



# ATS

## YDINTEKNIikka

1/86

### SISÄLTÖ:

Tapahtumia ydinenergia-alalla .....	1
Loviisan laitosten tulos 1985 .....	2
Vuosi 1985 Olkiluodossa .....	6
Perusvoima Oy perustettu .....	7
KPA:n sijoituspaikkatutkimukset etenevät ....	8
STUK/Säteilybiologian laitos .....	9
VTT:n ydintutkimustoiminta .....	10
Ydinvoimaloiden käytettävyyden kehitys .....	14
Ydinvoimaloiden materiaalivauriot .....	16
Vanheneemisilmiot reaktorimateriaaleissa .....	18
Uusia säätösauvoja TVO:n reaktoreihin .....	20
ATS:n ekskursio 17—26.10.1985 .....	22
— Yleiskatsaus .....	23
— Tsekkoslovakia .....	24—25
— Saksan liittotasavalta .....	26—33

# ATS

## YDINTEKNIikka

### 1/86

---

#### JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —  
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

---

#### TOIMITUS

Päätoimittaja FT Mikko Kara P. 90-6090553	Imatran Voima Oy Malminkatu 16 00100 Helsinki
Erikoistoimittaja DI Klaus Sjöblom P. 915-550431	Imatran Voima Oy 07900 Loviisa
Erikoistoimittaja DI Ahti Toivola P. 938-18220	Teollisuuden Voima Oy 27160 Olkiluoto
Toimittaja FM Launo Tuura P. 90-6172471	Helsingin kaupungin energialaitos Kampinkuja 2 00100 Helsinki

---

#### JOHTOKUNTA

Pj TKT Erkki Aalto Imatran Voima Oy PL 138 00101 Helsinki Puh. 6160250	Jäs. DI Antti Hanelius Suomen Voimalaitosyhdistys ry. Lönnrotinkatu 4 B 00120 Helsinki Puh. 602944
Vpj TkL Jukka Laaksonen Säteilyturvakeskus Kalevankatu 44 00180 Helsinki Puh. 6167283	Jäs. DI Ilkka Mikkola Teollisuuden Voima Oy Fredrikinkatu 51—53 B 00100 Helsinki Puh. 605022
Rh DI Seppo Salmenhaara VTT/REA Otakaari 3 A 02150 Espoo Puh. 4566330	Jäs. TkL Björn Wahlström VTT/SÄH Otakaari 7 B 02150 Espoo Puh. 4566400
Siht DI Esko Tusa Imatran Voima Oy PL 138 00101 Helsinki Puh. 6958324	

---

#### TOIMIHENKILÖT

Yleissihteeri FK Lauri Rantalainen Puh. 90-6090949 Imatran Voima Oy PL 138 00101 Helsinki	Ekskursios sihteeri DI Pertti Salminen Puh. 90-648931 VTT/Ydinvoimatekniikan lab. Lönnrotinkatu 37 00180 Helsinki
Kans.väl.yhteyks.siht. DI Klaus Kilpi Puh. 90-4564148 VTT/E-osaston kanslia Vuorimiehentie 5 02150 Espoo	ATS-Info puheenjohtaja TKT Seppo Vuori Puh. 90-648931 VTT/Ydinvoimatekniikan lab. Lönnrotinkatu 37 00180 Helsinki

LEHDESSÄ JULKAISTUT ARTIKKELIT  
EDUSTAVAT KIRJOITTAJIEN OMIA  
MIELIPITEITÄ, EIKÄ NIIDEN KAIKISSA  
SUHTEISSA TARVITSE VASTATA ATS:N KANTAA.

## Tapauksia ydinenergia-alalla

***Suomessa ydinenergian tuotannon kokemukset ovat kansainvälisesti arvioiden huippuluokkaa.***

***Olemme nyt vedenjakajalla. Meillä on mahdollisuus kasvaa hyväksi ja taitavaksi ydinsähkön tuottajaksi, jota oman teollisuutemme erittäin nopea meneillään oleva sähköistymisenkin jo vaatisi.***

Yhdysvalloissa otetaan lähiaikoina käyttöön maan 100:s ydinvoimalaitos. Samalla vuosi 1985 oli Yhdysvaltojen ydinenergian tuotannolle menestyksen ja kasvun aikaa:

- Ydinsähköä tuotettiin lähes 20 % enemmän kuin edellisenä vuonna,
- ydinvoimalaitosten suunnitellut ja suunnittelemattomat alasajot vähenivät merkittävästi
- ydinvoimalaitoksilla työtä tekevien ihmisten saamat säteilyannokset ovat jyrkässä laskussa,
- TMI-1 käynnistyi 6 vuotta kestäneen, TMI-2 onnettomuuteen liittyneen seisokin jälkeen — tämä on tapahtuma, jonka Pennsylvanian ja New Jersey osavaltioiden asukkaat saattoivat todeta välittömästi helpotuksena veroisiaan —,
- samojen osavaltioiden terveysviranomaiset ovat todenneet, että TMI-2 ydinvoimalaitosonnettomuudella ei ollut terveysvaikutuksia alueen asukkaisiin,
- sekä TMI-2 onnettomuuden analyysit, että tiedemiesten viimeiset laskelmat ja

kokeet osoittavat, että ydinvoimalaitos onnettomuudessa ympäristöön pääsee huomattavasti vähemmän radioaktiivisia aineita kuin mitä aiemmin on arvioitu,

- edelleen alunperin ydinenergian tuotantoon kehitettyjä valmiussuunnitelmia on menestyksekkäästi sovellettu muualla teollisuudessa.

Luetteloa olisi helppo jatkaa. Mainittakoon vielä, että tutkittaessa ydinjätteiden kallioperään sijoittamista on esille tullut paljon uutta tietoa mm. pohjavesikemiaan liittyen sekä on kehitelty uusia laitteita ja mittausmenetelmiä joilla on laajempaakin hyötyä. Tämä koskee myös muita kuin Yhdysvaltoja.

Euroopassa tilanne näyttää olevan se, että joukko valtioita on yhä selvemmin erottautumassa ydinsähkön tuojiksi. Tällaisia ovat mm. Itävalta, Luxemburg, Norja, Sveitsi ja mahdollisesti Ruotsi, näiden maiden teollisuuden päivänvastaisista toiveista huolimatta.

Suomessa ydinenergian tuotannon kokemukset ovat kansainvälisesti arvioiden huippuluokkaa.

***Olemme nyt vedenjakajalla. Meillä on mahdollisuus kasvaa hyväksi ja taitavaksi ydinsähkön tuottajaksi, jota oman teollisuutemme erittäin nopea meneillään oleva sähköistymisenkin jo vaatisi.***

Mutta meillä on myös erittäin hyvä mahdollisuus sekoilla päättämättömyyden viirissä viidakossa ja edetä jokaiselle jotakin ratkaisuihin.

Tulevaisuudessa yksi maamme osaamisen alueista voisi olla ydinsähkön tuottaminen ja sen myyminen Pohjoismaihin. □

# Loviisan voimalaitoksen tulos 1985

**Vuosi 1985 oli Loviisan käyttöhistorian paras. Tulos oli niin hyvä, ettei samanalaista juuri ole odotettavissa.**

**Laitosten käyttökertoimiksi muodostui Loviisa 1 93,01 % ja Loviisa 2 91,70 %.**

Niiden ydinvoimalaitosten joukossa, jotka joutuivat suorittamaan polttoaineen vaihdon seisokissa 1985 (n. 200 laitosta) tulevat molemmat Loviisan yksiköt sijoittumaan 5 parhaan joukkoon. Jos tarkastellaan kolmea viimeistä vuotta 83-85, oli Loviisa 2 ainoa reaktori maailmassa, joka ylitti 90 % käyttökertoimen näinä jokaisena vuotena.

Laitosten käyttökertoimiksi muodostui Loviisa 1 93,01 % ja Loviisa 2 91,70 % ja yhteenlasketuksi energiatuotannoksi tuli 7,5 TWh eli 7,5 miljardia kWh, joka on n. 15 % Suomen sähköenergian kulutuksesta.

Laitosten häiriötön käyttö johti myös hyvään budjettitulokseen. Ylimääräisiä korjauksia ei ollut, joten laitoksen käyttämä rahamäärä oli kolmannen vuoden peräjäkeen markkamääräisesti sama eli pienentyi reaalisesti inflaatioprosentin verran.

## Kunnossapito

Loviisan voimalaitoksen kunnossapitotoiminnan kannalta merkittäviä asioita vuonna 1985 olivat lyhyet latausseisokit kummallakin yksiköllä sekä joitakin tuotantojakson aikaisia häiriöitä.

Loviisa 1:n latausseisokki aloitettiin heinäkuun alussa. Jo viikkoa aikaisemmin oli turbogeneraattori 1 kytketty irti verkosta lauhdutinputkien vaihtoa varten. Tämä lauhdutinputkien vaihtotyö olikin seisokin suurin yksittäinen työ. Työn suuruutta kuvaa vaihdettujen putkien yhteispituus, joka oli yli 90 km. Toinen merkittävä työ oli reaktorisuojarakennuksen sisäpuolella olevien turvallisuuksien kannalta tärkeiden mittauksen kaapeleiden vaihto. Imatran Voima Oy:n keskuslaboratorio oli suorittamissaan kokeissa todennut silikonieristeisten kaapeleiden ominaisuuksien vähitellen huononevan siten, ettei toimintaan kaikissa olosuhteissa voida luottaa.

Vuosihuollon kesto Lo1:llä oli 20 vrk. Merkittäviä tuotantojakson aikaisia kor-

jaustöitä ei Lo1:llä ollut vaan laitos oli kytkettyä valtakunnanverkkoon vuoden 84 latausseisokin päättymisestä vuoden 85 latausseisokin alkuun.

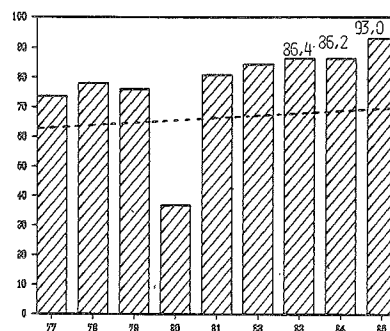
Lo2:n latausseisokki kesti niin ikään 20 vrk. Silikonikaapeleiden vaihtoa lukuun ottamatta ei laitoksella tehty merkittäviä korjaus- tai muutostöitä.

Kangasalan muuntoasemalla tapahtuneen tulipalon seurauksena käynnistettiin myös

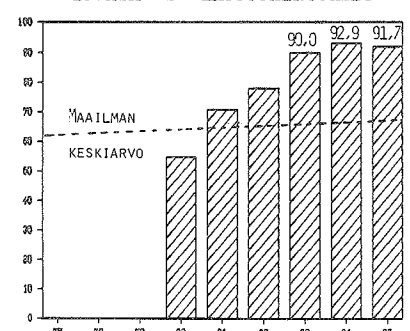
Loviisan voimalaitoksella useita paloturvallisuutta parantavia toimenpiteitä. Niistä tärkeimmät ovat omakäyttömuuntajien siirtäminen pois päämuuntajien välittömästä läheisyydestä ja päämuuntajien varustaminen automaattisella sammutusjärjestelmällä. Muuntajien siirrot valmistuivat tammikuussa 86 ja päämuuntajien automaattiset sammutusjärjestelmät vuoden 86 aikana.

## LOVIISAN VOIMALAITOSYKSIKÖIDEN VUOTUISET KÄYTTÖKERTOIMET SEKÄ LÄNSIMAISTEN REAKTOREIDEN KESKIAARVO

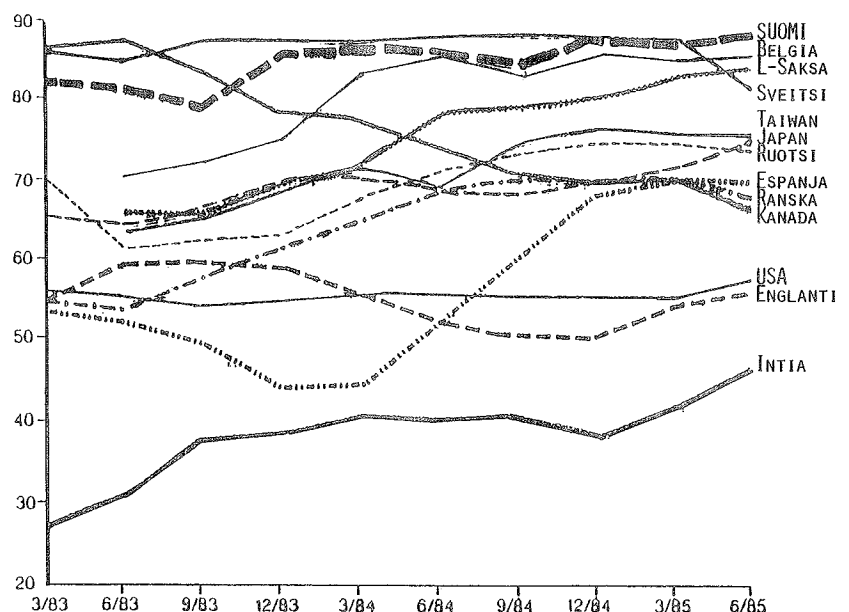
LOVIISA 1 KÄYTTÖKERTOIMET



LOVIISA 2 KÄYTTÖKERTOIMET



## MAITTAIN YDINVOIMALAITOSTEN KÄYTTÖKERROINTEN KESKIAARVOT (MAAT JOISSA VÄH. 4 REAKT.)



## Tutkimushankkeet

Loviisan voimalaitoksen käyttöä tukevaa tutkimusta tehdään yhteistyössä eri tutkimuslaitosten, VTT:n, yliopistojen ja Imatran Voima Oy:n keskusorganisaation kanssa. Loviisan osuus useissa hankkeissa jää varsin pieneksi. Tärkeimmät käynnissä olevat tutkimushankkeet ovat:

### Reaktoripaineastian käyttöikäselvitys

Reaktoripaineastian turvallisuuden varmistamiseksi käynnistetty todennäköisyyspohjainen analyysi saadaan valmiiksi v. 1986 aikana. Työssä arvioidaan reaktoripaineastian jäähtymistransienttien todennäköisyyksiä ja niiden seurauksia yhdessä paineastiateräksen ominaisuuksien kanssa.

### Jätetutkimukset

Keski- ja matala-aktiivisten jätteiden tilavuuden pienentämiseksi on meneillä kaksi tutkimusta, joista on jo aikaisemmin kerrottu tiedotusvälineille. Toinen koskee haihdutusjätteessä olevan kesiumin suodattamista, niin että jätetilavuus pienenee n. tuhannesosaan alkuperäisestä. Toinen tutkimuskohde on kuivien huoltojätteiden mikrobiologinen hajottaminen, jossa hajoavan jätteen tilavuuden odotetaan pienenevän muutama prosenttiin lähtötilavuudesta.

Loviisassa valmistellaan lisäksi ioninvaihtohartsien puolimittakaavaisia kiinteyskokeita ja kiinteitetyn jätteen huuhtelukokeita. Kokeet alkavat keväällä 1986. Voimalaitosjätteen loppusijoituksen alustava turvallisuusseloste valmistuu kuluvan vuoden loppuun mennessä. Tähän tarvittavat analyysit ja selvitykset ovat valmistumassa.

### Polttoainetutkimukset

Imatran Voima Oy osallistui kahteen Loviisan polttoainetyyppiä koskevaan kansainväliseen kehitysprojektiin. Ns. MR-projekti on Kurtshatov-instituutissa käynnissä oleva säteilytutkimus, jossa IVO on toimittanut osia koelaitteistoon ja osallistuu tulosten analysoimiseen. Toinen projekti on Swierkin ydintutkimuskeskuksessa Puolassa ns. Maria-reaktorilla suunnitellut onnettomuustilanteita kuvaavat kokeet, joissa IVO on toistaiseksi osallistunut koelaitteiston rakentamiseen.

Loviisan voimalaitoksella otettiin v. 1985 käyttöön käytettyjen polttoainenippujen allastutkimuslaitteisto, jolla voidaan selvittää polttoainenipussa käytön aikana tapahtuneita muutoksia.

## Säteilysuojelu

### Henkilökunnan säteilyannokset

Kun laitokset käyvät hyvin, jäävät säteilyannokset vähäisiksi. Työntekijät altistuvat säteilylle pääasiallisesti korjaus- ja huoltotöiden yhteydessä. Säteilylle altistuneiden henkilöiden säteilyannosten keskiarvo oli vuonna 1985 vain 1,95 millisievertiä. Lakisääteinen raja on 50,00 millisievertiä vuodessa. Suurin henkilökohtainen säteilyannos oli hiukan alle 13 millisievertiä eli n. 1/4 vuosiansiosrajasta.

Kollektiivinen annos, s.o. kaikkien henkilökohtaisten annosten summa, oli 1110 millisievertiä eli 1,110 sievertiä. Tämä on pienin arvo siltä jaksolta, minkä molemmat laitosesiköt ovat olleet käytössä., Loviisa 1:llä aiheutui 0,47 sievertiä ja Loviisa 2:lla 0,64. Nämä arvot ovat n. viidesosa eurooppalaisten ydinvoimalaitosten keskiarvosta ja kymmenesosa yhdysvaltalaisista arvoista.

Säteilyannosten pienuuteen vaikuttavat nopeiden vuosihuoltojen lisäksi prosessivesien ja näin ollen eri järjestelmiin puhkaus. Tämä taas johtuu reaktoripiiriin hyivistä materiaaleista (pääasiallisesti ruostumatonta terästä, jonka koboltti- ja nikkelipitoisuudet ovat alhaiset), primääripiiriin suureksi mitoitettua puhdistusjärjestelmästä, alhaisesta korroosionopeudesta sekä polttoaineen tiiveydestä.

## Radioaktiivisuuspäästöt

Päästöt säilyivät vuonna 1985 edellisten vuosien alhaisella tasolla. Tritiumin päästö mereen oli 6,3 % ja muiden aineiden päästöjen summa 2,0 % vastaavista päästörajoista. Päästöraja tarkoittaa käyttöluvassa määrättyä suurinta sallittua vuosittaista päästöä. Kasvavaa trendiä ei ole. Päästöt ilmaan olivat alle tuhannesosan vastaavista päästörajoista.

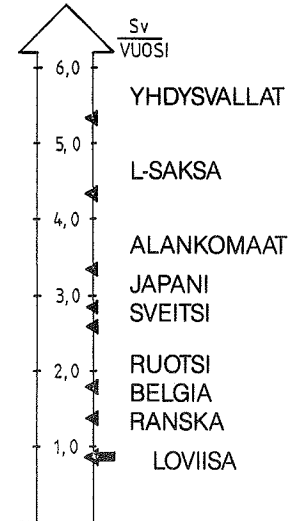
## Radioaktiiviset jätteet

Nestemäisten jätteiden varastoon oli vuodenvaihteeseen mennessä (käytön aloittamisesta 1977) kertynyt ioninvaihtomassaa 74 m<sup>3</sup> ja haihdutusjätteitä 474 m<sup>3</sup>. Varaston kokonaiskapasiteetti on 2400 m<sup>3</sup>.

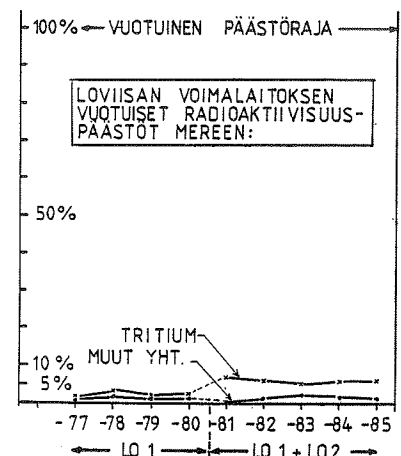
Kiinteitä matala-aktiivisia tynnyreihin pakattuja jätteitä muodostui vuoden aikana 34 m<sup>3</sup>. □

### LÄNSIMAISTEN PAINEVESIREAKTORILAITOSTEN ANNOSVERTAILU

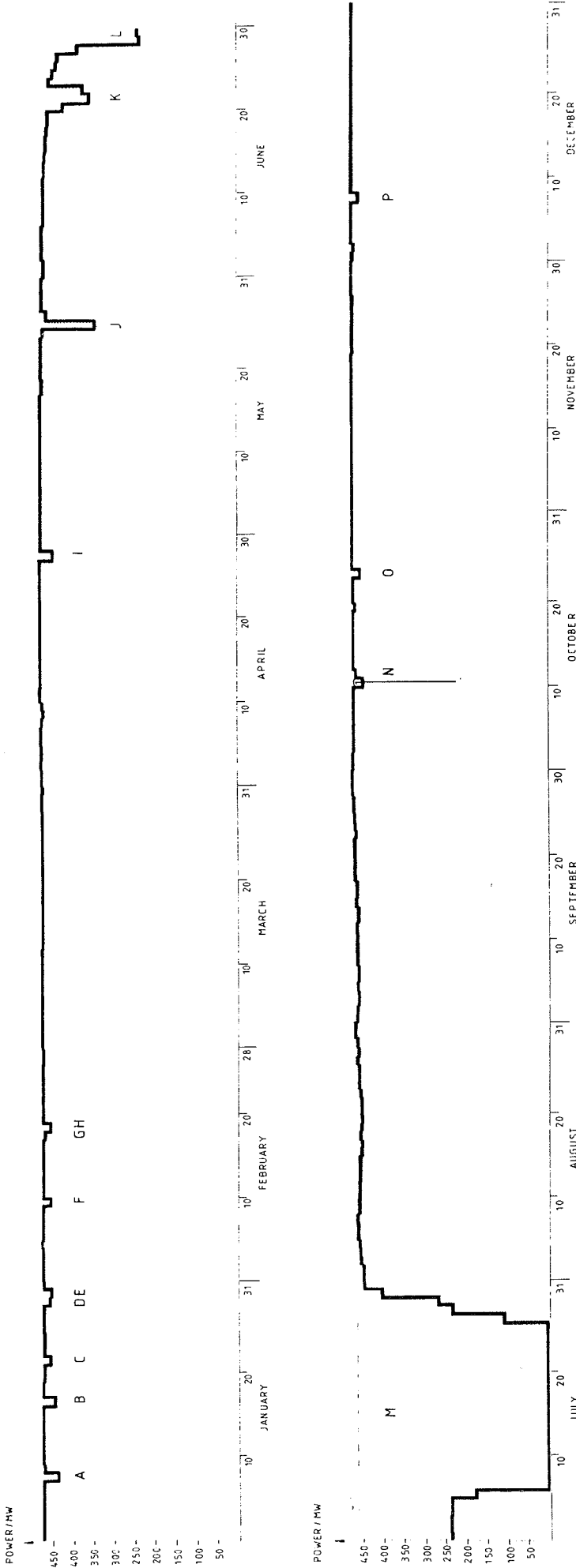
MAITTAIN  
KAIKKIEN LAITOSTEN ERI VUOSINA  
AIHEUTUNEIDEN KÖLL  
ANNOSTEN  
KESKIARVOT



### LOVIISAN VOIMALAITOKSEN VUOTUISET RADIOAKTIIVISUUS- PÄÄSTÖT MEREEN:



# LOVIISA 1 OPERATION HISTORY 1985



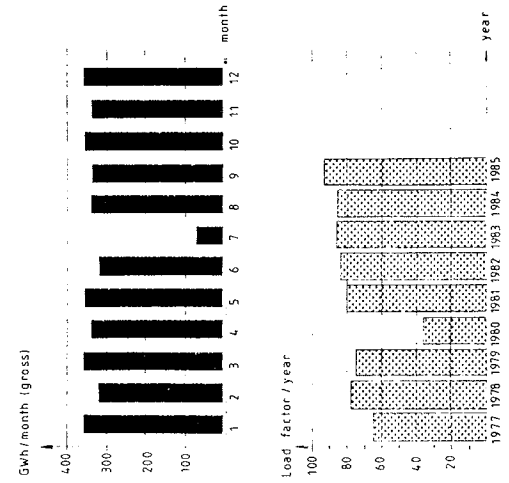
### ENERGY GENERATION STATISTICS

ASSUMING 465 MW = 100%

	MWh	Load factor/ month
January	347 855	100.5
February	315 243	100.9
March	349 944	101.3
April	338 815	101.2
May	347 672	100.5
June	314 677	94.0
July	68 739	19.9
August	338 521	97.8
September	333 025	99.3
October	346 143	100.1
November	338 343	101.1
December	349 705	101.1
<b>Total 1985 =</b>	<b>3 788 682</b>	<b>93.0</b>
<b>Time availability =</b>	<b>94.2</b>	<b>%</b>

### EXPLANATIONS

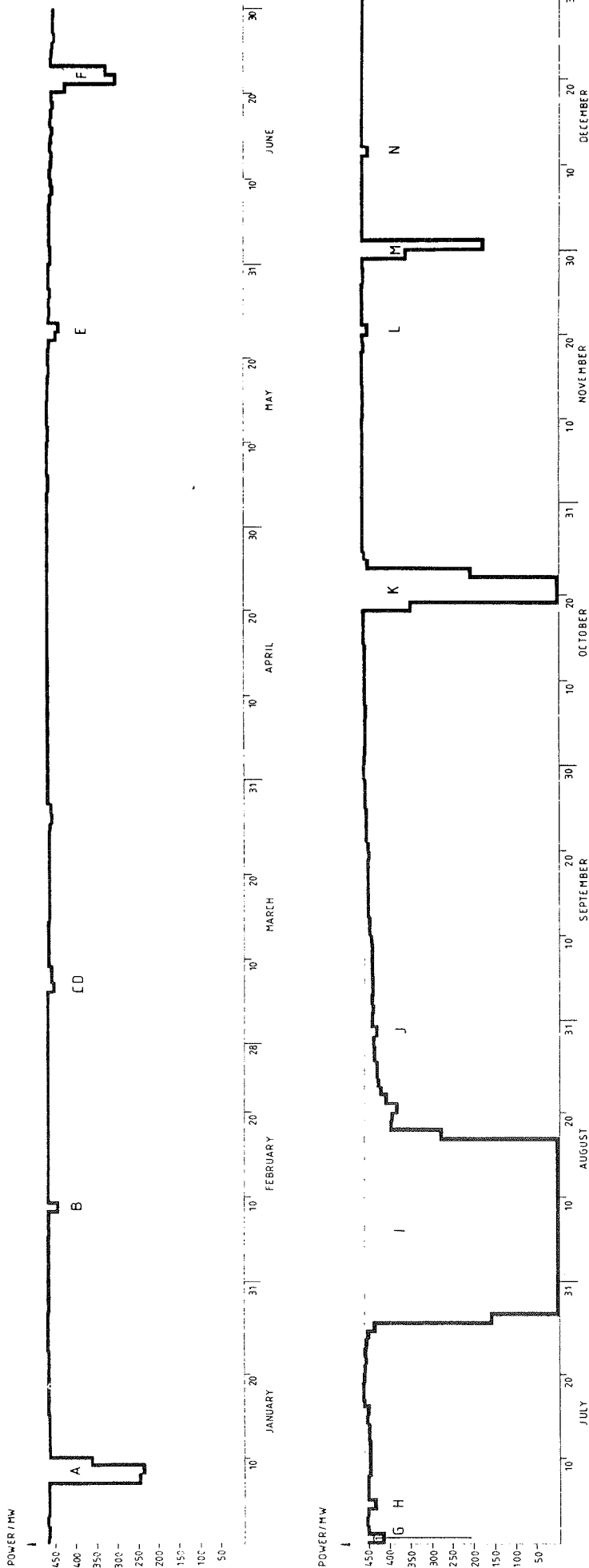
- Power given as daily average
- Turbine trip to zero load
- Trip of one IG The other one on line
- Reactor trip
- Reactor PCP (test or low power)
- Load following
- A** Electric magnet disturbances of one PCP
- B, C, E** Search for condenser leakage
- D** Trip of one PCP
- F, H, J, O, P** Condenser tube plugging
- G** Trip of one feedwater pump
- J, K** Load following
- L** Tube exchange of condenser
- M** Annual maintenance and refuelling (20 days)
- N** Turbine trip



Losses due to load following about 8 800 MWh  
Load factor without load following 93.2 %

Refuelling period collective radiation dose 0.43 manSv (43 manrem)  
Total 1985 collective radiation dose 0.47 manSv (47 manrem)

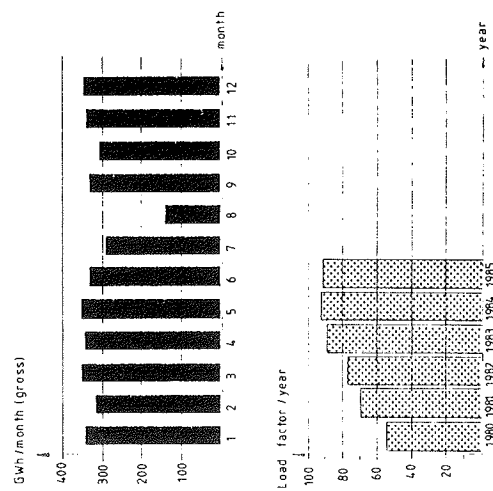
# LOVIISA 2 OPERATION HISTORY 1985



## ENERGY GENERATION STATISTICS ASSUMING 465 MW = 100 %

	MWh	Load factor/ month
January	336 039	97,1
February	314 332	100,6
March	347 274	100,5
April	337 402	100,8
May	346 674	100,2
June	323 983	96,8
July	286 748	82,9
August	140 646	40,7
September	326 056	97,3
October	302 131	87,3
November	333 242	99,5
December	340 589	98,5

Total 1985 = 3 735 116 MWh  
Time availability = 93,4 %



Losses due to load following about 7 700 MWh  
Load factor without load following 91,9 %

## EXPLANATIONS

- Power given as daily average
- Turbine trip to zero load
- Trip of one TG The other one on line
- Reactor trip
- Reactor trip (fast or low power)
- Load following
- Generator brush rocker fire
- Leakage in the pipeline of a superheater
- Trip of one PCP
- Condenser tube plugging
- Damage of a non-return valve of feed water pumps
- Load following
- Turbine trip due to disturbances in a load controller
- Annual maintenance and refuelling (21 days)
- Cold shutdown due to valve repair
- Hot shutdown due to valve repair

Refuelling period collective radiation dose 0,55 manSv ( 55 manrem)  
Total 1985 collective radiation dose 0,64 manSv ( 64 manrem)

# Vuosi 1985 Olkiluodossa

**Olkiluodon laitosten sähkön-  
tuotanto vuonna 1985 oli  
10,831 TWh eli lähes sama  
kuin edellisenä vuotena (10,847  
TWh). Kummankin laitoksen  
käyttökerroin oli 87,4 %.  
Koko maan sähkönhankinnasta  
TVO:n osuus oli 20,6 %. Säh-  
kön hinta TVO:n osakkaille oli  
16,0 penniä/kWh, jossa tuotan-  
tokustannukset ovat 12,2 p,  
siirtokustannukset 0,9 p ja siir-  
tohäviöt 0,9 p sekä sähkövero  
2,0 p.**

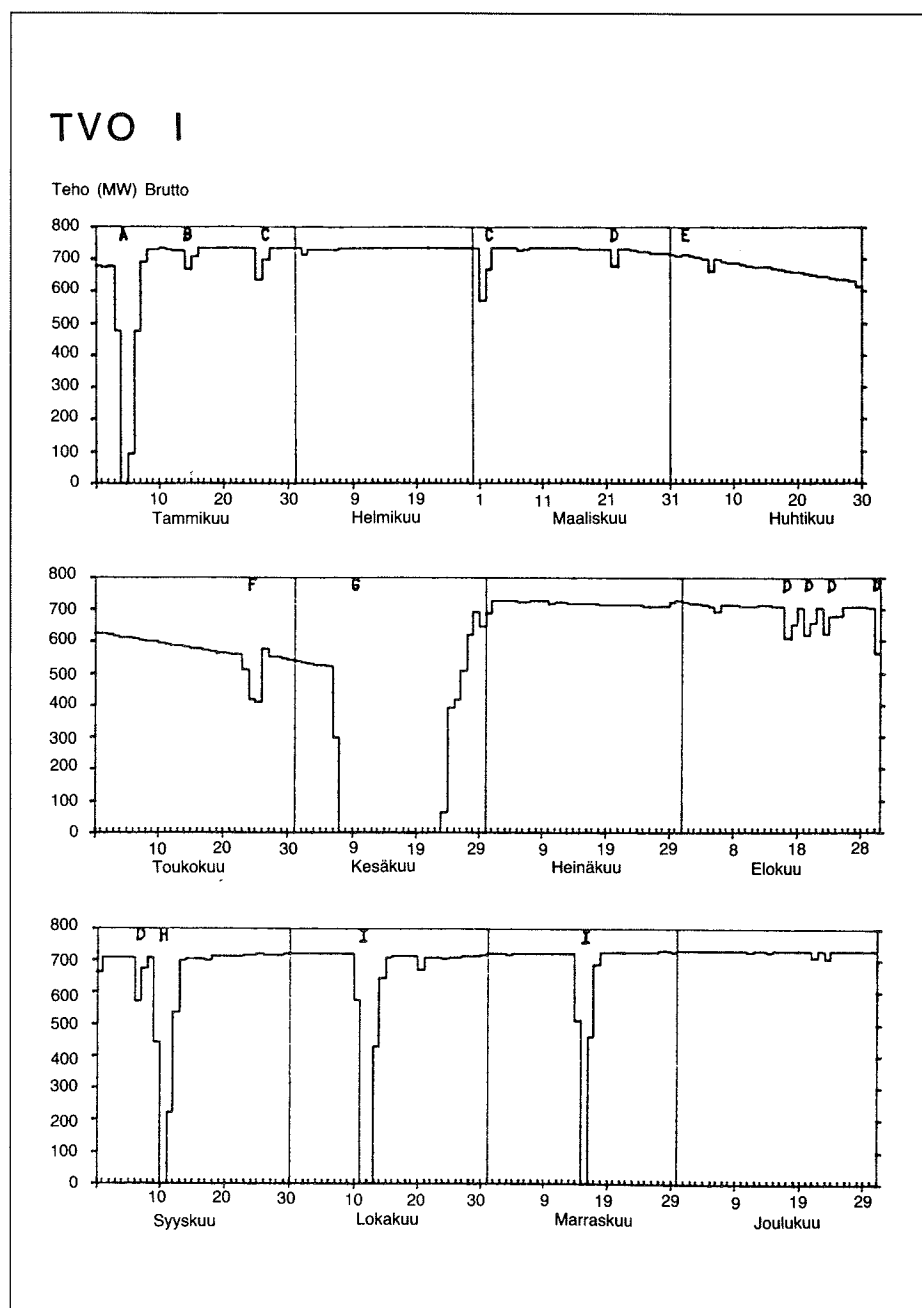
Polttoaineenvaihto suoritettiin kummalla-  
kin laitoksiköllä vakiintuneeseen tapaan  
kevätkesällä. TVO II:n seisokki alkoi 3.5.  
ja päättyi 2.6. Seisokin pituuden (29 vrk)  
määräsi turbiinin lauhduttimen putkituk-  
sen uusiminen, jossa vanhat alumiinimes-  
sinkituubit korvattiin titaanisilla. Muutok-  
sen yhteydessä lisättiin lauhduttimen läm-  
mönsiirtopintaa noin neljänneksellä, mikä  
parantaa laitoksen hyötysuhdetta erityises-  
ti lämpimän meriveden aikana. Polttoai-  
netta ladattiin 8080 täystehotunnin käyt-  
töjaksoa varten, mikä merkitsi 146 tuoret-  
ta polttoainennippua, niiden joukossa 8  
kpl Asea-Atomien uuden konstruktion mu-  
kaista SVEA-tyyppistä nippua. TVO II:n  
revision kokonaiskustannukset olivat 28,7  
milj. mk ja työntekijöiden kollektiivinen  
säteilyannos 0,47 manSv.

TVO I:llä päästiin lähelle ”minimipituus-  
ta” polttoaineenvaihtoseisokkia, koska  
merkittäviä korjaustöitä ei ollut ohjelmas-  
sa. Aikaa kului 16 vuorokautta 10 tuntia  
(7.6.—24.6.) ja rahaa 18,7 milj. markkaa.  
Tuoreen polttoaineen lataus käsitti 118  
nippua, joista 64 nippua KWU:n valmis-  
tamia 9x9 nippuja. Seisokin aikainen kol-  
lektiivinen säteilyannos oli 0,27 manSv.

Polttoaineenvaihtoseisokkien lisäksi joudut-  
tiin TVO I:llä vuoden 1985 aikana pitä-  
mään 4 lyhyttä korjausseisokkia ja TVO  
II:lla samoin 4 seisokkia. Yhdessä näistä  
oli TVO I:llä syynä reaktorin ulospuhal-  
lusventtiilin korjaus, kahdessa ulospuhal-  
lusventtiilien ohjausventtiilien huolto sekä  
yhdessä paineensäätäjän vikaantumisesta  
aiheutunut reaktorin pikasulku. TVO I  
-laitos oli näiden korjausten takia irti val-  
takunnan verkosta yhteensä 8 vrk 4 tun-  
tia ja tuotannonmenetys oli 0,158 TWh.

TVO II:lla oli yhden korjausseisokin syynä painetyyppijärjestelmän korjaus reaktorin suojarakennuksessa, yhdessä generaattorin jäähdytysjärjestelmän vesivuoto ja kahdessa reaktorin ulospuhallusjärjestelmän ohjausventtiilin huolto. Näiden takia TVO II oli irti verkosta 5 vrk 13 tuntia ja tuotannon menetystä aiheutui 0,142 TWh.

Polttoainejakson loppuvaiheen venytysajo (coast down) oli TVO I:llä keväällä 1985 poikkeuksellisen pitkä, 74 vuorokautta. TVO II:n venytysajossa oltiin lähellä n. 1 kuukauden pituista optimia, jolloin polttoaineen säästäminen kompensoi laskevista tehosta johtuvan tuotannonmenetyksen (laskettuna Suomessa kevättulvien aikana vallitsevalla korvaussähkön hinnalla).





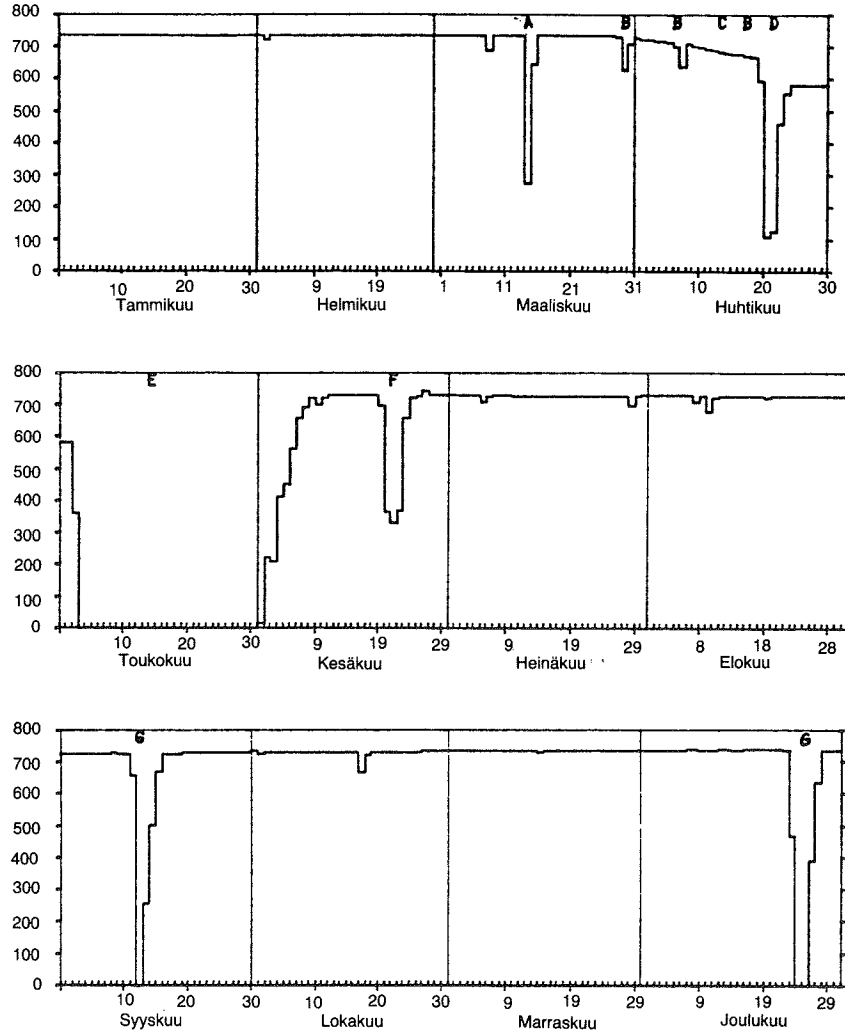
TVO I:n venytysajossa menetettiin tuotannosta 0,192 TWh ja TVO II:n 0,039 TW. Epätavallisena reaktorifysikaalisena keinona pienenevän reaktiivisuuden kompensoimiseksi kokeiltiin TVO I:llä ensimmäistä kertaa säätösauvojen sisääntöntämistä venytysajon loppuvaiheessa. Kaikki säätösauvat työnnettiin 100 %:n ulosvedetystä asennosta 15 % sisäänpäin, jolloin sähköteho nousi n. 9 MW ja noususta oli 1 viikon kuluttua jäljellä vielä 5 MW. Ilmiön selitys on siinä, että säätösauvojen vähäinen sisääntöntö siirtää "loppuunpalaneen" reaktorisydämen tehojakautuman maksimikohtaa hiukan ylöspäin alueelle, jossa palavaa isotooppia on runsaammin jäljellä.

Radioaktiivisten aineiden päästöt Olkiluodon laitokselta v. 1985 olivat vähäiset edellisten vuosien tapaan: kaasumaisten aineiden päästöt ilmakehään alle havaintorajan, jodien päästö 0,0026 % sallitusta ja nestemäisten aineiden päästöt mereen 5,6 % sallitusta määrästä. Laitoksen jäähdytysveden ottoa ja purkua koskeva vesioikeuden lupa päättyi 31.12.1985. Länsi-Suomen vesioikeuden päätöksellä 19.4.-85 annettu uusi vesilupa on ehdotetaan jonkin verran aikaisempaa lupaa lievempi: mm. merialueen lämpötilarajoitus on nostettu 28°C:sta 30°C:een.

Käytetyn polttoaineen välivaraston rakennustyöt jatkuivat Olkiluodossa koko vuoden. Työmaalla vietettiin harjannostajaisia 13.12.-85. Ensimmäiset asennustyöt (ilmastointi, kaapelihyllyt, rakennussähköisyys) alkoivat syyskuussa ja prosessiputkiston asennuksiin päästiin marraskuussa. Varastoon tulee nyt menossa olevassa rakennusvaiheessa kolme käytetyn polttoaineen säilytysallasta, joista ensimmäisellä aloitettiin peltiverhoustyöt joulukuussa. Varaston kustannusarvio on 200 milj. mk ja käyttöönotto v. 1987 alkuvuodesta. □

## TVO II

Teho (MW) Brutto



## IVO, TVO

# Perusvoima Oy perustettu

**IVO ja TVO ovat 14.2.1986 perustaneet Perusvoima Oy -nimisen yhtiön (PEVO). Yhtiön tehtävänä on uuden ydinvoimalaitoksen suunnittelu ja rakentaminen. Tätä tarkoitusta varten yhtiö jättää lähiaikoina valtiovalle hakemuksensa.**

Voimayhtiöt ovat tehneet yhteistä selvitystyötä perusvoimaratkaisujen valmistelun merkeissä jo vuonna 1982 solmitun yhteistyösopimuksen pohjalta. Yhteistyö saa uudessa yhtiössä kiinteämmät muodot.

Perusvoima Oy:n hallitukseen valittiin TVOsta pääjohtaja Krister Ahlström, vuorineuvos Kari Kairamo, vuorineuvos Jouko Sere ja apulaiskaupunginjohtaja Gunnar Smeds. Heidän varajäsenikseen valittiin toimitusjohtaja Magnus von Bonsdorff, varatoimitusjohtaja Simo Vuorilehto, toimitusjohtaja Antti Koivuniemi ja toimitusjohtaja Aimo Puromäki. IVOsta valittiin toimitusjohtaja Kalevi Numminen, varatoimitusjohtaja Klaus Ahlstedt, johtaja Pertti Voutilainen ja johtaja Kalervo Nurmimäki. Heidän varajäsenikseen valittiin kehitysjohtaja Lasse Nevanlinna, talousjohtaja Arto Viitala, johtaja Jaakko Holm sekä tutkimusjohtaja Pekka Salminen.

Hallituksen puheenjohtajaksi valittiin pääjohtaja Krister Ahlström ja varapuheenjohtajaksi toimitusjohtaja Kalevi Numminen.

Toimitusjohtajaksi nimitettiin tuotantojohtaja Anders Palmgren, joka on aieminkin koordinoanut IVOssa tehtyjä ydinvoimavaihtoehtojen soveltuvuustutkimuksia ja voimayhtiöiden välistä yhteistyötä.

TVO ja IVO omistavat kumpikin puolet uudesta yhtiöstä. Perusvoima Oy olisi myös osakkaiden tavoitteena olevan ydinvoimalaitoksen omistaja.

Perusvoima Oy:n muodostaminen merkitsee voimayhtiöiden kannalta, että on luotu valmius toimia energiapolitiittisen päätöksenteon etenemisen myötä. Voimayhtiöt pitävät edelleen avoimina useita eri vaihtoehtoja mahdollisiksi laitosratkaisuiksi, vaikka pääpaino nyt onkin Loviisan ja Olkiluodon nykyisten kaltaisten laitosten tutkimisessa. □

# Käytetyn ydinpolttoaineen sijoituspaikka- tutkimukset etenevät — kunnat kiinnostuneita jatkotutkimuksista

**Teollisuuden Voima Oy jätti viime vuoden lopussa kauppa- ja teollisuusministeriölle selvityksen niistä alueista, jotka voisivat tulla kysymykseen et-sittäessä sopivaa paikkaa käytetyn polttoaineen loppusijoitusta varten.**

Kolme vuotta kestäneiden tutkimusten perusteella löydettiin Suomesta noin 100 kallioaluetta, joiden joukosta on tarkoitus valita alueet alustaviin kenttätutkimuksiin. Vuoteen 1992 mennessä alustavia tutkimuksia tehdään 5—10 alueella ja sen jälkeen jatketaan tutkimalla tarkemmin 2—3 aluetta. Paikan lopullinen valinta tehdään vuonna 2000. Ohjelma perustuu valtioneuvoston periaatepäätökseen vuodelta 1983. Lisäksi kauppa- ja teollisuusministeriö täsmensi viime joulukuun alussa tekemällään päätöksellä periaatepäätöksen sisältöä ja paikkatutkimusohjelman etenemistavoitteita.

## Sopivia alueita löytyy Suomesta toista sataa

Tutkimusalueiden valintaan tähtäävä selvitystyö käynnistyi kolme vuotta sitten. Merkittävin osa työstä tehtiin Geologian tutkimuskeskuksessa, jossa on arvioitu lukuisten kallioalueiden ominaisuuksia ja soveltuvuutta jatkotutkimuksiin. Geologiset selvitykset tehtiin pääasiassa karttatutkimuksina. Työhön kuului myös selvityksiä asutuksesta, suojelualueista, kuljetuksista ja maanomistuksesta. Nämä selvitykset tehtiin Saanio & Laine Oy:ssä. Lisäksi Geologian tutkimuskeskus teki erillisselvityksen Olkiluodon alueen geologisista ominaisuuksista.

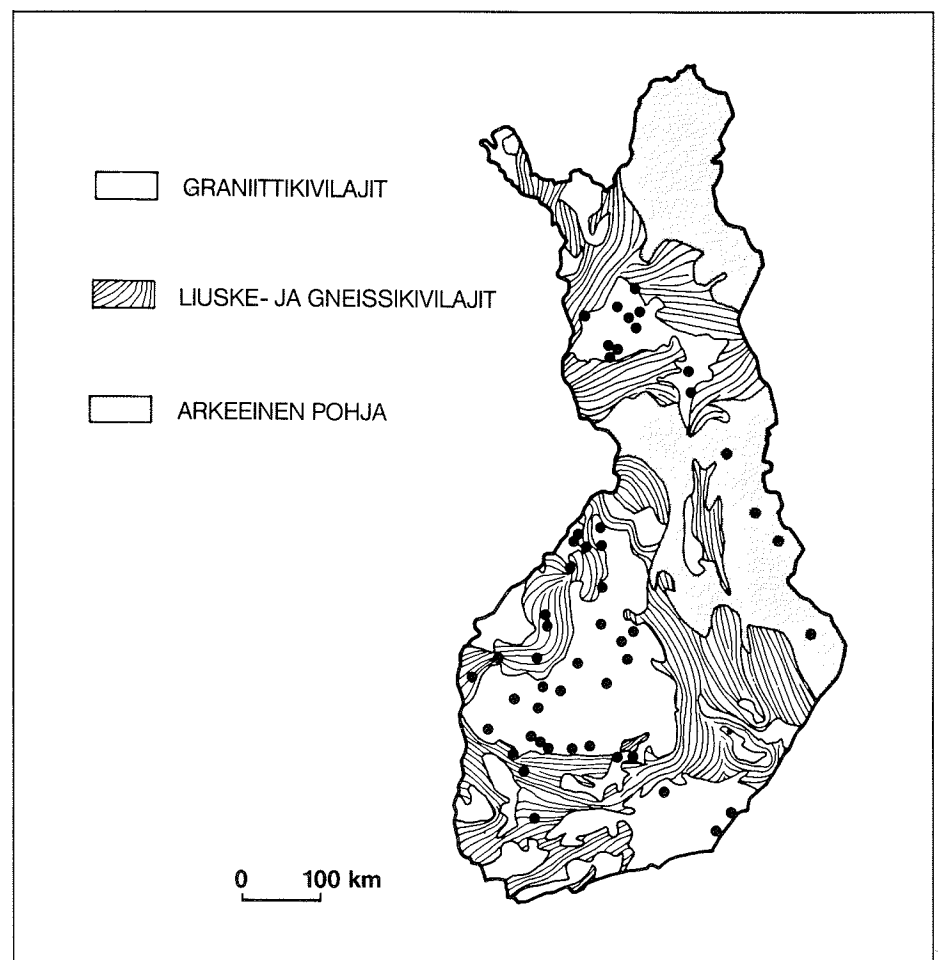
Työ eteni vaiheittain siten, että alkuvaiheessa tarkastelun kohteena oli laajoja kallio- ja kallioperän lohkoja, pinta-alaltaan 100—200 km<sup>2</sup>. Työn edetessä selvitykset kohdistettiin suppeammille, muutamankilometrin kokoisille kallioalueille. Alueet rajattiin joka vaiheessa geologisiin perusteisiin. Osa alueista karsiutui työn kuluessa pois ympäristöselvitysten perusteella. Karsintaan vaikuttaneista ympäristötekijöistä olivat tärkeimpiä asutus ja luononsuojelunäkökohdat.

Selvityksessä löydettiin eri puolilta Suomea kaikkiaan 101 jatkotutkimuksiin soveltuvaa kallioaluetta (kuva 1). Näiden lisäksi Olkiluodon aluetta pidetään edelleen mukana yhtenä mahdollisena jatkotutkimusalueena.

## Jatkotutkimukset ja viranomaiskäsittely

Nyt valmistuneet selvitykset ovat vasta alkuvaihe pitkjänteisessä tutkimusohjelmassa, sillä loppusijoituspaikka valitaan vasta vuonna 2000. Tarkempien tietojen hankkiminen kallioiden ominaisuuksista ja soveltuvuudesta käytetyn polttoaineen

loppusijoitukseen edellyttää syvälle kallio-  
perään ulottuvia kairaustutkimuksia. Esi-  
tetyistä sadasta alueesta vain muutama,  
suunnitelman mukaan 5—10 aluetta, tut-  
kitaan kairaamalla tulevina vuosina. Jat-  
kotutkimusalueet valitaan yksi kerrallaan.  
TVO:n tarkoituksena on valita ensimmäi-  
nen alue ja käynnistää jatkotutkimukset  
siellä vuoden 1986 aikana. Tavoitteena on  
ensimmäinen tutkimusalueen valinta maa-  
liskuussa 1986. Jatko-ohjelman aikataulu  
määräytyy kuitenkin lopullisesti vasta tut-  
kimuksia valvovien viranomaisten hyväk-  
symisen jälkeen.



Kuva 1. Mahdollisten jatkotutkimusalueiden sijainti erityyppisillä kivilajialueilla. Karttapohjan kivilajitiedot on esitetty hyvin yleistetyssä muodossa.

TVO toimitti raportit tausta-aineistoineen kauppa- ja teollisuusministeriölle sekä tiedoksi säteilyturvakeskukselle ja ympäristöministeriölle. Samalla TVO toimitti viranomaisille kenttätutkimusten tutkimusohjelman. Kauppa- ja teollisuusministeriö ja säteilyturvakeskus tekevät selvityksistä yleisarvioinnin, joka on käynnistymässä. Lisäksi ympäristöministeriö on käynyt valittuja alueita läpi ja tämän seurauksena joitakin alueita voi karsiutua pois jatkosta.

#### Kuntien informointi ja yhteydet kuntiin julkistamisen jälkeen

Kuntia informoitiin aluevalinnasta samanaikaisesti kun alueet julkistettiin. Sen jälkeen kuntiin toimitettiin lisäaineistoa, mm. karttoja. Lisäksi TVO:ssa varauduttiin antamaan kunnille ja tiedotusvälineille lisäinformaatiota loppusijoitustutki-

muksista. Jokaiselle kunnalle, jota asia koskee, nimitettiin TVO:sta yhteyshenkilö, joka vastaa kysymyksiin ja toimittaa materiaalia lisätietoja haluaville. Tämä järjestely osoittautuikin tarpeelliseksi, sillä TVO:hon tuli runsaasti loppusijoitustutkimuksia koskevia tiedusteluja. Kuntien edustajien lisäksi varsinkin paikallislehdet ovat olleet kiinnostuneita asiasta.

Useammassa kunnissa on lähdetty siitä, että kaikkeen TVO:n lähettämään aineistoon on perehdyttävä huolellisesti ennen kuin mielipidettä muodostetaan. Yli kymmenessä kunnassa on tunnettu kiinnostusta asiaan niin paljon, että TVO:n edustajia on pyydetty paikan päälle kertomaan tarkemmin tutkimussuunnitelmista. Kenttätutkimusten käynnistäminen ei vielä edellytä kunnan päätöstä asiasta, joten TVO ei myöskään ole pyytänyt kuntia käsittelemään asiaa tai ottamaan kantaa jatkotutkimuksiin. Helmikuun puoliväliin

mennessä on kuitenkin kuudesta kunnasta (Evijärvi, Kihniö, Kuhmoinen, Lappa- järvi, Ranua, Ylitornio) lähetetty TVO:lle tiedoksi kunnanhallituksen myönteinen kanta tutkimusten käynnistämiseen. Kielteiset reaktiot ovat olleet harvassa. Vain yksi kielteinen päätös (Jaala) on tullut TVO:lle tiedoksi 14.2.1986 mennessä.

Kuntien johdon informoinnin lisäksi on ydinjäteasioista käyty kertomassa muutamassa yleisötilaisuudessa ja laadittu joitakin vastineita lehtikirjoituksiin.

TVO:ssa kuntien yhteyshenkilöt ovat seuranneet paikallislehtien kirjoittelua ja yleisön kantaa tutkimuksiin. Yleinen suhtautuminen loppusijoitustutkimuksiin näyttää vaihtelevan laidasta laitaan. Toiset toivottavat tutkijat vaikka heti tervetulleiksi, kun taas joillakin tuntuu edelleenkin olevan voimakkaita ennakkoluuloja asiaa kohtaan. □

## Säteilyturvakeskus — viranomainen ja asiantuntija

*Säteilyturvakeskuksen toimintaa esittelevän sarjan päättää keskuksen säteilybiologian laboratorio (sbl). ATS:n numerossa 2/1985 on esitelty keskuksen ydinturvallisuusosasto, numerossa 3/1985 tarkastusosasto ja numerossa 4/1985 valvontaosasto.*

#### Säteilybiologian laboratorio

Säteilybiologian laboratorion (sbl) tehtävänä on suorittaa kokeellista, teoreettista ja epidemiologista tutkimusta, joka liittyy säteilyn aiheuttamien terveydellisten haittojen laatuun, määrään ja syntytapaan sekä säteilyaltistuksen biologisiin ja lääketieteellisiin toteamis- ja seurantamentelmiin. Sbl antaa myös asiantuntijalausuntoja säteilyn vaikutuksiin liittyvistä kysymyksistä ja suorittaa säteilyaltistuksen valvontaa biolääketieteellisin menetelmin.

Säteilybiologian laboratoriossa on tutkimusjaosto ja terveystarkkailujaosto; henkilökuntaa on yhteensä 11 henkilöä.

Kun syöpägenit 1980-luvulla keksittiin, jouduttuihin myös säteilyn aiheuttamaa

syöpää tarkastelemaan aivan uudesta näkökulmasta. Tämä aiheutti luonnollisesti huomattavan muutoksen sbl:n tutkimusohjelmassa, sillä syöpägenien aktivoitumisen selvittäminen ja ymmärtäminen ei enää onnistunut vanhojen menetelmien avulla. Sbl:ssa tällä hetkellä tehty suunnattu perustutkimus pohjautuu nyky-aikaisen geeniteknologian hyväksikäyttöön. Tutkimustyön yhtenä välittömänä tarkoituksena on huolehtia siitä, että STUK:n asiantuntemus säteilyn vahingollisista vaikutuksista on jatkuvasti uusimman tieteellisen tiedon tasolla.

Sbl tutkii säteilyn vahingollisia vaikutuksia myös muulla tavalla kuin geenimuutoksina. Yksi tällainen tapa on epidemiologinen tutkimus, jonka tärkeimpänä kohteena on asunnoissa tapahtuvan radonaltistuksen ja keuhkosyövän välisen yhteyden selvittäminen. Toisena kohteena on syövän ilmaantuvuuslukujen jatkuva seuranta ydinvoimalaitosten lähikunnissa. Molemmissa tutkimuksissa yhteistyökumppanina on Suomen Syöpärekisteri.

Lainsäädännön määräykset edellyttävät, että sbl:n tulee suorittaa myös terveystarkkailuun liittyvää tutkimusta ja tarpeellista valvontaa. Säteilyaltistuksen biologisista toteamis- ja seurantamenetelmistä vain

yksi, kromosomianalyysi, on riittävän herkkä ja spesifinen yksilötasolla. Analyysi on kuitenkin niin työläs, että menetelmän käyttö täytyy rajoittaa epäiltyjen annosilyitys- ja onnettomuustapausten selvittämiseen sekä yhden pienen työntekijäryhmän kromosomimuutosten pitkäaikaiseen seurantaan. Työntekijöiden rutiinomainen terveystarkkailu tapahtuu verentutkimustulosten seurannan avulla; verenkuvamuutoksista voi kuitenkin todeta vain huomattavan suuren, äkillisen säteilyaltistuksen.

Sbl:n rooli STUK:n erillisenä toimintayksikkönä eroaa selvästi viranomaisvalvontaa suorittavista STUK:n osastoista. Sbl on ensisijaisesti tutkimusyksikkö, mutta se ei kuitenkaan tarkoita, että sbl olisi STUK:ssa kokonaan irrotettu viranomais-tehtävistä ja työskentelisi vain tieteellisten, perustutkimukseen liittyvien ongelmien parissa. Tosiasiassa sbl aktiivisesti osallistuu STUK:lle annetun päätehtävän, säteilyn vahingollisten vaikutusten estämisen ja rajoittamisen, käytännön toteuttamiseen toimimalla STUK:n sisäisenä asiantuntijana säteilyn biologisten vaikutusten osalta. □

## VTT:n ydinenergia-alan tutkimustoiminta

***Julkisen vallan ohjaama tutkimustoiminta tapahtuu suurimmaksi osaksi Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa (VTT). Vuonna 1985 VTT:n osuus kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) rahoittamasta ydinenergia-alan tutkimustyöstä oli lähes 80 %. Lisäksi osa VTT:n suorittamasta tutkimuksesta on omarahoitteista. Tämä esitys on rajattu käsittelemään VTT:ssä tehtävää julkisrahoitteista ydinenergia-alan tutkimustoimintaa.***

Suomen neljän ydinvoimalaitosyksikön käyttövarmuus ja ydinvoimalla tuotetun sähkön osuus ovat jo usean vuoden ajan olleet kansainvälistä huippuluokkaa. Esimerkiksi vuonna 1985 laitosten keskimääräinen käyttökerroin oli 89 % ja ydinsähkön osuus sähköntuotannosta 38 %. Lisäksi radioaktiivisten aineiden päästöt ympäristöön ja työntekijöiden saamat säteilyannokset ovat kansainvälisen mittapuun mukaan hyvin alhaisia.

Saavutettu hyvä tulos perustuu käytössä olevan teknologian syvälliseen hallintaan, jonka saavuttamisessa omakohtaisella tutkimus- ja kehitystyöllä on tärkeä osuus. Toisaalta Suomen hyvät suhteet niin itään kuin länteen luovat hedelmällisen pohjan laajalle kansainväliselle yhteistyölle, joka on luonteenomaista ja välttämätöntä kaikelle ydinenergia-alan toiminnalle Suomessa.

### **Ydinenergia-alan tutkimuksen keskeiset päämäärät**

KTM:n rahoittaman ydinenergia-alan tutkimuksen ohjaamisessa ja suuntaamisessa atomienergianeuvottelukunta (AEN) on keskeisessä asemassa. AEN tarkastelee vuosittain tutkimuksen suuntaamista projektitasoa myöten.

Vuonna 1983 AEN:n asettama työryhmä teki yksityiskohtaisen selvityksen ydinenergia-alan tutkimustarpeesta 1980- ja 1990-luvulla Suomessa. Tutkimustarpeen ja tutkimuksen suuntaamisen lisäksi työryhmä tarkasteli julkisen vallan tehtäviä ydinenergia-alan tutkimuksen ohjaajana ja tutkimukselle asetettavia keskeisiä tavoitteita. KTM tiivistä selvityksen edelleen osaksi energiaturkimusohjelmaansa vuosille 1984—1988.

Tutkimustarveselvityksen mukaan julkisen vallan tehtävänä on huolehtia siitä, että Suomessa on korkeatasoinen koulutusjärjestelmä, tutkimus- ja kehitystoiminnan vaatimat henkilö- ja laitteistovaroitukset sekä keinot ja mahdollisuudet teknologian siirtoon johtavista ydinenergiamaista. Julkisen vallan tulee omalla panoksellaan myös varmistaa, että energiapoliittinen päätöksenteko ja erityisesti ydinenergian käytön turvallisuusvalvonta perustuvat omakohtaiseen asiantuntemukseen. Asiantuntemuksen on tarvittaessa oltava saatavilla siten, että turvallisuutta ei missään tilanteissa vaaranneta.

### **VTT:n rooli ydinenergia-alan tutkimustyössä**

Ydinenergia-alan tutkimustoiminnassa VTT:llä on laajalti instituution asema. Useilla tutkimuksen osa-alueilla VTT on Suomessa ainoa tutkimusorganisaatio ja tutkimuspalvelujen tarjoaja. Tästä seuraa velvollisuus huolehtia ydinenergia-alan teknologian ja tiedon siirrosta sekä riippumattoman asiantuntemuksen ylläpitämisestä.

VTT:ssä suoritetaan noin 65 % Suomen ydinenergia-alan varsinaisesta tutkimustyöstä. Muita merkittäviä tutkimuslaitoksia ovat Geologian tutkimuskeskus (GTK), Helsingin yliopiston radiokemian laitos (HYRL) ja korkeakoulu. Näiden osuus on noin 15 % tutkimustyöstä ja ne ovat suuntautuneet lähinnä ydinjätehuollon tutkimusalueelle. Voimayhtiöiden ja teollisuuden osuus on noin 20 %.

VTT noudattaa tutkimustyössä ehdotonta puolueettomuutta. Toimeksiannoissa noudatetaan ehdotonta tai toimeksiantajan kanssa sovittavaa luottamuksellisuutta, kun taas julkisrahoitteisen tutkimuksen tulokset ovat pääsääntöisesti kaikkien saatavilla. Nämä VTT:n keskeiset toimintaperiaatteet soveltuvat hyvin myös ydinenergia-alan tutkimukseen.

### **Ydinenergia-alan tutkimuksia suorittavat laboratoriot**

VTT jakaantuu organisatorisesti viiteen tutkimusosastoon ja ne edelleen yhteensä 33 laboratorioon. Ydinenergia-alan tutkimustoimintaa on kuudessa eri laboratoriossa, jotka on esitetty kuvassa 1. Ydinvoimatekniikan laboratorio on nimensä mukaisesti merkittävin ydintutkimuksen suorittaja. Sinne keskittyy noin 40 % VTT:n ydinenergia-alan tutkimustoiminnasta, jota koordinoi energiatekniikan tutkimusosasto.

### **VTT:n ydinenergia-alan tutkimus tutkimusalueittain**

#### **1. Turvallisuus ja ympäristövaikutukset**

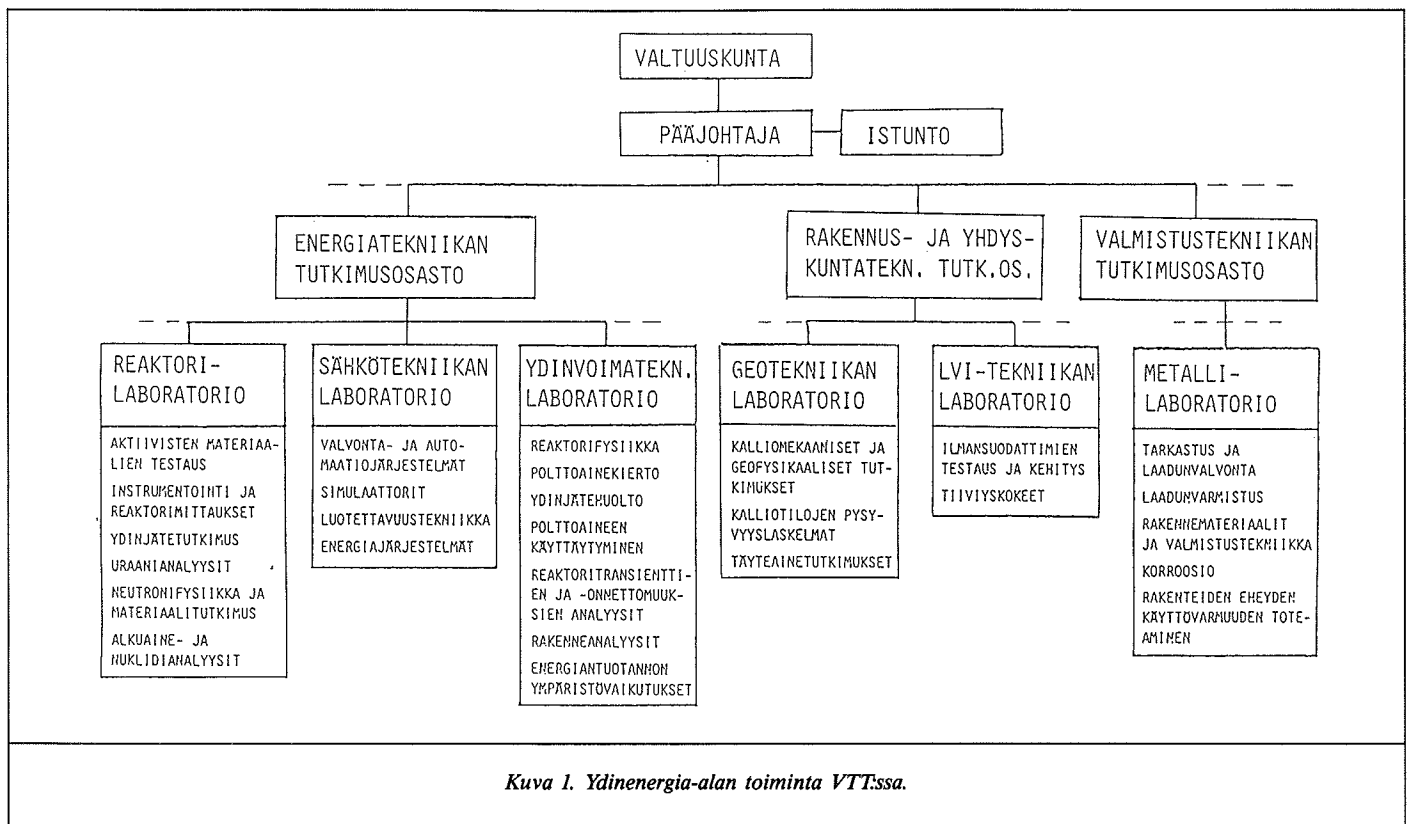
Turvallisuuteen ja ympäristövaikutuksiin kohdistuvalla työllä on keskeinen asema VTT:n ydinenergia-alan tutkimuksessa. Se onkin laajuudeltaan suurin tutkimusalueista. Tärkeimmät tutkimuskohteet ovat:

— Ydinvoimalaitosten termohydraulinen käyttäytyminen häiriö- ja onnettomuustilanteissa

VTT suorittaa ydinvoimalaitosten käytön-aikaisten häiriötilanteiden, suunnittelun perustaksi määriteltyjen onnettomuustilanteiden ja ns. vakavien reaktorionnettomuuksien arvioita. Tutkimuksen vaatimien suurten kustannusten vuoksi kokeellinen perustieto ja suuret tietokoneohjelmat hankitaan valtaosaltaan osallistumalla kansainväliseen yhteistyöhön. Oma teoreettista ja kokeellista tutkimusta suoritetaan mm. suomalaisten laitosten erityispiirteiden huomioon ottamiseksi ja vasta-suorituksiksi kansainvälisiin projekteihin osallistumista. Oma kokeellinen toiminta on keskitetty Lappeenrannan teknilliseen korkeakouluun, jonne on rakennettu monipuolinen lämpö- ja virtaustekninen REWET-koelaitteisto.

— Luotettavuustekniikka ja todennäköisyysperustainen turvallisuusanalyysi

Tutkimustoiminnassa sovelletaan ja kehitetään luotettavuustekniikan eri menetelmiä ydinvoimalaitosten luotettavuus- ja käytettävyyssanalyyseihin. Nykyisten menetelmien merkittävin puute on niiden rajallinen kyky ottaa huomioon inhimillisten tekijöiden vaikutuksia. Inhimillisen luotettavuuden arviointi- ja mallintamiskeinoja tutkitaan aktiivisesti. Todennäköisyysperustaisen turvallisuusanalyysin (PSA) menetelmät ovat laajalti hyväksytyjä ydinvoimalaitosten turvallisuuden arvioinnissa. Kuitenkin merkittävää tutkimuspanosta vielä tarvitaan PSA:n soveltamiseksi nykyistä laajemmin ydinvoimalaitosten turvallisuuden ja taloudellisuuden arviointiin.



Kuva 1. Ydinenergia-alan toiminta VTT:ssä.

#### — Ydintekninen rakenneanalyysi

Rakeneanalyysitutkimuksen tavoite on varautua voimalaitosten vanhetessa odotettavissa oleviin ongelmiin lisäämällä erityisesti tietämystä väsymällä tai korroosiomekanismilla kasvavien säröjen merkityksestä. Uusien ydinvoimalaitosten kannalta tavoitteena on erityisesti rakentamiskustannusten alentaminen pitämällä kuitenkin yllä korkeaa turvallisuutta ja käytettävyyttä. Tärkeimpiä tutkimuskohhteita ovat putkistojen vaurioanalyysit ja murtumismekaniikka sekä elementtimenetelmän (FEM) eri sovellusalueiden tutkimus- ja kehitystyö.

#### 2. Reaktoriteknologia ja ydinenergiajärjestelmät

Reaktoriteknologia ja ydinenergiajärjestelmien tutkimusalueen painoarvo kasvaa huomattavasti, jos Suomeen päätetään tilata viides ydinvoimalaitosyksikkö. Nykyinen julkisrahoitteinen tutkimus voitaisiin suurelta osin lukea kuuluvaksi myös varsinaisen turvallisuustutkimuksen alueeseen. Tärkeimmät tutkimuskohteet ovat:

##### — Materiaalitutkimus

Materiaalitutkimus kohdistuu ensisijaisesti painettakantavien raskaiden komponenttien ja putkistojen, ydinpolttoainekierron materiaalien ja radioaktiivisen jätteen säilytyskapselien eheyden varmistamiseen ja turvalliseen käyttöön. Tärkeimpiä tutkimusaiheita ovat murtumismekaniikka, terästen säteilyhaurastuminen, ympäristövaikutteinen särönkasvu ja korroosio, komponenttien valmistus- ja korjausmenetelmät sekä materiaalien karakterisointi ja vaurio selvitykset.

#### — Ydinvoimalaitosautomaatio

Instrumentointi- ja automaatiojärjestelmät vaikuttavat olennaisella tavalla laitosten käyttövarmuuteen ja turvallisuuteen. Automaatiojärjestelmien rakentaminen sopii myös hyvin suunnitelmien teollisuuden tuotekuvaan, joten alan tutkimuksella on merkitystä laitosten kotimaisuusasteen nostamisen samoin kuin vientitoimitusten kannalta. Tutkimus kohdistuu simulaattoreihin suunnitteluun ja koulutuksen apuneuvona, valvomoiden suunnitteluun sekä operaattorien tuki- ja apujärjestelmien suunnitteluun. Alueen tutkimustoiminta edellyttää myös inhimillisen käyttäytymisen tuntemusta.

#### 3. Ydinvoimalaitosten käyttö

Ydinvoimalaitosten käyttö on laajuudeltaan pienin soveltavan tutkimuksen tutkimusalue. Tutkimusalueella on julkisrahoitteisen tutkimuksen laajuus vähentynyt ydinvoimalaitosten rutiinikäyttövaiheen myötä samalla kun voimayhtiöiden ja myös STUK:n soveltavat toimeksiannot ovat lisääntyneet. Tärkeimmät tutkimuskohteet ovat:

##### — NDT-menetelmät

Ainetta rikkomattomien tarkastusmenetelmien tutkimus- ja kehitystyössä on pääpaino lämpötilavaihteluiden ja raerajakorroosion synnyttämien säröjen paikantamisessa ja vikakoon arvioinnissa. Tutkimustyön yhteydessä kehitetään tarvittavat tarkastusvälineet ja tarkastusrutiinit. Kehitettyjä menetelmiä sovelletaan merkittävässä määrin voimalaitoksissamme.

#### — Reaktorimittaustekniikka

Reaktorimittaustekniikan tutkimuksen pääkohteita ovat ydinvoimalaitosten paineastiaterästen mittauksiin liittyvät neutroniannostutkimukset, vuosihuoltoon ja polttoaineen varastointiin liittyvät reaktiivisuustutkimukset sekä reaktoridiagnostiikkatutkimukset.

#### 4. Polttoainehuolto

Ydinvoimalaitosten turvallisen käytön lisäksi polttoainehuollon tutkimustoiminnalla on merkittävä vaikutus laitosten käytön taloudellisuuteen. Myös tällä tutkimusalueella on voimalaitosten rutiinikäyttövaiheen myötä voimayhtiöille tehtävän konsultointityön suhteellinen osuus kasvanut verrattuna julkisrahoitteiseen tutkimusryöhön. Tärkeimmät tutkimuskohteet ovat:

##### — Ydinpolttoainekierto

Ydinpolttoainekierron tutkimuksella ylläpidetään Suomessa tehtävien ratkaisujen edellyttämä tietous polttoainekierron eri vaiheiden teknisistä ja taloudellisista perusteista ja kehityssuunnista. Tutkimus painottuu polttoainekierron kustannustekijöiden, kokonaiskustannusten ja erityisesti käytetyn polttoaineen jälkihuollon vaihtoehtojen arviointiin.

##### — Reaktorifysiikka ja polttoaineen käytön suunnittelu

Polttoaineen käytön suunnitteluun soveltuvat tietokoneohjelmistot on valtaosalta kehitetty itse. PWR-ohjelmisto on otettu voimayhtiössä omaan tuotantokäyttöön ja VTT on kiinteästi mukana BWR-latausjakson suunnittelussa. Laskentajär-

Taulukko 1. VTT:n julkisrahoitteiset ydinenergia-alan tutkimusprojektit vuonna 1986 ja niiden laajuus henkilötyökuukausissa (pl. vuosilomat yms.)

Tutkimusalue Projekti	Projektipäällikkö päävastuullinen laboratorio	Laajuus htkk/v
<b>1. Turvallisuus ja ympäristövaikutukset</b>		
— Ydinvoimalaitosten todennäköisyysperusteinen turvallisuus	DI Urho Pulkkinen, SÄH	25
— Luotettavuustekniikka	DI Urho Pulkkinen, SÄH	26
— Vakavien reaktorionnettomuuksien arviointi	DI Klaus Kilpi, YDI	55
— Ydinvoimalaitosrakenteiden turvallisuus	TkL Kari Ikonen, YDI	37
— Ydinvoimalaitosten termohydraulinen turvallisuusanalyysi	DI Heikki Holmström, YDI	50
— Termohydrauliset reaktoriturvallisuuskokeet	DI Timo Kervinen, YDI	35
— Katastrofaalisen murtuman laskennalliset arviointimenetelmät	TkL Kari Ikonen, YDI	7
Tutkimusalue yhteensä		235
<b>2. Reaktoriteknologia ja ydinenergiajärjestelmät</b>		
— Ydinvoimalaitoskomponenttien ja rakennemateriaalien turvallisuus ja käytettävyys	TKT Kari Törrönen, MET	100
— Yhteispohjoismainen materiaalitutkimus	TKT Kari Törrönen, MET	31
— Ydinvoimalaitosautomaatio	DI Pentti Haapanen, SÄH	41
<b>3. Ydinvoimalaitosten käyttö</b>		
— Ydinvoimalaitosten käyttöturvallisuuden parantaminen NDT-menetelmin	DI Pentti Kauppinen, MET	8
— Reaktorimittaustekniikka	TKT Bruno Bärs, REA	26
Tutkimusalue yhteensä		34
<b>4. Ydinpolttoainehuolto</b>		
— Ydinpolttoainekierron materiaaliselvitykset	DI Esa Vitikainen, MET	33
— Ydinmateriaalien kemiallinen laadunvalvonta	FK Maija Lipponen, REA	15
— Polttoaineen turvallisuus- ja käyttömarginaalit	DI Seppo Kelppe, YDI	18
— Ydinreaktorin turvallisuuden ja taloudellisen käytön reaktori-fysikaaliset näkökohdat	TKT Markku Rajamäki, YDI	11
— Reaktorifysikaalinen ja -dynaaminen tutkimus	TKT Markku Rajamäki, YDI	32
Tutkimusalue yhteensä		109
<b>5. Ydinjätehuolto</b>		
— Ydinjätteen loppusijoitustilat ja kallion tutkimusmenetelmät	PhD Kari Saari, GEO	24
— Kapselimateriaalien korrosio	DI Pentti Aaltonen, MET	8
— Päästöesteiden pidätysominaisuudet	DI Arto Muurinen, REA	14
— Lähialueen kemialliset ilmiöt	FK Margit Snellman, REA	16
— Voimalaitosjätteen huolto	FT Matti Valkiainen, REA	4
— Korkea-aktiivisten jätetuotteiden karakterisointi	FM Hannu Aalto, REA	10
— Käytetyn polttoaineen pitkäkaisstabiilisuus	FM Kaija Ollila, REA	9
— Ydinjätehuollon turvallisuus- ja kustannustutkimus	TkL Timo Vieno, YDI	18
— Ydinjätehuollon turvallisuusanalyysin laskentamallit	TKT Seppo Vuori, YDI	30
Tutkimusalue yhteensä		133
<b>6. Perustutkimus ja erityissovellutukset</b>		
— Säteilytekniikkaan perustuvat prosessianturit	DI Heikki Kumpulainen, REA	18
— Fuusiotutkimus	TKT Seppo Karttunen, YDI	17
Tutkimusalue yhteensä		35
Muu läheisesti ydinenergia-alaan liittyvä tutkimus ja tutkimusreaktorin käyttö		80
<b>JULKISRAHOITTEINEN TUTKIMUS YHTEENSÄ</b>		<b>798</b>

GEO = Geotekniikan laboratorio

MET = Metallilaboratorio

REA = Reaktorilaboratorio

SÄH = Sähkötekniikan laboratorio

YDI = Ydinvoimatekniikan laboratorio

jestelmät antavat reaktorifysikaaliset lähtötiedot kaikille sydäntä ja polttoainetta koskeville analyyseille kuten turvallisuus-, säteilyannos-, ydinjäte- ja polttoainekiertoselvityksille.

— Polttoaineen kestävyys ja suorituskky

VTT osallistuu enimmäkseen yhdessä voimayhtiöiden kanssa mittaviin kansainvälisiin polttoaineen säteilytyskokeisiin, joissa pyritään hankkimaan tietoa pääasiassa polttoaineen kestävyysmarginaaleista ja vikautumistavoista. Polttoaineen lämpömekaanista kestävyyttä arvioivat polttoainemallit viritetään hankittavan tiedon avulla reaktorityyppiokohtaisesti. Ydinpoltoainemateriaalien tutkimus tukee muun muassa polttoaineen hankinnan laadunvarmistusta.

### 5. Ydinjätehuolto

Ydinjätehuollon tutkimusalue on noussut Suomessa viime vuosina turvallisuustutkimuksen jälkeen laajimmaksi tutkimusalueeksi. VTT:ssä selvitetään laajasti ydinjätehuollon eri vaiheiden toteutustekniikkaa ja turvallisuutta. Erityisen keskeinen aihe on käytetyn polttoaineen ja voimalaitosjätteiden loppusijoitus. Tutkimus tapahtuu VTT:ssä usean laboratorion yhteistyönä. Se kattaa niin ympäristövaikutusten arvioimisen teoreettisin mallein kuin myös kokeellisin tutkimuksin tapahtuvan perusilmiöiden tuntemuksen syventämisen mallien lähtötietojen hankinnan.

Ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuden analysointi edellyttää radionuklidien vapautumisnopeuden, kallioperä- ja biosfäärikulkeutumisen sekä aiheutuvien säteilyannosten ja niihin liittyvien terveyshaittojen arviointia. Laskennalliseen mallintamiseen liittyvä kokeellinen tutkimus kattaa jätetuotteiden, teknisten vapautumisehdien sekä kallioperän fyysikaalis-kemiallisten ominaisuuksien määrittämisen sekä pitkäaikaiskäyttötymisen arvioimisen.

### 6. Perustutkimus ja erityissovellutukset

Perustutkimus on kärsinyt eniten ydine-nergian tutkimusmäärärahojen supistamisesta. Näin ollen esimerkiksi uudentyyp-  
pisten fissioon perustuvien reaktorien kehitystä ei aktiivisesti seurata.

Fuusiotutkimusta on voitu jatkaa erittäin suppeana, ja fuusiota koskevaa asiantuntemusta ylläpidetään lähinnä laatimalla selvityksiä fuusioteknologian eri alueilta.

Viime vuosien erityissovellutukset ovat painottuneet aktivointianalyysien menetelmä- ja laitekehitykseen. Toimintaa suunnataan enenevästi säteilyteknisten mittausten menetelmien soveltamiseen prosessiteollisuuden mittaustarpeisiin.

### 7. Tutkimusreaktorin käyttö

Reaktorilaboratoriossa oleva Suomen ainoa tutkimusreaktori, FiR 1, käynnistettiin vuonna 1962. Sen merkitys on ollut ja on edelleenkin huomattava ydine-nergia-alan insinöörien koulutuksessa. Reaktorin käytön painopiste on siirtynyt

erilaisten palvelutoimintojen suuntaan, tärkeimpänä käyttökohdeena erilaiset akti-  
vointianalyysit. Varsinaista ydine-nergia-  
alan tutkimusta suoritetaan nykyisin osal-  
listumalla ulkomaisia, lähinnä neuvosto-  
liittolaisia tutkimusreaktoreita hyväksi  
käyttävään kansainväliseen yhteistyöhön.

### Ydine-nergia-alan tutkimustoiminnan rahoitus

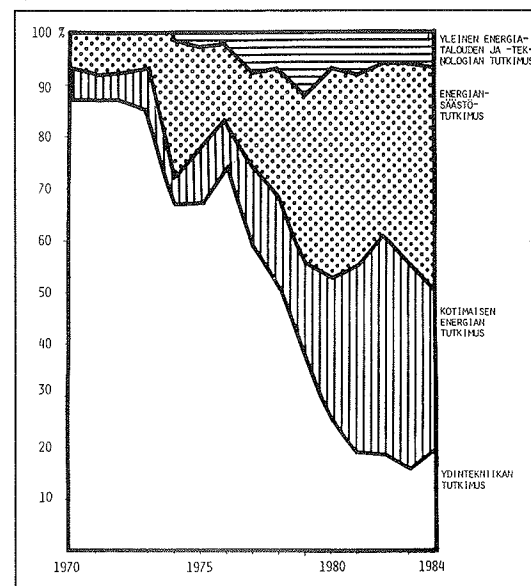
1970-luvulla ja 1980-luvun alussa ydine-nergia-alan tutkimuksen julkinen rahoitus on pienentynyt voimakkaasti suhteessa muun energiatutkimuksen julkiseen rahoitukseen (kuva 2). KTM:n erityisrahoitus ydine-nergia-alan tutkimukseen kasvoi jonkin verran vuoteen 1977 saakka, minkä jälkeen se on supistunut reaalisesti noin 40 % vuoteen 1983 mennessä.

Parina viime vuonna supistuminen on kuitenkin päättynyt. Vuonna 1986 valtion tulo- ja menoarvion mukainen ydine-nergia-alan tutkimuksen erityisrahoitus on 14,5 Mmk, mikä merkitsee reaalista kasvua ensimmäisen kerran lähes vuosikymmenen.

KTM:n erityisrahoituksen reaalisen supistamisen seurauksena myös ydine-nergia-alan toimintojen kokonaislaajuus VTT:ssä on supistunut. Supistumisvauhtia ovat kuitenkin hillinneet VTT:n omien rahoitusmahdollisuuksien lievä kasvu ja voimayhtiöiden lisääntyneet toimeksiantotehtävät.

Suunnitelmien mukaan VTT:n vuoden 1986 ydine-nergia-alan julkisrahoitteisen tutkimuksen kokonaisrahoitus on noin 27 Mmk, josta KTM:n erityisrahoituksen osuus on 11,5 Mmk, VTT:n oma rahoitus kaikkine laskennallisine erineen 11,5 Mmk ja muu rahoitus noin 4 Mmk. Summaan ei ole laskettu tutkimusreaktorin käytön kustannuksia. Tämän lisäksi voimayhtiöt tilaavat tutkimus-, konsultointi- ja testaustyötä noin 13 Mmk:illa, mistä voimayhtiöiden ydinjätetoimikunnan (YJT) osuus on noin 40 %. Kun vielä otetaan

Kuva 2. Julkisen energiatutkimus- ja koetointirahoituksen jakautuminen eri tutkimusaloille 1970—1984/3.



huomioon Säteilyturvakeskuksen toimeksiannot, kohooa VTT:n ydine-nergia-alan toimintojen kokonaisrahoitus yli 40 Mmk:aan. Henkilötyövuosissa mitaten vastaava kokonaislaajuus on noin 135 htv.

### Ydine-nergia-alan tutkimuksen tulevaisuudennäkymiä

Ydine-nergian käytön lisäämiseen kohdistuvat päätöksentekovaikkeudet ovat eräissä maissa johtaneet epävarmuuteen ydine-nergian käytön tulevaisuudesta. Tilanne näkyy osaltaan myös alan tutkimus- ja kehitystoiminnan määrärahojen kasvun hidastumisena ja supistuksina. Myös ydine-nergia-alan suurmaissa USA:ssa ja Saksan liittotasavallassa on tutkimusrahoitus supistunut selvästi. Toisaalta esimerkiksi Japani, Ranska ja SEV-maat panostavat voimakkaasti ydine-nergia-alan tutkimukseen.

Ydinvoimalaitosten turvallisuuskysymykset ja tähän liittyen energiantuotannon ympäristövaikutukset sekä etenkin ydinjätehuolto säilyvät Suomessa edelleen merkittävimpinä tutkimusalueina. Lähivuosina käytetään runsaasti voimavaroja vakavien reaktorionnettomuuksien ja niiden seurausten tutkimiseen. Yhtenä tavoitteena on selvittää, voitaisiinko vakavimpien onnettomuustilanteiden seuraukset osoittaa olennaisesti aikaisemmin arvioitua alhaisemmiksi. Toisaalta pyritään löytämään järkeviä keinoja uusien laitojen tekemiseksi tässä suhteessa yhä paremmiksi.

Yleisesti ydine-nergia-alan tutkimus- ja kehitystyössä pyritään saamaan entistä parempi käsitys tehtävien oletusten ja saatujen tulosten epävarmuuksista ja siten tarvittavista varmuusmarginaaleista. Toden-  
näköisyyspohjaisten analyysimenetelmien käyttöä tullaan lisäämään. Uusien laajojen tietokoneohjelmien ja kehitettyjen laskentamenetelmien verifiointiseksi käynnistettyt kansainväliset koeohjelmat jatkuvat vielä useita vuosia.

Atomine-nergianeuvottelukunta on äskettäin käynnistänyt uuden tutkimustarveselvityksen valmistelun. Tarkoituksena on päivittää aikaisempi selvitys ja asettaa lähivuosien tutkimukselliset tavoitteet Suomessa. Tutkimustarveselvitys valmistuu vuoden 1986 aikana. □

Kirjallisuutta julkisrahoitteisesta ydine-nergia-alan tutkimuksesta:

- 1/ Ydine-nergia-alan tutkimustarve 1980- ja 1990-luvulla Suomessa. KTM/AEN, 1983.
- 2/ Kauppa- ja teollisuusministeriön energiatutkimusohjelma vuosille 1984—1988. KTM/E, sarja C:14, 1983.
- 3/ Katsaus energiatutkimukseen 1984. KTM/E, sarja A, 1985.
- 4/ Julkisrahoitteisen ydinjätetutkimuksen kehittämissuunnitelma vuosiksi 1985—1990. AEN, 1984.
- 5/ Nuclear Energy Related Research, Research Programme Plan 1986. VTT, 1986.

# Kevytvesireaktorilla varustettujen ydinvoimalaitosten käytettävyyden kehitys — koko maailmassa ja Suomessa

*Ydinvoimalaitoksilta saadut käyttökokemukset eivät voi olla vailla merkitystä, kun niin julkinen valta, voimayhtiöt kuin itse kuluttajatkin arvioivat tulevia voimalaitosratkaisuja. Ydinvoimalaitosten käyttökokemuksia ja käytettävyyksiä on järjestelmällisesti seurattu Suomessa ainakin siitä lähtien kun atomienergianeuvottelukunta perusti 1970-luvun alussa KTM:n alaisuuteen ns. luotettavuusryhmän. Ryhmän tehtäviin kuuluivat silloin ensisijaisesti Suomen ydinvoimalaitoksille suoritettavat luotettavuusanalyysit.*

Myöhemmin, sen jälkeen kun luotettavuusryhmä organisoitiin luotettavuustekniikan jaostoksi Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) Sähkötekniikan laboratorioon, myös muiden teknillisten järjestelmien, mm. konventionaalisille voimalaitoksille suoritettavat, käytettävyys-, turvallisuus- ja riskianalyysit ovat kuuluneet sen tutkimustehtäviin.

Tällä kertaa myös Suomessa ns. perusvoimalaitoshankkeen myötä ydinvoimalaitoksilta saadut käyttökokemukset ja saavutetut käytettävyydet ovat tulleet entistä kiinnostavammiksi ja merkityksellisemmiksi.

Ydinvoimalaitoksilta saadut käyttökokemukset eivät voi olla vailla merkitystä, kun niin julkinen valta, voimayhtiöt kuin itse kuluttajatkin arvioivat tulevia voimalaitosratkaisuja, joita joudutaan tekemään sähkökulutuksen kasvun tyydyttämiseksi ja yleensä tulevaisuuden energiahuollon turvaamiseksi. Onhan ydinvoimalaitosten toiminnan hyvyttä kuvaavaa suure, käytettävyys, eräs avainsuure ja eräs herkimmistä sähkön tuotantokustannuksiin vaikuttavista epävarmuustekijöistä arvioitaessa ydinvoimalaitosten taloudellisuutta.

## Käytettävyys ja käyttökerroin

Koska ydinvoimalaitoksia käytetään peruskuormalaitoksina, niin niiden saavut-

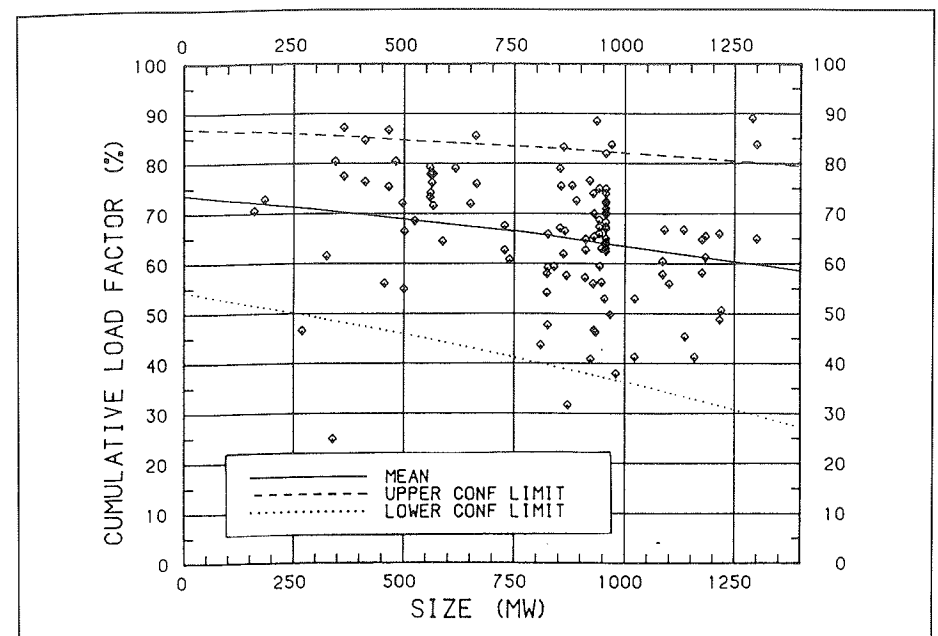
tamat energiakäytettävyysarvot kuvaavat yleensä erittäin hyvin laitosten toimivuutta, johon osatekijöinä vaikuttavat mm. laitoksen käyttövarmuus ja huoltoorganisaatio. Ydinvoimalaitosten osalta raportoidaan yleensä kuitenkin energiakäytettävyyden sijasta energiakäyttökertoimen arvo, sillä sen laskemiseksi tiedot on nopeasti saatavissa ja lisäksi se approksimoi yleensä riittävän hyvin energiakäytettävyyttä. Esim. kesäisinä viikonloppuina ja hyvinä vesivoimavuosina ydinvoimalaitosten kapasiteettia saattaa jäädä varakapasiteetiksi, mikä pienentää ydinvoimalaitoksen energiakäyttökerrointa. Mutta mikäli kysyntä kattaa kaiken käytettävissä olevan kapasiteetin eivätkä ulkoiset rajoitukset — esim. verkkoviat — estä ydinvoimalaitoksen hyväksikäyttöä, on (energia)käyttökertoimen arvo sama kuin (energia)käytettävyyden.

VTT:n sähkötekniikan laboratoriossa suoritettussa tutkimuksessa 1/, 2/ on tilastotematiaattisia menetelmiä hyväksi käyttäen etsitty ja selitetty sellaisia yleisiä tekijöitä, jotka yksin tai keskenään vuorovaikutteisesti ovat myötävaikuttaneet ydin-

voimalaitosten koko kaupallisen käyttöhistorian aikana (1961—1984) saavuttamiin käytettävyyksiin ja näiden kehityssuuntiin. Tutkimus rajattiin käsittämään ns. kevytvesireaktorilaitokset, joita kahta tyyppiä, paine- ja kiehtusvesireaktorilaitoksia, suurin osa maailman nykyisistä ydinvoimalaitoksista on, ja koska myös Suomen ydinvoimalaitokset kuuluvat näihin tyypeihin. Tutkimuksen perussuurena käytettiin vuotuista käyttökerrointa.

## Käytettävyyden kehityssuunnat

Ydinvoimalaitosten koko on kasvanut. Esimerkiksi vv. 1980—83 kaikista kaupalliseen käyttöön otetuista kevytvesireaktorilaitoksista ainoastaan kuusi yksikköä oli bruttosähkötehoaan alle 850 MW, joka on likimain kaikkien nykyisten kevytvesireaktorilaitosten keskikoko. Koko on ollut yksi voimakkaimmin korreloivista tekijöistä kevytvesireaktorilaitosten, etenkin painevesireaktorilaitosten saavuttamien käytettävyyksien kanssa: ydinvoimalaitosten koon kasvaessa ovat niiden saavuttamat käytettävyydet yleensä laskeutuneet (kuva 1).



Kuva 1. Painevesireaktorilaitosten saavuttamat kokonaiskäyttökertoimet vuoden 1984 loppuun mennessä 90 %:n luottamusrajoineen sekä kehityssuunta laitoksen koon mukaan 1/.



Kuitenkin ydinvoimalaitosten iän karttues-  
sa, laitosten selviytyttyä mm. ns. lasten-  
taudeistaan, ydinvoimalaitosten käytettä-  
vyyydet ovat parantuneet. Lisäksi vanhois-  
ta yksiköistä on opittu — niin suunnitte-  
lussa kuin niiden käytössäkin: uudemmat  
yksiköt, sekä pienet että suuret, ovat  
yleensä saavuttaneet parempia käytettä-  
vyyksiä kuin mitä niitä vanhemmat yksi-  
köt olivat saavuttaneet aikaisemmin vas-  
taavan ikäisinä.

Erikoisesti kun verrattiin samalla voima-  
laitoksella sijaitsevien, toistensa kanssa lä-  
hes identtisten, so. samankokoisten, sisar-  
yksiköiden saavuttamia käytettävyyksiä  
keskenään, havaittiin, että nuoremmat si-  
saryksiköt ovat saavuttaneet keskimäärin  
korkeampia käyttökertoimia kuin mitä  
vanhemmat esikoisyksiköt olivat saavutta-  
neet samanikäisinä. Ilmeni viitteitä myös  
siitä, että esikoisyksiköiden käytettävyy-  
staso olisi noussut sen jälkeen, kun voima-  
laitoksella oli käyttöön otettu esikoisyski-  
kön rinnalle yksi tai useampi samanlainen  
sisaryksikkö.

#### Käytettävyyssvertailu eri reaktoritoimit- tajien ja sijaintimaiden suhteen

Käytettävyyssvertailut eri reaktoritoimitta-  
jien ja sijaintimaiden suhteen paljastivat,  
että tiettyjen toimittajien valmistamat  
ja/tai tietyissä maissa sijaitsevat ydinvoi-  
malaitosyksiköt poikkeavat saavuttamien-  
sä käytettävyyksien puolesta sangen sään-  
nöllisesti vastaavista keskimääräisistä  
käytettävyyksistä.

#### Painevesireaktorilaitokset

Euroopan painevesireaktorilaitokset eroa-  
vat selvästi kaikissa kokoluokissa USA:n  
ja Japanin painevesireaktorilaitoksista  
saavuttamiensa käytettävyyksien suhteen.  
Tämä johtuu siitä, että KWU:n (aik. Sie-  
mensin) toimittamat painevesireaktorilai-  
tokset, joita on sekä itse Saksan Liittota-  
savallassa että Hollannissa ja Sveitsissä,  
kun myös Belgian ja Suomen sekä muut  
sveitsiläiset, Westinghousen toimittamat,  
painevesireaktorilaitosyksiköt ovat saavut-  
taneet erittäin korkeita käyttökertoimia.  
Myös Ranskassa, joka käynnisti  
1970-luvun öljykriisin jälkeen laajan ydin-  
voimalaitosten rakentamisohjelman ja jos-  
sa ydinsähkön osuus nykyään on n. 60  
%, Framtomen toimittamien painevesire-  
aktorilaitosten käytettävyyssuhteet on ollut  
keskitason yläpuolella.

Keskimääräinen käyttökerroin esim.  
Euroopan ja USA:n painevesireaktoriyski-  
köiden välillä on ollut pienemmillä yksi-  
köillä viiden %-yksikön luokkaa, kun  
taas keskisuurten ja suurten yksiköiden  
kohdalla ko. ero kasvaa jopa yli 15 %-yk-  
sikköön.

#### VVER-laitokset

Suomi on ainoa länsimaa, jossa on neu-  
vostoliittolaisen Atomenergoexportin toi-  
mittamia VVER-440 painevesireaktorilai-  
toksia. SEV-maissa VVER-440-reaktorilla  
varustettuja ydinvoimalaitoksia on kau-  
pallisessa käytössä jo noin kolmekym-  
mentä, ja lisää näitä standardoituja ydin-  
voimalaitoksia on käyttöönottovaiheessa  
ja rakenteilla.

VVER-440-reaktorin lisäksi Neuvostoliit-  
tossa, jossa — kuten muissakin SEV-  
maissa — on käynnissä suuri ydinvoima-  
laitosten rakentamisohjelma, on kehitetty  
vastaava 1000 MW:n painevesireaktori,  
VVER-1000, joka myös standardisoidaan.  
Ensimmäiset VVER-1000 laitokset ovat jo  
Neuvostoliitossa käytössä.

Vuotuiset käyttökertoimet SEV-maiden  
ydinvoimalaitoksilta osoittavat hyvää käyt-  
tävyyssuhteita myös SEV-maissa olevilla  
VVER-laitoksilla. VVER-yksiköt Suomes-  
sa ovat yhtä vuotta (1980) lukuunottamat-  
ta saavuttaneet korkeita käytettävyyksiä.  
1980 Loviisan ensimmäinen yksikkö oli  
eräiden tarkastustoimenpiteiden ja havait-  
tujen vikojen takia noin seitsemän kuu-  
kauden pituisessa seisokissa. Loviisan yk-  
siköiden muut kuluvalle vuosikymmenellä  
saavuttamat vuotuiset käyttökertoimet si-  
joittuvat ydinvoimalaitosten kansainväli-  
sessä käytettävyyssvertailussa kärkipäähän.

#### Kiehuvesireaktorilaitokset

Kiehuvesireaktorilaitoksia hallitsevat  
General Electricin toimittamat tai sen  
myöntämällä lisenssillä valmistetut laitok-  
set. Asea-Atom on kehittänyt oman kie-  
huvesireaktorinsa, joita se on toimitta-  
nut Ruotsiin ja Suomeen.

Asea-Atomin kiehuvesireaktorilaitosten  
saavuttamat keskimääräiset käytettävyydet  
eroavat edukseen muiden — Sveitsin yhtä  
reaktoriyksikköä lukuunottamatta — kie-  
huvesireaktorilaitosten saavuttamista  
keskimääräisistä käytettävyyksistä  
(kuva 2).

Aiemmin Asea-Atomin toimittamilla ydin-  
voimalaitoksilla generaattorit aiheuttivat  
epäkäytettävyyttä, kun taas itse reaktorin  
käytettävyyssuhteet on ollut hyvä.

Etenkin Asea-Atomin Suomeen toimitta-  
mat yksiköt, Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2,  
ovat saavuttaneet korkean käytettävyyssu-  
hteen ja myös ne sijoittuvat kansainvälises-  
sä käytettävyyssvertailussa kärkipäähän.

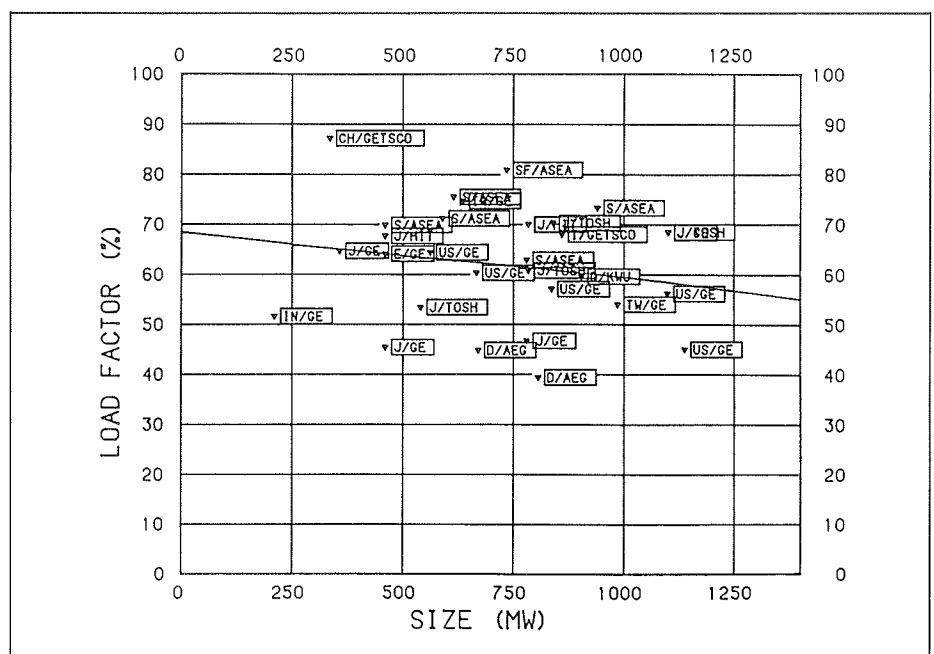
#### Johtopäätöksiä

Käytettävyyksissä tunnistettujen kehitys-  
suuntien lisäksi ko. tutkimuksen eräs kes-  
keisimmistä johtopäätöksistä on se, että  
ydinvoimalaitokset muodostavat erittäin  
epähomogeenisen populaation saavutta-  
miensa käytettävyyksien suhteen. Yleiset  
(monissa ydintekniikka-alankin lehdissä  
julkaistut) käytettävyysskeskiarvot kätkevät  
suuria hajontoja eri ydinvoimalaitosten  
saavuttamien käytettävyyksien välillä, ei-  
vältä ne täten pysty antamaan oikeaa ku-  
vaa monien maiden, esim. Suomen ydin-  
voimalaitosten saavuttamista käytettä-  
vyyksistä.

Saavutettujen käyttökertoimien perusteella  
Suomessa, jossa on siis molempia kevyt-  
vesireaktorilaitostyyppäjä käytössä, on  
onnistuttu ydinvoimalaitoksilla saavutta-  
maan hyvä käytettävyyssuhteet. Ydinvoima-  
laitosten käytön osaamisessa Suomi sijoit-  
tuukin aivan maailman kärkimaiden  
joukkoon, kun ydinvoimalaitoksia aset-  
taan paremmuusjärjestykseen niiden saa-  
vuttamien käytettävyyksien perusteella.

Suoritettujen tutkimusten mukaan kaikkien  
painevesireaktorilaitosten kokonaiskäyttö-  
kertoimien (käyttökerroin yksikön kaup-  
allisesta käytöstä lähtien) keskiarvo  
oli vuoden 1984 lopussa 66 %. Kiehuvesi-  
reaktorilaitoksilla vastaava keskiarvo  
oli 62 %. Vastaavat luvut Loviisan yksi-  
köillä olivat 75 % ja 87 % sekä Olkiluo-  
don yksiköillä 83 % ja 79 %.

Keskimääräinen ero Suomen ja muiden  
kevytvesireaktorilaitosten saavuttamien  
keskimääräisten käyttökertoimien välillä  
vastaa n. 2 kk:ta pidempää sähköntuo-



Kuva 2. Kiehuvesireaktorilaitosten saavuttamien kokonaiskäyttökertoimien keskiarvot vuoden 1984 loppuun mennessä laitosten sijaintimaan, reaktoritoimittajan ja koon mukaan (100 MW:n luokissa) sekä käyttökertoimien kehityssuunta //1.

tantoa Suomen ydinvoimalaitoksilla yhden vuoden aikana kuin käytettävyydeltään keskimääräisillä kevytvesireaktorilaitoksilla. Tutkimuksessa analysoidut — jo saavutetut ja ennakoit — Suomen ydinvoimalaitosten käytettävyyksien kehityssuunnat antavatkin huomioonotettavaa lisätietoa arvioitaessa tulevien erilaisten voimalaitosratkaisujen taloudellista edullisuutta. Esimerkiksi edellä mainitun suu-

ruisella käyttökerroinerolla olisi jo erittäin merkittävä vaikutus ydinvoimalla tuotetun sähkön tuotantokustannusarvioon. □

#### LÄHTEET

1. Lehtinen, Esko. Trend analysis for light water reactor unit performance. Espoo 1985. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 382. 88 s. + liitt. 10 s.

2. Lehtinen, Esko. Operational performances of LWR plants in the sense of achieved load factors. Int. Conf. on Nuclear Power Plant Aging, Availability Factor and reliability Analysis. San Diego, 8—12 July 1985. American Society for Metals. 12 s.

Reijo Pelli, VTT/MET

## Ydinvoimalaitosten materiaali- vauriot

*Ydinvoimalaitosmateriaalien luonnollisena suunnitteluperusteena on niiden kestävyys ja luotettavuus koko laitoksen käyttöiän aikana. Kuitenkin osa ydinvoimalaitosten materiaalivaurioista on pitkäaikaisen käytön johdosta tapahtuneen kulumisen, syöpymisen tai muun vastaavan ilmiön seurausta. Tällaisessa tapauksessa on komponenttien käyttövarmuus varmistettava sopivin välein tehtävillä testauksilla. Ydinvoimalaitoksissa on myös ilmennyt materiaalien ennakoitua nopeampaa ja näin ollen yllätyksellistä vaurioitumista, mikä on aiheuttanut pahimmissa tapauksessa varsin pitkäaikaisiakin seisokkeja ja jopa turvallisuusriskejä. Tässä kirjoituksessa esitetään suppea katsaus ydinvoimalaitoksissa esiintyviin materiaalivaurioihin.*

#### Ydinvoimalaitosten tilastollisia käyttöhäiriöitä

Eurooppalaisten ydinvoimalaitosten materiaalivaurioista ei ole käytettävissä tilastoa. Taulukossa 1. on esitetty Yhdysvalloissa vuosina 1980—1982 koetut ydinvoimalaitosten käyttöä rajoittaneet tekijät. Tilastossa on käytetty kriteerinä energian tuoton prosentuaalista vähenemistä siitä energiamäärästä, joka syntyy laitoksen toimiessa koko vuoden täydellä nimellisellä hollaan. Suomalaisilla ja useimmilla eurooppalaisilla laitoksilla käytettävyyden on ollut selvästi parempi kuin oheisessa taulukossa.

Taulukko 1. Energiakäyttökertoimen menetykset (%) vuosina 1980—1982 USA:ssa kiehuus- (BWR) ja painevesireaktoreissa (PWR).

	BWR	PWR	Kaikki laitokset
1. Polttoaineen vaihdot .....	8.83	11.99	10.93
2. Höyrystimen lämmönvaihtoputket .....	—	5.89	3.97
3. Three Mile Island -tapauksen aiheuttamat seisokit ja muutostyöt .....	.25	5.19	3.53
4. Putkituet ja maanjäristysten varalta tehdyt muutokset .....	1.80	2.67	2.38
5. Höyryn lauhdutusaltaan muutostyöt .....	6.79	—	2.28
6. Turbiinin siivet ja roottorit .....	2.56	1.31	1.74
7. Termisen hyötysuhteen laskeminen .....	.97	1.66	1.43
8. Polttoainetalous .....	2.52	.76	1.35
9. Reaktorin ensiökiertopiirin putkistot .....	1.60	.44	.83
10. Pääkiertopumput (lukuunottamatta tiivisteitä) .....	.67	.85	.79
11. Pääkiertopumppujen tiivisteet .....	.69	.78	.75
12. Tarkemmin määrittelemättömät tapaukset .....	.76	.67	.70
13. Painevesireaktoreiden syöttöveden ruiskuttimet .....	—	.72	.47
14. Päämuuntajat .....	.38	.45	.43
15. Generaattorin staattorit .....	.00	.63	.42
16. Polttoaineen "sisäänajo" (tehonnoston hidastus) .....	1.13	.00	.38
17. Lauhduttimen putket .....	.28	.41	.37
18. Päähöyryputken eristysventtiilit .....	.86	.11	.36
19. Jälkilämmön poiston lämmönvaihtimet .....	1.00	.01	.34
20. Syöttövesipumput ja niiden käyttölaitteet .....	.25	.36	.32
21. Pääturpiinin laakerit .....	.25	.35	.32
22. Tehosäädöt .....	.63	.13	.30
23. Syöttöveden kuumenusjärjestelmä .....	.38	.25	.29
24. Turvallisuusjärjestelmän sulkuventtiilit .....	.56	.14	.28
25. Ensiöpiirin varoventtiilit .....	.45	.18	.27
26. Reaktoripaineastian sisärakenteet .....	.00	.40	.27
27. Fysikaaliset testaukset .....	.11	.33	.26
28. Vuototestit .....	.56	.06	.23
29. Turbiinin säätö- ja suojalaitteet .....	.27	.20	.22
30. Generaattorin vetyjäähdytysjärjestelmät .....	.05	.26	.19
31. Säätösauvojen ohjauskoneistot .....	.03	.26	.18
32. Höyryn sivupiirin putkistot .....	.15	.19	.18
33. Suunnitelman mukainen huoltotyö .....	.12	.16	.15
34. Polttoaineen suojauputkien vauriot .....	.39	.01	.14
35. Säätösauvojen pikasulkujärjestelmät .....	.40	.00	.13
36. Korkeapaineisen hätälisävesijärjestelmän pumput .....	.15	.12	.13
37. Keskeytymättömän sähkönsaannin varmistusjärjestelmät .....	.09	.15	.13
38. Syöttöveden säätöventtiilit .....	.04	.17	.13
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>35.97</b>	<b>38.34</b>	<b>37.56</b>

Tilaston sisältämistä energiatuoton menetyksistä varsin huomattava osa perustuu materiaali- ja korroosio-ongelmiin. Polttoaineen vaihto on tilaston mukaan suurin yksittäinen syy tuotantokatkoksiin, mutta sen osalta on huomattava, että tällöin samanaikaisesti tehdään myös määräaikaistestauksia sekä laitteiden korjaus- ja huoltotöitä. Huomattava osa korjattavista materiaali- ja korroosio-ongelmista löydetään näiden testauksien yhteydessä. Laitosten valmistamisen jälkeen viranomaisien määräämät lisävaatimukset ovat tilaston mukaan aiheuttaneet varsin runsaasti muutostöitä.

Toisella tilalla yksittäisistä syistä on höyryntuotannon runsasnieluisuuden lämmönvaihtoputkien erilaiset korroosio- ja rikkoutumiset. Tämä ongelma on lisäksi kasvussa. Tähän mennessä noin kymmenessä reaktorissa on höyryntuotanto jouduttu uusimaan. Tällöin oltiin jo ajautettu tilanteeseen, jossa laitteiden käyttö maksimiteholla ei olisi ollut enää mahdollista, koska liian suuri osa höyryntuotannon putkista oli tulpattu sisältämiensä säröjen tai ohenevien osien vuoksi. Koska varsin monien painevesireaktoreiden höyryntuotannon tulppautuneiden putkien määrät ovat kasvaneet jatkuvasti, on ennustettu, että suurin osa nykyisin käytössä olevista höyryntuotanto- ja lämmönvaihtoputkista joudutaan vaihtamaan ennen laitteiden suunnitellun käyttöajan loppua.

Höyryntuotannon vaihto on useimmissa laitteissa teknisesti varsin ongelmallista, koska ne ovat kooltaan suuria, eikä niiden siirrolle ole yleensä varattu riittävästi tilaa. Tästä johtuen tarvittava seisokkiaika voi kestää jopa yli vuoden. Tähänastinen nopein vaihto vaatii noin kolmen kuukauden pituisen seisokin (Obrigheim, Saksan liittotasavalta).

Uusimmissa höyryntuotantotyypeissä on esitetyt korroosio-ongelmat todennäköisesti pystytty estämään tai ainakin huomattavasti vähentämään kestävämpien materiaalien, rakennemuutosten ja ennen kaikkea paremman vesikemian avulla.

Suomessa käytettävät höyryntuotanto- ja lämmönvaihtoputket (Loviisa) poikkeavat edellä mainituista sekä rakennustensa että materiaaliensa puolesta, joten esitettyjä kokemuksia ei voi rinnastaa niihin. Sen sijaan mm. Ruotsissa ei höyryntuotanto-ongelmia ole voitu välttää, vaan on jouduttu tekemään päätös Ringhals 2-reaktorin höyryntuotannon (Westinghouse-tyyppiä) vaihdosta, joka tapahtuu kesällä -89. Jotta laitos pystyisi toimimaan täydellä teholla siihen asti, on jouduttu käyttämään korjausmenetelmää, jossa vaurioituneitten putkien sisälle asennetaan tiiviit tukiholkkit.

Toinen viimeaikoina hyvin voimakkaasti lisääntynyt huolenaihe on ollut ruostumattomien terästen jännityskorroosio. Taulukossa 1 tämän osuus on vielä vain 1,6 %, mutta tällä hetkellä vastaava luku on n. 10 %. Tämä ongelma kohdistuu vastavuoroisesti erityisesti kiehutusvesireaktoreihin. Tämäkin materiaali- ja korroosio-ongelma on tyypiltään sellainen, jota vanhojen reaktoreiden suunnittelijat eivät ole osanneet ennakoita. On erehdytty käyttämään

liian paljon hiiltä sisältäviä austeniittisia ruostumattomia teräksiä, joissa tapahtuu voimakas herkistymisilmiö jo hitsauksen yhteydessä. Siten tämä ongelma on pahin vanhojen reaktoreiden kohdalla. Ongelman painottamista vanhoihin reaktoreihin lisää myös kyseessä olevan materiaali- ja korroosio-ongelman luonne. Se nimittäin vaatii usein vuosien kehityksensä aikana särkeä syntyy ja kasvu tulee määräaikaistestauksissa esiin. Erityisesti Yhdysvalloissa on monissa laitteissa jouduttu reaktoriveden kierrätysputkistot uusimaan jopa kokonaan. Koska korjaukset joudutaan tekemään voimakkaasti radioaktiivisessa ympäristössä, ovat ne teknisesti hankalia. Laitoksen seisokkiaika on hyvin pitkä, sillä reaktoriveden kierrätysputkiston täydellinen uusiminen vie aikaa vuoden verran. Ruostumattoman teräksen jännityskorroosio-ongelmassakin amerikkalaiset laitokset ovat joutuneet kärsimään eniten. Sikkäläisten vanhimpien laitteiden rakennusaikana ei pystytty vielä ennakoimaan tulevia ongelmia, vaan tehtiin sellaisia materiaali- ja korroosio-ongelmia, joita jo 70-luvun puolivälissä osattiin varoa. Siten suomalaiset ja muut pohjoismaiset kiehutusvesireaktorit ovat toistaiseksi välttyneet suurilta putkistojen jännityskorroosio-ongelmilta. Tämän hetkisten tutkimustulosten perusteella ei kuitenkaan voida olla täysin turvassa näiltä ongelmilta. Parempi materiaali- ja korroosio-ongelmien välttämiseksi on ehkä vain herkistymisprosessia hidastamalla siirtänyt materiaali- ja korroosio-ongelmia kauemmas tulevaisuuteen. Nykyisin on käytössä vieläkin tiukemmat vaatimukset koostumuksen suhteen. Toisaalta Suomessa ei ole erillisen konstruktion vuoksi ollenkaan olemassa Yhdysvalloissa pahimman ongelman kohteeksi muodostunutta reaktoriveden kierrätyspiiriä, joten tilanne ei voi muodostua yhtä hankalaksi. Painevesireaktoreissa ei esiinny vastaavanlaajuisia ongelmia, koska niissä primääripiirin happipitoisuus on helposti pidettävissä riittävän alhaisena, jolloin jännityskorroosion vaara olennaisesti pienenee.

Kolmas jatkuvasti nousussa oleva ja ikäviä käyttökatkoksia aiheuttava materiaali- ja korroosio-ongelma kohdistuu turpiiniin lauhduttimien lämmönvaihtoputkistoon. Tässäkin tapauksessa on lähes kaikissa 70-luvulla tai sitä ennen rakennetuissa ydinvoimalaitoksissa tehty huono materiaali- ja korroosio-ongelma. Aiemmin on lähes poikkeuksetta valittu jokin kupariseosteinen putkimateriaali. Kokemusten perusteella tällaiset putkistot eivät ole kuitenkaan kestäneet kuin osan suunnitellusta käyttöajasta. Hyvin monissa laitteissa on lauhduttimien putkimateriaaliksi vaihdettu titaani. Lauhduttimien uusiminen on edellisistä esimerkeistä poiketen teknisesti melko helppo tehtävä. Lauhduttimien toimintavarmuus on osoittautunut tärkeäksi, paitsi kiusallisten, tiheästi toistuvien käyttökatkokosten välttämiseksi, myös höyryntuotannon käytettävän syöttöveden korkean laadun ylläpitämiseksi. Vuotavasta lauhduttimesta peräisin olevien epäpuhtauksien on todettu aiheuttaneen korroosio- ja rikkoutumisia esimerkiksi höyryntuotanto- ja lämmönvaihtoputkissa.

#### Yhteenveto

Materiaali- ja korroosio-ongelmissa on ydinvoimalaitoksilla hyvin merkittävä asema sekä turvallisuusnäkökohtien että sähköntuotannon kannalta. Esitetyssä taulukossa ei ole täsmällisesti eritelty materiaali- ja korroosio-ongelmien osuutta verrattuna esimerkiksi mekanismin vikaantumiseen, instrumentoinnista tai säätöhäiriöistä johtuviin tuotantohäiriöihin. Voidaan kuitenkin arvioida, että materiaali- ja korroosio-ongelmien osuus on tässä tapauksessa reilusti yli puolet. Kyseessä oleva tilasto ei onneksi ole Suomen osalta pätevä, sillä energian tuotantomuutos oli laitteiden kaupallisen käytön aloittamisen ja vuoden -82 lopun välillä keskimäärin 23 % amerikkalaisten laitteiden 38 % asemasta. Lisäksi suomalaisilla laitteilla sähköntuotannon menetyksen prosentti on vuosina -83—84 pienentynyt 12 %:iin, kun amerikkalaisilla laitteilla se on edelleen huonontunut ollen vuosina -82, -83 ja -84 keskimäärin 42 %. □



Kylmän ja kuumen veden sekoittumiskohtaan muodostuneita, termisen väsymisen aiheuttamia säröjä tunkeumanesten avulla tarkastettuna.

# Vanhenemisilmiöt reaktorimateriaaleissa

**IAEA järjesti 28.—30.1.1986 asiantuntijakokouksen (Load and time dependent material performance other than irradiation) Budapestissa. Kokouksessa, johon osallistui 33 asiantuntijaa 10 maasta, käsiteltiin materiaaliominaisuuksien heikkenemistä ydinvoimalaitoksen käytön aikana. Tässä kirjoituksessa pyritään esittämään, millä tavalla ja miksi ominaisuudet muuttuvat.**

## Käyttölämpötila

Materiaalien ja komponenttien valmistuksen yhteydessä suoritetaan lämpökäsittelyjä, joiden seurauksena saavutetaan toivottuja mekaanisia ominaisuuksia, haluttuja mikrorakenteita ja riittävän vähäisiä sisäisiä jännitystiljoja. Saavutettu rakenne ei yleensä ole tasapainorakennetta vaan joko metastabiilia tai edelleen muutosvaiheessa olevaa rakennetta. Valmistuksessa käytetyt lämpökäsittelyarvot ovat esim. 610°C ja 30 h. Kun materiaali ja hitsit joutuvat pitkiksi ajoiksi käyttölämpötilaan (noin 290°C), pyrkii materiaali taas uuteen tasapainotilaan, joka vastaa tätä lämpötilaa. Seurauksena on, että materiaalin mikrorakenne muuttuu, erkautumisprosessi tapahtuu (karbideja muodostuu) ja epäpuhtaudet suotautuvat esim. raerajoille. Koska mikrorakenne määrää mekaaniset ominaisuudet, myös ne muuttuvat. Vaarallisimmat muutokset ovat sitkeyden tai lujuuden menetykset.

Koska reaktorielinaika on pitkä (40 vuotta), on kokeita haluttu kiihdyttää suorittamalla ne korkeammassa lämpötiloissa (esim. 350°C, 400°C ja 450°C). Tällä tavalla on kokeitten kesto aika voitu lyhentää esim. 1—5 vuodeksi. Kuitenkin tästä aiheutuu epävarmuus siitä, tapahtuuko vanheneminen samalla tavalla käyttölämpötilassa.

Suoritetut kokeet osoittavat, että varsinkin hitsien mikrorakenne ja fosforipitoisuus vaikuttavat vanhenemiseen. VTT:n suorittamassa tutkimuksessa on voitu osoittaa, että TVO:n reaktoripaineastiamateriaalissa ei tapahdu vanhenemistä, sen sijaan hitsiaineen transitiolämpötila nousee n. 10°C eliniän aikana termisen vanhenemisen seurauksena. Tällä ei ole

merkitystä turvallisuuteen, koska alkuvaiheessa transitiolämpötila on ollut hyvin alhainen.

Termisen vanhenemisen mekanismeja ei tunneta täysin. Kuitenkin on havaittu, että suuri fosforipitoisuus ja suuri raekoko aiheuttavat voimakkaampaa vanhenemistä. IAEA:n asiantuntijakokous suositti, että terästen fosforipitoisuuden tulee olla alle 0,010 % ja raekoon alle 10 m.

Keskusteluissa pyrittiin selvittämään kuparin ja muiden epäpuhtauksien vaikutusta vanhenemiseen, mutta koeaineisto on liian niukka. Termisiä vanhenemiskokeita tulisi jatkaa hyvin karakterisoiduilla materiaaleilla. Koska vanhenemismekanismi lämpötilassa 290°C saattaa olla erilainen kuin korkeissa lämpötiloissa, on pääpaino vanhenemistutkimuksessa asetettava pitkäaikaisiin alhaisissa lämpötiloissa suoritettaviin kokeisiin.

Tšekkoslovakialaiset esittivät Cr-Mo-V- ja Cr-Ni-Mo-V-terästen vanhenemistutkimusten tuloksia. Koeaineisto käsitti vain perusmateriaalin käyttäytymistä 10.000 h saakka. Lämpötilassa 350°C havaittiin, että n. 2000 h kuluttua transitiolämpötila on noussut n. 30°C, mutta sitkeys parani taas kun kokeita jatkettiin. Tämä sitkeyden saavutetaan reaktoriolosuhteissa n. 5 vuoden käytön jälkeen. Ilmiötä ei voitu selittää. Tämä saattaisi olla tärkeä tutkimusaihe VTT:lle.

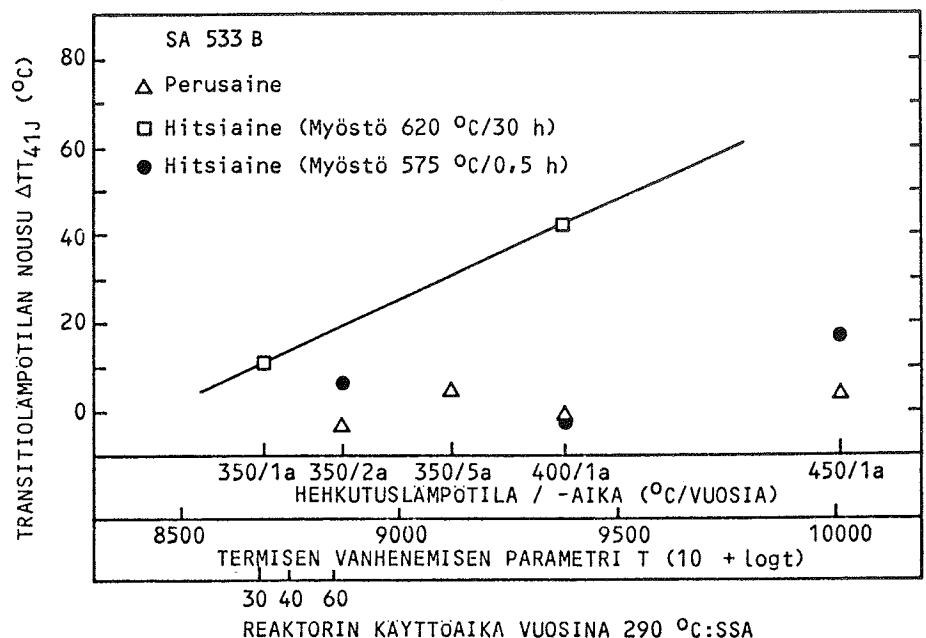
Puolalaiset raportoivat VVER-440-laitoksissa käytettävien austeniittisten ruostumattomien terästen rakennemuutoksista. Tarkka karbidikuvaus luo perustan korroosio- ja sitkeysilmiöiden ymmärtämiselle.

## Väsyminen

Ydinvoimalaitoskomponentit toimivat vaihtelevan kuormituksen alaisena. Tämä johtuu mm. laitoksen ylös- ja alasajosta, lämpötilavaihteluista ja värähtelyistä. Väsyminen aiheuttaa muutoksia materiaaliominaisuuksissa.

Väsymisilmiö on hyvin monitahoinen ja vaikea ongelma. Matalalla taajuudella tapahtuvaa väsymistä ei voida kuvata samalla tavalla kuin korkeataajuusväsymistä. Lisäksi käyttöympäristö voi esim. vedyn vaikutuksesta huonontaa väsymisketävyyttä. Väsymisen analysoinnissa on myös tehtävä selvä ero alkusäröjen muodostumisen ja särön kasvun välillä.

Austeniittinen ruostumattomien terästen väsyminen ympäristöolosuhteissa tunnetaan jo verrattain hyvin mekanismisselvitusten perusteella. Mikrorakenteen ja murtumistapahtuman välisiä yhteyksiä on laajasti tutkittu, mutta edelleen tarvitaan hyvin karakterisoituja koetuloksia (simuloiduissa) käyttöolosuhteissa. Korkeataajuusväsymisessä on kokonaisvenymä usein hyvin kuvannut austeniittisten terästen



Termisen vanhenemisen vaikutus reaktoripaineastian iskusiikkeyteen ja nopeutettujen kokeiden tulosten perusteella tehty vertailu sen aiheuttamasta haurastumisesta käyttöiän lopussa.

käyttäytymistä, mutta on valitettavasti myös koetuloksia, jotka ovat ristiriidassa tämän väitteen kanssa.

Kokous suositteli, että tutkimustyötä tulisi jatkaa seuraavilla aloilla:

- pitkäaikaisia väsymiskokeita alhaisella kuormitusnopeudella käyttäen muuttujina austeniittisen teräksen mikrorakenetta ja koostumusta
- vanhenneen austeniittisen materiaalin väsyminen
- väsymiskokeita käyttölämpötilassa ja käyttöolosuhteissa
- lämpötilavaihtelujen aiheuttama väsyminen.

Reaktoripaineastiatärästen ominaisuuksien muuttumista väsymisessä on myös tarkasteltu. Länsimaisissa teräksissä on havaittu, että terästen myötöraja laskee alkuvaiheessa aika nopeasti kun materiaalia väsytetään. Sama havainto on tehty Cr-Mo-V- ja Cr-Ni-Mo-V-teräksissä. Tarkempi tarkastelu on osoittanut, että teräksen pehmenemisen suuruus riippuu mikrorakenteen lisäksi tavasta, millä väsyminen on suoritettu. Eräissä teräksessä (13 Cr-Mo 44) havaittiin, että vaikka transitiolämpötila nousi väsymiskuormituksen yhteydessä, teräksen maksimisitkeys parani.

Tulokset ovat tässä vaiheessa teknologisia ilman yleisesti hyväksyttyä selitystä.

#### Vedyn haurastava vaikutus

Vety haurastaa sekä paineastiateräksiä että austeniittisiä ruostumattomia teräksiä. Ydinvoimalaitoksissa vety syntyy korroosion seurauksena tai veden radiolyysin kautta. Tietyissä ydinvoimalaitoksissa vetyä lisätään tahallisesti primaaripiirin veteen vesikemiallisista syistä. Tsekkoslovakialaiset raportoivat Cr-Mo-V- ja Cr-Ni-Mo-V-teräksillä suoritettujen kokeiden tuloksia. Vety selvästi huononsi materiaalien murtumiskestävyyttä ja johti raerajoja pitkin etenevään murtumaan.

Ruostumattomalla teräksellä päällystetyllä paineestiällä ei ole ongelmia. Sellaisessa tapauksessa, että päällysteessä on sen läpi ulottuva halkeama tai päällyste on hiottu pois, on syytä tarkastella tilannetta tarkemmin.

Vedyn haurastavaa vaikutusta käsiteltiin kokouksessa aika pintapuolisesti. Mitään huolestuttavia piirteitä ei tullut esille.

#### Yhteenveto

IAEA:n asiantuntijakokouksen tavoitteena oli selvittää, aiheuttaako materiaali-

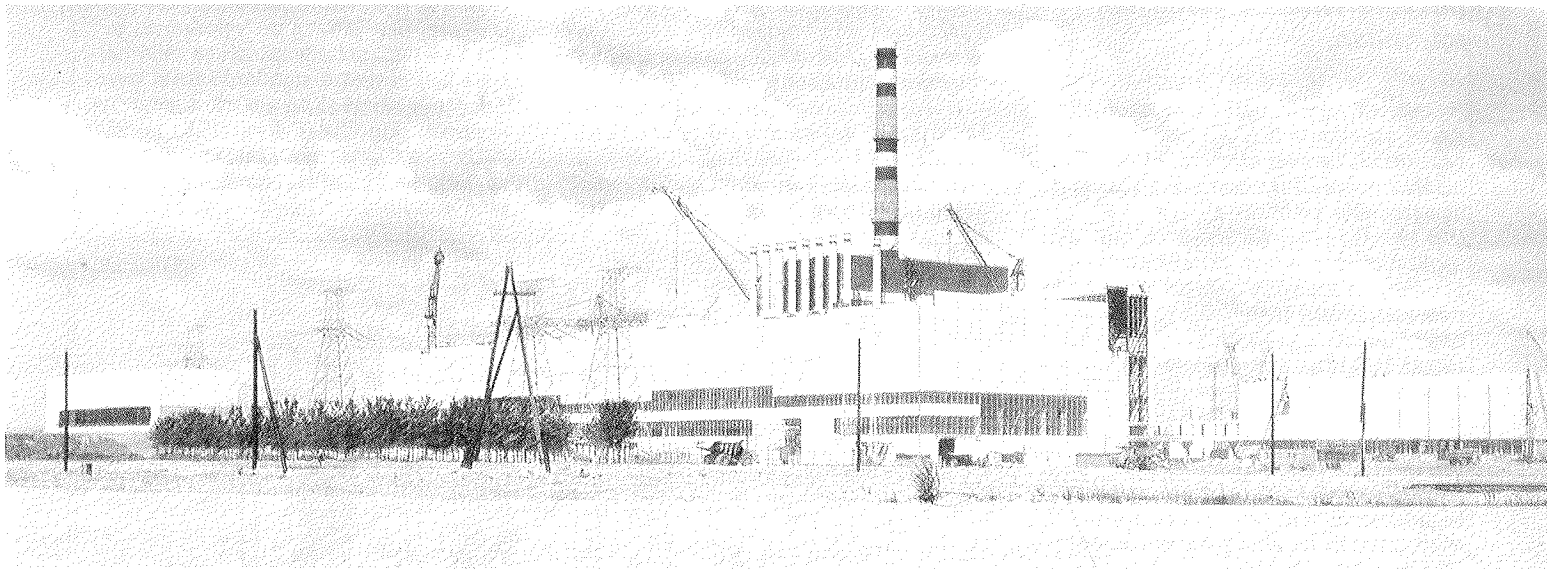
ominaisuuksien heikkeneminen turvallisuusongelmia tai käyttöiän alenemista. Koska IAEA:lla on menossa säteilytetyn materiaalin ominaisuuksista oma tutkimushanke, säteilyhaurastumista ei käsitelty.

Kokous totesi, että varsinaisia turvallisuusongelmia ei materiaaliominaisuuksien heikkenemisestä aiheudu, mutta vanheneminen ja väsyminen kuitenkin jonkun verran heikentävät ominaisuuksia. Tällä hetkellä on kuitenkin niin paljon tietoja, että ominaisuuksien muuttuminen voidaan arvioida. Suosituksina kokous esitti seuraavaa:

- uusien laitojen osalta on materiaali-spesifikaatiota tiukennettava
- säteilyvalvontanäytteiden lisäksi olisi ydinvoimalaitoksiin sijoitettava vanhenemista selvittäviä koesauvoja
- tutkimusta on jatkettava hyvin karakterisoidulla materiaalilla ja todellisuutta simuloivassa ympäristössä ja kuormituksessa.

Tyydytyksellä on todettava, että VVER-laitosten ja länsimaisten laitojen materiaaliasiat olivat samalla painolla esillä kokouksessa. □

## Chernobylsk Nuclear Power Plant



*Uranium-graphite power reactors.* Now under construction in the USSR are the largest nuclear power plants in the world. These are the Leningrad, Kursk, Chernobylsk, Smolensk and Ignalinsk nuclear power plants with a power of 2–6 GW(e) and equipped with RMB-K channel-type reactors, with a unit power output of 1–1.5 GW. In 1974 the first unit of the Leningrad NPP reached the design power output of 1 GW. A channel-type reactor has no strong reactor vessel — the fuel elements are located inside tubes containing water circulating at high pressure. The assembly is surrounded by the graphite moderator. The channel-type reactors are much larger in

size than the vessel-type reactors but they are built up from similar elements of comparatively small size, which makes it possible to build them on large scale production with reliable manufacturing techniques and quality checking.

Parallel construction of the vessel- and channel-type reactors extends the scope of development of the nuclear power industry. Though their unit outputs are lower, the vessel-type reactors require smaller capital investment. At the same time higher power outputs — above 1 million kilowatts — can be more easily generated by channel-type reactors. The channel-type reactors have much greater

possibilities for refuelling, which enable more flexibility in changing their fuel cycle, depending on the varying demand for nuclear fuel. Production of plutonium-239 in thermal reactors may provide an initial fuel base for nuclear plants with fast reactors which are to be constructed at the second stage of the nuclear power engineering program.

Department of Nuclear Reactors carries out intensive work aimed at further improvement and simplification of reactor designs and fuel cycles, creation of nuclear power plants to be used in various branches of the national economy, designing of new advanced reactor types.

## Uusia säätösauvoja TVO:n reaktoreihin

***TVO:n ja Asea-Atomin välillä tehtiin viime vuoden joulukuun 17. päivänä 36 säätösauvan osotosopimus. Kaupan arvo on 8,5 milj. markkaa. Toimitus tapahtuu maaliskuussa -86 ja kesän -86 seisokissa osa TVO I:n säätösauvoista vaihdetaan uusiin. Reaktorissa on kaikkiaan 121 säätösauvaa. Neutroneja absorboivan materiaalin kulumisen takia säätösauvoja joudutaan tulevana vuosina vähitellen uusimaan.***

Nykyisissä Asea-Atomin säätösauvoissa toimii boorikarbidi ( $B_4C$ ) neutroniabsorbattorina. Sauvan teoreettisen eliniän määrää boori-10 isotoopin kulumisen neutroni-alfa reaktioissa ( $^{10}B+n=^7Li+^4He$ ). Käytäntö on kuitenkin osoittanut, että ennen boori-10:n loppukulumista syntyy säätösauvojen perusmateriaalissa jännityskorroosion aiheuttamia säröjä. Tämä puolestaan voi johtaa laskettua nopeampaan sauvan absorptiokyvyn alenemiseen, jos boorikarbidi huuhtoutuu ulos särön kautta.

Boorikarbidi on poikkileikkaukseltaan ristinmuotoiseen sauvaan poratuissa vaakasuorissa rei'issä (kts. kuva). Sauvan ruostumattoman teräsmateriaalin säröily aiheutuu boorikarbidin turpoamisesta. Sen lisäksi aiheuttaa neutroni-alfa reaktioissa syntyvä helium paineen kasvua, mutta se tasoittuu sauvan yhden "siiven" kaikkien porausten kesken. Säröilyn syntymiseen riittävän voimakasta turpoamista ilmenee vain muutamassa sauvan ylimässä porauksessa, koska neutronivuo on sauvan pään kohdalla suurempi kuin sauvan muulla osalla (säätösauvat työntyvät sydämeen alhaalta ylöspäin). TVO I:llä havaittiin ensimmäiset säröt säätösauvoissa kesän -85 seisokissa.

Nyt ostetut säätösauvat ovat Asea-Atomin uutta rakennetta. Turpoamisongelma on poistettu korvaamalla sauvan ylimmän 150 mm matkalla porauksissa oleva boorikarbidi hafniummetallilla. Hafnium absorboi neutroneja kaappausreaktioissa ja

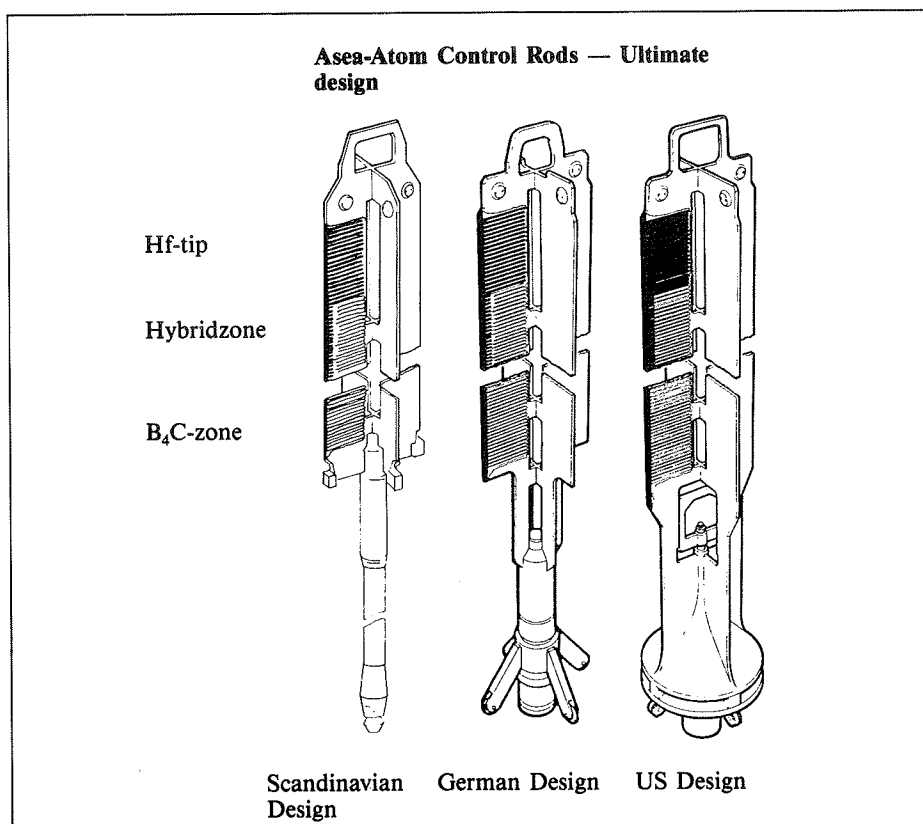
tuloksena on ainoastaan korkeamman massaluvun omaavia hafnium-atomeja. Paisumista ja paineen nousua ei synny ja sauvamateriaalin jännitys pysyy alhaisena. Jännityskorroosiota ei senvuoksi ole odotettavissa uudentyypisissä sauvoissa. Niiden elinikä määräytyy boori-10 palamasta alueella, joka on välittömästi Hf-vyöhykkeen alapuolella. Tämä merkitsee keskimäärin 25 vuoden elinikää.

Hafnium-sauvasta Asea-Atom on edelleen kehittänyt mallin "Ultimate", jossa ylimpien reikien hafnium-vyöhykkeen alapuolella on pitkä hybridialue. Tällä alueella reiät täytetään ensin osittain  $B_4C$ :llä ja suljetaan sen jälkeen lyhyillä Hf-tulpilla. Yksittäinen särö voidaan hyväksyä, koska se mahdollistaisi boorin huuhtoutumisen enintään yksittäisestä reiästä.

Säätösauvan rakennetta oli muutettava raskaan ( $13,3 \text{ g/m}^3$ ) hafniumin aiheuttaman painonlisäyksen kompensoimiseksi. Tämä oli tarpeen, jotta sauvojen sisään-

menoaika pikasuluissa säilyy määritellyn 4 sekunnin alapuolella. Hafniumin absorptiovaikutusala termisille neutroneille on boorin vaikutusala pienempi. Kun hafniumia kuitenkin on vain pienellä osalla sauvan koko pituudesta (4 m), ei hafniumsauvan ja tavallisen sauvan reaktiivisuusarvoissa ole suurta eroa. Sauvan pään pienempi absorptio on toisaalta edullista, koska neutronivuon muutos on loivempi sauvan pään kohdalla ja polttoaineen suojaakuorimateriaalin rasitus pysyy pienempänä muutosvyöhykkeessä.

Asea-Atom valmisti ensimmäiset 4 hafniumkärjellä varustettua säätösauvaa v. 1982. Ne toimitettiin Dresden-3 reaktoriin USA:ssa. Sen jälkeen on valmistettu n. 100 hafniumkärkistä sauvaa ja tällä hetkellä kaikki tilatut standardisauvat ovat hafniumkärkisiä. Konstruktion menestys vientimarkkinoilla (Saksa, USA) on käynnistänyt Asea-Atomin säätösauvojen valmistuskapasiteetin laajennuksen 300 sauvaan vuodessa. □



# **SYSTEMATISK ERFARENHETSÅTERFÖRING AV DRIFTSTÖRNINGAR PÅ BLOCKNIVÅ I KÄRNKRAFTVERK**

**(A Systematic Feedback of Plant Disturbance Experience in Nuclear Power Plants)**

**Kari Laakso**

Avhandling för teknologie doktorsexamen som, godkänts av  
Helsingfors Tekniska Högskola, Otnäs, Finland, 1984

## **SAMMANFATTNING**

Denna studie består av utveckling och verifiering av metoder för systematisk, kvalitativ och kvantitativ, analys av möjligheter till reduktion av driftstörningsfrekvensen på blocknivå.

Med hjälp av den utvecklade modellen för erfarenhetsåterföring säkerställs att betydelsefulla förslag till driftstörningsreducerande åtgärder fångas upp, analyseras och prioriteras på ett systematiskt sätt. Särskilt viktigt är att stärka säkerheten mot obefogade processtransienter som innebär en risk för försvårande följdhändelser och medför oplanerade bortfall av kraftproduktion.

Modellen innehåller följande moment:

- analys av händelseförlopp och bidragande orsaker vid inträffade driftstörningar i enskilda kärnkraftsblock
- identifiering av återkommande felhändelser och funktionella brister samt trender för dessa fel på funktionsdelsnivå i enskilda block
- jämförelse av skillnader mellan olika block avseende trender för ovannämnda fel, för identifiering av vidtagna åtgärder med uppnådd effekt i enskilda block
- erfarenhetsåterföring av framgångsrikt genomförda modifieringsåtgärder från enskilda block, för möjlig tillämpning i de andra block där motsvarande förbättringar ej identifierats
- analys och rangordning av åtgärdsförslag som i olika block ger potentiella möjligheter till reduktion av driftstörningsfrekvensen på blocknivå
- värdering av åtgärderna ur reaktorsäkerhetssynpunkt genom tillämpning av sannolikhetsbaserade riskanalyser.

I resultaten anges möjligheter till en betydelsefull reduktion av driftstörningsfrekvensen i turbinanläggningarna samt möjligheter till undvikande av obefogade reaktoravställningar, utlösta av automatiska skyddsutrustningar vid återkommande störningar. De rekommenderade förbättringarna gäller såväl utrustning som instruktioner.

Utvecklingen av denna modell bygger på analys av en erfarenhet motsvarande 39 ackumulerade driftår i fem svenska kärnkraftsblock av kokarreakortyp. Denna systematiska analysarbete har redan lett till beslut om förbättringar i flera block, som är i drift.

(Tiedote)

---

# Matkakertomus Suomen Atomiteknillisen Seuran Tsekkoslovakian ja Saksan Liittotasavallan opintomatkasta 17.—26.10.1985

---

## SISÄLLYS

- Matkaohjelma  
Osallistujat  
Yleiskatsaus ekskursioon  
Vierailukohteet
- Tsekkoslovakia
- Temelinin VVER-1000 ydinvoimalaitostyömaa
  - Skodaexport, Praha
  - Skodan tehtaat Plzenissä
  - Tsekkoslovakian atomienergiakomissio, Praha
- Saksan Liittotasavalta
- Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS), Garching (München)
  - Gundremmingenin BWR-ydinvoimalaitos
  - Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK)
  - Brown, Boveri & Cie (BBC), Mannheim
  - Biblisin PWR-ydinvoimalaitos
  - Hanaun ydinpolttoainetehtaat:  
NUKEM, RBU, ALKEM, HOBEG

## OSALLISTUJAT

- |                    |                               |
|--------------------|-------------------------------|
| Ernsten, Svante    | Suomen Brown Boveri Oy        |
| Halme, Jouko       | IVO                           |
| Hägg, Per-Erik     | IVO                           |
| Inberg, Matti      | IVO                           |
| Kanerva, Tapio     | TVO                           |
| Kangas, Jukka      | TVO                           |
| Kopiloff, Pauli    | STUK                          |
| Koskivirta, Ossi   | IVO                           |
| Kukkola, Tapani    | IVO                           |
| Laaksonen, Teuvo   | Valmet Automation Projects Oy |
| Laurila, Kristiina | TVO                           |
| Mikola, Jouko      | IVO                           |
| Nylén, Jari        | IVO                           |
| Ojala, Aito        | Enerconsult Ky                |
| Purhonen, Heikki   | VTT/YDI                       |
| Raumolin, Heikki   | TVO                           |
| Räikkönen, Hannu   | TVO                           |
| Salminen, Pertti   | VTT/EKA                       |
| Takala, Heimo      | STUK                          |

---

## MATKAOHJELMA

- 17.10 — lento Helsinki—Praha  
to — vierailu Temelinin VVER-1000 työmaalle
- 18.10 — vierailu Skodaexportiin Prahassa  
pe — Tsekkoslovakian atomienergiakomission edustajien tapaaminen  
— vierailu Skodan Plzenin tehtaalle
- 19.10 — vapaa Prahassa  
la
- 20.10 — juna Praha—München  
su — päivällinen KTG:n (Kerntechnische Gesellschaft) edustajien kanssa
- 21.10 — vierailu GRS:iin  
ma — bussi München—Gundremmingen  
— matkalla vierailu Gundremmingenin ydinvoimalaitokseen
- 22.10 — vierailu KfK:een  
ti
- 23.10 — bussi Karlsruhe—Mannheim  
ke — vierailu BBC:hen
- 24.10 — bussi Mannheim—Frankfurt  
to — matkalla vierailu Biblisin ydinvoimalaitokseen
- 25.10 — vierailu Hanaun ydinpolttoainetehtaalle, yritykset NUKEM, RBU,  
pe ALKEM ja HOBEG
- 26.10 — lento Frankfurt—Helsinki  
la



## Yleiskatsaus ekskursioon

**ATS:n vuoden 1985 ulkomaan opintomatka suuntautui Tšekkoslovakiaan ja Saksan liittotasavaltaan. Pohjois-Amerikan (1984) ja Kiinan (1986) ekskursion välissä sitä pidettiin etukäteen eräänlaisena väli vuoden ekskursiona. Matkan anti muodostui kuitenkin hyväksi ja osallistujat saivat selkeän kuvan kummankin maan ydine-nergiatilanteesta ja ydine-nergi- alan tutkimus- ja kehitystyön tasosta.**

Yhdeksän päivän aikana vierailimme kolmessa kohteessa Tšekkoslovakiassa ja kuudessa kohteessa Saksan liittotasavallassa. Lisäksi Prahassa tapasimme Tšekkoslovakian atomienergiakomission edustajat ja Münchenissä KTG:n (Kern-technische Gesellschaft) edustajat.

Kaikissa vierailukohteissa isännät olivat järjestäneet erinomaisen ja mielenkiintoisen ohjelman, ja he myös näyttivät avoimesti laitoksiaan. Erityisen mielenkiintoista oli seurata vaihe vaiheelta erityyppisten ydinpolttoaineiden valmistusta Hanaun polttoainetehtaissa, ja siellä ekskursion aikataulussa pysyminen osoittautui-kin vaikeaksi. Samoin Gundremmingenin ydinvoimalaitosvierailulla sai bussinkuljet- tamme muutaman ylityötunnin.

Tšekkoslovakia ja Saksan liittotasavalta saman ekskursion kohdemaina muodosti- vat mielenkiintoisen parin. Tšekkoslovaki- assa ydine-nergia ottaa vasta ensi-askel- leen, kun taas saksan liittotasavallassa se on jo usean vuoden ajan ollut tärkeä energianlähde. Niinpä Tšekkoslovakiassa ydine-nergian vaikeudet ovat paljolti tek- nistaloudellisia liittyen esimerkiksi rakennusaikataulu-, työvoima-, konstruk- tio- ja turvallisuuskysymyksiin. Myös komponenttivalmistajien, kuten Skodan, sopeuttaminen ydinvoiman haas- teisiin vaatii aikansa. Saksan liittotasaval- lassa nykyään varsin hyvin toimiva ydin- voima on taas saanut vastaansa julkisen mielipiteen ja ”ympäristöteoreetikkojen” mielenkiintoiset teesit. Siellä on huomatu- kin, että yleisen hyväksyttävyyden hankkiminen on usein vaikeampaa kuin selkeästi teknistaloudellisten ongelmien ratkaiseminen.

### Tšekkoslovakia luottaa ydinvoimaan

Kotimaisen hiilen hyväksikäyttö Tšekkoslovakiassa on saavuttanut huippuarvonsa ja hiilen käytön odotetaan jyrkästi laskevan lähinnä ympäristösyistä seuraavien 30–40 vuoden kuluessa. Muiden merkittävien kotimaisten energialähteiden puuttuessa Tšekkoslovakiassa on päätetty turvata energiahuolto huomattavassa määrin ydinvoiman varaan. Maan ydine-nergia- ohjelma onkin näyttävä.

Tšekkoslovakian ydinvoimakapasiteetti on nyt 2200 MWe ja vuonna 1992 se on suunnitelmien mukaan 5840 MWe, mikä merkitsee noin 30 % maan koko sähköntuotantokapasiteetista. Kaikki toiminnassa tai rakenteilla olevat reaktorit ovat VVER-440 tai VVER-1000 -tyyppisiä. Uudet laitokset tulevat sähköä lisäksi toimitamaan kaukolämpöä kaupunkeihin, jotka ovat alle 50 km etäisyydellä niistä.

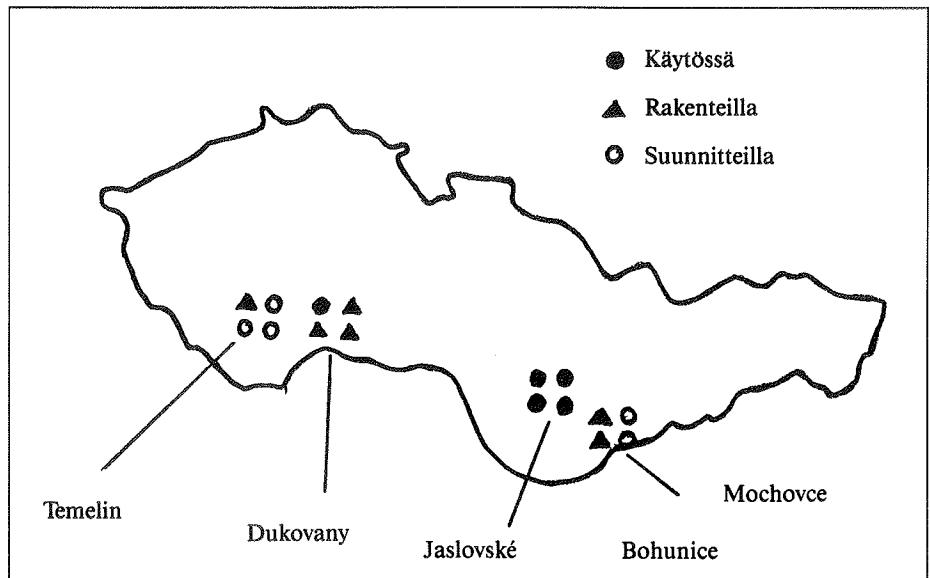
Ydinvoimalaitosten rakentamisen ja käytön sekä osittaisen suunnittelun lisäksi Tšekkoslovakiassa valmistetaan kaikki laito- sten pääkomponentit, kuten reaktoripai- neastiat, höyrygeneraattorit, pumput, venttiilit ja putkistot.

Tšekkoslovakiassa tutustuimme Temelinin VVER-1000 työmaahan, jossa rakennus- työt olivat vasta aluillaan ja joka teki vai- kutuksen lähinnä suurella pinta-alallaan. Skodan turbiinitehdas Plzenissä puole- staan edusti tšekkoslovakialaista konepaja- teollisuutta.

Taulukko. Tšekkoslovakian ydinvoimalat

Nimi ja/tai paikkakunta	Tyyppi	Bruttoteho (MWe)	Käyttöön- ottovuosi
V1, Jaslovské Bohunice	PWR	440	1979
V2, Jaslovské Bohunice	PWR	440	1980
V3, Jaslovské Bohunice	PWR	440	1984
V4, Jaslovské Bohunice	PWR	440	1985
Dukovany-1	PWR	440	1985
Dukovany-2	PWR	440	1986
Dukovany-3	PWR	440	1986
Dukovany-4	PWR	440	1987
Mochovce-1	PWR	440	1989
Mochovce-2	PWR	440	1990
Mochovce-3	PWR	440	1991
Temelin-1	PWR	1000	1992
Mochovce-4	PWR	440	1993
Temelin-2	PWR	1000	1994
Temelin-3	PWR	1000	1996
Temelin-4	PWR	1000	1998

Kuva. Ydinvoimalaitosten sijainti Tšekkoslovakiassa.



## Temelinin ydinvoimalaitostyömaa

### Laitospaikka ja laitos

Temelinin laitospaikka sijaitsee n. 100 km Prahasta etelään. Sinne rakennetaan vaiheittain neljä 1000 MW yksikköä, jotka ovat neuvostoliittolaisia standardilaitoksia VVER-1000. Sähkön lisäksi laitos tulee tuottamaan 900 MW kaukolämpöä, joka toimitetaan 30—50 km etäisyydellä oleviin kaupunkeihin, mm. Ceske Budejoviceen. Lähellä virtaava joki padotaan ja siihen rakennetaan vesivoimalaitos. Patoallas on 18 milj. m<sup>3</sup> ja sieltä pumpataan jäähdytysvesi 9 m<sup>3</sup>/s laitoksen kahdeksalle jäähdytystornille korkeudeltaan 155 m. Rakentamiseen liittyy myös huomattavia teiden ja rautateiden peruskorjauksia. Rakennustyö kokonaisuudessaan on suurin rakennuskohde Tšekkoslovakiassa kautta aikojen. Yhden laitossyksikön rakentamisaika on viisi vuotta ensimmäisestä betonivalusta käyttöönottoon. Ensimmäisen laitossyksikön on määrä valmistua v. 1992 ja seuraavien yksiköitten 18 kk välein.

Laitoksen hinta on 60 mrd korunaa, josta rakennustöiden osuus on 17 mrd. Laitoksen käyttöhenkilöstö on n. 3000.

### Organisaatio

Laitoksen tilaaja on sähkö- ja energiainministeriön alainen "yhtiö", joka vastaa myös laitoksen toteuttamisesta (koordinointielimessä n. 100 henkilöä). Laitoksella on kaksi päätoimittajaa: rakennustyöt tekee Vodni Stavby ja laitteistot toimittaa Skoda. Pieni osa, n. 1 %, laitteistoista tuodaan ulkoa Neuvostoliitosta, Unkarista ja Bulgariasta.

Neuvostoliittolaisen suunnittelun osuus on n. 50 % ja käyttöönottovaiheessa työmaalla on 300—500 neuvostoliittolaista asiantuntijaa.

Tšekkoslovakian atomienergiakomissio valvoo rakennustöitä ja laitteistotoimituksia myös omalta osaltaan.

### Työmaa

Työmaa-alue on 2x1,5 km<sup>2</sup> ja työt oli aloitettu v. 1983. Työmaa-alueella oli tehty maansiirtotöitä ja rakennettu useita toimisto- ja sosiaalirakennuksia. Varsinaisia voimalaitostöitä oltiin juuri alkamassa. Siirrettävät maamassat ja louhinnat ovat yhteensä 8 milj. m<sup>3</sup>, valettava betonimäärä on 1,2 milj. m<sup>3</sup>.

Betoniaseman kapasiteetti on 20 m<sup>3</sup>/h, myöhemmin rakennetaan uusi asema kapasiteetiltaan 92 m<sup>3</sup>/h. Työmaan vahvuus huipussaan on 14 000 henkilöä, joista rakennustöissä 10 000 henkilöä ja asennustöissä 4 000 henkilöä. Kaikille toimittajille ja alihankkijoille annetaan sosiaaliset huoltopalvelut, joita hoitaa 600 henkilöä.

Työmaalla oli jo valmiina osa toimisto-, asunto-, ruokala-, sosiaalitala- ja varastorakennuksista sekä terveyskeskus.

Kaikkiaan asuntoja rakennetaan 9 000 henkilölle, ruokailutiloja 4 000 henkilölle ja sosiaalitalat 6x1 400 henkilölle. Lisäksi rakennetaan huoltokorjaamo ja ostoskeskus.

Laitteistot toimitetaan pääosin rautateitse. Reaktorirakennuksen suojakuoren laineri esivalmistellaan 11 m x 30 m elementteiksi, joissa on valmiina betoniraudoitus. Suojarakennuksen seinän vahvuus on 1,5 m.

### Vaikutelmat

Laitos- ja työmaa-alue on erittäin laaja, mistä johtuvat suuret maansiirto- ja louhintatyöt. Näihin käytetään neljä vuotta ennen ensimmäisiä voimalaitoksen betonitöitä. Laitosta varten joudutaan rakentamaan paljon infrastruktuuria työmaan 14 000 henkilöä ja käyttöorganisaation 3 000 henkilöä varten, sillä läheisimpään kaupunkiin Ceske Budejoviceen on matkaa 30 km.

Työmaan nykyisessä vaiheessa ei saanut vielä kuvaa itse voimalaitostyömaasta, sillä vasta valmisteltavia töitä oli tehty. Tosin maanrakennustöitä oli tehty jo laajalla alueella. Vierailun isäntänä olleen Vodni Stavbyn mukaan turvallisuusmääräysten tiukkenemisestä johtuen kustannukset nousevat voimakkaasti, jopa voimakkaammin kuin inflaatio, mistä johtuen kustannus- ja aikatavoitteiden pitämiseksi tulee suuria paineita. □

Tapani Kukkola, IVO

## Skodan tehtaat Plzenissä

### Isäntä

Isäntänä toimi turpiinitehtaan tutkimus- ja kehitysjohtaja Josef Drahy. Hän vastasi avoimesti kaikkiin kysymyksiin sujuvasti saksaksi tai englanniksi.

Johtaja Drahy kertoi 15 miljoonan asukkaan Tšekkoslovakiassa olevan ydinvoimalaa 2000 MWe, joka vastaa 15 % sähköntuotantokapasiteetista. Vesivoiman osuus on 20 %. Loput on lämpövoimaa. Tulevina vuosina valtion kokonaisinvestoinneista 30 % kohdistuu ydinvoimaan. Ruskohiilestä pyritään luopumaan kokonaan ympäristöhaittojen vuoksi.

### Skodan tehtaat Plzenissä

Henkilöstöä Skodan tehtailla Plzenissä on noin 45 000 henkeä, josta turpiinitehtaassa 1500 ja reaktoripaineastiatehtaassa 3000 henkeä. Tehdasalue vaikutti laajalta. Kuljetukset tehtaalle hoidetaan rautateitse.

### Tutustumiskierros turpiinitehtaaseen

Tehdas oli rakennettu vuonna 1968. Tehdas vaikutti vanhemmalta. Laajennus oli tekeillä 1000 MW:n turpiinien valmistusta varten. Tehdas antoi hieman sekavan vaikutelman.

Numeerisia työstökoneita oli ehkä puolet konekannasta. Osa koneista oli hyvin massiivisia tehtaan luonteen mukaisesti. Suurin taottava kappale on halkaisijaltaan 1,8 m. Suuremmat tehdään hitsaamalla. esimerkiksi 1000 MW:n turpiinin matalapaineroottorin akseliin halkaisija on 1,85 m. Kaikki materiaalit tehdään itse, paitsi turpiinien siipimateriaali tulee muualta.

Turbiinitehtaassa valmistettiin myös reaktorin osia. Mm. reaktorin polttoainekorin pohja oli koneistuksessa. Skoda valmistaa lähes itsenäisesti sekä 1000 MW:n että 440 MW:n reaktoripaineastiat sisäosineen.

Turpiinitehtaan tuotantokapasiteetti on 2000 MWe vuodessa. Vienti on noin puolet tuotannosta. 220 MWe:n ydinvoimalaturpiineja valmistetaan 4 kpl vuodessa. Turbiineja on valmistettu 14 kpl, lisäksi valmistetaan vielä 14 kpl.

Suurin kone on konventionaaliselaitokselle tehty 500 MWe:n turpiini. 300...600 MWe:n konventionaaliset turbiinit tehdään ranskalaisella lisenssillä. Suurin

konventionaalinen vastapaineturpiini on toimitettu Suomeen HKE:lle Hanasaari B:hen, 160 MWth (2 kpl).

220 MWe:n ydinvoimalaitosturpiinin suurin väliottoteho on 150 MWth, 1000 MWe:n koneesta saadaan 1000 MWth:n lämpöteho lämpötila-alueelta 60—160°C.

Valmistusaika materiaalitoimituksesta asennukseen 100 MWe turpiinille on 10 kk, 220 MWe turpiinille 16 kk ja 1000 MWe turpiinille 30 kk. Reaktorin paineastian valmistusaika on 3 vuotta.

Turpiinitehtaassa puolet henkilöstöstä on suunnittelijoita tai tutkijoita. Tutkimustyöstä tehtaan osuus on 30 %. Lopun tutkimustyön turpiinien kehittämiseksi tekevät tutkimuslaitokset. Hallitus määrää kehitysoikeudet ja maksaa kehityskulut. 1000 MWe:n ydinvoimalaitosturpiinin kehitystyötä on tehty 7 vuotta hallituksen rahoilla. 1000 MWe:n turpiinin valmistus on alkanut.

Jari Nylén

## Skodaexport

ATS:n ekskursioryhmä vieraili Skodaexportin toimitiloissa Prahassa Václavské náměstilla 18.10.85 klo 8.30—10.30.

Isäntinä olivat kaupallinen johtaja Bertelmann ja DI Milan Amler sekä Czechoslovak Atomic Energy Commissionin edustajana Zdeněk Chalus. Herrat Amler ja Chalus ovat eri yhteyksissä olleet tekemisissä Imatran Voima Oy:n kanssa.

Skodaexport on ulkomaankauppayhtiö, joka edustaa yli kymmentä tšekkoslovakialaista metalliteollisuusyritystä. Näistä huomattavimmat ovat Skoda-konserni, První Brněnská Strojirna ja Vítkovice, ja eräitä suunnitteluyhtiöitä, kuten Kovoprojekt, Hutní Projekt, Energojekt. Nimestään huolimatta Skodaexport ei kuulu Skoda-konserniin.

Skodaexport vie ja tuo suunnittelutyötä, komponentteja ja kokonaislaiteita konventionaalisen-, ydin-, ja vesivoimantuotantoa ja metallurgian teollisuutta varten. Skodaexport vie myös sähkövetureita, trolleybusseja ja tupakkakoneita.

Skodaexportilla on tytäryhtiöt Intiassa, Brasiliassa, Argentiinassa, Iranissa ja Nigeriassa sekä edustajia Tšekkoslovakian kaupallisissa edustustoissa 44 maassa. Prahassa Skodaexportilla on 600 työntekijää.

Ydinlaitoskomponenttien vienti ja tuonti on Skodaexportilla ollut käynnissä 15 vuotta. Skodaexport vie VVER 440 ja 1000-laitosten reaktoripaineastioita, höyrystimiä, paineistimia, venttiileitä ja muita laitteita SEV-maihin. Vientiä on nykyisin noin 200 MRbl + 20 MRbl vuodessa ja tuontia 7—8 MRbl. □

Suurin työkohteella tällä hetkellä on vanhojen turpiinien muutostyöt vastapaineturpiineiksi.

### 1000 MWe:n turpiini

1000 MWe:n turpiini on 3000-kierroksinen. Turpiinin matalapaine-roottorin paino on 65 tonnia, pisin siipi on 1085 mm pitkä ja painaa 32 kg. Vetovoima siivessä on 250 tonnia. Korkeapainesylinteri on kaksijuoksuinen, 2 x 5 vyöhykettä, teho 500 MWe. Yhdellä kehällä on 50 siipeä, joten yksi siipi kehittää 1 MWe:n tehon.

Turpiinissa tulee olemaan segmenttilaakerit, jotka on tehty Harkovin lisenssillä.

Ensimmäinen matalapaine-esilämmitin on turpiinin kaulalla. Vaakatyypisiä välitulistimia/vedenerottimia on kaksi kappaletta. HP-esilämmittimet ovat myös makavia, ja ne on varustettu ruostumattomilla putkilla.

Lauhduttimen tuubiputket eivät ole titaanisia. Jäähdytystornijäähdytyksessä korroosio ei ole paha ongelma.

### 220 MWe:n turpiini

Turpiini on 3000-kierroksinen. KP-sylinteri on kaksijuoksuinen. Matalapaineroottorin siiven suurin pituus on 850 mm. Turpiinissa on ns sitruunalaakerit. Ensimmäinen matalapaine-esilämmitin on turpiinin kaulalla. Lauhduttimen paine on 0,06 . . 0,07 bar. Titaanilauhduttimia ei ole käytössä.

Yli 220 MWe:n koneilla on turbiinikäyttöiset syöttövesipumput, jotka on varustettu omilla lauhduttimilla. Valmisteilla oli eräs pumppu, jonka teho oli 7 MWe, ja jonka käyttöhöyryn paine oli 7 bar. □

Teuvo Laaksonen  
Valmet Automation Projects

## Tšekkoslovakian atomienergiakomission edustajan tapaaminen

Tšekkoslovakian atomienergiakomission (CAC) edustaja, nuorehko mies nimeltä Zdeněk Chalus tavattiin perjantaina 18.10. Skodaexportin tiloissa Prahassa keskustassa yhdessä Skodaexportin edustajien kanssa. Koko tapaamisaika rajoittui alle kahteen tuntiin, josta siitäkään suurimman osan aikaa olivat äänessä Skodaexportin edustajat.

CAC:lle oli ennen matkaa Suomesta lähetetty telex, jossa oli esitetty pyyntö saada tapaamisen yhteydessä tietoja CAC:sta ja ydinenergiatilanteesta Tšekkoslovakiassa. Herra Chalus vastasi näihin ennakkokysymyksiin pitämällä asiasta englanninkielisen esitelmän, joka jaettiin kuulijoille myös kirjallisena. Lisäksi hän vastaili muutamiin paikalla esitettyihin kysymyksiin ja kierrätti muutamia Zaporoschen/NL voimalaitoksen rakennustöistä n. 2 v sitten otettuja valokuvia ja totesi, että saman näköistä tulee kohta olemaan edellisen päivän vierailumme kohteena olleella Temelin voimalaitostyömaalla.

Tšekkoslovakian atomienergiakomission herra Chalus kertoi olevan n. 50—60 henkilön organisaation. CAC käyttää jatkuvasti hyväkseen palveluksia kolmelta tutkimuslaitokselta, joissa on yhteensä n. 300—400 henkilöä.

### Tehtävät

Tšekkoslovakian atomienergiakomission tehtävät on määritelty hallituksen säädöksessä vuodelta 1983 seuraavasti:

1. Osallistuminen Tšekkoslovakian ydinenergiaohjelman sekä siihen liittyvän tutkimuksen ja kehityksen valmisteluun ja valvonnan suunnitteluun ja toteutukseen.
2. Fissiokelpoisten materiaalien tuonnin, viennin ja käytön valvonta. Se on vastuussa IAEA:n puitteissa tehtyjen sopimusten velvoitteiden noudattamisesta Tšekkoslovakiassa.
3. Ydinteknologialaitosten (nuclear facilities) suunnittelun, rakentamisen ja käytön sekä jätehuollon säännösten laadinta ja ylläpito.
4. Kansantaloudessa tapahtuvan radioisotooppien käytön kehittäminen.
5. Ydinteknologia-alueen kansainvälisen yhteistyön organisointi ja edistäminen.

### Yhteistyö

Kohtaan 5 liittyen herra Chalus ehdotti yhteistyötä esim. asiantuntijavaihdon merkeissä suomalaiselle osapuolelle. Aiheesta käytiinkin lyhyt iltaneuvottelu hänen ja VTT:n sekä ATS:n edustajien kesken. Neuvottelussa asiaan sovittiin palattavan kirjeitse myöhemmin. □

# Saksan liittotasavalta, ydinenergian "Grand Old Man"

Vuonna 1938 Otto Hahn työryhmineen sai aikaan ensimmäisenä maailmassa fissionreaktion berliiniläisessä laboratoriossa. Siitä alkaen ydinenergiaa on tutkittu ja kehitetty menestyksellisesti Saksassa. Tosin sodanjälkeisenä aikana tutkimustoiminta keskeytettiin. Ydinenergian rauhanomaisen käytön tutkimus jatkui vuonna 1955 ja Saksan liittotasavallan ensimmäinen reaktori otettiin käyttöön Kahlissa vuonna 1961. Siitä alkaen ydinvoiman merkitys ja osuus maan energiantuotannossa on jatkuvasti kasvanut. Mainittakoon, että Kahlin reaktori pysäytettiin viimeisen kerran juuri ekskursiomme aikana.

Vuoden 1984 lopussa Saksan liittotasavallassa oli tuotantokäytössä 18 ydinvoimalaitosta yhteisteholtaan yli 15000 MWe, ja ydinvoiman osuus oli noin 24 % maan sähköntuotannosta. Kiehuus- ja painevesireaktoreita oli molempia 8 yksikköä sekä HTR (high temperature reactor) ja FBR (liquid metal fast breeder reactor) reaktoreita molempia yksi prototyyppi. Lisäksi vuoden 1984 puolivälissä poistettiin käytöstä HWR (heavy water reactor) reaktoriin prototyyppi, joka oli ollut käytössä vuodesta 1965 alkaen Karlsruheissa. Vuoden 1985 aikana otettiin käyttöön kolme uutta reaktoria yhteisteholtaan 2900 MWe.

Saksan liittotasavallassa on kaksi merkittävää ydinvoimalaitosten valmistajaa: BBC ja KWU. Matkalla tutustuimme BBC:n Mannheimin tuotantolaitoksiin ja KWU:n osittain omistamiin polttoainetehdäisiin Hanaussa. Maassa onkin tarjolla myös kaikki ydinpolttoainekiertoa liittyvät palvelut.

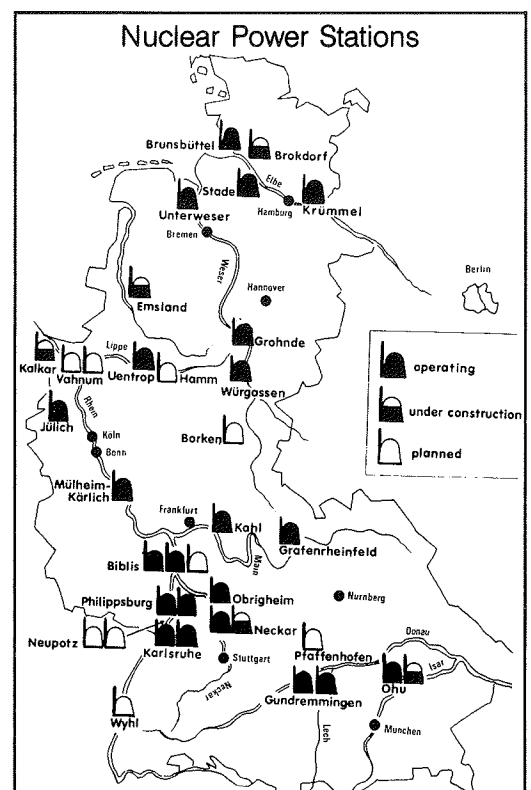
Ydinenergia-alan tutkimus- ja kehitystyötä valtio rahoitti vuosina 1956 . . . 1983 noin 22 000 MDM:lla. Vierailukohteiksi oli valittu myös kaksi tunnettua tutkimuskeskusta, KfK Karlsruheissa ja GRS Garcingissa Münchenin lähellä.

Varsinaiset ydinvoimalaitosvierailut teimme Biblisin jo hieman vanhentuneelle, mutta hyvin toimivalle PWR-laitokselle ja Gundremmingenin uudelle BWR-laitoksella. □

Taulukko. Saksan liittotasavallan ydinvoimalaitokset.

Nimi ja/tai paikkakunta	Tyyppi	Bruttoteho (MWe)	Käyttöön-ottovuosi
VAK, Kahl	BWR	17	1961—85
MZFR, Karlsruhe	HWR	50	1965—84
AVR, Jülich	HTR	15	1967
KWO, Obrigheim	PWR	345	1968
KKS, Stade	PWR	662	1972
KWW, Würgassen	BWR	670	1972
Biblis-A	PWR	1204	1974
Biblis-B	PWR	1300	1976
GKN, Neckarwestheim	PWR	855	1976
KKB, Brunsbüttel	BWR	805	1976
KKI-1, Ohu	BWR	907	1977
KNK II, Karlsruhe	FBR	21	1978
KKU, Esensham	PWR	1300	1978
KKP-1, Philippsburg	BWR	900	1979
KKG, Grafenheinfeld	PWR	1299	1981
KKK, Krümmel	BWR	1316	1984
KRB-B, Gundremmingen	BWR	1310	1984
KRB-C, Gundremmingen	BWR	1310	1984
KWG, Grohnde	PWR	1361	1984
KKP-2, Philippsburg	PWR	1300	1985
THTR-300, Uentrop	HTR	300	1985
Mülheim-Kärlich	PWR	1300	1985
SNR 300, Kalkar	FBR	300	1986
KBR, Brokdorf	PWR	1350	1987
KKE Emsland, Lingen	PWR	1300	1988
KKI-2, Ohu	PWR	1340	1988
GNK-2, Neckarwestheim	PWR	1300	1989
Biblis C	PWR	1300	1990
KWS, Wyhl	PWR	1350	?
KKH, Hamn	PWR	1300	?
Neupotz A	PWR	1300	?
Vahnum A	PWR	1300	?
Vahnum B	PWR	1350	?
Borken	PWR	1300	?
Pfaffenhofen	PWR	1350	?

Kuva. Ydinvoimalaitosten sijainti saksan liittotasavallassa.



## Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS)

GRS:iin tutustuttiin aamupäivällä 21.10.1985. Aluksi esiteltiin laitoksen organisaatio, rahoitus sekä tutkimusten toimeksiantajia.

Eräitä tietoja laitoksesta:

- ei-kaupallinen yritys
- tutkimusaloina reaktoriturvallisuus sekä säteilysuojaus
- päätoimipaikat Köln ja München
- henkilökuntaa 460, joista 350 tutkijoita sekä insinöörejä
- vuosibudjetti n. 60 milj. DM
- rahoitus: sopimukset liittohallituksen, lisensointiviranomaisten sekä muiden organisaatioiden kanssa
- omistus:
  - Liittohallitus 6.1 %
  - Baijeri 3.85 %
  - Nordrhein-Westfalen 3.85 %
  - 11 alueellista tarkastus-elintä sekä germanischer-Lloyd yht. 46.2 %

Vuosittaisista toimeksiannoista 40 % tulee sisäministeriöltä, 40 % tutkimus- ja tiedeministeriöltä ja 20 % eri lisensointi-viranomaisilta.

Erityistutkimuskohteista mainittakoon mm. polttoainekierto, kriittisyystarkastelut, reaktoridynamiikka, reaktoritermo-hydrauliikka (LOCA), fissiotuotteiden käyttäytyminen, sijoituspaikkatarkastelut sekä laadunvarmistus

### Kansainvälinen toiminta

GRS ottaa osaa eri kansainvälisiin projekteihin, kuten LOFT, Semiscale, Halden sekä IAEA-projektit ja tekee turvallisuustutkimuksia eri valmistajien laitoksille, mm. Westinghouse, Framatome, ASEA-ATOM ja GE. GRS:llä on myös sopimuksia eri maiden organisaatioiden kanssa, mm. Brasilia, Englanti, Suomi, Ranska, Ruotsin Indonesia, Espanja ja Jugoslavia.

### Valvontajärjestelmien esittely

Laitoksen rakennetta ja toimintaa kuvanneen esityksen jälkeen kerrottiin laajasti ydinvoimaloiden häiriöitä hyvin varhaisessa vaiheessa ilmaisevista järjestelmistä. Nämä perustuvat eri rakenneosien värähtelyspektreihin (SÜS, Schwingungsüberwachungssystem) sekä kaiun ominaisuuksiin (KÜS, Körperschallüberwachungssystem).

Värähtelyspektrin muutoksista voidaan päätellä missä rakenneosassa mahdollinen vika on. Löystyneitä rakenteita tai jopa irrallisia vieraita esineitä voidaan löytää kaiun aaltomuotoa tarkkailevalla järjestelmällä. □

### Per-Erik Hägg, IVO/LO

## Gundremmingenin ydinvoimalaitos

Gundremmingenin voimalaitos sijaitsee Tonavan varrella n. 20 km Ulmin kaupungista koilliseen. Voimalaitospaikalla on nyttemmin suljetun 250 MW:n laitoksen vieressä kaksi uutta 1300 MW:n kiehutusvesilaitosta.

Tullessamme laitokselle kiinnitimme huomiota tukevaan aitaukseen, joka kuitenkin hyvin sulautui kokonaisuuteen. Perusteellisen passi- ja turvatarkastuksen jälkeen meidät ohjattiin konntorirakennuksen neuvotteluhuoneeseen, missä isäntänämme toiminut Dr Norbert Eickelpasch (teknisen toimiston päällikkö) otti meidät vastaan. Paikalla olivat myös myöhemmin laitoskierroksella oppainamme toimineet insinöörit Zapletal ja Stephan.

Voimayhtiön Kernkraftwerke Gundremmingen Betriebsgesellschaft (KGB) omistavat Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG (75 %) ja Bayernwerk AG (25 %).

### Päätiedot laitoksesta

Gundremmingenin yksiköt B ja C on varustettu KWU:n kiehutusvesireaktoreilla (tyyppi SWR 72) lämpötehoiltaan 3840 MW. Reaktorisydämessä on 784 polttoainepua (8x8—2 sauvakonfiguraatio), yhteensä n. 139 tonnia uraania, rikastusteeltaan 2,75 % (1,93 % alkulatauksessa). Säätösauvojen lukumäärä on 193.

Reaktoripaineastia on varustettu 8 sisäisellä pääkiertopumpulla. Neljän höyrylin-

jan kautta höyry johdetaan turpiiniin, joka koostuu korkeapaineosasta ja kahdesta matalapaineosasta. Turpiinin pyörimisnopeus on 1500 rpm. Laitosyksiköiden bruttoteho on 1310 MW.

Tonavan lämpökuormituksen minimoimiseksi on rakennettu kummallekin yksilölle 160 m korkea jäähdytystorni ("korkeampaa tornia ei uskonnollisista syistä uskallettu rakentaa, koska maailman korkein kirkko Ulma Münster on vain 161 m").

### Erikoispiirteitä

Esijännitettyä betonirakennetta oleva reaktorin suojarakennus seisoo 3 m paksuisen laatan päällä. Seinämän paksuus on 1,8 m. suojarakennuksen sisäpinnat on vuorattu 8 mm paksuisella teräsverhouksella. Maanjäristysmahdollisuuksien takia suojarakennus seisoo erillään muusta reaktorirakennuksesta. Suojarakennuksen ympärillä on 200—300 mm rako muihin kiinteisiin rakenteisiin.

Paineastian alapuolelle on asennettu säteilysuojaja, jonka ansiosta säteilytaso tilassa, missä muun muassa säätösauvakoneistot, pääkiertopumppujen moottorit ja incore antureiden ohjausputket sijaitsevat, on vain n. 5 mrem/h. Tämä mahdollistaa työskentelyn mainitussa tilassa käytön aikana. Mainittakoon, että C-yksikössä oli käyntimme edeltäneellä viikolla vaihdettu yksi pääkiertopumpun moottori reaktorin tehon ollessa n. 98 %. (Asea-Atomien laitosten suojarakennuksen vastaavassa tilassa on käytön ajan typpiatmosfääri.)

## Laitoksen alkutaival

Laitos rakennettiin 8 vuodessa. Suunnittelu rakennusaika oli 6 vuotta. Osa myöhästymisestä johtui vaikeuksista suojarakennuksen sisäpinnan verhouksien kanssa. Rakennuskustannukset nousivat 7 miljardiin DM.

B-yksikkö tahdistettiin verkkoon maaliskuussa 1984 ja C-yksikkö saman vuoden syyskuussa. Jälkimmäisen yksikön koe-käyttövaihe oli erittäin lyhyt, neljässä viikossa kriittisyydestä täyteen tehoon ja 8 viikossa kaupalliseen käyttöön (kehuttiin maailmanennätykseksi).

B-yksikön ensimmäisen vuoden käyttökerroin oli 85 %. Tässä on mukana yksikön ensimmäinen vaihtolatausseinä, jonka kesto oli 31 päivää. Polttoainesiirtoihin meni aikaa 8 päivää ja reaktorista poistettiin 220 nippua. Kokonaissäteilyannos ensimmäisessä revisiossa oli 50 manrem.

*Pauli Kopiloff  
Heimo Takala  
Säteilyturvakeskus*

# Karlsruhen ydintutkimuskeskus (KfK)

Karlsruhen ydintutkimuskeskus sijaitsee n. 12 km pohjoiseen Karlsruhesta Baden-Württembergissä, 2,5 km<sup>2</sup>:n suuruisella alueella työskentelee yli 5 000 henkilöä tutkimuslaitoksissa ja erilaisissa tukitoiminto-osastoissa ja -toimistoissa. Noin 3 500 henkilöä työskentelee tutkimuskeskustyön Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH laskuun. Yhtiön toiminnasta rahoittaa 90 % liittovaltio ja 10 % Baden-Württembergin osavaltio. Vuosibudjetti on noin 600 Mio DM. Ydintutkimuskeskus työskentelee läheisessä yhteistyössä Karlsruhen ja Heidelbergin yliopistojen kanssa. Yhtiön pääjohtajatuksena on R&D-toiminta, erityisesti ydinteknologian alueella. Toimintaan kuuluu siten teknisesti toimivien pilot-laitosten rakentaminen ja käyttö, joskus yhteistyössä teollisuuden kanssa.

Kaksi kolmannelta R&D-potentiaalista on varattu projektityölle, johon myötävaikuttavat kansalliset ja kansainväliset tutkimuslaitokset ja teollisuuden partnerit tai turvallisuudesta ja lisensioinnista vastaavat viranomaiset. Loput kapasiteetista käytetään perus- ja soveltavaan tutkimukseen sekä sellaisten alojen kehittämiseen,

C-yksikkö ajoi vierailumme aikana vielä ensimmäistä jaksoa.

## Aktiiviset jätteet ja käytetty polttoaine

Laitoksella syntyvät matala-aktiiviset jätteet käsitellään jossakin muualla ja puristetut jätteet toimitetaan takaisin laitokselle tynnyreissä. Tynnyreitä kertyy n. 40 kpl vuodessa.

Kiinteytyslaitosta laitoksella ei ole, vaan suunnitelmissa oli tarvittaessa vuokrata liikkuva kiinteytyslaitos.

Käytetty polttoaine on tarkoitettu lähettää Cogemalle jälleenkäsiteltäväksi.

Polttoaine-erälle on suoritettava tiiveystarkastus, mikäli veden aktiivisuuksien perusteella ei voida sanoa että kaikki niput ovat tiiviitä. Tiiveystarkastuspäätöksen te-

kee Cogema. Ensimmäisen käyttövuoden jälkeen löydettiin yksi vuotava polttoaineniippu.

## Laitoskierron ja yleisvaikutelma

Laitoskierron suuntautui B-yksikköön. Kävimme mm. päävalvomossa, suojarakennuksessa paineastian alapuolella, reaktorihallissa ja turpiinivälillä.

Poistumisreitit tulipalon tai onnettomuuden varalta, oli selvästi osoitettu joka puolella laitosta (meille opiksi). Oppaat näyttivät meille laitosta ja vastasivat kysymyksiimme hyvin avoimesti. Ainoa rajoitettava tekijä oli aika.

Gundremmingenin ydinvoimalaitoksesta saimme positiivisen kuvan. Sekä sisä- että ulkoalueet olivat siistit. Turvajärjestelyihin oli satsattu aika paljon. Tämä ei kuitenkaan heittänyt varjoa miellyttävän yleisvaikutelman ylle. □

BETA-projektiin (betonin ja sydänsulan vuorovaikutus) tutustuminen, jälleenkäsitelylaitokseen tutustuminen ja runsaasti tutustuminen jätteenkäsitelytutkimukseen tutustuminen.

Tutkimuskeskuksen esittelynäyttely muistutti nykyaikaista tiedekeskusta kuplakammioineen, näyttöpäätteineen ja yleisön käytettävissä olevine laitteineen, joita olivat manipulaattorit, Pu- ja U-yhdisteiden erotuskolonnilaitteisto jne. Näytteillä oli myös betonikappaleita, joita oli käytetty sydänsula-betonivuorovaikutuskokeissa.

## BETA-koeasema

BETA-koeasemalla tarkastellaan sydänsulan ja betonin vuorovaikutusta pienennetyssä mittakaavassa ei-radioaktiivisin ainein. Kokeiden tarkoituksena on verifioida ydinturvallisuusprojektiin kuuluvan sydämsulan onnettomuustutkimuksen kaasun- ja aerosolivapautumismalleja.

Lähes 20 Mio DM hintaista suurkoetta esitteli Dr Alsmeyer:

- Laitoksen sähköteho on 8 MW, josta 2 MW syötetään induktiivisesti sulaan.
- Aikaisemmin käytettiin termittikumennusta, nyt vain alkusulan muodostumiseen.
- Betonissa sulan etenemisdetektoreita.
- Poistokaasut ja aerosolit analysoidaan on-line-laitteilla.
- Kokeet on videoitu, yksi videonauha näytettiin.
- Kokeet on aloitettu vuoden -84 alussa ja päättyvät helmikuussa -86.
- KfK:ssa mitatut aerosolipäästöt ovat vähäisiä verrattuna amerikkalaisiin. Syy oli saksalaisten mielestä koejärjestelyissä, amerikkalaiset käyttävät termittikumennusta vielä tunkeutumiskokeissa. Sementin kivilaadun vaikutus asiaan oli myös tutkittavana.
- Betonista vapautuva vesi muuttuu vedyksi ja oksideiksi.
- Ohjelman viimeisessä kokeessa vettä betonin päällä.

jotka voivat johtaa tulevaisuuden projekteihin.

Tutkimuskeskuksen tutkimus- ja kehitystyö muodostuu yhdeksästä päätoimialasta, jotka ovat:

- nopea hyötöreaktoriprojekti,
- väkevöinti suutinmenetelmällä,
- jälleen- ja jätteenkäsitelyprojekti,
- loppusijoitus,
- ydinturvallisuusprojekti,
- teknologia-ihminen-ympäristö,
- kiinteän olomuodon ja materiaalien tutkimus ja
- ydin- ja hiukkasfysiikka.

Lisäksi keskuksen teknis-tieteellisiin ohjelmiin kuuluvat

- HDR (Heiz Dampf Reaktor)-turvallisuusohjelmoprojekti
- projektin johtotehtävät ja
- teknologian siirto.

Vierailun isäntänä tutkimuskeskuksessa toimi Peter Ihle (Institut für Reaktorbauelemente). Ohjelmaan kuuluivat tutkimuskeskuksen lyhyt esittely esittelyfilmeineen, keskuksen näyttelyyn tutustuminen,

## Institut für Heisse Chemie (IHCh)

Tutkimuskeskuksen kuumalaboratorioinsituutin (IHCh) puitteissa toimivat jälleenkäsittelylaitos WAK (Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe) sekä osastot analytiikalle, radioliyysille, online-instrumentoinnille, perustutkimukselle (radiokemia) ja tekniselle suunnittelulle. Jälleenkäsittelylaitosta käyttää yhtiö Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Betriebs-gesellschaft mbH ja sen toiminta kuuluu projektiin "Jälleen- ja jätteenkäsittely".

Instituutin johtaja prof. Ebert esitteli instituutin yleisesti. Käytettyä polttoainetta voidaan käsitellä n. 100 kg päivässä. Suurin palama on ollut 100 MW day/kgU ja jäähtymisaika on tällöin ollut alle vuoden. Uraani- ja plutonium erotetaan fissi-otuotteista ns. PUREX-menetelmällä (Plutonium-Uranium-Reduction-Extraction-Process). Menetelmässä typpihappoliuos, johon polttoainesauvan sisältö on liuotettu, joutuu kosketuksiin orgaanisen faasin kanssa, johon liukenevat vain uraanin ja plutoniumin yhdisteet. Laitokselle tehdään 2—4 Euratom-tarkastusta vuodessa. Laitos oli juuri sei-

sokissa ja ydinmateriaaleja inventoitiin seuraavalla viikolla pidettävää tarkastusta varten.

Yleisesittelyn jälkeen tehtiin laitoskierros, jossa tutustuttiin eri koelaitteistoihin. Näitä olivat sauvojen sisällön liuotus, (Pu + U) erotus, kaasujen talteenotto ja plutoniumin erotus uraanista.

- Polttoainesauvat tuodaan laitokselle valmiiksi katkaistuina.
- Alikriittisyys perustuu pieniin aine-määriin ja prosessin geometriaan.
- Alfa-aktiiviset laitteet sijaitsevat rakennuksen sisään rakennetuissa kaasutii-viissä tiloissa alipaineistetuissa plexi-kaapeissa, joissa on runsaasti manipu-lointikäsineitä erilaisia prosessin säätö-toimenpiteitä varten.
- Suurehkon kokonaisuuden muodosti koelaitteisto, jossa krypton erotetaan fissi-otuotteista kaasupesurilla normaali-ilmanpaineessa käyttäen freon ekstraktio-menetelmää.
- Plutoniumin erotuslaitteistolla käytetään puhdasta uraania ja plutoniumia, joten fissi-otuotteiden gammasäteily-suojausta ei tarvita.

- Yhden vuoron aikana voidaan erottaa 4—5 kg plutoniumia elektrolyytisesti kolonnissa.
- Koska n. puoli kiloa plutoniumia voi tulla kriittiseksi käytetään erotuskaska-din säiliössä hafniumia neutronimyrkkyä.

## Runsasaktiivisen jätteen käsittely

Karlsruhen tutkimuskeskuksen viimeinen vierailukohde oli Institut für Entsorgung. Isäntänä toimi Dr Krause. Tutustuminen rajoittui laitoskierrokseen, jonka pääkoh-teena oli jälleenkäsittelyjätteen lasituksen koelaitos. Entinen koelaitteisto oli purettu ja parhaillaan rakennettiin uutta 80 l/h laitteistoa (Melter 4), jonka oli määrä val-mistua vuoden loppuun mennessä.

Koelaitos käyttää epäaktiivisia aineita prosessissaan, joten laitteistosta puuttui-ivat säteilysuojuspiirteet. Instituutissa on kuitenkin myös kuumalaboratorio kiintey-tetyn jätteen näytteiden tutkimista varten. Kuumalaboratorion säteilysuojusjärjeste-lyt olivat periaatteessa samat kuin jälleen-käsittelylaitoksellakin. □

## Hannu Räikkönen/Kristiina Laurila, TVO

# BBC/Mannheim

Brown Boveri Group on kokonaisuutena varsin suuri yrityskokonaisuus. Työnteki-jöitä on kaikkiaan noin 100 100, edustajia on 140 maassa ja tuotantolaitoksia 40 maassa.

Vierailun aikana keskityttiin käsittelemään Brown Boveri Group'n Saksan ryh-män toimintaa. Saksan BBC:llä on työn-tekiäjiä kaikkiaan noin 36 000, tuotanto-laitoksia Saksassa 25 ja ulkomailla 10. Saksan BBC:llä on tytäryhtiöitä 39. Vien-nin osuus pyörii 40 %:n paikkeilla.

Ydinvoimapuolella BBC:n ansiolista sisältää:

- 10 avaimet käteen-periaatteella toteutettua/toteutettavaa ydinvoimalaitosta, joista 6 on tällä hetkellä käytössä
- 60 turbosettia ydinvoimaloihin (8 eri maata, kaikki markkinoilla olevat reaktorityypit)
- Sähkö- ja instrumentointilaitteita ydinvoimaloihin
- Tutkimus- ja kehitystyötä ydinvoimalaitosalueella
- Reaktorikomponenttien kehitystä ja valmistusta

Ydinvoimalaitosrintamalla toiminta on keskittynyt (Saksan BBC:n omien, lähinnä komponenttien suunnittelusta ja valmistuksesta huolehtivien yksiköiden ja BBC:n projektina toteutettavan Mülheim-Kärlich-projektin ohella) erityisesti BBC:n tytäryhtiöiden BBR:n (Brown Boveri Reaktor GmbH) ja HRB:n (Hochtemperatur-Reaktorbau GmbH) ympärille.

Seuraavassa tarkastellaan ekskursional-aisille pidettyjen esitelmien ja filmiesitysten pohjalta tämän päivän tilannetta BBC:n ydinvoimalaitosrintamalla. Vierailuun sisältyy myös tehdaskierros BBC:n Mannheimin tuotantolaitoksilla, mutta tehdaskierrosta ei tässä käsitellä tämän enempää.

## Kevytvesireaktoripuoli

Kevytvesireaktoritekniikkaa on BBC:n piirissä kehitelty vuodesta 1971 lähtien Sveitsin ja Saksan BBC:n yhteisen tytäryhtiön BBR:n toimesta. Toiminta lähti liikkeelle BBC:n ja Babcock-Wilcoxin yhteistyönä. Sittemmin viimeainittu osapuoli on vetäytynyt yhteistyöstä pois.

Tällä hetkellä "näkyvin" ydinvoimalaitos-

hanke kevytvesireaktoripuolella on Mülheim-Kärlich, jonka pitäisi näillä näkymillä mennä verkkoon ensi vuonna, ehkä jo maaliskuussa. Primääripuoli on ollut BBR:n vastuulla ja sekundääripuoli Saksan BBC:n vastuulla. Projektissa on kohdattu melkoisesti vaikeuksia.

Kevytvesireaktorikausi lienee BBC:n osalta kuitenkin ohi, sillä vuonna 1982 BBC totesi ettei se kykene seuraamaan KWU:ta ja tämän convoy-concept'ia ydinvoimalai-tosprojekteissa.

Tänä päivänä BBC/BBR panostaakin voi-makkaasti lähinnä service-puolelle. Tämä toiminta käynnistettiin 1981. Toiminta on lähtenyt BBC:n mukaan erittäin hyvin liikkeelle.

BBC/BBR:llä on ns. "Plant Performance Improvement Program", jonka osa-alueita ovat esimerkiksi laitosten käyttökertoimien parantamiseen, säteilyannosten pienentämiseen ja laitosten käyttöiän pidentämiseen tähtäävät toimenpiteet sekä rakenteellisten muutosten kartoitus ja erilaisten engineering-selvitysten suoritus. Näiden lisäksi BBC/BBR tarjoaa nimikkeen "Nuclear customer services" alla

mitä erilaisimpia palveluja sekä soft ware-että hard ware-puolella.

Tällä hetkellä BBC/BBR pitää tärkeimpänä palvelualueenaan erilaisten erikoistuotteiden ja -palvelujen toimittamista. Nämä keskittyvät lähinnä seuraaville alueille:

- höyrygeneraattorien tarkastukset ja korjaukset
- polttoaineen tarkastukset ja korjaukset
- erilaisten säteilyannosten pienentämiseen tähtäävät toimenpiteet

BBC/BBR esitteli erityisesti höyrygeneraattorien tarkastuksiin ja korjauksiin suunniteltuja kauko-ohjattavia manipulaattoreita erilaisine oheislaitteineen. Vain kutelmaksiksi jäi, että manipulaattoreilla voidaan tehdä lähes mitä vain. BBC/BBR väitti myyneensä manipulaattoreita ”hyvin paljon”.

Toinen mielenkiintoinen BBC/BBR:n esitelmä laite oli vuotavan polttoainesauvan etsintälaitte, jonka toiminta perustuu ulträänitekniikkaan. Yhden nipun kaikkien sauvojen tarkastus vie aikaa noin 10 minuuttia.

BBC/BBR pyrkii hyvin voimakkaasti markkinoimaan palvelujaan käyvän ydinvoimalaitoksen kaikilla toimintasektoreilla (käyttö, kunnossapito, tekninen suunnittelu, koulutus, revisiotoiminnot jne).

#### Korkealämpötilareaktorit

Korkealämpötilareaktoritekniikkaa on BBC:n piirissä kehitelty lähes 30 vuoden ajan Sveitsin ja Saksan BBC:n yhteisen tytäryhtiön HRB:n toimesta. HTR-alue näyttää olevan tällä hetkellä varsin mielenkiintoisessa vaiheessa. BBC/HRB luottaa tämän alueen tulevaisuuteen.

Kokemuksia BBC/HRB:llä on HTR-tekniikasta jo melkoisesti, sillä 15 MW

AVR-kooreaktori otettiin käyttöön Jülichissä jo vuonna 1967. Kooreaktori on tarkoitus pitää käynnissä vielä ainakin pari vuotta. Seuraava askel on ollut Hamm-Uentrop'n 300 MWe THTR-300 reaktori, joka on parhaillaan käyttöönottoaiheessa. Laitos kytkettäneen verkkoon vielä tämän vuoden puolella.

Jatkoa HTR-ohjelmalle on BBC/HRB:n mukaan näköpiirissä, sillä ilmeisesti vielä tämän vuoden puolella BBC/HRB saanee HTR-500-laitosta koskevan kaksivuotisen suunnittelutoimeksiannon. Kaikkiaan nelivuotisen suunnittelu- ja lisensiointijakson jälkimmäisen kaksivuotiskauden aikana on, todennäköisesti saatavan jatkotoimeksiannon perusteella, tarkoitus viedä suunnittelu ja lisensiointi uuden toimeksiannon perusteella niin pitkälle, että jakson lopulla olisi mahdollista saada rakentamislupa. Tällöin rakentamistyöt voisivat alkaa 1990.

BBC/HRB katsoo, että he voivat tällä hetkellä tarjota HTR-laitoksia tehoalueella 100—600 MWe käyttäen referenssilaitoksena Hamm-Uentrop'n THTR-300 laitosta. 1200 MWe laitos voidaan tietysti toteuttaa helposti kaksoisyksikköperiaatteella. BBC/HRB:n näkemyksen mukaan laitokset skaalassa 300—600 MWe tuntuvat tänä päivänä järkevimmiltä ratkaisuilta.

BBC/HRB:n HTR-tuotelinja on varsin monipuolinen ja soveltuu moniin tarkoituksiin kuten sähköntuottoon, kaukolämmön tuottoon ja prosessilämmön tuottoon teollisuudelle. Viime mainittu on erinomaisen käyttökelpoinen vaihtoehto, koska jäähdytyskaasun lämpötila on ulostullessaan noin 950°C. Tämä mahdollistaa esimerkiksi kaasun valmistamisen hiilestä yms. BBC/HRB:llä on konsepti valmiina myös 10 MW:n HTR-lämmitysreaktorista.

BBC/HRB:n heliumjäähdytteisten ”pebble bed”-kuulareaktoreiden eli ”koksimiilujen” vahvoja puolia ovat:

- 40 % hyötysuhde sähköntuotannossa
- Jäähdytysmuotonsa vuoksi sovelias myös kuiville alueille
- Lämmöntuottoon sovelias (aina 950°C:een asti)
- Luontaisten turvallisuusominaisuuksiensa vuoksi voidaan sijoittaa lähelle kulutuskeskuksia
- Jatkuva polttoainekuulien vaihto, ts. ei tarvetta polttoainevaihtosokkeihin
- Voidaan käyttää korkeaa, keskikorkeaa tai matalaa uraanin rikastusastetta ja muutos voidaan toteuttaa ”lennosta”
- Käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön säteilyannokset voidaan pitää vähäisinä
- BBC/HRB:n selvitysten mukaan HTR-500-laitoksen (550 MWe) ja 1230 MWe PWR-laitoksen pääomakustannukset ja käyttökustannukset ovat suurin piirtein samoja/kWh, mutta polttoainekustannukset ovat HTR-reaktorilla pienempiä. Kokonaiskustannukset sähköntuotannossa ovat BBC/HRB:n mukaan 11 Pf/kWh (HTR-550 MWe) ja 14 Pf/kWh (PWR 1230 MWe)

BBC/HRB:n esitysten jälkeen jäi erittäin positiivinen mielikuva HTR-reaktoreista. Tätä mielikuvaa vahvisti entisestään pari päivää myöhemmin tapahtunut vierailu Nukemilla, jossa nähtiin ”koksimiilun” polttoaineen ”yksinkertainen” valmistusprosessi käytännössä. Näiden tennispallon kokoisten polttoaine-elementtien valmistuksesta kerrottaneen toisaalla tässä ATS-matkakertomuksessa.

BBC/HRB:n optimismin HTR-reaktoreiden tulevaisuuden suhteen saattaa hyvinkin olla perusteltuja syitä. □

*Tapio Kanerva, IVO*

## Biblisin ydinvoimalaitos

ATS:n ekskursion seitsemäntenä vierailupäivänä oli ohjelmassa käynti Biblisin voimalaitoksilla, jotka sijaitsevat Reinin varrella Hessenin osavaltiossa, noin 50 km päässä Frankfurtista lounaaseen.

Voimalaitokset omistaa RWE (Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk Aktiengesellschaft Essen). Vuonna 1899 perustettu yhtiö on yksi Euroopan suurimpia sähköyhtiöitä, jolla on käyttövallassaan yli 25000 MW:n voimakapasiteetti ja huomattava sähkönjakeluverkosto. RWE:n hallinnassa olevasta voimakapasiteetista tuotetaan 80 % hiilen, 14 % ydinvoiman

sekä 6 % kaasun, öljyn ja vesivoiman avulla.

Kunnat sekä kunnalliset yhtiöt ovat yli 30 % osakepääomaosuudellaan, joka oikeuttaa 61 % äänimäärään, määräävässä asemassa RWE:ssä. Lähes 200.000 osakkeen omistajasta muita huomattavia osakasryhmiä ovat pankit, vakuutusyhtiöt, kauppayhtiöt sekä yksityiset henkilöt.

#### Biblisin ydinvoimalaitokset

Biblisin laitokset koostuvat kahdesta käyvästä ydinvoimalaitosyksiköstä, nimittäin Biblis A:sta ja B:stä. Edellisten lisäksi on

suunnitteilla Biblis C, jonka on laskettu aloittavan tuotantonsa v. 1990.

Keväällä 1969 tehtiin sopimus KWU:n kanssa A-yksikön ja kesällä 1971 B-yksikön toimittamisesta. A-yksikkö aloitti toimintansa kesällä 1974 ja B-yksikkö n. kaksi vuotta myöhemmin (rakennusaika n. 5 vuotta). Biblisin laitokset olivat valmistuessaan sähkötehoaltaan suurimpia ydinvoimalaitoksia Saksan liittotasavallassa. Ennen A-yksikön valmistumista suurin oli KWW:n Würgassenissa vuonna 1973 käynnistynyt, sähkötehoaltaan 640 MW:n BWR-laitos.



Tällä hetkellä laitosten henkilöstömäärä on n. 800 henkeä, jonka kerrottiin hoitavan laitospaikalta käsin kaikki käyttöön, tekniikkaan ja muihin toimintoihin liittyvät tehtävät. Varsinaisia käyttövuoroja on 5 kpl ja niihin kuhunkin kuuluu 6 henkilöä/yksikkö.

#### Vierailun ohjelma

Vierailun aluksi tutustuttiin varsinaisen laitosalueen ulkopuolella sijaitsevassa uudessa hyvin varustetussa vierailukeskuksessa laitosyksiköiden rakennetta ja käyttöä kuvaaviin pienoismalleihin. Tämän jälkeen vierailun isäntä Peter Hinz piti lyhyen yleisesityksen laitosten historiasta ja käytöstä.

Seuraavana oli vuorossa laitosten rakennusvaiheita ja käyttöä sekä käytetyn polttoaineen kuljetussäiliön testausta kuvaavat filmiesitykset.

Vierailun aikana oli Biblis-A vuosirevisiossa, jonka normaalksi pituudeksi mainittiin n. 6 viikkoa. Tämän johdosta varsinainen kiertokäynti, jonka yhteydessä tutustuttiin valvomoon ja turpiinilaitokseen, suoritettiin Biblis-B:llä.

Koska olimme kolme vuorokautta aikaisemmin tutustuneet Gundremmingenin uusiin, vuosina 1984 ja 1985 käyttöönotettuihin BWR-laitoksiin, jäi hyvin vartioiduista Biblisin yksiköistä luonnollisestikin yleisvaikutelmaksi jo vähän vanhemman tekniikan tuntu. Tällä tekniikalla on kumminkin tuotettu tähän mennessä yhteensä yli 150 TWh sähköä ja mitä ilmeisimmin monia hyviä tuotantovuosia on vielä edessä. □

Biblisin PWR-laitosten tekniset tiedot ovat seuraavat:

Yleistä:		Biblis A	Biblis B
— nettosähköteho	MW	1146	1240
— reaktorin käyttöpaine	bar	154	154
— reaktorin lämpötila	°C	298	303,5
— prim.piirin massavirta	t/h	72000	72000
— hyötysuhde (nettosähkötehosta)	%	32,7	33,2
<b>Reaktoripaineastia:</b>			
— sisähalkaisija	mm	5000	5000
— seinämän paksuus	mm	235+7	243+7
— kokonaiskorkeus	mm	13250	13250
— paino	t	550	550
<b>Reaktorisydän:</b>			
— polttoainenuippujen lukumäärä	kpl	193	193
— polttoainesauvojen lukumäärä/nippu	kpl	236	236
— polttoaineuraanin kokonaispaino	t	102,7	102,7
— säätösauvojen lukumäärä	kpl	69	61
<b>Turbiinilaitos:</b>			
— turbiinien lukumäärä/ kierrosluku	kpl/ r/min	1/1500	1/1500
— turp. rakenne (osien lukumäärä)	kpl	1 KP + 3 MP	1 KP + 3 MP
— höyryn paine	bar	49,7	51,8
— höyryn lämpötila	°C	220	226
— jäähdytysveden virtaama	m <sup>3</sup> /s	55	60
— generaattorin nimellisteho	MVA	1500	1530
— generaattorin nimellisjännite	kV	27	27

Edellisen lisäksi laitokset on varustettu kahdella jäähdytystornilla/yksikkö, jotka eivät kuitenkaan ole käytössä, vaan jäähdytysvesi otetaan Reinistä.

*Jukka Kangas, TVO*  
*Ossi Koskivirta, IVO*

## Hanaun ydinpolttoainetehtaat: NUKEM, RBU, ALKEM ja HOBEG

#### NUKEM

NUKEM on osakeyhtiö, jonka omistavat seuraavat yhtiöt:

— Rheinisch-Westfälischer Elektrizitätswerk AG	45 %
— Degussa AG	35 %
— Metallgesellschaft AG	10 %
— Imperial Smetting Corporation Ltd.	10 %

Vuoden 1984 myynti on ollut runsaat 200 MDM ja yhtiöllä on vajaat 1000 työntekijää.

NUMEM'in toiminta jakautuu prosentitain seuraavasti:

Tuotanto	16 %
Prosessi	16 %
Polttoaineen kierto	19 %
NDT-toiminta	6 %
Muut toiminnot	13 %
Transnuclear	30 %

Tuotanto-osaston päätuotteita ovat polttoaine-elementit korkealämpötilareaktoreille ja materiaalien koestus- ja tutkimusreaktoreille.

Prosessiosasto suunnittelee ja valmistaa laitoksia ja laitteita ydinpolttoainekierron lähes kaikkiin vaiheisiin.

NDT-osasto kehittää ja valmistaa laitteita sekä metallisista että epämetallisista mate-

riaaleista tehtyjen putkien, levyjen, tankojen ja profiilien ainettarikkomattomaan testaukseen.

Polttoainekiertoon liittyviin palveluihin kuuluu ydinpolttoaineen kauppa ja välitys, kaupallisten sopimusten rahoitus ja uraanimarkkinoiden informaation myynti sekä konsulttipalvelut.

NUKEM panostaa myös sekä edellä esitetyn ydinvoima-alan ja muiden alueiden tutkimukseen ja kehittämiseen.

Transnuclear-ryhmän yhtiöiden liiketoimintaa on radioaktiivisten aineiden kuljetus. Transnuclearin aktiviteetteihin kuuluu mm.: säteilytetyn ja säteilyttämättömän

radioaktiivisten aineiden kuljetus sisältäen tarvittavat kuljetusajoneuvot ja kuljetussäiliöt sekä käsittelyyn liittyvät apulaitteet. Palveluihin kuuluu myös lisensiointi ja kaikenlainen kuljetuksiin liittyvä kommentointi. Transnuclear hoitaa myös ydinvoimalaitosten kiinteiden ja nestemäisten jätteiden käsittelyä, ydinlaitosten purkua sekä dekontaminointia.

Esitteitä NUKEM'in ja Transnuclearin aktiviteeteista saatavissa matkaan osallistuneilta.

Kysyttäessä Transnuclearin toimitusjohtajalta Vygen'ltä käytetyn polttoaineen viemisestä Kiinaan hän ilmoitti, että asiasta keskustellaan edelleen ja neuvotellaan myös saksalaisten laitosten toimittamisesta Kiinaan.

## RBU

RBU:lla on Hanaun lisäksi tehdas myös Karlsteinissa, joka valmistaa BWR-polttoainetta, säätösauvoja sekä polttoainesauvojen ja -nippujen osia. Hanaun tehdas on keskittynyt PWR-polttoaineen valmistukseen. RBU on perustettu vuonna 1974 ja sillä on 900 työntekijää. Tehtaan esittelijä oli tri Müller.

Polttoaineen valmistusprosessi alkaa rikastetusta uraaniheksafluoridista ( $UF_6$ ), joka konvertoidaan  $UO_2$ -jauheeksi. Konversio tapahtuu ns. AUC-prosessin (ammoniumuranylkarbonaatti) avulla, joka on saanut nimensä keltaisesta välituotteesta, AUC-jauheesta. Menetelmän etuja ovat mm.  $UO_2$ :n vähäinen fluoripitoisuus sekä tasarakeisuus. (AUC-prosessi on käytössä ainakin ASEA-ATOMin polttoainetehtaalla ja varmaan muuallakin.)

Pelletit puristetaan  $UO_2$ -jauheesta, sintraataan ja hiotaan. Puristusaine on 1,2 bar ja saavutettava tiheys 50 % (teoreettisesta  $UO_2$ :n tiheydestä). Sintrauksen (1700°C, 3-3,5 h) jälkeen niiden tiheys on 95 %. Tämän jälkeen pelletit hiotaan 1/100 mm:n tarkkuudella oikeisiin mittoihin (ø noin 10 mm, pit. 13—14 mm).

Polttoainesauvojen suojakuoret valmistetaan zirkaloystä ja niiden toimittajana on Nuklearrohr Gesellschaft mbH (NRG). Alatulpan hitsaamisen jälkeen sauvaan sijoitetaan suojatabletti, pelletit, suojatabletti ja jousi. Näin sauvassa on tilaa pellettien pitenemiselle ja fissiokaasuille. Ylätulpan hitsaamisen yhteydessä sauva täytetään heliumilla (22 bar PWR, 5,5 bar BWR). Lopuksi sauva puhdistetaan ns. sähkökiillotusmenetelmällä (sauvan pinnasta poistuu 2—5 m kerros).

Polttoainepiput kootaan tarkoitusta varten rakennetussa penkissä. Nipun tukirakenteen muodostavat säätösauvojen ohjausputket ja väliliilat. Polttoainesauvat sijoitetaan paikalleen koneellisesti. Nippu-tyypistä riippuen ala- ja yläpäätykappaleet kiinnitetään ohjausputkiin joko pulteilla tai hitsaamalla. Puhdistuksen ja rakastuksen jälkeen valmiit niput pakataan muovipusseihin ja siirretään varastoon odottamaan kuljetusta.

RBU:n tuotantokapasiteetti on 750 tU vuodessa, mikä vastaa kahta 1300 MW laitoksen alkulatausta ja 16 vaihtolatausterää. Käyntimme aikana valmistettiin Brokdorfin (1300 MW PWR) alkulatauksen nippuja.

## ALKEM

ALKEM valmistaa MOX-polttoainetta sekä kevytvesi- että hyötöreaktoreihin. Se on perustettu vuonna 1963 ja sillä on 500 työntekijää. Tehtaan esittelijänä oli tri Neumann.

MOX-polttoaineen valmistusprosessi on samankaltainen edellä esitetyn prosessin kanssa. Merkittävimmät erot ovat pellettimateriaalin ((U/Pu) $O_2$ ) valmistuksessa ja säteilysuojauksessa.

Plutoniumin leviämisen estämiseksi valmistusprosessi valmiisiin sauvoihin saakka on automatisoitu ja sijoitettu ilmatiiviisiin hansikaskaappeihin. Kaappeja ympäröivä ns. tuotantohuone sekä koko tehdas ovat myös ilmatiiviitä. Lisäksi kaikissa vyöhykkeissä vallitsee ympäristöön nähden pieni alipaine.

(U/Pu) $O_2$ -jauheen plutoniumin lähtöaineita voivat olla  $PuO_2$ , PuNH tai (U/Pu)NH. Jälkimmäiset konvertoidaan  $PuO_2$ :ksi ja (U/Pu) $O_2$ :ksi (viimeiseksi mainittu AUC:tä vastaavalla menetelmällä). Haluttu "rikastusaste" ( $U^{235} + Pu^{239} + Pu^{241}$ :n osuus) saadaan  $PuO_2$ :ta ja  $UO_2$ :ta sekoittamalla. Tyypillinen kevytvesireaktoripolttoaineen "rikastusaste" on 3 % ja hyötöreaktoripolttoaineen 20—35 %.

Esittelijän mukaan MOX-polttoaine on taloudellisesti edullista. Polttoaineen valmistuksen kalleuden korvaa rikastuksen puuttuminen. Plutoniumille käytetään laskeleissa lisäksi nollahintaa.

MOX-polttoaineen jälleenkäsittelyssä saatavaa ns. toisen sukupolven plutoniumia voidaan käyttää polttoaineen valmistukseen enintään 50 %. Muuten haitallisten isotooppien osuus MOX-polttoaineessa tulee liian suureksi seuraavan jälleenkäsittelyn kannattavuuden kannalta.

## HOBEG

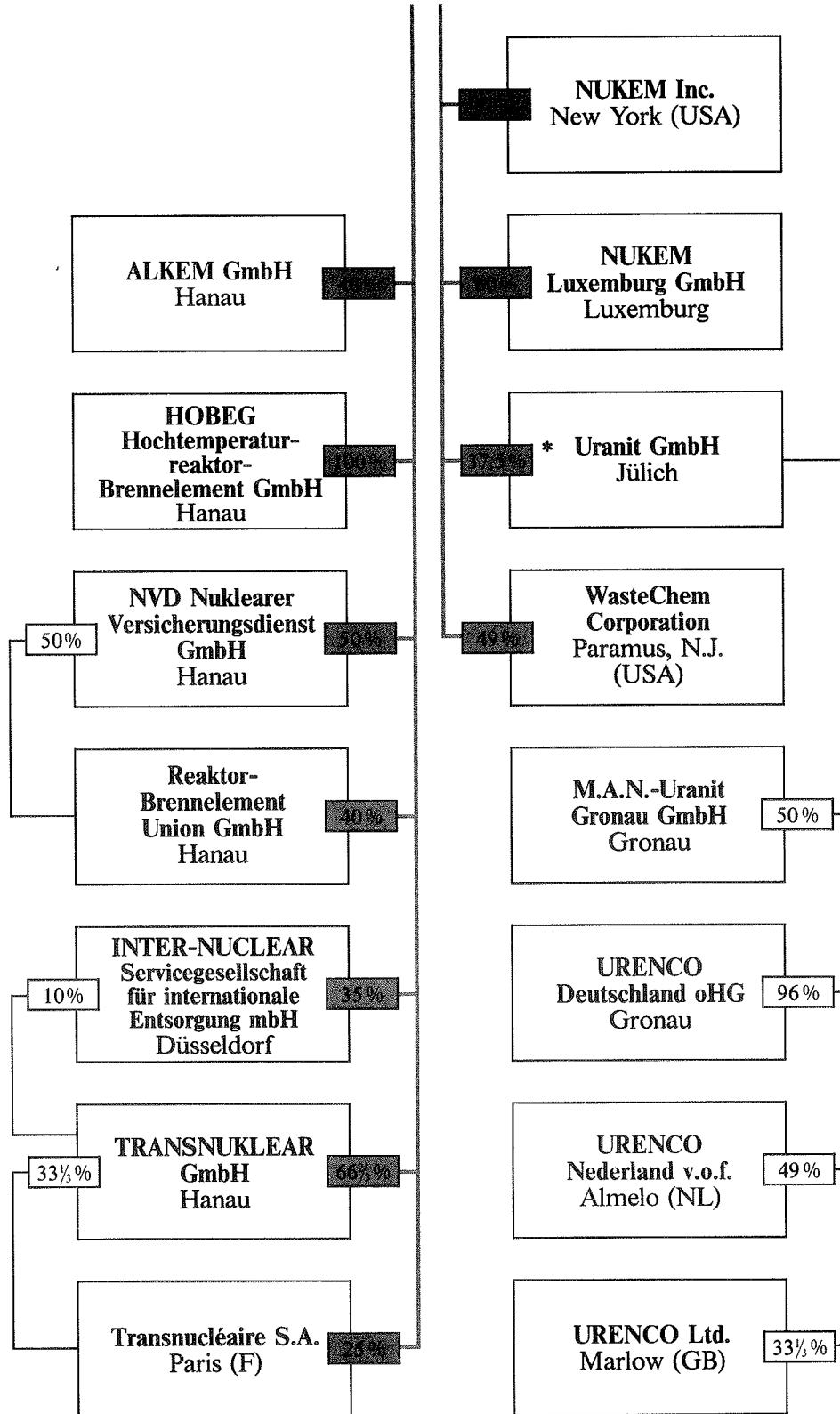
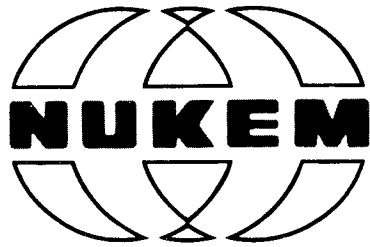
NUKEM valmistaa THTR (Thorium High Temperature Reactor) polttoainetta. Tuotannosta vastaa Products Divisioniin kuuluva itsenäinen, NUKEMin 100 % omistama yhtiö, HOBEG (Hochtemperatur Brennelement GmbH). Tehtaan esittelijänä oli tri Leischner.

THTR polttoaine-elementti on halkaisijaltaan 6 cm oleva grafiittipallo. Se sisältää 40 000 pientä grafiittipäälysteistä hiukkasta, joiden ytimistä 90 % on  $Th^{232}$  ja 10 %  $U^{235}$  (rikastusaste 93 %). Yhdessä elementissä on 192 g C, 0,96 g  $U^{235}$  ja 10,2 g  $Th^{232}$ . Elementti on mekaanisesti kestävä, esim. se kestää hyvin muutaman metrin pudotuksen kovalle lattialle.

Polttoainehiukkasten päälystys tapahtuu ns. päälystysuunissa (T 1400°C, 6—8 h) hiilivetyjen avulla. Tämän jälkeen hiukkasten joukosta valitaan pyöreät (suurin osa) ja ne sekoitetaan grafiittijauheeseen ja puristetaan palloksi. Tämän ympärille puristetaan pelkistä grafiittijauheesta kuori, minkä jälkeen elementti hiotaan ja lämpökäsitellään. Valmiit elementit sijoitetaan kuljetusastioihin (1000 kpl/astia).

Tehtaan tuotantokapasiteetti on 1000 elementtiä päivässä (170 000 vuodessa), mikä riittää täyttämään THTR 300:n (300 MW) ja Jülichin (15 MW) polttoainetarpeen. □

*NUKEM:in osittain tai kokonaan omistamat yhtiöt.*



\* in trusteeship

