kohdetta: Suomen ydinjätehuolto-ohjelma, R. Salomaa ja Suomen ydinlaitostilanne, P.Niemi. Kerroimme Suomen tilanteen ja esitysten jälkeen käyty keskustelu oli vilkas. Isännät olivat hyvin perillä tilanteestamme ja seuraavat uuden ydinvoimalaitoshankkeen kehittämistä mielenkiinnolla. Kaiken kaikkiaan Suomen nykyisten ydinvoimalaitosten ja jätehuollon saavutukset ovat sellaiset, että niitä arvostavat amerikkalaisetkin ammattipiirit.

DI Pertti Niemi on IVO Engineering Oy:n voimalaitosyksikön johtaja, p. 90 5082211

ITÄ JA LÄNSI KOHTASIVAT PRAHASSA ENS:N TOPFORM'92 ALOITTI KOKOUSSARJAN



Pääjohtaja Antti Vuorinen esittämässä niin itäisille kuin läntisillekin TOPFORM'92:n osallistujille ydinvoiman turvallisuusperiaatteita. Avajaistilaisuudessa vasemmalta Ruotsin SKI:n Lars Högberg, ENS:n puheenjohtaja Colette Lewiner, isäntämaan seuran puheenjohtaja Karel Wagner, Nuclear Electricin Brian Edmondson, Paksin Jozsef Ronaky ja yliolanneittimen takana NPI:n Friz Ruess.

Lokakuun 18.-21. pidettiin Prahassa European Nuclear Societyn (ENS) TOP-FORM'92-konferenssi, joka oli ensimmäinen järjestön uudesta TOP-kokousten sarjasta. Se oli myös ensimmäinen suuri kokous, jossa idän ja lännen ydinvoimalaitosten käyttäjät tapasivat toisensa. Kokoukseen osallistui noin 300 henkilöä, joista sata Keski- ja Itä-Euroopan maista.

Tämä kolme päivää kestänyt kokous keskittyi käyttötekniikkaan (The Safe and Reliable Operation of LWR NPPs), ja mukana oli edustajia voimalaitoksilta, muusta teollisuudesta sekä viranomaistoilta. Kokouksen yhteydessä järjestettiin näyttely, jossa alan teollisuus esitteli tuotteitaan. Osanottajilla oli mahdollisuus osallistua retkiin Tsekinmaan ja Slovakian voimalaitoksille ja Skodan tehtaille.

Kokouksen avannut Ranskan SGN:n toimitusjohtaja ja ENS:n presidentti Colette Lewiner totesi kokouksen olevan ensimmäinen todellinen pan-eurooppalainen ydinvoima-alan kokous. Hän toivoi, että tämän kokouksen tapaan jatkossakin idän edustajille voitaisiin antaa alennusta osanottomaksuista, kuten tässä kokouksessa. Tähän ENS on pyrkinyt saamaan apua Euroopan Yhteisöltä.

Suomalaiset olivat kokouksessa hyvin edustettuina. ENS:n presidentin jälkeen, kokouksen avauksessa, säteilyturvakeskuksen pääjohtaja Antti Vuorinen kertasi kuulijoille ydinvoimalaitosten turvallisuuden perusteet. Kokouksen esitelmäosuuksessa Imatran Voiman Loviisan voimalaitoksen kunnossapitopäällikkö Arvo Vuorenmaa esitteli voimalaitoksen kunnossapitopolitiikkaa.

Näyttelyn puoli

Näyttelyn puolella esimerkiksi ABB Strömbergin näyttelyosastolla oli ajoittain varsinainen tungos. Osastolla esiteltiin prosessitietokonejärjestelmiä ja simulaattoreita, ja esitetyt, englanninkieliset demonstraatiot käännettiin tsekinkielisiksi. Näyttelyn Poster-esitelmien rivistöstä löytyi myös suomalaisia esityksiä, onhan esi-

merkiksi IVO mukana kansainvälisessä kilpailussa itäisten laitosten modernisoinniseksi.

Kokouksen järjestelyt onnistuivat kohtalaisesti, tosin hotellilaskujen maksussa esiintyi vaikeuksia. Yhteiskuntajärjestelmän muuttuminen ei suju aivan kädenkäänteessä. On varmaa, että jatkossa kokousten järjestely sujuu Itä-Euroopan mailta yhä paremmin. Tätä kehitystä ENS tai WANO:n voivat tukea taloudellisesti ja henkisesti.

ENS:n johto kokoontui

Ennen TOPFORM -92 kokouksen alkua pidettiin ENS:n Steering Comiteen kokous. Tässä kokouksessa lyötiin lukkoon jo mainitun TOP-ohjelman aikataulu. Taustalla oli tarve järjestää juuri keskikokoisia kokouksia, jotka keskittyvät johonkin alan erityisaiheeseen. Aikataulu ulottuu vuoteen 1997, ja erityisesti suomalaisia tullee ilahduttamaan TOPSEAL'96 kokous.

Ydinjätehuoltoa käsittelevä TOPSEAL'96 kokous annettiin nimittäin Suomen ja Ruotsin Atomiteknillisten seurojen järjestettäväksi. Alustavasti on sovittu, että kokous tapahtuu sekä Suomen että Ruotsin maaperällä, ja suunnitelmassa on esitetty jopa autolautan käyttöä kokouspaikkana. Ajankohta voi kuulostaa kaukaiselta, mutta tällaisen 400 hengen suuruisen kokouksen järjestelyt vaativat oman aikansa.

ENS:n TOP-kokousten ohjelman eräänä tavoitteena oli hajauttaa ydinvoima-alan kokouksia pieniinkin maihin. TOPSEAL on esimerkki tästä. ENS:n hallitus totesi tavoitteen täyttyneen hyväksyessään kokousohjelman. TOP-kokousten lisäksi ENS järjestää yhdessä FORATOMin kanssa Lyonissa 1994 suuren ENCKokouksen, jossa on entiseen tapaan myös suuri alan näyttely. Kokouksen järjestelyt ovat nyt täydessä käynnissä, ja alan suurimmat yritykset ovat jo ilmaisseet halukkuutensa osallistua tapahtumaan.

ENS:n Steering Comiteen kokoukseen osallistui Suomesta Valtion Teknillisen Tutkimuskeskuksen tutkimusjohtaja Pekka Silvennoinen, jonka puheenjohtajuuden 1994—1995 ENS varmisti tässä kokouksessa. Edelleen kokoukseen osallistui Perusvoima Oy:n varatoimitusjohtaja Juhani Santaholma ENS:n Information Comiteen puheenjohtajana ja ATS:n edustajana Jorma Aurela.



Kunnossapitopäällikkö Arvo Vuorenmaa esitti kuulijoilleen Loviisan voimalaitoksen kunnossapitostategian. Lyhyet revisiot ja korkeat käyttökerroimet herättivät vilkkaan keskustelun.

ENS:n tuleva toiminta

Kokouksessa hyväksyttiin ENS:n strategia seuraaviksi vuosiksi. Siihen sisältyy seuran julkaisu toiminnan kehittäminen, onhan Nuclear Europe Worldscan nousut levikiltään maailman suurimmaksi ydinvoima-alan lehdeksi. Myös järjestön NucNet-uutistiedote on saavuttamassa maailmanlaajuisen levikin; taloudellisesti hyvin kannattava NucNet on eriytetty ENS:n muusta toiminnasta, joskin toimistustyö tapahtuu ENS:n sihteeristössä Bernissä.

ENS tarjoaa strategian mukaan jatkossakin jäsenilleen 25 kansallisessa seurassa 22 eri maassa monia mahdollisuuksia: TOP-kokousten ja ENC:n kaltaisia kokouksia, opiskelijavaihtoa, kansallisten seurojen julkaisu toiminnan ja erityisesti uuden seuran toiminnan käynnistämistä koskevaa konsultointia, esitelmäsiijöiden välitystä maiden kesken sekä yhteisiä toimia ydinvoimainformaation välittämiseksi yleisölle ja tiedotusvälineille.

Vuonna 1975 perustetun Euroopan kansallisten seurojen yhteistyöjärjestön tulee yhä uudelleen todistaa olevansa tehokas ja hyödyllinen työväline sekä jäsentensä välisessä tiedonvaihdossa että suuren yleisön kanssa käytävässä vuoropuhelussa.

DI Jorma Aurela toimii Loviisan voimalaitoksella turvallisuusinsinöörinä. Hän on ATS:n kansainvälisten asioiden sihteerin ja ENS:n Steering Comiteen jäsen, p. 915-5503040



KANSAINVÄLINEN YHTEISTYÖ VAAKA-HÖYRYSTIMIEN MALLINNUKSESTA



Kokouksessa oli ajoittain tiivis tunnelma.

Lappeenrantaan kokoontui syyskuun lopussa toisen kerran kansainvälinen joukko tutkijoita pohtimaan VVER-tyyppisten vaakahöyrystimien termohydrauliikkaa. Erityinen kiinnostuksen aihe on, miten vaakahöyrystimet vaikuttavat VVER-laitosten häiriötilanteiden etenemiseen.

Uudet vaatimukset ydinvoimaloiden onnettomuusanalyysille edellyttävät tarkempaa kuvausta laitoksen käyttäytymisestä. Vaakahöyrystimet ovat VVER-laitosten ominaispiirre ja niiden mallintaminen länsimaisiin analysointikoodeihin on osoittautunut vaikeaksi. Tämä johti alunperin ensimmäisen kansainvälisen seminaarin pitämiseen Lappeenrannassa vuoden 1991 maaliskuussa, jota esiteltiin ATS/Ydintekniikan lukijoille numerossa 2/91.

VVER-reaktorien onnettomuusikäyttäytymistä tutkitaan integraalisilla koelaitteilla lähinnä vain Venäjällä, Unkarissa ja Suomessa. Erityisenä ongelmana näissä laitteissa on ollut suunnitella höyrystin niin, että se kuvaa tarpeeksi tarkasti oikean höyrystimen toimintaa. VTT:n ja Lappeenrannan TKK:n yhteisen PACTEL-laitteeseen on rakennettu kahta eri skaalasta noudattavat höyrystimet.

Järjestelyt

Kuten edelliselläkin kerralla seminaarin järjestivät yhteistyössä IVO, VTT ja LTKK. Paikkana oli Lappeenrannan korkeakoulun Skinnarilan hovi. Mukaan oli kutsuttu periaatteessa samat osapuolet. Venäjää edusti vaakahöyrystimien suunnittelijaorganisaatio Gidropress. Muut vieraat tulivat Saksasta, Unkarista, Tshekkoslovakiasta, Puolasta ja Ranskasta. Suomalaisia oli mukana järjestäjäorganisaatioiden lisäksi säteilyturvakeskuksesta.

Kesäkuussa Kölnissä oli järjestetty saksalaisten organisoimana laajahko kokous Euroopan yhteisistä hankkeista VVER-

laitosten turvallisuustutkimuksen edistämiseksi. VTT:n Lasse Mattila esitti avauspuheenvuorossaan terveiset Kölnin kokouksesta, jossa nämä Lappeenrannan seminaarit oli sovittu yhdeksi osa-alueeksi. Tavoitteiksi asetettiin tietokonemallien vertailu ja kehitys sekä tarvittavien lisäkokeiden määrittely ja käynnistäminen.

Esitelmät

Seminaarin esitelmät oli jaettu kahteen osaan. Ensin esiteltiin uusia koetuloksia ja mallinnuksen kehittymistä sekä primääri- sekundäarivuoitojen analysointia. Toisessa osassa käytiin läpi edellisellä kerralla sovitun analysointiharjoituksen tuloksia.

Gidropressin Beljajev esitteli kokeita, joissa tutkittiin lämmönsiirron heikkene- mistä kun höyrystimien vaippapuolen vesipinta oleellisesti laskee. Näitä tuloksia pidettiin hyvin tarpeellisina tietokoneohjelmien kelpoistustyön kannalta.

Säteilyturvakeskuksen Juhani Hyvärinen oli kehittänyt uuden laskentatavan, jonka

avulla on mahdollista tehdä suoria päätelmiä lämmönsiirron heikkenemisestä vaippapuolen pinnan laskiessa. Tämä herätti vilkasta keskustelua, koska tuloksen katsottiin poikkeavan sattuneissa onnettomuuksissa havaitusta käyttäytymisestä ja systeemikoodeilla saaduista tuloksista. Keskustelussa kävi kuitenkin ilmi, että niin Greifswaldissa 1975 ja Armenian laitoksella 1980-luvun alussa sattuneissa täydellisissä syöttöveden menetysonnettomuuksissa havaitut aikaviipheet lämmönsiirron heikkenemiseen ovat todennäköisesti selitettävissä. Gidropressin edustajat lupasivat toimittaa tarkempia tietoja Armenian laitoksen onnettomuudesta asian tarkistamiseksi.

Yhteisen laskuharjoituksen tulokset jäivät melko niukiksi, koska annetut koetulokset eivät laskijoiden mielestä riittäneet kunnolliseen vertailuun.

Laitoskokeita

Tshekkoslovakiaan valmistuvalla VVER-1000 -laitoksella Temelin-1 on suunniteltu tehtäväksi koekäytön yhteydessä laaja mittausohjelma höyrystimen kuumaan kollektoriin kohdistuvista lämpökuormituksista. Tätä koskien oli saatu kaksi kirjettä, joissa seminaaria pyydettiin antamaan kommentteja ja suosituksia koeohjelman toteuttamisesta. Päätettiin, että osanottajat ottavat erikseen yhteyttä kokeiden suunnittelijoihin ja järjestäjiin.

Seminaarien tulevaisuus

Osanottajat esittivät melko yksimielisesti, että seminaarisarjaa tulisi jatkaa. Erityisesti todettiin, että nyt on luotu mahdollisuus esitellä muuten julkaisemattomia kokeellisia tuloksia ja käynnistää tutkimusaiheita. Ilman yhteistä foorumia koetulosten julkaisu jatkossa ja osa tehtävistä työstä vaarantuisi.

Gidropress esitti, että seminaarin tulisi laajentaa höyrystimen rakenteellisiin ongelmiin. Erityisesti ehdotettiin, että kuuman kollektorin lämpöjännityksien kokeellinen ja laskennallinen kartoitus otettaisiin omaksi aiheekseen seuraavassa kokouksessa. Yksi tärkeistä perusteluista aihepiirin laajentamiselle on, että termohydrauliikkaa ja mekaanisia ongelmia ei tulisi pitää liiaksi erillään, koska ne joka tapauksessa liittyvät kiinteästi toisiinsa.

VVER-440 höyrystimien syöttövesikollektorien kulumista käsiteltiin vain epävirallisissa keskusteluissa. Pitäisi harkita myös tämän ongelmatiikan liittämistä seuraavan seminaarin ohjelmaan.

Yhteistyön laajentamista myös muiden kuin VVER-vaakahöyrystimien alueelle pidettiin suotavana ja muut mahdolliset toimittajat (esim. japanilainen Mitsubishi) toivotettiin tervetulleiksi.

Lappeenrannan järjestelyt osoittautuivat jälleen niin erinomaisiksi (kiitos paikalli-



Jaakko Miettinen vetää keskustelua.

sen VTT:n ja korkeakoulun), että seuraavan kokouksen paikaksi ei löydy muita ehdotuksia. Koska kokemukset yhteistyöstä on katsottu hyödyllisiksi, IVO, VTT ja LTKK pyrkivät järjestämään seuraavan seminaarin ensi vuoden lopulle.

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

SÄTEILYUUTISET



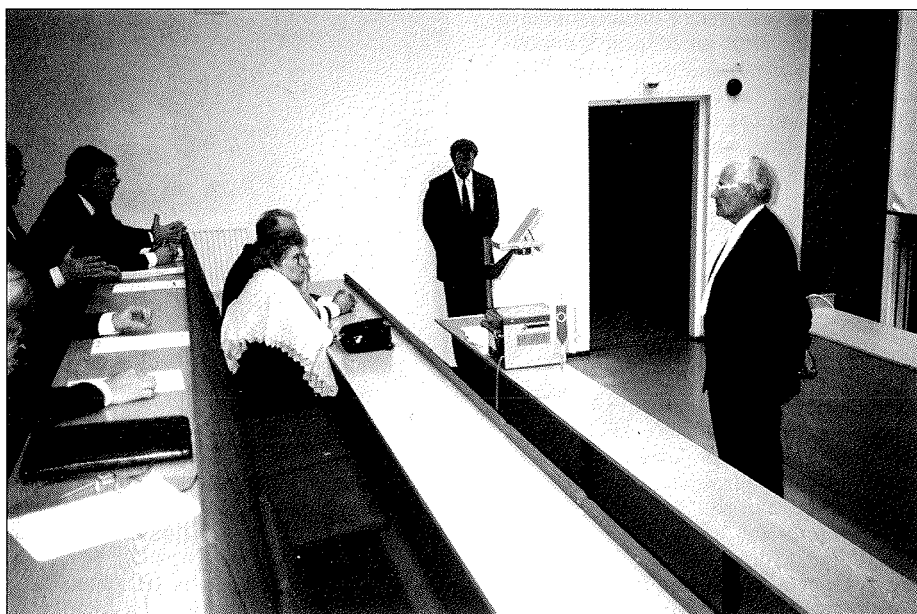
9700-8877

The Early Years of Nuclear Fission

This article describes the development of nuclear technology in Germany during the years following the discovery of uranium fission by Otto Hahn and Fritz Strassmann late in 1938. During those dramatic years between 1938 and 1945, I was still a boy.

I entered the Max Planck Institute for Physics at Göttingen as late as 1954.

The early pioneering phase is a story not just of pure science, but of an intense interaction of research and political power, and it affected the lives of many researchers in a profound way.



Dr. Rolf Hüper gives presentation to Finnish Nuclear Society.

50 years ago, on 2 December 1942, Enrico Fermi was the first to succeed in operating a nuclear pile in Chicago. Fermi was one of a large number of émigrés who had left Europe because of political and racial persecution in the thirties.

The opening of the door

In observance of the 10th anniversary of his successful experiment, Fermi wrote about the years before 1938:

''The sequence of discoveries leading to the atomic chain reaction was part of the search of science for a fuller explanation of nature and the world around us. No one had any idea or intent in the beginning of contributing to a major industrial or military development.

The basic modes of radioactive decay were being explained on the basis of modern quantum theory: α -decay as the result of a tunnel effect (G. Gamow), β decay as a result of a ''weak interaction'' involving neutrinos (W. Pauli, E. Fermi), γ -decay on the basis of the evolving quantum electrodynamics (P.A.M. Dirac, W. Heisenberg et al.).

In 1931, Harold Urey had discovered heavy water, in 1932, James Chadwick the neutron. It soon became apparent that the forces binding the nucleons in an atomic nucleus are charge independent, and that neutrons and protons can be

considered as two different states of one kind of particle. Hideki Yukawa had made a fundamental approach to a theory of nuclear forces in 1935.

Fermi, when still working in Rome, had entered into a comprehensive program of experiments with slow neutrons in 1934. This led to the discovery of a large number of nuclides hitherto unknown. Their binding energies could be measured by mass spectrometry. Hans Bethe, an émigré from Germany, and Carl Friedrich von Weizsäcker gave a first semiempirical mass formula fitted to these data, using models such as Niels Bohr's liquid drop model, in 1936/1937.

A plot of the binding energy per nucleon as a function of the mass number gives an indication that nuclear energy can be gained not only by fusion of light nuclei (which was already known), but also by fission of the heaviest nuclei. It is surprising that this latter possibility was not envisaged by the physicists before 1939. Ernest Rutherford, until his death in 1937, did not believe that nuclear energy could ever be used on a large scale. It was a chemist, Ida Noddack, analyzing some of Fermi's results in Berlin in 1934, who first published a hint to this possibility, and it was again chemists — the Hahn group — who actually proved that fission products such as barium turn up in neutron experiments on uranium. Shortly afterwards, Lise Meitner, Otto

Frisch, Niels Bohr and John Wheeler found a detailed physical explanation of this result.

But fission itself was not sufficient for exploiting nuclear energy on a macroscopic scale. It was complemented by another discovery: Frédéric Joliot and his group found out in early 1939 that as a rule — some neutrons are emitted as a consequence of a fission. On an average, one such neutron in each case has to trigger another nuclear fission in order to sustain a chain reaction.

It was within a few weeks after Joliot's result of neutron emission that the international nuclear community recognized the basic path to fission as an energy source. Siegfried Flügge published articles to this effect in June and August 1939, i.e. just before World War II was started. He described in some detail how nuclear power station might work to harness fission energy.

But even earlier, in March 1939, Fermi had met officials of the US Naval Department to discuss the nuclear for a controlled chain reaction as well as for explosives. In April, the physical chemists Paul Harteck and Wilhelm Groth had informed the German Army Ordnance Office about the possible military implications of nuclear energy. At the same time, Sir Henry Tizard, chairman of the Committee on the Scientific

Survey of Air Defence, had urged the British Government to purchase the uranium available especially in Belgium, in order to prevent the Germans from acquiring it. And the French Minister of Munitions, Raoul Dautry, got the entire quantity of heavy water stored in Norway in 1939. — It is well-known that A. Einstein, L. Szilard, A. Sachs, and E. Wigner drew the attention of President Roosevelt to nuclear fission on October 1939, mentioning indications of German nuclear activities.

These beginnings illustrate a situation that later became typical of the Cold War, with its immense nuclear armament competition, induced by the fear that the respective adversary might win an edge in the development of ever more effective weapons. From summer 1939 onwards, many of the sensitive nuclear research results were not published any more, and the international "nuclear community" was getting split.

Nuclear science and engineering in Germany

Alerted by the warning letter mentioned above, the German Army Ordnance Office (HWA) in Sept. 1939 drafted leading nuclear experts, seized the whole of the Kaiser Wilhelm Institute for Physics and temporarily installed Kurt Diebner (HWA) as director. However, the nuclear activities were not all concentrated in Berlin: Werner Heisenberg, Karl

Wirtz, and Robert Döpel continued work in their institutes at the University of Leipzig, Walter Bothe at the Kaiser Wilhelm Institute for Medical Research at Heidelberg, Paul Harteck and Wilhelm Groth at the University of Hamburg. Manfred von Ardenne and the HWA had labs south of Berlin. The experts often commuted between their respective working places and the capital. Informally, they got the very transparent name "Uranverein".

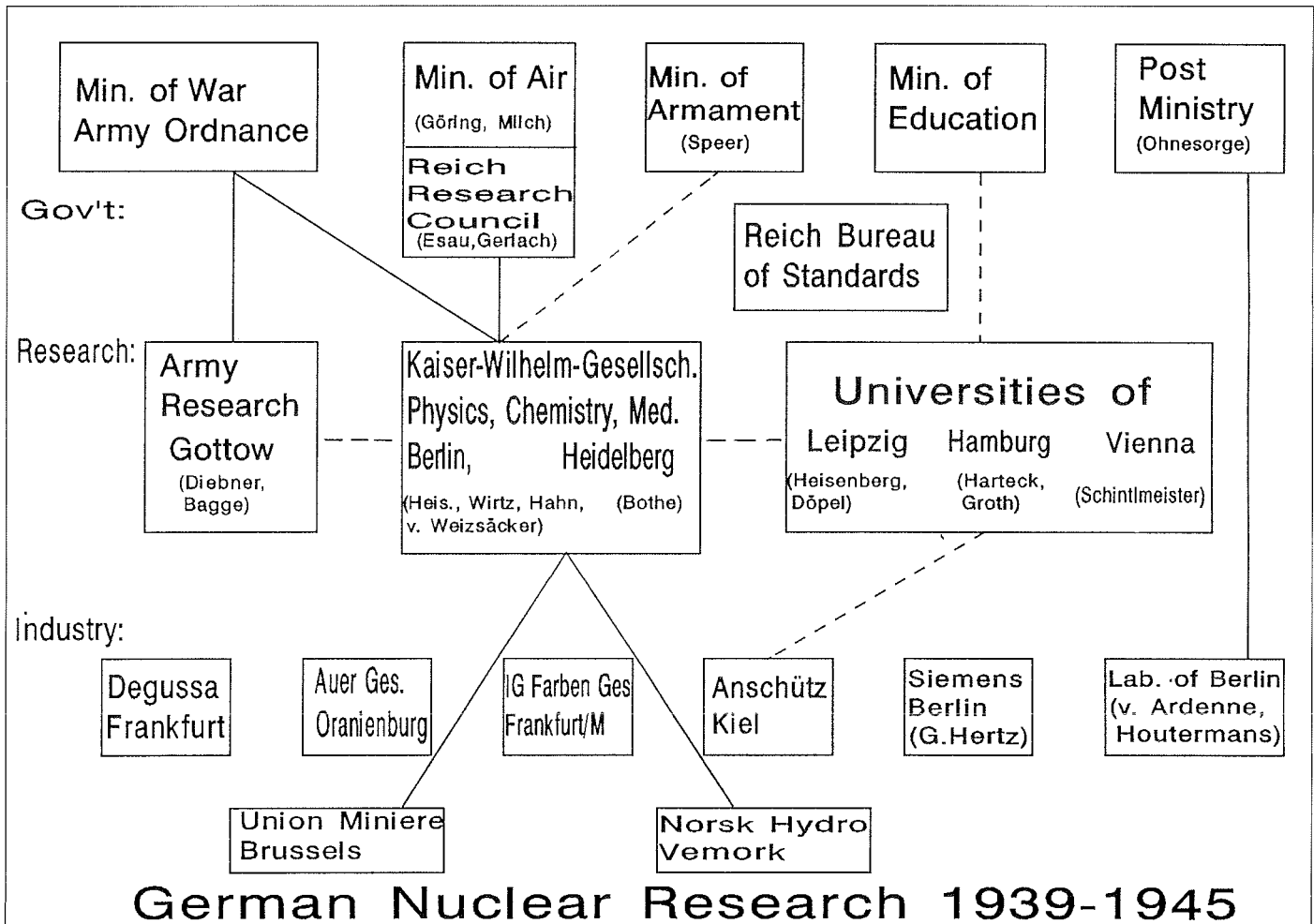
In addition, several government organizations got involved: in the early phase the Ministries of Education and of War, and the Phys.-Techn. Reichsanstalt (German Nat. Bureau of Standards), in a later phase the Ministry of Armament and Munitions, the Ministry of Air Transport, and even the Post Ministry. Various industrial companies such as the chemical concern IG Farben and the Auer Gesellschaft, a uranium firm, were also involved in connection with the Ministry of Economics. However, at no time was there a strict military coordination comparable to that in the United States 'Manhattan Project' after 1942.

The primary task of those German organisations was to make feasibility studies concerning a nuclear chain reaction. In late 1939 it was already known especially from Bohr's and Wheeler's advanced nuclear model calculations and from American measurements that it is mainly the U-235 isotope which is fis-

sionable. It was also known that fast neutrons have a much lower fission cross-section than thermal neutrons.

The studies therefore focused on the questions which nuclear fuel and which moderator materials would be suitable, and the geometrical arrangement of those materials. S. Flügge had elaborated the moderator theory. In Dec. 1939 and Feb. 1940 W. Heisenberg delivered two basic reports about the possibility to produce compositions of materials emitting more neutrons than are absorbed in scattering processes. Heisenberg recognized the role played by neutron capture in resonance states of U-238. Heisenberg's calculations were based on the diffusion approximation to the neutron transport equation. We should realize that in 1939, calculations of this sort had to be done without the aid of computers that we now take for granted in all research centres. Some contents of these reports:

- A consistent treatment of the different cross-sections of fast and thermal neutrons.
- The advantage of using a critical with an inhomogeneous arrangement of uranium in the moderator, instead of a solution. This confirmed earlier suggestions of Harteck.
- A preliminary assessment of a negative temperature coefficient of a "uranium machine",
- Requirements for massive radiation protection.



The research organization during the war.

The experimental data on which Heisenberg based his calculations had been published in summer 1939 mainly by H. Anderson, E. Fermi, and L. Szilard in the US, and by the Joliot group in France. In his second report delivered in February 1940, Heisenberg presented his calculations in greater detail and suggested experiments to yield more precise nuclear input data. It is interesting to note the moderators considered in these first reports: light and heavy water, helium, and carbon. It was recognized that a light-water reactor (as we would nowadays call it) would require enriched uranium in order to allow a chain reactor. Heavy water in combination with natural uranium appeared as favorable, helium seemed to require a pressure of about 1000 (!) bar, and carbon appeared to be insufficient because of a neutron resonance absorption cross-section which seemed too high.

One of Heisenberg's cooperators in 1940 had been a promising Finnish physics student, Bernt Olof Grönblom. Heisenberg was deeply disturbed when Grönblom was killed in the war in late 1941. Heisenberg wrote a moving memorial for his student in the proceedings of the Finnish Academy: "The more outstanding his first achievements were in the field of science, the more reason we have to mourn the loss of a young man who was suddenly torn from us and his work because of a higher duty".

In August and December 1940, R. and K. Döpel together with Heisenberg issued reports on a measurement of the diffusion length of thermal neutrons in heavy water and in U-238, respectively. Most of the later subcritical experiments in Germany until 1945 followed this line.

The most important Leipzig experiment was carried out in February 1942. It was the first experiment in the world to give proof of an effective neutron multiplication. It used a spherical layer arrangement of heavy water and natural uranium metal. Shortly afterwards, neutron multiplication was also demonstrated in the US — in an arrangement of graphite and natural uranium metal. In the early phase of the war, the USA had less access to heavy water than Germany, and had more precise cross section data of carbon.

The Army Ordnance Office had a facility at Gottow, south of Berlin. It was used for three large-scale experiments between 1941 and 1943. The third was relatively successful, it used uranium cubes suspended in heavy water, surrounded by paraffin.

In the meantime, the Kaiser Wilhelm Institute for Physics in Berlin was preparing for larger subcritical experiments in the so-called "Virus House" and in a special shelter lab. After the resignation of K. Diebner as (temporary) director of this institute in 1942, W. Heisenberg had been appointed director and then lived and worked in Berlin, together with C.F. von Weizsäcker and K. Wirtz. Five ex-

periments with uranium oxide and paraffin performed between 1940 and 1943 had not resulted in neutron multiplication. In 1944, 1,5 tonnes on heavy water and between 1 and 3 tonnes of uranium were available for six experiments. The increasing number and effect of air raids after 1942 necessitated building a shelter for the lab facility, where five of these experiments were performed. The last test was completed in a rocky shelter in Haigerloch, southwestern Germany, in April 1945.

All in all, about 300 papers of the German uranium project have been listed. Heisenberg himself was author (or coauthor) of at least 21 papers related to the project.

The German uranium project comprised several partial projects:

- Neutron cross-section measurements
- Subcritical experiments
- Production of heavy water
- The procurement and preparation of materials such as uranium (metal and oxide)
- Devising uranium isotope separation processes.

Part of the cross-section measurements were done at Heidelberg. A competent and efficient group was working here under W. Bothe. However, an early measurement of the absorption cross section of carbon for thermal neutrons yielded a high value, from which it was erroneously concluded that carbon was not suitable as a moderator. (An early carbon measurement by von Halban and Kowarski at Cambridge in 1940 had also been wrong). Only much later, in 1944, it was recognized in Germany that the real value was lower, and we all know that Fermi did use carbon to moderate the neutrons in his first operating pile in 1942.

The premature exclusion of carbon forced the German project to focus on heavy water as moderator. Since the Reich had no heavy water separation plants of its own, it tried to use the Norwegian plant near Rjukan. Here the heavy water was separated as a by-product in an electrolytical process for ammonia production. The Rjukan factory was the only heavy water production plant of the world. However, important parts of the Rjukan plant were destroyed by daring actions initiated in cooperation between England and the Norwegian resistance movement in 1943/44. This meant a tight restriction for the amounts of heavy water available to Germany. [D. Irving describes those bold and courageous actions in his book "The Virus House"].

The amounts of uranium available in a suitable form for nuclear experiments were also insufficient. This is astonishing because, in addition to uranium seized from Belgium, the borderline region between Saxony and Bohemia was rather rich in uranium ores. But the capacity of German Industry to produce pure uranium metal was limited. For a while

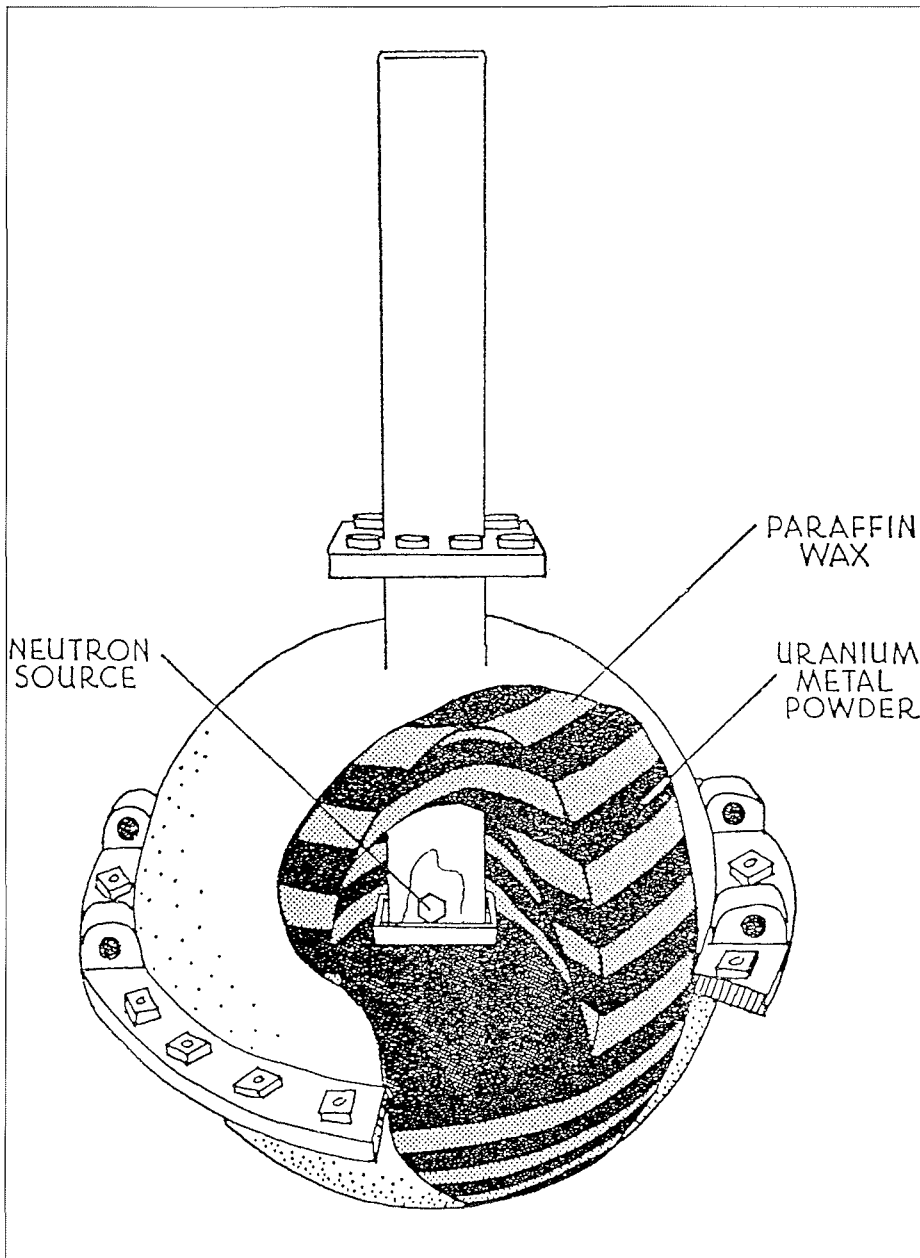
Heisenberg, Diebner, and Harteck competed for these limited amounts. Harteck had conceived another, very useful subcritical experiment, U_3O_8 with CO_2 ice.

Remarkable progress was achieved in the conception of uranium isotope separation processes. This was important especially because heavy water was so scarce. At the beginning, only the Clusius process based on thermal diffusion was known, and tiny amounts could also be separated by mass spectrometric methods. Within the short period between January and December 1941, several new processes were invented. Some of them became key technology for the postwar developments: W. Groth's ultracentrifuge process is now the prevalent method, especially in a cooperation between Germany, Britain, and Holland, but also in Japan and Russia; the gaseous diffusion devised by Gustav Herz seems to have been ignored in Nazi Germany, but became basic for the nuclear development especially in the Soviet Union; a similar process was basic to the immense Oak Ridge plant. M. von Ardenne devised an advanced spectrometric method akin to an American calutron concepts, as it turned out later. For electromagnetic separation methods, it was a drawback for Germany not to have a cyclotron operating until late 1943, when the 10 MeV Heidelberg cyclotron was completed. There were attempts to use Joliot's Americanbuilt cyclotron in Paris. However, due to the war, none of the abovementioned variants resulted in a large-scale separation of U-235 in Germany at that time.

Since there was no chemical process to separate isotopes of an element, the second possibility of extracting fissile material was of interest. Glenn Seaborg had discovered plutonium in 1940 by bombarding uranium with deuterons accelerated to 200 MeV in the Berkeley cyclotron of Ernest O. Lawrence. This discovery was published in the Physical Review in 1940 and thus became known to C.F. von Weizsäcker. Von Weizsäcker's semiempirical mass formula of a few years earlier had already indicated that relatively stable elements should exist beyond uranium. It soon became evident that neutron absorption by U-238 results in element No. 93 (neptunium Np-239) due to a β -transition, and after second β -transition ends up in element No. 94, Pu-239. It was conjectured by v. Weizsäcker and Heisenberg that Pu-239 would also be fissionable — with the advantage of separability from uranium by chemical means. Of course, this path could not be followed without operating reactors.

Interaction with politics

The year 1942 was a decisive year in Germany as well as in the United States, but in opposite directions. In America, after the attack on Pearl Harbor and Germany's declaration of war to the USA, nuclear research was converted into a gigantic military and industrial crash program with about 50000 people working



The Subcritical pile.
Picture from the book "The Virus House" by D. Irving.

on it. Nevertheless, secrecy was exercised in such an effective way that our country did not recognize the extent of that activity.

Germany, on the other hand, decided to keep its nuclear activities restricted to basic research. Some important preliminary results were presented at two meetings in February and June 1942 of Heisenberg and his group with regime officials.

In Feb. 1942 Heisenberg gave the following summary of research results:

- 1) Energy release from uranium fission is possible with certainty, if U-235 enrichment can be performed. Fabrication of pure U-235 would yield an explosive of an effect beyond our imagination.
- 2) Natural uranium can also be used for energy release in a layer configuration with heavy water. Such an arrangement can gradually transfer its high energy content to a power sta-

tion. It would thus be a means of storing very large amounts of energy for technical use, within relatively small material quantities. Also the operation of the machine can yield an immensely effective explosive; in addition the machine would foreshadow many other applications in science and engineering, which we should not include in this report."

This summary demonstrated how close civil and military applications of nuclear technology are to each other, especially under war conditions. It would not have been possible to hide basic knowledge from a government that had various sources of information.

The meeting on 4 June 1942 had the main purpose to brief A. Speer, the newly appointed armament minister, and three military heads of weapons production. No records are available of this meeting, but it is certain that the scien-

tists did not demand any priority status (in the sense of military urgency) for their research program. Heisenberg considered the efforts required for any military development during the war as far beyond the means of Germany. (By the way, it is now known that the big Du Pont chemical company initially took a similar attitude concerning American prospects in 1942, and the Japanese came to the same conclusion in early 1943).

The upshot of the June 1942 meeting in Berlin was the following:

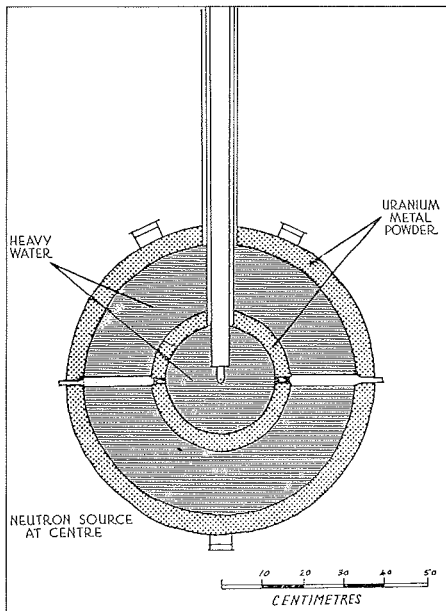
- Scientific solutions had been found for various problems, but a technical realization would require immense manpower resources, time and funds.
- The general policy of the regime had come to focus solely on developments promising a direct effect on the outcome of WWII.
- Therefore, no nuclear bomb project was started. The Army Ordnance Office transferred the nuclear activities to a civilian committee under Walter Gerlach, a well-known Munich physics professor.
- With very limited funds, the reactor research was carried on. In this way, the continuity of German nuclear research was ensured, and the scientific working groups were maintained.

These facts show that the ultimate moral problem "Are we to work toward nuclear weapons for a criminal regime" did not become a real issue in Germany during the war. Nuclear efforts in our country did not go beyond basic research. I think it was fortunate that various German scientists overrated the technical problems that would have to be solved in a nuclear military crash program. Some of these German scientists, after the news of Hiroshima, were even completely surprised that a country such as the US had produced atomic bombs — with its much richer resources, and undisturbed by incessant air raids.

Long after the war, in 1957, when the rearmament of the two Germanies had started, 18 leading West German nuclear scientists signed a declaration initiated by C.F. von Weizsäcker. This declaration was a definite moral statement against cooperation in any German atomic bomb project.

Status of German nuclear research in 1945

During the occupation of southwestern Germany in April 1945, the American-British Alsos mission found out how small the German nuclear project had been. The money spent on it had been little more than a thousandth of the funds for the Manhattan project. The American expenses reached a total of about 2 billion dollars by 1945, with a manpower of roughly 50 000. The American nuclear war efforts had been primarily directed against Nazi Germany — but they had grossly overestimated German efforts in this field. (Perhaps the Nazi propaganda of "miracle weapons" had contributed to concerns abroad about nuclear weapon development in our country).



The Leipzig Pile.
Picture from the book "The Virus House"
by D. Irving.

What many of us do regret is the fact that no German reactor went critical. The facility at Haigerloch could have gone critical, if more materials had been available or if a slightly different geometric arrangement had been chosen. But there seem to exist more profound reasons for this failure:

- The basically totalitarian and ideological character of the regime of the Third Reich.
- The emigration of a large number of top physicists (and mathematicians) due to the racist and political persecution after 1933. This general persecution had its effects also on the people who had remained in Germany: a climate of mutual distrust of individuals and organizations.
- A lack of coordination between theoretical, experimental, and engineering work. For America, it was an advantage that Fermi was a top experimentalist as well as a top theoretical physicist.
- Lack of resources, and shortcomings in the assignment of resources that did exist. Of course, the effects of the war, including the movement of whole institutions to quiet regions, were another very serious handicap.

Considering these problems, it is perhaps astonishing that the German nuclear research did achieve as much as it did by 1942. Until that time, it was still almost abreast of the research in the US and in Great Britain. As is well-known, this changed radically after 1942 with the onset of the crash program under General L. Groves in America.

The German status at the end of the war can be summarized as follows:

- The main processes that had to be taken into account in reactor physics were known.

- The contribution of fast neutrons to neutron multiplication had also been determined.
- Neutron resonance absorption during slowing down (thermalization) had been described theoretically and determined by experiment.
- A two-group diffusion theory for fast and thermal neutrons had been developed.
- The geometry of a "critical", based on the empirical materials characteristics, could be calculated. It had been recognized that an inhomogeneous configuration of fuel and moderator was preferable.
- The influence of reflector materials (water or graphite) had been recognized.
- The influence of temperature effects including the nuclear Doppler effect had been recognized.
- Neutron cross-sections and diffusion constants of reactor materials had been measured; cadmium was envisaged as absorber material.
- Many fission products and their decay modes had been found from radiochemical experiments.
- Concepts for uranium isotope separation techniques had been developed.

In 1945 there were, however, still several important basic points missing in the German state-of-the art:

- The decisive role of the so-called delayed neutrons for controlling reactor operation was not recognized.
- The error in the interpretation of a measurement of the diffusion length of thermal neutrons in carbon was recognized only during the last sub-critical experiment.
- The neutron poisoning by Xe-135 and the important characteristics of Pu-240 were not known in Germany.

German post-war development in nuclear engineering

The period 1945—1955 might look like a gap. Like people in many other countries ravaged by the war, the Germans were trying to survive under very hard conditions. But German capacity for basic research had survived, and as early as 1946, the Max-Planck-Gesellschaft was founded in Göttingen as a successor to the old Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. Support was given by the British occupation authorities.

Nuclear engineering was not permitted for several years. This period was used to carry on theoretical research, especially elementary particle physics. No accelerators were available for this purpose, but nature had provided very high-energy accelerators in the form of cosmic rays. Even during the war, some of this research had been performed by Heisenberg and his group, and a book was published on the subject, as the outcome of seminars. Efforts were now focused on understanding nature, not on changing it (Inverting a well-known statement by Marx). But some important work on reactor theory was also done, especially concerning the start-up behavior of a

"critical" under the influence of delayed neutrons.

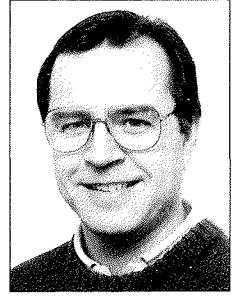
Research of the Max Planck Institute for Physics had found a temporary home in a building of the former Aerodynamical Research Institute. In that period, many contacts were resumed with colleagues abroad. Göttingen became the germ for the development of various groups, which started again on nuclear engineering in 1955. Information exchange particularly with the USA intensified in the subsequent years. In 1956, the institute was divided up: Heisenberg's basic research group moved to Munich, and the Wirtz group was basic to the foundation of the Karlsruhe Nuclear Research Centre with its research reactor FR2. The FR2 was the first home-made German reactor that became operable in 1961, and it used heavy water as a coolant and a moderator.

Shortly later, the Jülich Nuclear Research Establishment near Cologne (and, in East Germany, the Rossendorf Nuclear Research Centre near Dresden) were founded. A fruitful cooperation with industry was becoming important. Big West German industrial firms soon established nuclear research units of their own. Our nuclear research is going on in close international cooperation with several countries and with the International Atomic Energy Agency. In 1969 the Federal Republic of Germany signed the Non-Proliferation Treaty.

Today Germany is operating light-water nuclear power stations of 23 gigawatts electrical capacity, supplying nearly a third of our electrical power. R+D work has also been successful on fast breeder reactors, hightemperature reactors, nuclear propulsion of a ship, fuel reprocessing and MOX refabrication. Nuclear engineering is one of the few possibilities of avoiding the greenhouse effect.

However, our nuclear development is facing well-known problems of acceptance by the public. They affect all of our energy policy. These political problems are rather different from those faced by Hahn, Heisenberg, and their colleagues during World War II.

Dr Rolf Huper, Karlsruhe Kernforschungszentrum tel. (49) 7247/825512
1950-54 Studying at Kiel University and Midland College (USA)
1954-61 Theoretical nuclear physics and particle physics at Max Planck Institute for Physics Göttingen and Munich
1961 Promotion (Dr. rer. nat.)
1961-66 Assistant at Institute for Theor. Nuclear Physics at Karlsruhe Technical University
1966-89 Member of the Fast Breeder Project Management at Karlsruhe Research Centre (KfK)
1990 - Project Manager in the Nuclear Safety Research Project at KfK



Lyhyesti maailmalta

Espanjan keski- ja vähäaktiivisen ydinjätteen loppusijoituslaitos EL CABRIL on saanut maan hallitukselta käyttöluvan. Laitokseen mahtuu vuoteen 2010 saakka kertyneet jätteet. Jätteet loppusijoitetaan maan pintaosiin tehtyihin teräsbetonikaloihin, jotka toimivat suojabarriereinä estäen radioaktiivisten aineiden joutumisen ympäristöön. Laitos sijaitsee Cordoban maakunnassa Espanjan eteläosassa.

Iran ilmoittaa suostuvansa tehostettuun safequard-valvontaan mikäli Venäjä toimittaa VVER-laitoksen. Iran on edelleen USA:n ydinmateriaalien vientikielossa ydinasevaaran vuoksi. Iran haluaisi palauttaa käytetyn polttoaineen Venäjälle, joka harkitsee asiaa, koska USA:kin vaatii palautusta toimitusehdoksi. On mahdollista, että IAEA joutuu perustamaan Iraniin sivukonttorin tehostettua safequards-valvontaa varten.

NuclearFuel 12.10.1992

Iso Britannian Sellafieldin käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelylaitoksella tapahtui syyskuussa 1992 vuoto, jonka vakavuusluokka on 3 eli tapahtuma oli vakava. Plutoniumnitraattia vuoti korrodointuneesta prosessiputkesta kuumakammion lattialle, jossa se kiteytyi. Ruostumatonta terästä ollut putki oli asennettu vuonna 1973. Käyttäjien tiloihin ei tullut päästöjä eikä ympäristöönkään. Kuumakammio siivottiin ja putki korjattiin, minkä jälkeen prosessi otettiin uudelleen käyttöön. Tapahtuman selvittelyn yhteydessä havaittiin, että vuotojenilmaisulaitteet eivät olleet riittävän herkkiä.

IAEA INES 18.11.1992

Japanin 43. ydinvoimalaitosyksikkö on valmistunut. Yksikkö on saavuttanut kriittisyyden, eli pisteen jossa ydinketjureaktiosta tulee itseään ylläpitävä. Kasihwazaki Kariwa 3 BWR 1067 MW Toshiba-yksikkö on laitoksen kolmas käytössä oleva yksikkö, rakenteilla on lisäksi neljä yksikköä, joista pisimmällä ehtinyt on 80 % valmis.

Ens NucNet 22.10.1992

Kanadan lääketieteellisen radiologian laboratorioissa toimivat 6000 naista voivat joutua sukupuolesta johtuvan syrjinnän kohteeksi, jos kansainvälisen säteilysuojelukomission (ICRP) ehdotus alennetusta raskaana olevien naisten säteilyannosrajasta toteutuu. Nykyinen raskaudenaikainen 10 mSv annosraja muuttuisi suuren

yleisön 1 mSv vuosiannosrajaa vastaavaksi. Tällöin mm. pienissä sairaaloissa työskenteleviä naisia jouduttaisiin sanomaan irti, koska ei voida osoittaa muuta raskaudenaikaista työtä. Naisten työhönottoakin radiologisiin laboratorioihin saatettaisiin alkaa välttää. Kanadan ydinturvallisuusviranomaisen (AECB) aikoo selvittää asiaa järjestämällä eri puolella maata julkisia kokouksia, joissa saadut palautteet huomioidaan uutta säädöstä laadittaessa, sanoo AECB:n vanhempi säteilyfyysikko Chris Pomroy.

Nucleonics Week 15.10.1992

Kanadalais korealainen tutkimusryhmä raportoi käytetyn PWR-poltoaineen soveltuvan sellaisenaan Candu-reaktorien polttoaineeksi. Käytetyn PWR-poltoaineen uudelleenpaketointi DUPIC-poltoaineeksi (Direct use of spent PWR fuel in Candu) todettiin parhaaksi vaihtoehdoksi seitsemästä tutkista uudesta polttoainekonseptista. Uraanin palamaa voidaan kasvattaa 30 %. DUPIC pienentää polttoainekustannuksia ja rikastuskustannuksia, vähentää ydinjätetuotantoa ja helpottaa ydinmateriaalivalvontaa, koska määriä kemiallisia prosesseja ei tarvita. Uusi polttoaine ei edellytä merkittäviä laitosmuutoksia ja vanhan polttoaineen käyttöön voidaan tarvittaessa palata.

NuclearFuel 26.10.1992

Ranskan valtiollisen voimayhtiön (EdF) kiukkuinen sähkötekniikko pysäytti kolme ydinvoimalaitosyksikköä muutaman minuutin sisällä. Paluel 4×1300 MW laitoksen tekniikko ei ollut saanut ylenlyydyttä vuosiin ja tultuaan tällä kertaa ohitetuksi mitta tuli täyteen. Seurauksena oli yksiköiden pysäyttäminen turbiinipikasulkunappulasta. Tapaus aiheutti voimayhtiölle 10 miljoonan frangin tappion. Murtunut mies toimitettiin kotiin lyhyen lääkärintarkastuksen jälkeen ja pidätettiin toistaiseksi työnteosta. Kuu-kausai aiemmin EdF:n Dampierren laitoksella paljastui sekundäätiputkiston laadunvalvontaraporttien laaja väärennys, mikä ei kuitenkaan ole yhteydessä nyt sattuneeseen.

Nucleonics Week 22.10.1992

Ranskalaisista yli puolet kannattaa ydinvoimaa ilmenee marraskuun alussa julkaistusta mielipidetiedustelusta. Vastustajia oli 41 %.

Ens NucNet 6.11.1992

Ruotsin Sydkraft AB, joka omistaa Barsebäckin kaksi ydinvoimalaitosyksikköä ja puolet Oskarshamnin kolmesta yksiköstä sekä edellisten lisäksi puolitoistakertaisesti konventionaalista sähköntuotantokapasiteettia, on luusumassa Saksan suurimman voimayhtiön, Preussenelektra AG:n merkittävään osuuteen. Preussenelektra omistaa jo 10 % Sydkraftista ja kasvattaa osuuttaan. Saksalaisten kiinnostuksen takana väitetään olevan mahdollisuuden loppusijoittaa keski- ja vähäaktiivista jätettä Ruotsin keskittettyyn ydinjätteen loppusijoituslaitokseen SFR:ään Forsmarkissa.

Nucleonics Week 15.10.1992

Tsekkoslovakian Temelin 1 VVER-1000-yksikön työmaalla saavutettiin merkittävä virstanpylväs, kun 330 tonnia painava reaktoripaineastia nostettiin sijoilleen. Laitos valmistuu suunnitelmien mukaan vuoden 1995 lopussa.

Ens NucNet 22.10.1992

Ukrainan Tshernobyl 3-yksikkö otettiin uudelleen käyttöön 16.10.1992 ja se toimii nyt täydellä 980 MW teholla. Tshernobyl 1-yksikkö käynnistetään marraskuun lopulla. Tshernobyl 2-yksikkö, joka vaurioitui vuosi sitten tulipalossa, on seisomassa ja aiotaan poistaa lopullisesti käytöstä. Vuoden 1986 onnettomuusyksikkö Tshernobyl 4 on paketoituna sarkofagissa.

Ens NucNet 28.10.1992

Unkarin Paksin ydinvoimalaitoksella on päätetty rakentaa moduulityyppinen kivi- ja vavaraisto käytetylle polttoaineelle. Toimittajaksi on valittu anglo-ranskalainen GEC-Ahlstom, jonka yksi MDVS-varasto on jo käytössä USA:ssa. Varasto valmistuu keväällä 1995.

NuclearFuel 12.10.1992

Unkarin Paksin ydinvoimalaitos kattaa 45 % maan sähkönkulutuksesta. Laitoksen viime vuoden ympäristöpäästöt olivat kertaluokkia sallittujen rajojen alapuolella, ilmoittaa Unkarin atomienergiakomissio. Paksin laitoksen lähellä asuvien laitosesta saama säteilyannos oli 20 000 kertaa pienempi kuin luonnon tausta-säteilystä saatu annos.

Ens NucNet 21.10.1992

Unkarilaisista 43 % pitää ydinvoimaa tärkeänä tulevaisuuden energiavaihtoehtona ja 23 % pitää sitä erittäin tärkeänä, ilmenee äskettäin julkaistusta mielipidetiedustelusta. Unkarissa on neljä ydinvoimalaitosyksikköä.

Ens NucNet 11.11.1992

USA:n Limerick 2 BWR 1055 MW GE, Bechtel-yksikkö on ylittänyt kevytvesireaktorien jatkuvan käytön maailmanennätyksen. Vuonna 1986 käyttöön otettu yksikkö on jo ollut yhtäjaksoisesti käytössä yli St Lucie 2-yksikön aiemmin ennätetyn 502 vuorokautta.

Ens NucNet 21.10.1992

Venäjän Kuola 2 VVER 440-yksiköllä pumpattiin betonia primääripiiriin. Vuosihuollossa olleen yksikön perustusten halkeamia korjattiin injektioimalla betoni-
lietettä. Paineen alaista betonia virtasi perustusten onkaloissa myös viereisten boorivesialtaiden peltivuorauksiin pullistaen niihin repeämiä, joista liete sekottui booriveteen. Pahaksi onneksi boorivettä pumpattiin parhaillaan primääripiiriin, polttoainealtaaseen ja latausaltaaseen. Tapauksen vakavuusluokka on I. Se kuuluu sarjaan "uskottomat laitosta-
pahtumat".

IAEA INES 5.10.1992

Venäjän Leningradin ydinvoimalaitoksen (Sosnovy Bor) alueella on kolme salassa pidettyä pienreaktoria, ilmoittaa Ruotsin ydinturvallisuusviranomaisen (SKI) apulaistiedotusjohtaja Leif Svensson. Mahdollisesti sotilaalliset pienreaktorit (sukellusvenekoulutusreaktorit) sijaitsevat noin kilometrin päässä RBMK-yksiköitä. Yhtä reaktoria käynnistettiin parhaillaan ja kaksi oli alhaalla Svenssonin vieraillessa Sosnovy Borissa pohjoismaisen tarkastajaryhmän kanssa lokakuun alussa. Tiedon julkisti Leningradin laitoksen päällikkö Yuri Garusov.

Nucleonics Week 8.10.1992

Venäjällä hyötöreaktori on edelleen luotettavin sähköntuottaja maan 28 ydinvoimalaitosyksiköstä. Beloarsk BN 600-yksikön käyttökerroin vuoden alusta lukien on 66,36 %. Suunnittelemattomia seisokkeja ei ole ollut. Yksikön kaasumaiset päästöt ympäristöön ovat olleet pienempiä kuin maan muissa yksiköissä. Sergei Ermakov atomivoimaministeriöstä (Minatom) ilmoittaa maan ydinvoimalaitosten vuoden alun ympäristöpäästöjen olleen sallittujen rajojen alapuolella samoin kuin henkilöstöjen saamat säteilyannokset.

Ens NucNet 21.10.1992

Ins. Pekka Lehtinen on Säteilyturvak-
keskuksen ydinturvallisuusosaston
tarkastaja, puh. 90-70821.

English abstracts

The future of nuclear power in Finland

Olli Nevander (page 1)

During the excursion the expeditors to America could imagine how the fifth nuclear plant was growing in Loviisa or in Olkiluoto. In the mean time, November 1992, the Finnish Parliament made a some kind of test voting, which gave result 96 against and 78 for the new nuclear plant (Parliament has 200 members). This voting is not final, but prepares to the result. However, Finland's four units produce the third of the electricity. Also the programs for the waste management and for the safety support to the Eastern Europe are running. It is obvious, that nuclear power is still an important part of the energy strategy for the future in Finland.

FNS 1992 study tour to North America

Tapio Saarenpää (page 2)

The annual technical tour of the Society was made this year to North America. In eight days a total of 11 nuclear-related organizations were visited in Canada, U.S.A. and Mexico. The host organizations, Canadian Nuclear Association, American Nuclear Society and Sociedad Nuclear Mexicana provided invaluable assistance in arranging the visits for the Finnish group of ten FNS members. The article, written by the person in charge of organizing the tour, gives a brief summary of the experiences gained by the participants.

Canada — the best nuclear program in the world?

The visit to the Port Hope

Olli Nevander, Henry Rönndahl (page 5)

The nuclear program in Canada is based on the 20 operating CANDU-reactors situated on five sites. All reactors are the heavy-water moderated CANDU-type.

Canada has uranium-mines, where they get uranium also to the import. The capacity factors and economy of the Canadian reactors has been rather good. The Canadian government has plans to build more reactors in the future.

The excursion to the conversion plant of Port Hope was very useful for all participants.

Visit to Darlington Nuclear Station

K. Jänkälä (page 8)

Darlington Nuclear Generating Station, one of the largest energy projects in North America, is now being completed by Ontario Hydro on the shore of Lake Ontario, 70 kilometers east of Toronto. Significant schedule delays have occurred on the project, with the average unit delay being about five years. During the visit of the Finnish Nuclear Society to the plant on October 26, 1992, Unit 2, the only commissioned one, was operating at a power level of about 45 % after having a long shutdown due to difficulties with fuel damage, which caused also a halt in the commissioning of Unit 1. Unit 1 was operating at full power waiting to be commissioned by the end of the year. The fuel damage problem and other reasons for the project delays are shortly described as well as some features of the power plant.

Nuclear power in United States

Olli Nevander (page 11)

The development of the peaceful nuclear power in USA was initiated in 1954 in Atom for Peace Program. The first BWR started in Argonne year 1956 and the first commercial PWR, the Yankee Rowe, in year 1960. Since then more than 120 commercial reactors has been connected to the grid in USA.

The Energy Crisis in 70's and the accident of Three Mile Island were the main causes for the slowing down the deployment of new nuclear plants. Today, average operating costs of nuclear plants are higher than those of coal-fired plants. However, best nuclear plants produce nearly the cheapest electricity in the country. The most important reasons for the price of nuclear electricity are the difficult licensing process with many desing changes and the rather low capacity factors of the nuclear plants.

The nuclear utilities in USA are waiting the governments decisions to get more simple licensing: so called one-step-licensing instead the old system with a lot changes during the construction. However, it seems obvious that the USA is not coming to build the nuclear plants in present future.

Argonne National Laboratory

Teuvo Laaksonen (page 13)

An excursion group of Finnish Nuclear Society visited for one day in October 1992 the Argonne National Laboratory (ANL), which is one of the largest energy research and development organizations in United States. It is operated by The University of Chicago for the U.S. Department of Energy.

This America's first national laboratory got its start as part of the effort to create the atomic bomb. Today the ANL facilities are located on a site 25 miles south-west of Chicago and on another site near Idaho Falls, Idaho.

The Laboratory employs about 4250 people, 1500 of whom are professional scientific staff. Argonne's annual operating budget is about 400 million dollars.

Argonne research is devided among four major areas:

Advanced Photon Source (APS), a major new facility being built at Argonne, will provide brilliant x-ray beams for research in material science, condensed matter physics, chemistry, geosciences, biology and medicine.

Physical Research is the area, where researchers conduct experimental and theoretical research on fundamental problems in chemistry, physics and materials and computer sciences to advance scientific understanding in developing energy technologies.

Energy, Environmental and Biological Research programs investigate the effects of energy-related by-products on man and the environment.

In addition to the four mentioned research areas ANL has a large educational program to encourage scientists to share their zeal for science with students and teachers, creating a new generation of science-enthusiasts.

During the visit of Finnish Nuclear Society to Argonne a seminar was arranged on nuclear reactor technology related research at Argonne. Finnish visitors also told Argonne people about the nuclear energy situation in Finland.

FNS North-American Excursion — Visit to Mexican Nuclear Center

Heikki Raiko (page 14)

FNS delegation visited the Mexican Nuclear Center "Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)" locating close to Mexico City. Dr. Carlos Velez Ocon, director general of the institute, welcomed the Finnish team and gave an overall presentation of the nuclear centre. A short visit to following areas was made: irradiation plant, research reactor, metrology laboratory and pilot plant for nuclear fuel fabrication. The visiting team thanks the institute for the kind hospitality and guidance during the visit.

The visit to Mexico and the NPP of Laguna Verde

Tapio Vähämaa, Altti Heikkilä (page 16)

The economy of Mexico has been growing rapidly the last few years. However, Mexico has an amount of energy resources, for example oil and gas. The fossil energy resources are mostly the reasons for that Mexico has only one nuclear power plant; Laguna Verde.

Laguna verde is a typical example of the american nuclear culture. The original design and also the schedule of the construction were not actually mexican; they were from United States.

The visit to Mexico and to the NPP of Laguna Verde was very succesful for the visitors. The warm and friendly atmosphere and the mexican hospitality gave good memories to the Finnish group.

Visit to Lawrence Livermore Laboratory

Rainer Salomaa (page 19)

Lawrence Livermore National Laboratory was one of the scientific laboratories visited during the North American study tour of the Finnish Nuclear Society. In the brief travel report the basic principles of laser fusion and giant pulse lasers are described. The laser isotope separation method, AVLIS, developed at LLNL is also briefly reviewed.

Visit to the EPRI

Pertti Niemi (page 22)

In the seminar between Electric Power Research Institute (EPRI) and the Finnish Nuclear Society (ATS) were presented and discussed EPRI's nuclear safety and engineering programs, ongoing research and future development. EPRI's

major targets are to improve nuclear safety and reliability, to improve operation and maintenance technology, to reduce operation and maintenance costs and to develop radioactive waste disposal technology. Also Finnish nuclear power plant and waste program were presented.

TOPFORM'92 OPENED ENS TOP-MEETINGS IN PRAGUE

Jorma Aurela (page 24)

The first true ENS East-West TOPical meeting "The Safe and Reliable Operation of LWR NPPs" TOPFORM'92 was held in Prague in October. At this first-of-its-kind all Europe working meeting, operators, suppliers and safety specialists from East and West gathered to Prague to build a pan-European community for shared high standards of NPP operation, reliability and safety.

The meeting was chaired by ENS President, Mrs. Colette Lewiner (SGN, France), who also saw this meeting as a milestone in the true cooperation between East and West. She spoke to about 300 participants (100 from East and Central European countries), who also had possibility to visit an exhibition, where suppliers could perform their latest products. ABB Strömberg from Finland was among them with its process computers and simulators, and the stand was very often visited by the meeting participants.

In Prague before the TOPFORM'92 meeting there was also the ENS Steering Committee meeting. In the agenda was the approval of the ENS TOPical meetings program. With special interest for the northern countries was the TOPSEAL'96 meeting decision, which is going to be organized jointly by Finnish and Swedish Nuclear Societies in May 1996. Welcome 1996 to Finland and Sweden!

Second international seminar on horizontal steam generator modelling

Harri Tuomisto (page 26)

The seminar was arranged in Lappeenranta to continue the international cooperation that was started during the first seminar in March 1991. Participants came from Russia, Hungary, Germany, Czechoslovakia, France and Finland. New experimental results and approaches to calculational modelling were presented, and the results of the common calculational exercise were compared. The results were deemed to be very useful for the safety analyses of the VVER-reactors. It was agreed to continue these efforts and to consider widening the scope to the structural problems of the horizontal steam generators.

